

## **Zwischenbericht**

**der Enquete-Kommission**

**„Schutz des Menschen und der Umwelt — Bewertungskriterien und Perspektiven  
für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft“**

**Verantwortung für die Zukunft**

**— Wege zum nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen**

**gemäß Beschluß des Deutschen Bundestages vom 14. Februar 1992**

**— Drucksache 12/1951 —**

## **Zusammensetzung der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“**

### **Mitglieder**

Ernst Schwanhold, MdB (SPD)  
Vorsitzender

Erich G. Fritz, MdB (CDU/CSU)  
Stellvertretender Vorsitzender

Prof. Dr. Immo Lieberoth, MdB (CDU/CSU)  
Dr. Manfred Lischewski, MdB (CDU/CSU)  
Ulrich Petzold, MdB (CDU/CSU)  
Dr. Norbert Rieder, MdB (CDU/CSU)  
Wolfgang Zöllner, MdB (CDU/CSU)  
Thea Bock, MdB (SPD)  
Ulla Burchardt, MdB (SPD)  
Marion Caspers-Merk, MdB (SPD)  
Reinhard Weis, MdB (SPD)  
Dr. Klaus Röhl, MdB (F.D.P.)  
Prof. Dr. Jürgen Starnick, MdB (F.D.P.)  
Ingeborg Philipp, MdB (Gruppe PDS/Linke Liste)  
Dr. Klaus-Dieter Feige, MdB (Gruppe BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN)

Prof. Dr. Holger Bonus  
Prof. Dr. Klaus Fischwasser  
Dr. Henning Friege  
Prof. Dr. F. H. Frimmel  
Prof. Dr. Georges M. Fülgraff  
Prof. Dr. Helmut Greim  
Dr. Rainer Griebhammer  
Dr. Martin Held  
Prof. Dr. Joachim Klein  
Prof. Dr. Paul Klemmer  
Dipl.-Ing. Dr. Adolf von Röpenack  
Dr. Wilfried Sahn  
Jürgen Walter  
Prof. Dr. Reinhard Zellner

### **Sekretariat**

Friedhelm Dreyling (Leiter)

Dörte Bernhardt  
Thomas Broszinski  
Dr. Peter Düweke  
Claudia Engelhardt  
Ellen Frings  
Dr. Karl-Otto Henseling  
Dr. Wolfgang Linden  
Dr. Gisela Lück  
Elisabeth Fischer  
Christiane Kahlert  
Ilke Özemir

## Vorwort

### Auf der Suche nach Zukunftspfaden

Spätestens mit dem aufsehenerregenden Bericht des „Club of Rome“ über die „Grenzen des Wachstums“ hätte sich bei den Verantwortlichen in Politik und Wirtschaft die Einsicht durchsetzen müssen, daß die bis dahin verfolgte Wachstumsstrategie mit verheerenden ökologischen Folgen einhergehen wird. Eine Fülle weiterer wissenschaftlicher Veröffentlichungen hat zur intensiven Aufklärung über das Ausmaß der Zerstörung der Lebensgrundlagen geführt.

In weiten Teilen unserer Gesellschaft ist ein Prozeß des Umdenkens in Gang gekommen — weg vom reparierenden, nachsorgenden hin zum vorbeugenden Umweltschutz. Aber die weiteren Schritte zu einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung — international unter dem Stichwort „Sustainable Development“ diskutiert und anläßlich der „UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung“ in Rio de Janeiro von der überwältigenden Mehrheit der Staaten dieser Welt postuliert — gestalten sich mühsam. Trotz aller Bemühungen für einen ökologischen Strukturwandel sind in wichtigen Bereichen noch erhebliche Defizite zu verzeichnen.

Ein wirklicher Umschwung von einem gedanken- und rücksichtslosen Umweltverbrauch zu einer nachhaltigen Wirtschaftsweise ist bei Rohstoffgewinnung, Produktion, Nutzung und Wiederverwertung von Produkten noch nicht vollzogen. Angesichts der Notwendigkeit, Ressourcen zu schonen, um künftigen Generationen ihre Zukunftschancen zu bewahren, sind die Stoff- und Energieumsätze insgesamt deutlich zu verringern.

Es fehlt eine Strategie, die divergierenden Interessen und unterschiedlichen Handlungsansätze von Politik, Industrie, Gewerbe, Handel, Verbrauchern und Umweltschutzverbänden zusammenzuführen. Vorschläge, die Kosten der Umweltbelastungen und des Umweltschutzes volkswirtschaftlich zu berücksichtigen und gleichsam als ökologisches Sozialprodukt zu erfassen, fanden bisher kaum Anklang.

Die Kluft zwischen grenzenloser Zukunftsgläubigkeit in technische Innovationen einerseits und fundamentaler Ablehnung des Industriestaates, Technikfeindlichkeit andererseits verhindert Lösungswege und gefährdet damit auch den Wirtschaftsstandort Bundesrepublik Deutschland.

Es ist die Aufgabe der Politik, eine Annäherung zwischen diesen Polen zu befördern. Vorbedingung dafür ist die Formulierung von Leitbildern und Umweltzielen. Die Erkenntnis, daß teure, nachsorgende Umweltmaßnahmen — „End of the Pipe Technologien“ — nicht zu einer nachhaltigen Verbesserung der Umweltsituation führen und gleichzeitig an ökonomische Grenzen stoßen, ist inzwischen Allgemeingut geworden. Ohne einschneidende Veränderungen des Konsumverhaltens und der Produktionsverfahren ist eine nachhaltige Verbesserung nicht zu erreichen.

Die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ hat den Auftrag, die volkswirtschaftlich wichtigsten Stoffströme zu erfassen, zu analysieren und daraus konsensfähige Bewertungskriterien für einen nachhaltigen Umgang mit Stoff- und Materialströmen in der modernen Industriegesellschaft zu entwickeln.

Sicherlich wird es den Leser des Zwischenberichts der Enquete-Kommission nicht verwundern, daß dieser vielschichtige Auftrag in den eineinhalb Jahren der Arbeit erst zu einem geringen Teil erfüllt werden konnte. Im wesentlichen werden in diesem Zwischenbericht die Grundlagen der Arbeit referiert, die Diskussion von Leitbildern einer Stoffwirtschaft aufgenommen und erste Konturen eines Stoffstrommanagements angedeutet. An ausgewählten Beispielen hat die Kommission auf dem Weg über Stoffstromanalysen Bewertungsansätze formuliert, die zur Erarbeitung eines Instrumentariums zur Vermeidung von Umweltbelastungen dienen sollen. Der Bewertung der ausgewählten Stoffe liegen Kriterien zugrunde, die noch nicht systematisch zugeordnet sind, keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben

und dennoch deutlich von der bisherigen Praxis der selektiven Regelungsmechanismen abweichen.

Es wird Aufgabe der Kommission sein, Instrumente und Handlungsoptionen zu benennen, mithin eine an Leitbildern orientierte und an Zielen meßbare Verbesserung der Umweltsituation zu verfolgen, ohne die dauerhafte Planungssicherheit für die Industrie und die Beschäftigungssituation zu vernachlässigen.

In den Suchprozeß zur Entwicklung solcher Instrumente und Handlungsoptionen müssen vielfältige Überlegungen einbezogen werden, um dem Prinzip der Nachhaltigkeit unseres Wirtschaften Genüge zu tun. Diese Überlegungen reichen von der Einbeziehung bisher unbeachteter Folgekosten in die Preise, insbesondere für Energie, Rohstoffe und Abfallentsorgung, über Fragen einer ökologischen Steuerreform, die Abschaffung steuerlicher Vergünstigungen und direkter Subventionen für umweltbelastende Aktivitäten bis zum ökologischen Design von Produkten mit Fragen wie Rohstoffeinsparung, umweltorientierte Werkstoffauswahl, Altstoffeinsatz, Reparaturfreundlichkeit, Langlebigkeit, Energieeffizienz und recyclinggerechtes Gestalten.

Es gilt, ein neues Wohlstandsmodell zu entwerfen, das dieser Generation und den künftigen Generationen weltweit die Befriedigung von Grundbedürfnissen und eine chancengleiche Partizipation an einer nachhaltigen Entwicklung ermöglicht. Ein nachhaltiger Lebensstil muß nicht Verzicht bedeuten, sondern sollte den bewußten und schonenden Umgang mit den natürlichen Lebensgrundlagen mit einer genußvollen Lebensweise verbinden.

Die bisherige Arbeit der Enquete-Kommission führte nicht zuletzt zu der Erkenntnis, daß die Suche nach Antworten auf all diese Fragen immer von subjektiven Gesichtspunkten der einzelnen Akteure bestimmt sein wird und eine Lösung der Probleme nur durch ein Zusammenwirken aller Beteiligten erreicht werden kann. Nur wenn sich bei allen die Bereitschaft zum Umdenken und zur Kooperation durchsetzt, kann das Ökosystem „Erde“, können unsere Lebensgrundlagen erhalten werden.

Bonn, den 20. September 1993



Ernst Schwanhold, MdB  
Vorsitzender der Enquete-Kommission  
„Schutz des Menschen und der Umwelt“

## Inhaltsverzeichnis

	Seite
<b>Zusammensetzung der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“</b> .....	2
<b>Vorwort</b> .....	3
<b>1 Auftrag und Hintergründe der Enquete-Kommission</b> .....	9
1.1 Einsetzung der Enquete-Kommission und Auftrag .....	9
1.2 Ausgangslage .....	9
1.3 Nutzen und Risiken von Stoffen .....	9
1.4 Hintergründe und Problembeschreibung .....	10
<b>2 Organisation und Vorgehen</b> .....	13
2.1 Organisation .....	13
2.1.1 Zusammensetzung der Kommission .....	13
2.1.2 Kommissionssekretariat .....	13
2.1.3 Arbeitsgruppen .....	14
2.2 Vorgehen .....	15
<b>3 Leitbilder einer Stoffpolitik</b> .....	18
3.1 Einleitung .....	18
3.2 Nachhaltig zukunftsverträgliche Entwicklung als übergeordnetes Leitbild einer Stoffpolitik .....	18
3.3 Stoffpolitik, Entwicklungspolitik und Bevölkerungswachstum ...	24
3.4 Stoffpolitische Handlungsfelder und Handlungsansätze .....	25
3.5 Leitbilder einer stoffpolitisch begründeten technologischen Neuorientierung .....	31
3.6 Kriterien der Sozial- und Ökonomieverträglichkeit einer am Leitbild einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung ausgerichteten Stoffpolitik .....	32
3.7 Neuorientierung der Wertvorstellungen .....	35
<b>4 Analyse von Stoffströmen unter Berücksichtigung der Aspekte Ökologie, Ökonomie und Soziales</b> .....	37
4.1 Zielsetzung .....	37
4.1.1 Zur Rolle von Stoffstromanalysen in verschiedenen Politikansätzen .....	37
4.1.2 Stoffstromanalyse .....	38
4.1.3 Exemplarische Darstellung von Stoffstromanalysen auf unterschiedlichem Aggregationsniveau .....	39
4.1.4 Nationale Stoffstromanalyse .....	40
4.1.5 Ausblick .....	40
4.2 Ökobilanzen und Produktlinienanalysen .....	41
4.2.1 Aufgabenstellung für die Enquete-Kommission .....	41
4.2.2 Hintergrund der Arbeit der Enquete-Kommission zu Ökobilanzen und Produktlinienanalysen .....	41
4.2.3 Behandlung des Themas in der Enquete-Kommission .....	41

4.2.4	Zur Kategorisierung von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen . . . . .	42
4.2.4.1	Definition von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen . . . . .	42
4.2.4.2	Allgemeine Aufgabenstellung von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen und ihre Rolle im Stoffstrommanagement . . . . .	42
4.2.4.3	Akteursbezug und bisherige Erfahrungen . . . . .	42
4.2.4.4	Zum grundsätzlichen Einbezug ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte . . . . .	43
4.2.5	Rahmenbedingungen . . . . .	43
4.2.5.1	Derzeitige Datenlage . . . . .	43
4.2.5.2	Schwerpunktsetzung für vorrangig durchzuführende Produktlinienanalysen und Ökobilanzen . . . . .	46
4.2.5.3	Module — Bausteine für Grundstoffe, Grundmaterialien und Verfahren . . . . .	46
4.2.6	Methodenkonvention . . . . .	46
4.2.6.1	Grundstruktur von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen . . . . .	47
4.2.6.2	Scoping . . . . .	47
4.2.6.2.1	Untersuchungsgegenstand von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen und Alternativenauswahl . . . . .	47
4.2.6.2.2	Planungsträger und Interessengruppen . . . . .	47
4.2.6.2.3	Interessen und Zielsetzungen . . . . .	47
4.2.6.2.4	Systemanalyse (Rahmenbedingungen des Produkteinsatzes) . . . . .	48
4.2.6.2.5	Bedürfnisse und Nutzen . . . . .	48
4.2.6.3	Sachbilanz . . . . .	49
4.2.6.3.1	Systemgrenzen und Abschneidekriterien . . . . .	49
4.2.6.3.2	Bilanzzeit . . . . .	49
4.2.6.3.3	Ökologische Bewertungskriterien . . . . .	50
4.2.6.3.4	Ökonomische Bewertungskriterien . . . . .	50
4.2.6.3.5	Soziale Bewertungskriterien . . . . .	50
4.2.6.3.6	Kuppelprodukte . . . . .	50
4.2.6.3.7	Umgang mit Daten . . . . .	51
4.2.6.4	Analyse der Wirkungen . . . . .	51
4.2.6.5	Bewertung der Sach- und Wirkungsbilanz . . . . .	52
4.2.6.6	Optimierung und Handlungsempfehlungen . . . . .	53
4.2.7	Ökobilanzen und Produktlinienanalysen in der Produktpolitik . . . . .	53
4.2.7.1	Standpunkt der Industrie . . . . .	53
4.2.7.2	Zehn-Punkte-Programm des Umweltbundesamtes . . . . .	53
4.2.7.3	Produktpolitisches Programm des Öko-Instituts . . . . .	53
4.2.8	Zusammenfassung und Bewertung . . . . .	54
4.2.8.1	Akteursbezug und Einsatzgebiet . . . . .	54
4.2.8.2	Einbezug ökonomischer und sozialer Aspekte . . . . .	54
4.2.8.3	Kosten-Nutzen-Abwägungen . . . . .	54
4.2.8.4	Datenlage . . . . .	54
4.2.8.5	Methodenkonvention . . . . .	54
4.2.8.6	Bewertungskriterien und Umweltziele . . . . .	54
4.2.8.7	Fazit . . . . .	55
4.3	Stoffstromanalysen an Beispielen . . . . .	55
4.3.1	Cadmium . . . . .	55
4.3.1.1	Begründung für die Themenwahl . . . . .	55
4.3.1.2	Vorgehensweise . . . . .	55
4.3.1.3	Darstellung und Analyse des Cadmium-Stoffstroms . . . . .	55
4.3.1.3.1	Darstellung des Cadmium-Stoffstroms . . . . .	55
4.3.1.3.2	Ökologische und toxikologische Relevanz . . . . .	59
4.3.1.3.3	Ökonomische Relevanz . . . . .	61

## Seite

4.3.1.3.4	Soziale Relevanz .....	63
4.3.1.3.5	Zusammenfassung .....	63
4.3.1.4	Bewertungsansätze .....	64
4.3.1.4.1	Ökologische und toxikologische Kriterien .....	64
4.3.1.4.2	Ökonomische Kriterien .....	66
4.3.1.4.3	Soziale Kriterien .....	66
4.3.1.4.4	Schlußfolgerungen .....	67
4.3.1.5	Handlungsempfehlungen und Instrumente .....	67
4.3.1.5.1	Strategie .....	67
4.3.1.5.2	Ansatzpunkte .....	67
4.3.1.5.3	Instrumente .....	67
4.3.1.5.4	Empfehlungen .....	68
4.3.2	Benzol .....	69
4.3.2.1	Begründung für die Themenwahl .....	69
4.3.2.2	Vorgehensweise .....	69
4.3.2.3	Darstellung und Analyse des Benzol-Stoffstroms .....	70
4.3.2.3.1	Darstellung des Benzol-Stoffstroms .....	70
4.3.2.3.2	Ökologische und gesundheitliche Relevanz .....	76
4.3.2.3.3	Ökonomische Relevanz .....	77
4.3.2.3.4	Soziale Relevanz .....	77
4.3.2.3.5	Zusammenfassung .....	79
4.3.2.4	Bewertungsansätze .....	81
4.3.2.4.1	Formulierung der Zielvorstellung .....	81
4.3.2.4.2	Auswahl der Betrachtungsschwerpunkte der Sachstandsanalyse .....	81
4.3.2.4.3	Auswahl der Bewertungskriterien .....	81
4.3.2.4.4	Zusammenfassung .....	83
4.3.2.5	Handlungsempfehlungen und Instrumente .....	83
4.3.2.5.1	Ansätze von Maßnahmen am Stoffstrom .....	84
4.3.2.5.2	Handlungsempfehlungen .....	84
4.3.3	R134a und andere FCKW-Ersatzstoffe .....	85
4.3.3.1	Begründung für die Themenauswahl .....	85
4.3.3.2	Vorgehensweise .....	86
4.3.3.3	Darstellung und Analyse des Stoffstroms von R 134a und anderer FCKW-Ersatzstoffe .....	87
4.3.3.3.1	Abschätzung des zukünftigen Stoffstroms von R 134a .....	87
4.3.3.3.2	Ökologische und toxikologische Relevanz .....	90
4.3.3.3.3	Ökologische Relevanz in den Anwendungsbereichen .....	93
4.3.3.3.4	Ökonomische Relevanz in den Anwendungsbereichen .....	97
4.3.3.3.5	Soziale Relevanz in den Anwendungsbereichen .....	98
4.3.3.3.6	Retrospektive Betrachtung der FCKW-Ersatzstoffauswahl .....	99
4.3.3.3.7	Schlußfolgerung .....	101
4.3.3.4	Bewertungsansätze .....	102
4.3.3.4.1	Ökologische und toxikologische Kriterien .....	102
4.3.3.4.2	Ökonomische Kriterien .....	104
4.3.3.4.3	Soziale Kriterien .....	105
4.3.3.4.4	Zusammenfassung .....	105
4.3.3.5	Strategien und Instrumente .....	106
4.3.3.5.1	Strategien .....	106
4.3.3.5.2	Instrumente .....	107
4.3.4	Bedürfnisfeld Textilien/Bekleidung .....	108
4.3.4.1	Begründung für die Themenwahl .....	108
4.3.4.2	Vorgehensweise .....	109
4.3.4.3	Darstellung und Analyse des Stoffstroms entlang der textilen Kette .....	110

	Seite
4.3.4.3.1 Stoffstrombetrachtung der Primärproduktion von Naturfasern am Beispiel der Baumwolle .....	113
4.3.4.3.2 Stoffstrombetrachtung der Primärproduktion von Chemiefasern .	118
4.3.4.3.3 Stoffstrombetrachtung der Textilveredlung .....	121
4.3.4.3.4 Stoffstrombetrachtung als Input/Output-Bilanz am Beispiel der Textilveredlung .....	125
4.3.4.4 Ökologische und toxikologische Relevanz .....	126
4.3.4.5 Ökonomische Relevanz .....	127
4.3.4.6 Soziale Relevanz .....	128
4.3.4.7 Weitere Vorgehensweise .....	129
4.3.4.8 Zusammenfassung .....	129
4.3.5 Mobilität .....	130
4.3.5.1 Begründung für die Themenwahl .....	130
4.3.5.2 Vorgehensweise .....	130
<b>5 Bewertung und Management von Stoffströmen .....</b>	<b>133</b>
5.1 Bewertung von Stoffströmen .....	133
5.1.1 Begriffsklärung und Vorgehen der Kommission .....	133
5.1.2 Bewertungsverfahren .....	136
5.2 Management von Stoffströmen .....	137
5.2.1 Definition und Zielsetzung .....	137
5.2.2 Instrumente des Stoffstrommanagements .....	138
<b>Glossar .....</b>	<b>139</b>
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	<b>144</b>
<b>Verzeichnis der Kommissionsdrucksachen .....</b>	<b>147</b>
<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>155</b>



## 1 Auftrag und Hintergründe der Enquete-Kommission

### 1.1 Einsetzung der Enquete-Kommission und Auftrag

In der 12. Wahlperiode beantragte die SPD-Bundestagsfraktion die Einsetzung einer Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt — Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft (BT-Drucksache 12/1290). Auf Beschlußempfehlung des Ausschusses für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit nahm der Deutsche Bundestag in seiner 77. Sitzung am 14. Februar 1992 den entsprechend geänderten Antrag an. Der Einsetzungsbeschluß formuliert den Auftrag der Enquete-Kommission u. a. wie folgt (BT-Drucksache 12/1951):

- „— Bestandsaufnahme der wichtigsten Problemkreise der industriellen Stoffwirtschaft einschließlich ihrer historischen Entwicklungszusammenhänge und Erarbeitung von Lösungsansätzen;
- Entwicklung wissenschaftlich begründeter und gesellschaftlich konsensfähiger Bewertungskriterien für vergleichende Ökobilanzen;
- Bewertung von Anwendungsfeldern, größeren Stoffgruppen und Endprodukten sowohl aus der Perspektive der erzeugenden und der verarbeitenden Wirtschaft, wie auch aus der Perspektive der Endverbraucher;
- Darstellung möglicher Entwicklungsalternativen bei der Gewinnung, Verarbeitung und Entsorgung von Stoffen (Zukunftspfade) unter Berücksichtigung technischer, ökonomischer, ökologischer und sozialer Parameter;
- Vertiefung des chemie- und industriepolitischen Dialogs, um die Voraussetzung für eine gesellschaftliche Konsensbildung zu verbessern;
- Abgabe von Empfehlungen an den Deutschen Bundestag für gesetzgeberisches und politisches Handeln.“

Enquete-Kommissionen sind neben den auf Kontroll- und Mißstandsuntersuchungen ausgerichteten Untersuchungsausschüssen eine Institution des Parlaments, mit deren Hilfe größere Sachkomplexe im Zusammenwirken mit Wissenschaft und Praxis aufgearbeitet werden können.

Im Hinblick auf den vom Deutschen Bundestag festgelegten Untersuchungsgegenstand soll die Enquete-Kommission Vorschläge für eine nachhaltig zukunftsverträgliche Entwicklung unterbreiten und nicht nur stoffbezogene Bewertungen vornehmen und hierfür Problemlösungen erarbeiten. Dabei wird auch die Weiterentwicklung des Wirtschaftsstandortes Bundesrepublik Deutschland thematisiert. Hierfür müssen ökologische, ökonomische und soziale Aspekte in

ihrer gegenseitigen Verflechtung gleichermaßen berücksichtigt werden.

### 1.2 Ausgangslage

Menschliches Leben ist ohne Austausch von Stoffen nicht denkbar. Dieser Sachverhalt ist aber durch die Menge der Stoffe, die durch menschliches Handeln in die Umwelt gelangen, zu einem fundamentalen Problem der industrialisierten Welt geworden. Stoffe werden nicht mehr nur zur Erfüllung von Grundbedürfnissen wie z. B. Ernähren, Kleiden und Wohnen einer wachsenden Weltbevölkerung umgesetzt, sondern seit Beginn der Industrialisierung in zunehmendem Maße auch zur Erfüllung unserer gestiegenen Konsumansprüche. Alle Stoffe werden in anderer Form oder Zusammensetzung wieder in die Umwelt zurückgeführt, z. B. als Abfälle, Abwässer oder Abgase, sowohl nach dem Gebrauch als auch bereits in der Produktion oder im Gebrauch. Stoffumsätze erfolgen also in allen Schritten des Produktlebens, von der Ausbeutung von Bodenschätzen über die Herstellung, die Verteilung und Verwendung des Produktes, dessen Lagerung und Transport bis hin zur Entsorgung oder Wiederverwertung. Vor allem auch die Erzeugung von Energie ist mit großen Stoffumsätzen verbunden.

### 1.3 Nutzen und Risiken von Stoffen

Die Entwicklung der menschlichen Zivilisation in den letzten zwei Jahrhunderten ist eng verbunden mit den Ergebnissen naturwissenschaftlicher Forschung und dem Einsatz neuer Techniken.

So ist beispielsweise der Rückgang von Seuchen, die seit Jahrtausenden immer wieder ganze Landstriche entvölkerten, aber auch die Zunahme der Lebenserwartung insgesamt eng mit diesen Entwicklungen verbunden. Dazu gehören technische Verbesserungen im Bereich der Hygiene (z. B. Kanalisation, Trinkwasserversorgung) ebenso wie Verdienste der chemischen und medizinischen Forschung und der hierauf beruhenden Pharmazie.

Hungersnöte in den industrialisierten Staaten gehören unter anderem auch deshalb der Geschichte an, weil durch den Einsatz von Dünger-, Pflanzenschutz-, Transport- und Konservierungsmitteln Nahrungsmittel in größerem Umfang und besserer Qualität erzeugt sowie haltbar gemacht werden können.

Die dramatische Armutsentwicklung in der nicht industrialisierten Welt konnte dadurch bisher allerdings nicht verhindert werden.

Die Befriedigung des Bedarfs an Kleidung und Textilien aller Art ist aufgrund industrieller Methoden der

Bereitstellung und Verarbeitung von Stoffen kein Problem mehr. Kleidung und Textilien werden z. B. aus Kunstfasern hergestellt, durch chemische Behandlung qualitativ verbessert und gegen Schadorganismen geschützt. Gleichzeitig führt aber auch die Gewinnung und Veredlung von Textilfasern zu ökologischen und gesundheitlichen Schäden, z. B. durch Gewässerbelastung.

Gutausgestattete Wohnungen und Gebäude stehen heute der Bevölkerung mit ihren gewachsenen Ansprüchen an Größe und Komfort weitgehend zur Verfügung. Sie werden mit Baustoffen errichtet und mit Schutzmitteln, Anstrichen und Farben behandelt, die es früher nicht gegeben hat. Zunehmend wird aber auch das gesundheitliche und ökologische Gefährdungspotential vieler Baustoffe diskutiert.

Industrie und Gewerbe insgesamt beruhen in hohem Maße auf den Fortschritten von Naturwissenschaften und Technik bei Ver- und Bearbeitung, Veredelung und sonstiger Nutzung von Rohstoffen, auf der Herstellung neuer, synthetischer Stoffe sowie auf der Entwicklung neuer Produkte, Produktions- und Energieumwandlungsverfahren.

Der hohe Lebensstandard in der Bundesrepublik Deutschland beruht zum großen Teil auf der umfassenden wirtschaftlichen Nutzung von Stoffen. Der verantwortungsbewußte Einsatz moderner Technologien und Stoffe bietet zugleich die Chance, den Bedürfnissen der wachsenden Weltbevölkerung nach Nahrung, Kleidung und Unterkunft sowie medizinischer Versorgung besser nachzukommen.

Für ein Land wie die Bundesrepublik Deutschland, das über keine nennenswerten Bodenschätze und eine vergleichsweise geringe Agrarfläche verfügt, sind Innovationen und Know-how, die zu einem qualitativen Vorsprung auf den Weltmärkten führen, für die Beschäftigungssituation und das Bruttosozialprodukt auch in Zukunft von besonderer Bedeutung.

Die intensive, alle Lebensbereiche erfassende und ständig wachsende Nutzung von Stoffen ist aber zunehmend auch mit ernstesten Risiken für Mensch und Umwelt verbunden. Diese Risiken lösten zunächst umweltpolitische Maßnahmen zur Abwehr unmittelbarer Gefahren für die menschliche Gesundheit und die Ökosysteme durch den Einsatz bestimmter Stoffe aus. Derzeit tritt immer mehr die Vermeidung mittelbarer und langfristiger Schäden sowohl für Menschen als auch für Tiere, Pflanzen und Sachgüter durch eine große Zahl von Stoffen unterschiedlicher Art, sowie der Erhalt der Leistungsfähigkeit des Naturhaushaltes in den Mittelpunkt der Umweltschutzbemühungen. Bei der Beurteilung der Risiken eines Stoffes kommt es nicht nur darauf an, ob er bei Mensch oder Umwelt akute Schäden hervorruft. Genauso wichtig ist es, ob er für sich allein oder zusammen mit anderen Stoffen, ob sofort oder nach längerer Zeit, ob in seiner ursprünglichen Identität oder in seinen eventuellen Umwandlungsprozessen, Schaden für Mensch oder Umwelt verursacht.

Dabei war und ist es in vielen Fällen nicht möglich, die Risiken von Stoffen von vornherein zu erkennen oder

sogar zu berechnen. Der Grund hierfür ist, daß sich die Umweltrisiken von Stoffen, wie auch ihr gesamtwirtschaftlicher und gesellschaftlicher Nutzen nur schlecht quantifizieren lassen. Es ist in den meisten Fällen nur eine qualitative Beschreibung und sorgfältige Abschätzung der Risiken möglich. Die Enquete-Kommission hat es sich gleichwohl zur Aufgabe gemacht, Lösungsvorschläge für eine umwelt- und gesundheitsverträgliche Gestaltung der Industriegesellschaft zu entwickeln.

Einem möglichen Lösungsansatz liegt unter anderem die Idee einer dauerhaften Entwicklung zugrunde. Darunter versteht man, daß eine erneuerbare Ressource nicht über das Maß hinaus verbraucht werden darf, in dem sie sich erneuern kann. Wird dieses Prinzip nicht beachtet, erfolgt die Zerstörung der Lebensgrundlagen der Menschen, die die jeweilige Ressource nutzen. Das Kapital wird aufgebraucht.

Sieht man sich die Wirtschaftsweise der heutigen Industriegesellschaften an, so läßt sich feststellen, daß zudem ein hoher Verbrauch an nicht erneuerbaren Ressourcen, wie z. B. fossilen Brennstoffen, im Vordergrund steht.

Bereits 1972 führte der „Club of Rome“ in seinem Bericht „Die Grenzen des Wachstums“ der Weltöffentlichkeit vor Augen, daß die Bevölkerung und der Verbrauch an begrenzten Ressourcen exponentiell ansteigen. Dies führe zu einer Verknappung der Ressourcen, zu unkontrollierbaren Umweltzerstörungen und zu einer ansteigenden Verelendung in den Entwicklungsländern (Meadows, 1972).

In dem neuen Bericht des „Club of Rome“ von 1992 („Die neuen Grenzen des Wachstums“) liegt der Schwerpunkt der Problematik bei den Grenzen der ökologischen Abbauvorgänge für die Stoffe, mit denen die Umweltmedien in Berührung kommen. Denn Wasser, Luft und Boden sind nur begrenzt in der Lage, Immissionen und Rückstände ohne Schaden aufzunehmen (Meadows, 1992).

Einen weiteren zentralen Aspekt stellen die Auswirkungen der Umweltbelastungen auf die Gesundheit dar. Aufgrund der Komplexität dieses Aspekts verzichtet die Kommission darauf, neben Ökologie, Ökonomie und dem sozialen Aspekt, „Gesundheit“ als eigenständiges Ziel ebenfalls aufzuführen. Sie betont aber die Bedeutung der Gesundheit als Ziel des Umweltschutzes und sieht diese als wesentlichen Bestandteil sowohl der ökologischen als auch der sozialen Ziele an.

#### 1.4 Hintergründe und Problembeschreibung

Die umweltpolitische Diskussion wird in der Bundesrepublik Deutschland intensiver geführt als in den meisten vergleichbaren Industrieländern. Dieses hat unterschiedliche Hintergründe: Ein entscheidender Grund ist die Begrenztheit des Raumes, auf dem viele Menschen leben, die Intensität der Produktion und der damit verbundene Wohlstand.

Die globalen ökologischen Probleme und deren Verknüpfung mit der Produktion und dem Konsumverhal-

ten werden bei den Faktoren Luft, Klima, Wasser, Artenvielfalt, Wald und Boden eindrucksvoll deutlich. Diese seit Anfang der 70er Jahre festgestellten Probleme haben ein Anwachsen der Umweltbewegung und die Zunahme einer öffentlich geführten Diskussion nach sich gezogen. Seitdem sind viele Veränderungen durch die Politik erreicht worden.

Wer einerseits den weniger entwickelten Ländern das „Recht auf Entwicklung“ — sei es aus Gerechtigkeitsgründen oder aus Gründen der politischen Klugheit — einräumt und andererseits anerkennt, daß eine weltweite Orientierung an der Wirtschaftsweise der Industrieländer einen „ökologischen Kollaps“ verursachen würde (UNCED, 1992), steht vor der Aufgabe, ein neues Wohlstandsmodell zu entwickeln, das eine Überbeanspruchung des Naturhaushaltes verhindert.

In dem jüngst veröffentlichten Prüfbericht „Deutschland“ der OECD werden die Umweltsituation, ihre Entwicklung und die Umweltpolitik des Landes beschrieben (OECD, 1993). Die Umweltprüfberichte orientieren sich inhaltlich an folgenden Zielen, die von den Umweltministern der OECD-Mitgliedsstaaten formuliert wurden:

- Reduzierung der Schadstoffbelastung  
Themen: Luftreinhaltung, Abfallwirtschaft, Gewässerschutz, Umweltschutzinvestitionen, Forschung und Entwicklung;
- Politikintegration, d. h. generelle Integration von Umweltpolitik in die Wirtschaftspolitik, aber auch von Umweltpolitik in die Energie-, Verkehrs- und Landwirtschaftspolitik;
- Verstärkung der internationalen Zusammenarbeit auf dem Gebiet des Umweltschutzes, z. B. hinsichtlich internationaler Verpflichtungen, bilateraler Zusammenarbeit und der Berücksichtigung von Umweltaspekten in der Entwicklungszusammenarbeit.

Die OECD kommt dabei zu nachstehenden Schlußfolgerungen:

„Deutschlands große Bevölkerungsdichte, sein hoher Industrialisierungsgrad, seine Lage in Mitteleuropa und seine starke Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen für die Energieversorgung sind Faktoren, die dazu beigetragen haben, den Umweltschutz zu einem öffentlichen Anliegen und zu einer Priorität für die staatliche Politik zu machen. In den letzten zwanzig Jahren ist es gelungen, die Entwicklung des Ausstoßes an mehreren wichtigen Schadstoffen vom Wirtschaftswachstum abzukoppeln.“

Sie urteilt aber auch:

„Indessen bleiben noch große Herausforderungen in den Bereichen wie Abfallentsorgung, Umweltbelastung durch Landwirtschaft und Verkehr, um nur einige Prioritäten auf nationaler Ebene zu nennen, sowie die großräumige Umweltverschmutzung und die Klimaveränderungen auf internationaler Ebene, wo Deutschland ein existenzielles Interesse daran hat, Fortschritte zu sichern sowie den Willen und die

Möglichkeit der internationalen Staatengemeinschaft fördern zu helfen ...“

Bezogen auf die chemische Industrie stellt der OECD-Bericht unter anderem fest:

„Die chemische Industrie spielt heute eine maßgebliche Rolle beim Gesamtbeitrag der deutschen Industrie zu Umweltverbesserungen.

Bereits in der Vergangenheit sind Investitionen — teils durch Selbstverpflichtungen von Seiten der Industrie, teils als Folge staatlicher Auflagen — in umweltverträglichere Verfahren und Produkte getätigt und dadurch Schadstoffemissionen vermieden bzw. vermindert worden. Das Vorsorgeprinzip konnte mittels verschiedener Melde- und Bewertungsmaßnahmen, an denen sich die Chemieindustrie sehr aktiv beteiligt hat, weiterentwickelt werden.“

Ferner heißt es im OECD-Bericht:

„In Zukunft würde die Offenlegung von Informationen über Schadstoffbelastungen durch Einzelunternehmen zu einem noch besseren Umweltschutz beitragen und die in dieser Hinsicht zurückhaltenden Firmen veranlassen, zu den in ihrem Sektor beispielgebenden Unternehmen aufzuschließen. In der Chemieindustrie dürfte ein verstärkter Rückgriff auf Risikoanalysen und das Lebenszykluskonzept ebenfalls zu einer kosteneffizienteren Bewältigung der durch Chemikalien verursachten Umweltprobleme beitragen.“

In dem Bemühen des Erreichens einer besseren Umweltqualität — so unzureichend dem ein oder anderen das insgesamt in Deutschland auch noch vorkommt — steckt harte Arbeit. Darin vereinigt sich das Bemühen vieler, z. B. der Parteien, der Umweltbewegung, der Gewerkschaften, der Industrie, der Wissenschaft und anderer gesellschaftlicher Gruppen. Nicht außer acht gelassen werden darf dabei, daß sich in den neuen Bundesländern ein Wandel hin zur Marktwirtschaft vollzieht. Eine derartig tiefgreifende Umstrukturierung ist allerdings auch von hoher Arbeitslosigkeit, verbreiteter Desorientierung sowie sozialer Unsicherheit geprägt. Diese Anregungen wurden in den letzten Jahren von der Politik als Konzepte aufgegriffen. Sie enthalten beispielhafte Lösungsansätze für Umwelt- und Gesundheitsprobleme, die den Umgang mit Stoffen zum Politikum gemacht und den Einsetzungsbeschluß für die Enquete-Kommission gefördert haben.

Für eine zukünftige Umweltpolitik sind einige grundlegende Probleme zu beachten, so etwa die große Stoff- und Produktvielfalt, die das klassische Ordnungsrecht an seine Grenzen geführt hat, die oft um Jahrzehnte verzögerten Auswirkungen von Stoffeinträgen in die Umwelt oder die prinzipiell beschränkte Vorhersagbarkeit der ökologischen Wirkungen von Stoffen. Leitbilder, Bewertungskriterien und Instrumente müssen solche stoffbezogenen Schwierigkeiten angemessen berücksichtigen.

Als ein Ergebnis ist die Notwendigkeit einer integrierten Stoffpolitik anzusehen. Damit ist nicht nur die Beschränkung einer Stoffpolitik auf einzelne Sektoren

wie etwa die Ressourceninanspruchnahme, die Produktherstellung oder die Abfallentsorgung gemeint. Integrierte Stoffpolitik muß gezielt umweltverträgliche Stoffströme anstreben. Dies beinhaltet eine Optimierung des Stoffeinsatzes und der Transportwege, neue Produktionsverfahren sowie die umweltgerechte Gestaltung von Produkten. Denn so kann erreicht werden, daß Schadstoffbelastungen gar nicht oder nur in geringem Umfang entstehen.

Bei den hier beschriebenen Maßnahmen handelt es sich um Primärmaßnahmen, um Umweltschutz „an der Quelle“, was ökologisch sinnvoll ist. Gerade unter diesem Gesichtspunkt bestehen noch große Defizite, da heute noch weitgehend die „End of the Pipe-Technologien“ (Sekundärmaßnahmen) dominieren.

Diese Sekundärmaßnahmen waren ein erster wesentlicher Schritt, weil dadurch Umweltbelastungen gebündelt und kontrolliert wurden. Letztlich wurden Umweltbelastungen durch Sekundärmaßnahmen aber nicht beseitigt, sondern teilweise in andere Medien verlagert. Auch lösen „End of the Pipe-Maßnahmen“ das Problem der übermäßigen Ressourcennutzung nicht.

Das Ziel eines neuen Umweltschutzansatzes läßt sich nur durch ein geändertes Werteverständnis erreichen. Beispielsweise muß man sich fragen,

— ob in einer Gesellschaft Autos gefahren werden sollten, mit denen 100 km in 30 Minuten bei einem Verbrauch von 20 l Treibstoff oder in einer Stunde bei einem Verbrauch von 3 l Treibstoff zurückgelegt werden können,

— ob in einer Gesellschaft Früchte aus dem anderen Teil der Welt oder von der Obstwiese „um die Ecke“ gegessen werden sollten.

Es ist daher unstrittig, daß weitere Umweltschutzmaßnahmen notwendig sind. Wenn dann durch die bereits beschriebenen Primärmaßnahmen neben ökologischen Verbesserungen auch ökonomische und soziale Vorteile erreicht werden können, sollten diese Maßnahmen als marktwirtschaftliche Antwort auf notwendige Umweltschutzanforderungen verstanden werden.

In der Enquete-Kommission ist nicht strittig, daß in der Bundesrepublik Deutschland produziert werden muß. Es ist die Aufgabe der Enquete-Kommission, Lösungsansätze für die industrielle Stoffwirtschaft zu erarbeiten, um so zu einer langfristigen Sicherung der Industriegesellschaft beizutragen. Veränderungen müssen langfristig kalkulierbar sein. Die ökologische Modernisierung der Industriegesellschaft ist kein isoliertes Politikfeld, sondern eröffnet eine Perspektive für die Entwicklung der Gesellschaft insgesamt. Dies ist ein wichtiger Beitrag zur Reform der Industriegesellschaft. Ökologie ist ein Organisationsprinzip für die Entwicklung unserer Gesellschaft, um sie auf eine dauerhafte Grundlage zu stellen.

Die Enquete-Kommission hat die Aufgabe, mittelfristig und langfristig umsetzbare Ideen und Vorschläge für eine nachhaltig zukunftsorientierte Entwicklung, die die Ökonomie- und Sozialverträglichkeit beinhaltet, am Ende der Legislaturperiode dem Deutschen Bundestag vorzulegen.

## 2 Organisation und Vorgehen

### 2.1 Organisation

#### 2.1.1 Zusammensetzung der Kommission

Die Enquete-Kommission setzt sich aus 13 Abgeordneten der im Deutschen Bundestag vertretenen Fraktionen und 13 Sachverständigen zusammen. Die Gruppen Bündnis 90/Die GRÜNEN und PDS/LL stellen entsprechend den interfraktionellen Vereinbarungen je einen Vertreter ohne Stimmrecht. Die Gruppe Bündnis 90/Die GRÜNEN hat außerdem einen Sachverständigen ohne Stimmrecht benannt. Von den Fraktionen und Gruppen wurden folgende Mitglieder des Deutschen Bundestages benannt:

##### *CDU/CSU-Fraktion*

Erich G. Fritz, stellvertretender Vorsitzender  
 Prof. Dr. Immo Lieberoth  
 Dr. Manfred Lischewski  
 Ulrich Petzold  
 Prof. Dr. Norbert Rieder, Sprecher  
 Wolfgang Zöllner

##### *Fraktion der SPD*

Thea Bock  
 Ulla Burchardt  
 Marion Caspers-Merk, Sprecherin seit 12. November 1992  
 Ernst Schwanhold, Sprecher bis 15. Oktober 1992, Vorsitzender seit 15. Oktober 1992  
 Reinhard Weis, seit 22. Januar 1993  
 Michael Müller, Düsseldorf, Vorsitzender bis 15. Oktober 1992, ausgeschieden am 22. Januar 1993

##### *Fraktion der F.D.P.*

Dr. Klaus Röhl  
 Prof. Dr. Jürgen Starnick, Sprecher

##### *Gruppe PDS/Linke Liste*

Ingeborg Philipp

##### *Gruppe BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN:*

Dr. Klaus Dieter Feige

Auf Vorschlag der Fraktionen berief die Präsidentin des Deutschen Bundestages als *sachverständige Kommissionsmitglieder:*

Prof. Dr. Holger Bonus, Professor für Volkswirtschaftslehre, Geschäftsführender Direktor des Instituts für Genossenschaftswesen der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster

Prof. Dr. Klaus Fischwasser, Professor für Wasserchemie, Wissenschaftlicher Leiter der Gesellschaft für umweltverträgliche Verfahrensinnovation mbH in Teltow, (Mitglied seit 14. Mai 1993),

Dr. Henning Friege, Beigeordneter der Landeshauptstadt Düsseldorf, Dezernent für Umweltschutz, Abfallwirtschaft, Garten-, Friedhofs- und Forstwesen

Prof. Dr. Fritz Hartmann Frimmel, Professor für Wasserchemie an der Technischen Universität Karlsruhe und DVGW-Forschungsstelle am Engler-Bunte Institut, Karlsruhe

Prof. Dr. Georges M. Fülgraff, Professor für Gesundheitswissenschaften an der Technischen Universität Berlin

Prof. Dr. Helmut Greim, Professor für Toxikologie und Umwelthygiene, Institut für Toxikologie und Umwelthygiene der Technischen Universität München

Dr. Rainer Griebhammer, Öko-Institut, Freiburg/Br.

Dr. Martin Held, Studienleiter für den Bereich Wirtschaft an der Evang. Akademie Tutzing

Prof. Dr. Joachim Klein, Professor für Chemie, GSF Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH, Neuherberg

Prof. Dr. Paul Klemmer, Professor für Wirtschaftslehre, Präsident des Rheinisch-Westfälischen Instituts für Wirtschaftsforschung e.V. (RWI), Essen

Dr. Adolf von Röpenack, Beauftragter für umweltpolitische Sonderaufgaben des Bundesverbandes der Deutschen Industrie e.V. (BDI)

Dr. Wilfried Sahm, Hauptgeschäftsführer des Verbandes der Chemischen Industrie e.V., Frankfurt

Jürgen Walter, Mitglied des geschäftsführenden Hauptvorstands der IG-Chemie-Papier-Keramik, Hannover

Prof. Dr. Reinhard Zellner, Professor für Physikalische Chemie, Institut für Physikalische und Theoretische Chemie, Universität Gesamthochschule Essen

#### 2.1.2 Kommissionssekretariat

Die Verwaltung des Deutschen Bundestages stellte der Enquete-Kommission ein Sekretariat zur Verfügung, das wie folgt besetzt wurde:

*Leitung des Sekretariats:*

Regierungsdirektor Friedhelm Dreyling

*Wissenschaftliche Aufgaben:*

Dörte Bernhardt	Diplom-Chemieingenieurin
Thomas Broszinski	Diplom-Biologe
Dr. rer. nat.	
Peter Düweke	Diplom-Biologe
Claudia Engelhardt	Diplom-Biologin
Ellen Frings	Diplom-Agraringenieurin
Dr.-Ing. Karl Otto	
Henseling	Diplom-Ingenieur
Dr. rer. nat.	
Wolfgang Linden	Diplom-Chemiker
Dr. phil. Gisela Lück	Philosophie/Chemie

*Organisatorische Aufgaben:*

OAR Hartmuth Groß (bis 15. Juni 1993)  
 VAe Susanne Schweikardt (ab 15. Juni 1993)

*Sekretariatsaufgaben:*

VAe Elisabeth Fischer  
 VAe Christiane Kahlert  
 VAe Ilke Özemir

**2.1.3 Arbeitsgruppen**

Wegen des breiten Arbeitsspektrums und der großen Themenvielfalt, die vor allem zu Beginn durch die unterschiedlichen Einzelbeispiele die Kommissionsarbeit bestimmte, einigte sich die Kommission darauf, zu den einzelnen Themengebieten Vorarbeiten im Rahmen von Arbeitsgruppen zu leisten.

In das Aufgabengebiet der Arbeitsgruppen fallen neben der thematischen Vorstrukturierung und der Vorbereitung öffentlicher und interner Anhörungen auch die Erarbeitung von Vorschlägen für die Vergabe von Studien. Von den Sprechern der Arbeitsgruppen werden die Ergebnisse der gesamten Enquete-Kommission zur Diskussion vorgestellt. Nach Beendigung der vorbereitenden Aufgaben werden die jeweiligen Arbeitsgruppen wieder aufgelöst.

Es wurden folgende Arbeitsgruppen zu folgenden Themen gebildet:

*Ökobilanzen (bis zum 8. März 1993)*

Dr. Rainer Griebhammer  
 Dr. Wilfried Sahn

*Cadmium (bis zum 8. März 1993)*

Prof. Dr. Georges Fülgraff  
 Dr. Adolf von Röpenack

*Benzol (bis zum 8. März 1993)*

Prof. Dr. Helmut Greim (Sprecher)  
 Dr. Henning Friege  
 Erich G. Fritz, MdB  
 Ernst Schwanhold, MdB  
 Jürgen Walter  
 Prof. Dr. Reinhard Zellner

*R 134 a (bis zum 8. März 1993)*

Dr. Rainer Griebhammer  
 Dr. Wilfried Sahn

*Wirkungsforschung (bis zum 8. März 1993)*

Prof. Dr. Helmut Greim (Sprecher)  
 Ulla Burchardt, MdB  
 Prof. Dr. Georges Fülgraff  
 Prof. Dr. Joachim Klein  
 Dr. Manfred Lischewski, MdB  
 Dr. Klaus Röhl, MdB  
 Ernst Schwanhold, MdB  
 Prof. Dr. Reinhard Zellner

*Chlorchemie*

Prof. Dr. Jürgen Starnick, MdB (Sprecher)  
 Thea Bock, MdB  
 Marion Caspers-Merk, MdB  
 Dr. Henning Friege  
 Prof. Dr. Fritz H. Frimmel  
 Prof. Dr. Helmut Greim  
 Dr. Rainer Griebhammer  
 Prof. Dr. Norbert Rieder, MdB  
 Dr. Wilfried Sahn  
 Jürgen Walter  
 Prof. Dr. Reinhard Zellner

*Textilien/Bekleidung*

Dr. Martin Held (Sprecher)  
 Ulla Burchardt, MdB  
 Prof. Dr. Fritz H. Frimmel  
 Dr. Rainer Griebhammer  
 Prof. Dr. Norbert Rieder, MdB  
 Dr. Wilfried Sahn  
 Jürgen Walter

*Mobilität*

Dr. Klaus Röhl, MdB (Sprecher)  
 Dr. Henning Friege  
 Erich G. Fritz, MdB  
 Prof. Dr. Joachim Klein  
 Dr. Adolf von Röpenack  
 Prof. Dr. Reinhard Zellner  
 Jürgen Walter  
 Reinhard Weis, MdB

### Stoffströme und Stoffbilanzen/Stoffstrommanagement

Thea Bock, MdB (Sprecherin)  
 Prof. Dr. Holger Bonus  
 Ulla Burchardt, MdB  
 Prof. Dr. Klaus Fischwasser  
 Dr. Henning Friege  
 Prof. Dr. Fritz H. Frimmel  
 Dr. Rainer Griebhammer  
 Prof. Dr. Joachim Klein  
 Prof. Dr. Immo Lieberoth, MdB  
 Dr. Adolf von Röpenack  
 Dr. Wilfried Sahn  
 Prof. Dr. Jürgen Starnick, MdB  
 Jürgen Walter  
 Prof. Dr. Reinhard Zellner

### Leitbilder

Prof. Dr. Paul Klemmer (Sprecher)  
 Marion Caspers-Merk, MdB  
 Dr. Klaus Dieter Feige, MdB  
 Erich G. Fritz, MdB  
 Dr. Rainer Griebhammer  
 Dr. Martin Held  
 Ulrich Petzold, MdB  
 Ingeborg Philipp, MdB  
 Dr. Adolf von Röpenack  
 Dr. Wilfried Sahn  
 Ernst Schwanhold, MdB  
 Jürgen Walter  
 Wolfgang Zöllner, MdB

## 2.2 Vorgehen

### Konstituierende Sitzung

Die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ wurde am 18. März 1992 vom Vizepräsidenten des Deutschen Bundestages, Helmuth Becker (Nienberge), konstituiert. Zum Vorsitzenden der Kommission wurde der Abgeordnete Michael Müller (Düsseldorf), SPD, bestimmt, zu dessen Stellvertreter der Abgeordnete Erich G. Fritz (Dortmund), CDU/CSU. In der konstituierenden Sitzung hob der Vorsitzende Michael Müller hervor, es sei übereinstimmende Auffassung aller Fraktionen und Gruppen, zu gesicherten Erkenntnissen über die Stoffströme zu kommen, um darauf basierend Bewertungskriterien entwickeln zu können, die letztlich einen wirksamen präventiven Umweltschutz ermöglichen. Die Kommission hat nach den Worten des Vorsitzenden die Aufgabe, Lösungsvorschläge für eine umwelt- und gesundheitsverträgliche Gestaltung der Industrie-gesellschaft insgesamt, im Sinne einer dauerhaften Entwicklung, zu machen. Dabei gelte es, wirtschaftliche Leistungsfähigkeit, ökologische Verträglichkeit und soziale Verantwortung miteinander in Einklang zu bringen.

### Sitzungen

Von ihrer konstituierenden Sitzung am 18. März 1992 bis zur Verabschiedung des vorliegenden Zwischenberichts in der Sitzung am 20. September 1993 führte die Enquete-Kommission 37 Sitzungen und acht weitere Besprechungen und Klausurtagungen durch. An den Sitzungen nahmen Vertreter des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, des Umweltbundesamtes (UBA), des Bundesgesundheitsamtes, der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, des Bundesministeriums für Forschung und Technologie, des Bundesministeriums für Wirtschaft, des Bundesministers für Gesundheit und Vertreter der Länder teil. Die Arbeitsgruppen haben insgesamt 62mal getagt.

### Anhörungen

Die Kommission hat öffentliche Anhörungen namhafter Sachverständiger aus dem In- und Ausland zu den Themen „Ökobilanzen/Produktlinienanalysen“, „Benzol“, „R 134a“, „Textilien/Bekleidung“, „Mobilität“ und „Chlorchemie“ durchgeführt. Darüber hinaus fanden nichtöffentliche Anhörungen zu den Themen „Cadmium“, „Risikoabschätzung am Beispiel Benzol“, „R 134a“, „Einordnung des Instruments Ökobilanzen“, „Chlorchemie“ sowie zum Thema „Grundlagen der Stoffstromanalyse“ statt. Unter den Experten wurden auch jeweils Vertreter der obersten und oberen Bundesbehörden gehört. Die Ergebnisse aus den Anhörungen bilden eine Grundlage für diesen Bericht.

### Informationsreisen und auswärtige Sitzungen

Zur Vertiefung des „chemiepolitischen Dialogs“ führte die Kommission eine auswärtige Sitzung beim Chemieunternehmen Hoechst AG in Frankfurt durch. Weitere Besuche bei den Chemieunternehmen Bayer AG und BASF sind für den Herbst dieses Jahres terminiert.

Im Rahmen einer Besichtigung der Recycling-Versuchsanlage für Altfahrzeuge der BMW AG führte die Enquete-Kommission eine weitere Sitzung durch.

Sie informierte sich über die Lage der ostdeutschen Chemieindustrie bei Besuchen an den Chemiestandorten Bitterfeld und Schkopau durch die Unternehmen Bitterfelder AG und Buna AG sowie durch das Bitterfelder Beratungsbüro der Stiftung „Arbeit und Umwelt“ der IG Chemie-Papier-Keramik. Im wesentlichen informierte sich die Kommission über beschäftigungspolitische Maßnahmen und die Sanierungskonzepte im Rahmen des Umbaus der Chemieregion. Daran schloß sich die öffentliche Anhörung zu Mobilität im brandenburgischen Landtag in Potsdam an.

Gegenstand einer weiteren auswärtigen Sitzung beim Ministerium für Wohnungswesen, Raumordnung und Umweltschutz der Niederlande war die Studie „Integrated Substance Management“ (Integriertes Stoffstrommanagement), die im Auftrag des niederländischen Verbandes der Chemischen Industrie



(VNCI) mit Unterstützung internationaler Wirtschaftsunternehmen und der Ministerien für Umwelt und Wirtschaft der Niederlande erstellt wurde. In die wissenschaftliche Unterstützung der Studien waren zudem Wissenschaftler und Vertreter von Umweltverbänden einbezogen. Gegenstand war die Methodik des Stoffstrommanagements anhand von Beispielen aus der Chlorkette. Ziel war die Entwicklung einer praktischen Methode für ein Stoffstrommanagement, mit deren Hilfe man unter Berücksichtigung aller Umweltaspekte einer Kette von Produkten und Produktionen zu Entscheidungen über die besten Möglichkeiten für Umweltmaßnahmen gelangen sollte. Es galt, dabei auch die wirtschaftlichen Folgen zu berücksichtigen und, soweit wie möglich, eine Übereinstimmung zwischen allen beteiligten Akteuren zu erreichen. Für die Enquete-Kommission war dieser Besuch im Hinblick auf die beabsichtigte Vergabe eigener Expertisen und Studien von Bedeutung. Im Rahmen dieser Sitzung in den Niederlanden besuchte die Kommission auch die Akzo AG in Rotterdam, um sich über das betriebliche Umweltmanagement der Firma zu unterrichten.

Im Auftrag der Enquete-Kommission reisten Delegationen zu Gesprächen mit der Kommission der Europäischen Gemeinschaften (EG) nach Brüssel sowie in die EG-Mitgliedstaaten Portugal und Spanien. Der Besuch bei der EG-Kommission diente der Information über das Fünfte Umweltaktionsprogramm der EG, die Abfallwirtschafts- und Stoffpolitik der EG sowie über die Richtlinie des Rates über den freien Zugang zu Informationen über die Umwelt, den Entwurf einer EG-Verordnung über ein Öko-Audit sowie Umwelt-Instrumentarien im Verhältnis Umweltpolitik zu Wirtschaft. Nach einem Beschluß der EG-Kommission vom 2. Juni 1993 will sie den Umweltschutz in alle anderen Politiken integrieren.

Die Besuche in Portugal und Spanien verfolgten insbesondere das Ziel, den in der EG unterschiedlichen Stand in Praxis und Gesetzgebung auf dem Feld der Umwelt unter die Lupe zu nehmen. Eine Umweltschutzgesetzgebung, die mit der in Deutschland vergleichbar ist, existiert in beiden Ländern nur in Ansätzen. Man beschränkt sich dabei im wesentlichen auf die Umsetzung des EG-Rechts. Dies gilt besonders für Portugal. Der Vollzug der Gesetze ist ein großes Problem. Der Wunsch nach Kooperation war ein Anliegen aller Gesprächsteilnehmer. Gleichzeitig beabsichtigte die Kommission, ihre Aufgabenstellung auch den weniger industrialisierten Staaten innerhalb der EG näherzubringen, in der Überzeugung, daß eine wirksame Stoffpolitik nur auf europäischer Ebene letztlich verankert werden kann. Zu diesem Zweck fanden Gespräche mit den zuständigen Ausschüssen der jeweiligen Parlamente, Vertretern von Regierung, Industrieverbänden und Gewerkschaften statt.

#### Berichte der Bundesminister vor der Kommission

Über Erfahrungen mit der Novelle des Chemikaliengesetzes 1990 und über den Stand der Altstoffbearbeitung sowie über künftige Entwicklungen hinsichtlich

Gesetzgebung, Bewertungskriterien und Forschung unterrichtete der Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit die Kommission am 5. November 1992 (KDrs 12/7).

In der Kommissionssitzung am 10. Dezember 1992 erläuterte der Bundesminister für Forschung und Technologie die Prinzipien seiner Forschungsförderung und skizzierte den Stand der Forschung auf den Gebieten des Kommissionsauftrages (KDrs 12/9).

#### Studienprogramm der Enquete-Kommission

Die Fragestellungen der Enquete-Kommissionen werden durch Diskussionen und Arbeitspapiere der Mitglieder der Kommission, durch externe und interne Anhörungen und durch die Vergabe von Studien bearbeitet.

Studien wurden für vier Themengebiete der Enquete-Kommission vergeben:

- Übersicht und Konzeption von Stoffstromanalyse- und management
- Anwendungsbeispiele für Stoffstromanalyse- und management (Einzelstoffe und Bedürfnisfelder)
- Bewertungsaspekte
- Instrumente

Durch Abstimmung mit den Bundesressorts wurde sichergestellt, daß einerseits keine Doppelvergabe erfolgt und andererseits die Ergebnisse von anderweitig veranlaßten Studien von der Enquete-Kommission verwendet werden können.

#### Übersicht und Konzeption von Stoffstromanalyse- und management

Zur Konkretisierung und Umsetzung des Leitbildes einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung (Sustainable Development) ist eine Analyse der Stoffströme in betrieblichem, regionalem, nationalem und globalem Kontext erforderlich (Stoffstromanalyse). Entsprechende Informationssysteme sollen klare Konzeptionen zum Umgang mit den vielen Daten haben und eine Grundlage für Lenkungsmöglichkeiten für die jeweils beteiligten Akteure geben (Stoffstrommanagement). Hierbei sollen ökologische, ökonomische und soziale Aspekte berücksichtigt werden.

Hierzu wurden drei Studien vergeben. Bereits abgeschlossen ist eine „Zusammenstellung der Ansätze von Stoffstrommanagement und stoffpolitische Regelungen auf internationaler Ebene und besonders auf EG-Ebene“ (Bongaerts, 1992). Eine zweite Studie soll die grundsätzlichen methodischen Anforderungen an Datenbasen für Stoffstromanalyse- und management darstellen. Eine dritte Studie soll eine vergleichende und bewertende Darstellung der wichtigsten Konzeptionen auf diesem Gebiet leisten und die Schwerpunktsetzung auf besonders relevante Stoffströme vorbereiten.



### Bewertungsaspekte

Die Festlegung von Bewertungskriterien ist in hohem Maß eine politische Entscheidung. Es wurden nur für bestimmte, bisher wenig beleuchtete Teilgebiete Studien vergeben. In einem systematischen Vergleich wird untersucht, nach welchen Kriterien und Methoden die vielen bereits existierenden Sachverständigengremien Bewertungen vornehmen und wie dies die jeweilige Entscheidungsfindung bestimmt. In einer zweiten Studie werden der Kenntnisstand und die herangezogenen Bewertungskriterien bei den oft vorkommenden Kombinationswirkungen von Chemikalien untersucht. Eine dritte Studie konzentriert sich auf Bewertungskriterien für soziale Folgewirkungen und die mögliche Integration der ökologischen und sozioökonomischen Aspekte zu einem „Sozialen Nettonutzen“.

### Instrumente

Zur Umsetzung der im Leitbild einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung verfolgten und durch das Stoffstrommanagement konkretisierten Ziele steht grundsätzlich ein Bündel verschiedener Instrumente zur Verfügung: ordnungsrechtliche, ökonomische und freiwillige bzw. proaktive Instrumente. In den hierfür vergebenen Studien sollen Vor- und Nachteile und Anwendbarkeit der jeweiligen Instrumente systematisch untersucht werden; hierfür werden auch neue oder denkbare Instrumente, wie etwa Ökoleasing, untersucht. Im Hinblick auf die allseits beabsichtigte Integration externer Kosten werden in zwei Studien die Divergenz zwischen Stoff- und Wertströmen und die resultierenden Schattenpreise untersucht. Begleitend wird begutachtet, wie ein in sich geschlossenes und konsistentes Stoffrecht aussehen sollte und wie der Vollzug prinzipiell und gesondert in den neuen Bundesländern verbessert werden kann.

### Anwendungsbeispiele für Stoffstromanalyse- und management (Einzelstoffe und Bedürfnisfelder)

Die Tragfähigkeit der theoretischen Modelle, der methodischen Ansätze und der instrumentellen Konzepte soll durch eine Prüfung ihrer Anwendbarkeit auf

konkrete Anwendungsfelder erhärtet werden; umgekehrt gibt es aus den Anwendungsbeispielen wertvolle Hinweise für die theoretischen Konzeptionen.

Zur Bearbeitung der exemplarisch ausgewählten Stoffe Cadmium und Benzol wurde jeweils eine Kurzstudie mit dem Ziel einer zusammenfassenden Darstellung des Kenntnisstandes durchgeführt (Bätcher/Böm, 1992; Rosner et al., 1993). Zu den Bedürfnisfeldern Textilien/Bekleidung und Mobilität wurden Vorstudien (Arbeitsgemeinschaft Textil, 1992; COGNIS, 1992; Fichtner GmbH, 1993) und Hauptstudien vergeben. In den Vorstudien zum Bereich Textilien/Bekleidung wurde der Sachstand bezüglich der Stoffströme, der Bedürfnisstrukturen und der Gebrauchseigenschaften der Produkte dargestellt und die Schwerpunktsetzung für die Hauptstudie bestimmt. Im Bereich Mobilität konnte hierfür zum großen Teil auf Vorarbeiten der Klima-Enquete-Kommission zurückgegriffen werden. Die Vorstudie konzentriert sich deshalb auf den Stofffluß bei Produktion, Betrieb und Entsorgung verschiedener Fahrzeuge und bereitet eine Hauptstudie zur Entwicklung stofflicher, betrieblicher und politischer Handlungsperspektiven im Bedürfnisfeld Mobilität vor. In den zwei Hauptstudien zum Bereich Textilien/Bekleidung werden eine exemplarische Ökobilanz erstellt und — unter Einbezug der beteiligten Akteure — die Optimierungsmöglichkeiten des Stoffstrommanagements entlang der textilen Kette aufgezeigt.

In einer vor allem auf die neuen Bundesländer bezogenen Studie wird untersucht, welche neuen Wege es zur Erfassung und Verwertung von Sekundärrohstoffen gibt. Diese Fragestellung liegt „quer“ zu den einzelnen Anwendungsfeldern und ist im Hinblick auf eine stärkere Schließung der Stoffkreisläufe nach Gebrauch der Produkte von besonderem Gewicht.

### Berichterstattung und Monitoring zum Studienprogramm

Für die Begleitung und Koordination des umfangreichen Studienprogramms wurde ein Monitoring eingerichtet, das von Berichterstattern aus der Kommission unterstützt wird.

### 3 Leitbilder einer Stoffpolitik

#### 3.1 Einleitung

Mit dem Einsetzungsbeschluß wurde die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ beauftragt, Entwicklungslinien für eine Veränderung der Stoffwirtschaft bzw. des Umgangs mit Stoffen herauszuarbeiten. In der Begründung des Antrags wird diese Aufgabenstellung mit der Vorgabe verbunden, Leitbilder für eine umwelt- und gesundheitsverträgliche Gestaltung der Stoffströme und -kreisläufe in der Industriegesellschaft zu erarbeiten.

Damit werden von der Enquete-Kommission nicht nur Aussagen zum Umgang mit einzelnen Stoffen und zu Bewertungskriterien bzw. Methoden erwartet. Vielmehr ist auch eine grundsätzlichere Orientierung zu leisten, in welche Richtung sich die Stoffwirtschaft und allgemein der Umgang mit Stoffen in der Industriegesellschaft entwickeln sollte. Für eine solche Orientierung eignen sich Leitbilder, die grundsätzliche Orientierungspunkte bündeln. Unter Leitbildern einer Stoffpolitik werden im folgenden Entwürfe für Entwicklungs- und Gestaltungsalternativen anthropogener Stoffströme verstanden, d. h. der Stoffströme, in die der Mensch gegenüber natürlichen Prozessen handelnd eingreift bzw. die er nutzungsbezogen in Gang setzt.

Umweltrisiken nehmen heute trotz einer hohen Regeldichte und nachweislicher Einzelerfolge in mehrfacher Hinsicht neue Dimensionen an. Treibhauseffekt, Ausdünnung der Ozonschicht, Sommersmog, Meeresverschmutzung, Bodendegradation, Arten- und Biotopschwund sowie wachsende Müllberge sind Stichworte für die neue Dimension von Umweltbelastungen. Mit diesen neuen Belastungen sind auch neuartige Risiken für die menschliche Gesundheit, für die belebte und unbelebte Natur und für Kulturgüter verbunden. Viele dieser Probleme haben mit der Art unseres Wirtschaftens, insbesondere mit dem Ressourcenabbau, der Ressourcennutzung, dem Abfallvolumen bzw. der Abfallstruktur, d. h. letztlich mit den Stoffströmen und mit der Art der Stoffnutzung in Form einer Durchfließwirtschaft zu tun. Auch aus der Erkenntnis der damit verbundenen Probleme ergab sich die Forderung nach einer Stoffpolitik.

Leitbilder einer Stoffpolitik sind auf sehr unterschiedliche Ebenen bezogen. Als Reaktion auf globale Umweltprobleme gewinnt das Leitbild einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung („Sustainable Development“) an Konturen. Aus der Diskussion stoffbezogener Umweltprobleme haben sich in den letzten Jahren Leitbilder der Abfallwirtschaft und der Chemiepolitik herausgebildet, die als unterschiedliche, sich teilweise überschneidende und ergänzende Leitbildansätze für eine Stoffpolitik angesehen werden können und die auf eine ökologische Modernisierung und einen grundlegenden Strukturwandel der

Industriegesellschaft abzielen. Zwischen beiden Ebenen bzw. Typen von Leitbildern bestehen logische und normative Verknüpfungen, die es erforderlich machen, eine intensive Leitbilddiskussion der Auseinandersetzung über Ziele, Instrumente und Umsetzungsstrategien einer Stoffpolitik voranzustellen. Mit den Leitbildern werden dabei Ziele vorgegeben, die aktiv verfolgt werden sollen und deren Erreichung überprüfbar ist.

Im folgenden wird zunächst das Konzept einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung als übergeordnetes Leitbild einer Stoffpolitik beschrieben. Anschließend wird der globale stoffpolitische und stoffwirtschaftliche Zusammenhang mit entwicklungspolitischen Problemen und dem Problem des Bevölkerungswachstums thematisiert. Dann wird stoffpolitischen Handlungsfeldern, Handlungsansätzen zur Realisierung des Konzepts einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung und den aus der abfallwirtschaftlichen und chemiepolitischen Diskussion stammenden Leitbildansätzen nachgegangen.

Danach werden Notwendigkeit, Möglichkeiten und Leitbilder einer stoffpolitisch begründeten technologischen Neuorientierung beleuchtet. Abschließend wird die Leitbilddiskussion über ökologische, entwicklungspolitische und technologische Aspekte hinaus auf Fragen der Sozial- und Ökonomieverträglichkeit einer Stoffpolitik ausgeweitet, die dem Konzept einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung folgt und Aspekte einer hiermit verbundenen neuen Wertorientierung aufgreift.

Die Entwicklung von Leitbildern einer Stoffpolitik ist als Suchprozeß nach einem allgemeinen Orientierungsrahmen mit einer eher qualitativ gehaltenen Umschreibung seiner Zielelemente bzw. Gestaltungsprinzipien zu verstehen. Die Klärung von Verständigungsaufgaben über die Elemente eines solchen Orientierungsrahmens und eine Verständigung über Gestaltungsprinzipien erleichtert die Bestimmung von Zielen und die Einigung über Wege zu ihrer Erreichung.

Die Vielschichtigkeit stoffpolitischer Problemstellungen, die neben ökologischen auch immer ökonomische und soziale Aspekte umfassen, macht die inhaltliche Festlegung einer Stoffpolitik zur Aufgabe eines stets neu zu bewältigenden gesellschaftlichen Suchprozesses.

#### 3.2 Nachhaltig zukunftsverträgliche Entwicklung als übergeordnetes Leitbild einer Stoffpolitik

Die ökologischen Herausforderungen, denen sich eine Stoffpolitik zu stellen hat, stehen in einem engen Zusammenhang mit den Problemen der extremen

Ungleichverteilung der Einkommen zwischen Industrie- und sogenannten Entwicklungsländern und des globalen Bevölkerungswachstums. Umweltprobleme sind teilweise die Folge der ressourcenintensiven Durchfluswirtschaften der hochentwickelten Industrieländer und des armutsbedingten Raubbaues in den sog. Entwicklungsländern.

Zur Zeit leben nach Angaben der Weltbank und des United Nations Development Programme (UNDP) über eine Milliarde Menschen mit einem Jahresverdienst von unter 370 Dollar jährlich (Weltbank, 1990 und 1992; UNDP, 1992) in tiefster Armut. Bei einer Hochrechnung der derzeitigen Entwicklung würde die Weltbevölkerung in den nächsten 30 Jahren um fast vier Milliarden Menschen wachsen. Das ist der größte absolute Zuwachs in der gesamten Menschheitsgeschichte. Das ökologisch begründete Konzept einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung versucht, Auswege aus einem globalen entwicklungspolitischen Dilemma zu finden. Einerseits wurde immer deutlicher, daß der von den Industrieländern bislang beschrittene Weg aus ökologischen Gründen nicht endlos weiterverfolgt werden kann. Andererseits ist es nach wie vor das erklärte Ziel der armen Mehrheit der Weltbevölkerung, eben diesem historischen Entwicklungskurs der heutigen Industrieländer nachzueifern.

Würde dies den sog. Entwicklungs- und Schwellenländern unter Übernahme der in den hochentwickelten Industrieländern pro Kopf und pro Konsumeinheit vorherrschenden Ressourcenverbrauchs-, Emissions- und Abfallmengen gelingen, so wäre dies mit nicht mehr akzeptablen ökologischen Folgen verbunden. Infolge des Zusammenbrechens von Ökosystemen müßte dann auch mit katastrophalen ökonomischen und sozialen Folgen gerechnet werden. Dies verschärft das ökologische Problem in zweifacher Weise:

1. Bevölkerungswachstum und Armut bedingen sich gegenseitig. Die Weltbevölkerung wächst dort, wo große Armut herrscht schneller, als dies bei erfolgreicher wirtschaftlicher Entwicklung der Fall wäre. Damit verschärfen sich die aus dem Bevölkerungsanstieg resultierenden Umweltprobleme.
2. Menschen, die ums Überleben kämpfen, verfügen in der Regel über ein geringes Umweltbewußtsein, arbeiten aufgrund von Kapitalmangel zumeist mit unbefriedigenden Umweltechnologien und sind aus Überlebensgründen häufig gezwungen, ihre eigenen ökologischen Grundlagen zu zerstören.

Mit dem Konzept einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung wird ein Entwicklungskonzept gesucht, das den durch die bisherige Wirtschafts- und Lebensweise in den Industrieländern verursachten ökologischen Problemen und den Bedürfnissen in der Dritten Welt unter Berücksichtigung der Interessen künftiger Generationen gleichzeitig Rechnung trägt.

Um den unterschiedlichen Ausgangsbedingungen in Industrieländern und Entwicklungsländern gerecht zu werden, sind individuelle Konzepte zu entwickeln. Generell sind Größen, wie „Konsumeinheiten pro Kopf“ und „Umweltzerstörung pro Konsumeinheit“,

für beide Bereiche anzuwenden, da sie sowohl die Aufsummierung geringer Einzelwirkungen durch hohen Konsum wie auch große Einzelwirkungen bei niedrigem Konsum berücksichtigen. Die Beeinflussung von Stoffströmen im Sinne einer Verminderung durch geringeren Materialverbrauch bei gleichem Nutzeffekt bzw. einer Orientierung an „Ökodienstleistungen“ ist für Industrieländer von übergeordneter Bedeutung.

Der aus der entwicklungspolitischen Diskussion stammende Begriff Sustainable Development, der mit der Veröffentlichung des Brundtland-Berichtes 1987 bekannt wurde (Hauff, 1987; WCED, 1987), hat insbesondere in den Beschlüssen und Veröffentlichungen der „UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung“, die 1992 in Rio stattfand, und im Fünften Umweltaktionsprogramm der Europäischen Gemeinschaft seinen Niederschlag gefunden (UNCED, 1992; BMU, 1992a; EG, 1992). Mehr als 150 Regierungen sowie die Internationale Handelskammer (ICC) haben sich diesem Leitbild verpflichtet.

Heute wird in der Diskussion der Idee einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung neben anderen Kategorien von Kapital vor allem die Erhaltung des sog. natürlichen Kapitals betont, d. h. es wird die Sicherung der ökologischen Leistungsfähigkeit bzw. des natürlichen Produktionssystems im Interesse der künftigen Generationen in den Vordergrund gestellt. Die Idee einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung geht bei der Problembeschreibung des Begriffs natürliches Kapital somit von den Funktionen aus, die das natürliche System (Ökosphäre) für das wirtschaftliche System (Technosphäre) wahrnimmt (Deutscher Bundestag, SRU, 1987, S. 15, Tz. 5:

- Die Produktionsfunktionen haben die Versorgung der Gesellschaft mit Produkten und Gütern der natürlichen Umwelt zum Gegenstand, um Elementarbedürfnisse zu erfüllen bzw. natürliche Ressourcen verfügbar zu machen.
- Die Trägerfunktionen bestehen darin, daß die Aktivitäten, Erzeugnisse und Abfälle menschlichen Handelns von der Umwelt aufgenommen und „ertragen“ werden müssen.
- Die Informationsfunktionen erfüllen den Fluß oder Austausch von Informationen zwischen Umwelt und Menschen bzw. Gesellschaft sowie anderen Lebewesen. Informationen dienen zur Orientierung und vor allem zur Regelung von Bedürfnisbefriedigungen.
- Die Regelungsfunktionen werden benötigt, um grundsätzlich wichtige Vorgänge des Naturhaushaltes, die durch Mensch oder Gesellschaft beansprucht oder erwartet werden, im Gleichgewicht zu halten, um die Folgen von Eingriffen aufzufangen oder auszugleichen.
- Ästhetische und Erholungs-Funktionen der Natur haben eine hohe soziale und kulturelle Bedeutung.

Insbesondere die Funktionen der Ressourcenbereitstellung und der Aufnahme von Rückständen werden als nicht ersetzbare Leistungen der Natur angesehen,

die die Möglichkeiten menschlichen Wirtschaftens begrenzen können. Um spätere Generationen bezüglich der Umweltqualität und der Versorgung mit natürlichen Ressourcen nicht schlechter zu stellen, soll der natürliche Kapitalstock daher zumindest konstant gehalten werden. Damit ist weniger die mengenmäßige Erhaltung, sondern vor allem die Sicherung der oben angesprochenen Umweltfunktionen gemeint.

Aus der so verstandenen Forderung nach Erhalt des natürlichen Kapitalstocks lassen sich nun auf einer ersten operativen Ebene folgende allgemeine Forderungen, auch Managementregeln genannt, für den Umgang mit Stoffen formulieren:

- Die Abbaurate erneuerbarer Ressourcen darf ihre Regenerationsrate nicht überschreiten. Dies entspricht der Forderung nach Aufrechterhaltung der ökologischen Leistungsfähigkeit, d. h. (mindestens) nach Erhaltung des von den Funktionen her definierten ökologischen Realkapitals.
- Stoffeinträge in die Umwelt dürfen sich nicht nur an der Belastbarkeit der Produktions- und Trägerfunktion orientieren, sondern müssen alle Funktionen, nicht zuletzt auch die „stille“ und empfindlichere Regelungsfunktion berücksichtigen.
- Nicht erneuerbare Ressourcen dürfen nur in dem Umfang verwendet werden, in dem ein physisch gleichwertiger Ersatz in Form erneuerbarer Ressourcen oder höherer Produktivität der erneuerbaren Ressourcen geschaffen wird.

Während über die ersten beiden „Regeln“ im Grundsatz schon weitgehend Konsens herrscht, ist die dritte „Regel“ noch umstritten. Insbesondere die Frage nach den Möglichkeiten und Grenzen der Substituierbarkeit

von Ressourcen bedarf einer intensiven Diskussion.

Diese an der Idee einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung orientierte Stoffpolitik kann nur durch ein geeignetes Stoffstrommanagement realisiert werden. Der Begriff des Stoffstrommanagements steht nachfolgend für den Versuch einer Beeinflussung von Stoffvolumen und Stoffstruktur, wobei offen bleibt, auf welche Weise die stoffpolitische Umsetzung der hier diskutierten Leitbilder erfolgen soll. Inwieweit eine solche Steuerung z. B. auf eine interventionistische Weise, d. h. durch unmittelbares und direktes Eingreifen des Staates, oder über eine Beeinflussung wirtschaftlicher Rahmenbedingungen erfolgen soll, ist noch umstritten.

Die Steuerung von Stoff- und Energieströmen nach ökologischen, aber auch wirtschaftlichen und sozialen Zielen, sollte auf der Basis einer ökologisch-sozialen Marktwirtschaft erfolgen.

Unabhängig von den hier aufgeführten Positionen muß sichergestellt sein, daß mit der Idee einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung ein Stoffstrommanagement realisiert werden kann, dem eine andere Umweltschutzpolitik als bisher zugrunde liegt. Die Umweltschutzpolitik, wie wir sie heute kennen, ist noch zu sehr auf das Reagieren auf vorhandene Probleme ausgerichtet. Auch im Bereich der Umweltschutzpolitik wird es notwendig sein, sich verstärkt auf die Prinzipien der sozialen Marktwirtschaft zu besinnen.

Um dies erreichen zu können, sollte verstärkt eine Diskussion zu möglichen marktkonformen Instrumenten geführt werden.

### **Entstehung des Konzepts einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung (Sustainable-Development)**

Im folgenden wird eine Übersicht über die Entstehung des Sustainable-Development-Konzepts und seine Adaption in der internationalen umwelt- und entwicklungspolitischen Diskussion gegeben.

Die Entstehung des Begriffs Sustainable Development hat ihre Wurzeln in einer teilweise schon sehr alten Diskussion über dauerhafte Entwicklung, die insbesondere auf das Prinzip der Nachhaltigkeit in der Forstwirtschaft zurückgeht.

Im Jahre 1972 gipfelten verschiedene Einzelbeiträge ökologischer Kritik zu einer Gesamtschau. In diesem Jahr erschien die Studie von Meadows und Mitarbeitern „Die Grenzen des Wachstums“ (Meadows, 1992). Im selben Jahr wurde das United Nations Environmental Programme (UNEP) gegründet und die erste große UN-Konferenz über „Human Environment“ in Stockholm durchgeführt. Für einen alternativen, auf Umwelt- und Sozialverträglichkeit zielenden Ent-

wicklungspfad, der durch das UNEP und andere Organisationen, wie die Dag Hammarskjöld Foundation konzipiert wurde, wurde 1973 von Maurice Strong, dem ersten Executive-Director des UNEP, der Begriff des „Eco-Development“ geprägt.

Ziel dieses Konzepts war es, einen analytisch-strategischen Mittelweg zwischen den sich Mitte der 70er Jahre relativ starr gegenüberstehenden radikal-konservativ „ökozentristischen“ und den „technozentristischen“ Extrempositionen zu finden.

Im Dag-Hammarskjöld-Report von 1975, der die Überschrift „Was tun?“ trug, wurden die Aspekte Grundbedürfnisbefriedigung als Antwort auf armutsbedingte Bevölkerungsvermehrung und armutsbedingte Umweltzerstörung sowie Reduzierung des Umweltverbrauchs der Reichen in die Diskussion um ein stabiles ökologisches und soziales Gleichgewicht eingeführt (Dag-Hammarskjöld-Bericht, 1975). Der



Terminus Sustainable Development erschien erstmals in der von der International Union for the Conservation of Nature (IUCN) in Kooperation mit verschiedenen UN-Organisationen 1980 veröffentlichten World Conservation Strategy (WCS).

Den wesentlichen Anstoß zur Problematisierung der politischen Aspekte des Sustainable Development und den wichtigsten Beitrag zur Verbreitung dieses Begriffs leistete die World Commission on Environment and Development mit der Veröffentlichung ihres 1987 erschienenen Abschlußberichts „Our Common Future“ (Brundtland-Bericht) (Hauff, 1987).

Der Brundtland-Bericht ging bei der Interpretation des Begriffes Sustainable Development vom Kriterium der Chancengleichheit für künftige Generationen aus und definierte Sustainable Development als „dauerhafte Entwicklung, die den Bedürfnissen der heutigen Generation entspricht, ohne die Möglichkeiten künftiger Generationen zu gefährden, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen und ihren Lebensstil zu wählen“. Die Wohlstandssituation heutiger wie auch künftiger Generationen wurde als von einem „natürlichen“ und einem „künstlichen“ Realkapitalbestand abhängig angesehen und jede Gesellschaft darauf verpflichtet, eine die künftigen Generationen gefährdende „Auszehrung“ dieser Bestände zu verhindern. Nachhaltige Entwicklung wurde dabei beschrieben als „ein Prozeß tiefgreifender Veränderungen, in dem die Nutzung der Ressourcen, die Struktur der Investitionen, die Art des technischen Fortschritts und die institutionellen Strukturen mit den zukünftigen und den gegenwärtigen Bedürfnissen in Einklang gebracht werden.“

Die Diskussion über die Ergebnisse des Brundtland-Berichts war ein wichtiger auslösender Faktor für die 1992 in Rio abgehaltene „UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung“. Im Kontext dieser Konferenz und der sie begleitenden Veranstaltungen entwickelte sich der Begriff Sustainable Development zum zentralen Leitbild der globalen Umweltdiskussion (Harborth, 1991; Kopfmüller, 1993).

### Umwelt und Entwicklung als Gewerkschaftsthema

Auf dem 15. Weltkongreß des Internationalen Bundes Freier Gewerkschaften (IBFG) im März 1992 wurden „Umwelt und Entwicklung als Gewerkschaftsthema“ behandelt (IBFG, 1992). Der Bericht von diesem kurz vor der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung abgehaltenen Kongreß geht in dem Handlungsprioritäten gewidmeten Kapitel auf das Konzept einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung ein:

„Auf dem Weg zur dauerhaften Entwicklung

Zahlreiche Versuche sind unternommen worden, eine weltweit annehmbare Definition des Begriffes ‚dauerhafte Entwicklung‘ zu finden, seit er erstmals weitreichender im Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung (Brundtland-Bericht) verwandt wurde. Es gibt noch immer keine bessere allgemeine Definition als die, die der Bericht ver-

wandte, und es ist vielleicht auch nicht notwendig, nach einer neuen zu suchen. Was die Gewerkschaften betrifft, so ist dauerhafte Entwicklung etwas, das von der Vorstellung der ‚Gesamtqualität‘ abhängt. Das Konzept der Gesamtqualität impliziert den effizientesten Einsatz von Mitteln, die sichersten zu erzielenden Produktionsformen, das bestmögliche Produkt, die geringste Abfallerzeugung, einen ‚Lebenszyklus‘-Ansatz zur Wirtschafts- und Industrieaktivität einschließlich einer ständigen Verantwortung auf Seiten der Regierungen, der Industrie und der Einzelpersonen und die ‚Internalisierung‘ der Umwelt- und Sozialkosten.

Der Brundtland-Bericht nannte eine Reihe von Elementen, die von maßgeblicher Bedeutung für die Definition der dauerhaften Entwicklung sind. Diese sind:

- die Notwendigkeit, das Bevölkerungswachstum zu kontrollieren;
- die Förderung eines technologischen Wandels, der dem ‚sauberen, grünen‘ Wachstum zuträglich ist;
- eine Preispolitik, die die relative Knappheit natürlicher Rohstoffe reflektiert;
- die Reformierung von Institutionen in der Art und Weise, daß ökologische und ökonomische Strategien sich tatsächlich ergänzen;
- Verbesserung von Qualität und Quantität jener Faktoren, die zum allgemeinen Wohlergehen beitragen — z. B. qualifizierte Arbeitsplätze, Schulung und Bildung;
- Beeinflussung des Produktions- und Konsumschemas zur Konservierung nur begrenzt verfügbarer Rohstoffe und zur Förderung des Entstehens einer ausgewogeneren Situation.

Wenn die Vorstellung von der ‚Gesamtqualität‘ oder der dauerhaften Entwicklung in die Realität umgesetzt werden soll, wird eine erhebliche Verhaltensänderung sowohl bei den Erzeugern als auch den Verbrauchern stattfinden müssen. Es gibt erste Hinweise dafür, daß diese Änderung zumindest auf Seiten der Verbraucher stattfindet — sie ist allerdings sehr ungleichmäßig über die Welt verteilt. In demokratischen Ländern mit einem hohen Lebensstandard und gebildeten Wählerinnen und Wählern mit einem hochentwickelten Umweltbewußtsein ist es viel wahrscheinlicher, daß eine von den Verbrauchern gesteuerte Bewegung für Gesamtqualität und Dauerhaftigkeit eintritt als in den Ländern (die in der Überzahl sind), in denen diese Bedingungen nicht existieren und wo die Menschen gezwungen sind, das anzunehmen, was angeboten wird oder ganz zu verzichten. Die ‚Verbraucherwahl‘ ist ein Schlagwort, das für Milliarden von Menschen auf diesem Planeten heute bedeutungslos wäre, und typischerweise sind es jene Produkte, die die Verbraucher in den hochindustrialisierten Ländern

ablehnen, die dann in den Entwicklungsländern landen." (IBFG, 1992, S. 23f.).

### Beiträge der Umweltverbände zum Konzept Sustainable Development

Die Umweltverbände haben sich bereits Ende der 70er Jahre mit der Frage eines neuen wirtschaftspolitischen Leitbilds beschäftigt, das letztlich schon die Frage nach der „Dauerhaftigkeit“ ökologisch orientierten Wirtschaftens in sich trug, ohne daß der Begriff des Sustainable Development bereits geprägt gewesen wäre.

So wurde eine neues „magisches Dreieck“ der Wirtschaftspolitik, bestehend aus den Komponenten Preisstabilisierung, Vollbeschäftigung und Umweltstabilisierung, gefordert (Binswanger, 1978). U. a. war die Rede von der Substitution umweltbelastender Produkte, Herstellung längerlebiger Produkte und der Wiedereingliederung von Produkten und Konsum in ökologische Kreislauf- und Regenerationsprozesse. Damit wurde das seinerzeit populäre Schlagwort vom „Qualitativen Wachstum“ gefüllt.

Diese Strategien wurden verfeinert (z. B. Binswanger et al., 1983) und schließlich um ökonomische Instrumente ergänzt (Nutzinger/Zahrnt, 1989). Anstöße in der Diskussion der Umweltverbände weltweit boten hier nicht nur der Brundtland-Bericht, sondern schon wesentlich früher „Global 2000“, ein Bericht an den US-Präsidenten, dessen Warnungen vor einer völligen Übernutzung der Ressourcen allerdings in der Reagan-Administration kein Gehör fanden (Barney, 1980).

Der internationale Charakter dieser Diskussion hatte u. a. die Gründung der „Friends of the Earth“ zur Folge, die mittlerweile in allen wichtigen Ländern der Erde durch nationale Organisationen vertreten sind. Angelehnt an eine Publikation niederländischer Umweltverbände, „Sustainable Netherlands“ (Brakel, van Buitenkamp, 1992) und aufbauend auf den Diskussionen über Klimaschutz, Chemisierung und ökonomische Instrumente legte der Arbeitskreis „Ökologisches Wirtschaften“ des Deutschen Umwelttages 1992 ein Papier vor, in dem es unter „Ökologische Zielvorstellungen“ u. a. heißt:

„Die zunehmend weltweite Bedrohung und Zerstörung von Natur und Umwelt schädigt immer mehr auch die Grundlagen wirtschaftlicher Aktivität. Langfristig kann eine Industriegesellschaft nur Bestand haben, wenn die Lebens- und Produktionsgrundlagen erhalten und gepflegt werden. Ökologisches Wirtschaften verlangt die Begrenzung der Naturnutzung auf ein Maß, das die Regenerationsfähigkeit der Natur nicht überfordert ... Es gilt, die soziale Marktwirtschaft zu einer ökologisch-sozialen Marktwirtschaft weiterzuentwickeln. Deren zentrales Merkmal ist, daß sie nicht nur der Nutzung menschlicher Arbeitskraft, sondern auch der Naturnutzung Grenzen setzt ... Die Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen muß einen Stellenwert erhalten, wie er gegenwärtig dem Sozialstaatsprinzip zukommt ...“ (Deutscher Umwelttag, 1992).

### Beiträge der Industrie zum Konzept Sustainable Development

Charter für eine langfristig tragfähige Entwicklung der Internationalen Handelskammer (ICC)

Die internationale Handelskammer (International Chamber of Commerce, ICC) hat auf der Zweiten Weltindustriekonferenz für Umweltmanagement (WICEM II) im April 1991 die Charter für eine langfristig tragfähige Entwicklung verkündet. Die Charter, die sich auf die Grundaussagen der Brundtland-Kommission von 1987 bezieht, soll den Unternehmen „dabei behilflich sein, ihr Engagement für die Umwelt umfassend in die Praxis umzusetzen“.

„Langfristig tragfähige Entwicklung bedeutet, den Bedürfnissen der Gegenwart zu entsprechen, ohne künftige Generationen in ihrer Fähigkeit zu beeinträchtigen, ihre eigenen Bedürfnisse zu befriedigen. Wirtschaftliches Wachstum schafft die Voraussetzungen für die bestmögliche Verwirklichung von Umweltschutz, und dieser wiederum ist in ausgewogener Verbindung mit anderen menschlichen Zielen notwendig, um umweltverträgliches Wachstum zu erreichen.“

... Die Wirtschaft teilt daher die Auffassung, daß wirtschaftliche Entwicklung und Umweltschutz heute und für künftige Generationen nicht ein Zielkonflikt, sondern eine gemeinsame Aufgabe sein sollten. Die Marktkräfte mit Hilfe von erfolgsorientierten Standards und der vernünftigen Anwendung wirtschaftlicher Instrumente im Rahmen von ausgewogenen Regelungen für den Schutz der Umwelt zu nutzen — dies ist eine der größten Herausforderungen, denen die Welt sich im kommenden Jahrzehnt zu stellen hat.“ (ICC, 1991)

Zur aktiven Vorbereitung der UN-Konferenz in Rio gründete der Schweizer Unternehmer Stephan Schmidheiny das Business Council for Sustainable Development (BCSD), in dem Spitzenvertreter der internationalen Wirtschaft eine globale unternehmerische Perspektive für eine nachhaltige Entwicklung erarbeiteten. In seinem Buch „Kurswechsel“ (Schmidheiny 1992) wird an Fallbeispielen international bekannter Konzerne dokumentiert, daß umweltverträgliches Wachstum möglich ist. Im Dezember 1992 erklärte der Europäische Verband der Chemischen Industrie (CEFIC) in einem Positionspapier „CEFIC Statement On An Integrated Approach Towards Sustainable Development“ seinen Willen, als verantwortlicher Partner an der Erarbeitung eines integrierten Ansatzes zur Erreichung des Sustainable Development mitzuarbeiten (Cefic 1992).

### Rio-Deklaration

Die Rio-Deklaration stellt den Anspruch aller Menschen auf ein gesundes und produktives Leben im Einklang mit der Natur in den Vordergrund. Das Recht auf Entwicklung muß auf eine Weise erfüllt werden, die den Bedürfnissen heutiger und künftiger Generationen gerecht wird. Die Deklaration erkennt die besondere Verantwortung der Industrienationen an,



die sie angesichts der durch ihre Gesellschaften verursachten globalen Umweltbelastungen und angesichts ihrer technologischen und finanziellen Möglichkeiten bei dem internationalen Streben nach nachhaltiger Entwicklung tragen. Sie enthält das Vorsorge- und Verursacherprinzip und fordert die Integration des Umweltschutzes in alle Politikbereiche sowie die Durchführung von Umweltverträglichkeitsprüfungen, die Beteiligung der Öffentlichkeit und gerichtliche Kontrollmöglichkeiten.

Die Deklaration fordert eine wirksame Umweltgesetzgebung und hebt die Bedeutung des Einsatzes ökonomischer Instrumente und der Internalisierung der Kosten hervor (BMU, 1992 a, S. 14).

### Agenda 21

Mit dem Aktionsprogramm „Agenda 21“ hat die Rio-Konferenz für alle wesentlichen Bereiche der Umwelt- und Entwicklungspolitik detaillierte Handlungsaufträge an alle Staaten formuliert, um einer weiteren Verschlechterung der Situation entgegenzuwirken, eine schrittweise Verbesserung zu erreichen und eine nachhaltige Nutzung der Ressourcen sicherzustellen.

Die in 40 Kapiteln beschriebenen Handlungsaufträge haben einen vielfältigen direkten oder indirekten Bezug zu den Themen einer Stoffpolitik. In den Kapiteln 19, 20 und 21 sind Regeln für einen umweltverträglichen Umgang mit gefährlichen Chemikalien, gefährlichen Abfällen und generell mit festen Abfällen formuliert, die auch die Verhinderung bzw. das Verbot des illegalen internationalen Handels mit gefährlichen Produkten und Abfällen beinhalten. Die Kapitel, die Festlegungen zum Schutz der Erdatmosphäre, der Landressourcen, der Meere und der Wasserressourcen sowie zum Erhalt der biologischen Vielfalt und zur Förderung einer nachhaltigen Land- und Forstwirtschaft enthalten (Kap. 9, 10, 11, 14, 15, 17 und 18), konkretisieren die Forderungen des Konzepts eines Sustainable Development nach (mindestens) Erhalt der stoffpolitisch relevanten Funktionen des natürlichen Produktionssystems — Ressourcenbereitstellung und Aufnahme von Rückständen.

Für die Durchsetzung einer nachhaltigen Entwicklung werden u. a. Maßnahmen zur Förderung des Zugangs zu und des Transfers von umweltfreundlichen Technologien, zur Förderung der Forschung für eine nachhaltige Entwicklung und zur entsprechenden Förderung der Schulbildung, des öffentlichen Bewußtseins und der beruflichen Ausbildung beschrieben (Kap. 34, 35, 36).

Maßnahmen zur Integration von Umweltschutz- und Entwicklungszielen in alle Entscheidungsprozesse zielen auf eine Abkehr von rein sektoraler Umwelt- und Entwicklungspolitik, die Schaffung ordnungsrechtlicher und ökonomischer Instrumente sowie eine ausreichende Informationsbasis zur Interdependenz zwischen Umwelt und wirtschaftlicher Entwicklung. Hierzu wird ein Programm zur Entwicklung einer umweltökonomischen Gesamtrechnung vorgeschlagen (Kap. 8).

Zur Änderung nicht nachhaltiger Produktions- und Konsummuster wird ein besseres Verständnis des Zusammenhangs zwischen Produktion, Verbrauch, technischer Anpassung und Innovation, Wirtschaftswachstum und Bevölkerungsentwicklung sowie die Entwicklung und Förderung von Produktions- und Konsummustern als notwendig angesehen, die geringere Umweltbelastungen mit sich bringen und eine Befriedigung der Grundbedürfnisse aller Menschen ermöglichen (Kap. 4) (BMU, 1992 a).

### Fünftes EG-Umweltaktionsprogramm „Towards Sustainability“

Das in offizieller deutscher Übersetzung als Programm „Für eine dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung“ bezeichnete Fünfte Umweltaktionsprogramm der Kommission der Europäischen Gemeinschaften wurde im April 1992 vorgelegt. Es unterscheidet sich von seinen Vorläufern dadurch, daß es kein Programm nur für die Umweltpolitik ist. Es gründet vielmehr auf der Erkenntnis, daß „die Erfordernisse des Umweltschutzes bei der Festlegung und Umsetzung der anderen Politiken der Gemeinschaft mit einbezogen werden müssen.“ (EG, 1992, S. 3). Angesichts der weiterhin zu beobachtenden Verschlechterung des allgemeinen Zustandes der Umwelt innerhalb der Gemeinschaft wird die „Notwendigkeit einer weitreichenden Politik und einer wirksameren Strategie herausgestrichen“ (S. 2).

Das Programm ist unter Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der Volkswirtschaften auf die Integration von Umweltzielen in andere Politikfelder ausgerichtet, von denen bedeutende Auswirkungen auf die Umweltqualität und die Ressourcennutzung ausgehen. Das bedeutet „die Einbeziehung umweltspezifischer Überlegungen in die Formulierung und Umsetzung von Wirtschaftspolitik und sektorbezogener Politik sowie bei behördlichen Entscheidungen und die Berücksichtigung dieser Aspekte bei der Durchführung und Entwicklung von Fertigungsverfahren sowie im Verhalten und Verbrauch jedes einzelnen.“ (S. 3f.).

Bei der Definition des Begriffs „Sustainable Development“ bzw. „dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung“ wird die von der Brundtland-Kommission geprägte Formulierung aufgegriffen:

„Entwicklung, die die Bedürfnisse der Gegenwart einlöst, ohne die Fähigkeit der künftigen Generationen, ihre Bedürfnisse zu erfüllen, zu beeinträchtigen“ (S. 4). Als allgemeine Ziele werden genannt: ...„die Bewahrung des Gleichgewichtes und des Wertes der natürlichen Ressourcen, die Neufestlegung von Kriterien für kurz-, mittel- und langfristige Kosten-Nutzenanalysen, Instrumente zur Verdeutlichung der tatsächlichen sozioökonomischen Auswirkungen und die gerechte Verteilung und Verwendung von Ressourcen zwischen allen Nationen und Regionen der Welt“ (S. 4).

Zur Verwirklichung einer dauerhaften und umweltgerechten Entwicklung werden folgende praktische Forderungen aufgestellt:

- Aufgrund der begrenzten Verfügbarkeit von Rohstoffen sollte der Fluß aller Stoffe über Verarbeitung, Einsatz und Verbrauch so gesteuert werden, daß eine optimale Wiederverwendung oder Wiederverwertung erleichtert und gefördert wird, womit Abfall vermieden und der Abbau des Vorrats an natürlichen Ressourcen verhindert werden würde;
- Energieerzeugung und -verbrauch sollen rationalisiert werden;
- Verbrauchs- und Verhaltensmuster der Gesellschaft sollen verändert werden" (S. 4).

Insgesamt ist das Programm weniger als Auflistung abzuarbeitender Ziele, sondern vielmehr als Orientierung auf einen politischen Prozeß zu sehen, bei dem es um die konsensorientierte, gemeinschaftliche Erarbeitung und Verfolgung von Zielen zur Ressourcenschonung und zum Umweltschutz sowie deren Umsetzung geht. Dadurch bedeutet das Programm auch eine Umorientierung der europäischen Umweltpolitik von einer reaktiven zu einer proaktiven Umweltpolitik, d. h. einer Umweltpolitik, die darauf abzielt, die gesellschaftlichen Akteure und insbesondere die Wirtschaft durch Schaffung geeigneter Rahmenbedingungen zu einem umweltgerechten Verhalten im Vorfeld sonst notwendig werdender staatlicher Eingriffe zu ermutigen. Insbesondere sollen ökonomische

Nachteile für diejenigen, die ökologische Verbesserungen einführen, vermieden werden.

Das Programm behandelt eher Politiken und Strategien zur Umkehr bestehender Tendenzen als spezifische Maßnahmen und beruht auf dem Konzept der gemeinsamen Verantwortung sowie dem Subsidiaritätsprinzip.

Zur Konkretisierung dieser Konzeption werden Strategien bzw. „Maßnahmenpakete“ für fünf ausgewählte Schwerpunktbereiche beschrieben, die besonders deutliche Auswirkungen auf die gesamte Umwelt haben und denen besondere Bedeutung bei den Bemühungen um eine dauerhafte, umweltgerechte Entwicklung zukommt: Industrie, Energie, Verkehr, Land- und Forstwirtschaft sowie Tourismus.

Neben diesen Schwerpunktbereichen werden unter den Überschriften „Programmthemen und -ziele“ und „Risikomanagement und Unfallüberwachung“ zehn weitere Themenkomplexe abgehandelt, die von Klimaveränderungen über Wasser- und Abfallwirtschaft bis zum Katastrophenschutz reichen.

Angesichts der anhaltenden Verschlechterung der allgemeinen Umweltsituation wird die Notwendigkeit umgehenden Handelns betont: „Wir können es uns nicht leisten abzuwarten ... und dann herauszufinden, einen Fehler gemacht zu haben!“ (S. 22).

### 3.3 Stoffpolitik, Entwicklungspolitik und Bevölkerungswachstum

Im Anschluß der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung von 1992 in Rio wurde der Begriff „Sustainable Development“ gleichsam zum übergreifenden Ziel der Entwicklungs- und Umweltpolitik erklärt. Allein an zwölf Stellen der 27 Prinzipien der Rio-Deklaration findet sich dieser Begriff; in der sog. Agenda 21 wird er zur tragenden Leitidee. Versucht man sich an eine Konkretisierung des mit dem Begriff „Sustainable Development“ verbundenen Leitbildes heranzuarbeiten, sollten die zentralen Begriffe „Entwicklung“ und „Dauerhaftigkeit“ bzw. „Nachhaltigkeit“ einer genaueren Betrachtung unterzogen werden. Bereits der Entwicklungsbegriff läßt vielfältige Interpretationen zu. Heute herrscht hier die Auffassung vor, daß er mehr beinhaltet als allein wirtschaftliches Wachstum. Folgt man etwa den Interpretationen namhafter Experten der Entwicklungsländerforschung (Pearce et al., 1990), sollte der Entwicklungsbegriff nicht nur

- die Erhöhung des realen Pro-Kopf-Einkommens, sondern auch
- die Verbesserung des Gesundheitszustandes und der Ernährungssituation,
- die Verbesserung des Bildungsstandes,
- den Zugang zu den Ressourcen,
- eine „faire“ Einkommensverteilung und
- die Erhöhung der Basis-Freiheiten umfassen.

Nach Ansicht der Enquete-Kommission ist diese Liste noch um die folgenden Punkte zu erweitern:

- Erhöhung des Beschäftigungsstandes
- Verbesserung der Situation der Frauen
- Verbesserung der Situation der Kinder.

Die hier vorgestellten Elemente zeigen auf der einen Seite das wirtschaftliche Wachstum auf. Auf der anderen Seite führen sie zu einer „Sustainable Society“, womit die Dauerhaftigkeit in Hinblick auf vorhandene und zukünftige soziale Systeme gemeint ist.

Die Frage ist nun, wie wirtschaftliches Wachstum und die Dauerhaftigkeit sozialer Systeme unter dem Aspekt einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung vereinbart werden können.

Selbst diese Elemente sind aber noch sehr unbestimmt und bedürfen ebenfalls einer weiteren Operationalisierung. Solche Operationalisierungsversuche liegen inzwischen vor. Relevant erscheinen vor allem die Arbeiten des United Nations Development Programme (UNDP), die sich seit geraumer Zeit intensiver mit dem Begriff des Sustainable Development auseinandersetzen. So wird im neuesten „Human Development Report“ (UNDP, 1992) ein bereits im Human Development Report 1990 bzw. 1991 (UNDP, 1990 und 1991) vorgeschlagener „Human Development Index“ (HDI) weiter entwickelt und noch um einen „Political Freedom Index“ (PFI) ergänzt und



weltweit berechnet. Diese mit der Forderung nach Gerechtigkeit zwischen den derzeit lebenden Menschen (intragenerative Gerechtigkeit) verbundenen Elemente des Entwicklungsbegriffs werden im Konzept eines Sustainable Development mit der Forderung nach Gerechtigkeit gegenüber künftigen Generationen (intergenerative Gerechtigkeit) verknüpft. Die postulierte Verteilungsgerechtigkeit gegenüber künftigen Generationen kann dahingehend interpretiert werden, daß diesen vergleichbare Optionen wie der gegenwärtigen Menschheit zum Erreichen eines befriedigenden Wohlstandsniveaus zur Verfügung stehen sollen.

Unverkennbar kommen mit dieser Zielrichtung aber einige grundlegende Probleme ins Spiel. So wissen wir heute sehr wenig um die Bedürfnisse und innovativen Möglichkeiten künftiger Generationen. Insofern ist auch der Begriff der künftigen Optionen nur bedingt verwendbar. Noch schwieriger ist die Frage zu beantworten, welche bevölkerungspolitischen Ziele und Strategien formuliert und realisiert werden müssen, um die Zunahme der Weltbevölkerung in einer Größenordnung zu halten, die mit einer nachhaltigen und zukunftsverträglichen Entwicklung vereinbar ist. Bedenkt man, daß — bei einer Hochrechnung der derzeitigen Entwicklung — die Weltbevölkerung in den nächsten 30 Jahren auf fast 10 Milliarden und in den nächsten 40 Jahren auf möglicherweise 15 Milliarden Menschen wachsen würde, schrumpft der rechnerische Handlungsspielraum der heutigen Menschen bei den endlichen Ressourcen stark zusammen. Insofern gewinnen hier Werturteile, die noch einer tiefergehenden Klärung bedürfen und eine beachtliche ethische Dimension besitzen, an Bedeutung.

Für die Arbeit der Enquete-Kommission ist eine Präzisierung der für eine globale Stoffpolitik wichtigen entwicklungspolitischen Kriterien und Indizes wichtig. Aufgrund regional unterschiedlicher Präferenzen und spezifischer Umwelt- bzw. Entwicklungsprobleme werden länder- und regionspezifische Differenzierungen eines global definierten Entwicklungsbegriffs erforderlich sein. Unterschiede in den Entwicklungsmodellen verschiedener Industrieländer und internationaler Organisationen (OECD, Weltbank) werden ebenso untersucht, wie die hierfür relevanten internationalen Vereinbarungen auf den Sektoren Ökologie und Ökonomie.

Entwicklungsländer und Schwellenländer sind häufig noch weniger als die Industriestaaten über die möglichen ökologischen Folgen aller Aspekte eines Produktionsprozesses (von der Rohstoffgewinnung bis zur Entsorgung) informiert. Hier sind Maßnahmen zu diskutieren, die zur Verbesserung der Situation und damit auch zur Einhaltung der entsprechenden Verpflichtungen aus der Agenda 21 beitragen können.

Es stellt sich die Frage, welche Bedeutung der Bevölkerungsentwicklung einer der nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung verpflichteten globalen Stoffpolitik eingeräumt werden muß.

### 3.4 Stoffpolitische Handlungsfelder und Handlungsansätze

Das Konzept einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung verknüpft entwicklungspolitische Themen und die Problematik des globalen Bevölkerungswachstums mit grundlegenden stoffpolitischen Themen. Die Ressourcenverfügbarkeit und die begrenzte Aufnahmefähigkeit der Umwelt für Rückstände sind zentrale stoffpolitische Fragen. Ihre Beantwortung hängt untrennbar mit der Frage zusammen, wie die Funktionen des natürlichen Produktionssystems als Lieferant von Rohstoffen und Entsorger von Reststoffen durch das künstliche Produktionssystem genutzt werden. Eine nachhaltige und zukunftsverträgliche Entwicklung ist nur dadurch zu erreichen, daß das natürliche und das künstliche Produktionssystem als die beiden miteinander eng verknüpften Standbeine der menschlichen Existenzsicherung verstanden werden. Das Konzept einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung geht deshalb bei seiner Problembeschreibung von den Funktionen aus, die das ökologische System für das wirtschaftliche System wahrnimmt: Ressourcenbereitstellung, Aufnahme von Rückständen sowie immaterielle Nutzung der Natur (Ästhetik, Erholung usw.). Aus dem begrenzenden Charakter des ökologischen Systems (Aufnahme, Abbau, Speicherung usw.) leitet das Konzept einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung die ethisch motivierte Handlungsmaxime ab, diese Begrenzung nicht auf künftige Generationen abzuwälzen, sondern jeder Generation aufzubürden. Dieser Grundgedanke findet seinen Ausdruck in den als Verpflichtung bereits dargelegten Managementregeln.

Die Operationalisierbarkeit dieser Managementregeln hängt in starkem Maße davon ab, wie präzise die Leistungsfähigkeit und die Belastungsgrenzen des natürlichen Produktionssystems hinsichtlich der Funktionen, z. B. der Ressourcenbereitstellung und der Aufnahme von Rückständen bestimmt werden können.

Bei allen komplexen Umweltschäden tritt das „Problem der Unsicherheiten“ auf. Hierzu zählen die Probleme unbekannter Ursachen, Wirkungszusammenhänge, Probleme der Identifikation von Verursachern sowie Probleme der Bestimmung, Abgrenzung und Definition des Schadens. Diese Unsicherheiten treten besonders deutlich bei den Versuchen zutage, die volkswirtschaftlichen Kosten der Umweltzerstörung zu berechnen.

Darüber hinaus sind diese neuen für eine Stoffpolitik besonders relevanten Risiken durch eines oder mehrere der folgenden fünf zusätzlichen Kennzeichen charakterisierbar:

- Globalität: Ihre Auswirkungen erstrecken sich über den ganzen Globus.
- Irreversibilität: Einmal eingetretene Schäden lassen sich nicht oder nur über sehr lange Zeiträume und unter extrem hohen Kosten wieder rückgängig machen.

- Zeit- bzw. Beschleunigungsfaktor: Veränderungen der stofflichen Zusammensetzung der Umwelt erfolgen so schnell, daß evolutionserprobte Anpassungsmechanismen nicht mehr funktionieren.
- Schädigung und Schäden verteilen sich ungleich über den Globus. Daraus ergeben sich Verteilungskonflikte innerhalb einer Generation.
- Schädigung und Schäden verteilen sich ungleich über die Generationen. Daraus ergeben sich Verteilungsprobleme zwischen Generationen.

Die stoffpolitisch relevante Aufgabe ist es, die Managementregeln des Konzepts einer nachhaltig umweltverträglichen Entwicklung unter Beachtung der skizzierten Unsicherheiten zu operationalisieren. Die Managementregel für erneuerbare Ressourcen, nach der die Abbaurate erneuerbarer Ressourcen deren Regenerationsrate nicht übersteigen darf, liegt auch der traditionellen Ressourcenökonomie zugrunde und kann daher als vergleichsweise gut erforscht betrachtet werden. Die nachhaltige Nutzung erneuerbarer Ressourcen setzt die Erhaltung der natürlichen Lebensgrundlagen voraus (z. B. die Erhaltung der Bodenfruchtbarkeit oder der Wasserreservoirie nach Menge und Güte). Die Operationalisierbarkeit der Managementregel für nicht erneuerbare Ressourcen und die Frage der Substituierbarkeit der Ressourcen muß in der Enquete-Kommission noch geklärt werden.

Die Operationalisierung der Managementregel zum Schutz der Aufnahmefähigkeit, nach der die Stoffeinträge in die Umwelt die Belastbarkeit der Ökosysteme nicht überschreiten dürfen, stellt eines der schwierigsten Probleme des Konzepts einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung dar. Festgelegt werden muß, welche maximale Schadstoffbelastung zugelassen werden kann, ohne daß diese zentrale Funktion des ökologischen Systems geschädigt wird. Das Grundproblem stoffspezifischer Betrachtungen resultiert hierbei aus der Tatsache, daß die Inanspruchnahme und die eventuelle Änderung der Aufnahmefähigkeit nicht von einzelnen Stoffen, sondern von der Gesamtbelastung abhängt. Daraus folgt, daß die Managementregel zum Schutz der Aufnahmefähigkeit in aller Regel nicht auf Einzelstoffe „heruntergebrochen“ werden kann. Eine Ausnahme von dieser Regel läßt sich ökologisch nur dann begründen, wenn ein einzelner Stoff aufgrund seiner Quantität oder seiner qualitativen Wirkungen den entscheidenden Faktor bei der Nutzung der Aufnahmefähigkeit darstellt (Brenck, 1991). Beachtet werden muß ebenfalls, inwieweit durch technische Prozesse die Schädlichkeit von Einzelstoffen bei Ablagerungen vermindert werden kann (Brunner, 1992).

Die Lösung des oben skizzierten Informationsproblems ist mit vielen Schwierigkeiten verbunden. Es gibt aber bereits interessante Ansätze. So wird beispielsweise in den Niederlanden das AMOEBA-Projekt (übersetzt steht AMOEBA für „Allgemeine Methode der Beschreibung und Bewertung ökologischer Systeme“) durchgeführt, das als Lösungsansatz für dieses Problem interpretiert werden kann (Brink, 1991). Im Rahmen dieses Projektes zum Gewässerschutz wurde wie folgt vorgegangen:

Zunächst wurde auf der Grundlage der Zustandsbeschreibung von Gewässern zu einem bestimmten Zeitpunkt ein ökologischer Referenzzustand festgelegt, der die nachhaltige Erfüllung der ökologischen Funktionen der Gewässer — weitestgehend — sicherstellt. Differenzen zwischen Ist- und Sollzustand werden danach beurteilt, ob sie als Indiz für eine ernsthafte Störung der Regelungsfunktion des ökologischen Systems gelten können.

Eine andere Art von Indikator für den Belastungszustand von Ökosystemen wurde im Rahmen des von Baccini und Brunner entwickelten Konzeptes regionaler Stoffstromanalysen formuliert: Ein anthropogener Stoffstrom ist danach so lange als nicht riskant anzusehen, solange er innerhalb der Variationsbreite des entsprechenden natürlichen Stoffflusses bleibt. Dieser Indikator ist auf synthetische Stoffe nur sehr begrenzt anwendbar (Brunner, 1992).

Die Enquete-Kommission prüft noch, inwieweit sich diese Ansätze als Informations- und Entscheidungsgrundlagen einer Stoffpolitik eignen.

Die im Rahmen des Sustainable-Development-Ansatzes entwickelten Managementregeln für den Umgang mit Stoffen korrespondieren mit konkreten Konzepten aus anderen stoffpolitisch relevanten Bereichen.

Leitbilder, die im Rahmen abfallwirtschaftlicher und chemiepolitischer Diskussionen entwickelt worden sind, können als Ansätze zur Operationalisierung des Konzepts eines Sustainable Development und damit als Einzelleitbilder einer Stoffpolitik im Rahmen eines übergeordneten Leitbildes interpretiert werden. Hierzu gehören:

- die Prioritätensetzung der „Vermeidung vor der Verwertung“ und sicheren Entsorgung im Abfallrecht,
- das Leitbild einer „Kreislaufwirtschaft“,
- die Leitbilder „produktionsintegrierter Umweltschutz“ und „produktintegrierter Umweltschutz“,
- das Leitbild eines „ökologischen Design“ und
- das Leitbild der „Produktlinienoptimierung“.

Weitere Ansätze für stoffpolitische Leitbilder sind im Rahmen der kritischen Hinterfragung von Bedarf und Nutzen und in der Diskussion über eine ökologische Strukturwende zu erkennen.

Ein anderes interessantes Konzept läßt sich mit dem Stichwort „Orientierung an der Natur und ihren Grundprinzipien der Stoffumsätze“ kennzeichnen (Osten, 1991).

Diese zuletzt genannten Leitbilder unterscheiden sich von dem vorher skizzierten übergeordneten Leitbild einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung dadurch, daß sie noch einen Schritt weitergehen und die Steigerung der Ressourceneffektivität, die Kreislaufschließung sowie die Emissionsreduktion zur expliziten Aufgabe erheben.

Für eine Operationalisierung stoffpolitischer Ziele muß geklärt werden, nach welchen Kriterien die

Leistungsfähigkeit und die Belastungsgrenzen des natürlichen Produktionssystems hinsichtlich der Funktionen Ressourcenbereitstellung und Aufnahme von Rückständen beurteilt werden können. Mit der Bestimmung dieser Kriterien korrespondiert die Aufgabe, globale und nationale Umweltziele zu formulieren und eine entsprechende Prioritätensetzung vorzunehmen.

Ansätze zur Verwirklichung eines Stoffstrommanagements, verstanden als Umgang mit Stoffströmen nach ökologischen, ökonomischen und sozialen Kriterien, müssen das Problem der Unsicherheiten (unbekannte Ursache-Wirkungszusammenhänge, Identifikation von Verursachern, Bestimmung des Schadens) so berücksichtigen, daß trotz dieser Probleme ein Handeln möglich wird.

## Stoffpolitische Leitbildansätze aus der abfallwirtschaftlichen und chemiepolitischen Diskussion

Die folgende Zusammenstellung referiert Positionen, die von verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen und Institutionen bis hin zur Bundesregierung zu dieser Thematik entwickelt worden sind.

### I. Das Sondergutachten „Abfallwirtschaft“ des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen hat in seinem Sondergutachten „Abfallwirtschaft“ vom September 1990 das Abfallproblem als drängendes Umweltproblem dargestellt, das mit anderen stoffpolitischen Fragestellungen in engem Zusammenhang steht. Das Abfallproblem habe „in den letzten 100 Jahren und vor allem seit den 1960er Jahren durch unerwartete Mengensteigerungen und durch das Erscheinen neuartiger, gefährlicher, schwer abbaubarer Stoffe eine neue, erschreckende Dimension gewonnen“ und sei „zu einem drängenden Umweltproblem geworden, das nach rascher, wirksamer, ja radikaler Lösung sucht.“ (Deutscher Bundestag, SRU, 1990, S. 16, Tz. 1).

Eine Lösung könne nicht nur durch technische und organisatorische Maßnahmen im Entsorgungsbereich gefunden werden, sondern erfordere einen ganzheitlichen Ansatz, der die Abfallwirtschaft als Teil der Stoffwirtschaft betrachtet:

„Es muß daher erreicht werden, Versorgung und Entsorgung kreislaufartig möglichst so miteinander zu verbinden, daß die ‚Abprodukte‘ nur in solchen Konzentrationen, Mengen und Zusammensetzungen in den Naturhaushalt zurückgegeben werden, wie dieser sie schadlos aufnehmen kann.“ (Deutscher Bundestag, SRU, 1990, S. 38, Tz. 83).

Aus diesem übergeordneten Ziel leitet der Sachverständigenrat die Notwendigkeit ab, Versorgung und Entsorgung in einem übergreifenden stoffwirtschaftlichen Systemansatz in ihrem Zusammenhang zu betrachten:

„Abfallwirtschaft in einer umweltbewußten Gesellschaft verlangt eine Lenkung von Stoffströmen lange vor der Entscheidung, ob ein Gegenstand zu Abfall wird. Daher bleibt kein anderer Weg als die Einflußnahme auf unternehmerisches Handeln in der Weise, daß Herstellungsverfahren und Erzeugnisse, die mit größeren Abfallproblemen verbunden sind, von vornherein gar nicht oder so entwickelt

werden, daß die sich daraus ergebenden Umweltbelastungen internalisiert werden können. Um dies zu erreichen, muß das gesamte wirtschaftliche Geschehen im Hinblick auf Abfallentstehung und -behandlung systematisch durchdacht und durchleuchtet werden, wobei ökologische Überlegungen voranzustellen sind.“ (Deutscher Bundestag, SRU, 1990, S. 20 Tz. 22).

Um diese Ziele zu erreichen, gibt es drei grundsätzliche Optionen:

- Einführung eines umfassenden Systems der Lenkung und Verteilung von Stoffen (stoffpolitisches Regime)
- breit angelegter Ausbau von Anlagen zur Behandlung und Ablagerung von Abfällen („Entknappung“ von Beseitigungsmöglichkeiten)
- verstärkte Vermeidung und Verwertung von Reststoffen und Abfällen.

Der erste Weg bedeutet — konsequent gegangen — ein tiefgestaffeltes System der Stoff- und Produktprüfung und -zulassung mit einem dichten Netz staatlicher Eingriffe. Er würde in den Wirtschaftsdogmen führen und ist daher als Hauptpfad nicht gangbar, wenn auch Elemente dieser Option in gewissem Umfang verwendet werden müssen.

Die langfristigen Risiken und absehbaren Umweltbelastungen des zweiten Weges liegen auf der Hand und sind Anlaß für seine verbreitete Ablehnung bei der Bevölkerung. Dennoch kann auch in Zukunft auf den Einsatz von Anlagen zur Behandlung und Ablagerung von Abfällen nicht verzichtet werden.

Der dritte Weg des mit Nachdruck betriebenen Ausbaus der Vermeidung und Verwertung wird vom Rat als wichtigste zukunftsweisende Option angesehen. Allerdings ist auch er nicht allein gangbar, und es darf die umfassende Ausschöpfung aller Vermeidungs- und Wertungspotentiale nicht in kurzer Frist erwartet werden. Er erfordert im Bereich der Produktion den verstärkten Einsatz von Anreizen und Instrumenten für eine umweltschonende und abfallmindernde Gütererzeugung und



im Bereich der Konsumenten — also der Bevölkerung insgesamt — einen Wandel der Mentalität, der nicht verordnet werden kann und sich mit der Zeit erst entwickeln muß." (Deutscher Bundestag, SRU, 1990, S. 571, Tz. 1975).

## II. Das Leitbild für die Abfallwirtschaft der Schweiz

Ein explizit formuliertes Leitbild für die Abfallwirtschaft, das die ethischen Grundforderungen des Sustainable-Development-Ansatzes nach intragenerativer und intergenerativer Gerechtigkeit berücksichtigt, wurde in der Schweiz formuliert. Dieses Leitbild, das dem Vorsorgeprinzip und dem Verursacherprinzip verpflichtet ist, wurde von der Eidgenössischen Kommission für Abfallwirtschaft (1986) in einem gesellschaftlichen Konsensfindungsprozeß entwickelt und ist in vier Leitsätzen formuliert:

„(1) Die Entsorgung hat vor allem und als Ganzes umweltverträglich zu sein.

Für die Abfallwirtschaft als Zweig der Volkswirtschaft gilt, daß der (auch langfristige) Schutz des Menschen und der ganzen Biosphäre vor die Wirtschaftlichkeit gestellt wird. Dabei wird die Tatsache berücksichtigt, daß bis heute eine Internalisierung der externen Kosten noch nicht realisiert ist. ... Es genügt auch nicht, daß nur einzelne Anlagen innerhalb eines Entsorgungssystems die Umweltverträglichkeitsprüfung bestehen. ... Es müssen auch die festen Rückstände in eine Form gebracht werden, daß für spätere Generationen keine ‚Altlasten‘, d. h. keine zu behandelnden Ablagerungen, entstehen. Mit anderen Worten:

Jede Generation löst ihre Entsorgungsprobleme möglichst vollständig, d. h. finanziell und technisch. Die öffentliche Hand wirkt dabei nur subsidiär.

(2) Die Schweiz entsorgt möglichst vollständig im eigenen Land mit maßgeschneiderten Lösungen für die unterschiedlichen Regionen.

Es ist ethisch nicht vertretbar, Abfälle mit hohem Schadstoffpotential in Regionen zur Ablagerung zu transferieren, welche nach unseren Maßstäben nicht über geeignete Behandlungsanlagen verfügen. ...

Aus diesen ethisch begründeten Leitsätzen ergeben sich folgerichtig zwei naturwissenschaftlich-technische Zielsetzungen für die Entsorgung bzw. die Deponierung:

(3) Entsorgungssysteme produzieren aus Abfällen nur zwei Arten von Stoffklassen, nämlich wiederverwertbare Stoffe und endlagerfähige Reststoffe.

Endlagerfähig ist ein Reststoff dann, wenn er in einer geeigneten Hülle (nach geochemischen und geophysikalischen Kriterien ausgewählt) langfristig (über Hunderte von Jahren) nur jene Stoffe an Luft, Wasser und Boden abgibt, welche diese in ihren chemischen und physikalischen Eigenschaften nicht signifikant verändern. ...

(4) Abfallbehandlungsverfahren sind so zu konzipieren, daß aus den zu deponierenden festen Rückständen erdkrustenähnliche, d. h. bodenähnliche, gesteinsähnliche oder erzähnliche Stoffe entstehen." (Baccini, 1993).

## III. Die chemiepolitischen Grundsätze des BUND

Der Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland (BUND) hat 1984 den Begriff „Chemiepolitik“ mit der folgenden Definition in die Diskussion gebracht:

„ ‚Chemiepolitik‘ setzt eine Betrachtungsweise voraus, bei der die positiven und negativen Wirkungen eines Stoffes, aber auch seiner Neben- und Umwandlungsprodukte, unabhängig von betriebswirtschaftlichen Gesichtspunkten abgeschätzt werden. Dabei sind alle Phasen von der Produktion über den Gebrauch bis zur Beseitigung zu beurteilen. Chemiepolitik muß auf einen sozialen Nettonutzen des Einsatzes von Chemikalien abzielen.“ (BUND, 1984, S. 6).

Für die Umsetzung wurden am Vorsorgeprinzip orientierte chemiepolitische Grundsätze formuliert:

- „1. Die Ressourcenübernutzung und der Grad heutiger Umweltbelastungen zwingen zu einer drastischen Reduzierung des Stoffverbrauchs. Ausgehend von der Kenntnis bereits eingetretener Schäden und der erheblichen Risikounschärfe im Hinblick auf weitere durch Chemikalien zu erwartende Schäden für Mensch und Umwelt, ist ein Minimierungsgebot für den Chemikalienverbrauch einzuführen.
2. Sofern Chemikalien in geschlossenen oder zumindest gut kontrollierbaren teiloffenen Systemen mit Rückführungsmechanismen eingesetzt werden, werfen sie deutlich geringere Risiken auf, als bei umweltöffener Anwendung. Daher muß das Recyclinggebot als Grundsatz für eine umweltverträgliche Stoffwirtschaft auf allen Ebenen — von der Produktion bis zur Entsorgung — durchgesetzt werden. Aus Gründen der Energieersparnis und Stoffökonomie hat das primäre Recycling, d. h. die Wiederverwendung eines Produkts (z. B. Mehrwegverpackung) Vorrang vor dem sekundären bzw. tertiären Recycling, bei dem aus komplexen Produkten nur noch einzelne Stoffe für die Weiterverwendung oder Weiterverwertung zurückgewonnen werden.
3. Chemikalien sollen nach dem Grundsatz des ökologischen Designs prinzipiell so konzipiert sein, daß sie störungsfrei in die natürlichen biogeochemischen Stoffkreisläufe eingebunden werden können. Dieser Grundsatz ist insbesondere bei solchen Stoffen zu beachten, die bei ihrem Einsatz offen in die Umwelt eingebracht werden.

Minimierungsgebot, Recyclinggebot und ökologisches Design von Stoffen lassen sich nur dann hinreichend verwirklichen, wenn sie bereits bei der Produktentwicklung berücksichtigt werden. Che-

miepolitik ist daher ganz wesentlich auch Produktpolitik.“

#### IV. Leitbilder der SPD und der IG Chemie-Papier-Keramik

Die SPD-Bundestagsfraktion hat gemeinsam mit der IG Chemie-Papier-Keramik — bereits 1986 — folgende Grundsätze formuliert:

„Der Staat ist zu einer vorsorgenden Politik zum Schutz der Gesundheit und der Umwelt gefordert. Dieser Aufgabe darf sich ein moderner Industriestaat nicht entziehen.

Die bisher weitgehend isoliert auf Luft, Wasser und Boden bezogene Betrachtungsweise der Umweltpolitik muß durch eine verstärkte stoffbezogene Gesamtbeurteilung ergänzt werden ...

Eine vorsorgende Chemiepolitik fragt nach dem Nutzen chemischer Produkte für den Menschen, zielt also auf den sozialen und volkswirtschaftlichen Nettonutzen ihres Einsatzes; sie bewertet die positiven und negativen Wirkungen eines Stoffes, einschließlich seiner Neben- und Umwandlungsprodukte bei der Produktion, Anwendung und Beseitigung von Chemikalien. Dabei spielen betriebswirtschaftliche Gesichtspunkte eine Rolle, dürfen jedoch keinen Vorrang haben.

Durch das Konzept für eine Chemiepolitik soll ein verantwortungsvoller Einsatz von Chemikalien verwirklicht werden, der

- bei der Produktion zu einem geringeren Ressourcenverbrauch führt,
- im Herstellungsverfahren eine möglichst geringe Belastung der Beschäftigten sowie eine möglichst geringe Umweltbelastung aufweist,
- Produkte fördert, bei deren Verwendung und Entsorgung Gefahren für die Gesundheit und Umwelt so gering wie möglich sind ...

Innerhalb von sechs Jahren müssen die Altstoffe systematisch aufgearbeitet sein. Dies sollte unter Beteiligung aller betroffenen Gruppen, einschließlich der Verbraucher- und Umweltorganisationen, in einem möglichst transparenten Prozeß geschehen. Bei der Feststellung von gefährlichen Stoffen müssen im Einzelfall definierte und zeitlich abgestufte Pläne erarbeitet werden, damit die Betriebs- und Produktionsumstellungen rasch möglich sind.“ (Deutscher Bundestag, SPD/IG Chemie-Papier-Keramik 1986).

Die Arbeitsgruppe Umwelt formuliert in ihrem Programm „Reformen für eine dauerhafte Entwicklung“ für die SPD-Bundestagsfraktion:

„Die ökologische Modernisierung der Industriegesellschaft wird zum Ausgangspunkt unserer Leitlinie der Politik gemacht ...

Ziel ist die dauerhafte Entwicklung von Wirtschaft und Gesellschaft. Als erste Schritte sollen Innovationen durch neue ökonomische und ordnungsrechtliche Rahmenseetzungen gefördert werden und der

Anteil der Mittel für Forschung und Entwicklung nachhaltig erhöht werden, um

- die Material- und Energieproduktivität zu erhöhen,
- die ökologische Stoff- und Kreislaufwirtschaft zu verwirklichen,
- die Energieversorgung auf Effizienzrevolution und Sonnenwirtschaft umzustellen,
- Mobilität umweltverträglich zu gestalten.

Dauerhafte Entwicklung soll durch einen sozialen und ökologischen Generationenvertrag erreicht werden.“

#### V. Leitbilder der Chemiewende des Öko-Instituts

Das Öko-Institut geht davon aus, daß die Chemieproblematik nicht auf die Chemieindustrie beschränkt ist; entsprechend „müssen Planungen und Maßnahmen auch auf die wichtigsten Branchen der Gesamtwirtschaft und auf deren wichtigste Produktlinien zielen“. Das entsprechende Konzept einer „Chemiewende“ folgt drei Leitbildern:

„Das Leitbild Umwelt und Entwicklung (Sustainable Development) erfordert eine Produktion und einen Konsum, der eine langfristige, weltweite umwelt- und sozialverträgliche Entwicklung zuläßt. Die nationalen und internationalen Stoffflüsse müssen mit den Belastungsgrenzen der Umwelt kompatibel sein. ... Der Ressourcenverbrauch und der Chemikalieneinsatz werden vermindert. Der Pro-Kopf-Verbrauch in der Bundesrepublik wird langfristig umwelt- und sozialverträglich und wird dies auch als Pro-Kopf-Verbrauch der Welt. ...

Das Leitbild Strukturwende fordert für die einzelnen Wirtschaftsbranchen die Umstrukturierung der Rahmenbedingungen, die bislang eine umweltverträgliche Produktion und Entwicklung behindern. ...

Das Leitbild Produktlinienoptimierung fordert Produktlinienanalysen und entsprechende Optimierungen für die wichtigsten Produktgruppen der jeweiligen Branche.“

#### VI. Das Konzept einer „Sanften Chemie“ der GRÜNEN

Der bei den GRÜNEN entwickelte Ansatz der „Sanften Chemie“ bezieht sich schwerpunktmäßig auf die Herkunft der Stoffe und den Umgang mit ihnen. Die Kritik an der herkömmlichen Chemie setzt an deren Produktionsprinzipien an:

„Die synthetische Chemie, das gezielte Synthetisieren von Stoffen aus isolierten und gereinigten Ausgangskemikalien der Petro- und anorganischen Chemie und insbesondere das Herstellen naturfremder (xenobiotischer) Stoffe, wie sie z. B. die meisten technisch eingesetzten halogenierten Kohlenwasserstoffe darstellen, ist ein besonders



tiefgreifender und folgenschwerer Eingriff in die Natur, am ehesten vergleichbar mit denjenigen der Atomtechnik und der Gentechnik.“ (Gleich, 1991, S. 4).

Zentraler Begriff der wissenschaftstheoretisch begründeten Kritik an diesen drei Techniklinien ist der Begriff der Eingriffstiefe in Naturzusammenhänge.

Das Machtverhältnis zwischen Mensch und Natur hat sich durch diese Techniken geradezu umgekehrt. Waren frühere Generationen einer übermächtigen Natur weitgehend ausgeliefert, so ist heute die Natur nicht zuletzt durch diese drei Techniklinien dem Menschen ausgeliefert. Daraus wird gefolgert, daß, nachdem früher die Natur den menschlichen Eingriffsmöglichkeiten Grenzen setzte, heute politische und ethische Grenzen für den Umgang des Menschen mit der Natur gesetzt werden müssen.

In diesem Zusammenhang ist auch das Ansteigen der Risikopotentiale zu sehen, das mit der Verlängerung der raum-zeitlichen Wirkungsketten dieser Techniken verbunden ist. Damit wächst auch die Kluft zwischen der Reichweite unseres Wissens und der Reichweite unserer Eingriffe in die Natur.

Auf der Basis der skizzierten Kritik wird von den GRÜNEN eine „Konversion“ der chemischen Industrie von der bisherigen „harten“ zu einer umweltgerechten „sanften“ Chemie gefordert, bei der möglichst wenig modifizierte naturnahe Roh- und Werkstoffe eingesetzt werden sollen, durch deren Nutzung die vorgegebenen Stoffkreisläufe nicht empfindlich gestört werden (Gleich, 1991).

## VII. Die Leitbilder der chemischen Industrie

Die chemische Industrie sieht die Zukunft des Umweltschutzes im integrierten Umweltschutz. Der integrierte Umweltschutz strebt durch verfahrenstechnische Optimierung mit Hilfe aller chemischen, physikalischen und biologischen Möglichkeiten die Minimierung des Rohstoff- und Energieeinsatzes, die Vermeidung und Verminderung von Reststoffen im Prozeß, die Verwertung von Reststoffen im Produktionsverbund oder zur Energieerzeugung und schließlich die umweltgerechte Entsorgung nicht verwertbarer Stoffe an (Dechema et al., 1990). Integrierter Umweltschutz umfaßt auch die Entwicklung von Produkten mit umweltverträglichen Eigenschaften.

Integrierte Umweltschutzmaßnahmen bieten oft im Gegensatz zum nachsorgenden Umweltschutz mit sogenannten end-of-pipe-Technologien wirtschaftliche Vorteile. Integrierter Umweltschutz setzt prozeßtechnische Innovationen und Produktinnovationen voraus und benötigt daher zeit- und kostenintensive Forschungs- und Entwicklungsvorleistungen. Fortschritte beim Abbau von Umweltbelastungen sind damit eng mit der Investitionstätigkeit und der Erneuerung von Anlagen verknüpft. Je günstiger die Rahmenbedingungen für die Investitionstätigkeit, einschließlich der Genehmigungsverfahren, sind, um so schneller werden Fortschritte erzielt. Unverhältnismäßige Innovations- und Investitionshemmnisse behindern also umweltpolitischen Fortschritt.

Integrierter Umweltschutz — als technologisches Konzept zur Entkopplung von industrieller Produktion und Umweltbelastung — ist elementarer Bestandteil der Gestaltungsidee des Sustainable Development. Der zugrundeliegende Anspruch, künftigen Generationen Optionen für die eigene Entwicklung offenzuhalten, schließt im Sinne eines Generationenvertrags die Verpflichtung für die gegenwärtige Generation ein, die technisch-wissenschaftlichen Voraussetzungen und zukunftsfähige Entwicklung künftiger Generationen jetzt zu schaffen (Hilger, 1993).

Die chemische Industrie ist der Auffassung, daß sie zum Erreichen des Ziels Sustainable Development durch ihre Kenntnisse, Erfahrungen und das innovative Potential einen entscheidenden Beitrag leisten kann. Hierfür sind flexible industrielle Handlungsspielräume eine notwendige Voraussetzung. Dazu bedarf es verlässlicher Zielvorgaben des Staates. Staatlicher Interventionismus ist dagegen kontraproduktiv. Der optimale Weg muß in einem freien Suchprozeß der Marktteilnehmer gefunden werden.

## VIII. Der Ansatz der Bundesregierung

Die Bundesregierung hat in den letzten Jahren bei verschiedenen Einzelmaßnahmen, aber auch in zusammenfassender Form, etwa im Nationalbericht der Bundesrepublik Deutschland für die Konferenz der Vereinten Nationen über Umwelt und Entwicklung in Brasilien im Juni 1992, den Aspekt betont, daß eine wirksame Umweltvorsorge die Einbeziehung des Umweltaspekts in alle, auch die den klassischen Feldern des Umweltschutzes vorgelagerten Bereiche des Wirtschaftens erfordert.

„Ziel ist es, immer stärker weg von nachgeschalteten Reinigungstechniken zu kommen, hin zu einem in die Produktionsprozesse und Produkte ‚integrierten‘ Umweltschutz. Dazu ist weitere Forschung nach umweltfreundlichen Technologien erforderlich, die eingebettet sein muß in ein vertieftes Verständnis für komplexe Zusammenhänge in ökologischen Systemen.“

Technik und Wirtschaft müssen zunehmend dazu veranlaßt werden, Verantwortung für die von ihnen hergestellten und in den Verkehr gebrachten Produkte über deren ganzen Lebenszyklus hinweg zu tragen. Die Aspekte Umweltverträglichkeit und Sicherheit müssen in allen Phasen maßgebliche Gestaltungskriterien sein — bei der Rohstoffnutzung, von der Produktion über die Verteilung, den Ge- und Verbrauch bis hin zur Entsorgung.

Um diese Entwicklung voranzutreiben, ist der verstärkte Einsatz wirtschaftlich wirkender Instrumente besonders wichtig.“ (BMU, 1992 b, S. 73).

Die Bundesregierung versteht diesen Ansatz dabei nicht allein auf die Wirtschaft bezogen, sondern als ein umfassendes politisches Leitbild:

„Die Durchsetzung des Umweltschutzes erfordert zunehmend eine ökologische Orientierung anderer umweltrelevanter Handlungs- und Politikbereiche. Es kommt darauf an, die Erfordernisse des Umweltschutzes in andere Politikbereiche zu integrieren,

insbesondere in die Energie-, Verkehrs- und Landwirtschaftspolitik.“ (BMU, 1992 b, S. 73).

Gerade wegen seines umfassenden Charakters bedarf dieses Leitbild der bereichsbezogenen Ausformung und Konkretisierung bei seiner Anwendung und Durchsetzung in Maßnahmen praktischer Politik. Im Bereich der Abfallwirtschaft erfolgte diese Konkretisierung unter dem Stichwort „Vom Abfall her denken“, das die Bundesregierung ihren derzeit laufenden Vorhaben zur Fortentwicklung des Abfallrechts zugrundegelegt hat:

„Unter Abfallwirtschaft ist ein aufeinander abgestimmtes Zusammenwirken von Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen zu verstehen mit dem Ziel, die Gesundheit des Menschen zu schützen sowie die belebte und unbelebte Umwelt vor Ansammlungen von Abfällen und deren schädlichen Auswirkungen soweit wie möglich zu bewahren.

Ein solcher Ansatz erfordert, vom Abfall her zu denken bis in die Bereiche von Produktion und Konsum. Der Entstehung von Abfall kann am wirksamsten vorgebeugt werden, indem Möglichkeiten abfallarmer Produktionsverfahren, der Herstellung mehrfach verwendbarer oder abfallarmer Produkte genutzt oder, soweit Rückstände nicht vermieden werden, diese möglichst als Sekundärrohstoffe im Wirtschaftskreislauf verwertet werden. Die Forderung nach möglichst weitgehender Abfallvermeidung zwingt daher dazu, die der Abfallentsorgung vorgelagerte Vermeidung von Rückständen oder ihre Verwertung als Sekundärrohstoff schon im Wirtschaftskreislauf in die abfallwirtschaftliche Gesamtbetrachtung einzu beziehen.“ (Begründung des Gesetzentwurfs der Bundesregierung für ein Gesetz zur Vermeidung von Rückständen, Verwertung von Sekundärrohstoffen und Entsorgung von Abfällen (Rückstands- und Abfallwirtschaftsgesetz — RAWG, BT-Drucksache 12/5672)

### 3.5 Leitbilder einer stoffpolitisch begründeten technologischen Neuorientierung

Die dem Konzept eines Sustainable Development als übergeordnetem Leitbild zuzuordnenden Leitbilder Kreislaufwirtschaft, produktionsintegrierter Umweltschutz, ökologisches Design bzw. produktorientierter Umweltschutz, Produktlinienoptimierung oder ökologische Strukturwende beinhalten u. a. mehr oder weniger ausgeprägt die Forderung nach einer technologischen Neuorientierung. Besonders deutlich wird dieser technologische Aspekt in der Formulierung der von manchen betonten sogenannten dritten Managementregel des Konzepts eines Sustainable Development, die eine Nutzung nicht erneuerbarer Ressourcen nur in dem Umfang gestattet, in dem künftige Generationen durch die Inanspruchnahme nicht schlechter gestellt werden sollten.

Akzeptiert man, losgelöst von der Frage, für wieviele künftige Menschen diese Gerechtigkeitsregel gelten soll, auch für endliche Ressourcen das Ziel der Chancengleichheit, läßt sich theoretisch die heutige Nutzung der nicht erneuerbaren Ressourcen nur dann rechtfertigen, wenn sie keinen unverzichtbaren Beitrag zum Lebensstandard späterer Generationen leisten. Das kann im Prinzip nur der Fall sein, wenn diese Ressourcen

- nicht mehr benötigt werden,
- anderweitig ersetzt werden können oder wenn
- eingetretene Nutzungsschäden rückgängig gemacht werden können.

Dies setzt in der Regel voraus, daß sich ein technischer Handlungsspielraum eröffnet, der eine Entkoppelung von Entwicklung bzw. Wachstum und spezifischem Ressourcenverbrauch gestattet. Insofern ist eine solche Forderung mit einer technischen Neuorientierung verbunden.

Die Annahme, Umweltgüter könnten in Zukunft in geringerem Umfang benötigt werden, könnte mit der gestiegenen Effizienz der Nutzung dieser Umweltgüter begründet werden. In diesem Fall würde eine Verringerung des Bestandes an natürlichem Kapital nicht unbedingt zu einer verringerten materiellen Produktion in der Zukunft führen. Die wichtigste Quelle einer derartigen Produktivitätssteigerung ist der technische Fortschritt. Die entscheidende (ethische) Frage ist nur, ob man einen hohen Ressourcenverbrauch im Vertrauen darauf betreiben darf, daß diese Produktivitätssteigerung bzw. die auch denkbare Eröffnung eines Substitutionsspielraums sich auch zwangsläufig einstellt. Damit werden die speziellen Probleme einer solchen intergenerativen Verteilungsregel sichtbar (Brenck, 1991). Sie ist für eine offene Zahl künftiger Menschen formuliert, deren Bedürfnisse und technische Handlungsspielräume noch weitgehend unbekannt sind. Insbesondere stellt sich für viele die Frage, ob man sich einem technischen Optimismus hingeben darf, gemäß dem der menschliche Erfindungsreichtum schon Auswege finden wird, oder ob man nicht vorsorglich mehr tun muß.

Dies ist auch in der Ökonomie umstritten. So wird dort von manchen die Begrenzung des Wirtschaftens bzw. wirtschaftlichen Wachstums durch die natürlichen Grenzen des Wachstums betont. Demgegenüber wird von einem anderen Teil versucht, modellhaft darzustellen, daß durch einen entsprechenden technischen Fortschritt die Grenzen des Wachstums verschoben werden können. Derzeit ist eine gewisse Blockierung in der Debatte festzustellen, da diese Gesichtspunkte typischerweise einander gegenübergestellt werden. Generell zugegeben wird die Tatsache, daß der Produktionsfaktor Natur zunächst begrenzend wirken kann, aber durch kreative Lösungen — etwa Steigerung der Effizienz der Nutzung dieses Produktionsfaktors — die Begrenzungen im Zeitablauf hinausgeschoben werden können, obgleich die Begrenzung nicht aufgehoben werden kann.

Die vielfach zu beobachtende Skepsis gegenüber Vorstellungen, die ökologische Krise könne allein durch technischen Fortschritt bewältigt werden, hängt teilweise auch mit der Kritik an der gegenwärtigen Technik zusammen, die sich unter Stoffstromaspekten vor allem auf die als zu gering erachtete Material- und Energieeffizienz und das hohe Abfallaufkommen konzentriert. Eine solche Wertung erhebt jedoch — losgelöst von Kostenüberlegungen — das technisch Mögliche zur Norm und fordert eine Steigerung der Ressourceneffizienz um ihrer selbst willen bzw. zur Aufrechterhaltung von möglichst vielen Optionen für künftige Generationen. Hier wird die technologische Neuorientierung ganz in den Dienst der Effizienzsteigerung zur Reduktion der Verbrauchsrate endlicher Ressourcen gestellt. Unverkennbar ist, daß solche Leitbildvorstellungen heute in der umweltpolitischen Zieldiskussion mitschwingen. Kontrovers diskutiert wird jedoch die Frage ihrer Vereinbarkeit mit der Marktwirtschaft bzw. ihre Sozial- und Ökonomieverträglichkeit.

Die Kritik an der bestehenden Technik findet vielfach ihren positiven Ausdruck in Konzepten zur Entwicklung ökologisch angepaßter Technologien. Neue Technologien sind sicher nicht die alleinige Antwort auf die Umweltkrise. Im Zusammenhang mit einer Umorientierung der Ökonomie, einem Abbau verhaltensbedingter Aversionen gegenüber technischen Neuerungen und der Schaffung entsprechender innovationsfördernder politischer Rahmenbedingungen ist die Entwicklung neuer, ökologisch angepaßter Technologien aber sicherlich ein wichtiges Element für eine dauerhafte und zukunftsverträgliche Entwicklung. Die Analyse neuerer technischer Entwicklungen zeigt auch, daß durch technologische Modernisierung ein erheblicher Beitrag zur Ressourcenschonung geleistet werden kann. Andererseits muß aber vor dem allzu großen Optimismus, eine Ressourcenschonung sei alleine oder hauptsächlich durch neue Technologien zu erreichen, gewarnt werden.

Die Entwicklung des Ressourcenverbrauchs und der Schadstoffbelastung zeigen nämlich vielfältige Verlagerungstendenzen. Insgesamt kann bislang schwerlich davon gesprochen werden, daß sich der Problemdruck per Saldo vermindert hätte. Die Existenz technischer Problemlösungspotentiale ist auch nicht gleichbedeutend mit tatsächlich realisierter Ressourcenschonung, da oftmals ein nur zögerlicher Einsatz der ressourcenschonenden Technologien festzustellen ist. In diesen Bereichen ist eine Verschiebung des forschungspolitischen Augenmerks hin auf sozioökonomische Umsetzung notwendig, die die Hemmnisse bei der Entwicklung und dem Einsatz dieser Technologien identifiziert und Maßnahmen zu deren Überwindung vorschlägt.

Das Leitbild einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung bezieht sich jedoch nicht ausschließlich auf den Erhalt von Natur und Umwelt als Produktionsfaktor und ist durch diese nicht ausgeschöpft. Nachhaltig zukunftsverträgliche Entwicklung beinhaltet auch die Erhaltung der belebten und unbelebten Natur und von Kulturgütern als ästhetischer Wert. Der Verlust von Vielfalt und Vitalität der Umwelt stellt die menschliche Identität in Frage und entzieht damit

künftigen Generationen die Grundlage für Kultur. Die daran orientierte technologische Neuorientierung ist Voraussetzung für dauerhaftes menschliches Leben. Dieses Ziel würde allerdings verfehlt, wenn dabei Natur und Umwelt nur oder auch nur vorrangig als Produktionsfaktor in den Blick genommen würden.

### 3.6 Kriterien der Sozial- und Ökonomieverträglichkeit einer am Leitbild einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung ausgerichteten Stoffpolitik

Die nachfolgenden Ausführungen zu Kriterien der Sozialverträglichkeit und der Ökonomieverträglichkeit geben erste, nicht abschließende Diskussionen innerhalb der Enquete-Kommission wieder. So werden bei den Kriterien zur Sozialverträglichkeit beispielsweise Themen wie Partizipation, Gerechtigkeit, Sicherheit und Frieden, Gestaltung der Arbeitsplätze, kulturelle Aspekte und Identität nicht erörtert; bei den Kriterien zur Ökonomieverträglichkeit fehlen beispielsweise Themen wie Weltwirtschaft, Freihandel, Rohstoffpreise, Subventionen, oder es sind wichtige Themen wie externe Kosten oder Arbeitsplätze nicht ausreichend erörtert. Weiter konnte bisher nicht diskutiert werden, für welchen Zweck eine Konkretisierung ökonomischer und sozialer Bewertungskriterien innerhalb der Enquete-Kommission erfolgt, ob diese Kriterien Bestandteile des Stoffstrommanagements sein sollen oder nicht, und — falls ja — in welcher Weise und Detailschärfe diese Kriterien zusammen mit ökologischen Kriterien erhoben und einer integrierten Bewertung zugänglich gemacht werden sollen.

In den vorangehenden Abschnitten ging es darum, wie im Interesse künftiger Generationen das ökologische Kapital erhalten werden kann. Es wurde deutlich, daß es nicht leicht ist, diese Forderung zu operationalisieren, denn das ökologische Kapital ist von seinen Funktionen her zu definieren und in dem Maße gefährdet, wie sich die Funktionsfähigkeit ökologischer Systeme verschlechtert oder gar ein Leistungszusammenbruch (ökologischer Kollaps) droht. Dies macht es schwer, ökologisches Kapital in einer Ziffer zu verdichten, aus der man dann Schlußfolgerungen auf die Nachhaltigkeit der wirtschaftlichen Entwicklung ableiten könnte.

Aber der Erhalt des ökologischen Kapitals ist nicht die einzige Bedingung, die beachtet werden muß. Fast hat man den Eindruck, daß wir zwischen drei Arten von Kollaps zu wählen haben, nämlich einem ökologischen, einem sozialen und einem ökonomischen. Damit wird der Begriff der Nachhaltigkeit um zwei weitere Dimensionen erweitert, die sich in noch stärkerem Maße als die ökologische Dimension einer Operationalisierung widersetzen. Die Enquete-Kommission ist sich dieser Schwierigkeit bewußt und möchte hier zunächst nur erste Züge des Problems skizzieren.

Damit eine Entwicklung nachhaltig zukunftsverträglich sein kann, muß sie nicht nur ökologieverträglich, sondern auch sozial- und ökonomieverträglich sein,



wobei zwischen diesen Dimensionen und der Ökologieverträglichkeit Wechselwirkungen bestehen.

#### Sozialverträglichkeit

Wir Menschen sind aufeinander angewiesen. Diese Erkenntnis ist in der Bundesrepublik Deutschland unterentwickelt. Die häufig anzutreffende falsche Sichtweise, daß nur die Umweltbewegung für Ökologie, die Unternehmer für Produktion und Gewinne und die Gewerkschaften für die Behebung der Massenarbeitslosigkeit zuständig seien und die Politik alle Fehlentwicklungen korrigieren könne, ist Ausdruck einer solchen Betrachtungsweise.

Wir müssen aber Lösungen finden, die im Spannungsfeld Mensch, Natur und Wirtschaft zu einem neuen, anderen Gleichgewicht führen können. Zu entwerfen ist eine „Zukunft mit Zukunft“, wir brauchen eine nachhaltige soziale Entwicklung, die den Menschen ein Höchstmaß individueller Freiheit unter Wahrung sozialer Verantwortung gewährleistet. Diese zeichnet sich dadurch aus, daß jeder Bürger autonom seinen Lebensentwurf, seine Auswahl von Zukunft trifft, in einem Dialog jedoch die Rahmenbedingungen als Grundlage einer zukunfts offenen, tragfähigen und dauerhaften sozialen Entwicklung gelegt werden, die insbesondere die natürliche Entwicklung und Vielfalt erhält (Sustainable Society).

Die derzeitige Situation zeigt, daß die Entwicklung der Industriegesellschaft nicht als Prozeß überhasteter Entscheidungen zustande kommen darf. Statt dessen bedarf es eines Prozesses, der für die Zukunft möglichst verschiedene Entwicklungswege offen hält. Nur dadurch können ökologische, ökonomische und soziale Risiken verringert werden.

Es ist ein Erfolg demokratischer Politik, in Kooperation mit Gewerkschaften und Arbeitgebern, daß die Sicherung gegen soziale Risiken von Menschen, die wegen Krankheit oder Unfall, Arbeitslosigkeit oder Alter, vorübergehend oder dauerhaft keine Erwerbsarbeit mehr leisten können, prinzipiell geregelt ist. Die erworbenen Ansprüche auf Sozialleistungen derer, die entsprechend lange der Erwerbsarbeit nachgegangen waren, sind gesellschaftlich anerkannt, allerdings in ihrem quantitativen Umfang Gegenstand politischer Auseinandersetzungen.

Die soziale Sicherung muß den vielfältigen Lebensentwürfen Rechnung tragen. Es müssen Lösungen für diejenigen gefunden werden, die nicht die regelmäßige „männliche“ Arbeitsbiographie mit vierzig oder fünf und vierzig Beschäftigungsjahren als Vollarbeitszeit aufweisen können, sondern die aus dem System der Erwerbsarbeit und der darauf basierenden Sozialversicherung ausgegrenzt werden — aber auch für diejenigen, die für gesellschaftlich wichtige Tätigkeiten wie Kindererziehung oder Altenpflege ihre Erwerbsarbeit aufgeben oder einschränken.

Es gibt einen „Neuen Individualismus“ (Zoll, 1993), der Teil eines umfassenden kulturellen Wandels in den westlichen Industrieländern ist. Die Steigerung des materiellen Wohlstandes und der Bildungsmöglichkeiten, der Ausbau des Sozialstaates, die rasante

Steigerung der Mobilität und die Entwicklung der Informations- und Kommunikationsmöglichkeiten nach dem Zweiten Weltkrieg haben für große Teile der Bevölkerung neue Möglichkeiten der individuellen Lebensplanung und -gestaltung eröffnet; bisherige Begrenzungen durch Traditionen und Milieus nehmen in ihrer Bedeutung ab. Damit verlieren allerdings auch frühere soziale und kulturelle Sicherheiten und Bindungen wie Familie, Nachbarschaft, Milieu, Kirche und Arbeiterbewegung an Gewicht.

Für die individuelle Biographie werden die eigenen Entscheidungen wichtiger, während Klassen- und Schichtzusammenhänge in den Hintergrund treten. Damit erscheinen Erfolge und Niederlagen (am Arbeitsplatz, im Einkommen) in wesentlich höherem Maße als Ergebnis eigener Entscheidungen (oder Fehlentscheidungen) der einzelnen Menschen und weniger als Resultat gesellschaftlicher Verhältnisse und Risiken. Allerdings muß Chancengleichheit gewährleistet werden. Aus Klassenschicksalen, die in gemeinsamen Milieus, der „Arbeiterkultur“, bewältigt wurden, sind individuelle Freiheitsspielräume geworden — aber auch Einzelschicksale, die ohne Hilfe des vertrauten und Sicherheit vermittelnden Milieus bewältigt werden müssen. Der Zuwachs an individueller Freiheit bedeutet für viele auch Vereinzelung und Desorientierung. Die Ausdifferenzierung traditioneller Milieus in eine „Erlebnisgesellschaft“ mit einer Vielzahl verschiedener Lebensstile ist in auffälliger Weise mit einem erhöhten Freizeitkonsum und entsprechenden Stoffumsätzen verknüpft (Schultze, 1992).

Ökologisch wirkungsvolle Politik muß die soziale Würde des Menschen gewährleisten. Denn eine Entwicklung kann unter sozialen Aspekten nur dann nachhaltig sein, wenn die mit ihr verbundenen Transformationen von der Gesellschaft verstanden und in ihrer Grundausrichtung akzeptiert werden. Das erfordert, daß die Bürger politische Entscheidungsprozesse auch nachvollziehen können, daß sie die Notwendigkeit getroffener Entscheidungen einsehen. Soweit es zu Wohlstandsverlusten kommt, setzt eine nachhaltige Entwicklung nicht nur eine ausreichende soziale Sicherung voraus, sondern auch lernfähige und lernbereite Bürger, die notfalls bereit sind, solche Verluste im eigenen längerfristigen Interesse oder im Interesse anderer Menschen hinzunehmen.

#### Ökonomieverträglichkeit

Eine aus ökologischen Gründen geforderte Umwelt- und Stoffpolitik, deren Konturen sich allmählich herausbilden, wird weitreichende Änderungen unserer Art des Wirtschaftens mit sich bringen. Betrachtet man zum Beispiel Abschnitt 2 der Klimakonvention von Rio und vergleicht sie mit den Rechnungen der Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“, so muß der weltweite Einsatz fossiler Energieträger in den nächsten Jahrzehnten um ca. 80 Prozent zurückgefahren werden. Dies wird nicht ohne drastisch steigende Energiepreise möglich sein, was wiederum erhebliche sektorale und regionale Strukturänderungen mit sich bringt. Diese können mit Anpassungskrisen verbun-

den sein, in deren Verlauf es zu Arbeitslosigkeit und Einkommensverlusten kommen kann. Aber die Fähigkeit einer Gesellschaft, notwendige und schmerzhaft Anpassungsprozesse zu bewältigen, ist begrenzt. Wenn also ökologische Belange im Sinne einer nachhaltigen Entwicklung berücksichtigt werden, kann man nicht ohne weiteres sicher sein, daß die notwendigen Schritte immer gesellschaftlich akzeptiert werden, zumal wenn sich der Verteilungsspielraum verringert.

Nachhaltig zukunftsverträgliches Wirtschaften verlangt also auch eine erhöhte Anpassungsbereitschaft der Bevölkerung und der Unternehmen. Lernfähigkeit und Anpassungsbereitschaft sind aber angesichts von Verteilungs- und Arbeitsmarktkonflikten begrenzt. Hierin könnte sogar ein größeres Problem künftiger Entwicklung liegen als in der ökologischen und ökonomischen Anpassungsfähigkeit. Solche Fragen dürfen nicht ausgeklammert werden, so daß die Sozialverträglichkeit künftiger Wirtschaftsentwicklung unbedingt zu berücksichtigen ist. Diese hat in starkem Maße mit der Lernfähigkeit des Systems und mit der Vermittlung von Sinnhaftigkeit umweltpolitischen Handelns zu tun.

So muß man darauf hinweisen, daß Umweltschutz auch unmittelbar positive wirtschaftliche Auswirkungen haben kann und zugleich Voraussetzung des Wirtschaftens ist. Vermeidung und Internalisierung externer Kosten sind volkswirtschaftlich erstrebenswert, weil sie die Wirksamkeit des Preismechanismus erhöhen. Zudem ist erfolgreicher Umweltschutz teilweise auch zu einem wichtigen Standortfaktor geworden. Er bietet Unternehmen, die rechtzeitig umweltschonende Technologien und Produkte entwickelt haben, neue Absatzchancen und verbessert die Akzeptanz von Standorten. Andererseits werden umweltbelastete Regionen von den Unternehmen mehr und mehr gemieden.

Das Verhältnis von Ökonomie und Ökologie ist also von gegensätzlichen Aspekten geprägt. Deshalb ist es wichtig, auch auf die ökonomischen Auswirkungen des Umweltschutzes zu achten, so daß die Ökonomieverträglichkeit als weitere Dimension bedeutsam wird. Da mit einer ökologischen Erneuerung ein beachtlicher struktureller Anpassungsbedarf verbunden ist, muß im Rahmen des Nachhaltigkeitsprinzips neben die Ökologie- und Sozialverträglichkeit auch die Ökonomieverträglichkeit des Umweltschutzes treten. Eine ökologische Erneuerung ist also in solcher Weise zu gestalten, daß die Anpassungsbereitschaft und -fähigkeit der Wirtschaft an neue ökologische Rahmenbedingungen gestärkt wird.

Das Kriterium der Ökonomieverträglichkeit könnte auf mehrfache Weise einer gewissen Konkretisierung zugeführt werden. Zunächst könnte man die wirtschaftliche Vertretbarkeit als das Nutzen-Kosten-Verhältnis interpretieren und so nach der ökonomischen Rechtfertigung der Umweltpolitik fragen. Wirtschaftlich vertretbar wären Umweltschutzmaßnahmen in diesem Sinne dann, wenn der Nutzen der Umweltpolitik die Kosten deutlich übersteigt.

Eine zweite Art, die Rückwirkungen ökologischer Restriktionen auf die Ökonomie zu erfassen, bestünde

darin, die „Schattenpreise“ solcher Restriktionen zu ermitteln. Das sind — in Geld gerechnet — diejenigen Wohlfahrtsverluste, die sich aus einer marginalen Verschärfung der ökologischen Rahmenwerte ergeben. Solche Schattenpreise treten in funktionierenden Märkten in Form von Marktpreisen in Erscheinung. Dies gilt in der Regel nicht für Umweltressourcen, die als öffentliche Güter auf dem Markt keine (oder zu niedrige) Marktpreise erzielen. In der Literatur werden Umweltnutzungsrechte („Zertifikate“) diskutiert, die übertragbar wären und auf dem Markt Preise erzielen würden. Dies sind die Schattenpreise ökologischer Restriktionen.

Längerfristig von größter Bedeutung ist auch die Anpassungsfähigkeit des ökonomischen Systems. Dieses ist ökologischen Systemen insoweit ähnlich, als es sich durch beachtliche Interdependenzen und durch Schockabsorptionsfähigkeit auszeichnet, aber im Falle der Überlastung auch zu einer Überreaktion tendiert (Kollapseffekt). Die Anpassungsfähigkeit eines dezentral operierenden marktwirtschaftlichen Systems erscheint vor allem dann gewährleistet, wenn

- die politischen Rahmenbedingungen kalkulierbar bleiben, und damit eine Verlässlichkeit für wirtschaftliche Entscheidungen gewährleistet ist,
- der unternehmensinterne Handlungsspielraum gewahrt bleibt, d. h. weniger mit Geboten gearbeitet wird als vielmehr mit Hilfe von Rahmenbedingungen, welche die eigene Art der Anpassung den Unternehmen selbst überläßt und klare Anreize in Richtung auf ein umweltschonenderes Wirtschaften gibt,
- betriebliche Innovationsprozesse im Rahmen eines immer schnelleren Strukturwandels nicht über Gebühr durch bürokratische Barrieren blockiert werden und
- eine gravierende Verzerrung internationaler Wettbewerbsprozesse durch divergierende Umweltpolitik verhindert werden kann.

Das Kriterium der Ökonomieverträglichkeit ist nicht leicht zu operationalisieren. Das erschwert die Arbeit der Enquete-Kommission, zu deren Aufgaben auch die Entwicklung ökologischer, sozialer und ökonomischer Kriterien für eine Stoffpolitik gehört.

Die Ökologie hat uns die Augen geöffnet für die Verflechtung und gegenseitige Abhängigkeit der unterschiedlichen Dimensionen einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung. Um die wechselseitigen Beziehungen zwischen ökologischer, sozialer und ökonomischer Dimension anschaulich darzustellen, schlägt Meinolf Dierkes vor, den aus der Stabilitätspolitik bekannten Begriff des „magischen Dreiecks“ zu verwenden (Dierkes, 1985). Im magischen Dreieck einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung stehen sich wirtschaftliche, soziale und ökologische Ziele gegenüber. Die ökologische Erneuerung macht weitreichende technische Innovationen erforderlich. Dabei werden die sozialen Folgen oft zu wenig bedacht. Technische Innovationen verändern die Situation der Arbeitnehmer beträchtlich

und führen in aller Regel zu neuen Qualifikationsanforderungen.

Das Spannungsfeld zwischen Ökologie und Ökonomie wird seit langem diskutiert. Gleichwohl führen sich manche von uns vielleicht zu wenig vor Augen, wie wir alles das bekommen, was wir heute selbstverständlich zur Verfügung haben, beispielsweise fließend Wasser, elektrischen Strom, Wärme, Fahrzeuge, Kleidung, Nahrung und Wohnung. Die Versorgung damit ist ohne Auswirkungen auf die Umwelt nicht möglich. Unsere Erwartungen sind hochgespannt. Wir erwarten eine möglichst umfassende Versorgung und die dazugehörige Infrastruktur. Um aber zu produzieren, was wir erwarten, brauchen wir eine hochentwickelte Industrielandschaft.

Im magischen Dreieck einer nachhaltig zukunftsfähigen Entwicklung steht der ökologische Pol für die Erhaltung und Wiederherstellung einer gesunden Umwelt. Dabei erschweren die genannten Vernetzungen oft die eindeutige Wertung. Die zentrale Aufgabe des Staates besteht in der Vorgabe des politischen Rahmens. Aber ohne Zweifel wächst hier der Industrie — und im besonderen der chemischen Industrie als einem der wichtigsten und innovationsfähigsten Industriezweige der Bundesrepublik Deutschland — eine Verantwortung zu, vor allem aufgrund ihres Know-how im Umgang mit Stoffen und Stoffumwandlungen.

Grundsätzliche Aufgabe der Gesellschaft ist es, gemeinsam die Lebensqualität zu gewährleisten. Wir können nicht genau sagen, wie Lebensqualität und Wirtschaftswachstum miteinander zusammenhängen. Offenbar hat aber dasselbe Wirtschaftswachstum, das unser Leben in den letzten hundert Jahren so angenehm machte, auch zu Problemen geführt.

Wenn man zusammenfaßt, so spielt das Leitbild einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung auch bei den stoffpolitischen Ansätzen eine wichtige Rolle. Bei der Operationalisierung dieses Leitbildes sind drei wesentliche Dimensionen zu berücksichtigen, die Ökologie-, die Ökonomie- und die Sozialverträglichkeit.

### 3.7 Neuorientierung der Wertvorstellungen

Annäherungen an das Leitbild einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung verlangen Änderungen von Produktions- und Konsumgewohnheiten, die mittel- bis langfristig einen tiefgreifenden Wandel von Wertvorstellungen sowohl zur Folge als auch zur Voraussetzung haben.

Diese Annäherung vollzieht sich durch die Verwirklichung operationalisierter umweltpolitischer Ziele, für die Handeln und Verhalten der Akteure wichtiger sind als Einstellung und Wissen, die zwar notwendige, allein jedoch nicht hinreichende Voraussetzungen für umweltgerechtes Handeln darstellen. Akteure sind in diesem Zusammenhang sowohl die verantwortlichen Leitungspersonen und die Mitarbeiter in Produktion, Handel, Gewerbe und Dienstleistungssektor, als auch alle Bürger als Konsumenten. Es ist unwahrscheinlich, daß sich grundlegende Veränderungen in Entschei-

dungs- und Handlungsgewohnheiten kurzfristig und innerhalb einer Generation erzielen lassen. Eher vollziehen sie sich im Wechsel der Generationen bzw. im Verlauf des Heranwachsens neuer Generationen, die ihr Erwachsenenleben bereits mit veränderten Wertvorstellungen beginnen. In diesen Prozessen haben institutionelle Leitbilder und Organisationskulturen prägenden Einfluß auf Urteils- und Verhaltensgewohnheiten der Einzelnen. So wie Max Planck darauf hinwies, daß ein neues Paradigma in den Wissenschaften sich nicht dadurch durchsetzt, daß die Anhänger des Alten überzeugt werden, sondern dadurch, daß sie aussterben, und die Anhänger des Neuen nachwachsen, so gewöhnt man die ältere Generation, die 50 Jahre auf weißes Papier geschrieben hat, nicht mehr an graues; aber deren Kinder und Enkel verlangen danach.

Änderungen im Denken und Handeln können vom Staat nicht erzwungen werden. Eine langfristig angelegte Politik kann diesen Wandel jedoch unterstützen. Auch Schul- und Berufsausbildung spielen dabei eine entscheidende Rolle. In diesem Zeitraum findet ein entsprechendes soziales Lernen statt, in dessen Verlauf die neuen Verhaltens- und Lebensweisen angeeignet und eingeübt werden. Rückblickend betrachtet kann diese Veränderung der Lebensweisen und Lebensstile unter dem Begriff des Mentalitätswandels zusammengefaßt und beschrieben werden. Ein solcher Umschwung der Einstellungs- und Verhaltensweisen ist vergleichbar mit den grundlegenden Prozessen des Wandels von Mentalitäten zu Beginn der Moderne sowie während der industriellen Revolution.

Der heutige Lebensstil der Industrieländer ist per se nicht zukunftsverträglich. Dies wird sofort deutlich, wenn wir uns vorstellen, alle Menschen dieser Erde würden auf dem Niveau des Energieverbrauchs pro Kopf leben, den die Bürger der Industrieländer sich leisten. Von anderen Ressourcen oder der Verkehrsdichte oder dem Verzehr von Lebensmitteln tierischer Herkunft gar nicht zu reden.

In Anerkennung dieser Tatsache haben sich vor über einem Jahr über 170 Länder dieser Erde auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro zum Leitbild der „nachhaltigen Entwicklung“ bekannt. Diese Verpflichtung bedeutet, der Verschwendung natürlicher Ressourcen Einhalt zu gebieten und die Inanspruchnahme dieser Ressourcen der Leistungsfähigkeit des Naturhaushalts anzupassen.

So wird denn auch in der Rio-Deklaration im Grundsatz 8 gefordert:

„Um eine nachhaltige Entwicklung und eine bessere Lebensqualität für alle Menschen zu erlangen, sollen die Staaten nicht nachhaltige Produktions- und Verbrauchsstrukturen abbauen und beseitigen und eine geeignete Bevölkerungspolitik fördern.“

Es besteht wohl kein Zweifel mehr, daß die ressourcenaufwendige Wirtschaftsweise, wie sie die Industrieländer heute prägt, bei einer weltweiten Nachahmung in den ökologischen Kollaps führen würde. Nun können und dürfen wir schwerlich erwarten, daß die nicht oder gering industrialisierten Länder Verzicht

üben, während wir in den Industrieländern mehr oder minder weitermachen wie bisher.

Auf Seiten der Konsumenten ist eine Änderung der Verhaltensweisen vor allem im Bereich der jüngeren Generation und der gesellschaftlichen Mittelschichten bereits in Ansätzen zu beobachten. Dies drückt sich vor allem in veränderten Qualitätsmaßstäben im Bereich nachgefragter naturbelassener Lebensmittel und Textilien oder im Verzicht auf das Automobil als vorrangiges Verkehrsmittel in Großstädten aus.

Worauf es ankommt, ist, einen Weg zwischen Askese und permissiver Bequemlichkeit zu finden. Askese kann jeder für sich selbst leben und er oder sie wird nicht nur den Vorteil des höheren Lebensgenusses haben, sondern auch die Befriedigung, sich umweltgerecht und zukunftsverträglich zu verhalten, aber Askese ist weder eine Lebensform von Mehrheiten, noch kann sie anderen verordnet oder aufgezwungen werden. Die Kirche weiß, daß es auf die Dauer auch nicht besonders erfolgreich ist, Askese zu predigen. Die permissive Bequemlichkeit der vergangenen Jahrzehnte andererseits ist nicht zukunftsfähig. Sie ist eine andere Form von „no future“ verbunden mit struktureller Gewalt, da die Welt für künftige Generationen unbewohnbar wird.

Der zukunftsfähige Lebensstil braucht Schick und Glanz. Anders leben heißt bewußter genießen, es heißt nicht auf Genuß verzichten. Es ist nicht wahr, daß nur kratzige Wäsche und Sandalen umweltverträglich sind. Sorgen wir dafür, daß die zukunftsverträglichen Lebensformen nicht mit Verzicht, sondern mit Freude, nicht mit Grau, sondern mit allen Farben der Natur, nicht mit Verboten, sondern mit Lebensbejahung und Sinnenlust verbunden werden. Damit gewinnen wir eine Mehrheit für das Leben und für das Leben eine Zukunft.

Auch im Bereich von Produktion und Handel sind Verhaltensänderungen erkennbar, ohne daß im einzelnen untersucht werden soll, wodurch sie angestoßen sind. Umweltschutz wurde bereits vor Jahren zur „Chefsache“ erklärt. Wenngleich in der Breite Umweltmanagement und proaktives unternehmerisches Handeln sich nur langsam durchsetzt, und wenn auch Vertreter von Verbänden über die übertriebene und nicht harmonisierte Umweltpolitik klagen, gibt es doch eine große Zahl von Beispielen von Unternehmen, die mit eigenen Initiativen hervorgetreten sind. Hierzu zählen u. a. Handelsketten, die bestimmte umweltbelastende Produkte aus ihrem Sortiment genommen haben oder die Produkte im Hinblick auf belastende Verpackungstoffe durchforstet haben, ebenso wie Textilunternehmen, die auf schwermetallhaltige Farbstoffe verzichten oder Chemieunternehmen, die den Nutzen ihrer in der Produktionspalette enthaltenen Güter hinterfragen.

Ein weiteres Anzeichen für diese Tendenz kommt aus dem Verband junger Unternehmer. Sie sprechen sich aus für einen ökologischen Umbau des Steuersystems, dafür, daß Produkte so konstruiert sein sollten, daß sie am Ende ihrer Nutzungsdauer stofflich verwertet werden können oder auch dafür, daß nicht Güter sondern Dienstleistungen im Sinne eines Ökoleasing nachgefragt werden. Insgesamt werden im Bereich der Unternehmen mehr und mehr Elemente eines proaktiven Umweltmanagements in die Unternehmensführung integriert. Dazu zählen u. a. Selbstverpflichtungen im Hinblick auf Emissions- und Abfallminderungsziele, das Öko-Audit, die Bereitstellung von Investitionskapital für Emissions- und Abfallminderungsziele oder der erklärte Verzicht auf als kritisch erkannte Produkte. Es ist dabei nicht erheblich, ob dies deswegen geschieht, weil damit einem veränderten Nachfrageverhalten von Verbrauchern Rechnung getragen wird, oder ob der Verzicht eigener Einsicht entspricht.

## 4 Analyse von Stoffströmen unter Berücksichtigung der Aspekte Ökologie, Ökonomie und Soziales

### 4.1 Zielsetzung

#### 4.1.1 Zur Rolle von Stoffstromanalysen in verschiedenen Politikansätzen

Wie bereits im vorherigen Kapitel (Kap. 3) deutlich gemacht wurde, soll es Aufgabe einer Stoffpolitik sein, den Stoffstrom und seine Struktur so zu beeinflussen, daß Risiken für den Menschen und die Umwelt gemindert und innerhalb und zwischen den Generationen eine nachhaltige Wirtschaftsentwicklung gewährleistet werden kann.

Stoffströme und ihre Struktur werden entlang der Lebenslinie von verschiedenen Akteuren (z. B. Unternehmungen, Haushalte) beeinflußt. Jeder dieser Akteure betreibt in seinem Teilbereich in gewisser Weise Stoffstrommanagement. Der Staat greift bislang ordnungsrechtlich in Stoffströme dann ein, wenn hinreichend begründet eine Gefährdung zu vermuten ist. Solche punktuellen Eingriffe sind oft weitreichend und in ihren Folgen nicht ohne weiteres absehbar. Insbesondere sind Verlagerungen in verkoppelten Stoffströmen oft nicht vorab erkennbar, wenn solche Stoffströme nicht in ihrer Verflechtung und in ihren Auswirkungen analysiert werden. Stoffstromanalysen sind eine Methode, um Ansatzpunkte für den Umgang mit gesundheitlich und/oder ökologisch relevanten Stoffen herauszuarbeiten. Welche Instrumente von welchen hauptverantwortlichen Akteuren im jeweiligen Einzelfall eingesetzt werden, hängt von der Art der Stoffe, ihrem Eintrag in die Umwelt, den mit ihnen verbundenen Risiken für Mensch und Umwelt und ihrer ökonomischen und sozialen Bedeutung ab.

Zur Umsetzung dieses stoffpolitischen Anliegens stehen grundsätzlich zwei strategische Ansatzpunkte mit unterschiedlichen Anforderungen an die Informationsgrundlagen politischer Entscheidungsprozesse zur Verfügung:

- Ein marktwirtschaftlicher Politikansatz, der die Lösung der eben skizzierten Probleme über die effiziente Ausgestaltung eines gesellschaftlichen Suchprozesses anzugehen versucht, und
- ein eher als quantitativ-interventionistisch zu kennzeichnender Politikansatz, der zugunsten eines quantifizierten Leitbildes von „Nachhaltigkeit“ der Wirtschaftsentwicklung selektiv zu intervenieren bereit ist.

In der politischen Praxis werden Elemente beider Ansätze vielfach ergänzend oder als Instrumentenmix verwendet.

Der erste Politikansatz vertritt die These, daß die Implikationen menschlichen Handelns, vor allem wenn sie die Zukunft betreffen, nur bedingt erfaßbar

sind und auch kein Mensch die Realität in ihrer Komplexität vollständig abzubilden vermag bzw. auch nicht über die künftigen Bedürfnisse, Risiken und Handlungsmöglichkeiten ausreichend Bescheid wissen kann. Insbesondere sind die Vertreter dieses Ansatzes der Auffassung, daß es letztlich kaum möglich sein wird, die sich wandelnden Präferenzen der Bürger rechtzeitig und adäquat zu erfassen und in Form einer sozialen Bewertungsfunktion zum Ausdruck zu bringen. Ein solcher Ansatz akzeptiert zwar das Nachhaltigkeitsprinzip als qualitatives Postulat, verzichtet aber aufgrund dieser Problemeinschätzung auf eine explizite Quantifizierung des anzustrebenden Pfades nachhaltiger Wirtschaftsentwicklung und versteht die zu bewältigende Aufgabe eher als die effiziente Ausgestaltung eines gesellschaftlichen Suchprozesses, dessen Ergebnis zwar Nachhaltigkeit gewährleisten soll, wobei das Suchergebnis aber selbst als a priori nicht bestimmbar angesehen wird. Insofern verzichtet dieser Ansatz auf eine umfassende Bewertung einzelner Stoffe und Güter auf der Basis von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen. Sein Interesse gilt vielmehr der Festlegung von Rahmenbedingungen (etwa Gewährung von Eigentumsrechten an Umweltgütern oder Verschärfung des Haftungsrechtes) und verbindet sich mit der Erwartung, daß auf diese Weise Preise zustande kommen, die auch die ökologische Wahrheit sagen.

Da es sich bei der Bewältigung des Umweltproblems in starkem Maße um die Lösung einer Allokationsaufgabe (effiziente Nutzung knapper Ressourcen) sowie um die Offenlegung räumlich und zeitlich divergierender Präferenzen handelt, kommt der Marktwirtschaft sowie der föderalen Organisation des politischen Planungs- und Entscheidungsprozesses im Rahmen dieses Politikansatzes besondere Bedeutung zu. Interventionen werden in solchen Fällen als zulässig angesehen, wo belegt werden kann, daß derartige institutionelle Regelungen (etwa aufgrund von Marktversagen) nicht ausreichen, um Nachhaltigkeit des Wirtschaftens zu gewährleisten. Derartige Interventionen bedürfen jedoch einer hinreichenden Informationsgrundlage.

Der quantitativ-interventionistische Politikansatz möchte mehr sein als selektives Eingreifen in Ausnahmefällen zwecks Gefahrenabwehr. Ihm geht es vielmehr um eine systematische Beeinflussung des Stoffflußvolumens und der Stoffstruktur vor dem Hintergrund einer umfassenden Stoffstromanalyse und -bewertung als Grundlage politischen Handelns. Über Stoffe soll nach Ansicht der Vertreter dieses Ansatzes nicht mehr allein auf der Basis des bisherigen Bewertungs- und Zulassungsverfahrens, das in starkem Maße das human- und ökotoxische Potential eines Stoffes in der Produktions- oder Verwendungsphase in den Mittelpunkt stellt, entschieden werden,

sondern Grundlage einer derartigen interventionistischen Stoffpolitik soll eine Stoffstromanalyse werden, welche die wichtigsten Stoffe und Güter von der „Wiege bis zur Bahre“ verfolgt und diesen Produktlebenszyklus einer umfassenden Bewertung unterzieht.

Ausgangspunkt ist somit eher ein physisches Bilanzprinzip, das dann nachfolgend zur Grundlage von Bewertungsverfahren unter Einbeziehung weiterer ökologischer, sozialer und ökonomischer Kriterien werden soll, und zwar in Gremien, die möglichst die Beteiligung aller gesellschaftlich relevanten Gruppen in den Entscheidungsprozeß gewährleisten sollen. Auf der Basis solcher Bewertungen soll dann über die parallele Zulassung eines Produkts, seine Lebensdauer, seine Kreislaufschließung, seine Material- und Energieintensität usw. entschieden werden.

Unabhängig davon, von welchem Ansatz man ausgeht, ist die Aufgabe des Staates im Rahmen einer dem Leitbild einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung verpflichteten Politik vierfacher Natur:

- Zunächst einmal hat der Staat die institutionellen Rahmenbedingungen für die Ausgestaltung des Suchprozesses zu setzen und dabei insbesondere dafür Sorge zu tragen, daß möglichst alle Folgekosten menschlichen Handelns preiswirksam internalisiert werden, um auf diese Weise die Lenkungsfunction des Marktpreismechanismus zu verbessern.
- Des weiteren muß der Staat dort, wo die „Knappheit“ bestimmter Ressourcen und Senken (etwa die begrenzte CO<sub>2</sub>-Aufnahmefähigkeit der Erdatmosphäre oder sauberes Grundwasser) aufgrund der Ressourceneigenschaften (mangelnde Ausschließbarkeit von Nutzern) nicht ausreichend oder zu spät zur Geltung kommt, die über Wirkungsanalysen bzw. die Gefahr des Leistungszusammenbruchs begründete Knappheit definieren bzw. festsetzen.
- In gleicher Weise hat der Staat die wegen ihres Kollektivgutcharakters sowie ihrer meritorischen Eigenschaften mindestens zu schützenden Naturbereiche (globale, lokale oder nationale Schutzgüter) festzulegen.
- Schließlich muß es dem Staat möglich sein, wo es um Stoffe mit einem hohen gesundheitlichen oder ökologischen Gefahrenpotential geht, im Sinne einer Gefahrenabwehr schnell — und sei es über Verbote — zu handeln.

Von entscheidender Bedeutung ist die Internalisierung aller Folgekosten, da sie die vielzitierte „ökologische Wahrheit der Preise“ schaffen soll. In einem solchen System muß insbesondere dafür Sorge getragen werden, daß individuelle Handlungsfreiheit möglichst gewahrt bleibt, was vor allem Minimierung des Einsatzes von Geboten, die letztlich immer Handlungsanweisungen beinhalten, heißt. Immer wieder muß man in diesem Zusammenhang nicht nur die bereits oben skizzierten Kriterien der Ökonomieverträglichkeit in Erinnerung rufen, sondern auch betonen, daß Verbote manchmal marktwirtschaftskonformer sein können als Gebote.

Politische Entscheidungen bedürfen grundsätzlich einer zuverlässigen Informationsgrundlage. Handelt der Staat überwiegend interventionistisch, so ist er in besonderem Maße von der Qualität der Informationsgrundlage abhängig. Beschränkt er sich darauf, Rahmenbedingungen für ein marktwirtschaftliches Handeln vorzusehen, so benötigt er Informationen zumindest für die Formulierung solcher Bedingungen. Diese Grundlagen sind auch für eine dem Leitbild der nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung verpflichteten marktwirtschaftlichen Politik von Bedeutung, da auch dort in begründeten Einzelfällen die Möglichkeit von Interventionen nicht ausgeschlossen wurde und derartige Interventionen, die bis zum Produktverbot gehen können, begründet werden müssen. Dies bedeutet, daß die Enquete-Kommission sich zunächst mit den Möglichkeiten, aber auch den Problemen einer umfassenden Stoffstromanalyse auseinandersetzen muß. Hierzu sollen nachfolgend Beispiele gegeben werden, um danach auf die Probleme einer umfassenden Bilanzierung unter Berücksichtigung ökologischer, sozialer und ökonomischer Aspekte einzugehen.

#### 4.1.2 Stoffstromanalyse

Fragt man nach einer allgemeinen Kennzeichnung der Stoffstromanalyse, so kann man sie als systematische Bestandsaufnahme des Wegs eines chemischen Elements (z. B. Chlor, Cadmium), einer Verbindung (z. B. Benzol) oder eines Materials (z. B. Holz, Kies, PVC) im Naturkreislauf und/oder durch den Wirtschaftskreislauf bezeichnen. Der Stoffbegriff wird somit auf sehr unterschiedliche Dinge bezogen und ist keineswegs eindeutig festgelegt. Hieraus ergibt sich bereits eine gewisse Offenheit des Begriffs der Stoffpolitik. Einmal ist es ein Gut, dessen Verlaufsbild beeinflusst werden soll, im anderen Fall ist es ein Verbindungs- oder Materialbestandteil eines Gutes, wobei bereits die Auswahl des Stoffes eine Wertung beinhalten kann. Manchmal steht der Stoffbegriff aber auch ganz allgemein für die Gesamtheit aller Materialien, die in den Wirtschaftskreislauf eingehen und diesen nach einer gewissen Zeit wieder verlassen, um dann deponiert zu werden.

Einer solchen Stoffstromanalyse liegt in der Regel das physische Bilanzprinzip zugrunde, d. h. die stofflich-energetischen Eingangs- und Ausgangsgrößen werden, bezogen auf ein analytisch abgegrenztes System (Bilanzraum) und unter Berücksichtigung der Akkumulation und der Umwandlung, einander gegenübergestellt. Gemäß dem Massenerhaltungssatz geht hierbei im Rahmen eines solchen Stromvorgangs letztlich keine Masse verloren, nur ihr Zustand und damit auch ihre Verfügbarkeit (Entropiegrad) ändern sich im Phasenablauf.

Methodisch stehen für eine derartige Stoffstromanalyse vielfältige Verfahren zur Verfügung. Sie reichen von den Stücklisten, Inventarlisten über die „Stoffbuchhaltung“, „Stofftabellen“ hin zu anderen Erfassungsformen wie Stoff- und Materialbilanzen, Ablaufdiagramme, Stofffluschemata, Stoffstromdiagramme usw. Der Aufgliederungs- und Detaillierungsgrad



dieser Analysen hängt u. a. von den Fragestellungen und der Art der zu analysierenden Stoffe ab. Güter mit hohem toxischen Potential verlangen in der Regel eine größere Tiefengliederung als solche, bei denen Volumenfragen (etwa unter Abfallaspekten) im Vordergrund stehen.

Wichtig ist die Frage nach dem Bilanzraum. Gemeint sein kann ein einzelner Stoff (und zwar über verschiedene Betriebe, Regionen oder Nationen hinweg), ein Betrieb, eine Region, eine Nation oder der globale Bilanzierungsraum. Dies ist nicht nur unter analytischen Überlegungen interessant. Vielmehr zeigt sich, daß man einzelne Bilanzräume gerne mit Bewertungen verbindet und die hierauf bezogenen Stoffstromanalysen als Planungsinstrumente interpretiert. Sehr schnell wird somit aus einem Analyse- ein Bewertungsverfahren, wobei die Schwäche des Analyseverfahrens sehr schnell aus dem Auge verloren wird. Dies soll anhand der nachfolgenden exemplarischen Darstellung von Stoffstromanalysen auf unterschiedlichem Aggregationsniveau näher erläutert werden.

#### 4.1.3 Exemplarische Darstellung von Stoffstromanalysen auf unterschiedlichem Aggregationsniveau

##### Betriebliche Stoffstromanalyse

Betriebliche Stoffstromanalysen sind zunächst noch kein politisches Planungs- oder Entscheidungsinstrument. Sie vermögen jedoch Unternehmen wertvolle Hinweise über unternehmensinterne Schwachstellen sowie über Ansatzpunkte zur besseren Organisation (Störfallvorsorge, Energieeinsparung usw.) ihrer Betriebe zu geben. Den Detaillierungsgrad sollte man Unternehmen überlassen; er wird stets einzelfallabhängig sein. Von Vorteil ist hierbei, daß bei betriebsinternen Analysen Geheimhaltungsvorschriften und Datenschutzüberlegungen in der Regel entfallen.

##### Regionale Stoffstromanalyse

Anders sieht es hingegen aus, wenn regionale Stoffstromanalysen in den Vordergrund treten und sie zur Grundlage politischer Entscheidungen, etwa der Ansiedlungs- und Strukturpolitik, werden. Hier tritt die Einzelstoffbetrachtung in der Regel zurück und wird durch ein Stoffaggregat ersetzt. Insbesondere sollen solche regionalen Stoffstrombilanzen Hinweise über die zu erwartende regionale Immissionsbelastung, das Abfallaufkommen usw. geben. Häufig wird hierbei aus einer Stoffstromanalyse eine Analyse von Güterströmen.

Bekannt geworden ist vor allem das von Baccini und Brunner entwickelte Konzept für eine regionale Stoffstromanalyse (Baccini/Brunner, 1990; EAWAG, 1990). Durch eine Kombination von Stoffstromanalyse und Güterstromanalyse im Sinne einer regionalen „Stoffbuchhaltung“ soll dieses Konzept vor allem eine grobe Abschätzung der bio-geogenen, d. h. der vom

Menschen verursachten Stoffströme vornehmen und Grundlagen für politische Entscheidungen schaffen.

Das Konzept ist vor allem auf die Beantwortung folgender Fragen ausgerichtet:

- Welches sind die wichtigsten anthropogenen und geogenen Prozesse, Güterflüsse und Reservoirs in einer spezifischen Region?
- Welches sind die wesentlichen Stoffströme — dargestellt an ausgewählten Stoffen innerhalb dieser Prozesse, Güterflüsse und Reservoirs; wo finden Anreicherungen und Verluste statt?
- Welches sind die wichtigsten Möglichkeiten und Kriterien zur Steuerung dieser Stoffströme?

Gerade die letzte Frage zeigt, daß es Baccini und Brunner um mehr als eine empirische Analyse geht. Dies wird auch aus Empfehlungen bezüglich der Bewertung regionaler Stoffströme ersichtlich. Danach ist eine Störung des natürlichen Gleichgewichts dort zu erwarten, wo der anthropogene Anteil an den Stoffströmen und -reservoirs in einer Größenordnung liegt, die die natürliche Variation übersteigt.

Unverkennbar ist aber auch, daß sich dieser (Bewertungs-) Ansatz mit einigen Problemen verbindet. So hängen die Ergebnisse in starkem Maße von der Regionenabgrenzung ab. Je enger die Regionsgrenzen festgelegt werden, desto eher ist eine „Störung“ des regionalen Stoffhaushaltes zu erwarten. Die Frage ist außerdem, ob die „natürliche Variation“ wirklich als Entscheidungskriterium akzeptiert werden kann. Wäre dies der Fall, würden die meisten Ballungs- und Verdichtungsgebiete gegen das Leitbild eines ökologisch orientierten Stoffhaushaltes verstoßen. Folgt man hingegen dem Leitbild einer funktionsräumlichen Arbeitsteilung, kann es Regionen geben, bei denen man von anderen Grenzen auszugehen hat.

Ähnlich problematisch ist es, wenn man von anderen Bemessungskriterien wie Werkstoffe je Geldeinheit oder der Materialintensität ausgeht. So kann die durchschnittliche Materialintensität einer Volkswirtschaft sicherlich nicht entscheidendes Kriterium für die Beeinflussung regionaler Intensitäten sein. Dies wäre letztlich ein Abschied vom Konzept einer arbeitsteiligen Volkswirtschaft, in denen schwerindustriell geprägte Regionen neben Dienstleistungsregionen stehen. Die Enquete-Kommission sieht darum in diesen Überlegungen nur erste Denkansätze, die der weiteren Vertiefung bedürfen.

Weitere Ansätze, die regionalen Stoffströme zu erfassen und zum Ausgangspunkt einer raumbezogenen Umweltplanung zu machen, finden sich bei Hofmeister (1989). Diese Ansätze gehen davon aus, daß bei stoffbezogenen Bilanzen das strenge Bilanzprinzip im Sinne des Massenerhaltungssatzes nicht durchgehalten werden kann.

##### Globale Stoffstromanalyse

Einen eher global ausgerichteten methodischen Ansatz entwickelte Schmidt-Bleek (1993) vom Wuppertaler Institut für Klima · Umwelt · Energie. Er

schlägt bei seiner globalen Stoffstromanalyse als Grobindikator und Maß für die Umweltbelastungsintensität von Infrastrukturen, Gütern und Dienstleistungen die Ermittlung der lebenszyklusweiten „Materialintensität pro Serviceeinheit“, d. h. pro Einheit Gut, oder pro Masseneinheit Gut, (MIPS) vor. Darunter wird der gesamte Material- und Energiedurchsatz in Kilogramm oder Tonnen „von der Wiege bis zur Bahre“ verstanden, und es werden insbesondere auch alle zur Produktion, zum Gebrauch und zur Entsorgung notwendigen Anlagen, alle Transportanteile sowie Verpackungen mitberücksichtigt. Schmidt-Bleek vergleicht die anthropogenen und geogenen Stoffströme auf globaler Ebene und kommt zu dem Ergebnis, daß die von Menschen bewegten Stoffströme bereits in der gleichen Größenordnung liegen, wie die geogenen Stoffströme. Er erkennt als ein Hauptproblem der industriellen Wirtschaftsweise die zu hohe Materialintensität. Für mengenmäßig relevante anthropogene Stoffströme hält er global eine Reduzierung um 50 % für erforderlich. Unter Berücksichtigung der großen Unterschiede bei der Beanspruchung von Ressourcen in Industrie- und Entwicklungsländern — 80 % der globalen Stoffströme werden derzeit für die Befriedigung der materiellen Bedürfnisse der reicheren 20 % der Weltbevölkerung in Bewegung gesetzt (Schmidt-Bleek, 1993, S. 10) — leitet er die Forderung ab, daß sich der Ressourcenverbrauch pro Kopf der Bevölkerung in den Industrieländern langfristig in der Größenordnung des Faktors 10 verringern muß.

Die Enquete-Kommission sieht dieses Konzept als eine mögliche Vorgehensweise an, erkenntnisleitende Fragen für globale Stoffstromanalysen zu entwickeln. Hinsichtlich der Tragfähigkeit der Prämissen und der umweltpolitischen Umsetzbarkeit des MIPS-Konzeptes sind Zweifel aufgetaucht. Die Aussage, vom Menschen bewegte Stoffströme lägen bereits in der Größenordnung geogener Stoffströme, wird beispielsweise durch die Ergebnisse der von Baccini und Brunner vorgestellten regionalen Stoffstromanalysen nur in Bezug auf Teilströme, wie den des Wassers, bestätigt.

Ein weiterer stoffstromanalytischer Ansatz auf der globalen Ebene wurde am Beispiel der Chlorchemie vom Stanford Research Institut International (SRI) entwickelt. Mit dem Ziel, Firmen und öffentlichen Institutionen eine Grundlage für strategische Planungen bzw. für die Erarbeitung von politischen Richtlinien bereitzustellen, wurde zum ersten Mal eine umfassende weltweite Darstellung der Chloralkali-Industrie angefertigt, auf deren Basis eine Methodologie zur Lösung der anstehenden Probleme erarbeitet und die Darstellung möglicher zukünftiger Entwicklungen in der Chloralkali-Industrie vorgenommen werden kann. Dazu wurden unter anderem Produktionszahlen und ökologisch relevante Daten, Produktstammbäume, Stoffströme im Produktionskomplex und extraregionale Handelsströme erhoben bzw. ermittelt und miteinander verknüpft.

Die Arbeit des SRI geht davon aus, daß in der heutigen Industriegesellschaft ökologische, ökonomische, und soziale Interessen gegeneinander abzuwägen sind. Dies gelingt auf der globalen Ebene umso besser, je

mehr globale Stoffstromanalysen vorliegen. Der heutige große Mangel an derartigen Informationen könnte durch die Parallelführung der ökonomischen und ökologischen betrieblichen Kostenrechnung verringert werden.

#### 4.1.4 Nationale Stoffstromanalyse

Neben den betrieblichen, regionalen und globalen Stoffstromanalysen, die sich vor allem durch ihr unterschiedliches Aggregationsniveau unterscheiden, ist für die Enquete-Kommission gemäß ihrem Auftrag gerade auch ein Konzept einer nationalen Stoffstromanalyse bedeutsam. Einen ersten Schritt in diese Richtung hat das Umweltweltbundesamt durch die Herausgabe der Chlorhandbücher I und II gemacht (UBA, 1991; 1992). Dort wurde erstmals der gesamte Chlorfluß für die Bundesrepublik Deutschland erfaßt, bilanziert und eine systematische Übersicht über Herkunft und Verbleib von Chlor und seinen Verbindungen gegeben. Das verwendete Gliederungsprinzip ist der Fluß der Leitsubstanz Chlor von der Erzeugung bis zum Verbleib (Stoffstrom-Prinzip).

Auch die Enquete-Kommission hat im Rahmen ihrer Forschungsaktivitäten Stoffstromanalysen durchgeführt. Mit diesem Bericht wird die erste nationale Stoffstromanalyse für Cadmium (s. Kap. 4.3.1.3) und für Benzol (s. Kap. 4.3.2.3) vorgestellt.

Die größte Schwierigkeit besteht hier, wie auch auf der betrieblichen, regionalen und globalen Ebene, in der Ermittlung der notwendigen validierten Daten. Das Umweltbundesamt kommt zu dem Ergebnis, „daß erschreckend wenig öffentlich zugängliche Informationen über die Vielzahl von Stoffen, deren Anwendungsspektrum sowie deren mögliche direkte oder indirekte Exposition bei der gewerblichen Verarbeitung und im Verbraucherbereich existieren. Eine Erhöhung der Transparenz im Bereich der Anwendung chemischer Stoffe ist unbedingt erforderlich.“ (UBA, 1992, S. II).

Es ist Aufgabe der Enquete-Kommission, Konzepte zu entwickeln, mit deren Hilfe diese Transparenz und der öffentliche Zugang zu Daten gewährleistet werden können. Dem berechtigten Schutz von Betriebsgeheimnissen ist dabei Rechnung zu tragen. Nur mit einer fundierten validierten Datenbasis und allgemein anerkannten Konzepten zur Stoffstromanalyse ist es möglich, von den verschiedensten Akteuren akzeptierte umwelt-, sozial- und ökonomieverträgliche Veränderungen der anthropogenen Stoffströme durchzusetzen.

#### 4.1.5 Ausblick

Die bisherige Arbeit der Enquete-Kommission zum Thema Stoffstromanalysen ist als ein Einstieg aufzufassen, der einerseits mittels Betrachtung von Einzelbeispielen (Kap. 4.3.1 bis 4.3.3) und Bedürfnisfeldern (Kap. 4.3.4 und 4.3.5) sowie andererseits durch die Beschäftigung mit ausgewählten konzeptionellen Ansätzen geleistet wurde. In einer internen Anhörung wurden das globale Konzept von Schmidt-Bleek, der



regionale Ansatz von Baccini und Brunner und das Projekt „Analyse prioritärer Abfallströme“, das bei der EG-Kommission angesiedelt ist, diskutiert. Eine Vervollständigung und Zusammenführung der hierbei gesammelten Erkenntnisse konnte bisher noch nicht geleistet werden.

Zur Unterstützung ihrer Arbeit hat die Enquete-Kommission eine Studie in Auftrag gegeben, in der bestehende Konzepte zur Erfassung ökologisch und ökonomisch relevanter Stoffströme auf regionaler, nationaler und globaler Ebene sowie damit beschäftigte Institutionen beschrieben werden sollen. Dabei werden auch Ansätze für eine Verknüpfung von natur- bzw. ingenieurwissenschaftlichen und ökonomischen Verfahren für die Beschreibung von Stoffströmen untersucht. Die Studie soll anhand von Anwendungsbeispielen Anforderungen an Stoffstromanalysen herausarbeiten, die sich aus typischen Aufgaben eines Stoffstrommanagements ergeben. Für unterschiedliche Aufgaben eines Stoffstrommanagements soll dabei die Eignung verschiedener Konzepte zur Erfassung von Stoffströmen geprüft werden. Anhand einer Übersicht über ökologisch und ökonomisch wichtige Stoffströme in der Bundesrepublik Deutschland sollen darüber hinaus Schlußfolgerungen für national wichtige Stoffstrommanagementaufgaben gezogen und entsprechende Lösungsansätze formuliert werden.

## 4.2 Ökobilanzen und Produktlinienanalysen

### 4.2.1 Aufgabenstellung für die Enquete-Kommission

Im Einsetzungsauftrag der Enquete-Kommission nehmen Ökobilanzen und Produktlinienanalysen einen großen Raum ein. Die Enquete-Kommission hat danach u. a. den Auftrag,

- wissenschaftlich begründete und gesellschaftlich konsensfähige Bewertungskriterien für vergleichende Ökobilanzen zu entwickeln,
- systematisch volkswirtschaftliche Kosten und Nutzen sowie Chancen und Risiken von Stoffen und Stoffströmen, auch in Verbindung mit Energieeinsatz, Verfahrenstechniken und Funktionszusammenhängen aufzuarbeiten und
- eine Prüfung einzelner Stoffe und Produkte in vergleichbaren Anwendungsfeldern auf ihre Umweltrelevanz (Ökobilanzen) vorzunehmen.

### 4.2.2 Hintergrund der Arbeit der Enquete-Kommission zu Ökobilanzen und Produktlinienanalysen

Das öffentliche Interesse, Aussagen über die Umweltauswirkungen von Sachgütern oder Dienstleistungen zu erhalten, wird von der zunehmenden Erkenntnis geleitet, daß die Produkte zu den wesentlichen „Emissionen“ in der Industriegesellschaft zählen.

Dem Grundgedanken einer möglichst umfassenden Betrachtung aller Auswirkungen eines Produktes über seine gesamte Produktlinie, der der Ökobilanz und der Produktlinienanalyse zugrundeliegt, wird bereits ansatzweise auf verschiedenen Ebenen Rechnung getragen. So werden seit Mitte der 70er Jahre für zunehmend mehr Produkte sowohl von wissenschaftlichen Instituten als auch von Unternehmen Analysen über den Energie- und Rohstoffeinsatz sowie über die damit verbundenen Umweltbelastungen erstellt. Die Beurteilung der Umweltrelevanz von Produkten, Produktionsverfahren oder Dienstleistungen nimmt in der Öffentlichkeit einen zunehmend hohen Stellenwert ein. Die Ökobilanz und die Produktlinienanalyse werden dafür als wichtige Analyseinstrumente gesehen.

Sowohl wissenschaftliche Institutionen als auch Politik, Industrie, Gewerkschaften, Verbraucher- und Umweltverbände beschäftigen sich seit einiger Zeit mit verschiedenen Konzepten der Ökobilanz sowie der Produktlinienanalyse als Bilanzierungs- und Bewertungsinstrumentarien. Inzwischen wurden auf nationaler und internationaler Ebene einige Gremien gebildet, in deren Rahmen die verschiedenen Interessengruppen zusammenkommen, um konsensfähige Bilanzierungsmethoden und Bewertungskriterien zu erarbeiten (Deutscher Umwelttag 1992, Umwelt Forum Frankfurt, Subgroup „Life-Cycle-Analysis“ im Rahmen der Strategic Advisory Group on Environment — SAGE, Normenausschuß Grundlagen des Umweltschutzes beim DIN mit dem Arbeitsausschuß „Produkt-Ökobilanzen“, Society of Environmental Toxicology and Chemistry — SETAC).

Behörden beabsichtigen, Ökobilanzen als eine Informationsgrundlage für umweltpolitische Maßnahmen einzusetzen. Auch für das deutsche Umweltzeichen „Blauer Engel“ wurde der Anspruch formuliert, die ökologischen Auswirkungen der gekennzeichneten Produkte entlang der gesamten Produktlinie zu berücksichtigen. Ein weiterer Versuch wurde mit dem Eco-Label der EG gestartet.

Von besonderer Bedeutung ist die Internationalisierung der Entwicklung: Produkte und Grundstoffe werden meist für den europäischen Markt oder für den Weltmarkt erstellt (z. B. Kunststoffe, Waschmittelinhaltsstoffe), so daß es wenig Sinn macht, den Bilanzraum auf den nationalen Markt einzugrenzen. Entsprechend gibt es auch Bestrebungen, die Methodenkonvention international abzustimmen.

### 4.2.3 Behandlung des Themas in der Enquete-Kommission

Die Enquete-Kommission hat das Thema „Ökobilanzen und Produktlinienanalysen“ in zwei kleinen nicht-öffentlichen und einer großen öffentlichen Anhörung sowie in mehreren Kommissionssitzungen und in einer Arbeitsgruppe behandelt. Es wurde beschlossen, daß die Enquete-Kommission keine eigenen Ökobilanzen erstellt bzw. erstellen läßt, sondern sich auf Ziele, Methodik und Umsetzung konzentriert wird. Die Enquete-Kommission ist auch im Arbeitsausschuß „Produkt-Ökobilanzen“ des DIN

vertreten, um die Entwicklung dort aktuell verfolgen zu können.

Um eine Bestandsaufnahme der verschiedenen Positionen zu Ökobilanzen vorzunehmen, führte die Enquete-Kommission am 25. Juni 1992 eine interne Anhörung durch, bei der je ein Vertreter der Industrie (Dr. Manfred Marsmann, Bayer AG), des Umweltbundesamtes (Harald Neitzel) sowie des Öko-Instituts (Dr. Rainer Griebhammer) ihre verschiedenen Diskussionsansätze mündlich und schriftlich vorstellten (KDrS 12/4). In den Beiträgen wurden bereits die wesentlichen Stichworte genannt, die die weitere Diskussion prägten: Vergleichsweise große Einigkeit herrschte über das Ziel von Ökobilanzen (ökologische Systemanalyse bzw. Systemvergleich und vergleichende Produktbewertung) und deren Methodik. Unterschiedliche Einschätzungen gab es über den Einbezug ökonomischer und sozialer Aspekte und des Produktnutzens (wie sie im Rahmen der Produktlinienanalyse gemacht werden).

Auf dieser Grundlage folgte am 24. und 25. September 1992 eine öffentliche Anhörung zum Thema Ökobilanzen und Produktlinienanalysen (KDrS 12/3; 12/3 a bis h). Die Anhörung erstreckte sich auf allgemeine Ausführungen (Aufgabenstellung, Planungsinteressen, Ökobilanzen versus Produktlinienanalysen, Schwerpunktsetzung auf vorrangig zu untersuchende Produkte, Beteiligung der Öffentlichkeit, Nutzenaspekte), die Methodik und auf den Handlungsbedarf (politische Umsetzung, Einordnung in die Produktpolitik, Forschungsschwerpunkte).

Eingeladen waren nationale und internationale Sachverständige aus der Wissenschaft, der Industrie, den Umwelt- und Verbraucherverbänden, den Gewerkschaften, den Behörden und aus Consulting-Unternehmen.

Eine dritte, interne Anhörung am 18. Mai 1993 sollte die bislang zusammengetragenen Daten um praktische Erfahrungen ergänzen. Zu diesem Zweck wurden vier aktuelle Ökobilanzen und eine Technikfolgenabschätzung vorgestellt, und die aus der Sicht der Projekt-Beteiligten aufgetretenen methodischen Probleme aufgezeigt.

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Ergebnisse der drei Anhörungen zusammengefaßt:

#### **4.2.4 Zur Kategorisierung von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen**

##### **4.2.4.1 Definition von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen**

Ökobilanzen analysieren den gesamten Lebensweg („Produktlinie“) eines Produktes (Entnahme und Aufbereitung von Rohstoffen, Herstellung, Distribution und Transport, Gebrauch, Verbrauch und Entsorgung), analysieren die ökologischen Wirkungen und bewerten die längs des Lebensweges auftretenden Stoff- und Energieumsätze und die daraus resultierenden Umweltbelastungen.

Produktlinienanalysen analysieren darüber hinaus die sozioökonomischen Wirkungen. Sie erfassen, analysieren und bewerten auch den Nutzen des Produkts in einer Kosten-Nutzen-Abwägung. Produktlinienanalysen werden von einem Forum bestehend aus Vertretern der gesellschaftlichen Gruppen begleitet.

Der Begriff „Ökobilanz“ wird in der Literatur vielfach verwendet, da er sowohl für produktbezogene Bilanzierungen als auch für unternehmensbezogene Stoff- und Energiebilanzen steht. Darüber hinaus werden auch regionale oder nationale Energie- und Schadstoffbilanzen mit dem Begriff „Ökobilanz“ gekennzeichnet. Wenn nachfolgend von Ökobilanzen die Rede ist, sind — wenn nicht anders gekennzeichnet — immer Produkt-Ökobilanzen gemeint.

##### **4.2.4.2 Allgemeine Aufgabenstellung von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen und ihre Rolle im Stoffstrommanagement**

Produktlinienanalysen und Ökobilanzen werden als Informations-, Planungs- und Kontrollinstrumente vorgeschlagen. Sie können verwendet werden

- zum Vergleich von Produkten,
- zur Optimierung einzelner Produkte bzw. Systeme,
- zur Auswahl der geeigneten produktpolitischen Maßnahmen.

Ökobilanzen und Produktlinienanalysen gehören wie etwa auch regionale oder nationale Stoffstromanalysen oder Betriebs-Ökobilanzen zu den Methoden, die im Rahmen des Stoffstrommanagements eingesetzt werden können. Ihre Bedeutung innerhalb dieses Bündels von möglichen Methoden ist bisher wenig geklärt. Es hat den Anschein, als ob viele der Hoffnungen und Befürchtungen und umweltpolitischen Streitpunkte, die sich eigentlich eher auf das allgemeine Stoffstrommanagement beziehen, stellvertretend an Ökobilanzen und Produktlinienanalysen ausgetragen werden.

##### **4.2.4.3 Akteursbezug und bisherige Erfahrungen**

Ökobilanzen und Produktlinienanalysen werden von verschiedenen Akteuren mit verschiedener Zielrichtung eingesetzt bzw. gefordert:

- Unternehmen bevorzugen Ökobilanzen und nutzen diese zur betriebsinternen Optimierung und/oder zur Werbung. Die Ökobilanzen werden von den Unternehmen selbst finanziert und selbst durchgeführt oder an Consultants vergeben.
- Umwelt- und Verbraucherverbände fordern je nach Fragestellung Ökobilanzen oder Produktlinienanalysen und nutzen diese einerseits zur Verbraucherentscheidung, andererseits zur Vorbereitung umweltpolitischer Entscheidungen. In der Regel sind Umwelt- und Verbraucherverbände darauf angewiesen, daß die Ökobilanzen und Produktlinienanalysen von dritter Seite finanziert

und durchgeführt werden. Nur in wenigen Fällen konnten sie Ökobilanzen selbst finanzieren.

- Öffentliche Stellen bevorzugen bislang Ökobilanzen und setzen diese zur Verbraucheraufklärung und/oder zur Begründung umweltpolitischer und/oder wirtschaftspolitischer Entscheidungen ein. Die Ökobilanzen werden selbst oder in Kooperation mit der Industrie finanziert und selbst durchgeführt oder an Consultants vergeben.

International wurden fast nur Ökobilanzen durchgeführt; die Produktlinienanalyse wird vorwiegend im deutschsprachigen Raum gefordert oder durchgeführt. Allerdings gibt es auch Mischformen (z. B. das niederländische VNCI-Modell oder die Rapsölstudie des Umweltbundesamts, die ebenfalls ökonomische Aspekte erfassen), die man je nach Standpunkt als erweiterte Ökobilanz oder eingeschränkte Produktlinienanalyse bezeichnen könnte.

#### 4.2.4.4 Zum grundsätzlichen Einbezug ökologischer, ökonomischer und sozialer Aspekte

Während die Berücksichtigung ökologischer Aspekte bei Ökobilanzen oder Produktlinienanalysen auf der Hand liegt, ist der Einbezug ökonomischer und sozialer Aspekte in die Produktbilanzierung grundsätzlich umstritten und markiert die Trennlinie zwischen Ökobilanzen und Produktlinienanalysen.

Folgende Sachverständige oder Institute fordern die direkte Berücksichtigung auch der ökonomischen und sozialen Aspekte in der Produktbewertung (und damit die Produktlinienanalyse): Gensch (KDRs 12/3 e), Pfriem (KDRs 12/3 e), Strobele (KDRs 12/3 h), Radünz (KDRs 12/3 a). Vertreter der Industrie, das Umweltbundesamt und zum Teil Institute des europäischen Auslandes lehnen den direkten Einbezug ökonomischer und sozialer Aspekte ab (Boustead (KDRs 12/3 d), Feuerherd (KDRs 12/3 c), Franke (KDRs 12/3 h), Marsmann (KDRs 12/3 g), Minet (KDRs 12/3 c). Eine in neuerer Zeit formulierte Ausnahme (KDRs 12/3 c, Feuerherd, S. 2; KDRs 12/3 h, Franke, S. 8; KDRs 12/3 g, Marsmann, S. 4) ist der Einbezug ökonomischer Aspekte nach dem niederländischen VNCI-Modell. Dabei ist es wichtig festzuhalten, daß die ansonsten vorherrschende Ablehnung ökonomischer und sozialer Aspekte weitgehend nur für den direkten Einbezug in die Ökobilanzen gilt. Gleichzeitig wird deutlich gemacht, daß diese Aspekte sehr wohl, wenn auch an anderer Stelle in die abschließende Bewertung und Entscheidungsfindung eingehen können oder sollen (KDRs 12/3 c, Jochem, S. 2; KDRs 12/3 c, Minet, S. 7; KDRs 12/3 h, UBA, S. 6, 8).

#### 4.2.5 Rahmenbedingungen

Wie bereits oben erwähnt, ist es hilfreich, die Rahmenbedingungen nach den Akteuren bzw. Einsatzfeldern von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen zu differenzieren. Entsprechend sind auch die Rahmenbedingungen für

- betriebsinterne Ökobilanzen und Produktlinienanalysen,
- Ökobilanzen und Produktlinienanalysen zur Kundeninformation und für Werbezwecke,
- Ökobilanzen und Produktlinienanalysen zur Entscheidungsfindung im politischen Raum unterschiedlich.

Unter dem Begriff Rahmenbedingungen werden nachfolgend

- die Datenlage und der Datenzugang,
- die Schwerpunktsetzung auf vorrangig zu erstellende Ökobilanzen und Produktlinienanalysen,
- die Erstellung von Ökobilanz-Bausteinen (Module) von Grundstoffen und -materialien behandelt.

##### 4.2.5.1 Derzeitige Datenlage

Die Datenlage wird allgemein als nicht ausreichend bezeichnet (KDRs 12/3 d, de Haes, S. 8; KDRs 12/3 a, Fink, S. 3; KDRs 12/3 h, Franke, S. 11; KDRs 12/3 b, Rubik, S. 23; KDRs 12/3 c, Jochem, S. 5; KDRs 12/3 b, Klöpfer, S. 16; KDRs 12/3 e, Gensch, S. 25; KDRs 12/3 h, UBA, S. 20). Dies gilt in besonderem Maß für nicht betriebsintern erstellte Ökobilanzen und Produktlinienanalysen und für allgemein zugängliche Daten, da Ökobilanzen und Produktlinienanalysen auf aktuelle betriebsbezogene Daten angewiesen sind. Eine wesentliche Verbesserung des Datenzugangs ergibt sich bei Kooperationen auf freiwilliger Basis. Bei betriebsinternen Ökobilanzen und Produktlinienanalysen ist die Datenlage im Hinblick auf betriebspezifische Teile der Produktlinie natürlich wesentlich besser, auch wenn die Daten z. T. neu erhoben oder anders zusammengestellt werden müssen. Probleme gibt es aber auch hier, wenn z. B. auf betriebsexterne Daten (z. B. von Vorlieferanten) zurückgegriffen werden muß, oder wenn kleine oder mittlere Firmen mit beschränktem Personalaufwand Ökobilanzen und Produktlinienanalysen erstellen wollen.

##### Nationale Umwelt- und Produktstatistik

Die nationale Umwelt- und Produktstatistik bietet nach durchgängiger Einschätzung derzeit nur wenige Informationen, die im Hinblick auf die Durchführung von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen hilfreich sind. Dies gilt auch international (KDRs 12/3 d, Boustead, S. 9f.; KDRs 12/3 a, Fink, S. 3; KDRs 12/3 d, de Haes, S. 9; KDRs 12/3 b, Klöpfer, S. 16; KDRs 12/3 e, Gensch, S. 26; KDRs 12/3 h, UBA, S. 21). Die Industrie vertritt überwiegend die Meinung, daß die allgemeine Umwelt- und Produktstatistik auch gar nicht dafür gedacht sei, sondern makroökonomischen Zwecken diene (KDRs 12/3 c, Feuerherd, S. 11; KDRs 12/3 g, Marsmann, S. 14; KDRs 12/3 c, Minet, S. 16) und daß sich die allgemeine Umwelt- und Produktstatistik für die Erstellung von Modulen auch gar nicht eignet. Nur Franke vertritt hier eine andere Meinung im Hinblick

auf die betriebsexternen Module wie Transport, Energie, Abfallentsorgung:

„Es erscheint sinnvoll, eine zentrale und öffentlich verfügbare Sammlung von Umweltdaten öffentlicher Ver- und Entsorgungseinrichtungen zu erstellen. Hier sollten zum Beispiel enthalten sein Daten zum Anschlußgrad und der Effizienz von Abwasserbehandlungssystemen, Art der Energiegewinnung (Kohle, Öl, Kernkraft etc.), Art der Abfallentsorgung (Anteil Deponien, Müllverbrennungsanlagen, Kompostwerke, Materialrecycling)“ (KDRs 12/3h, Franke, S. 12).

Das Öko-Institut beschreibt die Probleme mit der derzeitigen Umwelt- und Produktstatistik:

„Insbesondere im Hinblick auf eine Schwerpunktsetzung ist es unerlässlich, die wichtigsten Stoff-, Material- und Produktströme abzubilden (in Worten der Statistik ‚Warenströme‘). Die Erstellung von geschlossenen und umfassenden Warenstrom-Modellen ist derzeit nur zum Teil möglich, da

- die Produktionsstatistik und die Außenhandelsstatistik hinsichtlich der Warenbezeichnungen und des Aggregationsgrades stark voneinander abweichen,
- für einige Erzeugnisse aufgrund des Reidentifizierungsschutzes keine Zahlenwerte veröffentlicht werden (darunter zum Beispiel FCKW) und
- das Anwendungsmuster der Erzeugnisse nicht erhoben wird.

Ein weiteres Manko der derzeitigen umweltbezogenen statistischen Berichterstattung sehen wir darin, daß — im krassen Gegensatz etwa zu ökonomisch relevanten Bereichen — zwischen der Erhebung und der Veröffentlichung von Daten (zum Beispiel zum Abfallaufkommen) in der Regel drei Jahre vergehen, ohne daß methodisch plausible Erklärungen hierfür vorstellbar sind“ (KDRs 12/3e, Gensch, S. 26).

#### Anforderungen an die Veröffentlichung von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen

Bei firmeninternen Ökobilanzen und Produktlinienanalysen stellt sich die Frage der Veröffentlichung natürlich nicht, wobei allerdings Pfriem zu Recht auf die Existenz einer betriebsinternen Öffentlichkeit (Arbeitnehmer, Betriebsräte) hinweist (KDRs 12/3e, Pfriem, S. 22).

Die Überprüfbarkeit von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen ist an die Überprüfbarkeit der Daten und der einzelnen methodischen Schritte geknüpft. Durchgängig wird die Meinung vertreten, daß öffentlich zugängliche bzw. öffentlichkeitswirksam verbreitete Ökobilanzen, zum Beispiel für das EG-Umweltzeichen (KDRs 12/3d, de Haes, S. 9f.) oder Unternehmensdarstellungen mit öffentlichem Charakter wie Jahresberichte, Konferenzbeiträge oder Werbung (KDRs 12/3h, Franke, S. 4) im Hinblick auf die zugrundegelegte Datenbasis und die gewählte Methodik

transparent und begründet, mithin nachvollziehbar und überprüfbar sein sollen. Dies schließt auch etwaige Arbeitsberichte mit ein (KDRs 12/3a, Fink, S. 3; KDRs 12/3d, de Haes, S. 9; KDRs 12/3b, Rubik, S. 25; KDRs 12/3b, Klöpfer, S. 17; u. v. a. m.). Allerdings vertritt ein Teil der Sachverständigen, im besonderen aus der Industrie, die Meinung, daß die Daten aggregiert und anonymisiert veröffentlicht werden sollten und eine Überprüfung durch ein vertrauliches Gremium (Peer Review, Treuhandstelle etc; vgl. unten) erfolgen sollte (KDRs 12/3d, de Haes, S. 9; KDRs 12/3g, Marsmann, S. 14), während andere bei öffentlich eingesetzten Ökobilanzen und Produktlinienanalysen eine generelle Veröffentlichung der Studien fordern (KDRs 12/3e, Gremler; KDRs 12/3b, Rubik; KDRs 12/3e, Gensch, S. 27; KDRs 12/3a, Radünz). Das Umweltbundesamt deutet eine mögliche Kompromißlinie an

„Ökobilanzen und alle dazugehörigen Arbeitsschritte sollten veröffentlicht werden (Offenheitsprinzip der Ökobilanzen), unter Umständen in einer die Daten anonymisierenden Form“ (KDRs 12/3h, UBA, S. 21).

Generell wird eingeräumt, daß die Aggregation oder Anonymisierung der Daten zu erheblichen Informationsverlusten führt (KDRs 12/3d, de Haes, S. 8; KDRs 12/3g, Marsmann, S. 12; KDRs 12/3b, Klöpfer, S. 14; KDRs 12/3c, Minet, S. 15).

Die Industrie lehnt eine unbeschränkte Veröffentlichung von Ökobilanzen vor allem aus Wettbewerbsgründen ab. Am deutlichsten formuliert dies Feuerherd:

Die „Daten sind der Schlüssel, um zusammen mit Patentanmeldungen ein Wirtschaftsunternehmen auszuspähen und Wettbewerber in den Ruin zu führen. Hier gilt der Ausspruch ‚Wissen ist Macht‘ uneingeschränkt. Aus diesem Grund ist dem Datenschutz höchste Priorität einzuräumen“ (KDRs 12/3c, Feuerherd, S. 9).

Das Öko-Institut hält den Zielkonflikt zwischen Ergebnistransparenz und Wettbewerbsinteressen dagegen für überbetont. Nach allen bisherigen Erfahrungen sei davon auszugehen, daß einzelne Wettbewerber in der Regel sehr gut über die ökonomischen und teils über die ökologischen Eigenschaften der Konkurrenzprodukte Bescheid wissen, so daß die vorgehaltenen Geschäftsgeheimnisse weniger den Mitbewerber als vielmehr den Verbraucher betreffen würden (KDRs 12/3e, Gensch, S. 27). Auch de Haes und Huppel sehen hier nur bei neuen Produkten Probleme (KDRs 12/3d, de Haes, S. 9).

Folgende Modelle wurden in Stellungnahmen oder auf der öffentlichen Anhörung zur Lösung der Datenerhebung vorgeschlagen (die „Namensgebung“ erfolgte mit Ausnahme des Französischen Modells durch Griebhammer/Gensch, Öko-Institut):

- Das *Französische Modell*: Firmen — Consultant — Geheimhaltungsvereinbarung

Ein in der Ökobilanzierung erfahrenes Consulting-Unternehmen erklärt sich bereit, ein Produktions- oder Dienstleistungssystem zu bilanzieren. Zwischen den beteiligten Unternehmen und dem Con-

sulting-Unternehmen werden Geheimhaltungsvereinbarungen für die bereitzustellenden Daten geschlossen (KDRs 12/3c, Feuerherd S. 9f.).

— Das *Amerikanische Modell*: Firmen — Notar — Consultant

Dieses Modell funktioniert ähnlich wie das Französische Modell, ist aber in der Geheimhaltung noch eine Stufe schärfer. Nicht einmal der Consultant erhält die Daten direkt. Die Fragebögen werden über einen Notar weitergegeben, der sie codiert und eventuelle Rückfragen an die jeweiligen Firmen weiterleitet. Das Französische Modell und das Amerikanische Modell könnten im Prinzip auch über Behörden laufen, die die Anonymisierung zusichern (KDRs 12/3b, Klöpfer, S. 14).

— Das *Schweizer Modell*: Firma — Prüfer

Das Schweizer Modell kann nur bei firmeninternen Ökobilanzen angewendet werden. Die Ökobilanz wird von der Firma erstellt und wird — wenn die Firma damit an die Öffentlichkeit gehen will — von einem externen Prüfer begutachtet, dem „vereidigten Ökobilanzierer“ oder dem „Referee“ bzw. Schiedsrichter (KDRs 12/3b, Klöpfer, S. 15). In diese Richtung wurden einige Vorschläge gemacht (z. B. KDRs 12/3b, Rubik, S. 35).

— Das *SETAC-Modell*: Firma — Expertengruppe

Die SETAC schlägt die Begutachtung von (Firmen-)Ökobilanzen durch eine Expertengruppe („peer review“) vor, die die Ökobilanz methodisch begleitet oder begutachtet und auch Stichproben vornehmen kann.

— Das *UBA-Modell*:

Das Umweltbundesamt schlägt einen freiwilligen „Code zur Verbesserung der Informationsstruktur von Ökobilanzen“ vor:

„Notwendig ist gegenwärtig vor allem die Erstellung eines Standardmodells für Ökobilanzen. Zur Lösung des Datenproblems wäre die Entwicklung eines Codes der Wirtschaft zur Verbesserung der Informationsstruktur von Ökobilanzen sinnvoll, um für die Aufstellung von Ökobilanzen unternehmensspezifische Daten in geeigneter anonymisierter Form zur Verfügung gestellt zu bekommen, um konsensfähige allgemeine Daten unter Angabe der Spannbreiten festlegen zu können. Um breit akzeptiert zu werden, können diese Konventionen nur in einem institutionellen und prozeduralen Rahmen unter Beteiligung der interessierten Kreise erreicht werden. Parallel hierzu sind die einschlägigen Ergebnisse in die internationalen Initiativen einzubringen“ (KDRs 12/3h, UBA, S. 5).

— Das *Öko-Institut-Modell*:

Das Öko-Institut schlägt vor, die Umwelt- und Produktionsstatistik sowie verschiedene Gesetze (Chemikaliengesetz, Akteneinsichts-Richtlinie etc.) so zu verändern, daß die benötigten Daten weitestgehend öffentlich zugänglich sind. Zumindest eine vorsichtige Anforderung in diese Richtung vertritt auch das Umweltbundesamt in seinem

Zehn-Punkte-Programm. Ökobilanzen und Produktlinienanalysen sollten nach Ansicht des Öko-Instituts darüberhinaus von einem Expertengremium („Projektwerkstatt“) begleitet werden, das aus Vertretern der verschiedenen gesellschaftlichen Gruppen zusammengesetzt ist. Ein dem Öko-Instituts-Modell vergleichbares allgemeines Modell wurde im Rahmen des Deutschen Umwelttages als „Beirats-Modell“ diskutiert. Allerdings machte der BUND (Bund für Umwelt und Naturschutz e.V.) dort darauf aufmerksam, daß bei einer Zunahme solcher Aktivitäten eine finanzielle Unterstützung der Umwelt- und Verbraucherverbände notwendig sei (KDRs 12/3e, Gremler, S. 7).

#### Kooperationen

Die drei Anhörungen der Enquete-Kommission machten deutlich, daß nach der derzeitigen Daten- und Gesetzeslage Ökobilanzen und Produktlinienanalysen nur in Kooperation mit der Industrie und auf freiwilliger Basis durchgeführt werden können. Die Kooperation funktioniert in der Regel dann am besten, wenn sich die beteiligten Akteure einschließlich der Industrie von Anfang an auf eine gemeinsame Durchführung der Ökobilanz oder Produktlinienanalyse verständigt haben. Die Kooperation stößt in der Regel dann auf Schwierigkeiten, wenn die Industrie oder Teile davon nicht von Anfang an dabei waren oder sich mit der geplanten Durchführung einer Ökobilanz oder Produktlinienanalyse nicht identifizieren. Am Beispiel der europäischen Kunststoff-Ökobilanz und der laufenden Waschmittel-Produktlinienanalyse wurde deutlich, daß die Industrie bereit ist, in diesen Fällen Daten zusammenzustellen und — allerdings nur in aggregierter Form — zu veröffentlichen.

#### Datenbank

Die Notwendigkeit einer Datenbank wird je nach Standpunkt unterschiedlich beurteilt. Behörden und Beratungsinstitute halten eine bibliographische Datenbank und eine Faktendatenbank — in welcher durchschnittliche stoff-, material- sowie produktnormierte Basisdatensätze vorgehalten werden — für notwendig und zeitsparend (KDRs 12/3d, de Haes, S. 7; KDRs 12/3a, Fink, S. 3; KDRs 12/3b, Klöpfer, S. 16; KDRs 12/3e, Gensch, S. 25; KDRs 12/3h, UBA, S. 21). Die Industrie lehnt dagegen eine Faktendatenbank eher ab und bevorzugt die dezentrale unternehmensinterne Verwaltung und Pflege der Daten. Hilfreich sei aber eine zentrale Dokumentation durchgeführter Ökobilanzen in einer bibliographischen Datenbank (KDRs 12/3c, Feuerherd; KDRs 12/3h, Franke, S. 12; KDRs 12/3c, Minet, S. 12).

Die Befürworter einer allgemeinen Faktendatenbank weisen allerdings auf die vielschichtigen Probleme (Zuordnung von Kuppelprodukten, Berücksichtigung von Transporten, Art der Energiebereitstellung etc.) hin; ebenso wird auf die zu klärende Struktur und auf die finanziellen und gesetzlichen Aspekte verwiesen (KDRs 12/3d, de Haes, S. 8). Nach Ansicht des Öko-



Instituts sollte mit dem Aufbau einer Faktendatenbank erst begonnen werden, wenn Konventionen zur Aufstellung produktbezogener Stoff- und Energiebilanzen möglich werden. Andernfalls würde die bereits jetzt zu verzeichnende Flut an nicht konsensfähigen Daten aus Ökobilanzen nur „mit anderen Mitteln“ fortgesetzt werden (KDRs 12/3 e, Gensch, S. 25f.). Das Umweltbundesamt hat ein Forschungsvorhaben zu diesem Thema vergeben.

#### 4.2.5.2 Schwerpunktsetzung für vorrangig durchzuführende Produktlinienanalysen und Ökobilanzen

Verschiedene Sachverständige bezweifeln, daß die bislang erfolgte Schwerpunktsetzung auf Verpackungen (vgl. KDRs 12/3 b, Rubik, S. 6) den ökologischen Problemlagen entspricht, insbesondere im Hinblick auf die Dominanz der Verpackungen (KDRs 12/3 e, Gensch, S. 6). Gefordert wird dagegen eine Schwerpunktsetzung, bei der eine mittelfristig haltbare Gesamtabwägung erfolgt und alle gesellschaftlichen Gruppen adäquat beteiligt sind (KDRs 12/3 e, Gensch).

Da Produktlinienanalysen und Ökobilanzen außerordentlich aufwendig, zeit- und kostenintensiv sind, ergibt sich bei der geschätzten Zahl von etwa zwei Millionen verschiedener Produkte, mehrerer Zehntausend Materialien und etwa 100 000 marktrelevanter Chemikalien die Notwendigkeit einer Schwerpunktsetzung. Für die Industrie sind Ökobilanzen freiwillige Maßnahmen. Eine Schwerpunktsetzung erfolgt nach unternehmerischen Gesichtspunkten, wird aber vorwiegend folgende Aspekte berücksichtigen: interne ökologische Optimierung, Kunden- und Verbrauchernachfrage, öffentliche Diskussion. Eine gesetzliche Festlegung sollte nicht erfolgen.

Weitere Vorschläge für die Entscheidung vorrangig zu untersuchender Produkte oder Produktgruppen sind:

- Modulbausteine, die in verschiedenen Produkten eingesetzt werden können und damit die Durchführung erheblich erleichtern (KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 b, Rubik, S. 7);
- Umkehrbarkeit von Entscheidungen und Reversibilität von Wirkungen (KDRs 12/3 g, BGA, S. 2; KDRs 12/3 e, Gensch);
- Berücksichtigung spezieller Risikomechanismen wie etwa Innenraumbelastung;
- Reduzierung erheblicher Umweltbelastungen (KDRs 12/3 h, Franke, S. 8), z. B. durch Alternativen (KDRs 12/3 c, Feuerherd, S. 2);
- Vergabe von Umweltzeichen (KDRs 12/3 b, Klöpfer, S. 5);
- Ströbele schlägt vor, für (neue) Produkte die Einhaltung von Mindeststandards zu verlangen (Stufe 1) und nur für die Produkte eine Nutzen-Kosten-Bewertung durchzuführen, die die Anforderungen der Stufe 1 nicht erfüllen (KDRs 12/3 h, Ströbele, S. 4).

#### 4.2.5.3 Module — Bausteine für Grundstoffe, Grundmaterialien und Verfahren

Bei der Durchführung von Produktlinienanalysen oder Ökobilanzen müssen häufig ein- und dieselben Grundstoffe und Materialien bilanziert werden (zum Beispiel Chlor, Natronlauge, petrochemische Grundstoffe bzw. Polyethylen, Aluminium, Stahl etc.). Die meisten Sachverständigen befürworten die Erstellung von Modulen für derartige Grundstoffe und -materialien, wobei sie zumeist auch auf die Schwierigkeiten der Übernahme in komplexere Produktbilanzen hinweisen (KDRs 12/3 d, Boustead, S. 11; KDRs 12/3 c, Feuerherd, S. 15; KDRs 12/3 h, Franke, S. 13; KDRs 12/3 c, Minet, S. 19; KDRs 12/3 e, Gensch, S. 30; KDRs 12/3 h, UBA, S. 23).

Feuerherd äußert dazu:

„Durch die starke Vernetzung in modernen Industriesystemen ist eine Zusammenarbeit zwischen den beteiligten Branchen unerlässlich. Unter dem Stichwort ‚Schnittstellenkompatibilität‘ kommt es darauf an, keinen Bruch zwischen den Subsystemen durch nicht vollständig aufeinander passende Datensätze entstehen zu lassen. Das erfordert ein einheitliches Vorgehen bei der Datenerhebung unter anderem durch genormte Datenerhebungsbögen. Für die sachgerechte Erhebung sind Experten vonnöten, die sich sowohl im untersuchten Wirtschaftszweig als auch in der Bilanzierungstechnik auskennen“ (KDRs 12/3 c, Feuerherd, S. 9).

An die Durchführung dieser Bilanzen sind besonders hohe methodische Anforderungen zu stellen, insbesondere im Hinblick

- auf die Schnittstellenkompatibilität,
- auf die Nachvollziehbarkeit und Transparenz der zugrundeliegenden Datenbasis und
- auf gewählte Zuordnungsregeln bei Kuppelprodukten, da nur so die Repräsentativität und Akzeptanz gewährleistet werden kann (KDRs 12/3 e, Gensch, S. 31).

#### 4.2.6 Methodenkonvention

Angesichts der Komplexität von Produktlinienanalysen und Ökobilanzen und der großen Unterschiede bei der Durchführung und bei den Ergebnissen wird seit einiger Zeit die Erarbeitung einer Methodenkonvention angestrebt und durchgängig befürwortet.

Im Hinblick auf die Methodenkonvention wird fast durchgängig darauf hingewiesen, daß kein starres Verfahren oder Modell entwickelt werden könne, bei dem man sozusagen nur noch die einzelnen Zahlenwerte eintragen müsse. Vielmehr könnten nur Mindestanforderungen (KDRs 12/3 g, Marsmann, S. 7) an ein faires Verfahren zur Erstellung, Definition etc. festgelegt werden. Es gehe mehr um Harmonisierung als um Standardisierung (KDRs 12/3 d, de Haes, S. 4).



#### 4.2.6.1 Grundstruktur von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen

Produktlinienanalysen oder Ökobilanzen sollten strukturell so angelegt werden, daß die einzelnen methodischen Teilschritte offenliegen und das jeweilige Vorgehen begründet wird.

Die Grundstruktur

- Teil 1: *Scoping* (Festlegung von Untersuchungsziel, Alternativen, Rahmenbedingungen, etc.);
- Teil 2: *Sachbilanz*
- Teil 3: *Analyse der Wirkungen*
- Teil 4: *Bewertung*
- Teil 5: *Optimierung und Handlungsempfehlungen*

wird von den meisten Sachverständigen befürwortet (KDRs 12/3 d, de Haes, S. 13; KDRs 12/3 a, Fink; KDRs 12/3 h, Franke, S. 8f.; KDRs 12/3 h, UBA; KDRs 12/3 e, Gensch). Andere Sachverständige befürworten im Prinzip die gleiche Grundstruktur, wobei sie allerdings den Teil 5 nicht explizit nennen oder definitiv ausschließen bzw. diesen Teil als rein unternehmensinterne Optimierungsaufgabe sehen (z. B. KDRs 12/3 g, Marsmann; KDRs 12/3 c, Minet, S. 5). Einige Sachverständige nennen nur die Teile 2 bis 4 (z. B. KDRs 12/3 c, Feuerherd), Boustead nur die Teile 2, 3 und 5 (KDRs 12/3 d, Boustead, S. 4).

Mehrere Sachverständige (KDRs 12/3 d, de Haes, S. 2; KDRs 12/3 e, Gensch) weisen daraufhin, daß die Erstellung prozessorientiert ablaufen müsse.

#### 4.2.6.2 Scoping

Der erste Teilschritt von Ökobilanzen oder Produktlinienanalysen — das Scoping — wird von den meisten Sachverständigen nur unscharf beschrieben. Folgende Schritte werden zum Scoping gezählt:

- Festlegung des Untersuchungsziels bzw. des Bilanzierungsziels (KDRs 12/3 d, de Haes, S. 13; KDRs 12/3 h, Franke; KDRs 12/3 g, Marsmann; KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 h, UBA);
- Definition des Erkenntnisinteresses (KDRs 12/3 g, Marsmann; KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 h, UBA);
- Wahl der Bilanzgrenzen bzw. Systemgrenzen (KDRs 12/3 h, Franke; KDRs 12/3 g, Marsmann; KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 h, UBA);
- Wahl der Bilanzzeit (KDRs 12/3 a, Fink; KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 h, UBA);
- Auswahl der zu bilanzierenden Produkte bzw. Alternativen (KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 h, UBA) — strittig kann hier die Einbeziehung der sogenannten Null-Alternative sein;
- Beschreibung der Rahmenbedingungen (Systemanalyse);

- Festlegung der Nutzeinheit, der funktionellen Einheit bzw. der funktionellen Äquivalenz (KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 h, UBA). Hier gibt es allerdings erhebliche Differenzen bei der Frage, inwieweit bzw. ob überhaupt Bedürfnis- und Nutzenaspekte zu berücksichtigen sind.

#### 4.2.6.2.1 Untersuchungsgegenstand von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen und Alternativen-Auswahl

Ein wesentliches Merkmal von Produktlinienanalysen und (Produkt-)Ökobilanzen ist der konkrete Produktbezug dieser Methoden, wobei von einem erweiterten Produktbegriff ausgegangen werden kann, so daß auch Dienstleistungen oder Verhaltensänderungen betrachtet werden können (KDRs 12/3 h, UBA), so z. B. bei einem Vergleich von Einwegwindeln mit Baumwollwindeln und einem Windelwaschdienst.

Grundsätzlich muß die Auswahl von Alternativen unter Einhaltung des Symmetrieprinzips erfolgen; dies bedeutet insbesondere, daß der Gebrauchsnutzen der betrachteten Produkte vergleichbar ist („funktionelle Äquivalenz“).

#### 4.2.6.2.2 Planungsträger und Interessengruppen

Vier wesentliche Interessengruppen werden genannt:

- staatliche Entscheidungsträger,
- Verbraucher und Öffentlichkeit,
- Unternehmen,
- Arbeitnehmer, Betriebsräte und Gewerkschaften (KDRs 12/3 e, Gremler; KDRs 12/3 h, Ströbele; KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 e, Pfriem).

#### 4.2.6.2.3 Interessen und Zielsetzungen

Die übergeordnete Zielsetzung von Produktlinienanalysen und Ökobilanzen besteht in der Analyse, Bewertung und Optimierung von Produktgruppen und Produkten. Daneben können noch weitere, zum Teil sehr spezielle Ziele genannt werden, die — bedingt durch die jeweiligen Erwartungen und Interessen verschiedener gesellschaftlicher Gruppen — nur teilweise identisch sind, wie oben gezeigt wurde. Im Hinblick auf konkrete Produkte bzw. Studien bedeutet dies in der Regel, daß die verschiedenen Interessengruppen auch unterschiedliche Planungsziele mit Produktlinienanalysen bzw. Ökobilanzen verbinden. Das Planungsziel (andere Bezeichnungen: Zieldefinition, Erkenntnisinteresse, Untersuchungsziel) bestimmt in gewisser Weise den Untersuchungsrahmen und damit das Ergebnis einer Studie (KDRs 12/3 c, Minet, S. 5; KDRs 12/3 e, Gensch). Dies schon deshalb, weil auf jeden Fall eine Reduktion der Komplexität vorgenommen werden muß:

Fink formuliert dies so:

„Die Aussage einer Ökobilanz ist also eng verknüpft mit der zu treffenden Entscheidung und den zu Grunde gelegten Zielsetzungen“ (KDRs 12/3 a, Fink).

Am Beispiel der „Rapsölstudie“ des Umweltbundesamtes wurde deutlich, daß das Planungsziel das Setzen von Rahmenbedingungen für die Bilanzierung und damit das Ergebnis der Sachbilanz und die Bewertung stark beeinflussen kann.

#### 4.2.6.2.4 Systemanalyse (Rahmenbedingungen des Produkteinsatzes)

Zur Bedeutung der Rahmenbedingungen hält Feuerherd fest:

„Produktions- oder Dienstleistungssysteme stehen nicht für sich im freien Raum, sondern sind mit anderen Systemen stark vernetzt, wodurch Wechselwirkungen unvermeidlich sind“ (KDRs 12/3 c, Feuerherd, S. 8)

Um eine Produktlinie adäquat zu erfassen, müssen deswegen die Rahmenbedingungen des Produkteinsatzes und der Gesamtprozeß beschrieben werden (KDRs 12/3 d, Boustead, S. 6; KDRs 12/3 c, Feuerherd, S. 8; KDRs 12/3 c, Minet, S. 14; KDRs 12/3 e, Gensch, S. 18; KDRs 12/3 h, UBA, S. 18; u. v. a. m.). Beispiele für solche Systembezüge sind:

- bei bestimmten Lebensmitteln das System der Kühlkette (KDRs 12/3 c, Minet, S. 14): Kühlanlagen bei der Herstellung, beim Transport, beim Handel, beim Verbraucher;
- bei Waschmitteln das System Textilien, Trage- und Waschgewohnheiten, Waschmaschinen, Energie- und Wasserversorgung;
- bei Getränkeverpackungen das System Getränkeindustrie und -abfüller, Handel, Marketing, Verbrauchsgewohnheiten, abfallwirtschaftliche Strukturen (KDRs 12/3 e, Gensch, S. 18).

#### 4.2.6.2.5 Bedürfnisse und Nutzen

Hinterfragung der Bedürfnisse

Da die Erfüllung von Bedürfnissen meist mit Stofffreisetzung verbunden ist, liegt es nach Ansicht des Öko-Instituts aus ökologischer Sicht nahe, als erste Möglichkeit zur Reduktion von möglichen Umweltbelastungen den Verzicht auf bestimmte Bedürfnisse zu diskutieren — und hierfür im Rahmen der Ökobilanz bzw. der Produktlinienanalyse den Nutzen in einer Sachbilanz zu beschreiben und einer Bewertung zugänglich zu machen. Die Bewertung sei dann — ebenso wie die Bewertung der ökologischen Wirkung der Stoffströme — subjektiv. (KDRs 12/3 e, Gensch). Vor allem von Industrieseite wird dies deutlich abgelehnt, wobei zwar die Notwendigkeit dieser Diskussion zugestanden wird — aber nicht im Rahmen der Ökobilanz bzw. der Produktlinienanalyse:

„Die Überprüfung des Bedarfs oder des Nutzens erfordert ein Wahr-Falsch-Schema; eine Festlegung darüber, was zulässig ist oder nicht. Wahlentscheidungen sind aber individuell unterschiedlich. Im

Wirtschaftsprozeß bleiben eine Vielzahl von Ansprüchen nebeneinander bestehen. Das schließt nicht aus, daß auch ‚umstrittene‘ Bedürfnisse wahrgenommen werden oder Bedürfnisse zu kurz kommen; es schließt mit ein, daß Fragen nach der Vernünftigkeit von Entwicklungen gestellt werden müssen. Dies ist aber ein offener gesellschaftlicher Prozeß, der auch nicht durch eine zentrale Instanz ersetzt werden kann, die über ‚höhere Einsichten‘ verfügt und Entscheidungen nach einem Wahrheitsschema festlegt“ (KDRs 12/3 g, Marsmann, S. 4f.).

Ähnlich argumentiert das Umweltbundesamt:

„Etwaige Bewertungen des subjektiven Nutzens bestimmter Produkte sind hingegen aus dem Bilanzraum einer Ökobilanz auszugrenzen und einer über die Gesamtbewertung einer Ökobilanz hinausgehenden Diskussion unter Einbeziehung auch anderer politischer Zielsetzungen vorbehalten“ (KDRs 12/3 h, UBA, S. 6).

Bei näherer Betrachtung wird deutlich, daß Produkte meist nicht ein isoliertes Bedürfnis, sondern ein ganzes Bedürfnisbündel realisieren (Nutzenbündel). Grob kann unterschieden werden zwischen dem angestrebten Gebrauchsnutzen (der durch Produktgebrauch oder Dienstleistung direkt realisiert wird), sowie ökonomischen und sozialen Nutzenaspekten wie etwa Anschaffungspreis, Betriebskosten, Zeitbedarf, Benutzungskomfort etc.). Auch das Bedürfnis nach sauberer Umwelt könnte hier aufgeführt werden — es wird aber besser auf der Ebene der Sachbilanz bzw. Wirkungsbilanz analysiert.

Definition der funktionellen Äquivalenz (Funktionseinheit, Nutzeinheit)

Der Festlegung der funktionellen Äquivalenz kommt eine Schlüsselrolle in Produktlinienanalysen und Ökobilanzen zu, weil sich auf diese die bilanzierten Effekte beziehen. Unterschiedliche Ergebnisse aus Ökobilanzen zu den gleichen Produkten lassen sich unter anderem darauf zurückführen, daß die funktionelle Äquivalenz unterschiedlich festgelegt wurde. Bei bestimmten Produkten, insbesondere bei Gebrauchsgütern, kann die Bestimmung der funktionellen Äquivalenz außerordentlich schwierig sein; hier müssen Faktoren wie Lebensdauer, Häufigkeit der Nutzung, Reparierbarkeit und ähnliches berücksichtigt werden (KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 h, UBA). Auch stellt sich beim Vergleich von Alternativen oft heraus, daß nur von einer ungefähren, keineswegs aber exakten Gleichheit des Nutzens ausgegangen werden kann. Gremler schreibt dazu:

„Im Rahmen einer Ökobilanz/Produktlinienanalyse sollten für die untersuchten Alternativen auch die aus ihrer Anwendung folgenden Änderungen der Verbrauchsstruktur dargestellt werden. Das bezieht sich auch auf die Darstellung der Veränderung für die Vorprodukte und etwaige Veränderungen von Produkten, die im Zusammenhang mit dem betrachteten Produkt stehen. Beispiel: Die Auswahl von Holzfenstern anstelle von Kunststofffenstern führt zum Einsatz von Lacken. Andererseits entfällt

unter anderem der Einsatz schwermetallhaltiger Stabilisatoren im Kunststoff“ (KDRs 12/3 e, Gremler, S. 5).

Es gibt sowohl quantitative Nutzenaspekte (zum Beispiel Füllvolumen von Getränkeflaschen) wie auch qualitative Nutzenaspekte (zum Beispiel ästhetische Aspekte). Einige Sachverständige vertreten die Meinung, daß der Nutzen oder einzelne Nutzenaspekte methodisch nicht sauber erfaßt werden können (KDRs 12/3 d, Boustead, S. 5; KDRs 12/3 b, Klöpfer, S. 9; KDRs 12/3 g, Marsmann, S. 7), während die meisten der Auffassung sind, daß zumindest der eigentliche technische Gebrauchsnutzen sehr wohl bestimmbar sei (KDRs 12/3 c, Feuerherd, S. 5; KDRs 12/3 c, Minet, S. 11). Gremler verweist auf die Notwendigkeit, die Methodik hier weiterzuentwickeln (KDRs 12/3 e, Gremler, S. 8).

Mehrere Sachverständige verweisen auf die außerordentlich große Bedeutung des Nutzer- oder Verbraucherverhaltens (KDRs 12/3 d, Boustead; KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 a, Fink). Als offensichtliche Beispiele werden die tatsächliche Dosierung von Waschmitteln oder das Einhalten von Tempolimits bei Kraftfahrzeugen genannt (KDRs 12/3 e, Gensch).

Die Nutzungsdauer von Produkten kann großen Einfluß auf die Sachbilanz haben, ebenso die Nutzungsintensität (zum Beispiel bei Car-Sharing). Gleiches gilt für die Haltbarkeit und Reparierbarkeit von Produkten, für die Umlaufzahlen bei Mehrwegprodukten etc.. Das Umweltbundesamt schlägt vor, solche „umweltexternen Lebenswegkriterien“ bei den Bilanzkriterien der Sachbilanz zu behandeln.

#### 4.2.6.3 Sachbilanz

Die Sachbilanz umfaßt folgende Schritte: Genauere Festlegung von Bilanzraum, -zeit und -kriterien, Datenerhebung und Aufbereitung, Analyse der Stoff- und Energieströme (KDRs 12/3 h, Franke; KDRs 12/3 g, Marsmann; KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 h, UBA).

##### 4.2.6.3.1 Systemgrenzen und Abschneidekriterien

Bilanzraum und Systemgrenzen werden beim Scoping festgelegt. In der Praxis zeigt sich oft, daß eine genauere Abgrenzung erst im Laufe der Arbeiten erfolgen kann. Die prozeßorientierte Bearbeitung von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen läßt dieses Vorgehen zu. Die übliche graphische Darstellung des Bilanzraums in mehreren Teilbilanzen beschreibt die komplexen industriellen Systeme nur vereinfacht; mathematisch können aber ohne weiteres auch wesentlich mehr und komplexere Teilbilanzen beschrieben werden.

Die Festlegung von Systemgrenzen und Abschneidekriterien muß generell in Einklang mit dem jeweiligen Planungsinteresse der Untersuchung stehen.

Das Umweltbundesamt sagt dazu:

„Um den Bilanzraum überschaubar zu halten, sollte die Zahl der zu betrachtenden Phasen und Module auf ein sachgerechtes und operationales Maß reduziert werden. Dies sollte in Abhängigkeit vom

Untersuchungsumfang erfolgen, der zur Beantwortung der zu bilanzierenden Fragestellungen und der Erkenntnisinteressen im Rahmen einer Ökobilanz erforderlich ist“ (KDRs 12/3 h, UBA, S. 16f.).

Es sollte angegeben werden, welche Systembausteine berücksichtigt worden sind und welche nicht. Die Abschneidekriterien sollten mit einer Sensitivitätsanalyse gekoppelt sein, die den Einfluß auf das Gesamtsystem deutlich macht; sie sollten beim Vergleich verschiedener Produkte das Symmetrieprinzip wahren. Und sie sollten offengelegt und fachwissenschaftlich begründet werden (KDRs 12/3 d, de Haes; KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 h, UBA).

Abschneidekriterien können zum Beispiel sein:

- Ausschluß von Lebenslaufphasen, die bei einem Vergleich mit anderen Produkten grundsätzlich keine signifikanten Unterschiede erwarten lassen. Werden zum Beispiel zwei Prototypen eines (künftigen) Produktes miteinander verglichen, die sich voraussichtlich in ihrem jeweiligen Verpackungsaufwand nicht unterscheiden werden, so kann es durchaus legitim sein, die Verpackung aus dem Produktsystem auszuklammern (KDRs 12/3 e, Gensch, S. 14);
- Ausschluß von Phasen, zu denen keine Informationen bzw. Daten vorliegen oder nicht beschaffbar sind (KDRs 12/3 h, UBA, S. 17).
- Ausschluß von Stoffströmen von nachrangiger Bedeutung, zum Beispiel von Hilfsmitteln wie Schmiermittel (KDRs 12/3 h, UBA, S. 17).
- Ausschluß von Betriebsmitteln und Infrastrukturmaßnahmen: In den meisten der vorliegenden Ökobilanzen werden Betriebsmittel oder Anlagen zur Gewinnung von Rohstoffen, zur Bereitstellung von Energie, zur Produktion, Distribution und zur Entsorgung der Produkte und Infrastrukturmaßnahmen generell ausgeschlossen, d. h., daß Emissionen etwa aus dem Bau oder der Entsorgung dieser Anlagen nicht berücksichtigt werden. Festzustellen ist, daß diese Ausgrenzung oftmals stillschweigend vorgenommen und vergleichsweise selten begründet wird. Inwieweit dies tatsächlich gerechtfertigt ist, sollte in jedem Einzelfall überschlägig berechnet werden.

##### 4.2.6.3.2 Bilanzzeit

In vielen bislang veröffentlichten Ökobilanzen wird die Bedeutung der Bilanzzeit kaum erkannt, gänzlich ignoriert oder nur auf die Produktion bezogen (KDRs 12/3 d, Boustead, S. 7; KDRs 12/3 c, Feuerherd, S. 8; KDRs 12/3 h, Franke, S. 10). Zu unterscheiden ist hier zwischen

- dem Erfassungszeitraum der Daten als Teil der Sachbilanz
- dem Nutzungszeitraum (Nutzungsdauer eines Produkts) als Teil der Systemdefinition
- dem Zeithorizont ökologischer Auswirkungen als Teil der Wirkungsbilanz

Dem Zeithorizont ökologischer Auswirkungen kommt eine hohe Bedeutung zu (KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 b, Klöpfer, S. 13); dies trifft vor allem bei Teilbilanzen zu, in denen Entnahmen respektive Abgaben aus in die Umwelt bilanziert werden:

- Im Hinblick auf die Entnahme des (in absehbaren Zeiträumen) nicht-nachwachsenden Rohstoffes Erdöl wird die Bewertung eines petrochemischen Folgeproduktes beispielsweise davon abhängen, ob eine Bilanzzeit von einem Jahr bzw. von 30 oder 100 Jahren angenommen wird.
- Ebenso bekommt die Beurteilung der Ausgasungen oder der Sickerwasserausträge von Deponien erst einen Sinn durch die Angabe einer Bilanzzeit.
- Bei ozonschädigenden oder treibhauswirksamen Stoffen ist die Zeitabhängigkeit wegen der (wenn auch sehr langsamen) Abbaubarkeit besonders hoch: Bei einer Bilanzzeit von 20 Jahren hat der Fluorchlorkohlenwasserstoff R22 im Vergleich zu Kohlendioxid ein relatives Treibhauspotential von 4 100. Wird der Betrachtungszeitraum auf 500 Jahre ausgedehnt, beträgt das Potential nur noch 510 (KDRs 12/3 e, Gensch, S. 18). Das Treibhauspotential von Stoffen wird beispielsweise vom IPCC mittlerweile auf der Basis von 100 Jahren angegeben (KDRs 12/3 d, de Haes).
- Bei nachwachsenden Rohstoffen spielt der Zeitfaktor in Form der Generationsdauer eine entscheidende Rolle (KDRs 12/3 g, Marsmann).
- Bei der Akkumulation nicht oder schwer abbaubarer Stoffe (z. B. Schwermetalle) in der Umwelt oder in Nahrungsketten müssen längere Bilanzzeiträume gewählt werden (KDRs 12/3 e, Gensch; KDRs 12/3 g, Marsmann).
- Die Frage, für welche Zeiträume Gutschriften für Wiederverwendung und Wiederverwertung der Produkte festgelegt werden, ist ebenfalls hier zuzuordnen.

#### 4.2.6.3.3 Ökologische Bewertungskriterien

Gesundheitliche Auswirkungen auf Verbraucher und Arbeitnehmer werden von manchen Sachverständigen unter den sozialen Aspekten (z. B. KDRs 12/3 a, Radünz; KDRs 12/3 h, Ströbele, S. 4), von anderen unter den ökologischen Aspekten eingeordnet (z. B. KDRs 12/3 c, Jochem).

Die Auswahl der ökologischen Einzelaspekte ist bei der Festlegung des Bilanzraums zu entscheiden (KDRs 12/3 h, UBA).

Eine erste grobe Zuordnung kann nach Kategorien wie etwa Rohstoffe oder Energie erfolgen (KDRs 12/3 h, UBA) oder nach ökologischen Problemfeldern wie Treibhauseffekt und Saurer Regen (KDRs 12/3 c, Möller, S. 3), eine weitere Untergliederung kann nach Einzelaspekten oder Indikatoren wie etwa Schwermetalle, Kohlendioxid erfolgen. Quer dazu kann eine Kategorisierung nach quantitativ, halbquantitativ und qualitativ erfaßbaren Indikatoren erfolgen.

Verschiedene Studien präsentieren Listen von vorgeschlagenen oder berücksichtigten Indikatoren (KDRs 12/3 c, Jochem; UBA 1992a).

#### 4.2.6.3.4 Ökonomische Bewertungskriterien

Auch wenn die meisten Sachverständigen den direkten Einbezug ökonomischer Aspekte in Ökobilanzen bzw. Produktlinienanalysen ablehnen, wird doch deutlich, daß vor allem die Vermeidungskosten und die externen Umweltkosten eine wichtige Rolle spielen würden, was Klöpfer mit seiner Aussage unterstreicht:

„Bei den ökonomischen Wirkungen müssen vor allem die makroökonomischen Aspekte, die sich nicht in den Kosten des Produkts niederschlagen, Eingang finden“ (KDRs 12/3 b, Klöpfer, S. 5).

#### 4.2.6.3.5 Soziale Bewertungskriterien

Hier werden beispielsweise folgende Aspekte genannt:

- Arbeitsplätze,
- Lebensraumfragen, zum Beispiel Verdrängung indigener Völker im Regenwald (KDRs 12/3 b, Klöpfer, S. 5),
- Ernährungsfragen (KDRs 12/3 b, Klöpfer, S. 5),
- Friedensverträglichkeit (KDRs 12/3 h, Ströbele, S. 4),
- Sicherung und Erweiterung individueller und kollektiver Grundrechte (KDRs 12/3 h, Ströbele, S. 4).

#### 4.2.6.3.6 Kuppelprodukte

Das Auftreten von Kuppelprodukten wirft im Hinblick auf die Behandlung bei Ökobilanzen und Produktlinienanalysen (aber auch bei der betrieblichen Materialwirtschaft) erhebliche methodische Probleme auf. Im besonderen muß geklärt werden, wie die Emissionen der Gesamtbilanz zwischen dem Haupt- bzw. Zielprodukt und dem oder den Kuppelprodukten aufgeteilt werden. Hierbei gibt es folgende Vorgehensweisen:

- Bemessung nach physischen Größen (Masse, Stoffmenge, Heizwert),
- Bemessung nach wirtschaftlichen Größen (zum Beispiel Erzeugerpreise der Produkte).

Jedem der vorgeschlagenen Modelle kommt einerseits eine gewisse Plausibilität zu, andererseits wird kein Modell allen Fragestellungen gerecht. In bislang vorliegenden Ökobilanzen wird mit Kuppelprodukten höchst unterschiedlich verfahren. Die Entscheidung für eine bestimmte Zuordnungsregel wird häufig nicht begründet, bisweilen ist nicht erkennbar, welche Regel überhaupt bei der Bilanzierung angewendet wurde. Zudem wird übersehen, daß die Art der Zurechnung erheblich das Ergebnis beeinflussen kann. Zusammenfassend ist daher im Hinblick auf den

methodischen Umgang mit Kuppelprodukten zu fordern,

- daß in den einzelnen, prozeßbezogenen Teilbilanzen zunächst alle anfallenden Outputströme nach Art und Menge darzustellen sind und
- daß die Entscheidung, welche Produkte mit welchem Bemessungsmodell belastet werden, transparent und begründet vollzogen werden muß.

#### 4.2.6.3.7 Umgang mit Daten

Die Datenlage ist zumeist mangelhaft. Hinzu kommen methodische Probleme wie etwa der Umgang mit Datenspannen oder mit der Aggregation von Daten. Die Behandlung dieser Aspekte hat großen Einfluß auf das Endergebnis und sollte dementsprechend mit Bedacht erfolgen.

Datenspannen und Einzelwerte

Marsmann betont:

„Die Ökobilanz beschreibt den Ist-Zustand eines Systems; der jeweils zugrundeliegende Stand der Technik kann von Lebensstufe zu Lebensstufe unterschiedlich sein, da sowohl unternehmensspezifische, branchenspezifische, verhaltensspezifische als auch regionen- und länderweite Datenerhebungen notwendig sein können“ (KDRs 12/3 g, Marsmann, S. 17).

Eine verbindliche Festlegung auf die Verwendung eines bestimmten Standards der Technik (zum Beispiel Mindeststandard, Durchschnitt der Branche, Stand der Technik, „Best Available Technology“) wird fast durchgängig für nicht sinnvoll gehalten, da solche Entscheidungen immer vor dem Hintergrund des jeweils zugrundeliegenden Planungsziels getroffen werden können (KDRs 12/3 h, Franke, S. 13; KDRs 12/3 b, Klöpfer; KDRs 12/3 e, Gremler, S. 12; KDRs 12/3 g, Marsmann, S. 17; KDRs 12/3 h, UBA, S. 23; KDRs 12/3 e, Gensch, S. 30). Zur Identifizierung und Evaluierung von Optimierungsmaßnahmen müßten beispielsweise sowohl der Durchschnitt der Branche bzw. der Stand der Technik einerseits als auch die „Best Available Technology“ andererseits herangezogen werden.

Umgang mit fehlenden Daten

Bei der Erstellung von Ökobilanzen gibt es meist Probleme mit fehlenden oder nicht zugänglichen Daten. Das Öko-Institut schlägt dafür folgendes Vorgehen vor (KDRs 12/3 e, Gensch, S. 21 f.):

- „— Zunächst sollte auf der Basis des Planungsziels und der gewählten Systemgrenzen (Bilanzgebiet, Bilanzraum, Betrachtungszeitraum, Bilanzkriterien) ein nachzufragender Datensatz (Parametersatz) definiert werden (der später in einem rekursiven Schritt ergänzt oder gekürzt werden kann).

- Erst in einem zweiten Schritt sollte geprüft werden, welche Daten vorliegen bzw. nicht vorliegen und wie mit Datenlücken oder nicht ausreichenden Daten umgegangen werden kann.“

Dieses Vorgehen hat den Vorteil, Kenntnislücken aufzuzeigen und vermeidet den Anschein von Vollständigkeit, der gerade dann auftritt, wenn lediglich vorhandene Daten als Grundlage genommen werden.

Datenvalidierung und -präsentation

Die erhobenen Daten sollten zusammen mit den Datenquellen (Primär-, Sekundärquellen etc.) dargestellt und auf ihre Validität geprüft werden. Bei vernetzten Daten (z. B. Kuppelprodukten) sollte die Abgrenzung bzw. das Berechnungsverfahren deutlich gemacht werden. Die quantitativ zu erhebenden Daten sollten in Input-Output-Tabellen dargestellt sein.

Aggregation von Daten

Grundsätzlich stellen Aggregationen von Daten immer mehr oder weniger ausgeprägte (Vor-)Bewertungen dar und müssen daher jeweils nachvollziehbar und begründet vorgenommen werden. Auf jeden Fall sind sie mit einem mehr oder minder deutlichen Informationsverlust verbunden (KDRs 12/3 d, Boustead, S. 8; KDRs 12/3 a, Fink, S. 3; KDRs 12/3 d, de Haes, S. 8; KDRs 12/3 c, Minet, S. 15). Umgekehrt kann eine Aggregation zu mehr Übersicht führen, so auch Feuerherd:

„Aggregation von Daten bedeutet Informationsverlust, Inflation von Einzelangaben führt zu Verzerrung und läßt bisweilen den Wald vor lauter Bäumen nicht erkennen“ (KDRs 12/3 c, Feuerherd, S. 10).

Boustead schlägt vor, zuerst einmal immer den komplett zugänglichen Datensatz zu erstellen und zu präsentieren. Je nach Erkenntnisinteresse (z. B. im einen Fall Klimaschutz, im anderen Fall fossile Energieträger) könne man immer noch in einem zweiten Schritt aggregieren (KDRs 12/3 d, Boustead, S. 8).

Eine über ein einzelnes Umweltkriterium hinausgehende, medienübergreifende Aggregation schon bei Erstellung der Sachbilanz wird durchgängig abgelehnt.

#### 4.2.6.4 Analyse der Wirkungen

Die Analyse der Sachbilanz und der Input-Output-Stoffströme und Energieumsätze führen bereits zu wichtigen Erkenntnissen und weisen auf Handlungsmöglichkeiten hin. Bei den meisten der bisher durchgeführten Ökobilanzen wurde keine detaillierte Analyse der Wirkungen durchgeführt.

Das Umweltbundesamt sagt dazu:

„Unter einer Wirkungsbilanz wird die Beschreibung der in der Sachbilanz erhobenen Daten hinsichtlich möglicher Umweltwirkungen wie zum Beispiel Klimaveränderung, Abbau der Ozonschicht,



Eutrophierung, Human- und Ökotoxizität, Ressourcenbeanspruchung, Abwärme sowie Belästigungen durch Geräusche und Gerüche verstanden. Die Daten der Sachbilanz werden hierzu — soweit das möglich ist — mit wirkungsspezifischen Indices, die jeweils nur für einzelne Umweltbereiche Geltung haben, gewichtet und zusammengefaßt“ (KDRs 12/3 h, UBA, S. 14).

Hier stellt sich vor allem die Schwierigkeit, daß in der Sachbilanz in der Regel nach Einzelstoffen aggregierte Emissionen erfaßt werden, wohingegen für die Beschreibung der Wirkung ein Immissionsprofil notwendig ist.

#### 4.2.6.5 Bewertung der Sach- und Wirkungsbilanz

Die Bewertung der Sachbilanz erfolgt einerseits im Hinblick auf die zugrundegelegte Fragestellung (Planungsziel, Untersuchungsgegenstand) und ist andererseits durch die zwangsläufig subjektive Werthaltung geprägt. Umstritten ist, ob auch der Nutzen bzw. das Nutzenbündel im Sinne einer Risiko-Nutzen-Abwägung bewertet werden sollte. Die meisten Sachverständigen gehen dagegen davon aus, daß der Gebrauchsnutzen der untersuchten Produkte vergleichbar ist, da sie nach dem Prinzip der funktionellen Äquivalenz ausgewählt sein sollten.

Die Diskussion zu Konzepten und Modellen für die (öko-)toxikologische Bewertung der erfaßten Daten in einer Produktlinienanalyse oder Ökobilanz nimmt derzeit eine dominierende Stellung ein. Die meisten Sachverständigen diskutieren unter dem Stichwort Bewertung nur die (öko-)toxikologische Bewertung der verschiedenen Stoffströme. Das Öko-Institut nennt dagegen fünf Bewertungsschritte (KDRs 12/3 e, Gensch), ähnlich argumentiert Jochem (KDRs 12/3 c, Jochem, S. 5).

#### Vorbewertungen bei der Erstellung der Sachbilanz

Vielfach wird übersehen, daß bereits das Dateninventar bzw. die Sachbilanz (vor-)bewertet ist. Implizite Vorbewertungen ergeben sich beispielsweise bereits aus der Festlegung der untersuchten Varianten, durch die Definition des Produktsystems, aus der Wahl der zu berücksichtigenden Umweltaspekte, bei der Zuordnung von Kuppelprodukten usw. So äußerte Fink auch bei der Anhörung der Enquete-Kommission zu Ökobilanzen und Produktlinienanalysen am 24. September 1992:

„In den Sachbilanzen ist ganz eindeutig die Bewertung enthalten.“

Ein typisches Beispiel für eine solche Vorbewertung ist, daß in vielen Ökobilanzen qualitative Aspekte nicht erhoben werden (und deswegen auch nicht bewertet werden), obwohl keineswegs sicher ist, daß diese Aspekte nicht genauso oder womöglich noch wichtiger sind als quantitative Aspekte (KDRs 12/3 d, de Haes, S. 8).

#### Ökologische Bewertung

Bei der Diskussion um die Bewertung verschiedener Stoffe in Ökobilanzen und Produktlinienanalysen wird nur zu leicht vergessen, daß oft schon die Bewertung einzelner Stoffe (z. B. Dioxin, LAS) strittig sein kann und dies kein spezielles Problem von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen darstellt.

Einen Überblick über die derzeit angewendeten Bewertungsmodelle geben Umweltbundesamt (UBA, 1992a, S. 54 bis 59) und IÖW (KDRs 12/3 b, S. 12 ff.). Grundsätzlich zeichnen sich in der Diskussion zwei unterschiedliche Richtungen ab:

- Zum einen gibt es Vorschläge, Gesamtmodelle zu entwickeln, die alle einen hohen Aggregationsgrad aufweisen und im Ergebnis in einer geringen Zahl von „Umweltindikatoren“ oder in einer einzigen Kennziffer („Öko-Punkt“) münden. Der wohl bekannteste und verbreitetste Ansatz in dieser Richtung ist das von dem Schweizer Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL) vorgelegte Modell der „kritischen Belastung“; vergleichbare Konzepte werden derzeit in den Niederlanden und in Schweden diskutiert.
- Die andere Richtung ist von der Vorstellung geprägt, daß eine Zusammenfassung und Bewertung der unterschiedlichen Umweltaspekte durch Risikozahlen, Emissionsindices oder ähnliches einer kritischen Analyse nicht standhalten kann; wesentliche Kritikpunkte sind, daß die Normierungsgrundlagen für Einzelindikatoren (Grenzwerte, maximal tolerierbare Belastungen) nicht ausreichend begründet oder lückenhaft sind und daß synergistische Wirkungen außer acht bleiben (KDRs 12/3 c, Jochem, S. 25; KDRs 12/3 g, Marsmann, S. 13; KDRs 12/3 e, Gensch, S. 23; UBA, 1992a, S. 54 ff.; u. v. a. m.). Zur Reduktion der Bewertungskomplexität wird dagegen vorgeschlagen, nur einzelne Teilaspekte zusammenzufassen. Marsmann nennt zum Beispiel die Bewertung der Wassergefährdungsklassen, die Einstufung nach TA Luft, das Gefahrenmerkmal „umweltgefährlich“ (KDRs 12/3 g, Marsmann, S. 13). Ansonsten wird auf die weiterhin erhebliche Bedeutung der traditionellen „qualitativen argumentativen Bewertung“ verwiesen (KDRs 12/3 c, Jochem, S. 5; UBA, 1992a, S. 54 ff.), wobei IÖW und Öko-Institut hierbei zusätzlich die Bedeutung des partizipativen Diskurses hervorheben.

#### Ökologische, ökonomische und soziale Gesamtbewertung

Während die Verfechter der Produktlinienanalyse die ökologische, ökonomische und soziale Gesamtbewertung als vierten Teilschritt der Produktlinienanalyse ansehen und dafür auch entsprechend genaue Daten erheben wollen, gehen die Verfechter der Ökobilanzen davon aus, daß eine solche Gesamtbewertung zwar erfolgen müsse, aber nicht als vierter Teilschritt der Ökobilanz, sondern an anderer Stelle, weil mit der Bewertung die wissenschaftliche Arbeitsweise verlassen werde.

#### Allgemeine Anforderungen an die Bewertung

Insgesamt ist im Hinblick auf Bewertungshilfen und Bewertungsmodelle zu fordern, daß diese nachvollziehbar und begründet eingesetzt werden. Dies bedeutet auch, daß der mit der Bewertung zwangsläufig einhergehende Informationsverlust klar gekennzeichnet wird und insbesondere Aussagen getroffen werden, welche Aspekte in der Bewertung ausgeklammert werden.

#### 4.2.6.6 Optimierung und Handlungsempfehlungen

Gegen die direkte Einbeziehung von Handlungsempfehlungen in die Ökobilanz sprechen sich einige Sachverständige aus (z. B. KDRs 12/3 g, Marsmann). Da aber auch diese Sachverständigen sehr wohl eine handlungsorientierte Erstellung und Bewertung von Ökobilanzen befürworten, steht hinter der Frage der Einbeziehung in die Ökobilanz (als fünfter Teilschritt) versus getrennter Vorgang nach der Ökobilanz möglicherweise die Befürchtung, daß die Bewertung und Handlungsempfehlungen nicht ausreichend als subjektiv gekennzeichnet werden.

#### 4.2.7 Ökobilanzen und Produktlinienanalysen in der Produktpolitik

Hier werden aus den Stellungnahmen drei verschiedene Positionen deutlich: Ablehnung einer umweltpolitischen Steuerung, ein Zehn-Punkte-Programm des Umweltbundesamtes, das auf konkrete weitere Arbeitsschritte abhebt und ein dezidiert produktpolitisches Programm des Öko-Instituts.

##### 4.2.7.1 Standpunkt der Industrie

Die Industrie lehnt Ökobilanzen als überbetriebliches Planungs- und Steuerungsinstrument ab. Ökobilanzen dürfen nicht zu einer Umweltverträglichkeitsprüfung für jedes neue Produkt werden, d. h. praktisch zu einer Markteintrittsprüfung.

Ökobilanzen sind freiwillige Maßnahmen der Industrie. Ähnlich wie freiwillige Öko-Audits für Unternehmen sind sie geeignet, den verantwortungsbewußten Umgang mit Produkten zu prüfen und darzustellen. Maßnahmen des Gesetzgebers sind nicht notwendig. Allgemein gestiegenes Umweltbewußtsein und durch den Markt geforderte ökologische Produkte geben ausreichend Anstöße.

Die marktwirtschaftliche Ordnung ist über Rahmengesetze zu regeln.

Diskussionswürdig sind auf Konsens beruhende Vereinheitlichungen und eventuell Verhaltenskodizes zur Bereitstellung der Daten und zum Umgang mit Ökobilanzen, wie sie beispielsweise vom Umweltbundesamt angeregt werden (KDRs 12/3 c, Minet, S. 20).

##### 4.2.7.2 Zehn-Punkte-Programm des Umweltbundesamtes

Das Umweltbundesamt schlägt aber ein „Zehn-Punkte-Programm zur Fortentwicklung von Ökobilanzen“ (UBA, 1992a, S. 65 bis 66) vor:

- „1. Entwicklung eines Verfahrens zur Sicherung der Transparenz von Ökobilanzen, insbesondere im Hinblick auf die Abgrenzung des Bilanzierungsraumes, die Datenbasis und die Bewertung. Die Fachöffentlichkeit ist hierbei zu beteiligen („Offenheitsprinzip“).
2. Erarbeitung eines Standardmodells der Ökobilanz mit methodischen Mindestanforderungen im Sinne der Ausführungen in den Abschnitten 3 und 4 sowohl national (im Rahmen eines mit Vertretern der beteiligten Kreise und der Wissenschaft zusammengesetzten Arbeitsausschusses) als auch international.
3. Entwicklung einer Rahmenvereinbarung (Code) der Wirtschaft zur Verbesserung der Informationsstruktur für Ökobilanzen.
4. Zusammenstellung geeigneter Informationen als Hilfen für die Durchführung der Wirkungsbilanz in kompakter Form („Wirkungskompodium“).
5. Entwicklung einer Datenbank validierter Ökobilanz-Daten durch eine autorisierte Stelle, die auf der Basis von spezifischen Daten im Rahmen von Konventionen allgemeine Daten festlegt.
6. Entwicklung von rechnergestützten Lebenswegen von Produkten in Form von Modulen, die die Auffüllung mit spezifischen Daten erlauben.
7. Entwicklung einer Datenbank ‚Bibliographie Ökobilanzen‘; Zusammenfassung der verfügbaren Ökobilanzen nach einem einheitlichen Raster.
8. Prüfung, inwieweit die beim Statistischen Bundesamt registrierten Daten über Waren- und Dienstleistungsströme für die Aufstellung von Ökobilanzen genutzt werden können und welche Verbesserungsmöglichkeiten bestehen.
9. Fortentwicklung der bisher angewandten Bewertungsmethoden mit dem Ziel, einen Konsens über die Form der Durchführung einer Bilanzbewertung zu erreichen.
10. Entwicklung eines Codes, wie die Ergebnisse von Ökobilanzen in der herstellerseitigen Produktinformation für Industrie, Handel und Verbraucher sachgerecht einbezogen werden können.“

##### 4.2.7.3 Produktpolitisches Programm des Öko-Instituts

Vom Öko-Institut und der Verbraucherzentrale NRW wurde ein produktpolitisches Konzept vorgeschlagen (KDRs 12/3 e, Gensch, S. 33 ff.; KDRs 12/3 a, Radünz):

- Sicherung einer kontinuierlichen Produktbewertung, Erarbeitung einer Gesamtkonzeption und Initiierung eines Programms zur Durchführung von Produktlinienanalysen in mehreren Phasen:
  - *Phase I:* Begründete Schwerpunktsetzung für vorrangig zu untersuchende Produktgruppen, Materialien und Grundchemikalien;
  - *Phase II:* Durchführung von orientierenden Produktlinienanalysen und — falls auf dieser Basis ausreichend — Vorschläge für produktpolitische Maßnahmen;
  - *Phase III:* Durchführung von detaillierten Produktlinienanalysen und Vorschläge für produktpolitische Maßnahmen.
- Entwicklung einer Methodenkonvention in mehreren Stufen.
- Initiierung eines Informationssystems für Produktlinienanalysen und Ökobilanzen.

Für die Begleitung des Programmes sollte eine Stiftung Produktlinienanalyse gegründet werden. An der Stiftung sollten die gesellschaftlichen Gruppen (Umweltverbände, Verbraucherverbände, Gewerkschaften, Industrie, Handel, Vertreter des öffentlichen Beschaffungswesens) gleichrangig beteiligt werden. Die Finanzierung sollte aus öffentlichen Mitteln erfolgen, wobei im Sinne einer „Kostenneutralität“ eine zweckgebundene Abgabe auf den Werbeetat der bundesdeutschen Wirtschaft geprüft werden sollte.

Unabhängig vom vorgeschlagenen institutionellen Rahmen sollten die gesetzlichen Voraussetzungen für einen ausreichenden Datenzugang geschaffen werden. Dies könnte im Rahmen der Umsetzung der EG-Richtlinie zum Akteneinsichtsrecht in bundesdeutsches Recht und/oder auf der Basis des Chemikaliengesetzes erfolgen.

## 4.2.8 Zusammenfassung und Bewertung

### 4.2.8.1 Akteursbezug und Einsatzgebiet

Die Rolle von Ökobilanzen, die betriebsintern zur Optimierung eingesetzt werden, ist wenig umstritten. Umstritten ist, inwieweit und in welchem Ausmaß Ökobilanzen und Produktlinienanalysen zur Begründung oder — weitergehend — Ermittlung umweltpolitischer Maßnahmen eingesetzt werden sollen. Auch diese Frage muß im Zusammenhang mit dem allgemeinen Stoffstrommanagement geklärt werden.

### 4.2.8.2 Einbezug ökonomischer und sozialer Aspekte

Während die Berücksichtigung ökologischer Aspekte bei Ökobilanzen oder Produktlinienanalysen auf der Hand liegt, ist der direkte Einbezug ökonomischer und sozialer Aspekte in die Produktbilanzierung grundsätzlich umstritten und markiert die Trennlinie zwischen Ökobilanzen und Produktlinienanalysen.

Allerdings herrscht Einigkeit, daß ökonomische und soziale Aspekte selbstverständlich in eine abschließende Bewertung und Entscheidungsfindung einfließen. Die Enquete-Kommission will hier zur Klärung beitragen, wo — wenn nicht in Produktlinienanalysen — ökonomische und soziale Aspekte in der erforderlichen Detailschärfe erhoben werden sollen, so daß auch sie angemessen bewertet werden können. Auch diese Frage muß im Zusammenhang mit dem allgemeinen Stoffstrommanagement geklärt werden.

### 4.2.8.3 Kosten-Nutzen-Abwägungen

Wenn Ökobilanzen zum Vergleich zweier Produkte für den gleichen oder ähnlichen Zweck eingesetzt werden (funktionelle Äquivalenz), wird der Nutzen nicht bewertet, auch findet keine Hinterfragung des Bedürfnisses statt, da darüber der Markt entscheiden soll.

Produktlinienanalysen beschreiben dagegen den Nutzen, um sowohl den Verbrauchern als auch der Umweltpolitik eine Grundlage für Risiko-Nutzen-Abwägungen zu geben. Die Bedeutung von Risiko-Nutzen-Abwägungen für die Umweltpolitik und das Stoffstrommanagement allgemein und damit auch speziell für Produktlinienanalysen muß in der Enquete-Kommission noch geklärt werden.

### 4.2.8.4 Datenlage

Die Datenlage wurde von vielen Sachverständigen als nicht ausreichend bezeichnet. Sie ist bei betriebsintern erstellten Ökobilanzen wesentlich besser, auch wenn hier das Problem bestehen kann, Daten von Vorlieferanten zu erhalten. Bei Ökobilanzen und Produktlinienanalysen, die von oder für öffentliche Stellen durchgeführt werden, ist man auf eine Kooperation mit der Industrie und freiwillige Vereinbarungen angewiesen. Die Enquete-Kommission muß klären, ob sie dies als ausreichend betrachtet.

### 4.2.8.5 Methodenkonvention

Einigkeit herrschte darüber, daß eine Methodenkonvention notwendig ist und die bisherigen Arbeiten bei den verschiedenen nationalen und internationalen Arbeitsgruppen bei DIN, ISO und der SETAC befriedigend verläuft. Zu erwarten ist allerdings kein fixes Standardmodell, in das man nur noch mehrere Zahlen eintragen muß, sondern eher eine Verfahrenskonvention, die beschreibt, wie korrekt und fair bilanziert wird. Die vergleichsweise große Einigkeit bei der Methodenkonvention trifft aber definitiv nicht auf die Auswahl der Bewertungskriterien zu.

### 4.2.8.6 Bewertungskriterien und Umweltziele

Einigkeit besteht darüber, daß die Bewertung auf jeden Fall subjektiv ist. Im Hinblick auf die Bewertung muß grundsätzlich geklärt werden, ob der Einbezug von ökonomischen und sozialen Aspekten und eine

Abwägung mit dem Nutzen im Rahmen von Ökobilanzen oder Produktlinienanalysen oder anderweitig erfolgen soll.

Die Bewertung wäre wesentlich vereinfacht und systematischer zu handhaben, wenn es gelänge, eine Einigkeit auf — möglichst quantifizierte — nationale Umweltziele zu erreichen, an denen dann auch einzelne Produkte gemessen werden können.

Im Hinblick auf die in verschiedenen ökotoxikologischen Bewertungsmodellen vorgenommene Aggregation von Daten besteht weitgehend Einigkeit darüber, Modelle mit einem hohen Aggregationsgrad abzulehnen. Mehr Chancen werden hingegen denjenigen Bewertungsmodellen eingeräumt, die die verschiedenen Emissionen zu Wirkungsfeldern zusammenfassen und versuchen, dafür Leitindikatoren zu finden (wie etwa im Klimabereich mit dem GWP-Wert als Maß für den Treibhauseffekt und mit dem ODP-Wert als Maß für die Ozonschädigung).

#### 4.2.8.7 Fazit

Produktlinienanalysen und (Produkt-)Ökobilanzen sind Informations-, Planungs- und Kontrollinstrumente der Produktpolitik. Sie eignen sich im wesentlichen

- zum Vergleich von Produkten,
- zur betriebsinternen Optimierung einzelner Produkte bzw. Produktlinien,
- zur Auswahl der geeigneten produktpolitischen Maßnahmen.

Ökobilanzen und Produktlinienanalysen gehören wie etwa auch regionale oder nationale Stoffstromanalysen oder Betriebs-Ökobilanzen zu den Methoden, die im Rahmen des Stoffstrommanagements eingesetzt werden können. Ihre Bedeutung innerhalb dieses Bündels von möglichen Methoden ist wie die Struktur des Stoffstrommanagements selbst bisher wenig geklärt. Es hat den Anschein, als ob viele der Hoffnungen und Befürchtungen und umweltpolitischen Streitpunkte, die sich eigentlich eher auf das allgemeine Stoffstrommanagement beziehen, stellvertretend an Ökobilanzen und Produktlinienanalysen ausgetragen werden. Damit wird die Bedeutung von Ökobilanzen und Produktlinienanalysen überschätzt.

### 4.3 Stoffstromanalysen an Beispielen

#### 4.3.1 Cadmium

##### 4.3.1.1 Begründung für die Themenwahl

Das Schwermetall Cadmium (chemisches Zeichen: Cd) wurde von der Enquete-Kommission neben den Kohlenstoffverbindungen Benzol und R 134 a als Einstiegsbeispiel für die Gewinnung von Erkenntnissen über Stoffströme und für die Erarbeitung eines Konzeptes zum Stoffstrommanagement ausgewählt.

Cadmium bot sich als Einstiegsbeispiel an, da von einer guten Datenlage und einer eindeutigen toxiko-

logischen Bewertung des Metalls auszugehen war. Weitere Auswahlkriterien waren die hohe Belastung von Mensch und Umwelt durch das Schwermetall und die fehlende Abbaubarkeit. Zudem ist das chemische Element aufgrund seiner physikalisch-chemischen Eigenschaften in allen drei Umweltkompartimenten (Boden, Wasser, Luft) anzutreffen und erlaubt in Teilbereichen, wie z. B. der Datenbeschaffung und Stoffstromermittlung, Verallgemeinerungen. Auch aufgrund seiner Eigenschaft als Kuppelprodukt der Zinkindustrie bietet sich das Metall als Beispiel für den Versuch eines Stoffstrommanagements an. Anhand dieses und der beiden anderen Einstiegsbeispiele sollten innerhalb der Enquete-Kommission Verfahrens- und Begriffssicherheit gewonnen werden, um sich dann baldmöglichst mit den komplexeren Bedürfnisfeldern befassen zu können.

#### 4.3.1.2 Vorgehensweise

##### Studie

Um einen allgemeinen Überblick über die Cadmiumstoffströme in der Bundesrepublik Deutschland zu erhalten, wurde eine Studie beim Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (FhG/ISI) in Karlsruhe unter dem Titel „Zusammenfassende Darstellung des Kenntnisstandes zu Cadmiumstoffströmen in der Bundesrepublik“ (Bätcher/Böhm, 1992) in Auftrag gegeben. Als Ergebnis dieser Untersuchung wurde erstmals der gesamte Cadmium-Stoffstrom, bezogen auf das Jahr 1986, vollständig bilanziert und in Form eines Mengenfluß-Schemas dargestellt (Abb. 4.3.1.1). Um mögliche Trends aufzuzeigen, wurden, trotz einiger Datenlücken, parallel dazu die Jahre 1980 und 1989 bilanziert.

##### Anhörung

Im Rahmen einer internen Anhörung zum Thema „Cadmium“ (KDRs 12/5; 12/5a) wurden sechs Sachverständige zu ökologischen, ökonomischen und sozialen Problemen befragt.

#### 4.3.1.3 Darstellung und Analyse des Cadmium-Stoffstroms

##### 4.3.1.3.1 Darstellung des Cadmium-Stoffstroms

In der Studie des FhG/ISI Karlsruhe „Zusammenfassende Darstellung des Kenntnisstandes zu Cadmiumstoffströmen in der Bundesrepublik“ wurde der Cadmium-Stoffstrom in der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) für die Jahre 1980, 1986 (Abb. 4.3.1.1) und 1989 bilanziert. Alle folgenden Angaben, die den Cadmium-Stoffstrom beschreiben, beziehen sich, sofern nicht gesondert ausgewiesen, auf diese Studie und den genannten Betrachtungsrahmen.

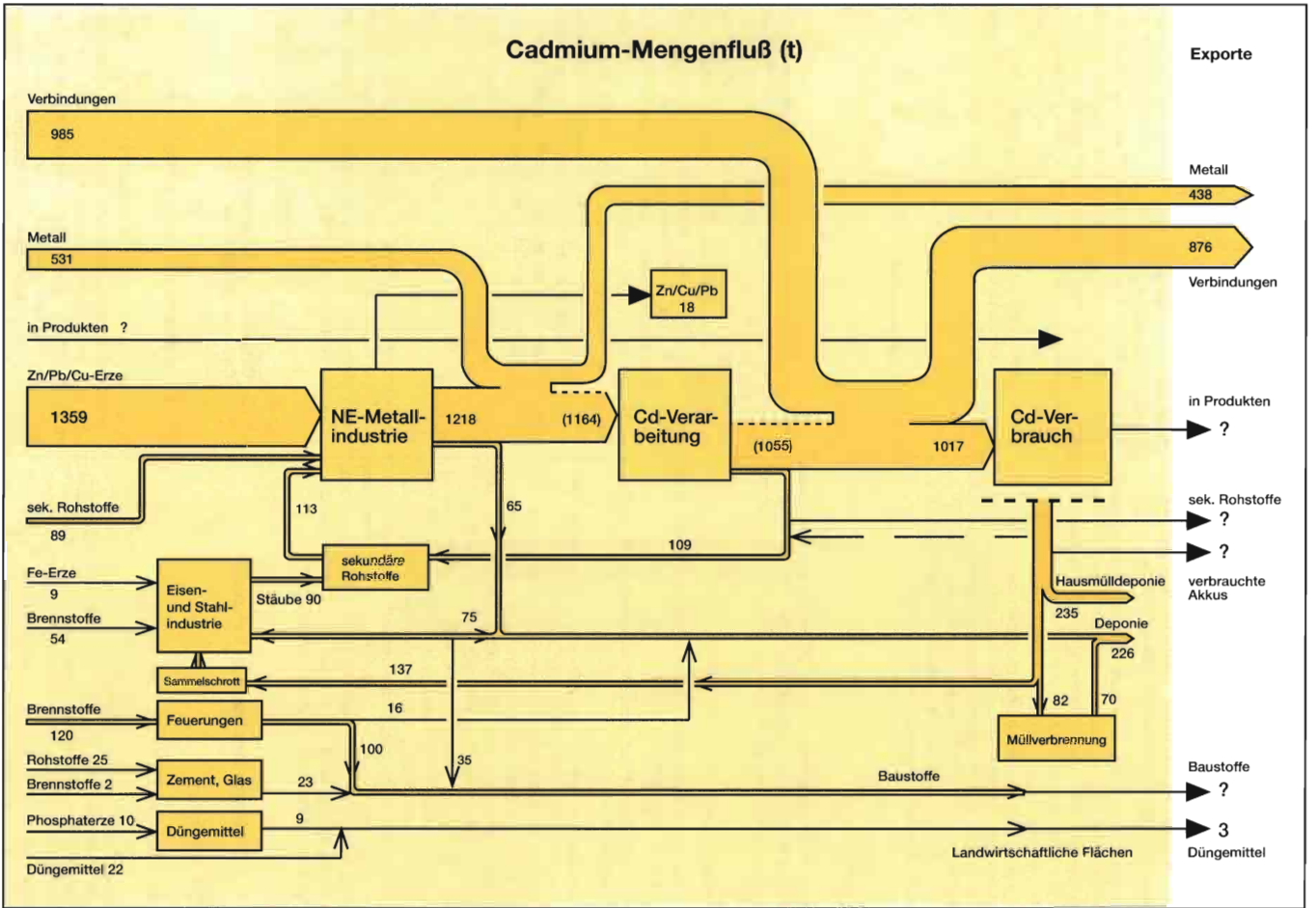


Abbildung 4.3.1.1 Cadmium-Mengenfluß in der Bundesrepublik Deutschland im Jahr 1986 (Bätcher/Böhm, 1992)



## Einträge in den Cadmium-Stoffstrom

Die Einträge (im wesentlichen über Importe) in den Cadmium-Stoffstrom der Bundesrepublik Deutschland erfolgten im Jahr 1986 durch Erze (ab 1992 ausschließlich Import), Cadmiumverbindungen (Halbfertigprodukte), Cadmiummetall, Brennstoffe, sekundäre Rohstoffe, Düngemittel und Phosphaterze sowie durch diverse andere Rohstoffe (Tab. 4.3.1.1).

**Einträge in den Cadmium-Stoffstrom  
der Bundesrepublik Deutschland 1986**

Rohstoff/Produkt	Cadmium (t)
Erze . . . . .	1 359
Cd-Verbindungen . . . . .	985
Cd-Metall . . . . .	531
Brennstoffe . . . . .	176
sekundäre Rohstoffe . . . . .	89
Düngemittel . . . . .	22
Phosphaterze . . . . .	10
diverse Rohstoffe . . . . .	34
Insgesamt . . . . .	3 206

Quelle: Bätcher/Böhm, 1992

Die Summe des Inputs lag im Jahr 1986 bei ca. 3 200 t, im Jahre 1989 bei ca. 2 900 t Cadmium. Während sich im Betrachtungszeitraum die Einträge in Form von primären/sekundären Rohstoffen und Cadmiummetall verringerten, nahmen die Importe von Verbindungen zu. Der Eintrag über den Import von Fertigprodukten (Konsumprodukten) ist dagegen nicht bezifferbar. Ein Grund dafür ist beispielsweise, daß Nickel-Cadmium-Akkumulatoren (NC-Akkus) in Kleinlektrogeräten fest eingebaut sind und dadurch in der Importstatistik nicht getrennt erfaßt werden.

## Primäre Rohstoffe, sekundäre Rohstoffe, Produkte

Die Zinkindustrie ist als Sammel- und Verteilstelle für Cadmium aus primären und sekundären Rohstoffen ein Knotenpunkt für alle wesentlichen Stoffströme des Cadmiums in der Bundesrepublik Deutschland. Auf der Inputseite der Zinkindustrie stehen, neben den Zinkerzen als primärer Rohstoff, cadmiumhaltige sekundäre Rohstoffe der Nicht-Eisenmetallindustrie, der cadmiumverarbeitenden Industrie und der Eisen- und Stahlindustrie sowie cadmiumhaltige sekundäre Rohstoffe aus dem Produktbereich.

Die Zinkindustrie ist daher als Senke für cadmiumhaltige primäre und sekundäre Rohstoffe zu betrachten. Um sie herum hat sich ein „Verbundsystem der anfallenden Rückstände“ in Form einer Kreislaufwirtschaft etabliert, das sich durch Emissionsminderungen, Verringerungen der Cadmiumgehalte in Nicht-Eisenmetallen (Zink, Kupfer, Blei) und Rückgängen bei der Deponierung cadmiumhaltiger Abfälle auswirkt. Das gewonnene Cadmiummetall geht entwe-

der in die Cadmiumverarbeitung oder in den Export.

Allerdings reduzierte sich der Inlandsverbrauch von Cadmium für Produkte in dem Betrachtungszeitraum durch Substitutionsbemühungen und Einsatzbeschränkungen deutlich von 1 747 auf ca. 886 t/a. Dementsprechend nahm die Cadmiumproduktion aus sekundären Rohstoffen zwischen 1980 und 1989 von 270 auf ca. 120 t/a ab, obwohl der Zinkindustrie im letzten Jahr des Betrachtungszeitraums allein ca. 360 t Cadmium als Bestandteil von Reststoffen aus der Metall- und metallverarbeitenden Industrie zur Verfügung gestellt worden waren. Durch die gleichbleibend hohe Nachfrage nach Zink blieb die Cadmiumproduktion aber insgesamt mit ca. 1 200 t/a konstant.

Das nicht für den Export bestimmte Cadmium (1986: ca. 1 017 t) gelangt über die cadmiumverarbeitende Industrie, die es in die verschiedenen Halbfertig- und Fertigprodukte einbindet, auf den Markt. Das Schwermetall ist Bestandteil von Pigmenten (insbes. zur Einfärbung von Kunststoffen), Stabilisatoren (für PVC), NC-Akkus, Legierungen (z. B. Lote, Lagerwerkstoffe), metallischen (galvanischen) Beschichtungen (z. B. Korrosions-, Verschleißschutz) und Glasprodukten (z. B. TV-Bildschirme).

Durch Abfallverbrennung, Recycling und Deponierung kann das in den Produkten enthaltene Cadmium teilweise wieder mobilisiert werden. Die Menge des in den privaten Haushalten, der Industrie und den Gewerben in Produkten gespeicherten Cadmiums wird auf ca. 9 000 bis 16 000 t geschätzt. Davon kommen jährlich ca. 1 000 bis 1 500 t zur Entsorgung (KDRs 12/5 a; UBA, S. 13 bis 15). Neben dem gezielten Einsatz in Produkten tritt Cadmium als Verunreinigung in Zink-, Blei- und Kupfermetallen auf. Dieser Stoffstrom hat jedoch inzwischen erheblich an Bedeutung verloren, da die Cadmiumkonzentrationen der in Primärhütten aus primären und sekundären Rohstoffen gewonnenen Nicht-Eisenmetalle durch technische Verbesserungen auf teilweise unter 1 ppm bis maximal 15 ppm reduziert werden konnten. In Zink, das aus Sekundärhütten (sog. Umschmelzanlagen) aus Altzink gewonnen wird (Sekundärzink, 6 % des gesamten Zinkverbrauchs), liegt der Cadmiumgehalt dagegen noch bei 100–200 ppm, jedoch mit fallendem Trend. Insgesamt reduzierte sich im Betrachtungszeitraum der Cadmiumeintrag in die Umwelt über Verunreinigungen im Zink von 55 auf ca. 1 t/a.

## Dünger

Von heute immer noch großer Bedeutung sind Cadmiumgehalte in mineralischen Phosphatdüngern, die in der Landwirtschaft eingesetzt werden. Das Ausgangsmineral, das Phosphorit, kann je nach Herkunftsland und geologischem Alter Konzentrationen von  $\leq 1$  bis 150 ppm enthalten (Bätcher/Böhm/Tötsch, 1992, S. 209). Diese Cadmiumgehalte gelten im Prinzip auch für importierte gebrauchsfertige Mineräldüngerphosphate. Die Cadmiumkonzentrationen

schwanken je nach Rohstoffvorkommen in dem angegebenen Rahmen. Nahezu cadmiumfreie abbaufähige Phosphatvorkommen magmatischer Herkunft sind nur in geringem Umfang (etwa 10 %) vorhanden.

Die Cadmiumeinträge über Phosphatdünger in die landwirtschaftlich genutzten Böden beliefen sich im Jahr 1991 auf ca. 25,3 t, das entspricht ca. 37 % des gesamten Eintrags in die Landwirtschaft. Dazu kamen Einträge über cadmiumverunreinigte Klärschlämme in Höhe von ca. 2,4 t (ca. 3 % des Gesamteintrags). Analytische Untersuchungen belegen, daß die Böden durch Überdüngung zum Teil mit Nährstoffen (Phosphat, Stickstoff) überversorgt sind, obwohl der Einsatz phosphathaltiger Düngemittel bereits seit 1988 deutlich rückgängig ist. Das notwendige Maß wird teilweise um das zwei- bis dreifache überschritten. Eine kontrollierte Verwendung aller Düngerarten (Klärschlamm, Gülle, Kunstdünger) ist daher eine zwingende Notwendigkeit.

Ein Verfahren zur Abreinigung von Cadmium aus der Rohphosphorsäure (CFB-Verfahren) auf 1 bis 2 ppm wird unter einem Kostenaufwand von 20,— DM/t Phosphat bereits großtechnisch durch die „Chemische Fabrik — Budenheim“ (Hunsrück) betrieben. Der Preis für CFB-Phosphatdünger ist nur wenig höher als bei nicht abgereinigten Düngern. Bei ausschließlicher Verwendung des CFB-Phosphatdüngers kann, nach Auskunft des Umweltbundesamtes, der Gesamteintrag über diesen Pflanzennährstoff von ca. 25 auf ca. 1 t pro Jahr reduziert werden. Allerdings sind nach geltendem deutschen Düngemittelgesetz die Cadmiumgehalte von Düngemitteln auf Basis von Rohphosphaten nicht begrenzt.

Von der Menge am bedeutsamsten für die landwirtschaftlich genutzten Böden sind mit ca. 41,5 t (ca. 60 % des Gesamteintrags) die atmosphärischen Cadmiumimmissionen.

Knapp ein Drittel des Gesamteintrags verbleibt im Boden und führt damit zu einer Akkumulation, während gut zwei Drittel durch Auswaschung, Erosion und Oberflächenabfluß ausgetragen und damit im wesentlichen in das Grundwasser und die Flüsse eingetragen werden (KDRs 12/5; Isermann, S. 103).

#### Abfall

Im Jahre 1986 gingen ca. 235 t Cadmium als Bestandteil von Produkten auf die Hausmülldeponien. Großen Einfluß auf die zu entsorgende Cadmiummenge haben der Cadmiumgehalt der Produkte, die Nutzungsdauer der Produkte und die Recyclingquote von NC-Akkus. Durch die zum Teil lange Nutzungsdauer älterer Produkte mit noch hohen Cadmiumgehalten wird der Eintrag über diesen Pfad allenfalls langfristig zurückgehen. Kurz- und mittelfristig ist eher noch mit einem Anstieg zu rechnen. Eine kurzfristige Reduktion wäre allenfalls durch die Erhöhung der Recyclingrate von NC-Akkus zu erreichen.

Im gleichen Jahr gingen ca. 226 t Cadmium als Bestandteil von Industrieabfällen aus der Eisen- und Stahlindustrie, der Nicht-Eisenmetallindustrie, der Müllverbrennung und den Feuerungsanlagen auf die Deponie. In diesen Materialien ist im Normalfall Cadmium neben einer Vielzahl anderer Inhaltsstoffe, z. B. anderer Nicht-Eisenmetalle, enthalten. Die Höhe der auf diese Weise entsorgten Cadmiummenge ist direkt abhängig von den Möglichkeiten der Zinkindustrie, diese Sekundärrohstoffe aufzunehmen und aufzuarbeiten. Derzeit werden Materialien mit hohen Cadmium- bzw. Nicht-Eisenmetallgehalten aufgearbeitet. Dieses gilt beispielsweise für die sogenannten reichen Stahlwerkstäube aus den Elektrofenschmelzanlagen, die neben ca. 0,1 % Cadmium im wesentlichen ca. 25 % Blei und Zink enthalten. Abfälle mit sehr geringen Konzentrationen an Nicht-Eisenmetallen, die auch Cadmium in geringen Konzentrationen enthalten, können in Aufarbeitungsanlagen bis heute nicht verwertet werden, allerdings sind neue Techniken bereits in der Erprobung.

Auffällig ist eine kontinuierliche Zunahme des Cadmiumeintrags in die Deponien in Form von Filterrückständen aus der Müllverbrennung zwischen 1980 und 1989. Dies wird auf die forcierte Verbrennung von Siedlungsabfällen zurückgeführt. Aufgrund der großen Speichermenge in Produkten aus Zeiten wesentlich höheren Cadmiumverbrauchs und der teilweise langen Nutzungsdauer der Produkte wird sich dieser Trend erst langfristig umkehren.

Etwa 158 t Cadmium flossen im Jahre 1986 als Bestandteil von Reststoffen aus Feuerungsanlagen, der Eisen- und Stahlindustrie und der Zement- und Glasindustrie in diverse Baustoffe ein und stellten damit einen diffusen Eintrag in die Umwelt dar.

Insgesamt beträgt die im Cadmium-Mengenfluß-Schema für 1986 auf der Entsorgungsseite für verbrauchte Produkte angegebene Cadmiummenge nur ca. 45 % der im gleichen Jahr durch die cadmiumverarbeitende Industrie für Produkte verwendeten Menge. Ursachen sind neben der unterschiedlichen Nutzungsdauer und den verschiedenartigen Verwendungsschwerpunkten vor allem auch Importe und Exporte von Cadmium in Fertigprodukten. Einem exportorientierten Land wie der Bundesrepublik Deutschland kann hier ein gewisser Netto-Efflux unterstellt werden.

Eine weitere wesentliche Einflußgröße auf das angegebene Mengenverhältnis Cadmiumverwendung in Produkten / Cadmium in verbrauchten Produkten ist die Aufarbeitungskapazität für verbrauchte NC-Akkus. Ein entsprechendes Recycling in unbekannter Größenordnung findet zur Zeit in Frankreich statt, das den Batterieschrott über Importe, u. a. aus der Bundesrepublik Deutschland, bezieht.

#### Emissionen

Hauptemissionsquellen sind die Eisen- und Stahlindustrie, Feuerungsanlagen, die Steine- und Erden-

industrie (Zement-, Keramik-, Glasproduktion), die Nicht-Eisenmetallindustrie und die Abfallverbrennung.

Ursache der Emissionen ist einerseits der natürliche Cadmiumgehalt vieler mineralischer Rohstoffe und der, im Vergleich zu anderen Metallen, relativ niedrige Siedepunkt (767 °C) des Schwermetalls. Zinkerze z. B. enthalten pro Tonne ca. 500 kg Zink und ca. 1 bis 2 kg Cadmium. Weitere Emissionen entstehen bei der Aufarbeitung cadmierter und verzinkter Produkte, zinkhaltiger Sekundärrohstoffe, vor allem alter Zinkbedachungen und Regenrinnen, durch die Eisen- und Stahlindustrie sowie die Nicht-Eisenmetallindustrie, insbesondere die Zinkindustrie. Altzink, u. a. aus der ehemaligen DDR, kann noch bis zu 500 ppm Cadmium enthalten. Kohle, insbesondere Steinkohle, enthält ca. 1 bis 2 mg/kg, die beim Verbrennungsvorgang — sei es in der Metallindustrie oder in Feuerungsanlagen — freigesetzt werden.

Die Verursacher von Cadmиеinleitungen in Abwässer sind die Eisen- und Stahlindustrie, die Nicht-Eisenmetallindustrie, die cadmiumverarbeitende Industrie sowie die Koksproduktion. Im Jahr 1988 beliefen sich die Emissionen auf ca. 4,5 t Cadmium.

Durch die Erfüllung der Anforderungen der Großfeuerungsanlagenverordnung von 1983, der „Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft“ von 1986, der 13. und 17. Bundesimmissionsschutzverordnung (BImSchV), des Wasserhaushaltsgesetzes sowie aufgrund von Innovationen seitens der Industrie sind vor allem die Cadmiumemissionen aus definierten Quellen in Luft und Gewässer in den letzten 10 bis 15 Jahren zurückgegangen. Da die gesamten Auswirkungen von neuen, aber bereits genutzten Filtertechniken und Verfahren bei der Stahlproduktion sowie eine bessere Abscheidung und Rauchgasreinigung bei der Müllverbrennung und den Kraftwerken erst in naher Zukunft meßbar sind, wird sich dieser Trend voraussichtlich fortsetzen. Der Eintrag in landwirtschaftlich genutzte Böden über Phosphatdünger und Klärschlämme ist aufgrund des verminderten Düngereinsatzes bzw. aufgrund der novellierte Klärschlamm-Verordnung von 1992 ebenfalls rückläufig (KDRs 12/5; Isermann, S. 41, 71).

#### Immissionen

In ländlichen Gebieten wurden Jahresmittelwerte der Immissionsbelastung durch Cadmium von 0,5 bis 1,5 ng/m<sup>3</sup>, in Ballungsgebieten von 2 bis 5 ng/m<sup>3</sup> und in Emittentennahbereichen von 5 bis 30 ng/m<sup>3</sup> gemessen (LAI, 1992, S. 113).

Die in den letzten 10 Jahren an ländlichen Meßstationen durchgeführten Messungen des Umweltbundesamtes zeigten hinsichtlich der Konzentration von an Schwebstaub gebundenem Cadmium einen abnehmenden Trend. Im Mittel ist die Immission innerhalb dieses Zeitraums um ca. 50 % zurückgegangen. Die

mittlere gemessene Cadmiumkonzentration betrug im Jahr 1981 ca. 0,8 ng/m<sup>3</sup>, im Jahr 1991 dagegen nur noch ca. 0,4 ng/m<sup>3</sup>. Im Jahr 1992 war eine weitere, zum Teil deutliche Konzentrationsabnahme zu beobachten. Nach Auskunft des Umweltbundesamtes ist hinsichtlich der nassen Deposition von Cadmium in ländlichen Gebieten über Niederschläge bislang kein eindeutiger Trend ableitbar.

Die Cadmiumimmission über die Atmosphäre allein in die landwirtschaftlich genutzte Fläche der Bundesrepublik Deutschland lag 1991 bei ca. 41,5 t/a (KDRs 12/5, Isermann, S. 103).

Die Immissionsmessungen werden in den Luftreinhalteplänen der Länder regelmäßig veröffentlicht.

#### Austräge aus dem Cadmium-Stoffstrom

Die Austräge erfolgen im wesentlichen über den Export von Cadmiummetall und Cadmiumverbindungen, wobei die Exportmengen im Betrachtungszeitraum von 301 auf ca. 733 t (Metall) bzw. von 702 auf ca. 914 t (Verbindungen) zunahm. Der Export von Cadmium als Bestandteil von Fertigprodukten, sekundären Rohstoffen, verbrauchten NC-Akkus und Baustoffen ist statistisch nicht erfaßt.

#### 4.3.1.3.2 Ökologische und toxikologische Relevanz

##### Vorkommen

Cadmium zählt mit einer Dichte von mehr als 5 g/ccm zu den Schwermetallen. Chemisch betrachtet gehört es zur Zinkgruppe, da es ähnliche chemische Eigenschaften aufweist. Auch in der unbelebten Natur findet man es häufig in Vergesellschaftung mit Zink. Es ist ubiquitär verbreitet, allerdings beträgt die durchschnittliche Konzentration in der Erdkruste lediglich ca. 0,2 mg/kg (0,2 ppm). Zum Vergleich: die Konzentration des Zinks ist um den Faktor 350 größer, die des Goldes nur um den Faktor 50 kleiner. In seiner natürlichen Verbindung liegt Cadmium in der Erdkruste als Cadmiumblende (CdS) oder Cadmiumcarbonat (CdCO<sub>3</sub>) vor, und zwar fast immer als Begleiter der Zinkblende (ZnS) und des Galmei (ZnCO<sub>3</sub>) (Römpf, 1989, S. 542—543). In dieser Form und Konzentration ist das Schwermetall ökologisch unproblematisch.

##### Ökotoxizität

Die Toxizität des Cadmiums wird relevant, sobald es durch anthropogene Freisetzung zusätzlich in die Umwelt eingetragen wird. Da Cadmium auch in der belebten Natur nur in Spuren vorkommt, wird es zu den Spurenelementen bzw. Spurenelementen gezählt. Während Zink aber z. B. ein lebensnotwendiges und somit essentielles Spurenelement ist, zeigt Cadmium in allen lebenden Systemen ausschließlich toxische Eigenschaften. Grundsätzlich steigt die Gefährlichkeit des Cadmiums mit der aufgenommenen Menge

und der Komplexität und Lebenserwartung des Organismus. Dies hängt im wesentlichen mit der fehlenden Abbaubarkeit und dem Bioakkumulationsvermögen des Schwermetalls zusammen.

#### Bioverfügbarkeit

Ein wesentliches Kriterium der Toxizität des Cadmiums ist die Bioverfügbarkeit. Das Schwermetall kann vor allem in der Form des gelösten freien Kations ( $\text{Cd}^{2+}$ ) oder des gelösten komplexgebundenen Kations leicht von lebenden Organismen aufgenommen werden. Aus Gründen der Vereinfachung wird im folgenden, mit wenigen Ausnahmen, der Begriff „Cadmium“ als Oberbegriff für die verschiedenen Zustands- und Bindungsformen des Schwermetalls beibehalten. Eine Ursache ist die physikalische und chemische Ähnlichkeit des Cadmiumkations mit den für alle Biota essentiellen Kationen des Calciums ( $\text{Ca}^{2+}$ ) und des Zinks ( $\text{Zn}^{2+}$ ).

Ökotoxikologisch betrachtet weniger bioverfügbar sind das wasserunlösliche Cadmiumsulfid ( $\text{CdS}$ ) und das schlecht wasserlösliche Cadmiumoxid ( $\text{CdO}$ ). Ersteres kommt aufgrund anthropogener Emissionen häufig in den Sedimenten von Flüssen und Hafengebieten vor, sofern nicht äußere Faktoren (Versauerung, Einleitung von Chloriden oder Komplexbildnern, Beförderung an die Wasseroberfläche) eine Mobilisierung bewirken. Allein in den alten Bundesländern fallen jährlich etwa 60 Millionen Kubikmeter Baggermasse an. Der Schlick stellt eine erhebliche Senke für Cadmium und andere Schwermetalle dar. Bei einer im Hamburger Hafen bereits praktizierten Aufarbeitung wird der Cadmiumanteil des Schlicks als Bestandteil eines entfeuchteten Filterkuchens in einer speziellen Deponie in nicht bioverfügbarem Zustand eingelagert. Eine Aufarbeitung des Filterkuchens, wobei das Cadmium glasartig eingeschmolzen wird, befindet sich in der Testphase. Das Produkt kann dann als Baustoff verwendet werden.

Entscheidenden Einfluß auf die Bioverfügbarkeit des Schwermetalls hat der Säuregrad (pH-Wert) des Mediums, in dem es sich befindet. Mit zunehmender Versauerung geht zuvor immobilisiertes Cadmium bevorzugt in die Form des freien, gut wasserlöslichen und bioverfügbaren Kations ( $\text{Cd}^{2+}$ ) über. Ähnliche Mobilisierungseffekte zeigen organische Komplexbildner, wie das häufig in Waschmitteln und auch in Düngemitteln verwendete EDTA (Ethyldiamintetraessigsäure) oder Chloride aus Salzeinleitungen in Gewässern, die mit dem Schwermetall Cadmiumchlorokomplexe bilden. Die Mobilisierbarkeit und damit auch die Bioverfügbarkeit des Cadmiums ist deutlich höher als bei anderen Schwermetallen.

Durch Kumulationsfällung mit oberflächenaktiven Stoffen, z. B. der Kalkfällung aus sauren sulfathaltigen Lösungen, kann die Konzentration des gelösten Cadmiums weit unter die chemische Gleichgewichtskonzentration herabgedrückt werden.

#### Wirkung auf Mikroorganismen

Aus der Ökosystemforschung gibt es nach Auskunft des Bundesumweltministeriums Hinweise auf toxische Wirkungen von Cadmium auf Bodenmikroorganismen — insbesondere Pilze — und den Ausfall ökologischer Leistungen dieser Organismen in Bodenökosystemen.

#### Wirkung auf Pflanzen

Die Aufnahme bei Pflanzen erfolgt sowohl über den Boden durch die Wurzeln als auch über cadmiumhaltige Staubbiederschläge durch die Blätter, wobei die Akkumulationsfähigkeit bei den einzelnen Pflanzenarten unterschiedlich ist. Großblättrige Pflanzen und Pilze zählen zu den stärker akkumulierenden Arten. So reichern Pflücksalat, Blattsellerie, Spinat und Tabak das Schwermetall im Vergleich zur Bodenkonzentration um den Faktor 3 bis 6 an (KDrs 12/5, UBA, S. 122). Grundsätzlich ist die Pflanzenverfügbarkeit von Cadmium höher als die der meisten anderen Schwermetalle (Deutscher Bundestag, SRU, 1987, S. 371).

Phytotoxische Wirkungen treten bei Bodenkonzentrationen oberhalb von 5 mg/kg auf. Sie äußern sich in Form von Chlorosen, Nekrosen und Wachstumsstörungen und können im Fall des kommerziellen Anbaus zu Ertragseinbußen führen (Stoeppler, 1990, S. 826). Das gilt insbesondere für Pflanzen auf übersäuerten Böden.

#### Wirkung auf Tiere

Schäden an terrestrischen Tieren durch Cadmium sind bisher auch in hochbelasteten Gebieten noch nicht beobachtet worden, auch wenn Nutztiere (z. B. Schwein, Huhn) zum Teil erhebliche Anreicherungen insbesondere in der Niere aufweisen. Bei Versuchstieren traten toxische Erscheinungen ab 30 mg/kg Trokensubstanz im Futter auf.

Im aquatischen Bereich liegt die Wirkungsschwelle für die empfindlichsten Organismen, wie z. B. Kleinkrebse, bereits im Bereich der natürlichen Hintergrundkonzentration der Oberflächengewässer von 0,009 bis 0,036  $\mu\text{g/l}$ . (KDrs 12/5, UBA, S. 123 bis 124).

#### Wirkung auf den Menschen

Die geschätzte durchschnittliche Aufnahme von Cadmium und seinen Verbindungen in den menschlichen Organismus (Nichtraucher) erfolgt zu ca. 96 % über Nahrungsmittel, zu ca. 4 % über das Trinkwasser und zu ca. 0,2 % über die Atemluft. Die Resorptionsrate der Lunge beträgt in Abhängigkeit von der Partikelgröße 10 bis 50 %, die Resorptionsrate des Magen-Darmtraktes beträgt 1 bis 10 %. Über die Nahrung werden derzeit ca. 7 (schriftliche Mitteilung des Umweltbundesamtes — Umweltsurvey 1990/91) bis 30 g (KDrs 12/5, Greim, S. 27) Cadmium pro Person und Tag aufgenommen. Hinsichtlich der Bioverfügbarkeit der

einzelnen Verbindungen, wie Cadmiumsulfid, -oxid und -chlorid, nach inhalativer bzw. oraler Aufnahme in den menschlichen Organismus existieren bisher keine sicher interpretierbaren Ergebnisse. Sofern keine Emissionsbelastung am Arbeitsplatz vorliegt, ist neben der Aufnahme über die Nahrung die Aufnahme über den Tabakkonsum am bedeutsamsten. Raucher nehmen bei einem Konsum von 20 Zigaretten pro Tag ca. 30 µg/Tag zusätzlich auf (s. Kap. 4.3.2). Die Konzentration in der Nierenrinde von 50 bis 60jährigen Nichtraucher beträgt ca. 30, bei Rauchern ca. 60 µg/g Nierengewebe, die kritische Konzentration beginnt bei ca. 200 µg/g (KDrS 12/5, Greim, S. 27, 29).

Das „Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives“ (JECFA) gab im Jahre 1990 eine vorläufig tolerierbare, maximale tägliche Aufnahmemenge von Cadmium in Höhe von 70 g/Person (Mann, 70 kg) bekannt (Deutscher Bundestag, BT-Drucksache 11/6494, 1990a, S. 9). In der MAK-Liste der Senatskommission zur Prüfung gesundheitsschädlicher Arbeitsstoffe ist Cadmium mit seinen Verbindungen als krebserzeugend im Tierversuch eingestuft worden (DFG, 1993, S. 27).

Akkumuliert wird das Schwermetall in Niere (ca. 50 %), Leber (ca. 15 %) und Muskelgewebe (ca. 20 %), wobei die Konzentrationen mit steigendem Alter zunehmen. Die irreversible Schädigung der Niere ist das Leitsymptom einer chronischen Cadmiumvergiftung. Sie äußert sich in einer erhöhten Ausscheidung von Aminosäuren und Proteinen (Proteinurie) sowie von Calcium, Phosphor und Glucose über die Niere. Langjährige Inhalation bei einer Exposition am Arbeitsplatz kann zu obstruktiven Lungenfunktionsstörungen führen. Im Tierversuch führten Inhalations- und Injektionsversuche zur Ausbildung von Karzinomen (LAI, 1992, S. 87). Durch die Calcium- und Phosphorverluste können außerdem Schäden am Knochenbau entstehen. Eine blutdrucksteigernde Wirkung des Cadmiums wird diskutiert, sie wurde bisher nur im Tierexperiment nachgewiesen (KDrS 12/5, Greim, S. 29 bis 30; WHO, 1992, S. 154 bis 157, 146 bis 152).

#### 4.3.1.3.3 Ökonomische Relevanz

##### Bedeutung für die Zinkindustrie

Im Jahre 1989 wurden, nach Auskunft des Statistischen Bundesamts, in der Bundesrepublik Deutschland aus primären und sekundären Rohstoffen über 600 000 t Kupfer, über 400 000 t Zink und über 300 000 t Blei erzeugt. Die Produktionsmenge von Cadmium betrug im gleichen Jahr ca. 1 200 t.

Cadmium fällt bei der Zinkproduktion durch die Zinkindustrie als Kuppelprodukt zwangsläufig an, da es in zinkhaltigen Erzen in unterschiedlichen Konzentrationen enthalten ist. Die Möglichkeit, ausschließlich cadmiumarme Rohstoffe einzusetzen, ist nicht gegeben, da diese Rohstoffe nur in geringen Mengen vorhanden sind. Die Abtrennung des Schwermetalls im Rahmen der Zinkproduktion bzw. die verbleibende maximale Cadmiumkonzentration im Reinzink ist

durch Qualitätsnormen der Industrie festgeschrieben. Die Produktion von Cadmium erfolgt daher unabhängig von der Nachfrage. Die Kosten für die Abtrennung aus den Zinkerzen, die nicht durch den Verkaufserlös gedeckt werden, kann die Zinkindustrie seit kurzem nach dem Verursacherprinzip an den Bergbau herantragen. Dies geschieht in Form von Abschlägen, die sich nach der Höhe des Cadmiumgehaltes in den angelieferten Rohstoffen richten. Die Kosten für die Aufarbeitung aus sekundären Rohstoffen trägt die Zinkindustrie bislang selbst. Sekundäre Rohstoffe sind hauptsächlich cadmiumhaltige Rückstände der Nicht-Eisenmetallindustrie, der schrottverarbeitenden Metallindustrie und Altzink. Betriebswirtschaftlich rechnet sich dies, solange ein adäquater Markt für Cadmiummetall vorhanden ist.

Da Cadmium ein Kuppelprodukt der Zinkproduktion ist, trägt es neben den Kosten auch zu den Erlösen bei. Bei rückläufigen Preisen ist in der Zinkindustrie mit Ertragseinbußen zu rechnen.

##### Entwicklung in den Anwendungsbereichen

Der Markt für Cadmium ergibt sich durch die Verwendung in NC-Akkus, Pigmenten, Stabilisatoren, galvanischen Beschichtungen, Legierungen und in der Glasindustrie (Abb. 4.3.1.2), sowie durch den Export von Cadmiummetall.

Der gezielte Einsatz von Cadmium in Produkten entwickelte sich für die verschiedenen Anwendungsbereiche wie folgt:

##### Stabilisatoren

Cadmium wird heute nur noch als Stabilisator in langlebigen PVC-Produkten für den Außeneinsatz, wie z. B. Fensterrahmen, eingesetzt, um eine dauerhafte Lichtechtheit und Wetterbeständigkeit (nach DIN 16830, Fensterprofile) zu gewährleisten. Aufgrund der zunehmenden Substitution durch andere Stabilisatoren (Zinn, Calcium-Zink) ist ein starker Rückgang des Cadmiumverbrauchs zu verzeichnen.

Für Alt-PVC-Material aus ausgebauten Fenstern gibt es bisher kein funktionierendes großflächiges Recyclingsystem. Es muß davon ausgegangen werden, daß Altfenster aus PVC, soweit diese bereits anfallen, überwiegend entweder mit dem Hausmüll oder durch Bau- und Abbruchunternehmen auf entsprechenden Deponien als Abfall entsorgt werden. Allerdings wurde am 2. Juni 1991 vom Verband der Fenster- und Fassadenhersteller ein Konzept zum Recycling von Kunststoffen mit einer sofortigen generellen Rücknahmeverpflichtung vorgestellt (Bätcher/Böhm/Tötsch, 1992, S. 31 bis 33).

Die mit der Produktion und Entsorgung von PVC-Fensterrahmen verbundene Problematik wurde auch im Rahmen einer öffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission zum Thema „Chlorchemie“ am 3. und 4. Juni 1993 in Bonn diskutiert. Die Auswertung und Bewertung der Anhörung wird Gegenstand des Endberichtes der Kommission sein.



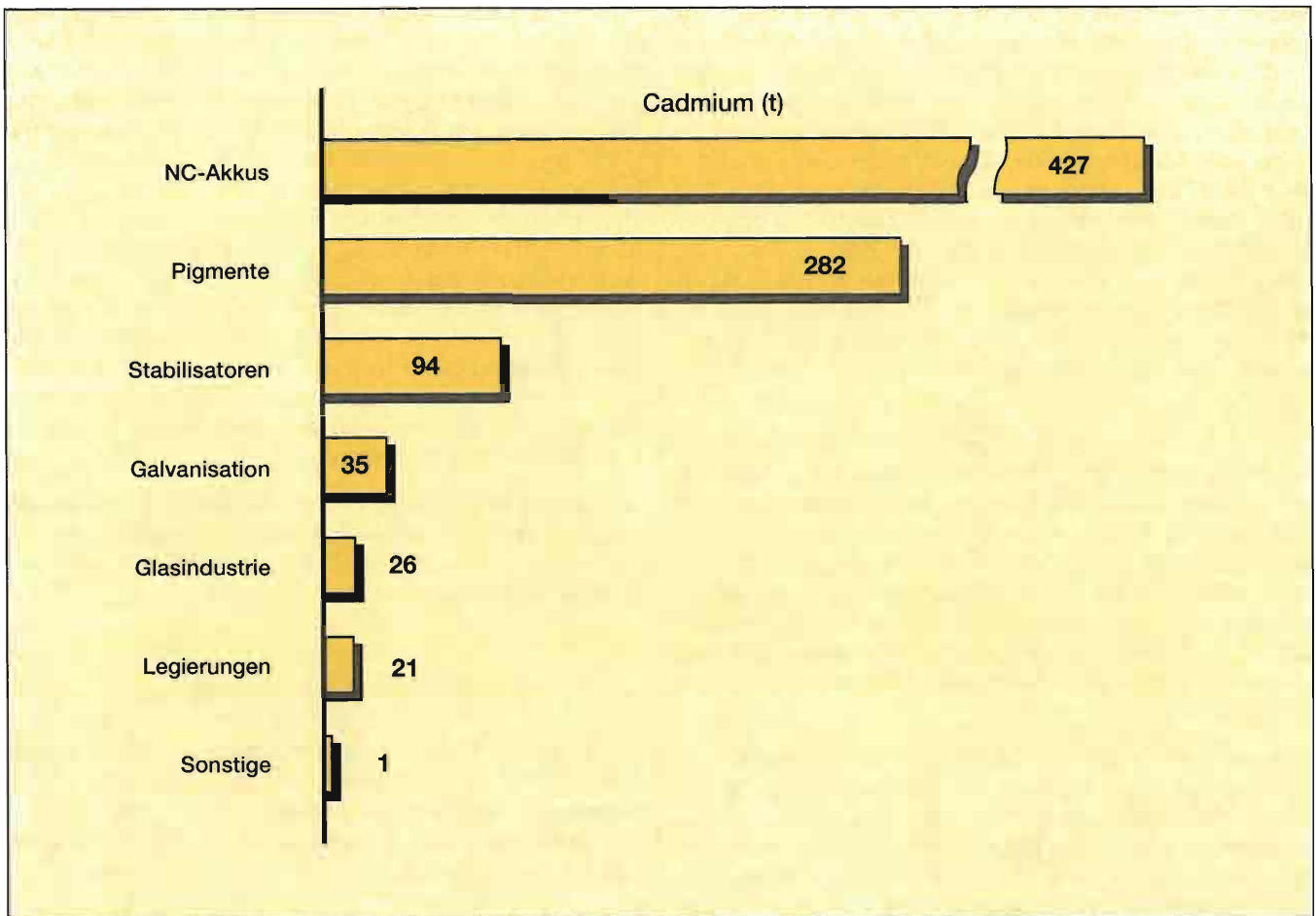


Abbildung 4.3.1.2: Inlandsverbleib von Cadmium in Produkten in der Bundesrepublik Deutschland 1989 (Bätcher/Böhm, 1992)

### Pigmente

Cadmumpigmente sind organische Buntpigmente, die den Farbbereich von Grün gelb über Gelb und Orange bis Rot abdecken. Substitutionserfolge wurden in diesem Bereich durch eine steigende Nachfrage nach technisch hochwertigen Produkten, insbesondere für den Sicherheitsbereich, bei denen die Substitution noch nicht befriedigend gelungen ist, kompensiert.

In die Wiederverwertung gelangen bis heute lediglich cadmiumpigmentierte leuchtend rote und gelbe Flaschenkästen mit einem Anteil von ca. 40 % (Bätcher/Böhm/Tötsch, 1992, S. 64). Allerdings stellt sich hier die Frage, inwieweit entsprechend eingefärbte Flaschenkästen überhaupt notwendig sind.

### Galvanische Beschichtungen

Galvanische Cadmiumbeschichtungen werden verwendet, um Metall- oder Kunststoffoberflächen z. B. vor Korrosion oder Verschleiß zu schützen. Durch kritische Analyse der tatsächlichen Notwendigkeit der Verwendung, durch konstruktive Veränderungen und Substitution (u. a. Zink, Zinklegierungen) ist ein starker Rückgang des Cadmiumverbrauchs zu verzeichnen (Bätcher/Böhm/Tötsch, 1992, S. 93 bis 110). Eine Substitution im Sicherheitsbereich, z. B. bei Flugzeugen, ist derzeit noch nicht möglich.

### NC-Akkus

Durch die vermehrte Verwendung schnurloser Klein-elektrogeräte ist die Nachfrage nach geschlossenen (gasdichten) NC-Akkus, die als elektrisch-aktive Masse die Schwermetalle Nickel und Cadmium enthalten, und dementsprechend der Cadmiumverbrauch stark gestiegen. Die Nachfrage nach offenen NC-Akkus für die industrielle Nutzung (z. Zt. ca. 10 bis 15 % des Cadmiumverbrauchs für Akkumulatoren) blieb dagegen konstant. Eine Substitution z. B. durch Lithium-, Nickel-Hydrid- oder Natrium-Schwefel-Akkumulatoren ist aufgrund der damit verbundenen Nachteile (z. B. geringere Hochstrombelastung, großes Volumen oder zu hohe Kosten) bisher nur in Teilbereichen erfolgt (Bätcher/Böhm/Tötsch, 1992, S. 121 bis 142).

Das Recycling von NC-Akkus ist relativ problemlos, da die Cadmiumgehalte um den Faktor 50 bis 100 höher liegen als bei den anderen Anwendungsbereichen. Ein Akku kann bis zu 19 Gewichtsprozent Cadmium enthalten. Trotz einer generellen Rücknahmeverpflichtung des Handels, die auf der im Jahre 1989 zwischen Herstellern und Importeuren von Batterien und dem Einzelhandel getroffenen „Vereinbarung über die Entsorgung von Altbatterien“ basiert, liegt die Rücklaufquote für geschlossene NC-Kleinakkus aus den privaten Haushalten nur bei knapp 10 %, der Rest geht in den Hausmüll. In der geplanten Batterieverordnung nach § 14 Abfallgesetz ist die Erhebung eines Pfands für NC-Akkus und andere

Batterien nicht vorgesehen, obwohl eine effektivere Kreislaufschließung ohne ein spürbares Pfand kaum vorstellbar ist. Allerdings hat die Enquete-Kommission die Effektivität des Instruments der Pfanderhebung noch nicht abschließend diskutiert.

In der Bundesrepublik Deutschland existiert bisher keine Recyclinganlage für NC-Akkus. Der durch den Handel und teilweise auch der durch die Kommunen gesammelte gemischte Batterieschrott aus dem privaten Konsum und der Industrie wird durch die Firmen NIREC (Rodgau) und SAT (Hamburg) zunächst (von Hand) sortiert. Die Finanzierung erfolgt, nach Auskunft des Fachverbandes Batterien, durch die „Arbeitsgemeinschaft Batterien“ (ARGE BAT), einer Vereinigung der Produzenten und Importeure von Batterien. Die sortenrein aufgetrennte NC-Akku-Fraktion wird dann in Frankreich durch die Firmen SAVAM und SNAM, Tochterfirmen der Hempelgruppe (F. W. Hempel, Co., Erze und Metalle, Düsseldorf), aufgearbeitet. Es kann derzeit nicht abgeschätzt werden, ob die dortigen Kapazitäten ausreichen werden, wenn ein verbessertes Sammelsystem eines Tages wirklich funktioniert. Die Hempelgruppe hat ein Genehmigungsverfahren für den Bau einer Aufarbeitungsanlage in der Bundesrepublik Deutschland eingeleitet (Bätcher/Böhm/Tötsch, 1992, S. 151 bis 171).

Insgesamt betrachtet zeigt der Einsatz von Cadmium in Produkten eine rückläufige Tendenz, bei einer unveränderten Produktionsrate aus primären und sekundären Rohstoffen von ca. 1 200 t/a. Weitere Substitutionsbemühungen sowie eine notwendige Effizienzsteigerung bei der Aufarbeitung von NC-Akkus werden die nicht absetzbare Cadmiummenge voraussichtlich ansteigen und die Vermarktungsfähigkeit des Schwermetalls weiter sinken lassen.

Wenn sich die Gewinnung von Cadmium betriebswirtschaftlich nicht mehr lohnt, besteht die Gefahr, daß die Zinkindustrie ihre Funktion als Senke für Cadmium aus primären und sekundären Rohstoffen verliert.

#### 4.3.1.3.4 Soziale Relevanz

Die geschätzte Anzahl der Arbeitnehmer mit beruflicher Cadmiumexposition in der Bundesrepublik Deutschland liegt — eine Dunkelziffer nicht überwachter Arbeitnehmer eingerechnet — bei ca. 6 000. In diesem Zusammenhang werden jährlich ca. 5 000 arbeitsmedizinische Vorsorgeuntersuchungen durchgeführt (Ewers, 1990, S. 10). Betriebe der Grundstoffindustrie führen routinemäßige Vorsorgeuntersuchungen aller ihrer Mitarbeiter regelmäßig durch. Die entsprechenden Meldungen liegen den Berufsgenossenschaften vor.

Messungen an Arbeitsplätzen in der cadmiumverarbeitenden Industrie ergaben Konzentrationen zwischen 1 und 56 µg Cadmium pro m<sup>3</sup>. Für die cadmiumverarbeitende Industrie wird zur Zeit ein TRK-Wert für Cadmium von 30 µg/m<sup>3</sup> diskutiert. Bei Einhaltung dieses Wertes ergibt sich bei einer berufsbedingten Exposition über 35 Jahre ein Krebsrisiko auf Basis des vom Länderausschuß für Immis-

sionsschutz vorgeschlagenen „Unit-Risk-Wertes“ ( $1,2 \times 10^{-2}$ ) von mehreren Prozent (KDRs 12/5, BAU, S. 127).

In dem Zeitraum zwischen 1978 und 1991 sind, nach Auskunft des Hauptverbandes der Berufsgenossenschaften, 18 Fälle bekannt, bei denen infolge einer Erkrankung durch Cadmium oder seiner Verbindungen eine Berufserkrankung mit Rentenanspruch anerkannt wurde. Vor diesem Zeitraum wurden anerkannte Fälle statistisch nicht erfaßt.

Die Substitution bzw. die ersatzlose Weglassung des Schwermetalls im Bereich der Massenprodukte hat wenig Einfluß auf den Herstellungsprozeß und keinen Einfluß auf den Absatz der entsprechenden Produkte. Größere Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt sind daher nicht zu erwarten. Dagegen werden die Arbeitnehmer, die bis dahin am Arbeitsplatz einer Cadmiumexposition ausgesetzt waren, entsprechend entlastet.

Die steigende Verwendung von Cadmium in geschlossenen Akkumulatoren ist eine Folge der wachsenden Nachfrage nach stromnetzunabhängigen Kleinelektrogeräten. Darüber hinaus besitzen NC-Akkus unter dem Blickwinkel der Gebrauchseigenschaften bis heute ein besseres Preis-/Leistungsverhältnis als mögliche Alternativen, wie z. B. Lithium- oder Nickel-Hydrid-Akkus.

#### 4.3.1.3.5 Zusammenfassung

Das Schwermetall Cadmium fällt in den Zinkhütten als Nebenprodukt der Zinkgewinnung zwangsläufig an. Parallel dazu erfolgt eine Produktion von Cadmiummetall aus NC-Akkus in kleinerem Umfang.

Hinsichtlich der Kreislaufschließung kommt der Zinkindustrie als Senke für primäres und sekundäres Cadmium eine besondere Bedeutung zu. Durch die sinkende Nachfrage nach Cadmium und dem zurückgehenden Absatz sieht sie sich vor wirtschaftliche Probleme sowie vor die Frage gestellt, wie mit einem Überangebot des Schwermetalls zukünftig zu verfahren ist.

Aus ökologischer und gesundheitlicher Sicht können die anthropogenen Einträge von Cadmium in die Umwelt zum Teil erhebliche negative Folgen haben. Das Schwermetall wird, mit abnehmender Tendenz, durch Emissionen, Düngereinträge und eine Reihe umweltöffener Anwendungen in die Umweltkompartimente Boden, Wasser und Luft eingetragen. Es existieren bereits erfolgreiche Bemühungen, die Eintragungspfade des Problemstoffs durch technische Innovation (Emissionen), Substitution (Halbfertigprodukte) sowie durch Eliminierung aus Produkten und Einsatzbeschränkung (u. a. Pigmente, Stabilisatoren, Dünger) zu minimieren. Dagegen ist die Sammlung und Wiederaufarbeitung der an sich gut stofflich verwertbaren NC-Akkus noch nicht gelöst.

Durch die zurückgehende Verwendung des Schwermetalls sind, bei Regelung der erwarteten Überschussproduktion von Cadmiummetall, zusätzliche Auswirkungen auf den Arbeitsmarkt nicht zu erwarten. Auch

die Produktvielfalt wird dadurch nicht eingeschränkt.

#### 4.3.1.4 Bewertungsansätze

##### Gegenstand der Bewertung

Gegenstand der Bewertung ist der Cadmium-Stoffstrom im Bilanzraum der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer). Als Bewertungskriterien werden geologische, technische, nutzungsrelevante, ökologische, toxikologische, ökonomische und soziale Aspekte berücksichtigt. Der Stoffstrom setzt sich aus sämtlichen Einträgen in den Bilanzraum, allen Stoffströmen innerhalb des Bilanzraums einschließlich der Akkumulation sowie sämtlichen Austrägen aus dem Bilanzraum zusammen. Als zeitlicher Betrachtungsrahmen wurde der Zeitraum von 1980 bis heute gewählt.

##### Datenbasis

Für die Bewertung des Cadmium-Stoffstroms ist eine fundierte Datenbasis erforderlich. Nach Ansicht der Kommission sind die Stoffströme im Fall des Schwermetalls Cadmium qualitativ und quantitativ hinreichend bekannt. Ausnahmen bilden lediglich die Bereiche des Imports und Exports cadmiumhaltiger Fertigprodukte (Konsumprodukte) sowie des Exports gebrauchter NC-Akkus und anderer sekundärer Rohstoffe. Für die Bewertung des Cadmium-Stoffstroms und für die Formulierung daraus abgeleiteter Handlungsempfehlungen ist die Schließung der genannten Datenlücken jedoch nicht unbedingt erforderlich.

##### Vorgehensweise

Die Enquete-Kommission hat den Cadmium-Stoffstrom in der Bundesrepublik Deutschland noch nicht abschliessend bewertet. Daher werden in diesem Kapitel im wesentlichen die bewertungsrelevanten Aspekte, die sich im Rahmen der Stoffstromanalyse als mögliche Bewertungskriterien induktiv herauskristallisiert haben, dargestellt und größtenteils kurz beschrieben. Eine Bewertung des Cadmium-Stoffstroms und die Gewichtung der Bewertungskriterien, die für abzuleitende Handlungsempfehlungen von besonderer Bedeutung ist, erfolgt zunächst nur ansatzweise.

#### 4.3.1.4.1 Ökologische und toxikologische Kriterien

##### Bewertungskriterien:

- Exposition
  - Umweltkompartimente
  - Bevölkerung
  - Arbeitsplätze
- Verhalten in der Umwelt
  - Biotische und abiotische Abbaubarkeit
  - Mobilisierbarkeit

Akkumulierbarkeit  
Bioverfügbarkeit

##### — Humantoxizität

Allgemeine toxische Wirkungen  
Verhalten im Organismus  
Kanzerogenität  
Risiko/unbestimmbares Risiko

##### — Ökotoxizität

Terrestrische Systeme  
Hydrosphäre  
Kombinationswirkungen  
Risiko/unbestimmbares Risiko

##### Exposition

Cadmium ist sowohl als Folge der anthropogenen Freisetzung als auch naturbedingt aufgrund seiner physikalisch-chemischen Eigenschaften in allen Umweltkompartimenten (Boden, Wasser, Luft) anzutreffen. Daher sind alle lebenden Organismen einer mehr oder weniger hohen Cadmiumexposition und den entsprechenden toxikologischen Wirkungen ausgesetzt.

Die vom „Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives“ (JECFA) bekannt gegebene vorläufig tolerierbare maximale Cadmiumaufnahme durch Nahrungsmittel und Trinkwasser wird im Durchschnitt zu ca. 10 bis 40 % (Nichtraucher) erreicht. Zusätzliche Cadmiumaufnahme durch Tabakkonsum kann unter Umständen zu einer wesentlichen Erhöhung dieser Werte führen. Infolge der zurückgehenden Immissionsbelastung ist bei Rauchern inzwischen der Tabakkonsum zur wichtigsten Aufnahmequelle für das Schwermetall geworden. Die Exposition durch das Trinkwasser spielt insgesamt nur eine untergeordnete Rolle.

##### Verhalten in der Umwelt

Da Cadmium weder biotisch noch abiotisch abbaubar ist, kann es in den Umweltkompartimenten Boden, Wasser und Biota akkumulieren. Solange das Schwermetall in seiner natürlichen Form als Bestandteil von Erzen immobilisiert vorliegt, sind diese Eigenschaften bedeutungslos. Ist Cadmium aber erst einmal in die Umwelt eingetragen bzw. mobilisiert und infolgedessen partiell angereichert worden, belastet es nicht nur heute Mensch und Umwelt, sondern auch zukünftige Generationen. Eine nachträgliche Rücknahme aus der Umwelt ist nur in Teilbereichen (Hafenschlick, Verschlackung) und unter erheblichem Aufwand möglich. Auch wenn die mögliche Festlegung des Cadmiums in geordneten Deponien eine Senke darstellt, bleibt das Problem der belasteten landwirtschaftlich genutzten Böden.

Der Einwand, daß Ökotoxizität niemals genau meßbar ist, muß hinter der Bedeutung der fehlenden biotischen und abiotischen Abbaubarkeit des Schwermetalls zurückstehen. Im Hinblick auf das Leitbild Sustainable Development sind im Fall des Schwerme-

talls Cadmium daher vor allem vorsorgende Maßnahmen in Betracht zu ziehen.

Das in den Böden und Sedimenten in zum Teil nicht bioverfügbarem Zustand akkumulierende Cadmium ist leicht durch äußere Faktoren (z. B. pH-Veränderung) mobilisierbar. Die zunehmende Boden- und Gewässerversauerung ist dabei ein wesentlicher Einflußfaktor. Durch die Mobilisierung des Schwermetalls z. B. aus einem an Bodenhumus adsorbierten Zustand wird die Bioverfügbarkeit i. d. R. wieder erhöht. Dies resultiert einerseits aus den chemischen und physikalischen Eigenschaften des gelösten Cadmiums, andererseits aus der größeren Wahrscheinlichkeit, im gelösten, mobilen Zustand mit lebenden Organismen in Kontakt zu treten. Das Schwermetall stellt also auch im nicht bioverfügbaren akkumulierten Zustand durch die leichte Mobilisierbarkeit eine potentielle Gefahr dar.

Durch Übertragung über den Luft- und Wasserpfad erweitert sich der Wirkungsgrad lokaler cadmium-emittierender Punktquellen bereits auf regionale und überregionale Bereiche. Durch die leichte Mobilisierbarkeit findet eine zusätzliche diffuse Verteilung statt. Aus den landwirtschaftlich genutzten Flächen werden ca. zwei Drittel des Gesamteintrages über Atmosphäre und Dünger durch Erosion, Oberflächenabfluß und Auswaschung wieder herausgetragen. Das Gefährdungspotential erweitert sich dadurch nochmals auf die Bereiche des Grundwassers, der fließenden Gewässer und ihrer Sedimente.

Als Folge der fehlenden Abbaubarkeit kann Cadmium in bereits bestehenden Senken der Umweltkompartimente Boden und Wasser weiter akkumulieren. Auf diese Weise können sich relativ geringe Immissionen bzw. Einträge im Laufe der Zeit zu höheren Konzentrationen anreichern.

Das betrifft vor allem die landwirtschaftlich genutzten Flächen, in die das Schwermetall, neben dem Luftpfad, auch über Phosphatdünger und Klärschlämme eingetragen wird. Die Belastung dieser Böden bzw. der darauf produzierten Nutzpflanzen wird durch die zum Teil zwei- bis dreifache Überdüngung unnötig erhöht. Der Verzehr der Nutzpflanzen bzw. der damit produzierten Nutztiere ist, neben dem Nikotinkonsum, im wesentlichen für die Bioakkumulation des Schwermetalls im Menschen verantwortlich.

Ein besonderes Problem stellen die aus Industrieleitungen und Bodenausträgen stammenden hohen Cadmiumakkumulationen in den Sedimenten der Flüsse und Hafenbecken dar. Obwohl das Schwermetall dort i. d. R. in nicht bioverfügbarer Form vorliegt, kann es durch äußere Einflüsse wieder mobilisiert und damit für lebende Organismen verfügbar werden. Das gleiche gilt für die im Laufe der Jahre in den Hausmülldeponien als Bestandteil von Produkten akkumulierende Cadmiummenge. Bislang ist eine Mobilisierung allerdings noch nicht beobachtet worden.

Der Boden, die Sedimente und der Hausmüll stellen Senken für Cadmium dar, die nicht unmittelbar einflußbar sind.

Aufgrund der fehlenden Abbaubarkeit, der leichten Mobilisierbarkeit, dem Akkumulationsvermögen sowie weiterer chemischer und physikalischer Eigenschaften zählt Cadmium zu den anthropogen in die Umwelt eingetragenen Stoffen mit hoher Bioverfügbarkeit. Dies gilt vor allem für Immissionen und Einträge aus Düngemitteln.

Langfristig nicht bioverfügbar und damit ohne Gefährdungspotential ist Cadmium nur in seiner natürlichen Form als Bestandteil von Erzen oder als in reiner Form ausgebrachtes Cadmiummetall, sofern es in geeigneter Form gelagert wird.

Zum Schutz des Menschen und der Umwelt muß es das Ziel sein, den Eintrag leicht bioverfügbarer toxischer Stoffe in die Umweltkompartimente möglichst weitgehend zu minimieren.

#### Humantoxizität

Die die Nieren und den Knochenbau schädigende Wirkung des Cadmiums, das zu den giftigsten Schwermetallen zählt, ist hinreichend bekannt.

Im Tierversuch wurden kanzerogene Wirkungen festgestellt. Es ist daher nicht auszuschließen, daß auch für den Menschen infolge der Cadmiumexposition ein Krebsrisiko besteht. Das gilt insbesondere für Personen, die am Arbeitsplatz oder infolge von Tabakkonsum einer zusätzlichen Exposition durch das Schwermetall ausgesetzt sind.

Ebenfalls aufgrund von Tierversuchen besteht der Verdacht einer blutdrucksteigernden Wirkung durch Cadmium.

Da die Fähigkeit des Schwermetalls zur Bioakkumulation im Menschen aufgrund der relativ hohen Lebenserwartung besonders zum Tragen kommt, besitzen gesundheitliche Aspekte bei der Bewertung Priorität.

#### Ökotoxizität

Die Toxizität des Cadmiums ist auch für viele Tiere, Pflanzen und Mikroorganismen hinreichend bewiesen. Das gilt sowohl für terrestrische Ökosysteme als auch für die Hydrosphäre. Ein biologischer Nutzen des Schwermetalls in oder für lebende Organismen ist nicht bekannt. Cadmium ist damit ein nicht essentielles Element, dessen anthropogene Einträge in die Umwelt nicht zu Anreicherungen führen sollten, die oberhalb der natürlichen Hintergrundkonzentration liegen.

Eine vollständige ökotoxikologische Bewertung ist aber auch am Beispiel des Cadmiums nicht möglich, da allenfalls die Wirkungen auf Ausschnitte eines Ökosystems annähernd genau analysiert werden können. Über Kombinationswirkungen ist wenig bekannt. Zink- und Calciumionen werden antagonistische Wirkungen zugeschrieben. Auch im Zusammenhang mit der fehlenden Abbaubarkeit und dem Akkumulationsvermögen des Cadmiums ergibt sich daher aus ökotoxikologischer Sicht ein unbestimmbares

Risiko, das weitere, bisher unbekannte toxische Wirkungen nicht ausschließt.

#### 4.3.1.4.2 Ökonomische Kriterien

Bewertungskriterien:

- Ökonomische Bedeutung
- Entsorgungskosten
- Substitution
- Recycling
- Externe Kosten
- Verbraucherkosten

Cadmium fällt in der Zinkindustrie zwangsweise nachfrageunabhängig als Nebenprodukt an. Im Gegensatz zum Zink sind die ökonomischen Erlöse aus dem Verkauf von Cadmium für die Produzenten relativ gering und werden sich infolge der zurückgehenden Verwendung und Nachfrage weiter reduzieren. Diese Mindererlöse belasten jedoch die Wirtschaftlichkeit der Zinkmetallproduktion, die, zusammen mit anderen Einflüssen, dadurch unter Umständen gefährdet werden kann. Die Produktion von Zink dagegen wird aufgrund seines hohen gesellschaftlichen Nutzens auf ähnlich hohem Niveau weiter erfolgen und die nicht absetzbare Cadmiummenge damit ansteigen.

Der Produktionsüberschuß an Cadmium kann für die Zinkindustrie langfristig zu einem Problem werden. Dadurch besteht die Gefahr, daß das Cadmium in der Zukunft nicht mehr möglichst effektiv aus den primären und sekundären Rohstoffen abgeschieden wird. Aus ökologischer Sicht wäre eine derartige Entwicklung ein deutlicher Rückschritt. Die Zinkindustrie darf ihre Funktion als Senke für primäres und sekundäres Cadmium daher nicht verlieren, denn sie bietet sich damit als Ansatzpunkt für ein effektives und unmittelbares Stoffstrommanagement an. Aus diesem Grund muß für das Absatzproblem eine Lösung mit dem Ziel einer möglichst umweltneutralen Handhabung des Schwermetalls angestrebt werden.

Aufgrund der toxikologischen und ökonomischen Gegebenheiten ist daher auch eine für die Zinkindustrie möglichst kostenneutrale Deponierung als inertes Cadmiummetall in Barrenform direkt nach der Ausbringung in Betracht zu ziehen. Diese Form der Entsorgung zeichnet sich durch ein geringes Deponievolumen und relativ niedrige Kosten aus. Da die Deponierung des giftigen Schwermetalls der Volkswirtschaft insgesamt zu Gute kommt, ist auch eine Kostenübernahme durch die öffentliche Hand in Betracht zu ziehen, wengleich dies nicht dem Verursacherprinzip entspricht.

In der cadmiumverarbeitenden Industrie kann Cadmium weitgehend ohne marktwirtschaftliche Einbußen durch entsprechende Substitute ersetzt werden. In Teilbereichen besteht sogar die Möglichkeit, die Verwendung des Schwermetalls ersatzlos einzustellen. Eine Ausnahme bildet die Verwendung als aktive Masse in NC-Akkus, dem derzeitigen Hauptverwen-

dungszweck für Cadmium. Neue innovative Absatzmärkte für Cadmium sind aufgrund der toxischen Eigenschaften des Schwermetalls nicht erwünscht, sofern die Produkte nicht in umweltneutralen Kreisläufen geführt werden können.

Ein Recycling von Cadmiummetall ist konzentrationsbedingt nur bei NC-Akkus möglich. Die Verwendung in NC-Akkus wäre tolerierbar, wenn es gelänge, die Kreisläufführung zu optimieren. Aufgrund der bisherigen Erfahrungen mit den Rücklaufquoten sind hier allerdings Zweifel angebracht. In den anderen Anwendungsgebieten (Pigmente, Stabilisatoren) besteht die Gefahr, daß das Schwermetall durch Recyclingmaßnahmen in unspezifischere Produkte niedriger Qualität diffus hineingetragen wird.

Die durch den anthropogenen Eintrag von Cadmium in die Umwelt hervorgerufenen externen Kosten für die Volkswirtschaft in Form von Gesundheitsschäden und Nutzungseinschränkungen für die Landwirtschaft sind bisher nicht beziffert worden.

Hinsichtlich des Cadmиеintrags über Dünger in die landwirtschaftlich genutzten Flächen ist zu berücksichtigen, daß die Verwendung cadmiumärmerer Phosphatdünger mit einem höheren Kostenaufwand für die Landwirte verbunden ist. Demgegenüber stehen allerdings deutliche ökologische Vorteile. Die ebenfalls i. d. R. mit höheren Kosten verbundene großtechnische Abreinigung des Cadmiums aus Rohphosphaten wird zur Zeit umgesetzt. Eine bereits großtechnisch betriebene, relativ preiswerte und gleichzeitig effektive Variante bietet das CFB-Verfahren, mit dessen Hilfe das Schwermetall aus der Rohphosphorsäure abgetrennt werden kann.

Allerdings stehen international gültige Richt- oder Grenzwerte für den Cadmiumgehalt in Phosphatdüngern noch aus. Dies kann negative Auswirkungen sowohl auf die Cadmиеinträge in den Boden als auch auf den technischen Fortschritt auf dem Gebiet der Abreinigungsverfahren haben.

#### 4.3.1.4.3 Soziale Kriterien

Bewertungskriterien:

- Arbeitsplätze
- Berufserkrankungen
- Produktvielfalt
- Gebrauchsnutzen
- Dritte Welt

Wenn die Verwendung eines Stoffes, der unter ökologischen und gesundheitlichen Aspekten als problematisch anerkannt worden ist, reduziert wird, kann sich dies auf das Arbeitsplatzangebot negativ auswirken. Damit ist im Fall des Cadmiums, mit Ausnahme der Zink- und Batterieindustrie, nicht zu rechnen, da das Schwermetall in den meisten Fällen substituierbar bzw. die Verwendung für das Produkt nicht unbedingt notwendig ist. Es ist jedoch anzumerken, daß es beim Zusammenwirken anderer wirtschaftlicher Faktoren mit dem Ertragsausfall für die Zinkindustrie durchaus



zu einer realen Existenzgefährdung der Zinkhütten kommen kann, was dann natürlich erhebliche Arbeitsplatzverluste nach sich ziehen würde.

Hinsichtlich der Arbeitnehmer, die einer Cadmiumexposition ausgesetzt sind, muß berücksichtigt werden, daß die außerberufliche Belastung, insbesondere durch Nahrungsmittel und Nikotinkonsum, additiv zur Wirkung kommt.

Die zurückgehende Verwendung von Cadmium wird sich aufgrund der vielfältigen Substitutionsmöglichkeiten weder auf die Vielfalt noch auf den Gebrauchsnutzen der Produkte auswirken. Allenfalls sind tolerierbare Einschränkungen bei der Farbauswahl (z. B. Flaschenkästen) der Produkte zu erwarten. Ausnahmen bilden Produkte aus dem Sicherheitsbereich sowie NC-Akkus.

Hinsichtlich der NC-Akkus würde eine zurückgehende Verwendung von Cadmium als aktive Masse aufgrund der technischen Daten und des Preis-/Leistungsverhältnisses der Akkus zu Nachteilen führen, da cadmiumfreie gleichwertige Alternativen bisher nicht für alle Anwendungsbereiche zur Verfügung stehen. NC-Akkus besitzen nach wie vor einen relativ hohen Gebrauchsnutzen. Der zunehmenden Verbrauchernachfrage nach qualitativ hochwertigen und gleichzeitig kostengünstigen stromnetzunabhängigen Kleinelektrogeräten könnte dann kaum noch entsprochen werden.

Die ökonomischen und sozialen Auswirkungen eines Pfandsystems für NC-Akkus sowie dessen Effektivität zur Risikominimierung sind durch die Enquete-Kommission noch nicht abschließend diskutiert worden.

Hinsichtlich der Cadmiumbelastung der zum Teil erheblich überdüngten landwirtschaftlich genutzten Böden ist zu berücksichtigen, daß die verstärkte Verwendung cadmiumärmerer Rohphosphate zu einer Diskriminierung phosphatexportierender Länder der Dritten Welt führen würde, da diese ausschließlich cadmiumreichere Phosphate produzieren können.

#### 4.3.1.4.4 Schlußfolgerungen

Aufgrund der durch die Enquete-Kommission bisher erfolgten Bewertung des Cadmium-Stoffstroms muß der anthropogene Eintrag von Cadmium in die Umwelt durch ein effektives Stoffstrommanagement weiter kontrolliert werden. Das gilt für alle Einträge in die Umwelt, insbesondere jedoch für die landwirtschaftlich genutzten Flächen. Es bietet sich an, das zwangsweise in der Zinkindustrie anfallende überschüssige Cadmium dem Stoffstrom unmittelbar zu entziehen.

#### 4.3.1.5 Handlungsempfehlungen und Instrumente

##### 4.3.1.5.1 Strategie

Die Analyse und die bisher durch die Enquete-Kommission erfolgte Bewertung des Cadmium-Stoffstroms in der Bundesrepublik Deutschland zeigen, daß die anthropogenen Einträge des Schwermetalls in die Umweltkompartimente unter Kontrolle sind. Eine

weitere Überwachung sowie Handlungsempfehlungen sind jedoch aufgrund der fehlenden Abbaubarkeit und der leichten Mobilisierbarkeit des Cadmiums notwendig. Ökologisch und ökonomisch sinnvolle Senken müssen genutzt und zu einer dauerhaften Festlegung des Cadmiums führen. Bezüglich der Einträge über Dünger sind auf der einen Seite wirtschaftliche Reinigungsverfahren für die Ausgangsrohstoffe weiter auszubauen und auf der anderen Seite Reglementierungsschritte zu überlegen, die den Cadmiumeintrag in den Boden über diesen Pfad begrenzen.

##### 4.3.1.5.2 Ansatzpunkte

Ansatzpunkte für ein Stoffstrommanagement lassen sich aus der Analyse des Cadmium-Stoffstroms ableiten:

- Zinkindustrie
- Cadmiumverarbeitende Industrie
- Emissionen/Immissionen
- Cadmiumverbrauch
- Reststoffe (sekundäre Rohstoffe/Abfall)
- Verwendung von Düngemitteln
- Herstellung von Düngemitteln
- Importe

##### 4.3.1.5.3 Instrumente

Als Instrumente eines Stoffstrommanagements für Cadmium wurden von der Enquete-Kommission folgende ordnungsrechtliche Regelungen, Maßnahmen bzw. kooperative Lösungen diskutiert:

- Zugriffsmöglichkeit des Staates auf die durch die Zinkindustrie produzierte Cadmiummenge (Vorschlag der Enquete-Kommission)
- Verbot der Verwendung von Cadmium dort, wo wirkungsvolle Recyclingwege nicht aufgebaut werden können (Vorschlag der Enquete-Kommission)
- Vereinbarung über die Entsorgung von Altbatterien
- Batterieverordnung nach § 14 Abfallgesetz
- Aufbringungsverordnung für Düngemittel und Klärschlamm nach § 14 Abfallgesetz
- Schadstoffhöchstmengenverordnung nach § 14 Abfallgesetz
- Bundesimmissionsschutzgesetz
- Wasserhaushaltsgesetz
- Rückstands- und Abfallwirtschaftsgesetz (Depotiequalität) (z. Zt. in der parlamentarischen Beratung)
- DIN-Normen für Zink
- Bodenschutzgesetz

#### 4.3.1.5.4 Empfehlungen

Auf der Basis der bisher erfolgten Bewertung des Cadmium-Stoffstroms sowie der möglichen Ansatzpunkte und Instrumente hat die Enquete-Kommission konsensuale Handlungsempfehlungen für ein effektives Stoffstrommanagement des Schwermetalls formuliert.

##### Ausschleusung aus dem Stoffstrom

Alle wesentlichen Cadmium-Stoffströme aus metallischen Primär- und Sekundärrohstoffen der Bundesrepublik Deutschland durchlaufen die Produktions- bzw. Aufarbeitungsanlagen der Zinkindustrie. Das Schwermetall wird dabei weitgehend als Cadmiummetall mit hohem Reinheitsgrad gewonnen. Der Cadmiumgehalt im Hauptprodukt, dem Zinkmetall, liegt heute bei nur 1 bis 15 ppm. Um dieses Niveau zu halten, sollte das nicht von der Zinkindustrie zu verkaufende Cadmiummetall durch die öffentliche Hand in nicht bioverfügbarer Form kostenfrei deponiert werden.

Allerdings darf Manipulationen kein Vorschub geleistet werden, und es muß verhindert werden, daß die Bundesrepublik Deutschland unter Umständen die Heimat aller nicht verkaufbaren Cadmiummengen der Welt wird. Die Zinkindustrie der Bundesrepublik Deutschland lebt von der Rohstoffverarbeitung und der Herstellung von NE-Metallen. Daher liegt es in ihrem eigenen Interesse, die möglichst vollständige Abtrennung und Gewinnung von Cadmium aus Rohstoffen zu übernehmen, wenn sie sicher sein kann, daß das nicht verkaufbare Cadmium kostenfrei durch die öffentliche Hand deponiert wird.

Die Verarbeitungskosten, die nicht durch den Verkaufserlös gedeckt werden, kann sich die Zinkindustrie seit kurzem nach dem Verursacherprinzip von den Lieferanten der primären Rohstoffe durch Abschläge, die nach dem Cadmiumgehalt gestaffelt sind, vergüten lassen. Um zu gewährleisten, daß die Zinkindustrie ihre Funktion als Senke auch für sekundäre Rohstoffe weiterhin erfüllen kann, ist eine entsprechende Regelung für die Aufarbeitung des Schwermetalls aus cadmiumhaltigen Reststoffen daher ebenfalls anzustreben.

##### Anwendungsverbote

Für Cadmium sollte ein generelles Anwendungsverbot mit definierten Ausnahmen erlassen werden, das entsprechende Übergangsfristen für Pigmente und Stabilisatoren vorsieht. Von diesem Verbot sollten solche Produkte ausgenommen werden, die in Kreisläufen geführt werden können, da dadurch das Cadmium in den Wirtschaftskreislauf zurückgeführt werden kann. Die Kreisläufe sollten dokumentiert und überprüft werden.

##### Kennzeichnungs-, Rücknahme- und Verwertungspflichten

Der künftige Hauptverwendungszweck für Cadmium wird voraussichtlich bei den geschlossenen NC-Akkus (Kleinzellen) liegen. Durch die zwischen den Herstellern und Importeuren von Batterien und dem Einzelhandel im September 1989 getroffene „Vereinbarung über die Entsorgung von Altbatterien“ wurde eine Kennzeichnung dieser Akkus eingeführt, und der Handel verpflichtete sich, diese Akkus zurückzunehmen. Der Rücklauf ist mit derzeit knapp 10 % unter dem Gesichtspunkt einer Kreislaufschließung für Cadmium ungenügend. Eine künftige Batterieverordnung sollte die Kennzeichnung, die Rückgabe und Rücknahme, die getrennte Sammlung und die Verwertung als Verpflichtung gesetzlich verankern. Eine Kreislaufschließung ohne ein spürbares Pfand auf diese Akkus ist nur schwer vorstellbar. Die Enquete-Kommission wird dieses Instrument noch grundsätzlich diskutieren.

##### Verminderung des Eintrags über Dünger

Die Verwendung von Phosphatdüngern sollte sich auf das notwendige Maß, in Abhängigkeit von der Bodenbeschaffenheit und der angebauten Nutzpflanze, beschränken. Dazu wird die Aufbringungsverordnung des Bundes sowie eine neu gefaßte Verordnung zur Änderung der Schadstoffhöchstmengenverordnung, in der Richtwerte für Cadmiumgehalte in Lebensmitteln festgesetzt werden, einen wesentlichen Beitrag leisten.

Die Enquete-Kommission ist der Auffassung, daß klare Grenzwerte für Cadmium in Lebensmitteln insbesondere dazu beitragen, daß die Erzeuger wirtschaftlicher Produkte bei belasteten Flächen auf cadmium-unempfindlichere Pflanzen ausweichen. Um wirksam zu sein, müssen allerdings die Grenzwerte unter den jetzigen Richtwerten liegen.

Da der Einsatz cadmiumarmer Rohphosphate durch begrenzte Vorkommen limitiert ist, muß die dauerhafte Verringerung des Cadmumeintrags in den Boden ausschließlich durch angepaßte Düngerangaben jedoch angezweifelt werden. Eine zusätzliche Entfernung des Cadmiums aus Rohphosphaten, z. B. mit Hilfe des CFB-Verfahrens, ist deshalb mittelfristig notwendig. Die Weiterentwicklung entsprechender Verfahren sollte durch Forschungsgelder der öffentlichen Hand gefördert werden.

Im Rhein-Sieg-Kreis gibt es eine neue Initiative der Landwirtschaftskammer Rheinland, die Landwirte im Umgang mit der elektronischen Datenverarbeitung (EDV) ausbildet. Das Ziel ist, die Buchführung computergestützt durchzuführen und die EDV gleichzeitig auf andere Betriebsbereiche der Landwirtschaft auszudehnen. Ein spezielles Programm erlaubt es z. B., den Düngemittelverbrauch nach Kosten, Maschineneinsatz, Arbeitszeit, Ackergröße und Ackerqualität ökonomisch und in diesem Fall damit auch ökologisch optimal berechnen zu lassen. Der EDV-Einsatz sollte, sobald die Praktikabilität hinreichend erwiesen ist, zwecks eines optimalen Düngemiteleinsetzes zwingend vorgeschrieben werden.

**Emissionsminderung**

Die eingeleiteten Emissionsminderungsmaßnahmen sollten konsequent fortgesetzt werden.

**Monitoring der Stoffströme***Emissionen/Immissionen*

Die Cadmiumanalysen in den Flüssen sollten fortgesetzt werden.

Die Entwicklung der Cadmiumimmissionen sollte durch Bodenuntersuchungen im Abstand von ca. vier bis fünf Jahren weiterverfolgt werden. Für jegliche Art von Böden sollten Richtwerte festgelegt werden. Das Umweltbundesamt sollte dem Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit bzw. dem Parlament etwa alle fünf Jahre einen entsprechenden Bericht vorlegen. Die Meßprogramme der EG und des Umweltbundesamtes können dazu einen Beitrag leisten.

*Cadmiumaufnahme des Menschen über die Nahrung*

Eine Analyse der täglichen Aufnahmemenge von Cadmium über Nahrungsmittel sollte im Abstand von etwa fünf Jahren durchgeführt werden.

*Abfall*

Zur Überwachung der Kreislaufschließung sollten Hausmüllanalysen auf Akkus und Batterien sowie auf die Cadmiumgesamtgehalte durchgeführt werden. Das Umweltbundesamt sollte dem Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit bzw. dem Parlament etwa alle fünf Jahre einen entsprechenden Bericht vorlegen.

*Importe*

Um zu verhindern, daß Zinkimporte mit hohen Cadmiumkonzentrationen eingeschleust werden, sollten diese auf ihren Cadmiumgehalt untersucht werden.

*Normen*

Die DIN-Normen für Zink sollten ständig dem Stand der Cadmiumminderungstechnik in der Bundesrepublik Deutschland angepaßt werden.

Es muß sichergestellt werden, daß Cadmium aus primären und sekundären Rohstoffen weiterhin abgetrennt und rein gewonnen wird. Es wird zu prüfen sein, ob dafür bestehende Qualitätsnormen ausreichen oder ob eine solche Verpflichtung gesetzlich aufgegeben werden sollte.

**4.3.2 Benzol****4.3.2.1 Begründung für die Themenwahl**

Für die Entscheidung der Enquete-Kommission, Benzol als Einstiegsbeispiel für ihre Stoffstrombetrachtungen auszuwählen, waren vor allem zwei Aspekte ausschlaggebend.

Der erste Aspekt lag in der Besonderheit seines Stoffstroms, der im folgenden nur grob, in Kapitel 4.3.2.3 genauer skizziert wird:

Benzol ist ein Stoff, der bei der Nutzung und Verarbeitung von Mineralöl als Bestandteil bestimmter Raffinerungsprodukte zwangsläufig anfällt, bzw. bei den heutigen Raffinerungsverfahren zwangsläufig aus anderen Kohlenwasserstoffen gebildet wird. Ausgehend von den Raffinerungsprodukten verläuft der Benzolstoffstrom in zwei Strängen.

1. Als Bestandteil von Kraftstoffen wird Benzol weitgehend zu Kohlendioxid und Wasser verbrannt. Nicht verbranntes und beim Verbrennungsprozeß neugebildetes Benzol wird in erheblichen Mengen in die Umwelt emittiert.
2. Aus den Kraftstoffkomponenten isoliertes Reinbenzol dient der chemischen Industrie neben Ethylen als wichtigster Grundstoff.

Der zweite Aspekt, der für Benzol als Einstiegsbeispiel sprach, war dessen erwiesene Toxizität. Benzol hat zentraldepressorische, hämatotoxische, kanzerogene und gentoxische Eigenschaften. Die unter diesem Gesichtspunkt beispielhaft zu klärenden Fragen der Enquete-Kommission zielten sowohl auf den gesundheits- und umweltpolitischen Umgang mit diesen Risiken als auch auf deren Kenntnis und Akzeptanz in der Gesellschaft ab.

**4.3.2.2 Vorgehensweise**

Mit dem Ziel, den aktuellen Sach- und Kenntnisstand über Benzol zusammenzutragen, fand am 22. und 23. Oktober 1992 eine öffentliche Anhörung statt (KDRs 12/2; 12/2 a—c). Auf drei Themenkomplexen lagen die inhaltlichen Schwerpunkte dieser Anhörung:

1. Stoffstrom des Benzols in den Bereichen Produktion und Verbrauch
2. Eintragspfade in die Umwelt und damit verbundene toxikologische und ökotoxikologische Auswirkungen
3. Informationszugänge und Akzeptanz der mit Benzol verbundenen kanzerogenen Risiken in der Bevölkerung.

Als Ergänzung zu der öffentlichen Anhörung erstellte das Fraunhofer-Institut für Aerosolforschung, Hannover, im Auftrag der Enquete-Kommission eine Studie zu dem „Aktuellen Kenntnisstand über Herkunft und Verbleib von Benzol und seinen industriell bedeutendsten Folgeprodukten“.

Den Auswertungen der Anhörungs- und Studienergebnisse schloß sich am 28. Mai 1993 eine interne Anhörung zum Thema „Risikoabschätzung und Risikoakzeptanz“ an.

Die im folgenden dargestellten Fakten, Erkenntnisse und Folgerungen beziehen sich weitestgehend auf die Ergebnisse der Studie und der Anhörungen.

#### 4.3.2.3 Darstellung und Analyse des Benzol-Stoffstroms

##### 4.3.2.3.1 Darstellung des Benzol-Stoffstroms

###### Benzol in Vergaserkraftstoffen

Benzol ist natürlicher Bestandteil von Rohöl. Rohöl wird durch verschiedene Verfahren raffiniert. Hierbei gewonnene Raffinerieprodukte, die sich aufgrund ihrer physikalischen und chemischen Eigenschaften zur Herstellung von Kraftstoffen eignen, gehen in unterschiedlichen Anteilen (Angaben in Klammern) als Komponentengemisch in die Kraftstoffherstellung ein. Diese Komponenten sind: Katalytische Reformate (45 %), Crackbenzine (33 %), Pyrolysebenzine (7 %), andere (8 %). Die unterschiedlichen Benzolkonzentrationen der Komponenten bestimmen in ihrer Mischung schließlich den Benzolgehalt der Kraftstoffe. In der Bundesrepublik Deutschland liegt der Benzolgehalt von Vergaserkraftstoffen derzeit bei 1,7

bis 2,5 Vol.%. Hierfür sind vor allem leichte und schwere katalytische Reformate verantwortlich. Die bei der Destillation anfallenden Benzine (straight run Benzin/Naphtha) haben niedrige Oktanzahlen und würden daher zu schlechten Kraftstoffqualitäten führen. Mittels eines Umwandlungsverfahrens, dem katalytischen Reformieren, entstehen aus Benzin/Naphtha die katalytischen Reformate. Beim Reformingprozeß werden Paraffine in iso-Paraffine und Naphthene umgewandelt. Naphthene werden isomerisiert und zu Aromaten dehydriert. Zu den in diesem Prozeß gebildeten Aromaten gehört auch Benzol. Sein Anteil wird sehr wesentlich von der Herkunft des Rohöls bestimmt und liegt zwischen 1 Vol.% und 18 Vol.%. Legt man einen jährlichen Kraftstoffverbrauch von 31 Mio. t (1991) zugrunde, entspricht dies bei 1,7 bis 2,5 Vol.% Benzolanteil einer „Verwendungsmenge“ von Benzol in Kraftstoffen von 527 000 bis 775 000 t/a.

###### Gewinnung von Reinbenzol

Aus den bei der Rohölraffinierung gewonnenen Fraktionen sowie aus Steinkohleteer kann Reinbenzol gezielt isoliert werden. Die Gewinnung von Reinbenzol beläuft sich in der Bundesrepublik Deutschland derzeit jährlich auf eine Menge von 1 656 kt. Die verschiedenen Gewinnungsverfahren sind hieran mit unterschiedlichen Anteilen beteiligt. Über die Hälfte

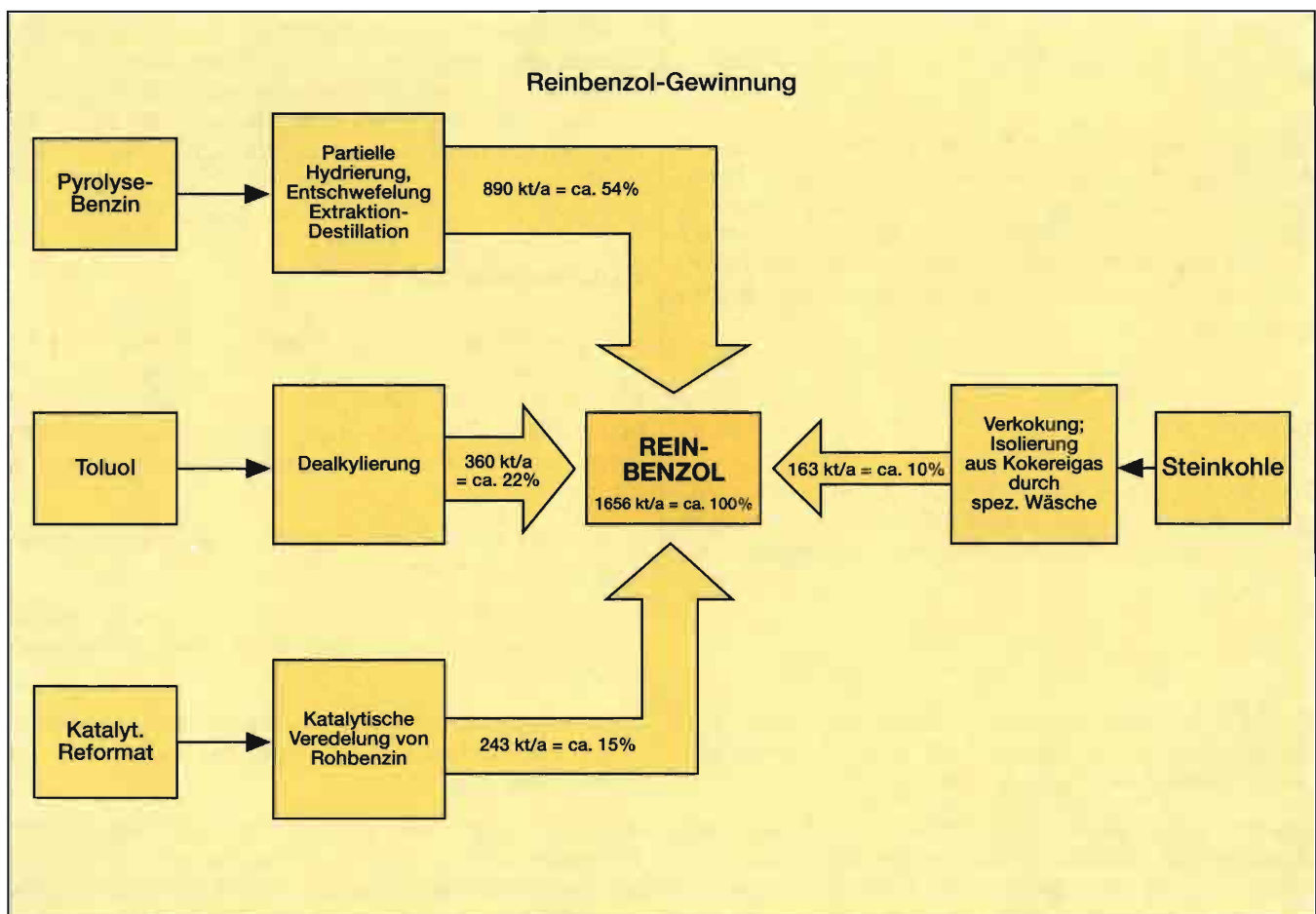


Abbildung 4.3.2.1 Die Gewinnungsverfahren für Reinbenzol und deren prozentuale Anteile an der bundesdeutschen Gesamtproduktion (einschließlich neue Bundesländer, Stand 1991; nach Rosner et al., 1992; Zahlenangaben: Shell AG)

des Benzolbedarfs wird durch die Extraktivdestillation von Pyrolysebenzin gedeckt (s. Abb. 4.3.2.1).

#### *Extraktivdestillation von Pyrolysebenzin (Petrochemie)*

Pyrolysebenzin fällt bei der Gewinnung von Ethylen durch das Steamcracken von Naphtha (Rohbenzin) als Nebenprodukt an. Pyrolysebenzin ist sehr aromatenreich, der Benzolgehalt beträgt 31 bis 40 Vol. %. Durch Extraktivdestillation wird Benzol hieraus in hoher Ausbeute abgetrennt. Der Benzolgehalt des Pyrolysebenzins beträgt nach der Destillation nur noch etwa 0,5 Vol. %. Dieses Verfahren zur Benzolgewinnung ist mengenmäßig das bedeutendste und deckt mit 890 kt/a rund 54 % des jährlichen Bedarfs an Reinbenzol.

#### *Isolierung von Benzol aus katalytischen Reformaten (Raffinerien)*

Die Gewinnung von Benzol aus den ebenfalls aromatenreichen katalytischen Reformaten verläuft in zwei Teilschritten: Abtrennung von Aromaten und Nichtaromaten, Trennung des Aromatengemischs. Die Herstellung von Reinbenzol aus katalytischem Reformat ist immer mit der Gewinnung von Toluol und Xylol verbunden. Aus energetischer Sicht ist diese Art der Benzolgewinnung nur sinnvoll, wenn das Reformat mehr als 15 Vol. % Benzol enthält. Dieses Verfahren trägt mit 243 kt/a zu 15 % an der Bedarfsdeckung von Reinbenzol bei.

#### *Isolierung aus Kokereigas (Kokereien)*

Durch spezielle Wäsche kann Benzol aus dem bei der Verkokung von Steinkohle entstehenden Kokereigas isoliert werden. Dieses Verfahren ist eher von untergeordneter Bedeutung und mit 163 kt/a zu 10 % an der Deckung des Reinbenzolbedarfs beteiligt.

#### *Hydrodealkylierung von Toluol*

Die katalytische Dealkylierung von Toluol unter Wasserstoffzusatz ist ein vergleichsweise kosten- und energieaufwendiges Verfahren und wird nur dann eingesetzt, wenn es der Bedarf an Reinbenzol erfordert. Derzeit deckt es mit 360 kt/a etwa 22 % des Benzolbedarfs.

An dieser Stelle sei bereits auf den Zusammenhang hingewiesen, daß Benzol durch sein natürliches Vorkommen im Rohöl zwangsläufig in bestimmten Raffineringsfraktionen enthalten ist. Es kann diesen entweder als Reinbenzol oder als BTX-Fraktion (Benzol-Toluol-Xylol) entzogen und weiteren Verwendungszwecken zugeführt werden oder als Bestandteil der Benzinkomponenten in den Kraftstoffen verbleiben. Die verfahrensbedingte Neubildung des Benzols beim katalytischen Reformieren kann verringert werden, wenn zuvor aus dem straight run Benzin/Naphtha die

Stoffe abgetrennt werden, die zur Benzolbildung führen.

#### *Verwendung von Reinbenzol*

Die jährliche Verwendungsmenge von 1 656 kt Reinbenzol in der Bundesrepublik Deutschland verteilt sich anteilig auf die Synthese einer Vielzahl von Produkten (s. Abb. 4.3.2.2).

Für die Entwicklung der Gesamtproduktionsmengen von Reinbenzol in Westeuropa wird für den Zeitraum von 1990 bis 2005 mit einer Steigerung von 2,3 % pro Jahr gerechnet. Dies ist vor allem auf Zunahme der Styrolproduktion (3,7 %), der Cumolproduktion (3,6 %) und Nitrobenzolproduktion (keine Zahlenangaben) zurückzuführen. Die Nachfrage von Styrol wird durch das Wachstum der Polystyrolproduktionsmengen ausgelöst. Der zunehmende Bedarf an Cumol ist durch die Ausweitung der Kapazitäten für Bisphenol-A zur Herstellung von Epoxidharzen und Polycarbonaten bedingt. Der stärkste Zuwachs ist für Nitrobenzol zu erwarten. Dies wird auf den Bedarf von Anilin zur Produktion von Polyurethanen zurückgeführt. Für alle anderen Sekundärprodukte des Benzols wird mit einem geringen Produktionswachstum gerechnet. Aufgrund des geschätzten Wachstums der Sekundärprodukte wird angenommen, daß der Verbrauch an Reinbenzol in den nächsten fünf Jahren in Westeuropa um 3,0 % wächst. Zur Entwicklung in der Bundesrepublik Deutschland liegen derzeit keine Zahlen vor (KDRs 12/2a, Ott).

#### *Emissionen*

Benzol wird aufgrund seiner physikalischen Eigenschaften (leicht flüchtige Substanz) vor allem in das Umweltkompartiment Luft emittiert. Sein Eintrag in die Kompartimente Wasser und Boden sind mengenmäßig von untergeordneter Bedeutung, wenngleich Benzol in zahlreichen Altlasten das Grundwasser belastet.

Das Hauptaugenmerk der folgenden Darstellungen richtet sich dementsprechend auf die Benzol-Emissionen in das Umweltkompartiment Luft.

#### *Emissionsquellen*

Als die wesentlichen Emissionsquellen von Benzol sind zu nennen:

- Verkehr (Automobil, motorisierte Zweiräder, Nutzfahrzeuge, sonstiger Verkehr)
- Lagerung, Umschlag, Transport benzolhaltiger Lösungen (Kraftstoffe)
- Industrie, Gewerbe, Haushalte (Rohölverarbeitende Industrien, Kokereien, Chemische Industrie, sonstige Industrie (Gießereien etc.), Feuerungsanlagen (inkl. Haushalte und Kleingewerbe) sowie die Verwendung von Ottokraftstoff als Lösemittel, benzolhaltige Lösemittel (<0,1 Gew. %) und Laborchemikalien, Kraftfahrzeugreparatur).



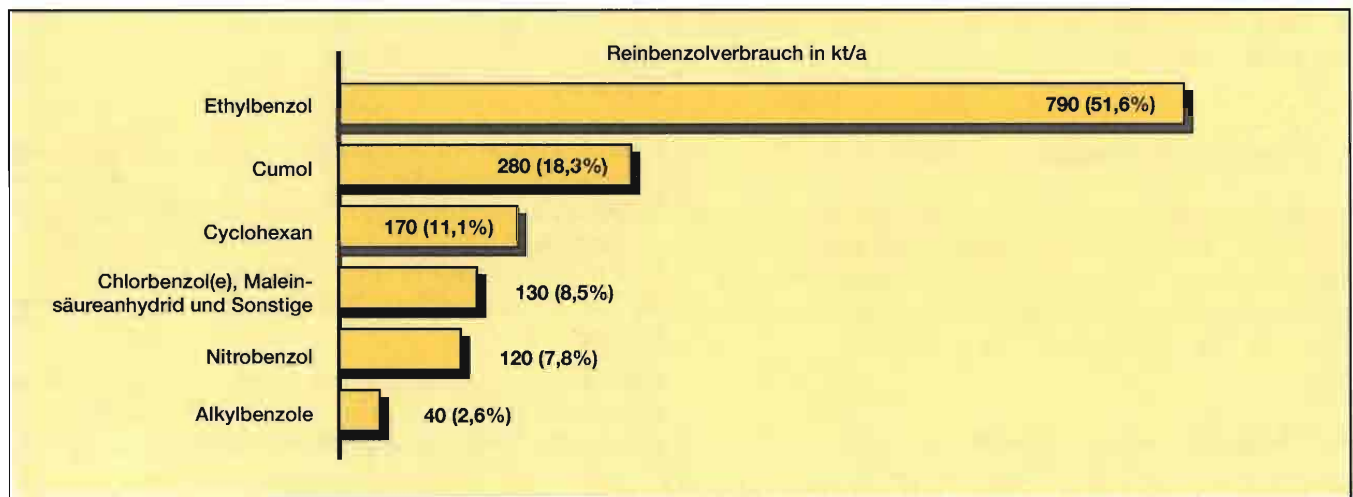
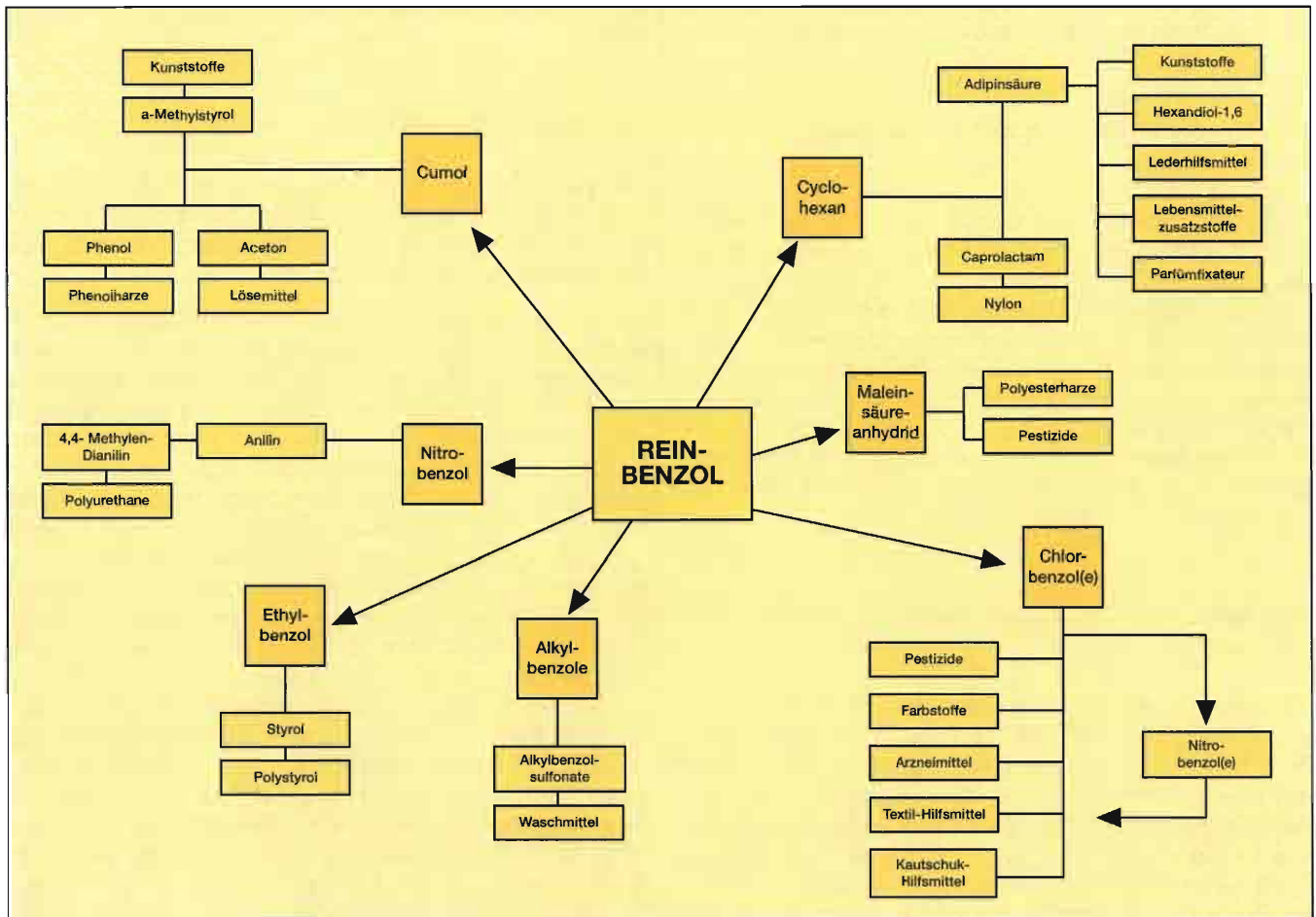


Abbildung 4.3.2.2 Übersicht über die wichtigsten primären und sekundären Folgeprodukte von Benzol und den Reinbenzolverbrauch bei der Verarbeitung zu den industriell bedeutendsten primären Folgeprodukten, Stand 1991 (alte Bundesländer) (Rosner et al., 1992; Zahlenangaben: VCI)

Die mengenmäßig bedeutendste Emissionsquelle ist der Kraftfahrzeugverkehr. Insbesondere mit Ottokraftstoff betriebene Fahrzeuge tragen zum Benzolaußstoß bei (s. Abb. 4.3.2.3).

Nicht unerwähnt bleiben soll an dieser Stelle, daß auch die private Zigarettenfeuerung Benzol-Emissionen verursacht (durchschnittl. Benzolgehalt einer Zigarette: 10 bis 100 µg). Wenn auch die Gesamtemissionsmenge der Raucher-Abgase im Vergleich zu oben genannten Emittenten vergleichsweise gering ist, kann die gezielte Tabakverbrennung zu einer

erheblichen Benzolbelastung einzelner beitragen (s. u. Immissionen).

*Emissionsmengen*

Eine genaue Bezifferung der tatsächlichen aktuellen Emissionsmengen ist nicht möglich, da gerade für die mengenmäßig bedeutendste Emissionsquelle, den Kraftfahrzeugbereich, nicht auf Emissionsmessungen zurückgegriffen werden kann. Auf die Emissionsmengen kann daher derzeit lediglich von

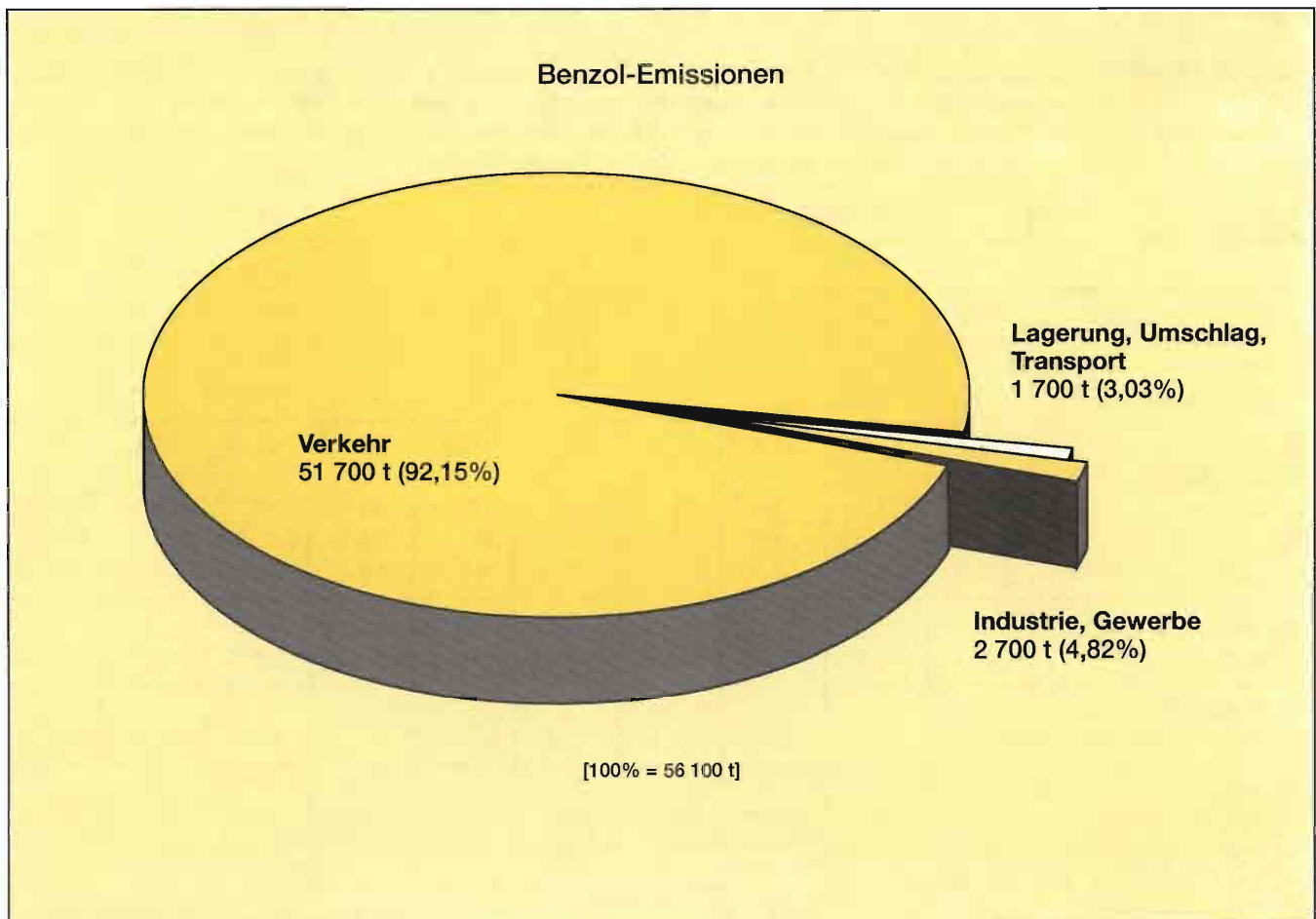


Abbildung 4.3.2.3 Die wesentlichen Benzol-Emissionsquellen und ihr prozentualer Anteil an der Gesamt-Emissionsmenge in der Bundesrepublik Deutschland 1991 (nach Schätzungen des Umweltbundesamtes)

Immissionsmessungen rückgeschlossen werden. Eine genaue Abschätzung der tatsächlichen Emissionsmengen ist mit Schwierigkeiten behaftet. Die verfügbaren Angaben unterscheiden sich teilweise erheblich, da unterschiedliche Basisdaten und Bezugsjahre zugrunde gelegt werden.

Aktualisierte Abschätzungen des Umweltbundesamtes wurden der Enquete-Kommission im Januar diesen Jahres zur Verfügung gestellt. Die Berechnungen enthalten die Emissionsmengenentwicklungen von 1988 bis 2005 (s. Tab. 4.3.2.1). Die Prognosen bis zum Jahr 2005 berücksichtigen — soweit möglich — die bis zu diesem Zeitraum beschlossenen und zu erwartenden Emissionsminderungsmaßnahmen sowie die zu erwartende Verkehrsentwicklung.

Die Gesamtemissionen beliefen sich danach 1991 in der Bundesrepublik Deutschland auf 56 100 t jährlich. Hauptemittent ist hierbei der Automobilverkehr mit 51 700 t/a (~91 %). Die Emissionsmengen aus den Bereichen Industrie und Gewerbe sowie Lagerung, Umschlag und Transport sind vergleichsweise gering und waren in den letzten Jahren durch Abdichtung von Lagerbehältern, Gasrückführung bei Verladung und Tankstellenbelieferung stark rückläufig (20. BImSchV). In der chemischen Industrie konnte die Benzolemission von ca. 450 t (1989) auf 40 t (1991) abgesenkt werden.

Für die Emissionen aus dem Automobilbereich werden ebenfalls Minderungen erwartet. Die Abschät-

zungen der gegenwärtigen und zukünftigen Emissionsmengen unterliegen unterschiedlichen Einflußgrößen:

Einflußgröße Benzol- und Aromatengehalt im Ottokraftstoff

Nach Untersuchungen des TÜV Rheinland fällt die Benzolemission in Ottomotorabgasen (Kraftfahrzeuge ohne Katalysator) linear zu einem sinkenden Benzolgehalt ab. Näherte sich der Benzolgehalt theoretisch gegen 0 Vol. % würden immer noch ca. 60 % der bei 3 Vol. % emittierten Menge freigesetzt. Dies ist auf die sekundäre Bildung von Benzol durch Dealkylierung von im Kraftstoff enthaltenen Aromaten (vor allem Toluol und Xylol) zurückzuführen. Nach Friedrich stammen etwa 50 % der Benzolemissionen im Ottomotorabgas aus dieser de novo-Synthese (Rosner et al., 1992). Die Absenkung des Benzolgehalts von 3 Vol. % (1982) auf 1,7 bis 2,5 Vol. % (1991) dürfte sich aufgrund der sekundären Bildung von Benzol aus den anderen Aromaten als Verringerung der Benzolemissionen um 10 % ausgewirkt haben (Rosner et al., 1992).

Einflußgröße Fahr- und Betriebsweise

Die Benzol-Emissionen hängen ebenfalls von der jeweiligen Fahrweise (z. B. „Bleifuß“), von den Fahrzyklen (Kurzstrecke — Langstrecke) sowie von motorspezifischen Parametern ab. Genaue Anteile dieser Faktoren sind mit dem derzeitigen Kenntnisstand nicht quantifizierbar.

Tabelle 4.3.2.1

**Entwicklung der jährlichen Benzolemissionen in der Bundesrepublik Deutschland von 1988 bis 2005**  
**Mit Ausnahme der Benzolemissionen aus dem Bereich Industrie und Gewerbe**  
**beziehen sich alle Angaben auf die Bundesrepublik Deutschland einschließlich der neuen Länder.**  
**(Schätzungen des Umweltbundesamtes)**

Benzolemission	Absolutwerte (1 000 t)					Index 1988				
	1988	1991	1995	2000	2005	1988	1991	1995	2000	2005
Verkehr gesamt . . . .	58,0	51,7	40,4	24,4	19,9	100 %	89 %	70 %	42 %	34 %
Abgas . . . . .	53,5	47,8	37,4	22,5	18,6	100 %	89 %	70 %	42 %	35 %
Verdunstung . . . . .	4,5	3,9	3,0	2,0	1,3	100 %	86 %	67 %	44 %	29 %
Pkw . . . . .	49,4	43,4	32,4	16,9	12,7	100 %	88 %	66 %	34 %	26 %
motorisierte Zweiräder . . . . .	2,9	2,7	2,5	2,2	2,0	100 %	95 %	87 %	77 %	69 %
Nutzfahrzeuge . . . . .	2,8	2,8	2,9	3,0	3,0	100 %	103 %	106 %	110 %	109 %
sonstiger Verkehr . .	2,9	2,9	2,8	2,8	2,7	100 %	98 %	96 %	94 %	92 %
Lagerung, Umschlag, Transport . . . . .	1,5	1,7	0,4	0,4	0,4	100 %	109 %	27 %	24 %	23 %
Industrie, Gewerbe (alte Bundesländer) .	3,0	2,7	2,1	2,1	2,1	100 %	90 %	70 %	70 %	70 %
Summe erfaßte Emission . . .	62,5	56,1	42,9	26,9	22,3	100 %	90 %	69 %	43 %	36 %

#### Einflußgröße Katalysator

Der Wirkungsgrad des Katalysators wird unterschiedlich eingeschätzt (UBA: 75 %, MWV: 75 %, VDA: >90 %). Der Nutzeffekt des Katalysators zur Minderung der Benzolemissionen ist allgemein unbestritten. Mit zunehmender Katalysator-Ausrüstung der Kraftfahrzeuge mit Ottomotor wird deshalb eine deutliche Reduzierung der Benzolemissionen erwartet. Der derzeitige Anteil mit Katalysator ausgerüsteter Kraftfahrzeuge beträgt etwa 40 % aller Kraftfahrzeuge mit Ottomotor. Ab 1990 waren etwa 95 % bis 98 % aller Neuzulassungen und ab 1993 alle Neuzulassungen mit Katalysator ausgestattet. Letzteres ist auf die Abgasgrenzwerte der EG-Richtlinie 91/441 zurückzuführen. Die jährliche Austauschrate von Kraftfahrzeugen ohne Katalysator durch katalysatorführende Kraftfahrzeuge wird mit 5 % bis 10 % beziffert. Bei dem heutigen Stand der Katalysator-Technik muß jedoch unter bestimmten Bedingungen davon ausgegangen werden, daß dessen optimale Wirksamkeit oft nicht erreicht wird. Dies gilt insbesondere für die Kaltstartphasen, Vollastanreicherung und Katalysatoralterung.

#### Einflußgröße Verkehrsentwicklung/ Kraftstoffverbrauch

Die Entwicklung der Emissionen hängt wesentlich von der Entwicklung des Verkehrsaufkommens ab. Von 1982 bis 1991 ist die Fahrleistung um 126,7 Mrd. km gestiegen. Dementsprechend stieg im gleichen Zeitraum der absolute Verbrauch an Ottokraftstoff um 39 % (Rosner et al., 1992).

Die Emissionsminderung durch zunehmenden Katalysatoreinsatz und Absenkung des Benzolgehalts auf 1 Vol. % würde durch die zu erwartende Zunahme der Fahrleistungen teilweise kompensiert.

#### Immissionen

Die genaue Abschätzung der tatsächlichen Immissionswerte von Benzol ist, wie die Abschätzung der tatsächlichen Emissionswerte, mit Unsicherheiten behaftet. Die Ergebnisse hängen in starkem Maße davon ab, ob es sich um punktuelle oder flächenbezogene Messungen handelt, und in welcher Höhe die Meßsonden aufgestellt sind. Verkehrsnahe Meßpunkte unterscheiden sich von weniger verkehrsnahen Meßpunkten dadurch, daß Stichproben mit Spitzenwerten häufiger vorkommen. Flächenmittelwerte nivellieren lokale Spitzen durch zeitliche und räumliche Mittelung (Rosner et al., 1992). Die Abschätzungen der Immissionswerte für Innenraumluft wurden teilweise ohne gleichzeitige Vergleichsmessungen der Außenluft durchgeführt.

In seiner Stellungnahme zur öffentlichen Anhörung geht das Umweltbundesamt für 1992 von folgenden durchschnittlichen Benzolimmissionen aus (KDRs 12/2 c, UBA):

#### Außenluft

Ländliche Gebiete	<1 µg/m <sup>3</sup>
Hauptverkehrsstraßen	20—30 µg/m <sup>3</sup>
Kokereien	7—15 µg/m <sup>3</sup>

Diese Werte werden durch die Jahresmittelwerte der in einzelnen Bundesländern durchgeführten Immissionsmessungen im wesentlichen bestätigt.

Das Institut für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes hat 1985/86 folgende Benzolkonzentrationen der Innenraumluft ermittelt:

#### Innenraumluft

Bereich	> 1,0—90 µg/m <sup>3</sup>
arithm. Mittel	9 µg/m <sup>3</sup>
Median	8 µg/m <sup>3</sup>
Nichtraucherhaushalte	6,5 µg/m <sup>3</sup>
Raucherhaushalte	11 µg/m <sup>3</sup>

Als Benzolquellen werden hier vor allem Tabakrauch, Ausstattungsmaterialien, Heizungen und externe Quelle, insbesondere Kfz-Verkehr angenommen.

#### Automobil-Innenräume

Erhebliche Benzolbelastungen können im Innenraum von Pkw auftreten. Hier wurden Konzentrationen zwischen 50 und 200 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Bei Extremsituationen (Parken in der Sonne, geschlossene Fenster wurden sogar Spitzenwerte von bis zu 2 700 µg/m<sup>3</sup> registriert (KDRs 12/2b, Mücke).

#### Tankstellen, Tankvorgang

In einem Abstand von 10—20 m zur Emissionsquelle wurden Benzolkonzentrationen im Mittel von 10 bis 26 µg/m<sup>3</sup> gemessen. Wesentlich höhere Werte ergaben Messungen mit Hilfe personenbezogener Luftsammler beim Tankvorgang. Sie lagen bei Kurzzeitmessungen (30 s) zwischen 2 940 und 27 170 µg/m<sup>3</sup> (Rosner et al., 1992).

Dieser extremen Benzolexposition begegnet die am 1. Januar 1993 in Kraft getretene Verordnung zur

Errichtung von Gaspendelsystemen und Installation von Saugrüsseln an den Zapfsäulen (Übergangsfrist für bestehende Tankstellen: drei bis fünf Jahre).

#### Benzolimmissionen am Arbeitsplatz

Nach Angaben der Bundesanstalt für Arbeitsschutz sind besonders solche Arbeitsplätze mit Benzolimmissionen verbunden, die mit der Herstellung von Benzol, Bildung von Benzol als Nebenprodukt und der Verwendung von Reinbenzol und benzolhaltigen Lösungen — sprich: mit Ottokraftstoff — verbunden sind (KDRs 12/2a, BAU).

Die Emissionsminderungsmaßnahmen, die in den letzten Jahren zu einer deutlichen Abnahme von Benzolemissionen im industriellen Bereich sowie bei Lagerung, Umschlag und Transport von Kraftstoffen führten, haben auch eine Minderung der Benzolexposition der Arbeitnehmer in diesen Bereichen bewirkt. Die Handhabung von Benzol bzw. Kraftstoffen erfolgt hier weitgehend in geschlossenen Systemen.

Mit hohen Benzolbelastungen sind heute vor allem solche Arbeitsplätze verbunden, an denen Benzol nicht in geschlossenen Systemen verwendet wird (s. Tab. 4.3.2.2). Dies ist in erster Linie der Kfz-Bereich. Betroffen sind vor allem Arbeitnehmer an Tankstellen, in Kfz-Reparaturwerkstätten und in der Kfz-Industrie bei Arbeiten an Teilen, die Ottokraftstoffe führen, insbesondere Vergaser, und an Prüfständen. Hierbei muß über die inhalative Aufnahme (Aufnahme über die Atemwege) von Benzol hinaus mit einer transdermalen Benzolbelastung (Aufnahme über die Haut) überall dort gerechnet werden, wo ein direkter Hautkontakt mit benzolhaltigen Lösungen erfolgt.

Die folgende Aufstellung gibt die Anzahl der Betriebe und der beschäftigten Personen wieder, die mit Benzol in offener Anwendung in Berührung kommen (KDRs 12/2a, BAU):

Tabelle 4.3.2.2

**Benzolexposition am Arbeitsplatz; Stand 1988, nach einer Erhebung der Maschinenbau- und Kleisenindustrie-Berufsgenossenschaft zum Umgang mit krebserzeugenden Gefahrstoffen (KDRs 12/2a, BAU)**

Art der Tätigkeit	Anzahl der Mitgliedsbetriebe, in denen mit dem krebserzeugenden Gefahrstoff umgegangen wird	Anzahl der Versicherten in den Betrieben	Anzahl der Personen, die mit dem krebserzeugenden Gefahrstoff umgehen	
			ständig	gelegentlich
ohne zusätzliche Angaben	24	25 747	35	155
Betanken von Kraftfahrzeugen	481	115 064	185	1 295
Vergasereinstellungen und Reparaturen am Kraftstofftank	3 897	119 936	800	18 094

Aktuelle Angaben über die Benzolmissionsmengen können derzeit nach Aussage der Bundesanstalt für Arbeitsschutz nicht gemacht werden. Älteren Erhebungen zufolge kann die Benzolkonzentration an betreffenden Arbeitsplätzen bis zu  $2\,800\ \mu\text{g}/\text{m}^3$  betragen (Rosner et al., 1992).

#### 4.3.2.3.2 Ökologische und gesundheitliche Relevanz

##### Ökologische Relevanz

##### *Vorkommen und Verhalten von Benzol in der Umwelt*

Benzol wird sowohl ein geringes Bioakkumulationsverhalten als auch ein schwaches Geoakkumulationspotential zugeschrieben. Die Benzolkonzentrationen in Böden sind im allgemeinen gering (bis zu  $0,06\ \mu\text{g}/\text{kg}$ ; BUA, 1988). In der Nähe von Produktionsanlagen wurden Kontaminationen von 2 bis  $191\ \mu\text{g}/\text{kg}$  gemessen (Stand 1982) (Rippen, 1991). Im Sickerwasser von Mülldeponien konnten örtliche Konzentrationen bis zu  $570\ \mu\text{g}/\text{l}$  (Hausmülldeponien, Stand 1988) (Rippen, 1991) und bis zu  $1\,180\ \mu\text{g}/\text{l}$  (Sondermülldeponien, Stand 1988) (Rippen, 1991) nachgewiesen werden. Die Benzolkonzentrationen in Oberflächen-gewässern wurden hauptsächlich Mitte der 80er Jahre in Rhein, Main, Donau sowie im Kochel- und Bodensee bestimmt. Die Meßergebnisse lagen überwiegend im Bereich von 5 bis  $50\ \text{ng}/\text{l}$  (Rosner et al., 1992).

Als vorrangiges Zielkompartiment ist eindeutig die Atmosphäre anzusehen. Eine Hydrolyse von Benzol unter Umweltbedingungen ist aufgrund der chemischen Struktur des Stoffes nicht zu erwarten. Experimentell ermittelte Angaben hierzu liegen nicht vor. In der Atmosphäre wird Benzol hauptsächlich durch indirekte Phototransformation abgebaut (BUA, 1988). Benzol reagiert mit einer Vielzahl von photochemisch gebildeten Stoffen. Die wichtigste dieser Reaktionen ist die Umsetzung mit OH-Radikalen. Die Konzentration dieser Radikale in der Troposphäre beeinflusst die Halbwertszeit von Benzol entscheidend. Bei einer mittleren globalen OH-Radikal-Konzentration von  $6 (\pm 2) \times 10^5\ \text{cm}^{-3}$  (BUA, 1992) läßt sich für Benzol eine Halbwertszeit in der Troposphäre von ca. 10 Tagen berechnen. Als Geschwindigkeitskonstante für die Reaktion des Benzols mit troposphärischen OH-Radikalen werden von den meisten Autoren  $0,8$  bis  $1,4 \times 10^{-12}\ \text{cm}^3$  (Molekül  $\times$  s) angegeben (BUA, 1988). Benzol wird nach TA-Luft als „nicht leicht abbaubar“ eingestuft. Es liegen Hinweise vor, daß Benzol in der Anwesenheit von Stickstoffoxiden ( $\text{NO}_x$ ) in der Gasphase photochemisch zu Nitrophenolen umgesetzt wird. Diese Umsetzung wird als Hauptquelle für die in der Atmosphäre und in Niederschlägen nachweisbaren Nitrophenole diskutiert und als prädisponierender Faktor mit neuartigen Waldschäden in Zusammenhang gebracht (Rosner et al., 1992). Eine Bestätigung der bislang auf Laborexperimenten beruhenden Hypothesen steht derzeit noch aus.

##### Gesundheitliche Relevanz

##### *Wirkung*

Benzol hat zentraldepressorische Wirkung (Dämpfung des Zentralen Nervensystems), es wirkt hämatotoxisch (Störung des blutbildenden Systems), genotoxisch (erbgutschädigend) und kanzerogen (krebs-erzeugend). In flüssiger Form ist Benzol haut- und schleimhautreizend.

Benzoldämpfe werden über die Atemwege, das Verdauungssystem und über die Haut aufgenommen. Aufgrund seiner lipophilen Eigenschaften (lipophil = fettlöslich, wörtlich übersetzt: fettliebend) kann es die aus ebenfalls lipophilen Schichten aufgebauten Zellmembranen ungehindert passieren und so in jede Zelle des Organismus gelangen. Dort wird es an Lipoproteine (Eiweißstoffe mit fetthaltigem Anteil) gebunden und in toxische Metabolite (Stoffwechselprodukte) umgewandelt. Die wichtigsten Zielorgane im menschlichen Organismus sind das lipophile Nervengewebe und das Knochenmark.

Einwirkungen hoher, akut toxischer Luftkonzentrationen von Benzol haben eine Dämpfung des Zentralnervensystems zur Folge. Diese als pränarkotisch oder narkotisch bezeichnete Wirkung geht einher mit Symptomen wie Kopfschmerzen und Benommenheit, Sehstörungen, Krämpfen, Herzflimmern bis hin zur Bewußtlosigkeit und Lähmung des Atemzentrums.

Neben diesen akuten Vergiftungen bei hohen Benzolkonzentrationen löst Benzol auch bei geringerer Aufnahmemenge vor allem bei Langzeitexposition erhebliche Gesundheitsschädigungen aus. Wichtigstes Zielorgan des in den Organismus aufgenommenen Benzols ist das Knochenmark. Die erwiesene hämatotoxische und kanzerogene Wirkung des Benzols wird auf die im Körper gebildeten Metaboliten des Benzols zurückgeführt. Der genaue Wirkmechanismus ist zur Zeit noch nicht aufgeklärt. Das bei benzolexponierten Personen gehäufte Auftreten von Leukämie wird jedoch in direkten Zusammenhang mit der durch Benzol induzierten Knochenmarkschädigung gestellt.

Darüber hinaus wird Benzol eine genotoxische Wirkung zugeschrieben. Benzolmetabolite binden an die Erbsubstanz DNA und führen zu Chromosomenbrüchen. Epidemiologischen Studien zufolge besteht der Verdacht, daß bei benzolbelasteten Personen Risiken für die Nachkommen nicht ausgeschlossen werden können. Diese Studienergebnisse sind umstritten, da Benzol nicht explizit als allein verursachende Substanz der oben beschriebenen Risiken nachgewiesen werden konnte.

##### Risikoabschätzung

Benzol ist ein Stoff, für den keine Konzentration angenommen werden kann, unterhalb derer keine Gesundheitsrisiken bestehen. Eine unterschiedliche Umgebungsbelastung mit Benzol hat lediglich ein unterschiedlich hohes Risiko einer Erkrankung zur Folge. Bei einer Abschätzung des Krebsrisikos wird



vorausgesetzt, daß Benzol im Bereich kleiner Konzentrationen das gleiche Wirkungsspektrum aufweist wie im Bereich hoher Dosen. Allerdings muß man sich darüber im Klaren sein, daß eine Extrapolation einer epidemiologisch ermittelten Dosis-Häufigkeits-Beziehung von hohen Belastungen zu vergleichsweise niedrigen Konzentrationen über mehrere Größenordnungen hinweg auch starke Fehler beinhalten wird.

Ausgehend von der Verwendung von Benzol sind vier Gruppen benzolbelasteter Personen zu unterscheiden:

1. Arbeitnehmer, die gegenüber Benzol beruflich exponiert sind; diese Arbeitsplätze befinden sich im Bereich der Benzolherstellung (Kokereien und Raffinerien), des Transports von Kraftstoff und Benzol (Tankschiffe, Tankfahrzeuge, Umschlagplätze) und der chemischen Industrie sowie der Kraftfahrzeugwartung (Reparaturwerkstätten,

Tankstellen). Für diesen Bereich gelten technische Richtkonzentrationen für Benzol, bei deren Einhaltung noch hohe Risiken einer Krebserkrankung bestehen;

2. Verkehrsteilnehmer, die im Kraftfahrzeuginnern erhöhten Benzolkonzentrationen ausgesetzt sind; auch hier sind zum Teil noch erhöhte Krebsrisiken zu konstatieren, die jedoch das Summationsrisiko aller straßenverkehrsbedingten Risiken (z. B. tödliche Unfälle) nicht mehr wesentlich erhöhen;
3. Anwohner verkehrsreicher Straßen, hier insbesondere Risikogruppen wie Kinder und alte Menschen (kein selbstgewähltes Risiko, keine Vorteile durch Übernahme des Risikos);
4. Aktiv- und Passivraucher.

Einige hochgerechnete Risikodaten für die genannten Gruppen sind in der folgenden Tabelle enthalten:

Tabelle 4.3.2.3

**Risiken von Leukämiefällen aufgrund von Benzolexposition; auf der Basis eines Unit-risk-Wertes von  $9 \times 10^{-6}$  hochgerechnete Risikodaten (Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“, 1993)**

Bereich	angenommener Wert	rechnerische Krebsinzidenz
Arbeitsplatz Tankstelle (8h/d über 20 Jahre) .....	8 000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TRK)	1 : 150
Arbeitsplatz Chemieindustrie (8h/d über 20 Jahre) .....	3 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (TRK)	1 : 300
Innenraum Auto (2h/d) .....	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 : 300 000
Anwohner befahrener Straße (24h/d) .....	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 : 6 000
ländlicher Raum (24h/d) .....	2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1 : 60 000

Der zugrundegelegte Unit-Risk-Wert von  $9 \times 10^{-6}$  bedeutet, daß bei einer lebenslangen Exposition (70 Jahre) gegenüber einer Konzentration  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , das Risiko besteht, daß von einer Mio. Personen neun Personen an Krebs erkranken (LAI, 1992).

#### 4.3.2.3.3 Ökonomische Relevanz

Benzol kann neben Ethylen als einer der beiden wichtigsten Grundstoffe der chemischen Industrie als Säule eines Produktionsbereiches von großer volkswirtschaftlicher Bedeutung bezeichnet werden. Quantifiziert werden kann diese ökonomische Bedeutung an dieser Stelle nicht, zumal dies nicht Gegenstand der Stoffstrombetrachtung war.

Im Mittelpunkt der Stoffstromanalyse stand der Bereich der Benzolemissionen und die Möglichkeiten ihrer Minderung. Daher soll hinsichtlich der ökonomischen Bedeutung lediglich auf eine der diskutierten Minderungsmaßnahmen eingegangen werden: Nach Angaben des Mineralölwirtschaftsverbandes wäre

eine Absenkung des Benzolgehaltes von derzeit 1,7 bis 2,5 Vol. % auf 1 Vol. % durch Extraktion mit Mehrkosten von 130 Mio. DM pro Raffinerie verbunden. Dies würde eine Anhebung des Preises von Ottokraftstoff um 0,02 bis 0,03 DM pro Liter zur Folge haben. Unabhängig von solchen Mehrkosten sei zu erwarten, daß die erforderlichen Umrüstungsmaßnahmen in den Raffinerien mehrere Jahre in Anspruch nähmen (KDRs 12/2 a, Alfke).

#### 4.3.2.3.4 Soziale Relevanz

Risikowahrnehmung und Risikoakzeptanz in der Öffentlichkeit

Das Wissen der Bevölkerung über die Benzolbelastung durch Emissionen des Autoverkehrs und beim Betanken des Pkw wird als gering eingestuft. Dies wird in erster Linie auf eine mangelnde Information der Bevölkerung über die speziell mit Benzol verbun-

denen gesundheitlichen Risiken zurückgeführt. Zwar schätzen nach Umfrageergebnissen ca. 75 % der Bevölkerung die Autoabgase allgemein als das größte Gesundheitsrisiko ein, ca. 48 % der Befragten nennen in diesem Zusammenhang auch die Kraftstoffdämpfe beim Tanken, der Einzelstoff Benzol ist jedoch nicht explizit thematisiert (KDRs 12/2a, Wiedemann).

Auf die Gesundheitsgefährdung durch Benzol beim Einatmen der Kraftstoffdämpfe während des Betankens des Pkw wird durch Totenkopf-Aufkleber und erläuternde Hinweise an den Zapfsäulen der Tankstellen aufmerksam gemacht. Der gesetzlich vorgeschriebenen Kennzeichnungspflicht, der das in den Verkehr bringen von Benzol oder benzolhaltigen Lösungen unterliegt, wird hiermit Genüge getan. Weitergehende Aufklärung erfolgt derzeit nicht. Eine Auswertung der Berichterstattung der öffentlichen Medien zeigt, daß das Gefährdungspotential von Benzol im Zusammenhang mit dem Tankvorgang wenig, als Bestandteil von Autoabgasen in noch geringerem Maße thematisiert worden ist (KDRs 12/2a, Ruhrmann).

Da die Wahrnehmung des Risikos in der Bevölkerung als gering eingeschätzt wird, können über seine Akzeptanz nur sehr allgemeine Aussagen gemacht werden. Ginge man von der Hypothese aus, die Allgemeinbevölkerung sei ausreichend informiert, müßten in eine Einschätzung der Risikoakzeptanz folgende Aspekte einbezogen werden:

Bekanntermaßen unterliegt die Akzeptanz von Gefahren, die in irgendeiner Weise mit der Nutzung des Pkw verbunden sind, anderen Kriterien als beispielsweise die Akzeptanz von Dioxinrisiken, die im Zusammenhang mit Müllverbrennungsanlagen öffentlich diskutiert werden.

Wichtiges Kriterium ist der persönliche Nutzen. Mit einer Müllverbrennungsanlage wird kein direkter persönlicher Nutzen verbunden; die Gefahren werden dementsprechend stärker wahrgenommen und gewichtet. Der individuellen Mobilität hingegen wird ein so hoher Stellenwert eingeräumt, daß die damit verbundenen Risiken in den Hintergrund treten. Gesundheitsgefährdungen durch das Einatmen der Kraftstoffdämpfe oder benzolhaltiger Autoabgase werden in Abwägung mit dem persönlichen Nutzen in Kauf genommen.

Ein weiterer Aspekt ist die Frage nach dem Verursacher. Es ist anzunehmen, daß die Tatsache, als Autofahrer selbst Verursacher der Emissionen zu sein, die Bereitschaft vergrößert, das Risiko der Belastung zu akzeptieren. „Fremdverursachte“ Emissionen, wie im obenangeführten Beispiel der Müllverbrennungsanlagen, werden anders bewertet als „selbstverursachte“.

Valide Daten, die die o. g. Aussagen speziell Benzol betreffend verifizieren oder falsifizieren könnten, gibt es bislang nicht. Differenzierte Risikowahrnehmungsstudien zu Benzol, die ein Bild davon zeichnen, welche Merkmale für die vorhandene Risikowahrnehmung sowie die Beurteilung und Bewertung dieser Risiken verantwortlich sind, gibt es bislang weder für die Bundesrepublik Deutschland noch für andere

europäische Länder oder die USA (KDRs 12/2a, Wiedemann).

#### Risikowahrnehmung und Risikoakzeptanz am Arbeitsplatz

Art und Umfang der Information von Beschäftigten über benzolbedingte Risiken ist in der Gefahrstoffverordnung (GefStoffV) sowie im § 11a der Störfallverordnung (StfV) geregelt. Neben der obengenannten Kennzeichnungspflicht müssen die Arbeitnehmer anhand von Betriebsanweisungen und durch mündliche Unterweisungen über die an ihrem Arbeitsplatz auftretenden Gesundheitsgefahren und die erforderlichen Schutzmaßnahmen einmal im Jahr unterrichtet werden.

Es ist nach Aussagen der Bundesanstalt für Arbeitsschutz anzunehmen, daß eine umfassende Unterweisung und eine Kontrolle des Einhaltens dieser Vorschriften in der Regel nicht stattfindet. Der Vollzug der Vorschriften weist in der Praxis erhebliche Mängel auf. Nach neueren Untersuchungen der Gewerbeaufsicht war in ca. 40 % der untersuchten Betriebe eine Betriebsanweisung nicht verfügbar, 80 % der vorhandenen Betriebsanweisungen entsprachen nicht den Maßgaben der GefStoffV (KDRs 12/2a, BAU).

In Anbetracht der Tatsache, daß die vorgeschriebene Schutzkleidung bei der Mehrzahl der Arbeitnehmer wenig Akzeptanz findet (KDRs 12/2a, BAU), stellt sich wie oben die Frage nach der Risikowahrnehmung, -akzeptanz und -bewertung.

Nach Ansicht der Kommunikationswissenschaftler ist eine detaillierte Aufklärung der Arbeitnehmer die Grundlage der Prävention überhaupt. Ein verantwortungsvoller Umgang kann nicht durch technische Vorgaben und Normen allein erreicht werden. Wenn Menschen über ihre Risiken in ehrlicher Weise informiert werden, wenn ihnen Gelegenheit zur Partizipation gegeben wird, d. h., wenn sie an der Risikoeinschätzung und -kontrolle aktiv beteiligt sind, wird die eigene Handlungsweise verändert. Besser informierte Arbeitnehmer verbessern auch ihr eigenes Arbeitsverhalten. Die genaue Kenntnis vorhandener Risiken führt zu einem bewußten Umgang mit gesundheitsgefährdenden Stoffen und ist Voraussetzung für die Akzeptanz von Sicherheitsvorkehrungen.

#### Risikoakzeptanz bei der Festlegung von Grenzwerten

Benzol kann aufgrund seiner Kanzerogenität keine maximale Arbeitsplatzkonzentration (MAK-Wert) zugewiesen werden. Gemäß Anhang II Nr. 1 der GefStoffV werden für krebserzeugende oder krebverdächtige Stoffe, für die kein MAK-Wert aufgestellt werden kann, sogenannte technische Richtkonzentrationen (TRK-Wert) ausgewiesen. In der Neufassung der „Technische Regeln für Gefahrstoffe“ (TRGS 900) hat der Ausschuß für Gefahrstoffe für Benzol folgende TRK-Werte festgelegt:

— Kokereien 2,5 ppm  $\triangleq$  8 mg/m<sup>3</sup>

— Tankfeld in der Mineralölindustrie 2,5 ppm  $\triangleq$  8 mg/m<sup>3</sup>

- Reparatur und Wartung von ottokraftstoff- bzw. benzolführenden Teilen  $2,5 \text{ ppm} \triangleq 8 \text{ mg/m}^3$
- im übrigen  $1 \text{ ppm} \triangleq 3,2 \text{ mg/m}^3$ .

Für die Festlegung der TRK-Werte sind nach TRGS 900 folgende Faktoren maßgebend:

- die Möglichkeit, die Stoffkonzentrationen im Bereich des TRK-Wertes zu bestimmen
- der derzeitige Stand der verfahrens- und lüftungstechnischen Maßnahmen unter Berücksichtigung des in naher Zukunft technisch Erreichbaren
- die Berücksichtigung vorliegender arbeitsmedizinischer Erfahrungen oder toxikologischer Erkenntnisse.

Die sich aus einer Exposition gegenüber den durch die TRK-Werte ausgedrückten Benzolkonzentrationen ergebenden Risikodaten sind in Tabelle 4.3.2.3 dargestellt.

Unabhängig von dem vom Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI) entwickelten Richtwertekonzept, das von einer notwendigen Verringerung des zusätzlichen Risikos durch krebserzeugende Luftschadstoffe ausgeht, wird in der Regel ein zusätzliches Krebsrisiko von  $1 \cdot 10^5$  bzw.  $1 \cdot 10^6$  toleriert. Demnach müßten die Benzolimmissionen auf etwa  $1 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  gesenkt werden. Der LAI kommt in seiner Arbeit auf einen akzeptierten Wert von  $2,5 \text{ } \mu\text{g/m}^3$  auf der Basis eines Gesamtrisikos für kanzerogene Luftschadstoffe von 1:2 500, wobei Benzol einen Anteil von 5,6 % am angenommenen Gesamtrisiko erfaßt.

#### 4.3.2.3.5 Zusammenfassung

Der Stoffstrom des Benzols beginnt mit der Erdölgewinnung bzw. der Verkokung von Steinkohle und endet (a) mit der Verbrennung als Kraftstoffbestandteil oder anderen Feuerungen zu  $\text{CO}_2$  und anderen Verbrennungsprodukten, (b) mit der industriellen Umwandlung in chemische Folgeprodukte und (c) mit der Umwandlung in andere Stoffe durch Metabolisierung in den Umweltkompartimenten bzw. lebenden Organismen.

Die zur quantitativen Charakterisierung des Stoffstroms erforderlichen Daten umfassen:

- den Benzolanteil in Rohöl bzw. dessen Raffinerieprodukten und der Kokereigase (teilweise bekannt)
- die in den Kraftstoffkomponenten enthaltene Benzolmenge (bekannt)
- die aus anderen Aromaten gezielt hergestellten Benzolmengen (nur schätzungsweise bekannt)
- die aus anderen Aromaten durch Verbrennungsvorgänge erzeugten Benzolmengen (nur schätzungsweise bekannt)
- den Verbrauch an Reinbenzol zur Herstellung anderer Produkte (bekannt)

— die Emissionsmengen von Benzol bei der Verbrennung von Kraftstoffen (nur schätzungsweise bekannt, nicht unumstritten)

— die Emissionsmengen des Verbrennungsproduktes Kohlendioxid (kann berechnet werden) und anderen Verbrennungsprodukten (unbekannt)

— die Emissionsmengen von Benzol aus den verschiedenen Anwendungen und diffusen Quellen, unregelmäßigen Emissionen etwa durch Lager- und Transportunfälle, die solche aus dem „normalen“ Umgang übersteigen (nur teilweise bekannt)

— die Umwandlung des Benzols in andere Stoffe durch Metabolisierung in den Umweltkompartimenten bzw. lebenden Organismen (allenfalls nur grob bekannt).

Eine Analyse des Stoffstroms von Benzol über die Umwandlung in andere Stoffe hinaus wird in diesem Zusammenhang nicht angestrebt. Dies bezieht sich vor allem auf die Umwandlung in chemische Folgeprodukte. Hier entstehen neue Stoffströme, die wiederum mit spezifischen Verteilungs- und Verbrauchsmustern sowie Emissionen zu charakterisieren sind. Benzol spielt für diese Stoffströme auf der Inputseite eine Rolle. Dies könnte bei einer Bilanzierung dieser Stoffströme in Form eines „Bausteins“ berücksichtigt werden.

Aus der dargestellten Charakterisierung des Stoffstroms läßt sich ein stark vereinfachtes Stoffstromdiagramm erstellen.

Zunächst scheint es nicht erforderlich, die Ökosphäre noch weiter zu unterteilen. Die Technosphäre läßt sich anhand der vorhandenen Daten in weitere Anwendungsfelder einteilen. Für die Exposition des Menschen ist die Emission aus jedem Anwendungsfeld von Bedeutung.

Benzol ist durch sein natürliches Vorkommen im Rohöl zwangsläufig in bestimmten Raffineriefractionen enthalten, bzw. wird bei den heutigen Raffinerieverfahren gebildet. Der Bedarf an Kraftstoffen und der Bedarf an Naphtha zur Herstellung von Ethylen sind die Antriebskräfte für die Nutzung der Raffineriefractionen, in denen Benzol zwangsläufig anfällt. Benzol kann diesen Fractionen entweder als Reinbenzol oder als BTX-Fraction (Benzol-Toluol-Xylol) entzogen und weiteren Verwendungszwecken zugeführt werden oder als Bestandteil der Komponenten in den Kraftstoffen verbleiben.

Eine Verringerung des Benzolgehaltes im Ottokraftstoff von derzeit 1,7 bis 2,5 Vol. % auf 1 Vol. % durch Extraktion würde zu einer zusätzlich anfallenden Reinbenzolmenge von etwa 350 000 t/a führen. Damit könnte das aufwendige Verfahren der Benzolherstellung aus Toluol in dieser Größenordnung substituiert werden. Nach Angaben der chemischen Industrie könnte darüber hinaus zusätzlich anfallendes Reinbenzol bei den derzeitigen Produktionsstrukturen von der petrochemischen Industrie nicht abgenommen werden.

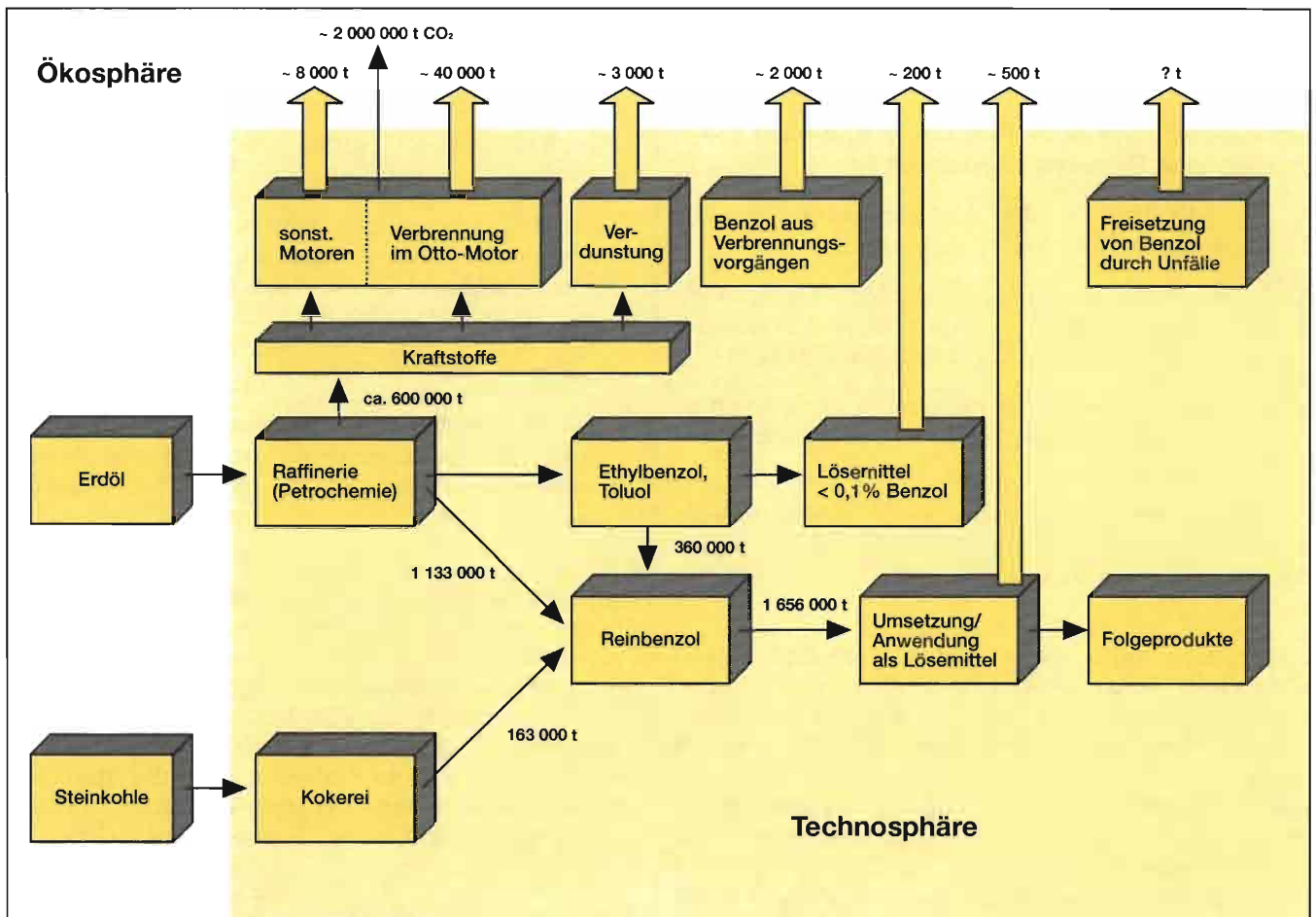


Abbildung 4.3.2.4 Stoffstrom des Benzols in der Bundesrepublik Deutschland; vereinfachte Darstellung von Herkunft, Verwendung und Verbleib des Benzols in der Öko- und Technosphäre (Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“, 1993; Zahlenangaben: VCI)

Die verfahrensbedingte Neubildung des Benzols beim katalytischen Reformieren kann verringert werden, wenn zuvor aus dem straight run Benzin/Naphtha die Stoffe abgetrennt werden, die zur Benzolbildung führen. Verfahrenstechnisch kann dies eine Maßnahme zur Reduzierung des Benzolgehalts im Vergaserkraftstoff darstellen. Auch die Hydrierung von benzolhaltigen Komponenten kann zur Benzol- und Aromatenabsenkung in der Raffinerie genutzt werden. Diese Maßnahmen würden nicht zu einer Erhöhung des Benzolangebotes führen.

Ein verringerter Bedarf an Kraftstoffen führt zu einer Verringerung zwangsläufig anfallenden Benzols. In welcher Größenordnung der daraus resultierende „Spielraum“ zu einer Wiederherstellung des Gleichgewichts zwischen Benzolanfall und Benzolnutzung beitragen könnte, kann derzeit nicht beziffert werden und bedarf weiterer Untersuchungen.

Eine Veränderung des Bedarfs an Naphtha zur Herstellung von Ethylen ist nicht zu erwarten. Die Benzolextraktion aus dem als Nebenprodukt anfallenden Pyrolysebenzin deckt 54 % des Benzolbedarf der chemischen Industrie. Der Benzolgehalt des Pyrolysebenzins vor Benzolextraktion beträgt 31 bis 40 Vol. %. Eine Quantifizierung dieser Stellgröße für das Gleichgewicht zwischen Benzolanfall und Benzol-

nutzung wurde bislang allerdings nicht vorgenommen.

Für eine Analyse des Stoffstroms etwa im Sinne einer Ökobilanz oder Produktlinienanalyse fehlen bislang Daten zum Energie- und Ressourcenverbrauch bei der Gewinnung bzw. den Umwandlungsreaktionen von Benzol sowie genaue Emissionsdaten in den verschiedenen Bereichen.

Die Stoffstromanalyse eines Stoffes wie Benzol, der in Energieumwandlungsprozessen eine wichtige Rolle spielt, muß entsprechende Daten über den Energieverbrauch bei seiner Abtrennung aus Rohstoffgemischen sowie eine Energiebilanz seiner stofflichen Reaktionen enthalten. Hinzu kommen ggf. Daten zur Transportenergie.

Quantitative Abschätzung der Emissions- und Immissionsmengen müssen sich soweit annähern, daß die Stoffmenge der Kategorie „unbekannter Verbleib“ minimiert wird.

Die Wahrnehmung, Beurteilung und Bewertung benzolbedingter Gesundheitsrisiken in der Allgemeinbevölkerung und bei benzol exponierten Arbeitnehmern und Arbeitnehmerinnen kann anhand der vorliegenden Daten nicht abschließend eingeschätzt werden. Differenzierte Risikowahrnehmungsstudien zu Benzol liegen nicht vor. Über die Annahme eines akzep-

tablen Krebsrisikos wurde bislang in der Bundesrepublik Deutschland kein Konsens gesucht.

Das Instrumentarium für die Abschätzung gesundheitlicher Auswirkungen bei krebserzeugenden Stoffen und zur Festlegung von Grenzwerten kann als ausgesprochen unsicher bezeichnet werden. Die bestehenden TRK-Werte und die Richtwerte des Länderausschusses für Immissionsschutz können als Beurteilungsmaßstäbe lediglich als eine Orientierungshilfe für die Beurteilung vorgefundener Konzentrationen herangezogen werden. Minimierungsmaßnahmen sind grundsätzlich anzustreben und bei krebserzeugenden Stoffen nach der GefStoffV auch vorgeschrieben.

#### 4.3.2.4 Bewertungsansätze

Bei der Auswahl des Einzelstoffes Benzol für die Untersuchungen der Enquete-Kommission stand in erster Linie die Erstellung einer Stoffstrombilanz und nicht die Erarbeitung von Bewertungskriterien im Vordergrund. Ausgehend von dem Wissen um die Toxizität des Benzols sah die Enquete-Kommission einerseits dringenden Handlungsbedarf hinsichtlich Veränderungen des Umgangs mit diesem Stoff. Daraus leitete sich andererseits die Notwendigkeit einer exemplarischen Stoffstromanalyse ab. Von der Erfassung des Stoffstromes von Benzol wurde ein Erkenntnisgewinn sowohl auf praktischer als auch auf der theoretischen Ebene erwartet: Auf der praktischen Ebene sollten sich direkte Handlungsempfehlungen ableiten lassen. Die Prüfung des Sachstandes (Ist-Zustand) sollte aufzeigen, ob und wenn ja, an welchen Stellen des Stoffstromes Veränderungen möglich sind, um die Belastung des Menschen und der Umwelt durch Benzol weitgehend auszuschließen (Soll-Zustand). Auf der theoretischen Ebene wurden verallgemeinerbare Erkenntnisse für die Erstellung einer Einzelstoffstromanalyse erwartet (s. Kap. 4.3.2.3).

Unter dem Druck des als dringend notwendig angesehenen Handlungsbedarfs wurden von seiten der Enquete-Kommission auf der Grundlage der Stoffstromanalyse Handlungsempfehlungen formuliert (s. Kap. 4.3.2.5). Die den Empfehlungen zugrundeliegende Bewertung und die Bewertungskriterien wurden nicht theoretisiert. Dennoch läßt sich retrospektiv — im Sinne des in Kapitel 5.1 angesprochenen induktiven Vorgehens — der Entscheidungsprozeß rekapitulieren. Es lassen sich Hinweise auf konsensual getragene Bewertungen sowie die Aufstellung und Festlegung einer Rangfolge verschiedener Bewertungskriterien ableiten.

##### 4.3.2.4.1 Formulierung der Zielvorstellung

Bereits im Vorfeld der Untersuchungen wurde insofern eine Bewertung des Benzols vorgenommen, als definitionsgemäß der Wert „Gesundheit des Menschen und Erhalt der Umwelt“ mit dem Bewertungskriterium „Toxizität“ verknüpft wurde. Die Kanzerogenität des Benzols legte die Formulierung der Zielvorstellung „Ausschluß der unerwünschten Belastung

von Mensch und Umwelt durch Benzol“ nahe. Bereits im Vorfeld zeichnete sich jedoch ab, daß sich unter Einbeziehung der Stoffstromanalyse sowie weiterer Bewertungskriterien, wie „ökonomische und soziale Bedeutung“, diese Zielvorstellung nicht aufrechterhalten ließ. Da Benzol als Beispiel für die Bewertung eines kanzerogenen Stoffes diene, soll zunächst dennoch von dieser Zielvorstellung — zumindest theoretisch — ausgegangen werden. Bei der Bewertung kanzerogener Stoffe muß an den Beginn des Bewertungsverfahrens die grundsätzliche Frage nach der Verzichtbarkeit gestellt werden.

##### 4.3.2.4.2 Auswahl der Betrachtungsschwerpunkte der Sachstandsanalyse

Die zunächst notwendige Analyse des Benzol-Stoffstroms wurde unter definierten Betrachtungsschwerpunkten vorgenommen. Die Auswahl der Betrachtungsschwerpunkte zur Erfassung des Sachstandes beinhaltet bereits dahingehend eine Prioritätensetzung, als hier festgelegt wird, welche Sachverhalte als bewertungs- bzw. entscheidungsrelevant angesehen werden:

###### *Stoffmengen und Stoffstrommuster*

- Produktionsmengen
- Verwendung, Gebrauchsmuster
- Substituierbarkeit
- Verbleib in der Technosphäre
- Übertritt in die Ökosysteme

###### *Exposition*

- Zielmedien (Luft, Boden, Wasser)
- Biota
- Akkumulation
- Abbaubarkeit

Die reine Stoffstromanalyse wurde um folgende Betrachtungsschwerpunkte erweitert:

###### *Wirkung*

- Toxizität
- Ökotoxizität

###### *Nutzen*

- ökonomische Bedeutung
- soziale Bedeutung

##### 4.3.2.4.3 Auswahl der Bewertungskriterien

Auf der Grundlage der aus der erarbeiteten Stoffstromanalyse gewonnenen Kenntnisse über den Sachstand fand zunächst eine Fokussierung auf einzelne Bewertungskriterien und deren Differenzierung statt, ohne daß diese in eine Rangfolge eingefügt wurden:

###### *Stoffmengen und Stoffstrommuster*

- Produktionsmengen
- Verwendung, Gebrauchsmuster
- Verbleib in der Technosphäre



- Übertritt in die Ökosysteme
  - Eintrag in die Umwelt (diffus, Punktquelle)
    - Emissionsquellen
    - Emissionsmengen

#### Exposition

- Zielmedien (Luft, Boden, Wasser)
- Mensch
  - Immissionskonzentration

#### Wirkung

- Toxizität
- Ökotoxizität

#### Ökonomische und soziale Bedeutung

- bestandsabhängiger Nutzen
- bedarfsabhängiger Nutzen
  - technischer Bedarf
  - Konsumentenbedarf

Anhand der nun vorliegenden Erkenntnisse fanden vor der Ableitung von Handlungsempfehlungen zwei im Ablauf des Bewertungsverfahrens zentrale Entscheidungsschritte statt. Erstens eine Festlegung der Rangfolge bzw. Gewichtung der Bewertungskriterien und zweitens eine Korrektur der ursprünglich formulierten Zielvorstellung.

Die hierfür ausschlaggebenden Erkenntnisse aus der Stoffstromanalyse seien noch einmal kurz zusammengefaßt:

1. Der Stoffstrom des Benzols beginnt mit der Erdölgewinnung bzw. der Verkokung von Steinkohle und endet (a) mit der Verbrennung als Kraftstoffbestandteil oder anderen Feuerungen zu CO<sub>2</sub> und anderen Verbrennungsprodukten, (b) mit der industriellen Umwandlung in chemische Folgeprodukte und (c) mit der Umwandlung in andere Stoffe durch Metabolisierung in den Umweltkompartimenten bzw. lebenden Organismen.
2. Benzol fällt durch die Nutzung von Ottokraftstoffen und durch die Nutzung von Naphtha zur Ethylenherstellung zwangsläufig an bzw. wird beim katalytischen Reformieren zwangsläufig neu gebildet.
3. Benzol hat zentraldepressorische, hämatotoxische, gentoxische und kanzerogene Wirkungseigenschaften. In flüssiger Form ist Benzol haut- und schleimhautreizend.

Aus den Erkenntnissen der Sachstandsanalyse ergab sich bei der Diskussion, daß die ursprünglich abgeleitete Zielvorstellung „Ausschluß der unerwünschten Belastung von Mensch und Umwelt“ nur erreicht werden könnte, wenn der zwangsläufige Anfall von Benzol, also die Nutzung und Verarbeitung der beschriebenen Mineralölfraktionen komplett eingestellt würden. Die damit verbundenen Konsequenzen seien hier nur beispielhaft und plakativ aufgezeigt: Zusammenbruch der chemischen Industrie, völlige Neuorientierung im Bereich Mobilität mit den sich daraus ergebenden volkswirtschaftlichen Konse-

quenzen, Verzicht auf die Folgeprodukte des Benzol usw. Diese Betrachtungen verdeutlichen, daß neben dem Bewertungskriterium „Toxizität“ das Kriterium „ökonomischer und sozialer Nutzen“ im Bewertungsverfahren an Gewicht gewann und diese beiden Kriterien gegeneinander abgewogen werden mußten. Ergebnis dieses „Abwägungsprozesses“ war, daß die ursprüngliche Zielvorstellung „Ausschluß der Belastung durch Benzol“ nicht aufrechterhalten werden konnte und in Richtung „Minimierung der Belastung durch Benzol“ verschoben werden mußte.

An dieser Stelle wird deutlich, daß zwischen der Formulierung einer Zielvorstellung, der Erfassung des Sachstandes, der Aufstellung von Bewertungskriterien und deren Gewichtung, sowie der daraus resultierenden Bewertung mit den abgeleiteten Handlungsempfehlungen eine ständige Rückkopplung stattfindet.

Die Veränderung der Zielvorstellung machte eine erneute Prüfung der Bewertungskriterien, ihre Differenzierung und Gewichtung erforderlich. Unter der neuen Vorgabe „Minimierung der Belastung durch Benzol“ traten für die Entwicklung von Handlungsempfehlungen die folgenden Kriterien in den Vordergrund (im Sinne der Nachvollziehbarkeit seien an dieser Stelle die Kriterien um die relevanten Erkenntnisse aus der Sachstandsanalyse ergänzt):

#### Wirkung

- Toxizität
  - akute Toxizität
  - Haut-/Schleimhautverträglichkeit
  - Gentoxizität
  - Kanzerogenität
  - Hämatotoxizität
  - Gewässerwirkung (Grundwasserkontamination)

#### Ökonomische und soziale Bedeutung

- bestandsabhängiger Nutzen (Eine Absenkung des Benzolgehalts im Ottokraftstoff unter 1 Vol. % wäre mit einem aufwendigen Umbau der Raffinerungsanlagen verbunden.)
- bedarfsabhängiger Nutzen
  - technischer Bedarf
    - Benzol als zweitwichtigster Grundstoff der chemischen Industrie
    - Benzol als mitbestimmender Faktor für die Oktanzahl des Ottokraftstoffs
  - Konsumentenbedarf
    - indirekt durch Bedarf an Kraftstoffen (kein direkter Bedarf an Benzol, aber an der für seinen zwangsläufigen Anfall mitverantwortliche Nutzung von Kraftstoffen)
    - indirekt durch Bedarf an Folgeprodukten des Benzols

#### Stoffmengen und Stoffstrommuster

- Produktionsmengen (zwangsläufiger Anfall)
- Verwendung, Gebrauchsmuster

- Verbleib in der Technosphäre („geschlossene“ Systeme)
- Übertritt in die Ökosysteme
  - Eintrag in die Umwelt (diffus, Punktquelle)
  - Emissionsquellen (offene Systeme)
  - Emissionsmengen

#### Exposition

- Mensch
  - Immissionskonzentration (am Arbeitsplatz, im Straßenverkehr, an verkehrsreichen Straßen, Zigarettenrauch)
- Zielmedien (Luft, Wasser)

#### Primärenergieverbrauch

- Die Absenkung des Benzolgehalts im Ottokraftstoff unter 1 Vol. % durch Extraktion würde zu zusätzlichem Primärenergieverbrauch bei den Extraktionsverfahren führen, ohne daß die Emissionen erheblich sinken würden.

Während des Bewertungsverfahrens waren somit sowohl die Formulierung der Zielvorstellung als auch die als entscheidungsrelevant angesehenen Bewertungskriterien einem an der erarbeiteten Sachstandsanalyse orientierten Anpassungsprozeß unterworfen.

#### 4.3.2.4.4 Zusammenfassung

Die sich aus den verschiedenen Phasen des beschriebenen Bewertungsverfahrens ableitenden konsensual getragenen Entscheidungen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Aus dem Wissen um die Toxizität des Benzols wurde Handlungsbedarf hinsichtlich eines zu verändernden Umgangs mit diesem Stoff abgeleitet. Mit der Formulierung der Zielvorstellung wurde bereits im Vorfeld eine Bewertung des Benzols vorgenommen. Aus der Verknüpfung des Wertes „Gesundheit des Menschen und Erhalt der Umwelt“ mit dem Kriterium „Toxizität“ ging die Bewertung hervor, daß die Belastung von Mensch und Umwelt durch Benzol unerwünscht und auszuschließen ist.
2. Bei der Auswahl der Betrachtungsschwerpunkte der Sachstandsanalyse wurden bestimmte bewertungs- und entscheidungsrelevante Sachverhalte als prioritär angesehen.
3. Die aus der Sachstandsanalyse gewonnenen Erkenntnisse ermöglichten die Fokussierung auf einzelne Bewertungskriterien und deren Differenzierung.
4. Die Erkenntnisse der Sachstandsanalyse machten eine Gewichtung der Kriterien „Toxizität“ und „ökonomischer und sozialer Nutzen“ erforderlich.
5. Die aus dieser Gewichtung resultierende Vorgabe, daß ein völliger Ausschluß der Benzolbelastung derzeit nicht als praktikierbar angesehen werden

kann, machte die Korrektur der Zielvorstellung nötig. Wenn die Belastung durch Benzol derzeit nicht gänzlich ausgeschlossen werden kann, so ist ihre Minimierung anzustreben.

6. Die Veränderung der Zielvorstellung erforderte eine erneute Überprüfung, Gewichtung und eine Differenzierung der Bewertungskriterien.

Es sei noch einmal darauf hingewiesen, daß diese retrospektive Beschreibung der Diskussionsschleifen im Verlauf des Bewertungsverfahrens einen Arbeitsbericht darstellt. Die Formulierung der Zielvorstellung, die Aufstellung und Gewichtung der Bewertungskriterien sowie die darauf basierende Bewertung und schließlich die Formulierung von Handlungsempfehlungen fanden in ständiger Rückkopplung mit den Erkenntnissen aus der Sachstandsanalyse statt. Abschließende Konsequenzen oder verallgemeinerbare Regeln für zukünftige Bewertungsverfahren können derzeit nicht abgeleitet werden und bedürfen der weiteren Diskussion innerhalb der Enquete-Kommission.

#### 4.3.2.5 Handlungsempfehlungen und Instrumente

Der Benzol-Stoffstrom wird durch eine Reihe ökonomischer, technischer, aber auch gesetzlicher Regeln beeinflusst. Dabei handelt es sich in erster Linie um Regelungen aus der Sicht des Arbeitsschutzes und der Emissionsbegrenzung. Stoffstrommanagement findet heute im wesentlichen durch die Begrenzung des Benzolgehaltes im Ottokraftstoff (lt. BenzinqualitätsV < 5 Vol. %) und bei der Begrenzung des Benzolgehaltes in Lösemitteln und dergleichen mit Ausnahmen (laut Anhang II Nr 1.3.4 der GefStoffV < 0.1 Gew. %) statt.

Benzol kann von der Enquete-Kommission als Beispiel für einen Stoff angesehen werden, bei dem keine Konzentration bzw. Dosis angenommen werden kann, unterhalb derer keine Gesundheitsschäden auftreten. Eine unterschiedliche Umgebungsbelastung mit Benzol hat lediglich ein unterschiedlich hohes Risiko einer Krebserkrankung zur Folge. Das Instrumentarium für die Abschätzung gesundheitlicher Auswirkungen bei krebserzeugenden Stoffen und zur Festlegung von Grenzwerten kann als ausgesprochen unsicher bezeichnet werden. Über die Annahme eines akzeptablen Krebsrisikos wurde bisher in der Bundesrepublik Deutschland kein Konsens gesucht. Die bestehenden TRK-Werte und die Richtwerte des Länderausschusses für Immissionsschutz können lediglich als eine Orientierungshilfe für die Beurteilung vorgefundener Konzentrationen herangezogen werden. Minimierungsmaßnahmen sind grundsätzlich anzustreben und bei krebserzeugenden Stoffen nach der GefStoffV auch vorgeschrieben. Dabei sind in erster Linie benzolbelastete Arbeitsplätze und die Benzolexposition der Gesamtbevölkerung zu beachten. Hinzu kommt die Gefährdung der Umwelt, vor allem des Bodens und des Grundwassers. Schäden an Flora und Fauna durch Benzol sind bei den üblichen Immissionskonzentrationen nicht zu erwarten.

Die Belastung durch Benzol insbesondere an Arbeitsplätzen und in Ballungsräumen durch Emissionen aus dem Kraftfahrzeugverkehr ist unter gesundheitspolitischen Gesichtspunkten erheblich zu hoch. Eine Absenkung durch eine Reihe von Maßnahmen wird für dringend erforderlich gehalten.

#### 4.3.2.5.1 Ansätze von Maßnahmen am Stoffstrom

Ausgehend von der in Kapitel 4.3.2.3 ausführlich dargestellten Stoffstromanalyse des Benzols kann ein Management des Stoffstromes zur Minimierung der Benzolbelastung von Mensch und Umwelt prinzipiell an folgenden Stellen des Stoffstromes ansetzen:

- Zwangsläufiger Anfall von Benzol durch die Nutzung von Ottokraftstoffen und die Nutzung von Naphtha zur Ethylenherstellung
- Übertritt in die Ökosphäre (Emission)
- Aufnahme in den Organismus.

Die von der Enquete-Kommission vorgeschlagenen Handlungsempfehlungen setzen an allen genannten Stellen des Stoffstromes an. Zunächst soll hier eine stichwortartige Zuordnung der Empfehlungen dargestellt werden. Nähere Erläuterungen der Handlungsempfehlungen schließen sich an.

1. Reduktion des zwangsläufigen Benzolanfalls mittels langfristiger Minderung des Kraftstoffverbrauchs durch:
  - Verringerung der Gesamtfahrleistung
  - Verringerung des Kraftstoffverbrauchs durch die Entwicklung von sparsameren Motoren etc.
2. Minderung des Übertritts in die Ökosphäre durch:
  - Senkung des Benzolgehalts von Ottokraftstoff auf  $\leq 1$  Vol. %
  - Minderung des Kraftstoffverbrauchs (s. o.)
  - Erhöhung der Katalysatorwirksamkeit
  - Einrichtung von Gaspendelsystemen beim Umschlag von Benzol
  - Adsorption von Kraftstoffdämpfen im Tank
  - Tankabdichtung.
3. Minderung der Benzolaufnahme in den Organismus durch:
  - Einsatz von Atemschutzgeräten und Schutzkleidung am Arbeitsplatz
  - Aufklärung benzol exponierter Arbeitnehmer/innen.
4. Übergreifende Maßnahme für alle drei Bereiche ist die Aufklärung über benzolbedingte Risiken, die zu einem bewußteren Umgang mit Benzol bzw. Kraftstoffen führen soll.

#### 4.3.2.5.2 Handlungsempfehlungen

##### Folgerungen für „geschlossene“ Systeme

Mit der Beschränkung der Anwendung von Benzol in „geschlossenen“ Systemen — mit Ausnahme der Kraftstoffe — ist zunächst einmal ein richtiger und wichtiger Schritt getan worden. Durch entsprechende Kontrollmaßnahmen ist nun dafür zu sorgen, daß diese Systeme auch wirklich geschlossen sind, z. B. durch strikteren Vollzug der Vorschriften. Es ist unklar, ob dies tatsächlich gewährleistet ist. Weitere sinnvolle Vorschläge zur Konstruktion von Anlagen, in denen mit Benzol gearbeitet wird, wurden von der Bundesanstalt für Arbeitsschutz vorgetragen (KDRs 12/2a, BAU):

- Zur Minimierung der Benzolemissionen aus „geschlossenen“ Systemen sollten technische Vorgaben gemacht werden
- Zur Minimierung der Benzolexposition sollten z. B. direktanzeigende Meßgeräte eingeführt und der Umgang mit Benzol bei bestimmten Arbeiten nur unter Benutzung von Atemschutzgeräten bzw. Schutzkleidung gestattet werden
- Die Grenze für den zulässigen Anteil von Benzol gemäß GefStoffV ist — wo technisch möglich — weiter zu senken.

##### Folgerungen für „offene“ Systeme

Die mengenmäßig wichtigste Emission von Benzol erfolgt über die Verbrennung von Kraftstoffen in Otto-Motoren. Die Benzolbelastung an stark befahrenen Straßen und damit die Exposition der Anwohner dürfte auch bei weiterer Marktdurchsetzung des Katalysators nur teilweise zurückgehen. Hierfür sind die bereits beschriebenen Faktoren wie eingeschränkter Nutzeffekt des Katalysators, de novo-Synthese von Benzol aus im Ottokraftstoff befindlichen Aromaten und zunehmende Fahrleistung verantwortlich. Die Strategie zur Verringerung der Benzolexposition der Allgemeinbevölkerung hat daher folgende Prioritäten:

- Verringerung der Gesamtfahrleistung von Kraftfahrzeugen mit Otto-Motoren, vor allem in Kurzstreckenbereichen

Dies kann durch massive Verteuerung des Ottokraftstoffs am ehesten erreicht werden; daneben ist die Verkehrspolitik der Städte und Gemeinden, unterstützt durch eine Regelung des maximalen Immissionswertes für Benzol auf der Basis von § 40 Abs. 2 BImSchG, gefordert. Der vom Bundesumweltminister vorgeschlagene Richtwert von  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  bis 1995 und  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$  ab 1995 kann als erster Schritt in die richtige Richtung angesehen werden.

- Verringerung des Kraftstoffverbrauchs von Kraftfahrzeugen durch sparsame Motoren, Senkung des Fahrzeuggewichts etc.
- Verringerung des Benzolgehaltes im Ottokraftstoff auf 1 Vol. %

Dies ist bei nur geringfügiger Steigerung des Energieverbrauchs in der Raffinerie durch Abtrennung von Benzol aus benzolreichen Fraktionen, bzw. durch Abtrennung aromatenbildender Stoffe vor der katalytischen Reformierung (Paraffine, Naphthene) möglich. Die damit einhergehende Verringerung der Oktanzahl des Kraftstoffs müßte durch den Zusatz von 100 000 t/a MTBE (Methyl-tertiärbutylether) ausgeglichen werden. Die Emission aus dem Bereich Verbrennungsvorgänge dürfte damit nur unwesentlich steigen, die Emission aus dem Bereich „Benzol im Ottokraftstoff“ aber abnehmen. Eine weitere Absenkung des Benzolgehalts im Ottokraftstoff führt zu überproportionalem Primärenergiebedarf für die Abtrennung und wird daher zunächst nicht verfolgt. Hinzu kommt das Problem der Benzol de novo-Synthese aus Alkylbenzolen während des Verbrennungsprozesses im Motor. Dies wird relativ um so wichtiger, je geringer der originäre Benzolgehalt des Kraftstoffes ist:

- Verbesserung der technischen Funktionsfähigkeit des Katalysators und Einrichtung von Prüfpflichten
- Verringerung der Benzolexposition bei Betankung der Fahrzeuge durch die Einrichtung des Gaspendelsystems und Installation von Saugrüsseln an Tankstellen (21. BImSchV, in Kraft getreten am 1. Januar 1993)
- Verringerung der Benzolexposition im Kraftfahrzeuginneren durch Tankabdichtung und Nutzung von gasundurchlässigen Reservekanistern
- Verringerung der Benzolexposition von Arbeitnehmern durch Aufklärungsmaßnahmen und strikten Vollzug der Arbeitsschutzbestimmungen.

Diese von der Enquete-Kommission erarbeiteten Handlungsempfehlungen können durch verschiedene Instrumente umgesetzt werden, deren Diskussion derzeit jedoch noch nicht abgeschlossen ist.

### 4.3.3 R 134a und andere FCKW-Ersatzstoffe

#### 4.3.3.1 Begründung für die Themenauswahl

Der Abbau der stratosphärischen Ozonschicht spiegelt eine Störung der Atmosphäre von bislang unbekanntem Ausmaß wider. Nicht nur das Ozonloch über der Antarktis, sondern auch der negative Trend der Ozonkonzentration in anderen Bereichen der Stratosphäre sind Anlaß zu erheblicher Sorge. Selbst in mittleren Breiten der Nordhemisphäre einschließlich der Bundesrepublik Deutschland geht das stratosphärische Ozon mit einer Rate von mehreren Prozent pro Dekade verloren. Hauptsächliche Verursacher des stratosphärischen Ozonabbaus sind die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW), deren Konzentration in der Atmosphäre seit Beginn der 50iger Jahre steil angestiegen ist. Der derzeitige Gehalt der Stratosphäre an ozonschädigenden Chlorverbindungen beträgt etwa 3,4 ppb; er übersteigt damit den natürlichen Gehalt um etwa den Faktor 5.

Das Ausmaß und die Erkenntnis ihrer anthropogenen Ursache haben die Zerstörung der stratosphärischen Ozonschicht neben dem Treibhauseffekt zum bedeutendsten Thema der umweltpolitischen Diskussion von internationalem Rahmen werden lassen. Mit dem Wiener Übereinkommen zum Schutz der Ozonschicht und dem Montrealer Protokoll, gemeinsam mit Nachfolgeverhandlungen der Vertragspartner in London (1990) und Kopenhagen (1992), sind internationale Regelinstrumentarien auf den Weg gebracht worden, die den Ausstieg aus Produktion und Verwendung von FCKW vorsehen. Da die Vertragspartner nunmehr über 90 % der globalen Produktion repräsentieren, ist ein Ende der FCKW-Produktion absehbar, vorausgesetzt, bisherige Nicht-Unterzeichner im Bereich der Schwellenländer treten den Vereinbarungen ebenfalls bei.

FCKW sind seit ihrer Markteinführung in eine Vielzahl von verschiedenen Anwendungen (Kältemittel, Treib- und Isoliergase, Lösemittel) eingedrungen, die gemeinsam eine Reihe von „segensreichen“ Eigenschaften der FCKW widerspiegeln. Daß ein Ausstieg aus den FCKW zwangsweise technologische Lücken öffnen würde, die nicht allein durch technologischen Verzicht geschlossen werden könnten, war eine notwendige Konsequenz. Ersatzstoffe mußten gefunden werden.

Die offensichtliche Zielvorgabe der Ersatzstoffsuche war die Ozonunschädlichkeit. Neben den erforderlichen physikalisch-technischen Eigenschaften (Siedepunkt, Verdampfungsenthalpie, Explosionsgrenzen) waren andere ökologische Anforderungsprofile zunächst nicht definiert. Erst mit der Verschärfung der Klimadiskussion nahmen Aspekte wie der Beitrag zum Treibhauseffekt durch direkte Emission oder über die CO<sub>2</sub>-Produktion durch die Energieaufnahme Kontur an.

Das Fehlen klar definierter umweltpolitischer Zielvorgaben bedeutet für die industrielle Forschung und Entwicklung ein nicht unerhebliches Risiko, zumal klar war, daß FCKW-Ersatzstoffe und -technologien eine längere Entwicklungs- und Erprobungsphase benötigen würden. Unter der Vielzahl von Ersatzstoffen, die von der marktführenden Industrie weltweit getestet wurden, hat sich der chlorfreie, wasserstoffhaltige Fluorkohlenwasserstoff (H + FKW) R 134a (CF<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>F; 1,1,1,2-Tetrafluorethan) als am vielversprechendsten erwiesen. Die Entwicklung von R 134a begann bereits in der frühen Phase der FCKW-Diskussion. Nach Abschluß der entsprechenden Prüfprogramme der Industrie (AFEAS, PAFT) wird R 134a in ausreichenden Mengen zur Verfügung stehen, um insbesondere FCKW 12 in einigen mengenrelevanten Anwendungen abzulösen. R 134a allein reicht aber nicht aus, um FCKW in allen Anwendungssektoren zu ersetzen.

Die Auswahl von R 134a als ein Arbeitsthema der Enquete-Kommission erfolgte unter folgenden Aspekten:

- Das Beispiel R 134a bietet die Möglichkeit der Überprüfung von Bewertungskriterien für Ersatzstoffe, die sich an dem Leitbild des Sustainable Development orientieren

- Die Daten zur Bewertung der Umwelt- und Gesundheitsrelevanz von R 134a sind aufgrund ausführlicher Prüfprogramme (AFEAS, PAFT) weitestgehend verfügbar. Auch sind Abschätzungen über den zukünftigen Bedarf und die erwarteten Emissionen vorhanden. Da R 134a zukünftig nur von wenigen Produzenten hergestellt werden wird, besteht eine gute Chance, die Produktionsmengen vollständig und global zu erfassen. Die Veröffentlichung von Produktionsdaten ist von AFEAS angekündigt. Eine Verpflichtung zur Veröffentlichung besteht allerdings nicht
- Die potentielle Bandbreite verschiedener FCKW-Substitute erlaubt eine vergleichende Betrachtung verschiedener Stoffe und Verfahren. Die breite Palette der Anwendungsbereiche von R 134a ist darüber hinaus ein geeignetes Übungsfeld zur Erfassung aufgefächerter Stoffströme
- Der überschaubare Kreis von Akteuren (Hersteller und Anwender) bietet eine gute Voraussetzung, um die Entscheidungsprozesse nachzuvollziehen, die zur Auswahl von R 134a und anderen FCKW-Substituten geführt haben.

#### 4.3.3.2 Vorgehensweise

##### Öffentliche Anhörung

Am Beispiel des FCKW-Ersatzstoffes R 134a sollten Erkenntnisse über den Stoffstrom sowie für die Durchführung und Anwendung von Ökobilanzen gewonnen werden. Mit diesem Ziel fand am 3. und 4. Dezember 1992 eine öffentliche Anhörung zum Thema „Ökobilanz/Produktlinienanalyse am Beispiel des FCKW-Ersatzstoffes R 134a und anderer FCKW-Ersatzstoffe bzw. -technologien“ statt (KDRs 12/6; 12/6 a–f). Eingeladen waren 30 Experten aus Deutschland, Europa und den USA (KDRs 12/6; 12/6 a–f).

Neben den Daten zum Stoffstrom sollten während der Anhörung die Auswirkungen von R 134a entlang seiner Produktlinie, von der Rohstoffgewinnung über die verschiedenen Stufen der Produktion, die Gebrauchsphase bis hin zum Recycling bzw. zur Entsorgung erfaßt werden. Die Produktlinie des Stoffes fächert sich ab der Gebrauchsphase in Abhängigkeit von den jeweiligen Anwendungsbereichen auf. So unterscheiden sich z. B. die ökologischen Auswirkungen des FCKW-Substituts beim Einsatz in Haushaltskühlschränken von denjenigen, die beim Einsatz in mobilen Klimaanlageanlagen auftreten. Während es sich in dem einen Fall um eine „geschlossene“ Anwendung handelt, bei der eine vergleichsweise geringfügige Emission auftritt, liegt in dem anderen Fall eine „teiloffene“ Anwendung vor, bei der ein erheblicher Teil des Stoffes in die Umwelt freigesetzt wird (zur Definition von „geschlossenen“, „teiloffenen“ und „offenen“ Anwendungen: s. Glossar).

Die Enquete-Kommission verständigte sich deshalb darauf, den Einsatz des FCKW-Substituts exemplarisch anhand von drei Anwendungsbereichen zu untersuchen. Anders als bei den Einzelstoffbeispielen Cadmium und Benzol bot sich hier ein konkreter

Vergleich zwischen R 134a und anderen FCKW-Ersatzstoffen und -technologien an, da in den ausgewählten Anwendungsbereichen bereits verschiedene Alternativen zu R 134a zur Verfügung stehen bzw. entwickelt werden. Darunter wurde je eine Variante zum Vergleich mit R 134a ausgewählt.

Betrachtet wurden folgende Anwendungsbereiche:

- *Haushaltskühlschränke* als Beispiel für eine „geschlossene“ Anwendung von R 134a. Damit wurde bewußt ein verbrauchsnahes Produkt ausgewählt, dessen Bewertung großes öffentliches Interesse hervorruft.

R 134a kann sowohl als Kältemittel im Kühlkreislauf als auch als Dämmgas im Isolierschaum zur Anwendung kommen. Betrachtet wurde hier jedoch nur seine Funktion als Kältemittel. Die zukünftig zu erwartende Einsatzmenge in diesem Bereich ist allerdings gering. Als Vergleichsvariante wurde das Kohlenwasserstoff-Gemisch Propan/iso-Butan ausgewählt. Propan/iso-Butan konnte noch im Frühjahr 1993 nur in Eintemperaturskühlschränken eingesetzt werden. Mit diesem Begriff werden Haushaltskühlgeräte mit einer Temperaturzone über 0 °C (ohne Gefrierfach) bezeichnet. Der Vergleich bezieht sich daher nur auf diesen Sektor. Allerdings war die technische Weiterentwicklung bereits im Sommer des Jahres 1993 so weit fortgeschritten, daß das erste Gerät mit Drei-Sterne-Gefrierfach und einem Kohlenwasserstoff als Kältemittel und Isoliertgas auf dem Markt angeboten wurde.

- *Autoklimaanlagen* als Beispiel für eine „teiloffene“ Anwendung. Im Gegensatz zum Sektor Haushaltskühlschrank handelt es sich hier um einen mengenmäßig relevanten Einsatzbereich für R 134a. Ähnlich wie bei den Haushaltskühlschränken haben sich die Hersteller von Autoklimaanlagen verpflichtet, bis zum Herbst 1993 alle Anlagen ohne FCKW anzubieten. Vornehmlich wird in diesem Bereich R 134a zum Einsatz kommen und auf absehbare Zeit als einziges Ersatz-Kältemittel zur Verfügung stehen.

Als Vergleichsvariante wurde die Zeolith/Wasser-Sorptionsanlage ausgewählt. Dabei handelt es sich um ein Kühlsystem auf der Basis des Minerals Zeolith mit Wasser als Kältemittel. Zur Zeit befindet sich die Anlage noch in der Entwicklungsphase.

Der Anwendungsbereich Autoklimaanlage liefert auch den Hintergrund für eine Diskussion über die Umweltauswirkungen und den Ressourcenverbrauch unter Berücksichtigung des Produktnutzens. So stellt sich die Frage, ob eine Emission von 2 kg des Kältemittels R 134a aus einer Autoklimaanlage genauso zu bewerten ist, wie die gleiche Freisetzungsmenge aus 30 bis 50 Haushaltskühlschränken. Ob und wie der Gebrauchsnutzen in die Diskussionen um die Bewertung eines Produktes sowie um die Instrumente des Stoffstrommanagements einfließen sollte, ist einer der Punkte, über die in der chemiepolitischen Diskussion erheblicher Dissens besteht.



— *Polyurethan-Montageschäume* als Beispiel für eine „umweltaffine“ Anwendung.

Der Schwerpunkt der Untersuchungen lag auf den beiden Anwendungsbereichen Haushaltskühlschrank und Autoklimaanlage. Mit dieser Auswahl bleiben andere, ebenfalls wesentliche Anwendungsbereiche von R 134 a, wie gewerbliche und industrielle Kälteanlagen sowie die stationären Klimaanlagen, unerfaßt. Die hier getroffenen Aussagen und Bewertungen lassen sich nicht ohne weiteres auf andere Anwendungsbereiche übertragen.

#### Interne Anhörung

Der Auswertung der Anhörungsergebnisse schloß sich am 18. Mai 1993 eine interne Anhörung zum Thema „Entscheidungsmuster und Gründe zur Auswahl von R 134 a“ an. Ziel der Enquete-Kommission war es, die Entscheidungsprozesse und Kriterien nachzuvollziehen, die der Auswahl von R 134 a als FCKW-Ersatzstoff zugrunde lagen. Eingeladen waren sechs Experten aus der herstellenden und anwendenden Industrie, der Wissenschaft sowie eines Umweltverbandes, die zu folgenden Fragenkomplexen Stellung nahmen:

- Technische, ökologische und ökonomische Kriterien, die zur Auswahl von R 134 a als neues Kältemittel geführt haben, und ihre Gewichtung
- Potentielle Absprachen zwischen den Anwendern sowie zwischen Anwendern und Herstellern von R 134 a
- Einfluß der Vergabekriterien des Umweltzeichens „Blauer Engel“ auf die Entwicklung von Kühlschränken, die mit dem Kältemittel-Gemisch Propan/iso-Butan arbeiten
- Gründe und Kriterien, die bei einigen Herstellern im Bereich der Haushaltskühlgeräte zu einer Neuorientierung weg von R 134 a auf andere Kältemittel geführt haben.

#### 4.3.3.3 Darstellung und Analyse des Stoffstroms von R 134 a und anderer FCKW-Ersatzstoffe

##### 4.3.3.3.1 Abschätzung des zukünftigen Stoffstroms von R 134 a

Der hier untersuchte Stoffstrom von R 134 a führt von der Produktion in verschiedene Anwendungsbereiche, aus denen R 134 a zeitnah oder verzögert emittiert werden kann. Darüber hinaus bestehen primäre und sekundäre Recyclingschleifen, die R 134 a aufnehmen und für die Wiederverwendung aufbereiten bzw. durch Verbrennung in wiederverwertbare Ausgangsstoffe zerlegen. Aufgrund der Flüchtigkeit von R 134 a

erfolgen alle Emissionen ausschließlich in das Umweltkompartiment Luft, in dem R 134 a mit einer Lebensdauer von ca. 16 Jahren abgebaut wird.

R 134 a ist seit 1991 durch Produktionen in England, Japan und den USA großtechnisch verfügbar. In der Bundesrepublik Deutschland soll die Produktion Ende 1993 bzw. Anfang 1994 aufgenommen werden. In anderen Ländern wird mit einer Einführung ab der Jahreswende 1995/96 gerechnet. Alle bislang verfügbaren stoffstromrelevanten Daten beruhen daher auf Schätzungen und sind nicht abgesichert.

#### Anwendungsbereiche für R 134 a

Eine quantitative Abschätzung des zukünftigen Stoffstroms von R 134 a setzt die Kenntnis aller Anwendungsbereiche und ihrer potentiellen Einsatzmengen voraus. Da die Anwendungsentwicklungen von R 134 a nicht abgeschlossen sind, sollen an dieser Stelle zunächst nur die Bereiche aufgeführt werden, in denen ein Einsatz bereits stattfindet bzw. als möglich erkannt oder umstritten ist.

Realisierte und beabsichtigte Anwendungsbereiche für R 134 a mit mengenmäßig hoher Bedeutung sind Polyurethan-Montageschäume, mobile und stationäre Klimaanlagen, gewerbliche Kälteanlagen sowie Transport- und Industriekälteanlagen. Zu den mengenmäßig weniger relevanten Einsatzbereichen zählen Haushaltskühlgeräte und Wärmepumpen sowie spezielle technische und medizinische Aerosole. Zukünftig könnte auch die Verwendung als Isoliergas in wärmedämmenden Schäumen (Polyurethan-Hartschaum) Bedeutung erlangen.

Bei den pharmazeutischen Aerosolen ist die Verwendung abhängig vom Ergebnis gesonderter toxikologischer Prüfungen, die in Ergänzung zu dem PAFT-Programm den spezifischen Anforderungen der Inhalations-Dosier-Aerosole Rechnung trägt und von einem internationalen Pharmakonsortium (IPACT = International Pharmaceutical Aerosol Consortium Toxicology Programme) durchgeführt wird. Ein Abschluß des Prüfprogramms ist nicht vor der Jahreswende 1997/98 zu erwarten.

Grundsätzlich ist auch der Einsatz von R 134 a in Verbraucheraerosolen (Konsumentensprays) möglich. In diesem Bereich sind die FCKW u. a. in der Bundesrepublik Deutschland bereits vollständig durch nicht-halogenierte Treibgase wie Kohlenwasserstoffe (Propan, Butan und Dimethylether) ersetzt. Wie realistisch das Eindringen von R 134 a in diesen Anwendungsbereich ist, wird *innerhalb der Enquete-Kommission unterschiedlich beurteilt*.

- Der Einsatz von R 134 a in Konsumentensprays ist aufgrund seines im Vergleich zu den Kohlenwasserstoffen hohen Preises und der erneuten Umstellungskosten der Aerosolbranche nicht zu erwarten. Auch beabsichtigt der einzige deutsche Hersteller, auf eine Vermarktung von R 134 a für Verbraucher-Aerosole zu verzichten.

versus:

- Bedingt durch technische und betriebswirtschaftliche Produktionsverbesserungen ist mittelfristig mit einem Preisrückgang bei R 134 a zu rechnen, der zur Erschließung neuer Einsatzbereiche führen könnte. Dazu zählen in erster Linie die Konsumentensprays. Die Unbrennbarkeit des Stoffes stellt einen Anreiz für die Verwendung in diesem Sektor dar.

#### Abschätzung der zukünftigen Einsatzmenge von R 134 a

Die zu erwartenden globalen Bedarfs- und Emissionsmengen von R 134 a wurden von der Herstellerindustrie ermittelt (KDRs 12/6 d, McCulloch). Sie gelten im Rahmen der ihnen zugrundeliegenden Annahmen als die z. Zt. verlässlichsten Daten. Ihre Qualität kann aber aufgrund der verbleibenden Unsicherheiten über den Bedarf in den bekannten Anwendungsbereichen sowie über die zukünftige Entwicklung des Anwendungsmusters nicht endgültig bewertet werden. So blieb z. B. in den Bedarfsberechnungen unberücksichtigt, daß R 134 a auch in dem mengenmäßig nicht vernachlässigbaren Anwendungsbereich der Polyurethan-Dämmstoffe eintreten kann. Die Möglichkeit der Erschließung der Konsumentensprays dagegen wird — wie bereits dargestellt — unterschiedlich beurteilt. So beurteilt beispielsweise das Öko-Institut das o. g. Szenario als zu optimistisch (s. u.).

Die prognostizierte globale Nachfrage an R 134 a und ihre zeitliche Entwicklung zwischen 1995 und 2020 ist in Abbildung 4.3.3.1 gezeigt (KDRs 12/6 d, McCulloch). Danach verdoppelt sich der Bedarf von R 134 a in diesem Zeitraum, beginnend mit einer Substitutionsnachfrage von ca. 150 000 Tonnen, bis zum Jahr 1995. Abbildung 4.3.3.1 zeigt neben dem globalen Gesamtbedarf auch dessen Aufteilung in verschiedene Regionen der Welt. Dabei fällt auf, daß Schätzungen für das Jahr 2020 noch von einem Anteil der OECD-Länder an der globalen Nachfrage von etwa 50 % ausgehen. Der Pro-Kopf-Verbrauch im Bereich der OECD-Länder wird damit je nach Annahme über das Bevölkerungswachstum noch 5 bis 10 mal höher eingeschätzt als im übrigen Bereich der Welt.

Die Erhebungen der mittelfristig zu erwartenden Einsatzmengen in der Bundesrepublik Deutschland beruhen auf dem derzeitigen Verbrauch von R 12 in bestimmten Anwendungsbereichen (Tab. 4.3.3.1). Sollte R 134 a zusätzlich als Treibgas in Verbraucher-aerosolen sowie aufgrund der absehbaren Verwendungsbeschränkung von H-FCKW als Dämmgas in Polyurethanschäumen zum Einsatz kommen, rechnet das Umweltbundesamt mittelfristig mit einem Anstieg der Verkaufsmenge auf bis zu 50 000 Tonnen pro Jahr (KDRs 12/6 d, UBA). Dieses Szenario wird von der Industrie aber als unrealistisch angesehen, da ein Einsatz in Konsumentensprays in der Bundesrepublik Deutschland (wie auch in anderen Ländern) ausge-

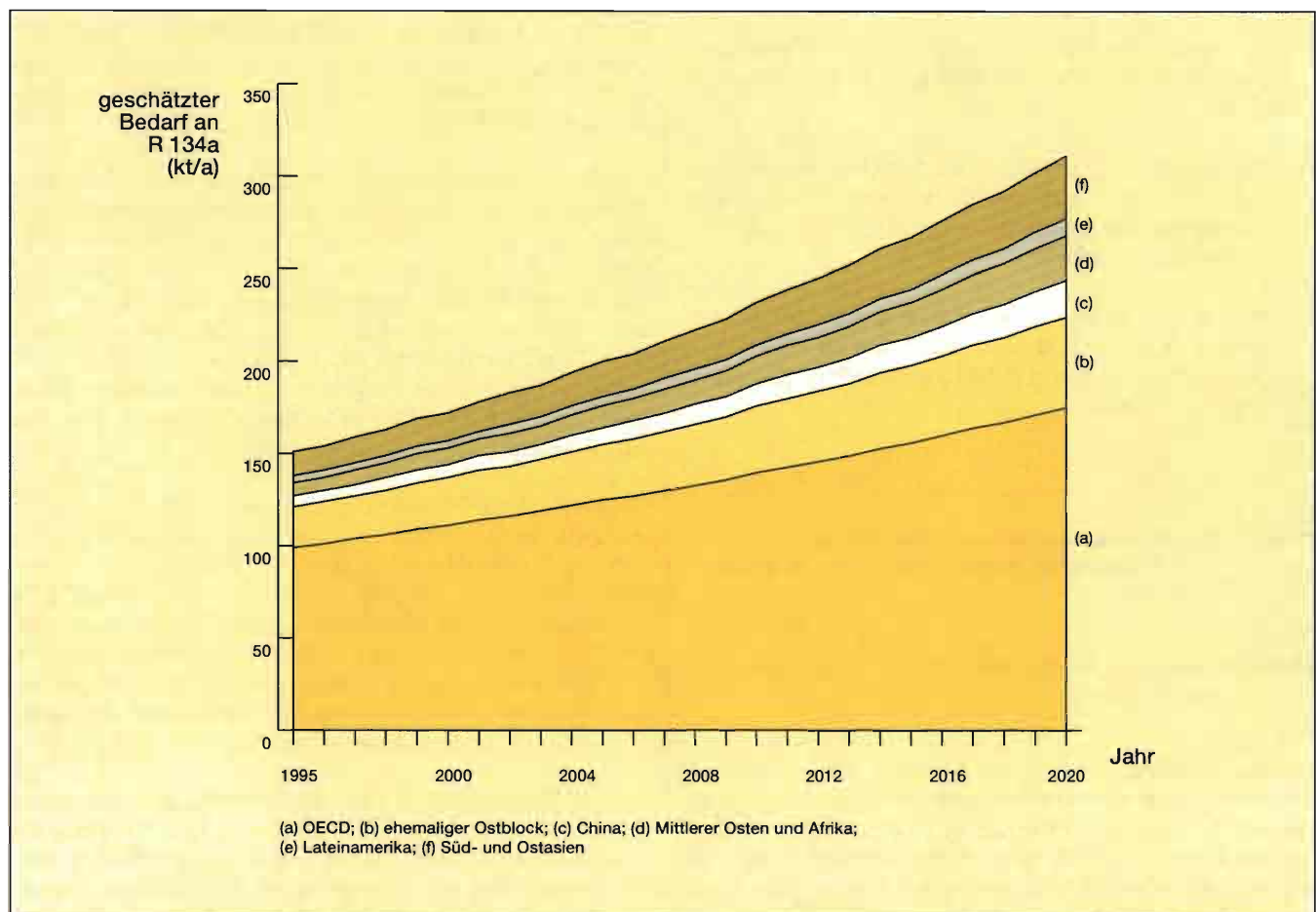


Abbildung 4.3.3.1 Geschätzte zeitliche Entwicklung des globalen Bedarfs an R 134 a und dessen Aufteilung auf verschiedene Regionen der Welt (nach McCulloch)

Tabelle 4.3.3.1

**Geschätzte Verkaufsmenge von R 134 a in der Bundesrepublik Deutschland  
und die Aufteilung in Anwendungsbereiche in den Jahren 1995 und 1998**

Anwendungsbereich	Geschätzte Verkaufsmenge in Deutschland (in t)	
	Schätzung des Verbandes der Chemischen Industrie (1995)	Schätzung des Umweltbundesamtes (mittelfristig; etwa 1998)
Montageschäume .....	1 000	3 000
PKW-Klimaanlage .....	500	1 500
Haushaltskältegeräte .....	500	700
gewerbliche Kältegeräte .....	450	1 000
Transportkältegeräte .....	200	50
Industriekältegeräte .....	200	250
spezielle technische Aerosole .....	300	1 000
pharmazeutische Aerosole .....	800	1 500
<b>Summe .....</b>	<b>3 950</b>	<b>9 000</b>

geschlossen wird (s. o.). Die Verwendung von R 134 a in Polyurethan-Dämmmaterialien ist zwar in der Haushaltskälte möglich, in dem mengenmäßig viel bedeutenderen Sektor der Hartschäume im Baubereich aber wiederum auszuschließen, da hier z. Zt. bereits eine weitgehende Umstellung auf Pentan-getriebene Schäume stattfindet.

Die zukünftige Menge von neuproduziertem R 134 a ist nicht mit der zu erwartenden Einsatzmenge gleichzusetzen. Zwischen beiden Größen liegt eine Differenz in der Höhe der zukünftig zu erwartenden recycelten Menge des Stoffes. Dabei ist lediglich die Menge an R 134 a zu berücksichtigen, die gereinigt und für einen erneuten Einsatz wiederaufgearbeitet wird, nicht jedoch diejenige, die durch Sekundärrecycling des Fluorkohlenwasserstoffes gezielt zu Fluorwasserstoff und Kohlendioxid verbrannt wird.

#### Emissionsabschätzungen

##### *Emissionen bei der Produktion*

Staab (KDRs 12/6 c) gibt für eine deutsche Produktionsanlage mit einer Kapazität von 10 000 Tonnen pro Jahr eine maximale Freisetzung von chlorfreien Fluorkohlenwasserstoffen in der Höhe von 15 kg pro Jahr an. Über die zu erwartenden globalen Emissionen bei der Produktion von R 134 a liegen keine Daten vor.

##### *Emissionen bei Transport und Umfüllung sowie durch Lagerunfälle*

Abschätzungen über zu erwartende Emissionen bei Transport und Umfüllung von R 134 a sowie durch Lagerunfälle liegen nicht vor.

##### *Emissionen bei Gebrauch und Entsorgung*

In den Produktlinienstufen Gebrauch und Entsorgung fächert sich der Stoffstrom von R 134 a in die verschie-

denen Anwendungsbereiche auf. R 134 a wird dabei entweder bereits beim Gebrauch (z. B. Treibgas für Montageschäume) oder zeitlich verzögert über die Gebrauchsdauer (z. B. Kältemittel in Gewerbekälteanlagen) bzw. vorwiegend bei der Entsorgung (z. B. Kältemittel in Haushaltskühlschränken) freigesetzt.

Eine Abschätzung *des globalen Emissionsverlaufs* zwischen den Jahren 1995 und 2020 wurde von Mc. Culloch (KDRs 12/6 d) vorgelegt. Dabei werden für die nahe Zukunft Emissionen zugrundegelegt, die sich an den derzeitigen Emissionsraten orientieren. Für die folgenden Jahre wird die Entwicklung und Anwendung von Emissions-Minderungstechnologien einkalkuliert. Generell werden bei dieser Prognose folgende Kategorien unterschieden:

- Anwendungsbereiche mit hohen, kurzfristig freigesetzten Emissionen (z. B. Autoklimaanlagen). Die Freisetzungsraten aus diesem Anwendungsbereich wird mit 33 % der Füllmenge pro Jahr bis zum Jahr 2000 veranschlagt. Danach fällt sie jährlich um 2 %, bis sie sich im Jahr 2012 bei 10 % stabilisiert
- Anwendungsbereiche mit mittleren Emissionsraten über die gesamte Gebrauchsphase (z. B. Gewerbekälte). Die Freisetzungsraten werden mit 17 % bis zum Jahr 2000 veranschlagt. Danach fällt sie jährlich um 1 %, bis sie sich im Jahr 2015 bei 3 % stabilisiert
- Anwendungsbereiche, in denen während der Gebrauchsphase nur geringe Emissionen auftreten (z. B. Haushaltskühlschrank, stationäre Klimaanlage). Dabei wird eine jährliche Emissionsrate von 1 % angegeben, sowie eine Freisetzung von 40 % der ursprünglichen Befüllung bei der Entsorgung (KDRs 12/6 d, McCulloch sowie ergänzende schriftliche Auskunft).

Basierend auf der Nachfrage-Abschätzung in den verschiedenen Wirtschaftsregionen der Welt (s. Abb. 4.3.3.1) werden die R 134 a-Emissionen im Jahr 1995 weltweit auf 20 % (ca. 30 000 t/a) der prognostizierten Nachfrage geschätzt. Im Jahr 2020 wird die globale Emissionsrate nach diesem Szenario aufgrund der zeitlich verzögerten Freisetzung des Stoffes bereits auf etwa 50 % (ca. 150 000 t/a) der für das gleiche Jahr prognostizierten Nachfrage angestiegen sein. Eine Abschätzung der Emissionsentwicklung, unterteilt in die Wirtschaftsregionen der Welt, ist in Abbildung 4.3.3.2 dargestellt.

Diese Emissionsabschätzung ist mit Unsicherheiten behaftet und geht von vergleichsweise günstigen Bedingungen aus. Dazu gehört u. a. die Annahme einer weltweiten Durchsetzung von Emissions-Minderungstechniken für alle Regionen der Welt gleichermaßen. Darüber hinaus würde sich die globale Emissionsrate auch durch die Erschließung weiterer offener Anwendungsbereiche erhöhen.

Abschätzungen des Öko-Instituts für die mittelfristig zu erwartenden Emissionsraten in der Bundesrepublik Deutschland gehen von ungünstigeren Voraussetzungen aus:

- Die Anwendungsmenge im Jahr 1998 liegt in der vom Umweltbundesamt prognostizierten Höhe von etwa 8 700 Tonnen (s. Tab. 4.3.3.1). Der

Einsatz von R 134 a in Konsumentensprays ist dabei nicht berücksichtigt

- Insbesondere die Freisetzungsraten werden höher angesetzt als bei dem Szenario nach McCulloch. Sie betragen beim Haushaltskühlschrank sowie bei Gewerbe-, Industrie- und Transportkälte 30 bis 50 %, bei der Autoklimaanlage 60 bis 80 % (KDrS 12/6 f, Wollny), bei Montageschäumen und Aerosolen 100 %.

Auf dieser Grundlage ergibt sich *mittelfristig eine Emissionsrate in der Bundesrepublik Deutschland* von 70 bis 80 % der jährlichen Nachfrage. Die Rückhaltsquoten in Osteuropa sowie in den Entwicklungsländern werden deutlich niedriger eingeschätzt, so daß mit einer globalen Gesamtfreisetzung von über 90 % gerechnet wird.

#### Emissionen beim Recycling

Abschätzungen über zu erwartende Emissionen beim Recycling von R 134 a liegen nicht vor.

#### 4.3.3.2 Ökologische und toxikologische Relevanz

Die ökologische Relevanz des FCKW-Ersatzstoffes R 134 a wird im folgenden vergleichend zu dem Ersatzstoffgemisch Propan/iso-Butan dargestellt.

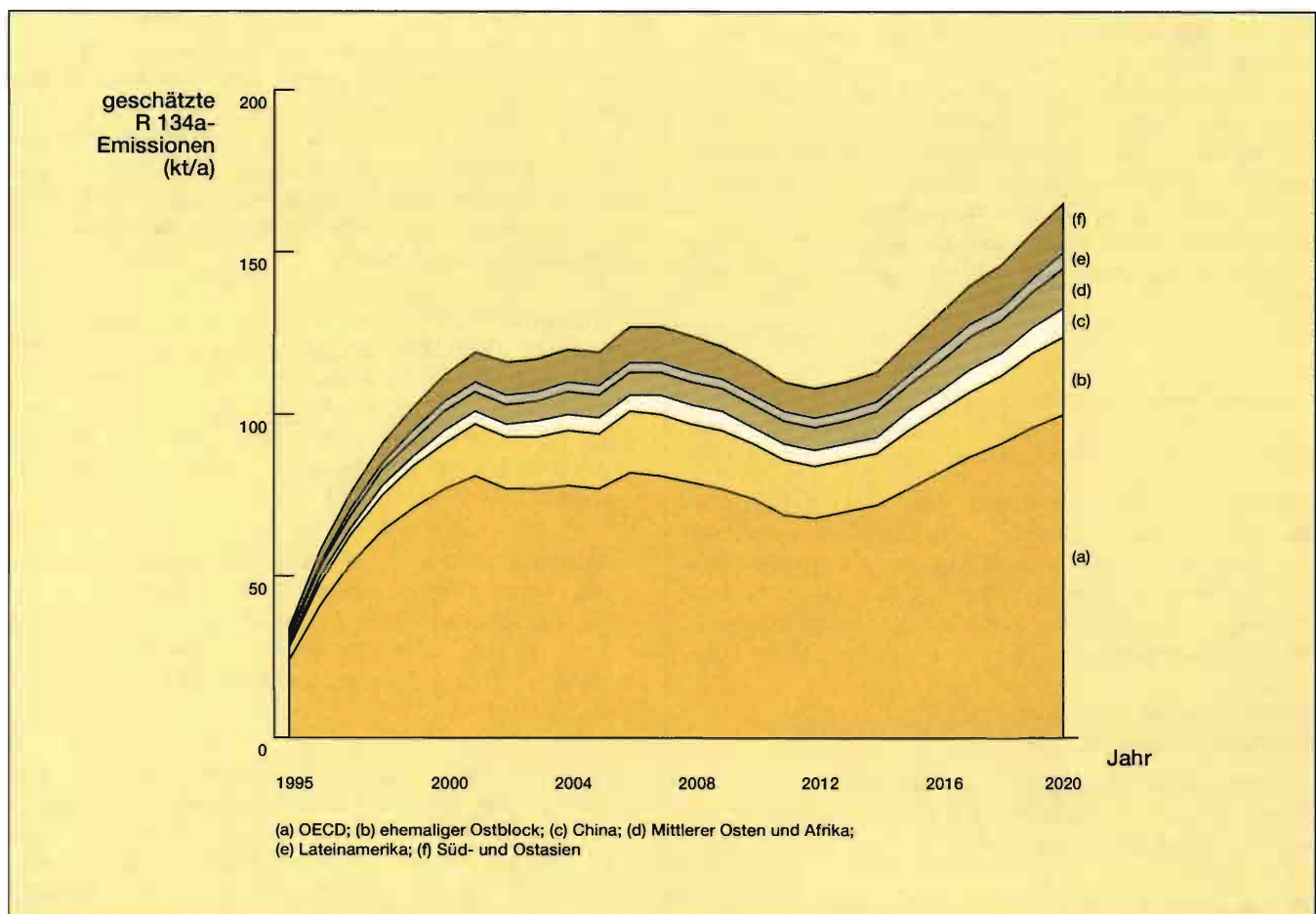


Abbildung 4.3.3.2 Geschätzte zeitliche Entwicklung der globalen Emissionen von R 134 a und deren Aufteilung auf verschiedene Regionen der Welt (nach McCulloch).

### Ozonerstörungspotential

Im Gegensatz zu chlor- und bromhaltigen Verbindungen, wie FCKW und Halone, sind fluorierte Verbindungen wie H-FKW grundsätzlich nicht ozonschädigend. Die kürzlich aufgetretene Vermutung, daß CF<sub>3</sub>-Gruppen enthaltende H-FKW, einschließlich R 134 a, über die Chemie von CF<sub>3</sub>O<sub>x</sub>-Radikalen das stratosphärische Ozon abbauen, konnte in neueren Untersuchungen nicht bestätigt werden (Zellner et al., 1993). Die endgültige Bewertung dieses Ergebnisses ist Gegenstand von z.Zt. laufenden Modellrechnungen im Rahmen des AFEAS-Programms.

Die hier betrachteten Alternativstoffe *Propan* und *iso-Butan* haben keinerlei Relevanz für das stratosphärische Ozon, da sie aufgrund ihrer Kurzlebigkeit nicht in diesen Bereich der Atmosphäre vordringen können.

### Treibhauspotential

Die ökologischen Eigenschaften von R 134 a sind in den letzten Jahren durch das AFEAS-Programm intensiv untersucht worden (WMO, 1992; Fischer et al., 1991). Nach heutigem Kenntnisstand ist dabei dem Treibhauspotential die größte Bedeutung beizumessen.

Das Treibhauspotential von klimawirksamen Spurengasen wird durch Modellrechnungen zur Strahlungsenergieübertragung im Bereich der Tropopause ermittelt. Treibhauspotentiale sind abhängig von den Absorptionseigenschaften der Spurengase im Bereich des sog. atmosphärischen Fensters der terrestrischen Wärmestrahlung (9 bis 13 µm) und werden vereinbarungsgemäß relativ zu CO<sub>2</sub> berechnet und als (relative) GWP (Global Warming Potential)-Werte angegeben. Der GWP-Wert von CO<sub>2</sub> wird definitionsgemäß gleich 1 gesetzt.

Das Ausmaß, mit dem ein klimawirksames Spurengas das Erdklima beeinflussen kann, hängt neben seinen Absorptionseigenschaften auch von der Zeitdauer ab, über die es seine Klimawirkung entfalten kann. Diese Zeitdauer wird bestimmt durch die Geschwindigkeit der Abbauprozesse. Für R 134 a beträgt die Lebensdauer, d. h. die Zeit, über die die ursprüngliche Konzentration auf den Bruchteil 1/e (ca. 37 %) abgefallen ist, ca. 16 Jahre. FCKW und CO<sub>2</sub> haben erheblich längere Lebensdauern (s. Tab. 4.3.3.2). Als Folge dieser unterschiedlichen Lebensdauern wird die Klimawirkung auf unterschiedlich lange Zeiträume ausgedehnt (s. Abb. 4.3.3.3). Die GWP-Werte, die sich auf der Basis gleicher emittierter Mengen berechnen, sind deshalb zeitabhängig (s. Tab. 4.3.3.2). Da die Bezugsgröße in jedem Falle CO<sub>2</sub> ist, sind die GWP-Werte von relativ kurzlebigen Spurengasen wie R 134 a in den ersten Jahrzehnten nach der Emission am höchsten, d. h. ihr Beitrag wird in diesem Zeitbereich am stärksten erfaßt. CO<sub>2</sub> selbst dagegen wirkt aufgrund seiner langen Lebensdauer noch deutlich über diesen Zeitrahmen hinaus. Dieser Aspekt ist u. a. bei der Berechnung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten und TEWI-Werten von Bedeutung (s. Kap. 4.3.3.3.3).

Der absolute Beitrag von einzelnen Spurengasen zum Treibhauseffekt zu jedem beliebigen Zeitpunkt ist neben den Strahlungseigenschaften von den aktuellen Konzentrationen abhängig. Für R 134 a berechnet sich auf der Grundlage des angegebenen Emissionszenarios für das Jahr 2020 ein Mischungsverhältnis von 100 bis 200 pptv und ein „Strahlungsantrieb“ von 0,01 bis 0,03 W/m<sup>2</sup> (KDRs 12/6 d, McCulloch). Da der Strahlungsantrieb aller anthropogenen Spurengase zu diesem Zeitpunkt mit etwa 2 W/m<sup>2</sup> abgeschätzt wird, beträgt der Anteil des R 134 a ca. 1 %. Ungünstigere Annahmen würden zu einem geschätzten Beitrag von ca. 2 % führen. R 134 a spielt also global gesehen für den wichtigen Zeitraum der nächsten 30 Jahre keine bedeutende Rolle für den zusätzlichen, anthropogenen Treibhauseffekt. Für die Bundesrepublik Deutschland ist dieser Anteil im Hinblick auf das Einsparungspotential bei klimawirksamen Spurengasen dennoch zu berücksichtigen.

Die geringe Bedeutung von R 134 a für die bevorstehende Erderwärmung ergibt sich auch aus einer Betrachtung seiner CO<sub>2</sub>-Äquivalente. Geht man beispielsweise für die Bundesrepublik Deutschland von einer jährlichen Anwendungsmenge von 8 700 Tonnen aus (s. Tab. 4.3.3.1.), so entspricht dies im extremen Fall einer 100%igen Freisetzung etwa 10 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (Zeithorizont 100 Jahre, Umrechnungsfaktor 1 200). Zum Vergleich: Die derzeitige Gesamt-CO<sub>2</sub>-Emission der Bundesrepublik beträgt ca. 1 Milliarde Tonnen, d. h. sie ist um einen Faktor 100 größer. Das angestrebte Einsparziel bis zum Jahr 2005 beträgt ca. 250 Millionen Tonnen. Der prognostizierte R 134 a-Anteil liegt damit bei etwa 4 % dieser Zielvorgabe.

Eine entscheidende Frage für die Berechnung solcher Äquivalente ist der gewählte Zeithorizont. Wie oben ausgeführt wurde, hat CO<sub>2</sub> eine deutlich längere Lebensdauer als R 134 a. Nur ein Zeithorizont in der Größe dieser Lebensdauer (100 bis 200 Jahre) kann deshalb auch die integrale Klimawirkung des Äquivalents CO<sub>2</sub> richtig erfassen. Ein kürzerer Zeithorizont der Bewertung (z. B. 20 oder 50 Jahre) mag im Hinblick auf den politischen Handlungsbedarf zur Eindämmung des Treibhauseffektes sinnvoller erscheinen, er überschätzt aber den Beitrag der kürzer lebenden Spurengase wie R 134 a. Ein erhellendes Beispiel im Hinblick auf die Diskussion um CO<sub>2</sub>-Äquivalente ist der Vergleich mit den FCKW: Der Verzicht von 50 000 Tonnen FCKW, die in der Bundesrepublik noch 1988 verbraucht und emittiert wurden, entspricht der Einsparung einer äquivalenten CO<sub>2</sub>-Menge von mindestens 250 Millionen Tonnen, also rund einem Viertel der derzeitigen CO<sub>2</sub>-Emission(!).

Die alternativen Ersatzstoffe *Propan* und *iso-Butan* tragen nicht direkt zum Treibhauseffekt bei. Ihre atmosphärischen Lebensdauern sind extrem kurz (10 bzw. 5 Tage), so daß diese Kohlenwasserstoffe bereits in den unteren Luftschichten abgebaut werden und ihre Konzentrationen aufgrund der geringen Emissionen aus den hier betrachteten Anwendungen im sub-pptv-Bereich bleiben. Indirekt klimawirksam sind jedoch die Nebenprodukte der Photooxidation, wie z. B. gebildetes Ozon (s. u.).



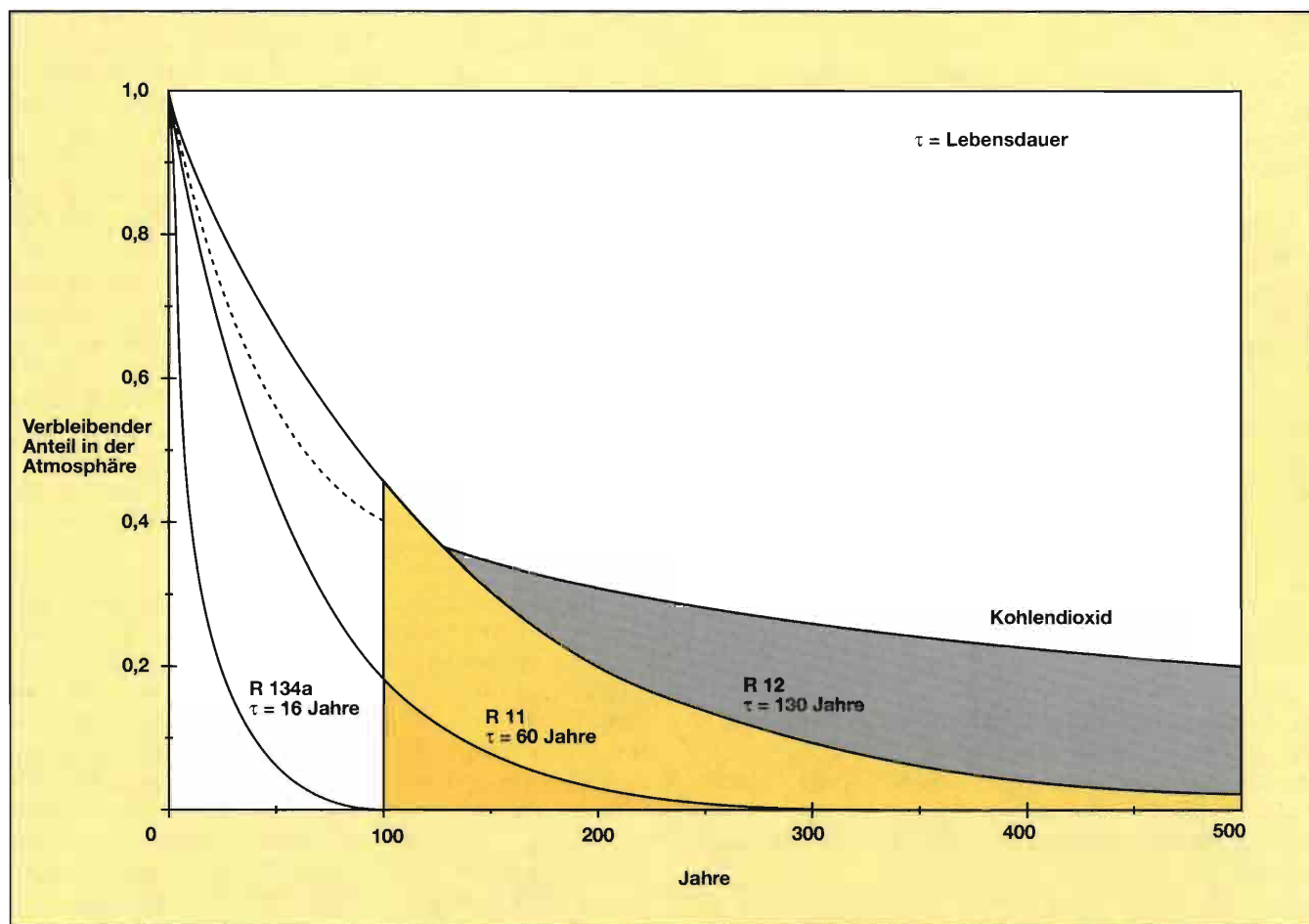


Abbildung 4.3.3.3 Zeitlicher Verlauf der atmosphärischen Konzentration von  $\text{CO}_2$ , FCKW 12 und R 134 a, nachdem gleiche Mengen dieser Gase zum Zeitpunkt Null emittiert worden sind (nach Fischer et al., 1991). Im Gegensatz zu R 134 a sind für  $\text{CO}_2$  und FCKW 12 selbst nach 100 Jahren noch erhebliche Mengen vorhanden.

#### Atmosphärischer Abbau

Der Abbau von R 134 a in der Atmosphäre erfolgt durch Reaktion mit OH-Radikalen. Auf der Basis einer mittleren globalen OH-Konzentration von ca.  $10^5 \text{ cm}^3$  und der Geschwindigkeitskonstanten für diese Reaktion berechnet sich eine Lebensdauer von ca. 16 Jahren. Die Produkte des Abbaus von R 134 a sind Fluorwasserstoff (HF), Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) und Trifluoressigsäure (TFA).

HF und TFA werden durch nasse Deposition rasch aus der Atmosphäre entfernt. Beide Abbauprodukte erreichen bei der prognostizierten Emissionsmenge von R 134 a (s. Abb. 4.3.3.2) keine relevanten Atmosphärenkonzentrationen ( $<1 \text{ ppt}$ ). Abschätzungen der Depositionsmengen von HF im Regenwasser ergeben Werte von  $0,04 \text{ mg/l}$  (Europa). Sowohl der auf der Grundlage des o. g. Emissionsszenarios ermittelte Fluorid-Eintrag als auch der Beitrag zum sauren Regen sind damit aus heutiger Sicht vernachlässigbar (KDRs 12/6 e, Franklin).

TFA und seine Salze sind sehr leicht löslich, so daß sie sich nahezu vollständig in der Hydrosphäre ansammeln. Bei dem o. g. Emissionsszenario für R 134 a wird eine Konzentration von weniger als  $1 \text{ ppbv}$  im Regenwasser erwartet. Abbauege durch chemische und biochemische Reaktionen sind bisher nicht bekannt.

Eine Anreicherung von TFA im aquatischen Bereich kann deshalb nicht ausgeschlossen werden. Das Abbau- und Verteilungsverhalten von TFA wird derzeit im Rahmen neuer Forschungsprojekte des AFEAS-Programms untersucht. Weitere Arbeiten über den Einfluß des Stoffes auf Pflanzen sind nötig (KDRs 12/6 e, Franklin). Auch die Auswirkungen von R 134 a und seiner Abbauprodukte auf die Steinlaus sind bislang nicht abschließend geklärt (Mierscheid, 1993). Das Risikopotential von TFA ist daher z. Zt. nicht vollständig abschätzbar.

Die Kohlenwasserstoffe *Propan* und *iso-Butan* werden vergleichsweise schnell in die Abbauprodukte Wasser ( $\text{H}_2\text{O}$ ) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ) umgewandelt. Als Zwischen- und Nebenprodukte entstehen Photooxidantien wie Peroxynitrate und Ozon.

#### Ozonbildung in der Troposphäre

Ähnlich wie bei anderen Kohlenwasserstoffen, die in der Troposphäre oxidiert werden, kann der Abbau von R 134 a in Gegenwart von Stickoxiden zur sonnenlichtinduzierten Bildung von Ozon führen. Es konnte aber gezeigt werden, daß R 134 a praktisch keinen Beitrag zum Photosmog liefert, da die geringere Reaktivität zu einer gleichmäßigen Durchmischung in der Troposphäre führt, und die Oxidation auf einem sehr niedrigen Konzentrationsniveau erfolgt (WMO,

Tabelle 4.3.3.2

**Lebensdauer und GWP-Werte für R 134 a, FCKW 11, FCKW 12 und CO<sub>2</sub> für verschiedene Zeithorizonte  
(Fischer et al., 1991)**

CO <sub>2</sub>	Lebensdauer (Jahre)	GWP-Werte (Zeithorizonte in Jahren)				
		20	50	100	300	500
CO <sub>2</sub> . . . . .	100—200	1	1	1	1	1
FCKW 11 ..	60	4 500	4 200	3 500	2 100	1 500
FCKW 12 ..	130	7 100	7 500	7 300	5 800	4 500
R 134 a . . . .	16	3 200	2 000	1 200	570	420

1991). Dabei gebildetes Ozon ist unbedeutend im Vergleich zur Hintergrundbelastung.

Die Situation ist anders bei *Propan und iso-Butan*. Aufgrund ihrer kurzen Lebensdauern werden diese Stoffe in der Nähe der Emissionsquelle, also bei relativ hoher Konzentration, oxidiert. Dies führt zu lokal hohen Konzentrationen von Photooxidantien, einschließlich Ozon.

Allerdings sind die Gesamtmengen der Emissionen sowohl von R 134 a als auch von Propan/iso-Butan aus dem Kältemittelsektor im Vergleich zu anderen Kohlenwasserstoffemissionen so gering, daß eine Auswirkung auf die Bildung von troposphärischem Ozon insgesamt vernachlässigbar ist (KDRs 12/6 b, Brühl).

#### Toxikologische Relevanz

Ausführliche toxikologische Studien über R 134 a wurden vom PAFT-Konsortium durchgeführt. Nach heutigem Kenntnisstand können folgende Aussagen getroffen werden (KDRs 12/6 c, Rusch):

- R 134 a weist eine sehr geringe akute und subakute Toxizität auf
- R 134 a wird in sehr geringem Maß (ca. 0,1 %) im Körper metabolisiert
- Gutartige Tumore an den Keimdrüsen treten erst bei sehr hohen Konzentrationen auf (5 % in Atemluft, zwei Jahre, untersucht an Ratten)
- Teratogene Effekte wurden nicht festgestellt
- R 134 a ist nicht mutagen.

Das toxische Potential von R 134 a kann daher nach heutigem Kenntnisstand als gering eingestuft werden.

Die Toxikologie von Propan und iso-Butan wurde bislang nur unzureichend untersucht, so daß eine eindeutige Beurteilung nicht möglich ist. Dosis-Wirkung-Überlegungen sowie die bisherigen Erfahrungen mit diesen Stoffen weisen jedoch auf ein geringes Gefährdungspotential hin. Zudem werden Propan und iso-Butan innerhalb weniger Tage nach ihrer Freisetzung abgebaut (KDRs 12/6 f, BGA).

#### 4.3.3.3 Ökologische Relevanz in den Anwendungsbereichen

Die sich unter dem ökologischen Teilaspekt des Leitbildes Sustainable Development ergebenden Problemfelder innerhalb der Anwendungsbereiche von R 134 a, die im Rahmen der Anhörung diskutiert wurden, sind im folgenden Abschnitt zusammengefaßt.

##### Haushaltskühlschrank

Im Anwendungsbereich Haushaltskühlschrank wurde der Einsatz des Fluorkohlenwasserstoffs R 134 a mit dem Kohlenwasserstoff-Gemisch Propan/iso-Butan als Kältemittel verglichen.

##### Energieverbrauch

Die Frage nach dem Energieverbrauch eines Kühlschranks interessiert aus ökologischer Sicht aus zwei Gründen: Zum einen verursacht er derzeit einen Verbrauch an nicht erneuerbaren Ressourcen, zum anderen trägt er über die CO<sub>2</sub>-Emissionen zum Treibhauseffekt bei. Dieser Aspekt ist um so bedeutungsvoller, als die Haushaltskälte mit mehr als 20 % am Gesamtstromverbrauch der Privathaushalte beteiligt ist.

Betrachtet man überschlägig den Energieverbrauch, der durch die Rohstoffgewinnung, die Produktion, den Betrieb sowie die Entsorgung eines Kühlschranks bedingt ist, zeigt sich, daß der Betriebsenergieverbrauch mit dem weitaus größten Anteil zu Buche schlägt. Bezogen auf eine Gebrauchsdauer von 15 Jahren kann von einem Richtwert in der Höhe von deutlich über 90 %, bei neuen Geräten von ca. 90 %, ausgegangen werden (nach: Hofstetter, 1992, S. 355).

Der Betriebsenergieverbrauch unterliegt jedoch in den einzelnen Sektoren von Haushaltskältemöbeln einer großen Spannbreite. Bei gleicher Größenordnung, Geräteklasse (z. B. Kühl- oder Gefrierschränke) und Ausstattung variiert er bezogen auf 100 Liter Nutzvolumen und Tag — unabhängig vom verwendeten Kältemittel — bis zu einem Faktor 5 (Michael, 1993). Die entscheidende Größe, die den Betriebs-

energieverbrauch beeinflusst, ist also die Art der Isolierung.

Ob hinsichtlich des Betriebsenergieverbrauchs Unterschiede zwischen den betrachteten Systemen bestehen, konnte nicht abschließend geklärt werden, da vergleichende Untersuchungen unter exakt definierten und einheitlichen Versuchsbedingungen (z. B. gleiche Wärmedämmsysteme) nicht vorliegen. Allerdings wies der Sachverständige Heinrich während der nicht öffentlichen Anhörung am 18. Mai 1993 darauf hin, daß die zu vergleichenden Systeme bei zumindest einem Hersteller den gleichen Betriebsenergieverbrauch aufweisen.

### Treibhauseffekt

Der Beitrag zum Treibhauseffekt, der durch den Betrieb eines Haushaltskühlschranks über seine gesamte Lebensdauer ausgelöst wird, setzt sich aus dem indirekten Beitrag des Kohlendioxids (CO<sub>2</sub>), das aufgrund des Stromverbrauchs freigesetzt wird, sowie dem direkten Beitrag des emittierten Kältemittels und des Dämmgases für die Isolierung zusammen. Einflußfaktoren sind unter anderem der Betriebsenergieverbrauch, die Füllmenge des Kältemittels sowie die Menge des Dämmgases, die Freisetzungsraten des Kältemittels und des Dämmgases sowie die Lebensdauer des Gerätes.

Eine Berechnungsmethode zur Ermittlung des Beitrags zum Treibhauseffekt, die sowohl den stofflichen als auch den energetischen Beitrag berücksichtigt, ist der TEWI (Total Equivalent Warming Impact = Äquivalenter Gesamtbeitrag zum Treibhauseffekt, s. auch Glossar). TEWI ist definiert als eine äquivalente CO<sub>2</sub>-Menge, die denselben Erwärmungseffekt der Erde erzeugen würde, wie die Summe aus CO<sub>2</sub>-Emission durch Energieerzeugung und direkte Emission des Kälte- und Isoliermittels.

Im Rahmen des AFEAS-Programms wurden TEWI-Daten für eine Vielzahl von Kühlsystemen einschließlich der Haushaltskühlschränke berechnet (Fischer et al., 1991). Bei einem durchschnittlichen europäischen Kühlschrank mit Gefrierfach, einem Nutzvolumen von 230 Litern und einer elektrischen Betriebsenergieaufnahme von ca. 500 kWh im Jahr über eine typische Lebensdauer von 15 Jahren und bei 100%iger Freisetzung des Kältemittels und der Dämmgase, beträgt der TEWI 4 000 bis 5 000 kg CO<sub>2</sub>. Der TEWI-Wert wird eindeutig dominiert durch die indirekten Emissionen von CO<sub>2</sub> über die Energieaufnahme. Der Anteil des Kältemittels R 134 a liegt nur in der Größenordnung 1 bis 4% (bezogen auf einen Zeithorizont von 500 bzw. 100 Jahren); er erhöht sich aber um weitere 2 bis 3%, wenn teilhalogenierte H-FCKW in den Isolierschäumen verwendet werden (s. Abb. 4.3.3.4).

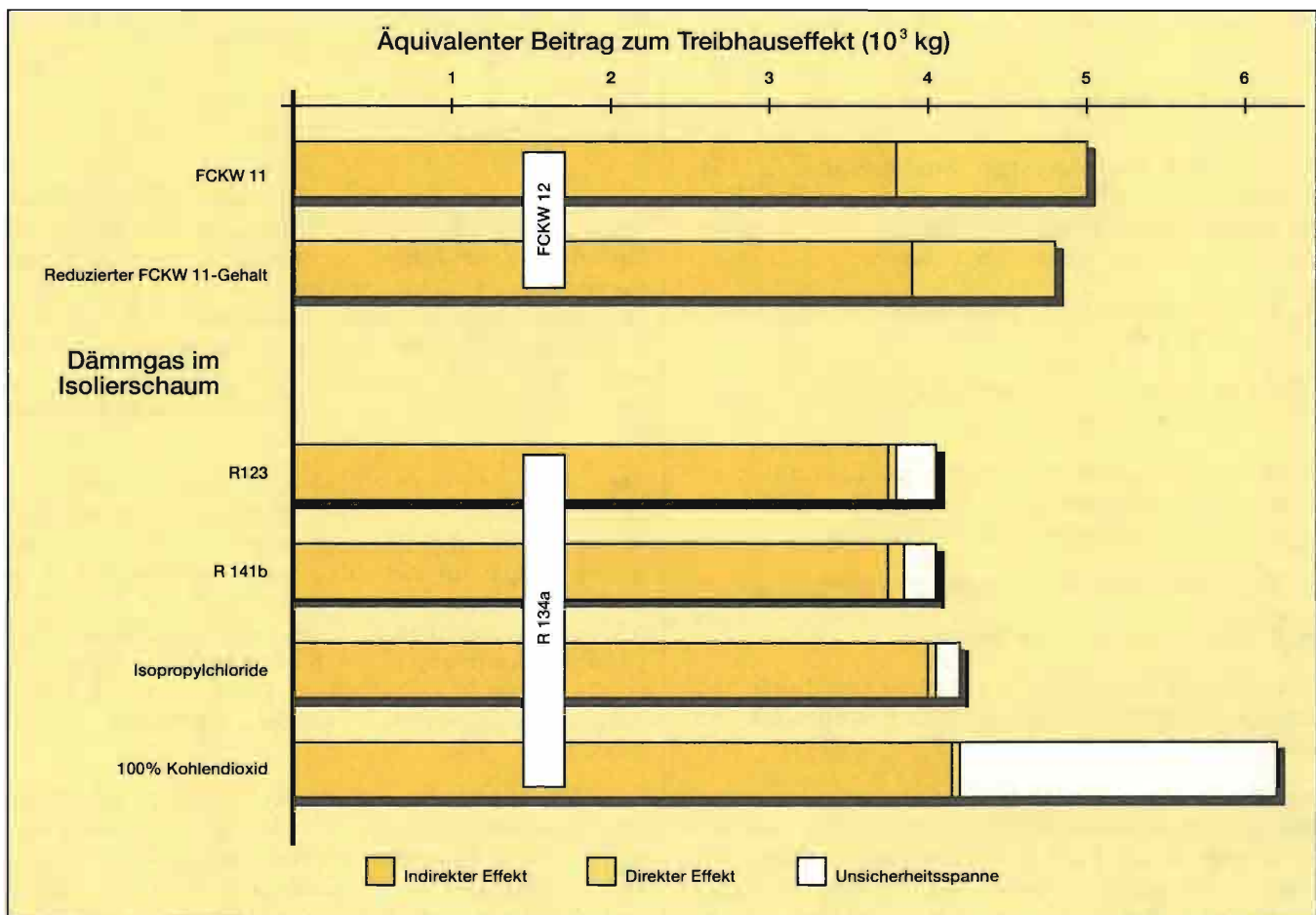


Abbildung 4.3.3.4 Berechnete äquivalente Gesamtbeiträge zum Treibhauseffekt (TEWI) für einen typischen europäischen Haushaltskühlschrank mit FCKW 12 bzw. R 134a als Kältemittel. Die verschiedenen Balken beziehen sich auf unterschiedliche Isolierschäume (Fischer et al., 1991).

Diese Berechnungen der TEWI-Werte gelten für Zeithorizonte von 100 bzw. 500 Jahren. Wegen der starken Dominanz der indirekten CO<sub>2</sub>-Beiträge sind die TEWI-Werte praktisch unabhängig vom Zeithorizont. Der Treibhauseffekt ist nach diesen Berechnungen am effektivsten durch Reduzierung des Betriebsenergieverbrauchs zu verringern.

Ein systematischer Vergleich zwischen den Varianten R 134a und Propan/iso-Butan, der sowohl die indirekte, aus dem Stromverbrauch resultierende CO<sub>2</sub>-Kraftwerksemission, als auch die Direktemission des Kältemittels und des Dämmgases in der Isolierung berücksichtigt, wurde bislang aufgrund des fehlenden Betriebsenergie-Vergleichs zwischen den betrachteten Systemen nicht durchgeführt.

### Recycling und Entsorgung

Der Anteil des R 134a am Treibhauseffekt aus dem Bereich der Haushaltskühlschränke kann weiter reduziert werden, wenn es gelingt, die Freisetzungsraten bei ausgedienten Geräten zu vermindern. Dabei spielt zum einen die Erfassungsquote der Altgeräte, zum anderen die Rückgewinnungsrate des Kältemittels bzw. des Dämmgases aus den angelieferten Geräten eine Rolle.

In der Bundesrepublik Deutschland ist die Erfassungsquote bislang noch gering, da die Sammlung überwiegend — aber nicht lückenlos — auf freiwilliger Basis von den Kommunen sowie vom Handel durchgeführt wird. Eine Änderung wird jedoch durch die geplante Rücknahmeverpflichtung für „Weiße Ware“ (Elektronikschrott-Verordnung) eintreten.

Allerdings werden auch bei guter Recycling-Infrastruktur lediglich über die Stufen „Sammlung der Geräte“ und „Rückgewinnung des Kältemittels“ Recyclingraten von 50 % (mündliche Stellungnahme von Luppe während der öffentlichen Anhörung am 3. und 4. Dezember 1992) bzw. von 50 bis maximal 70 % (KDRs 12/6f, Wollny) als realisierbar eingeschätzt. Dabei beträgt die Rückgewinnungsrate aus den angelieferten Geräten im besten Fall etwa 90 %. Von einem vollständig geschlossenen Stoffkreislauf kann daher auch unter verbesserten Bedingungen nicht ausgegangen werden.

Erste Erfahrungen mit einem flächendeckenden Recycling liegen aus der Schweiz vor. Dabei zeigt sich, daß aufgrund defekter Kühlkreisläufe bei einigen der angelieferten Geräte sowie der oft nicht hundertprozentigen FCKW-Rückgewinnung im Durchschnitt nicht mehr als 50 % der ursprünglichen Füllmenge zurückgewonnen werden (KDRs 12/6d, Hofstetter).

Bei der Bewertung von R 134a in Entwicklungsländern ergaben sich *innerhalb der Enquete-Kommission folgende unterschiedliche Einschätzungen:*

— Die R 12-Technologie, die z. Zt. auch in den Entwicklungsländern benutzt wird, entspricht in Handhabung und Anpassung der R 134a-Technologie. Die Sicherheitsbedürfnisse in diesen Län-

dern dürfen nicht geringer eingeschätzt werden als in den Industriestaaten. Die Verhältnisse in den Entwicklungsländern sind kein Hinderungsgrund für Einsatz und Recycling von R 134a. Vielmehr ist eine Rückgewinnung des Kältemittels in diesen Ländern aus ökonomischen Gründen wahrscheinlich.

versus:

— Bei der Beurteilung von Alternativstoffen und -technologien sind generell die Entwicklungsbedürfnisse der sog. Dritten Welt und deren Bedürfnisse nach angepaßten, einfach zu handhabenden Technologien zu berücksichtigen. Aufbau und Funktionieren einer Rücknahmekette sowie ordnungsgemäße Entsorgung bzw. Recycling sind aufgrund geringer finanzieller Mittel und mangelnder Akzeptanz unwahrscheinlich. Andere Ersatzstoffe bzw. -technologien (z. B. Propan/iso-Butan) sind für den Einsatz in diesen Ländern eher geeignet als R 134a.

Die o. g. Erfassungsquoten sind auch auf Haushaltskühlschränke mit dem Kältemittelgemisch Propan/iso-Butan übertragbar. Hier wird eine Rückgewinnungsrate des Kältemittels in den angelieferten Geräten von maximal 90 % angegeben. Allerdings wird ein Recycling des Propan/iso-Butan-Kältemittelgemisches für entbehrlich gehalten.

### Sicherheit

R 134a ist nicht brennbar und stellt bei Anwendung und Recycling kein Sicherheitsrisiko dar.

Die Brennbarkeit der Kohlenwasserstoffe erfordert die üblichen Sicherheitsvorkehrungen im Umgang mit brennbaren und explosionsfähigen Stoffen. Eine Studie des Engler-Bunte-Instituts der Universität Karlsruhe errechnet eine Wahrscheinlichkeit von  $3,2 \times 10^{-7}$  für einen Kältemittelbrand pro Kühlschrank und Jahr bei Verwendung des brennbaren Fluorkohlenwasserstoff R 152a. Das entspricht einer Anzahl von 6 bis 7 Kühlschrankbränden pro Jahr bei 20 Millionen Haushaltskühlgeräten in Deutschland (alte Bundesländer) beim vollständigen Ersatz von R 12 durch R 152a (KDRs 12/6c, Lotz). Das Gefährdungspotential von Kohlenwasserstoffen wird ähnlich gering eingestuft. Auch die geringen Füllmengen sowie die Erfahrungen, die mit dem Einsatz von Propan und Butan im Bereich der Konsumentensprays vorliegen, sprechen für die Eignung von Kohlenwasserstoffen in Haushaltskühlschränken.

Insgesamt ist das Sicherheitsrisiko durch das Kältemittelgemisch Propan/iso-Butan im Haushalts-Kühlschrank so gering einzustufen, daß es keinen Hinderungsgrund für den Einsatz in diesem Anwendungsbereich darstellt. Eine Ausnahme bildet die in den USA und Japan verbreitete NOFROST-Technologie, bei der aufgrund der Abtauautomatik ständig Zündungen stattfinden.

## Autoklimaanlage

Im Anwendungsbereich Autoklimaanlage wurde eine Kaltdampf-Kompressionsanlage mit R 134 a als Kältemittel einer Zeolith-Wasser-Sorptionsanlage gegenübergestellt.

### Energieverbrauch

Der Energieverbrauch einer Autoklimaanlage setzt sich aus dem Benzin-Mehrverbrauch aufgrund des zusätzlichen Transportgewichtes sowie des Benzin-Mehrverbrauchs aufgrund des Betriebs der Anlage zusammen. Bei der Bestimmung dieser Daten spielen eine Vielzahl von Parametern eine Rolle.

Dazu zählen bei der R 134a-Anlage zunächst der Motorwirkungsgrad sowie die Leistungsaufnahme. Der Betriebsenergieverbrauch einer Zeolith/Wasser-Sorptionsanlage wird durch den mittleren thermischen Leistungsbedarf bestimmt. Dieser kann teilweise über die Abgaswärme des Motors gedeckt werden. Reicht die Abgaswärmemenge aufgrund eines zu niedrigen Betriebszustandes nicht aus, wird ein Zusatzbrenner eingeschaltet. Entscheidend ist also der Prozentsatz der Energie, der beim Betrieb der Autoklimaanlage aus der Abgaswärme bereitgestellt wird. Zusätzlich wird bei der Zeolith/Wasser-Sorptionsanlage ein Umluftgebläse betrieben.

Für die Berechnung des Betriebsenergieverbrauchs müssen außerdem bei beiden Systemen Annahmen über die Betriebsstunden pro Jahr, die Gebrauchsdauer des Autos, über die Verteilung der verschiedenen Betriebszustände (z. B. bei Stop-and-Go-Verkehr oder bei Autobahnfahrten) sowie den Wirkungsgrad des Verbrennungsmotors getroffen werden.

Anders als bei den Haushaltskühlschränken gibt es für Autoklimaanlagen keine systematische Methode zur Abschätzung des Energieverbrauchs während der Gebrauchsphase (KDRs 12/6 d, Fairchild). Die Berechnungsgrundlagen und Versuchsvoraussetzungen, die den bisher vorgelegten Berechnungen zugrunde liegen, bieten daher den beteiligten Akteuren in der Diskussion um die Vor- und Nachteile der verschiedenen Systeme immer wieder Anlaß für Zweifel an den jeweiligen Ergebnissen.

Ein zusätzliches Problem beim Vergleich der betrachteten Systeme stellt der unterschiedliche Entwicklungsstand dar. Während sich die Zeolith/Wasser-Sorptionsanlage noch in der Entwicklungsphase befindet, wird die R 134a-Autoklimaanlage bereits hergestellt. Gleichzeitig wird an ihrer technischen Optimierung gearbeitet.

Die während der Anhörung vorgetragenen Berechnungen kamen aufgrund der dargestellten Unsicherheitsfaktoren zu sehr unterschiedlichen Ergebnissen. Im Nachgang zu der öffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission am 3. und 4. Dezember 1992 fand ein Treffen zwischen Vertretern des Verbandes der Automobilindustrie (VDA) sowie dem Unternehmen statt, das an der Entwicklung der Zeolith/Wasser-Sorptionsanlage arbeitet (Zeo-Tech GmbH). Ziel war die Angleichung der Berechnungsgrundla-

gen. Eine Einigung konnte jedoch nicht erreicht werden. So schwanken die Angaben über den Primärenergieverbrauch über die gesamte Gebrauchsdauer von 10 Jahren bei einer R 134a-Autoklimaanlage zwischen 11 700 kWh (Nonnenmann, VDA) und 14 500 kWh (Schwarz, Zeo-Tech GmbH) sowie bei einer Zeolith/Wasser-Sorptionsanlage zwischen 5 600 kWh (Schwarz, Zeo-Tech GmbH) und 19 400 kWh (Nonnenmann, VDA) ohne Berücksichtigung des höheren Volumens und Gewichtes dieses Anlagentypes. Der Grund für die unterschiedlichen Ergebnisse bei der Zeolith/Wasser-Sorptionsanlage liegt in erster Linie in den stark voneinander abweichenden Annahmen über den Anteil der Abgaswärme-Nutzung.

Fairchild (KDRs 12/6 d) gibt einen jährlichen Benzin-Mehrverbrauch von 69 bis 77 Litern — unter Berücksichtigung sowohl des Gewichts als auch der Leistungsaufnahme — durch den Betrieb einer R 134a-Autoklimaanlage an (bei einer Fahrstrecke von 13 200 km pro Jahr). Das entspricht einem Betriebsenergieverbrauch zwischen etwa 6 200 kWh und 6 900 kWh über einer Gebrauchsdauer von 10 Jahren. Diese Werte unterschreiten sowohl die Ergebnisse von Schwarz als auch die von Nonnenmann. Für eine Zeolith/Wasser-Sorptionsanlage legte Fairchild keine Daten vor.

### Treibhauseffekt

Wie bei Haushaltskühlschränken setzt sich der Beitrag zum Treibhauseffekt, der durch den Betrieb einer Kaltdampf-Kompressionsanlage auf der Basis von R 134a entsteht, aus den spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen aufgrund des zusätzlichen Energieverbrauchs sowie den Direktmissionen des Kältemittels zusammen. Nach entsprechenden Berechnungen ist der TEWI einer typischen R 134a-Autoklimaanlage in Europa vergleichbar mit dem TEWI-Wert eines durchschnittlichen Haushaltskühlschranks. Allerdings wird der TEWI der Autoklimaanlage in viel stärkerem Maße durch die Kältemittel-Freisetzung (Anteil ca. 20 bis 40 %) bestimmt als beim Kühlschrank. Aus demselben Grunde dominiert in der abzulösenden R 12-Technologie das Kältemittel den TEWI-Wert mit einem Beitrag von ca. 10 000 kg CO<sub>2</sub> allein aus diesem Sektor. Eine Umstellung von R 12 auf R 134a entspricht also einer TEWI-Einsparung dieser Größenordnung. Bei der Zeolith/Wasser-Sorptionsanlage ist allein der Energieverbrauch ausschlaggebend, da das System mit dem Kältemittel Wasser arbeitet.

Der Vergleich des Treibhauseffektes, der durch den Betrieb der verschiedenen Systeme entsteht, ist aufgrund der unterschiedlichen Annahmen über den Energieverbrauch z. Zt. nicht möglich. Zusätzlich weichen die Einschätzungen über die zu erwartenden Emissionsminderungen bei der R 134a-Autoklimaanlage voneinander ab.

Bisher wurde pro Autoklimaanlage bei einer Gebrauchsdauer von 11 Jahren und einer Füllmenge von 1,3 kg eine Freisetzung von 5 bis 6 kg des Kältemittels verzeichnet. Diese Menge setzte sich nach Angaben von Nonnenmann wie folgt zusammen:



Emissionen während der Gebrauchsphase: 4,4 kg  
 Kältemittelfreisetzung bei der bisherigen  
 Praxis der Altauto-Verschrottung: 1,3 kg  
 (100 %ige Freisetzung der Füllmenge)

Durch Verringerung von Verlusten bei Serviceleistungen, Verringerung der Kältemittelmenge und Absaugen des Kältemittels bei ausgedienten Fahrzeugen können die Emissionen bei Neuwagen nach Herstellerangaben auf unter 2 kg gesenkt werden. Vergleicht man diese geschätzte Freisetzungsmenge mit den durchschnittlichen Kältemittellemissionen aus einem typischen europäischen Haushaltskühlschrank mit Gefrierfach (30 bis 50 % bzw. 38 bis 64 g), so wird allein aus einer Autoklimaanlage ebensoviel Kältemittel freigesetzt wie aus etwa 30 bis 50 Kühlschränken. Weitere Optimierungspotentiale zur Verringerung von Kältemittelverlusten bei der Autoklimaanlage können durch Verbesserung der Dichtigkeit ausgeschöpft werden. Welche Werte tatsächlich erreicht werden können, wird unterschiedlich beurteilt.

Aus den Energieverbrauchsdaten von Fairchild (KDRs 12/6d) ergibt sich für R 134a-Autoklimaanlagen ein TEWI von 3 660 kg CO<sub>2</sub>-Äquivalente bei einer bisherigen Freisetzungsrate von 3,6 kg R 134a bzw. von 2 270 kg CO<sub>2</sub> bei einer zukünftig zu erreichenden Freisetzungsrate von 1,1 kg (Zeithorizont von 500 Jahren). Werden die Daten zur besseren Vergleichbarkeit mit den Angaben von Schwarz und Nonnenmann auf einen Zeithorizont von 100 Jahren umgerechnet, ergibt sich ein CO<sub>2</sub>-Äquivalent zwischen etwa 3 200 und 6 200 kg. Das bedeutet über die gesamte Gebrauchsdauer eines Autos zusätzliche klimarelevante Emissionen, die der Verbrennung von etwa 1 400 bis 2 700 Litern Benzin entsprechen. Bei einem durchschnittlichen Benzinverbrauch von 10 Litern pro 100 km Fahrleistung entspricht dieser Mehrverbrauch einer Strecke von 14 000 bis 27 000 Kilometern

Die Angaben über den TEWI auf der Basis der oben angegebenen Betriebsenergieverbräuche schwanken bei der R 134a-Autoklimaanlage zwischen etwa 4 200 (Nonnenmann, VDA) und 5 500 kg CO<sub>2</sub> (Schwarz, Zeo-Tech GmbH) sowie bei der Zeolith/Wasser-Sorptionsanlage zwischen etwa 1 500 (Schwarz, Zeo-Tech GmbH) und 5 100 kg CO<sub>2</sub> (Nonnenmann, VDA) jeweils bei einem Zeithorizont von 100 Jahren.

#### *Recycling und Entsorgung*

Während die Kältemittel-Füllmenge einer Autoklimaanlage in der Vergangenheit noch 1,3 kg (R 12) betrug, konnte bei einer Kaltdampf-Kompressionsanlage mit R 134a inzwischen eine Reduzierung auf unter 1 kg erreicht werden. Bei der bisherigen Praxis der Altautoverschrottung entweicht die Kältemittel-Füllmenge ungehindert in die Atmosphäre. Die Situation wird sich in der Bundesrepublik ändern, wenn eine Rücknahme-, Demontage- und Recyclingpflicht für Altautos eingeführt wird, wie sie zur Zeit vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) vorbereitet wird. Mit einer Umsetzung von Recyclinganforderungen wird aller-

dings erst in fünf bis sieben Jahren gerechnet. Zudem werden im Jahr 1997 schätzungsweise 15 % der Autoklimaanlagen in Neuwagen in Entwicklungsländern zum Einsatz kommen (UNEP, 1992, S. 166), wo mit der Rücknahme und dem Recycling von Altautos nicht zu rechnen ist. Zu beachten ist auch der zunehmende Export von Altautos mit Klimaanlagen in osteuropäische Länder.

Angaben über die technisch erzielbaren Rückgewinnungsraten bei angelieferten Altautos wurden nicht vorgelegt.

#### **4.3.3.4 Ökonomische Relevanz in den Anwendungsbereichen**

Haushaltskühlschrank

Gegenüber dem bisherigen Status ergeben sich durch die Verwendung von R 134a bzw. von Propan/iso-Butan als Kältemittel folgende Änderungen:

##### *Preis*

Der Marktpreis von R 134a liegt zur Zeit mit etwa 15,— DM pro Kilogramm um das 4- bis 7fache höher als für R 12 (2,— DM bis 3,50 DM/kg). Sowohl die Verteuerung von R 134a als auch des notwendigen Polyesteröls (Faktor 4) spielen aufgrund der relativ geringen Menge für die Preiserhöhung bei Haushaltskühlschränken keine wesentliche Rolle. Entscheidend ist der neue Verdichter. Insgesamt ist eine Preissteigerung von etwa 10 % bei einem Haushaltskühlschrank mit R 134a als Kältemittel gegenüber dem herkömmlichen R 12-Kühlschrank zu erwarten (KDRs 12/6c, Lotz).

Der Preis für das Kältemittelgemisch Propan/iso-Butan liegt mit etwa 5,— DM etwa doppelt so hoch wie für R 12. Bei einem Haushaltskühlschrank mit dem Kältemittelgemisch Propan/iso-Butan wird ebenfalls eine geringe, jedoch bislang nicht näher quantifizierte Preissteigerung angegeben (KDRs 12/6a, Meyer).

##### *Entsorgungskosten*

Ökonomische Aspekte kommen bei den Anwendungsbereichen vor allem beim Recycling zum Tragen. Zukünftig werden aufgrund der kommenden Rücknahmeverpflichtung für Elektrogeräte obligatorisch Entsorgungskosten für Kühlschränke anfallen.

Zur Finanzierung der Rücknahme existieren verschiedene Modelle. In der Schweiz wird bei der Entsorgung des Gerätes mit dem Verkauf einer Vignette eine Gebühr in der Höhe von 67,— sFR erhoben (KDRs 12/6d, Hofstetter). In der Bundesrepublik Deutschland werden die Entsorgungskosten von den Kommunen oder indirekt über die Müllgebühr ebenfalls auf die Verbraucher übertragen. Möglich ist auch eine Finanzierung über einen Aufschlag auf den Gerätepreis. Einen Anreiz zur Rückgabe des Kühlschranks würde ein Pfandsystem bieten (KDRs 12/6d, Luppe).

Dabei wird beim Kauf eines Kühlschranks ein Pfand erhoben, das bei ordnungsgemäßer Rückgabe des Altgerätes an den Endverbraucher rückvergütet wird. Probleme werden allerdings wegen der langen Gebrauchsdauer von 10 bis 15 Jahren gesehen, über die Pfand aufrecht erhalten werden müßte. Die Pfandlösung wird in der Bundesrepublik Deutschland bisher nur für den Bereich Gewerbekälte diskutiert.

In der Bundesrepublik Deutschland werden die Kosten für die Entsorgung eines Haushaltskühlschranks auf 50,— DM bis etwa 70,— DM geschätzt. Dieser Betrag setzt sich folgendermaßen zusammen:

Einsammeln der Altgeräte:  
10,— bis 20,— DM pro Kühlgerät

Demontage in den Recyclingbetrieben, Absaugen des Kältemittels und Entsorgung des Schaums:  
40,— bis 50,— DM pro Kühlgerät

Die Kosten, die in den nachfolgenden Gliedern der Recyclingkette für die Rückführung und die Aufbereitung von R 134a anfallen, sind vergleichsweise niedrig (KDRs 12/6c, Hug).

Zwischenhändler: 2,50 DM pro kg Kältemittel

Recycling bzw. Spaltung  
beim Hersteller: 5,— DM pro kg Kältemittel

Spezifische Daten für Aufwendungen, die bei der Entsorgung und dem Recycling von Haushalts-Kühlschränken mit dem Kältemittelgemisch Propan/iso-Butan entstehen, sind nicht bekannt.

#### Technische Eignung

Bei der technischen Eignung von R 134a (auch im Vergleich zu Propan/iso-Butan) in Entwicklungs- und Schwellenländern ergaben sich *innerhalb der Enquete-Kommission folgende unterschiedliche Einschätzungen:*

— Die technische Eignung von R 134a ist mit derjenigen des zu ersetzenden FCKW R 12 gleichzusetzen. Für den Umgang mit R 12 bestehen ausreichende Erfahrungen. Aufgrund der notwendigen großen Lagerbestände von Kohlenwasserstoffen stellen Propan und iso-Butan ein erhebliches Sicherheitsrisiko dar. Die technischen Anforderungen bei der Vorbereitung der Kältemittelkreisläufe (Reinigung, Entgasung, Befreiung von Wasserdampf) sind für R 134a- und Kohlenwasserstoff-Technologien vergleichbar.

versus:

— Der Einsatz von R 134a in Entwicklungs- und Schwellenländern führt unter den dort herrschenden Bedingungen zu technischen Problemen. Dazu zählen die fehlenden Reinigungstechniken bei der Fertigung der Kältemöbel, die Hygroskopie der Esteröle und damit technisches Versagen der Geräte bei hoher Luftfeuchtigkeit.

#### Autoklimaanlage

Über die ökonomischen Aspekte einer Umstellung von FCKW auf den Ersatzstoff R 134a bzw. auf das Zeolith-Wasser-System liegen der Enquete-Kommission keine Daten vor.

#### 4.3.3.5 Soziale Relevanz in den Anwendungsbereichen

Beim Vergleich der verschiedenen Alternativen unter dem sozialen Teilaspekt des Leitbildes Sustainable Development spielen die soziokulturellen Rahmenbedingungen eine wesentliche Rolle. Sie beeinflussen entscheidend die Anforderungen, die an ein Produkt gestellt werden. Diese Anforderungen sind jedoch keine festen Größen. Vielmehr variieren sie innerhalb der Bandbreite, in der sich die individuelle Entscheidungsfreiheit des Einzelnen bewegt. In diesem Rahmen bestimmen sie das Produktdesign und beeinflussen damit die ökologischen Auswirkungen, die von dem Gut ausgehen.

#### Haushaltskühlschrank

##### Gebrauchsnutzen

In den letzten Jahrzehnten hat sich ein Lebensmittelversorgungssystem entwickelt, das aufgrund der wachsenden Produktvielfalt und langer Verteilwege einer durchgehenden Kühl- und Gefrierkette vom Produzenten zum Konsumenten bedarf. Das letzte Glied in dieser Kette ist der Haushaltskühlschrank.

Kühl- und Gefriergeräte ermöglichen eine ganzjährige Verfügbarkeit frischer Lebensmittel. Daraus resultiert eine Veränderung der Ernährungsgewohnheiten, die von der regionalen, jahreszeitlich bedingten Lebensmittelproduktion losgelöst sind. Zu den Folgen zählen ökologische Belastungen u. a. durch erheblichen Transportaufwand sowie soziale Umstrukturierungen in den verschiedenen Erzeugerländern.

Gleichzeitig verstärkt die zunehmende Anzahl von Einpersonenhaushalten und die langsame Aufhebung der traditionellen Rollenverteilung, die sich in vermehrter Berufstätigkeit von Frauen äußert, den Trend zur Rationalisierung der Hausarbeit. Haushaltskühlgeräte sind dabei wichtige Hilfsmittel, denn sie ermöglichen eine längere Lagerhaltung anstelle häufigeren Einkaufens sowie das Ausweichen auf vorgefertigte, tiefgekühlte Gerichte. Damit ändern sich auch die Anforderungen an das Produktdesign eines Kühlschranks, denn zusammen führen diese Faktoren dazu, daß ein einfacher Kühlautomat oder ein Eiswürfelfach in der Regel nicht mehr ausreichen. Der Marktanteil von Kühlgeräten mit Gefrierfächern, die — bezogen auf Nutzvolumen und Tag — einen höheren Energieverbrauch aufweisen als Kühlautomaten ohne Gefrierfach, steigt (KDRs 12/6c, Lotz; KDRs 12/6a, Winterfeld).

Der Spielraum für andere Alternativen, die der Bereitstellung frischer Lebensmittel dienen könnten, wird

durch die Etablierung der Kühlkette eingeengt. Auch sieht die bestehende Wohnstruktur nur selten Platz für Keller- oder Lagerräume vor. Die begrenzte Zeit, die in vielen Haushalten für Hausarbeiten zur Verfügung steht, hat aufwendigere, traditionelle Konservierungsmethoden wie Dörren oder Pasteurisieren verdrängt. Eine Abkehr von den bestehenden Strukturen ist nur unter großem Aufwand und einschneidenden Veränderungen der Lebensgewohnheiten möglich. Bei dem heutigen Lebensmittelversorgungssystem ist der Haushaltskühlschrank ein notwendiges Gerät (KDRs 12/6 c, Lotz; KDRs 12/6 a, Winterfeld).

Ein zusätzlicher Aspekt des Gebrauchsnutzens von Kühlschränken betrifft den Gesundheitsschutz. Zahlreiche epidemiologische Studien zeigen, daß die Magentumor-Raten in industrialisierten Ländern deutlich unter denen der Entwicklungsländer liegen. Hierfür werden in hohem Maße die unterschiedlichen Konservierungs- bzw. Lagerhaltungstechniken — wie z. B. Haltbarmachen durch Pökeln, Säuern und Räuchern gegenüber der Aufbewahrung im Kühlschrank — neben geringerem Schimmelbefall der gekühlten oder eingefrorenen Lebensmittel verantwortlich gemacht. Auch trägt die Kühlkette zur Verminderung der durch verdorbene Lebensmittel bedingten Gesundheitsgefahren (z. B. durch Salmonellen) bei.

#### Autoklimaanlage

#### Gebrauchsnutzen

Seit einigen Jahren geht der Trend bei größeren Neuwagen hin zu einer Ausstattung des Autoinnenraums mit Zusatzbehör. Dazu zählt auch die Autoklimaanlage (KDRs 12/6 a, Winterfeld).

Die Vorteile der Autoklimaanlage können unter dem Aspekt des Komforts subsumiert werden (KDRs 12/6 b, Nonnenmann). Allerdings wird die Wirkung der Klimaanlage auf das Wohlbefinden subjektiv unterschiedlich eingeschätzt. Eine Abschätzung weiterer Effekte, die mit „Gesundheit“, „Sicherheit“ und „Humanisierung des Arbeitsplatzes“ umschrieben werden, ist nicht möglich, da weder valide Daten vorliegen noch eine Relativierung gegenüber anderen Faktoren vorgenommen wurde, die möglicherweise einen einschneidenderen Einfluß auf die genannten Kriterien haben (z. B. Benzolmissionen im Innenraum, s. Kap. 4.3.2). Im Gegensatz zum Anwendungsbereich Kühlschrank ist hier der individuelle Freiraum jedes Einzelnen, sich für oder gegen die Anschaffung einer Autoklimaanlage in einem Privatauto zu entscheiden, weitaus größer.

#### 4.3.3.3.6 Retrospektive Betrachtung der FCKW-Ersatzstoffauswahl

Noch zur Jahreswende 1992/93 hatte sich die deutsche Kälteindustrie mehrheitlich für das Kältemittel R 134a entschieden. Vorausgegangen war ein Entscheidungsprozeß, in dem verschiedene Kriterien der Ersatzstoffauswahl mit unterschiedlicher Intensität diskutiert wurden. Die Gewichtung einiger dieser

Kriterien unterlag Änderungen, die zum Teil auf gesetzlichen Regelungen oder Vorgaben beruhten, zum Teil auf umweltpolitische Diskussionen zurückzuführen sind. Dies äußerte sich nicht zuletzt in der Umorientierung der deutschen Kältegerätehersteller auf Kohlenwasserstoffe. Noch im Dezember des Jahres 1992 gab ein Vertreter eines Kältemittel produzierenden Unternehmens während der öffentlichen Anhörung der Enquete-Kommission an, daß die Hersteller aufgrund des höheren Energieverbrauchs und des Sicherheitsrisikos bei Haushaltskühlschränken mit Propan/iso-Butan als Kältemittel ausschließlich mit R 134a arbeiten wollten. Drei Monate später stellten jedoch verschiedene Hersteller die ersten kohlenwasserstoffhaltigen Kühlautomaten (Kühlschränke ohne Gefrierfach) auf der DOMOTECHNIKA, einer der größten internationalen Haushaltsgeräte-Messen, vor. Die Entscheidung für diese kurzfristige Umorientierung erfolgte aber weniger aufgrund ökologischer Erkenntnisse, sondern eher vor dem Hintergrund möglicher Marktverluste.

#### R 134a

Die eingeladenen Sachverständigen nannten eine Reihe von Kriterien, die zur Auswahl von R 134a als FCKW-Ersatzstoff im Bereich der Haushaltskühlgeräte geführt hatten. Eine eindeutige Festlegung der Rangfolge kann jedoch nicht vorgenommen werden, da eine Vielzahl naturwissenschaftlicher, ökonomischer sowie psychologischer Momente eine Rolle gespielt haben.

Das wohl entscheidende Kriterium für die Ersatzstoffauswahl war ein geringes oder nicht vorhandenes *Ozonzerstörungspotential*. Auf dieser Grundlage wurden durch die Lagow-Kommission der US-amerikanischen Umweltbehörde EPA mehrere hundert Stoffe in Betracht gezogen. Der Bericht dieser Kommission erschien im Jahre 1987. Nach Prüfung der Stoffeigenschaften blieben noch Ammoniak, Kohlenwasserstoffe sowie einige teilhalogenierte H-FCKW und H-FKW übrig. Letztere sind in den Prüfungsprogrammen PAFT und AFEAS einer umfassenden Untersuchung unterzogen worden.

Während in den USA aufgrund der Energiegesetze für Kühl- und Gefriergeräte von Beginn an die energetisch günstigste Variante gesucht werden sollten und damit im Zusammenhang mit der Brennbarkeit (NOFROST-Geräte) R 134a favorisiert wurde, spielte das Kriterium *Energieeffizienz* in der Bundesrepublik Deutschland zunächst keine entscheidende Rolle. Daher wurden R 134a und das brennbare R 152a favorisiert, obwohl Gemische aus diesen Ersatzstoffen mit anderen Kältemitteln grundsätzlich zu einem geringeren Energieverbrauch führen, und der Einsatz von R 134a anfänglich sogar zu einem 10 % höheren Energieverbrauch gegenüber dem bisher verwendeten FCKW (R 12) führte. Erst Optimierungsmaßnahmen bei den R 134a-Kühlsystemen führten zu einer inzwischen praktisch identischen Energieeffizienz.

Das *Treibhauspotential* der FCKW-Substitute spielte zunächst bei der Auswahl der Ersatzstoffe eine untergeordnete Rolle. Auch in den globalen und nationalen

Regelungen für FCKW-Ersatzstoffe fand dieser Aspekt keinen Niederschlag. Erst mit den Untersuchungen von AFEAS und den ersten Berichten der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz der Erdatmosphäre“ gewann das Kriterium langsam an Bedeutung. Noch im Jahre 1990 maß die Bundesregierung dem Treibhauspotential eine vernachlässigbare Bedeutung gegenüber dem Ozonabbaupotential bei (Treffen des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins [DKV] im Wissenschaftszentrum in Bonn; zitiert nach der mündlichen Stellungnahme von Kruse während der internen Anhörung am 18. Mai 1993). Die Diskussion um das Treibhauspotential von R 134a änderte sich aufgrund der Berechnungen des TEWI (Total Equivalent Warming Impact; s. 4.3.3.3.3), da damit der direkte Anteil des Kältemittels am Treibhauseffekt, der durch die Emissionen des Kältemittels entsteht, relativiert wird. Dieses Kriterium wird inzwischen auch von der Bundesregierung als wesentliche Bemessungsgrundlage zur Beurteilung der Ersatzstoffe angesehen.

Ein bereits früh berücksichtigtes Kriterium war die Toxizität. So fand sie bereits Eingang in den Lagow-Report aus dem Jahr 1987. Die akute und chronische Gesundheitsrelevanz der Ersatzstoffe wurde im Rahmen des breitangelegten PAFT-Programms geprüft.

Die *Persistenz* der Stoffe und damit die Zeitdauer, während der sie einen Einfluß auf die Umwelt ausüben können, wurde nicht als Kriterium berücksichtigt.

Die *Brennbarkeit* der Ersatzstoffe fand in Deutschland und in den internationalen Gremien höchste Beachtung. Das (brennbare) Kältemittel R 152a wurde im Rahmen eines Verbundvorhabens des Bundesministeriums für Forschung und Technologie (BMFT) und des DKV entsprechenden Prüfungen unterzogen (s. Kap. 4.3.3.3.3). Die Ergebnisse führten dazu, daß dieser Weg nicht weiterverfolgt wurde.

Die thermische und chemische *Stabilität* der potentiellen Substitute spielte bereits beim Lagow-Report eine entscheidende Rolle. Alle thermisch instabilen Verbindungen wurden von den weiteren Untersuchungen ausgenommen. Nachdem anfängliche Unverträglichkeiten der bisher verwendeten Kompressoröle mit R 134a durch die Einführung von Polyesterölen beseitigt werden konnten, war auch die erforderliche Stabilität des Kältemittelkreislaufes gewährleistet.

Sowohl die Hersteller von Kühlgeräten mit dem Kältemittel R 134a als auch die mit Propan/iso-Butan geben an, daß die *Infrastruktur*, insbesondere die Beibehaltung der bisherigen Lieferanten und der verwendeten Komponenten, ein weiteres Entscheidungskriterium gewesen sei. Die FCKW-Produktionsanlagen dagegen konnten nicht für die Herstellung von R 134a umgerüstet werden.

Mitbestimmend für die Entscheidung der Kältemittel-Anwender in der Bundesrepublik Deutschland, R 134a im Kühl- und Gefriergerätebereich als Kältemittel zu verwenden, war auch die Entscheidung der *amerikanischen Automobilindustrie*, den Fluorkohlenwasserstoff in Autoklimaanlagen einzusetzen. Die

Größe des amerikanischen Marktes gewährleistete aus der Sicht der Kältegeräte-Hersteller eine ausreichende Versorgungssicherheit. Nach Aussage eines deutschen Herstellers wurde somit die Entscheidung auch für die vergleichsweise kleinen Absatzmärkte für R 134a in Europa und Japan sowie für die Länder, die in bedeutenden Handelsbeziehungen mit den USA stehen, getroffen. Wie stark sich die ausländische Marktpolitik auf die Entscheidung der bundesdeutschen Kältegeräte-Industrie ausgewirkt hat, konnte nicht abschließend geklärt werden.

In engem Zusammenhang mit der Einschätzung des weltweiten Marktes steht die Frage nach der Eignung von R 134a für Entwicklungs- und Schwellenländer. Als FCKW-Ersatzstoff kann R 134a gerade auch in diesen Ländern erheblich zu einer verringerten Freisetzung ozonabbauender Stoffe beitragen. Daher wurde noch Ende des Jahres 1992 von einer Beratergruppe der Weltbank empfohlen, im Kälte- und Klimabereich Kredite nur für solche Projekte bereitzustellen, die mit R 134a arbeiten. Begleitend sollten Maßnahmen zur Rückführung und zum Recycling von R 134a gewährleistet werden. Allerdings führte eine veränderte Einschätzung der Handhabbarkeit und der Recyclingfähigkeit des Stoffes inzwischen bei einigen Experten zu der Aussage, daß Kohlenwasserstoffe als Kältemittel in Entwicklungsländern besser geeignet sind als R 134a (mündliche Stellungnahme von Kruse während der internen Anhörung am 18. Mai 1993). Die Zweifel eines beteiligten Beraters der Weltbank waren auf Erfahrungen zurückzuführen, die im Rahmen eines UNEP-Training-Kurses in Nairobi gewonnen wurden. Dort führte die Hygroskopie der Esteröle bei hoher Umgebungfeuchte zum technischen Versagen der Geräte. Schwierigkeiten bereiteten auch die fehlenden Reinigungstechniken bei der Fertigung. Nach Aussage von Kruse (mündliche Stellungnahme während der internen Anhörung am 18. Mai 1993) sind diese Erfahrungen nicht auf die Länder China und Indien übertragbar. Heinrich (mündliche Stellungnahme während der internen Anhörung am 18. Mai 1993) dagegen relativiert diese Entscheidung dahin gehend, daß die erhöhten Anforderungen an Sicherheit und Freihaltung von Feuchtigkeit diese Länder dahin tendieren läßt, soweit möglich, gleich auf Kohlenwasserstoffe umzustellen.

#### Kohlenwasserstoffe

Eine Kampagne der internationalen Umweltschutzorganisation Greenpeace war der Auslöser für eine Reihe von Kühlschranks-Herstellern, von ihrer Entscheidung zur alleinigen Verwendung von R 134a abzuweichen. Die deutsche Sektion des Verbandes lenkte durch intensive Öffentlichkeitsarbeit die Aufmerksamkeit auf das Kühlgerät eines ostdeutschen Herstellers (dck Scharfenstein), in dem als Kältemittel Kohlenwasserstoffe eingesetzt werden. Nach Aussage von Kühlgeräte-Herstellern, die zunächst ihre gesamte Gerätepalette ausschließlich auf R 134a umstellen wollten, führte der potentielle Marktverlust zu einer Umorientierung in den Unternehmen. Parallel dazu war auch eine veränderte Einschätzung gegenüber der Brandgefahr festzustellen, da der Einsatz von

Kohlenwasserstoffen aus diesem Grund ursprünglich abgelehnt wurde.

#### Zusammenfassung

Zusammenfassend ist aus heutiger Sicht eine anfänglich hohe Bewertung der Risikoproblematik bei Propan/iso-Butan im Anwendungsbereich Haushaltskühlschrank festzustellen. Die Treibhausproblematik dagegen gewann erst mit der zunehmenden gesellschaftlichen und politischen Diskussion an Bedeutung. Die Industrie reagierte auf die veränderte Schwerpunktsetzung, indem sie Vorstellungen zur Emissionsminderung durch Recyclingkonzepte entwickelte. Dabei zeigt sich, daß sich die Ersatzstoffsuche an den vorhandenen Technologien orientieren mußte, da das ökologische Primat Energieeffizienz nur den Einsatz des Kaldampfprozesses zuließ. Die Notwendigkeit des FCKW-Ausstiegs hätte andernfalls auch die Chance zur Entwicklung eines innovativen Kälteerzeugungsverfahrens, wie z. B. des Stirling-Prozesses (Helium-Kühlschrank), eröffnet.

Die Ersatzstoffsuche für FCKW mit dem Ergebnis R 134 a ist die Folge eines Optimierungsprozesses von ökologischen, ökonomischen, technischen und sicherheitstechnischen Randbedingungen. Obwohl umfangreiche Prüfprogramme zu den verschiedenen, in Frage kommenden FCKW-Ersatzstoffen durchgeführt wurden, fehlte letztlich eine Orientierungshilfe für die Industrie in Form eindeutiger umweltpolitischer Zielvorgaben.

#### 4.3.3.3.7 Schlußfolgerung

Die FCKW-Ersatzstoffe zeigen beispielhaft die bei Substitutionsvorgängen auftretenden Probleme auf. Die ökologischen Auswirkungen der zu ersetzenden Stoffe erfordern eine Ablösung durch Substitute, deren zukünftige Einsatzmengen durch den bereits bestehenden Markt der Anwendungstechnologien weitgehend vorgegeben sind. Unter den in Frage kommenden Substituten muß eine Auswahl stattfinden, die eine sorgfältige Abwägung aller als relevant eingestuften Aspekte einschließt. Im Fall der FCKW ist der Substitutionsvorgang durch die besondere Dringlichkeit der Ozon-Problematik gekennzeichnet, die möglichst rasches Handeln erfordert.

Einer der in Frage kommenden Stoffe ist R 134 a, ein wasserstoffhaltiger Fluorkohlenwasserstoff (H-FKW) mit einer atmosphärischen Lebensdauer von ca. 16 Jahren. R 134 a wird aufgrund einer wachsenden Nachfrage zukünftig auch in global steigender Menge in die Atmosphäre eingetragen werden. Schätzungen lassen für das Jahr 2020 Emissionen von ca. 150 000 t pro Jahr erwarten. Die möglichen Umweltauswirkungen dieser Emissionen sind nach derzeitigem Kenntnisstand und anhand heute relevanter Kriterien intensiv untersucht worden. Danach beträgt der Beitrag von R 134 a zum zusätzlichen, anthropogenen Treibhauseffekt im Jahre 2020 ca. 1 %, im schlechtesten Fall 2 %. Die chemischen Auswirkungen seiner Abbauprodukte auf den Ozonabbau in der Stratosphäre, die

Ozonbildung in der Troposphäre und auf aquatische Systeme sind nach heutiger Kenntnis vernachlässigbar. Die vergleichsweise lange Lebensdauer von R 134 a birgt allerdings ein Risiko, falls neue bisher nicht bekannte Wirkungen auftreten sollten.

Der Stoffstrom von R 134 a kann bisher quantitativ nicht erfaßt werden, da sich zur Zeit die Umstellungsphase von FCKW auf Substitute vollzieht. Daten über die derzeitige Situation sind kaum erhältlich. Lediglich für einige Phasen des Stoffstroms liegen Prognosen für den Zeitraum zwischen den Jahren 1995 und 2020 vor. Für eine weitgehende quantitative Erfassung des zukünftigen Stoffstroms sind folgende Informationen notwendig:

#### *Produktionsmengen (neu produziertes R 134 a)*

Zwar sind derzeit Angaben über die Produktionskapazitäten vorhanden, doch besteht keine Verpflichtung zur Offenlegung der Produktionsmengen.

#### *Emissionen bei der Produktion*

Welche Emissionsraten bei der Produktion auftreten, ist nur unzureichend bekannt. Angaben existieren nur von einem deutschen Hersteller (KDRs 12/6c, Staab). Entsprechende Freisetzungsszenarien sind im vorgelegten Emissionsszenario nicht berücksichtigt.

#### *Emissionen bei Transport und Umfüllung sowie bei Lagerunfällen*

Welche Emissionsraten bei Transport und Umfüllung sowie bei Lagerunfällen auftreten, ist z. Zt. nicht bekannt. Entsprechende Freisetzungsszenarien sind im vorgelegten Emissionsszenario nicht berücksichtigt.

#### *Anwendungsmuster*

Die quantitative Erfassung des Stoffstroms setzt detaillierte Kenntnisse über das Anwendungsmuster voraus. Zur Zeit bestehen noch einige Unsicherheiten darüber, in welchen Sektoren R 134 a zukünftig eingesetzt werden wird.

#### *Emissionen aus den verschiedenen Anwendungsbereichen*

Die zukünftigen Emissionsraten in den verschiedenen Anwendungsbereichen hängen u. a. davon ab, welche Anreize zur technischen Optimierung der Geräte bestehen. Eine quantitative Abschätzung dieser Mengen aus den verschiedenen Anwendungsbereichen sollte daher nach den verschiedenen einflußnehmenden Rahmenbedingungen sowie nach den unterschiedlichen Wirtschaftsregionen differenziert vorgenommen werden.



### *Recyclingmengen bzw. Emissionen bei der Entsorgung*

Eine Verpflichtung zur Erfassung der Recyclingmengen besteht bislang nicht. Für die Abschätzung der Recyclingmengen gilt ebenso wie für die Emissionsraten beim Gebrauch, die Abhängigkeit von den unterschiedlichen Rahmenbedingungen und die Notwendigkeit einer differenzierten Betrachtung. Grundsätzlich muß bei rückgeführten Mengen unterschieden werden in:

- Wiederaufbereitung und Neuverwendung  
Diese Menge entspricht in etwa der Differenz zwischen neu produziertem R 134 a und dem Einsatzbedarf in den verschiedenen Anwendungsbereichen
- Gezielte Verbrennung von R 134 a in Fluorwasserstoff und Kohlendioxid (Sekundärrecycling)
- Verbrennung von R 134 a in Müllverbrennungsanlagen.

### *Emissionen bei Recycling*

Welche Emissionsmengen beim Recycling auftreten, ist nicht bekannt. Sie sind in dem vorgelegten Emissionsszenario nicht berücksichtigt.

Insgesamt erwies sich die Erfassung des Stoffstroms im Sinne der Produktlinie vor allem in den Stufen Rohstoffgewinnung, Vorproduktion und Produktion als äußerst schwierig. Die notwendigen Informationen sind nur fragmentarisch vorhanden und mit großem Aufwand zusammenzutragen. Lediglich eines der befragten Unternehmen arbeitet, im Rahmen des Zusammenschlusses der europäischen Zeolith-Hersteller, an der Erstellung einer Ökobilanz für sein Produkt (KDRs 12/6 b, Schwarz).

Besondere Bedeutung für die Analyse der Stoffströme kommt der Gebrauchs- und Entsorgungsphase zu. Daher wurde hier ein Vergleich zwischen verschiedenen Alternativen in den ausgewählten Anwendungsbereichen Haushaltskühlschrank und Autoklimaanlage durchgeführt. Damit sollte einerseits das Zusammenwirken zwischen der jeweiligen Anwendungstechnik und den betrachteten Ersatzstoffen bzw. Ersatztechnologie — vor allem unter den Aspekten Energieverbrauch und Treibhauswirkung — erfaßt, und andererseits die ökologischen Auswirkungen auf eine zu erfüllende Funktion bezogen werden. Ein direkter Vergleich und eine abschließende Bewertung der betrachteten FCKW-Ersatzstoffe bzw. Ersatztechnologien innerhalb der Anwendungsfelder Haushaltskühlschrank und Autoklimaanlage konnte aus folgenden Gründen nicht vorgenommen werden:

- Meßreihen von verschiedenen Bewertungsparametern unter definierten und gleichen Versuchsbedingungen liegen nicht vor
- Einige der Kriterien sind auf der Basis unterschiedlicher Berechnungsgrundlagen ermittelt worden. Das Fehlen standardisierter Methoden zur Erfassung von Umweltwirkungen, z. B. zur Ermittlung

des Energieverbrauchs bei der Autoklimaanlage oder zur Berechnung des Treibhauseffekts bei unterschiedlichen Zeiträumen, kann zu weit voneinander abweichenden Aussagen führen. Gerade deshalb ist die Offenlegung der Annahmen sowie die Vergleichbarkeit der Berechnungsmethoden erforderlich (s. Kap. 4.2.2.)

- Die verschiedenen Varianten können auf der Basis des Standes der Technik oder der Best Available Technology (BAT) zwar verglichen werden, doch hat in einem ökobilanziellen Vergleich die erprobte und bereits langjährig optimierte Variante möglicherweise Vorteile gegenüber einer neuen Technik.

#### **4.3.3.4 Bewertungsansätze**

Grundsätzlich muß vorab darauf hingewiesen werden, daß die vergleichende Bewertung der FCKW-Ersatzstoffe vor dem Hintergrund der Ozonproblematik stattfindet. In der derzeitigen gesellschaftlichen und politischen Bewertungsskala wird diesem Problem ein prioritärer Stellenwert eingeräumt. Dies äußert sich nicht zuletzt in einer Reihe nationaler und internationaler Abkommen, von denen vor allem die Ergebnisse der Vertragsstaatenkonferenzen zum Montrealer Protokoll zu nennen sind. Der möglichst zügige, weltweite Einsatz der betrachteten FCKW-Ersatzstoffe würde eine wesentliche ökologische Verbesserung gegenüber der bisherigen Situation bedeuten. Die Umweltwirkungen, aber auch die sozialen und ökonomischen Wirkungen, die Produktion und Anwendung von R 134 a und anderer FCKW-Ersatzstoffe auslösen, werden daher in Relation zu diesem Verbesserungspotential und zur Dringlichkeit des FCKW-Ausstiegs beurteilt.

Bei der Auswertung des zusammengetragenen Datenmaterials kristallisierten sich aus den ursprünglich angelegten Bewertungskriterien einige Aspekte als entscheidungsrelevant für Maßnahmenvorschläge zum zukünftigen Umgang mit R 134 a und den übrigen verglichenen FCKW-Ersatzstoffen heraus. Andere Aspekte wurden aufgrund der Ergebnisse der Sachstandanalyse als vernachlässigbar eingestuft. Die Kriterien werden im folgenden Kapitel dargestellt und diskutiert. Allerdings waren die Daten bereits auf der Ebene der Sach- und Wirkungsbilanz in einigen Bereichen nicht verfügbar bzw. nicht in ausreichendem Maße validiert. Dies trifft insbesondere für den Anwendungsbereich Autoklimaanlage zu, so daß eine abschließende Bewertung hier nicht vorgenommen werden kann.

##### **4.3.3.4.1 Ökologische und toxikologische Kriterien**

###### *Exposition*

###### *Emissionen*

Die ökologischen Auswirkungen von R 134 a und der übrigen betrachteten FCKW-Ersatzstoffe werden entscheidend von den zukünftigen Emissionsmengen

abhängen. Das in Kapitel 4.3.3.3 beschriebene Emissionszenario für R 134a nach McCulloch geht von festen Annahmen aus. Die erforderlichen Spannbreiten zukünftiger Freisetzungsmengen sind mit diesen Berechnungen nicht erfaßt. Als Entscheidungsgrundlage für mögliche Maßnahmen wären daher Abschätzungen des zukünftigen Stoffstroms von R 134a unter unterschiedlichen Rahmenbedingungen erforderlich.

#### Persistenz

Die Persistenz eines Stoffes bestimmt den Zeitraum, über den er seine Wirkung auf die Umwelt ausüben kann. Über die Einschätzung der Persistenz als Kriterium zur Bewertung ökologischer Eigenschaften bestehen in der *Enquete-Kommission unterschiedliche Auffassungen*:

- Die Persistenz einer Umweltchemikalie sollte nicht als unabhängiges Bewertungskriterium herangezogen werden, da (a) die Lebensdauer eines Stoffes bereits in den anderen ökologischen Wirkungen, wie z. B. im Treibhauspotential, berücksichtigt ist, und da (b) selbst wenig persistente Stoffe, wie z. B. höhere Alkane, in ihren Abbaumechanismen zu ökologisch umweltverträglichen Zwischenprodukten (wie z. B. Peroxynitrate, Ozon) führen. Die Persistenz kann deshalb sinnvoll nur als ein „Warnsignal“ bei solchen Stoffen verwendet werden, für die ökologische Umweltunverträglichkeiten entweder noch nicht bekannt oder mit großer Unsicherheit behaftet sind.

versus:

- Die Persistenz eines Stoffes bestimmt den Zeitraum, über den er seine Wirkung in der Umwelt ausüben kann. Unabhängig von den derzeit bekannten ökologischen Auswirkungen der FCKW-Substitute, wie Ozonerstörungs- oder Treibhauspotential, kommt dem Kriterium Persistenz eine besondere Bedeutung zu, da Wissenslücken grundsätzlich nicht auszuschließen sind. Die bisherigen Wirkungsdaten von Stoffen können lediglich aus dem heutigen Kenntnisstand und den derzeit als relevant erachteten Kriterien erhoben werden. Sollten zukünftig weitere Stoffeigenschaften bekannt werden, würde R 134a noch über etwa eine Generation das Leben auf der Erde beeinflussen, ohne rückholbar zu sein. Propan und iso-Butan dagegen werden innerhalb weniger Tage abgebaut.

#### Wirkung

Unter den ökologischen Kriterien zur Erfassung der Wirkung von FCKW-Ersatzstoffen wird dem Ozonerstörungspotential die größte Bedeutung beigemessen. Ein ähnlich hoher Stellenwert kommt in der derzeitigen umweltpolitischen Diskussion dem Treibhauspotential zu. Dies äußert sich u. a. in der zur Zeit diskutierten Klimakonvention. Beide Stoffeigenschaften

ten bewirken langfristige ökologische Veränderungen, die noch Generationen später das Leben auf der Erde nachhaltig beeinflussen. Aus der Forderung nach intergenerativer Gerechtigkeit leitet sich daher das Ziel ab, die Freisetzung ozonerstörender Substanzen einzustellen, sowie die Freisetzung klimawirksamer Stoffe zu reduzieren.

#### Ozonerstörungspotential

Die schnelle und globale Substitution von FCKW durch chlorfreie Ersatzstoffe oder Technologien ist ein dringendes Gebot im Hinblick auf den langfristigen Schutz der Ozonschicht. Diese Anforderung wird sowohl durch R 134a als auch durch Propan/iso-Butan vollständig erfüllt. Die kürzliche Vermutung eines nicht vernachlässigbaren Ozonerstörungspotentials von fluorierten Kohlenwasserstoffen konnte bislang experimentiell — vorbehaltlich der Überprüfung durch eine vollständige Modellrechnung — nicht bestätigt werden.

#### Treibhauspotential

Im Anwendungsbereich der Haushaltskühlschränke würde der Ersatz von R 12 durch R 134a oder durch Kohlenwasserstoffe den Beitrag aus dieser Technologie zum Treibhauseffekt senken, wobei für R 134a ein Restpotential verbliebe, während die verwendeten Kohlenwasserstoffe kein Treibhauspotential besitzen. Aufgrund des hohen Anteils der energiebedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen ist ein größerer Gewinn durch eine Steigerung der Energieeffizienz zu erreichen. Im Anwendungsbereich der Autoklimaanlage bedeutet die Substitution von R 12 durch R 134a oder durch eine Sorptionsanlage in jedem Fall eine deutliche Senkung des Beitrags dieser Technologie zum Treibhauseffekt.

Bei der Auswertung des vorliegenden Datenmaterials stellte sich zunächst — unabhängig von den Unsicherheiten bei der Abschätzung des zukünftigen Emissionsverlaufes — die Frage, wie der zwischen den Jahren 1995 und 2020 erzeugte Beitrag am zusätzlichen Treibhauseffekt durch R 134 in Höhe von etwa 1 bis 2 % beurteilt werden kann.

Dabei ergaben sich in der Enquete-Kommission folgende unterschiedliche Einschätzungen:

- Das unter dem Aspekt des Leitbildes Sustainable Development bestehende Schutzziel der Klimastabilität ist nicht auf Einzelstoffe anzuwenden. Entscheidend ist vielmehr die Gesamtbelastung durch alle klimawirksamen Gase einer bestimmten Technologie. Eine Bewertung kann nur im Vergleich zur Klimawirksamkeit der Alternativen stattfinden, die in den jeweiligen Anwendungsbereichen zur Verfügung stehen und für die alle Anteile, die zum Treibhauseffekt direkt oder indirekt beitragen (TEWI-Konzept), berücksichtigt werden.

versus:

— Das Schutzziel der Klimastabilität kann auch auf Einzelstoffe angewendet werden. Die Umrechnung von R 134 a-Emissionen in CO<sub>2</sub>-Äquivalente ermöglicht eine entsprechende Bewertung.

Ein Beitrag von 1 bis 2 % zum zusätzlichen Treibhaus-effekt innerhalb der nächsten 20 Jahre ist zwar klein, muß aber im Hinblick auf die Bemühungen zur Klimastabilisierung durch Einsparung von Spurengasemissionen relativiert werden. Für Länder wie die Bundesrepublik Deutschland, mit vorgegebenen Einsparzielen von 25 % der derzeitigen CO<sub>2</sub>-Emissionen bis zum Jahre 2005, entsprechen die Zuwächse von R 134 a einem Anteil von 2 bis 4 % dieses Reduktionszieles. In Dritt- und Schwellenländern dagegen, denen aufgrund des Nachholbedarfs Emissionszuwächse auch beim CO<sub>2</sub> zugestanden werden, wird durch einen zukünftigen Einsatz von R 134 a keine nennenswerte Änderung bei den Spurengasemissionen eintreten.

Als wichtiger Parameter zur Beurteilung des Treibhausbeitrags durch den Einsatz einer Anwendungstechnik wird der TEWI angesehen (s. Kap. 4.3.3.3.3).

Auch beim Betriebsenergieverbrauch, dem entscheidenden Einflußfaktor beim TEWI im Anwendungsbe-reich Haushaltskühlschrank, weichen *die Einschätzungen innerhalb der Enquete-Kommission voneinander ab*:

Während sich die eine Seite auf die im Sommer des Jahres 1993 verfügbaren Marktdaten sowie auf die Aussage eines Herstellers beruft, der sowohl Geräte mit R 134 a als auch mit Kohlenwasserstoffen als Kältemittel produziert und gleiche Energieverbrauchswerte bescheinigte, fordert die andere Seite Meßreihen unter standardisierten Versuchsbedingungen.

Die verfügbare Datenbasis ermöglicht in keinem der betrachteten Anwendungsbereiche eine eindeutige Aussage darüber, welche der verglichenen FCKW-Substitute bezogen auf das Kriterium Treibhauspotential Vorteile aufweist. Allerdings ergibt sich bei beiden Varianten gleichermaßen die Notwendigkeit, den Betriebsenergieverbrauch zu reduzieren bzw. bei R 134 a-Anwendungen die Kältemittelfreisetzung zu mindern.

#### *Toxizität*

Das Kriterium erwies sich aufgrund des zusammengetragenen Datenmaterials nach dem heutigen Kenntnisstand bei der Beurteilung der verglichenen FCKW-Ersatzstoffe gegenüber dem Treibhauspotential als wenig relevant.

#### *Ozonbildung in der Troposphäre*

Dem Kriterium troposphärisches Ozonbildungspotential wurde aufgrund der vergleichsweise geringen, regional und zeitlich beschränkten Auswirkungen eine vernachlässigbare Bedeutung zugemessen.

#### *Sicherheit*

Das Kriterium Sicherheit wurde derzeit als vernachlässigbar bei der Bewertung der verglichenen FCKW-Ersatzstoffe eingestuft. Allerdings kann die Verwendung der brennbaren Kohlenwasserstoffe in Haushaltskühlschränken, im Hinblick auf eine bevorstehende Produkthaftungsverpflichtung, künftig eine andere Bewertung erfahren.

#### *Recyclingfähigkeit*

Sowohl R 134 a als auch Kohlenwasserstoffe können, wie bisher auch schon R 12, zu einem Großteil technisch aus Kühlgeräten wieder zurückgewonnen werden. In der Praxis erweisen sich die Rückführungsquoten bei R 12-Kältemitteln derzeit als noch sehr gering.

#### **4.3.3.4.2 Ökonomische Kriterien**

##### *Marktinduzierter Bedarf*

Der zur Zeit bestehende und für die nächsten Jahre prognostizierte Markt für Haushaltskühlschränke und Autoklimaanlagen induziert einen hohen Bedarf an FCKW-Ersatzstoffen in diesen Anwendungsbereichen. Unter der Prämisse der Dringlichkeit des FCKW-Ausstiegs ist ein baldmöglichster Umstieg zu gewährleisten. An die potentiellen Substitute wird daher der Anspruch der baldmöglichsten Verfügbarkeit und Einsatzfähigkeit gestellt. Dies ist in beiden Anwendungsbereichen durch R 134 a gegeben; für einige Teilbereiche im Sektor Haushaltskühlgeräte (Kühlautomaten mit Eintemperaturzone sowie mit Drei-Sterne-Fach) auch durch Kohlenwasserstoffe. Im Anwendungsbereich Autoklimaanlage kommt bislang nur R 134 a in Frage.

##### *Entwicklungspotential*

Der Entwicklungsstand und die Entwicklungsfähigkeit der Alternativen werden wesentlich von den bisher aufgewendeten Forschungs- und Entwicklungskapazitäten bestimmt. In BMFT-geförderten Projekten wurden bislang vor allem H-FKW sowie Ammoniak (Gewerbekälte) als Kältemittel erprobt. Ob noch ein erhebliches Potential bei Alternativen, wie der Zeolith-Wasser-Sorptionsanlage, Kohlenwasserstoffen oder anderen technologischen Lösungen besteht, kann z. Zt. nicht abschließend bewertet werden.

### Marktpreis

Eine rasche Substitution der FCKW wird u. a. in den Entwicklungs- und Schwellenländern, die nicht Vertragsstaaten des Montrealer Protokolls sind, von den derzeitigen Marktpreisen für die verschiedenen FCKW-Ersatzstoffe bzw. den kompletten Anwendungstechnologien und ihren zukünftigen Entwicklungen abhängen. Unter diesem Aspekt erscheinen im Anwendungsbereich Haushaltskühlschrank zumindest zur Zeit die billigeren Kohlenwasserstoffe für diese Länder geeigneter. In solchen Ländern, die Vertragspartner des Montrealer Protokolls sind, soll die Umstellung auf die R 134a-Technologie durch einen Fond finanziert werden.

### Technische Eignung

Die technische Eignung von R 134 a und dem Kohlenwasserstoffgemisch Propan/iso-Butan für Entwicklungs- und Schwellenländer setzt voraus, daß die Gerätekomponenten für die neuen Ersatzstoffe zugeschnitten sind. Welcher Weg hier zukünftig beschritten wird, wird neben dem oben bereits erwähnten Kriterium Marktpreis vor allem davon abhängen, welche technischen Probleme unter den besonderen Bedingungen der Entwicklungs- und Schwellenländer auftreten. Im Anwendungsbereich Haushaltskühlschrank wird die technische Eignung von R 134 a im Vergleich zu Kohlenwasserstoffen unterschiedlich beurteilt (s. Kap. 4.3.3.3.3).

### Ökonomischer Nutzen

Der ökonomische Nutzen von R 134 a bzw. von Kohlenwasserstoffen für die produzierenden und anwendenden Industrien wurde im Rahmen der durchgeführten Anhörungen nicht erfaßt.

### Externe Kosten

Die externen Kosten von R 134 a- bzw. Kohlenwasserstoff-Freisetzung konnten im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen der Enquete-Kommission nicht ermittelt werden.

#### 4.3.3.4.3 Soziale Kriterien

##### Gesellschaftliche Rahmenbedingungen

Der Rückhaltung von Kältemitteln bei Gebrauch und Entsorgung kommt unter dem prioritär eingestuften Aspekt des Klimaschutzes eine hohe Bedeutung zu. Ob eine technische Optimierung der Geräte vorgenommen wird bzw. Aufbau und Nutzung einer Infrastruktur für Demontage und Recycling auf freiwilliger oder gesetzlicher Basis vorgenommen wird, hängt jedoch entscheidend von der gesellschaftlichen Akzeptanz derartiger Maßnahmen ab. Das Umweltbewußtsein ist im allgemeinen in solchen Ländern relativ wenig ausgeprägt, in denen ein geringer Lebensstandard und zum Teil existenzielle Probleme das Leben der Menschen beherrschen. Auf der anderen Seite sind gerade dort die Voraussetzungen für die Wiederverwertung von teuren und raren Materialien

gegeben. Auf dieser Grundlage *zeichnen sich in der Enquete-Kommission zwei unterschiedliche Positionen* über die Eignung des Kältemittels R 134 a in den Anwendungsbereichen Haushaltskühlschrank und Autoklimaanlage für Entwicklungs- und Schwellenländer ab. Beide Standpunkte basieren auf grundsätzlich unterschiedlichen Bewertungsansätzen: Während die eine Seite auf die Fähigkeit der Menschen zur technischen Beherrschbarkeit von Stoffen setzt, steht für die andere Seite das Bestreben nach angepaßten, einfach zu handhabenden Technologien im Vordergrund, die den Bedürfnissen der Menschen in den sog. Dritte-Welt-Ländern Rechnung tragen. Konkret stehen sich die *folgenden Einschätzungen in der Enquete-Kommission gegenüber*:

— In den Entwicklungsländern wird die R 12-Kälte-technologie seit Jahrzehnten einfach und sicher gehandhabt. Die R 134 a-Technologie unterscheidet sich davon nicht. Ihr Einsatz bereitet damit auch in den Ländern der Dritten Welt keine Probleme.

versus:

— Eine Bereitstellung finanzieller Ressourcen zum Aufbau einer Recyclinginfrastruktur, sowie zur Demontage und Rückgewinnung der Kältemittel, ist in Entwicklungs- und Schwellenländern nicht wahrscheinlich. Ausgehend von den hiesigen Erfahrungen ist sowohl die Bereitschaft zur Rückgabe als auch die Wahrscheinlichkeit einer ordnungsgemäßen Entsorgung in den aufzubauenden Recyclingbetrieben als relativ gering einzustufen.

### Gebrauchsnutzen

Nicht diskutiert hat die Enquete-Kommission bislang die Frage, ob unabhängig von den möglichen Maßnahmen und Instrumenten der Gebrauchsnutzen in die Bewertung von Produkten einfließen soll oder ob lediglich die Risiken zu berücksichtigen sind. Zwischen den Gebrauchsnutzen, den ein Haushaltskühlschrank bzw. eine Autoklimaanlage erfüllt, bestehen erhebliche Unterschiede. Der Haushaltskühlschrank gilt unter den bestehenden soziokulturellen Rahmenbedingungen (Zunahme von Ein- und Zweipersonen-Haushalten, Zeitmanagement in den Haushalten, Berufstätigkeit von Frauen und Männern, derzeitiges Lebensmittelversorgungssystem etc.) als ein notwendiges Produkt. Bei der Autoklimaanlage steht der Komfort im Vordergrund.

#### 4.3.3.4.4 Zusammenfassung

Bestimmender Hintergrund bei der Bewertung der verglichenen FCKW-Substitute ist die Dringlichkeit des globalen Ausstiegs aus der Produktion und Verwendung von FCKW. Daraus leitet sich die Notwendigkeit ab, zunächst solche Ersatzstoffe zu bevorzugen, die bereits jetzt oder in absehbarer Zeit verfügbar sind bzw. eingesetzt werden können.

Um einen globalen FCKW-Ausstieg erreichen zu können, muß auch die Situation der ärmeren Länder Berücksichtigung finden. In vielen Fällen sind sie keine Vertragsstaaten zum Montrealer Protokoll.

Neben der Verfügbarkeit und der Einsatzfähigkeit wird daher der Preis der FCKW-Ersatzstoffe bzw. Ersatztechnologien entscheiden. Eine Bereitschaft zum FCKW-Ausstieg ist in diesen Ländern nur dann zu erwarten, wenn der ökonomische Aufwand möglichst gering ist oder sogar ökonomische Anreize für einen Umstieg bestehen.

Auch die hohe Bedeutung des Schutzziels Klimastabilität ist allgemein anerkannt. Wie weitreichend sich allerdings die Verfolgung dieses Ziels auf potentielle weitere Schutzziele (z. B. sozialer Friede durch Erhalt von Arbeitsplätzen oder ökonomische Stabilität durch Erhalt von Marktpotentialen, Umsätzen etc.) auswirken darf, wurde bislang nicht diskutiert. Eine Definition und Gewichtung dieser Schutzziele steht noch aus.

Insgesamt ermöglichen in den betrachteten Anwendungsbereichen sowohl R 134a als auch Kohlenwasserstoffe in einigen Sektoren des Anwendungsbereiches Haushaltskühlschrank einen sofortigen FCKW-Ausstieg bei gleichzeitiger Verbesserung der ökologischen Situation — bezogen auf die Kriterien Ozonzerstörungspotential und Klimarelevanz. Eine eindeutige Aussage darüber, welches Substitut unter diesen Aspekten im Anwendungsbereich Haushaltskühlschrank das derzeit ökologisch günstigste ist, kann jedoch aufgrund verschiedener Datenlücken und unterschiedlicher Bewertungen innerhalb der Enquete-Kommission bislang nicht getroffen werden.

Im Anwendungsbereich Autoklimaanlage ist R 134a die derzeit einzig verfügbare Alternative für FCKW. Inwieweit allerdings die ökologischen Risiken von R 134a-Emissionen unter dem Aspekt des Gebrauchsnutzens akzeptabel sind, erfordert eine Risiko-Nutzen-Abwägung. Darüber konnte in der Enquete-Kommission kein Konsens erzielt werden.

Im Gegensatz zu den Kohlenwasserstoffen Propan und iso-Butan im Anwendungsbereich Haushaltskühlschrank ergibt sich daher für R 134a die Notwendigkeit der Rückhaltung. Ob entsprechende Maßnahmen realistisch sind, hängt maßgeblich von den ökonomischen, sozialen und politischen Verhältnissen in den jeweiligen Ländern ab. Eine Bewertung muß daher differenziert nach den gegebenen Rahmenbedingungen in den verschiedenen Regionen der Welt vorgenommen werden.

Zusammenfassend ist R 134a zur Zeit zumindest eine im Anwendungsbereich Autoklimaanlage dringend erforderliche Lösung der FCKW-Problematik. Eine Begrenzung durch Emissionsminderungsmaßnahmen ist zwar im gewissen Rahmen technisch möglich, der Erfolg dieser Maßnahmen hängt jedoch von einer Vielzahl von Einflußfaktoren ab. Parallel dazu sollte daher das Entwicklungspotential weiterer, möglicherweise ökologisch günstigerer Alternativen ausgeschöpft werden.

Die Substitution von FCKW durch R 134a in anderen Anwendungsbereichen (gewerbliche und industrielle Kälte, stationäre Klimaanlagen) wurde nicht untersucht. Die o. g. Aussagen gelten deshalb nicht zwangsläufig für diese Anwendungen.

#### 4.3.3.5 Strategien und Instrumente

Im Mittelpunkt dieses Kapitels steht die Frage, welche Strategien für den Umgang mit Substituten umweltschädigender Stoffe (z. B. FCKW) geeignet sind, die zwar eine wesentliche ökologische Verbesserung bedeuten, aber aufgrund ihrer Umweltwirkungen nicht in allen Anwendungsbereichen optimale Lösungen darstellen. Die nachfolgend aufgeführten Ziele und Empfehlungen beziehen sich nicht mehr ausschließlich auf die betrachteten Anwendungsbereiche Haushaltskühlschrank und Autoklimaanlage, sondern werden auf die übrigen Anwendungsfelder ausgeweitet. Dabei wird keine vollständige Aufzählung und Abwägung aller in Frage kommender Strategien und Instrumente angestrebt.

Aus der dargestellten Bewertung der verglichenen FCKW-Ersatzstoffe leiten sich folgende Ziele ab, die beim zukünftigen Umgang mit R 134a und den übrigen FCKW-Substituten zu verfolgen sind:

- Sicherstellung eines raschen Ausstiegs aus Produktion und Verwendung der FCKW in allen Ländern, einschließlich der Entwicklungs- und Schwellenländer, als notwendige Konsequenz des stratosphärischen Ozonabbaus und der drohenden Erderwärmung

Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, international anerkannte Ersatzstoffe zu fördern, ihre Akzeptanz zu verbessern, und, im Falle des Umstiegs der ärmeren Länder, ökonomische Anreize zu bieten.

- Weitere Begrenzung des Treibhauseffekts

Daraus leiten sich die Forderungen nach Emissionsminderung der treibhausfördernden FCKW-Substitute, der Optimierung der Energieeffizienz in den verschiedenen Einsatzbereichen (CO<sub>2</sub>-Emissionen) sowie der Entwicklung und Förderung potentiell günstigerer Alternativen ab.

##### 4.3.3.5.1 Strategien

Zur Umsetzung der dargestellten Ziele schlägt die Enquete-Kommission folgende Strategien vor:

##### Beschleunigung des FCKW-Ausstiegs

- Baldmöglichster Ersatz von FCKW durch R 134a und durch weitere, bereits vorhandene (z. B. Kohlenwasserstoffe in Kühlschränken und Konsumentensprays) bzw. noch zu prüfende ökologisch günstigere Alternativen
- Entwicklung von ökonomischen Anreizen für eine Umstellung auf ökologisch günstigere Alternativen in Entwicklungs- und Schwellenländern, die nicht Vertragsstaaten zum Montrealer Protokoll sind, bzw. denen aufgrund von Beschlüssen des Montrealer Protokolls der FCKW-Verzicht noch nicht zwingend vorgegeben ist



## Minderung des Treibhauseffekts

- Globale Erfassung des zukünftigen R 134a-Stoffstroms und seiner Umweltwirkungen als Informationsgrundlage für ein geeignetes Stoffstrommanagement
- Einsatz von R 134a  
In welchen Anwendungsbereichen R 134a eingesetzt werden sollte, wird in der *Enquete-Kommission unterschiedlich eingeschätzt*:

Einsatz von R 134a nur in „geschlossenen“ und „teiloffenen“ Anwendungen sowie in Anwendungen, in denen der Stoff zum Schutz des Menschen unabdingbar ist, z. B. in Medizinalsprays.

versus:

Einsatz von R 134a ausschließlich in „geschlossenen“ Produktlinien sowie in Anwendungen, in denen der Stoff zum Schutz des Menschen unabdingbar ist, z. B. in Medizinalsprays.

- Sicherstellung, daß R 134a nicht in solchen Anwendungsbereichen eingesetzt wird, in denen FCKW bereits vollständig durch weniger klimawirksame Stoffe als R 134a ersetzt wurden, bzw. in denen sich ein Einsatz weniger klimawirksamer Stoffe abzeichnet, sowie in Anwendungsbereichen, in denen weniger klimawirksame Stoffe seit langem etabliert sind
- Minderung der R 134a-Emissionen während der Gebrauchsphase durch technische Optimierung (Reduzierung der Füllmengen und der Leckageverluste)
- Optimierung der technischen und logistischen Voraussetzungen für das Recycling von R 134a
- Förderungsmaßnahmen zum weiteren Ausbau des Recycling-Programms für klimawirksame Stoffe
- Entwicklung energieeffizienter Technologien zur Minderung des TEWI
- Umfassende Aufklärung der Verbraucher über alle umweltrelevanten Eigenschaften eines Produktes, um eine Abwägung zwischen den verschiedenen Kaufkriterien zu ermöglichen
- Formulierung von Anforderungen für Alternativen zu R 134a, die sicherstellen, daß die ökologischen Auswirkungen dieser FCKW-Substitute in den jeweiligen Anwendungsbereichen geringfügiger sind als bei der Anwendung von R 134a. Dabei kann die Ökobilanz bzw. Produktlinienanalyse als Bewertungsinstrument eine wesentliche Rolle spielen. Voraussetzung dafür ist jedoch die Weiterentwicklung der Ökobilanz bzw. Produktlinienanalyse und die Verständigung auf eine einheitliche Methode
- An Umweltzielen orientierte staatliche Vergabe von Forschungsmitteln (z. B. niedrige Energieverbrauchswerte, kein Ozonerzeugungspotential, keine Freisetzung klimawirksamer Stoffe, Recycelbarkeit bei Kühlschränken)

- Förderungsmaßnahmen zur Entwicklung weiterer, bei Ausnutzung des technischen Optimierungspotentials möglicherweise umweltverträglicherer Alternativen zu R 134, wie Kohlenwasserstoffe im Bereich der Haushaltskühlgeräte, Zeolith-Wasser-Systeme für Autoklimaanlagen, Ammoniak in Gewerbekälteanlagen oder Vakuumisolierungen
- Keine Loslösung der Entscheidungsprozesse für den Umstieg von einem ökologisch unverträglichen Produkt zu verträglicheren Alternativen von der politischen und gesellschaftlichen Diskussion.

## 4.3.3.5.2 Instrumente

Über die zu ergreifenden Instrumente besteht in der *Enquete-Kommission weitgehend Uneinigkeit*. Eine abschließende Diskussion konnte nicht geführt werden. Im folgenden wird daher nur eine unvollständige Reihe von Instrumenten aufgelistet, die im wesentlichen während der öffentlichen Anhörung „Ökobilanz/Produktlinienanalyse am Beispiel des FCKW-Ersatzstoffes R 134a und anderer FCKW-Ersatzstoffe bzw. -technologien“ am 3. und 4. Dezember 1992 (KDRs 12/6; 12/6a-f) vorgeschlagen oder im Verlauf der weiteren Auswertung thematisiert wurden.

Grundsätzlich besteht Einigkeit in der *Enquete-Kommission*, daß Zielvorgaben als Orientierungshilfe für die Industrie formuliert werden sollten. In welchem Rahmen eine derartige Abstimmung stattfinden sollte, und wer daran zu beteiligen ist, bleibt jedoch offen. Auch bei der *Umsetzung der Strategien* in Instrumente zeigen sich zwei *Linien innerhalb der Enquete-Kommission*: Während die eine Seite das Prinzip der Freiwilligkeit vorzieht und damit für freiwillige Selbstverpflichtungen plädiert, werden auf der anderen Seite auch ordnungsrechtliche Maßnahmen im Rahmen eines Instrumentenmix diskutiert.

## Instrumente zur Erfassung des Stoffstroms

- Freiwillige Selbstverpflichtung der Industrie zum Monitoring von Produktions- und Recyclingmengen (primär, sekundär) sowie Umweltmonitoring. Ein Beschluß zur freiwilligen Datensammlung, die Produktions- und Verkaufsdaten, Recyclingmengen sowie Emissionsfunktionen für die verschiedenen Wirtschaftsregionen der Welt erfaßt, wurde vom AFEAS-Konsortium bereits angekündigt
- Erlaß einer Rechtsverordnung  
Strittig wird in der *Enquete-Kommission* gesehen, ob der Erlaß einer Rechtsverordnung aufgrund der ökologischen Auswirkungen von R 134a notwendig ist, oder ob eine freiwillige Selbstverpflichtung — wie vom AFEAS-Konsortium angekündigt — ausreicht.
- Aufnahme der Berichtspflicht in die Novelle des Umweltstatistikgesetzes

### Instrumente zur Durchsetzung von Emissionsminderungsmaßnahmen

- Freiwillige Selbstverpflichtung der Industrie zur Entwicklung von umfassenden Rückgewinnungs- und Recyclingkonzepten
- Formulierung von Zielvorgaben für die Anwenderindustrien, bestimmte Recyclingquoten zu erreichen
- Rücknahmeverpflichtung aller Hersteller und Vertrieber
- Formulierung von Zielvorgaben für die Anwenderindustrien zur Emissionsminderung von Kältemitteln
- Formulierung von Zielvorgaben für die Anwenderindustrien zur Minderung des Betriebsenergieverbrauchs der verschiedenen Technologien
- Inhalte möglicher Selbstverpflichtungen

Über die Inhalte möglicher Selbstverpflichtungen der Anwenderindustrien bestehen *innerhalb der Enquete-Kommission unterschiedliche Auffassungen:*

Freiwillige Selbstverpflichtung der Anwenderindustrien (z. B. insbesondere der Aerosolindustrie) zum Verzicht auf klimarelevante Treibgase (ausgenommen medizinische Aerosole) in umwelt-offenen Anwendungen.

versus:

Freiwillige Selbstverpflichtung der Anwenderindustrien zum Verzicht auf „offene“ und „halb-offene“ Produktlinien (Definition: s. Glossar).

*Unterschiedliche Einschätzungen* bestanden *innerhalb der Enquete-Kommission* über die Notwendigkeit weitergehender Instrumente wie z. B. Besteuerung, Abgaben, Verzicht auf Abgaben und Besteuerung, Aufnahme von FKW in Klimakonvention mit eigenem Protokoll zu R 134 a.

#### 4.3.4 Bedürfnisfeld Textilien/Bekleidung

##### 4.3.4.1 Begründung für die Themenwahl

Die Erfassung und Bewertung von Stoffströmen wurde nicht nur an Einzelbeispielen sondern auch an komplexeren Beispielfeldern durchgeführt, um dadurch einerseits die Tragfähigkeit der bisher gewonnenen Erkenntnisse zu überprüfen und andererseits den Umgang mit schwieriger faßbaren, vernetzten Stoffströmen zu erproben (s. Kap. 4.1).

Zur Diskussion standen vier essentielle Bedürfnisfelder menschlicher Existenz, nämlich Ernährung, Wohnen/Bauen, Mobilität sowie Textilien/Bekleidung. Neben dem Themenfeld Mobilität (s. Kap. 4.3.5) fiel die Wahl auf das Bedürfnisfeld Textilien/Bekleidung.

Ein wichtiges Auswahlkriterium war die — z. T. recht emotional geführte — öffentliche Diskussion über das Thema Textilien/Bekleidung, die durch Schlagworte wie „Gift im Kleiderschrank“ oder „Weshalb unsere Kleider krank machen“ öffentlich Ausdruck er-

hielt und in Entwicklungen verschiedener Konzepte möglicher Textilkennzeichnungen (so z. B. Öko-Labeling) mündete. Durch die Tatsache, daß sich dem Thema Kleidung niemand entziehen kann, ganz gleich welche Einstellung oder welche Vorbehalte er hat, erhält diese öffentliche Diskussion eine besondere Brisanz. Die Enquete-Kommission macht es sich zur Aufgabe, zu einer Versachlichung der Diskussion beizutragen.

Eine besondere Herausforderung liegt bei diesem Beispielfeld in dem trotz der umfangreichen Literaturfülle nur ungenügend bzw. kaum vorhandenen aktuellen Datenmaterial zu den Stoffströmen von Bekleidungstextilien, — ein Unterschied gegenüber den bisher in der Enquete-Kommission untersuchten Einzelstoffen, zu denen aktuelles Datenmaterial in sehr viel größerem Umfang vorhanden ist.

Auch die Vielzahl unterschiedlicher Stoffe — hier „Stoff“ einmal sowohl in der allgemein materiellen als auch in der textilen Bedeutung verwendet — stellt für die Stoffstrombetrachtung des Bedürfnisfeldes Textilien/Bekleidung eine Hürde dar. So läßt z. B. bei einem Baumwollhemd die Bezeichnung Baumwolle vermuten, daß das betreffende Bekleidungsstück aus nur einer Einzelsubstanz besteht. Tatsächlich subsumiert dieser Begriff eine Vielzahl weiterer Stoffklassen, die z. B. während der Verarbeitungsprozesse eingesetzt werden mußten und wieder (weitgehend) vom textilen Gut entfernt wurden, oder die in Form von Farbstoffgemischen oder Veredelungsmitteln auf dem textilen Gut verbleiben.

Zudem zeichnet sich das Themenfeld Bekleidung gegenüber den bisher betrachteten Einzelbeispielen dadurch aus, daß es in starkem Maße durch internationale Handelsverflechtungen geprägt wird: Die Odyssee einer Baumwollfaser etwa zur Fertigung eines Baumwollhemdes, beginnend mit der Rohstoffgewinnung in einem Baumwollanbauggebiet, z. B. Nicaragua, Ägypten oder den USA, bis hin zur Konfektionierung, beispielsweise in einem südostasiatischen Niedriglohnland, macht diese internationale Verflechtung deutlich. Durch die internationale Arbeitsteilung erhält das ausgewählte Beispiel zudem eine entwicklungspolitische/soziale Bedeutung, die bei der Stoffstrombetrachtung mit berücksichtigt werden muß. Auch die ökonomische Dimension kommt beim Bedürfnisfeld Textilien/Bekleidung zum Tragen: Mit rund 6,3 % eines mittleren Monatseinkommens (bezogen auf einen 4-Personen-Haushalt), das entspricht ca. 240,— DM, sind die Ausgaben für Bekleidung in der Bundesrepublik Deutschland deutlich höher als in anderen bedeutenden Industrieländern.

Zur Komplexität der Stoff- und Warenströme und der eingesetzten Stoffe und Stoffgemische kommt noch die Vielzahl unterschiedlicher Akteure innerhalb der einzelnen Produktionsstufen textiler Bekleidung (im folgenden „textile Kette“ genannt) hinzu: Anders als bei den bisherigen Einzelbeispielen, bei denen im großen und ganzen eine überschaubare Zahl an Produzenten oder Verarbeitern innerhalb der Stoffströme identifiziert werden können, sind bei der textilen Kette völlig verschiedenartige Unternehmen mit unterschiedlicher Struktur und Größe betei-

ligt. Sie reichen von einer Vielzahl an Kleinbauern in Rohstoffanbauländern sowie kleinen und mittelständischen Verarbeitungsbetrieben im In- und Ausland bis hin zu einer überschaubaren Anzahl chemischer Großkonzerne als Produzenten für Chemiefasern, Textilfarbstoffe und Textilhilfsmittel. Erstmals wurde mit dem Bedürfnisfeld Textilien/Bekleidung auch ein Beispiel gewählt, das in der Bundesrepublik Deutschland Unternehmen mit hohem Anteil an weiblichen Arbeitnehmern betrifft. In diesem Zusammenhang sind vor dem Hintergrund der z. T. schweren Arbeitsbedingungen, des vergleichsweise niedrigen Lohnniveaus und dem drastischen Verlust an Arbeitsplätzen in den letzten zwei Jahren Überlegungen zu sozialen und ökonomischen Aspekten von großer Bedeutung.

Das Kriterienbündel für die Auswahl des Bedürfnisfeldes Kleidung enthält noch einen weiteren Aspekt, der wiederum zur Komplexität des Themas beiträgt: Wohl kein anderes Bedürfnisfeld ist so stark mit dem menschlichen Wunsch nach Individualität und Persönlichkeitsdarstellung verknüpft. Kleidung dient eben nicht nur dem Schutz vor Kälte und Wärme, sie trägt vielmehr unmittelbar zum Erscheinungsbild des Menschen bei und dient in allen Kulturformen als entscheidendes soziales Statussymbol. Dadurch gewinnen die Einflüsse von Mode als Wirtschaftsfaktor einerseits und von immer kürzeren Modezyklen als Wirtschaftsmotor andererseits an Bedeutung. Deshalb sollte auch dem Käufer- und Verbraucherverhalten als Einflußgröße bei der Stoffstrombetrachtung (und einer möglichen Stoffstromoptimierung) im Rahmen dieses Bedürfnisfeldes besondere Beachtung geschenkt werden. Gerade die enge Verknüpfung zwischen Kleidung, Ausdruck von Persönlichkeit und Individualität trägt sicherlich mit dazu bei, daß die aktuelle öffentliche Diskussion um Bekleidungstextilien sehr emotional geführt wird, wobei die völlig unzureichende Datensituation hier bislang eher zur Verschärfung der Auseinandersetzung beigetragen hat.

An dieser Stelle soll nochmals hervorgehoben werden, daß es bei der Stoffstrombetrachtung nicht allein um einen Erkenntnisgewinn innerhalb des Themengebiete ging; dieses Untersuchungsfeld diente vielmehr — wie alle anderen Themen auch — als Beispiel, anhand dessen Bewertungskriterien für die Ressourcen- und Energieeffizienz sowie die Umweltrelevanz von Stoffen und Stoffströmen entwickelt werden können, die dann wiederum Grundlage für den Entwurf eines integrierten Stoffstrommanagements bilden sollen (s. Kap. 5).

Da die z. Z. verfügbaren amtlichen Statistiken fast ausschließlich ökonomische Aspekte berücksichtigen und sich viele der verfügbaren Daten auf unterschiedliche Bezugsgrößen beziehen, leistete die Enquete-Kommission mit diesem Versuch einer Gesamtstoffstrombetrachtung eine Art Pionierarbeit.

#### 4.3.4.2 Vorgehensweise

Mit den Vorüberlegungen zur Auswahl des Themenfeldes Textilien/Bekleidung war hinreichend sicher-

gestellt, daß hiermit einerseits ein Beispiel von besonders hoher Komplexität gefunden war und andererseits Ansatzpunkte für Bewertungskriterien zur Ökologie, zur Ökonomie und zu sozialen Aspekten gegeben sind. Ob bei der Stofffülle aber überhaupt eine systematische Stoffstrombetrachtung möglich sein würde, mußte sich bei der einerseits umfangreichen Literaturmenge und der andererseits trotzdem nur geringen Datenverfügbarkeit im weiteren bei der Bearbeitung herausstellen.

#### Vergabe von Vorstudien

Im Oktober 1992 wurden deshalb zwei Institute im Rahmen von Vorstudien beauftragt, eine aktuelle Übersicht über den Sachstand zu Textilien/Bekleidung zu erstellen.

Eine der beiden Studien mit dem Titel „Stoff- und Informationsströme in der Produktlinie Bekleidung“ wurde an die Arbeitsgemeinschaft Textil vergeben, die sich aus den drei Instituten iku, Institut Kommunikation & Umweltplanung GmbH (Federführung), MUT, Programmgruppe Mensch — Umwelt — Technik, Forschungszentrum Jülich GmbH sowie dem Beratungsbüro für Umweltpolitik, Leiden, zusammensetzt (Arbeitsgemeinschaft Textil, 1992).

Das zentrale Ziel dieser Vorstudie lag in einer Bestandsaufnahme im Sinne einer überblicksorientierten Materialsammlung zur Produktion von Kleidung, zu ihrer Veredlung und zu ihrem Gebrauch. Im Rahmen dieser Bestandsaufnahme sollten auch die relevanten Stoff-, Informations- und Warenströme dargestellt werden sowie eine kurze Analyse des Verbrauchermarktes und Verbraucherverhaltens enthalten sein. Die Identifizierung der Datendefizite und Wissenslücken gehörte ebenfalls zu den wesentlichen Inhalten der Vorstudie. Literatúrauswertungen und Interviews mit Entscheidungsträgern aus Produktion, Handel und Verbänden sollten dieser Vorstudie methodisch zugrundeliegen.

Eine weitere Vorstudie mit dem Titel „Textilien/Kleidung“ wurde an die COGNIS Gesellschaft für Bio- und Umwelttechnologie mbH, Düsseldorf, vergeben (COGNIS, 1992).

Ziel dieser Vorstudie sollte es sein, im Rahmen einer Feasibility-Untersuchung (d. h. Untersuchung über die Möglichkeiten der Durchführbarkeit) die Stoffströme entlang der textilen Kette vom Rohstoff bis zur Entsorgung der textilen Bekleidung darzustellen. Zudem sollten die unterschiedlichen Bekleidungssegmente quantifiziert und das vorhandene Datenmaterial zu den eingesetzten Roh- und Hilfsstoffen zusammengestellt werden.

Beide Studiennehmer hatten darüber hinaus zur Aufgabe, konkretere Untersuchungsfelder innerhalb des Bedürfnisfeldes Textilien/Bekleidung vorzuschlagen, anhand derer die Stoffstromanalyse, -bewertung und das Stoffstrommanagement vertiefend betrachtet werden können.

## Öffentliche Anhörung

Die Ergebnisse beider Vorstudien machten deutlich, daß Daten zum Stoffstrom entlang der textilen Kette nur in ungenügendem Maße zur Verfügung standen oder zur Verfügung gestellt wurden.

Da exaktes Datenmaterial aber eine wesentliche Voraussetzung für die Analyse des Stoffstroms und damit letztlich auch für die Bewertung und das Management von Stoffströmen darstellt, entschied sich die Enquete-Kommission, eine öffentliche Anhörung mit dem Titel „Die Stoffe, aus denen unsere Kleider sind, — Stoffströme entlang der textilen Bekleidungskette —“ durchzuführen.

Von der Anhörung erhoffte sich die Enquete-Kommission, aktuelles Datenmaterial zu den Stoffströmen von Textilien „von der Wiege bis zur Bahre“, d. h. von der Primärproduktion der Rohstoffe und Herstellung der Chemiefasern bis hin zur Entsorgung, zu erhalten. Zudem sollten die in den beiden Vorstudien ermittelten Informationsdefizite und Wissenslücken thematisiert und die Ursachen für die mangelnde Datenverfügbarkeit ausgemacht werden.

In einem Fragenkatalog (KDRs 12/8 neu) stellte die Enquete-Kommission rund 150 Fragen zusammen, die sich auf folgende Themenfelder bezogen:

Den Schwerpunkt der Anhörung stellte die Stoffstrombetrachtung entlang der textilen Bekleidungskette dar. Dieser Teil wurde in die einzelnen Stufen der Produktlinie untergliedert, nämlich: Rohstoffgewinnung/Primärproduktion; Produktion von Fasern, Garnen und Flächengebilden; Textilveredlung; Konfektionierung; Transportaufwand; Handel, Distribution, Verpackung; Gebrauch und Entsorgung. Vertiefende Fragen wurden zum Themenfeld Information und Kommunikation gestellt, um so die Ursachen für die mangelnde Datenverfügbarkeit aber auch die Kommunikationswege zwischen den einzelnen Akteuren auszumachen. Der Fragenkatalog schloß mit sozial-ökonomischen Fragestellungen.

Aus der Vielzahl der für Bekleidungstextilien verwendeten Natur- und Chemiefasern wurden die mengenmäßig bedeutsamsten ausgewählt: Bei den Naturfasern beschränkte sich der Fragenkatalog auf Baumwolle, Leinen, Wolle und Seide. Unter den Chemiefasern wurden die cellulosischen Chemiefasern und die synthetischen Chemiefasern Polyester, Polyamid sowie Polyacryl einer Stoffstrombetrachtung unterzogen.

Fragen zur Ökologie und Toxikologie wurden ausgeklammert, da diese den Rahmen einer anderthalbtägigen öffentlichen Anhörung gesprengt hätten. Diese Themen sollen zu einem späteren Zeitpunkt behandelt werden. Lediglich im Zusammenhang mit dem Themenfeld Pestizideinsatz bei der Baumwollproduktion und allgemein bei dem Thema Arbeitsschutzbestimmungen fanden Fragen zur Toxikologie Berücksichtigung. Der Bereich Textilpflege wurde ebenso ausgeklammert.

**4.3.4.3 Darstellung und Analyse des Stoffstroms entlang der textilen Kette**

Anders als bei den Einzelstoffbetrachtungen kann an dieser Stelle keine inhaltliche Darstellung des gesamten Stoffstroms erfolgen:

Allein das im Rahmen der Vorstudien und der öffentlichen Anhörung zusammengetragene Material umfaßt aufgrund der Komplexität des Themas über 1 000 Seiten. Hinzu kommt eine Fülle an aktueller Literatur und an Statistiken. Dies alles ist auch nicht ansatzweise zusammenfassend darstellbar, — was letztlich auch nicht Aufgabe des vorliegenden Zwischenberichts ist. Dies käme dem ehrgeizigen Versuch gleich, das Telefonbuch einer bundesdeutschen Großstadt schwerpunktmäßig zusammenzufassen — ein müßiges und zum Scheitern verurteiltes Unterfangen.

Es wird deshalb im folgenden versucht, aus drei unterschiedlichen Blickwinkeln exemplarisch einen Einblick in den Stoffstrom entlang der textilen Kette zu geben:

Zunächst wird in einem allgemeinen Teil — quasi als Einstieg — ein Überblick über sämtliche Faserarten und die einzelnen Stufen der textilen Kette gegeben. Das Spektrum der innerhalb des Stoffstroms zu berücksichtigenden Einzelaspekte wird dann am Beispiel der Primärproduktion von Naturfasern und an der Textilveredlung dargestellt.

Es folgt der Versuch einer Darstellung des Stoffstroms am Beispiel der Primärproduktion von Baumwolle, der Produktion von Chemiefasern und der Textilveredlung. Es wurden gerade diese Produktionsstufen innerhalb der textilen Kette beispielhaft ausgewählt, weil sich zeigte, daß hier große Stoffmengen mit hoher ökologischer, ökonomischer und sozialer Relevanz umgesetzt werden.

Während diese exemplarischen Stoffstrombetrachtungen zunächst global qualitative und quantitative Aspekte berücksichtigen, wird demgegenüber versucht, den rein quantitativen Stoffstrom innerhalb der Bundesrepublik Deutschland am Beispiel der Textilveredlung darzustellen. Dabei wird ein Problem offensichtlich, das sich immanent schon bei allen Produktionsstufen beobachten ließ: Die Daten gehen zum überwiegenden Teil von so unterschiedlichen Bezugsgrößen (Jahr; alte/neue Bundesländer; sämtliche Textilien/nur Bekleidungstextilien) aus, daß bei dieser heterogenen Datensituation der Aussagewert nur gering ist. Hinzu kommt, daß eine Vielzahl an Stoffströmen bisher datenmäßig gar nicht erfaßt ist. Ebenfalls allgemein ist anzumerken, daß die Bereitschaft von Verbänden und Unternehmensvertretern zur Weitergabe der vorhandenen Daten unterschiedlich ausgeprägt war.

**Faserarten und Stufen der textilen Kette**

Die Abbildungen 4.3.4.1 und 4.3.4.2 geben einen Überblick über die Vielfalt verwendeter Naturfasern und Chemiefasern, wobei auch diese Übersichten noch nicht annähernd vollständig sind.



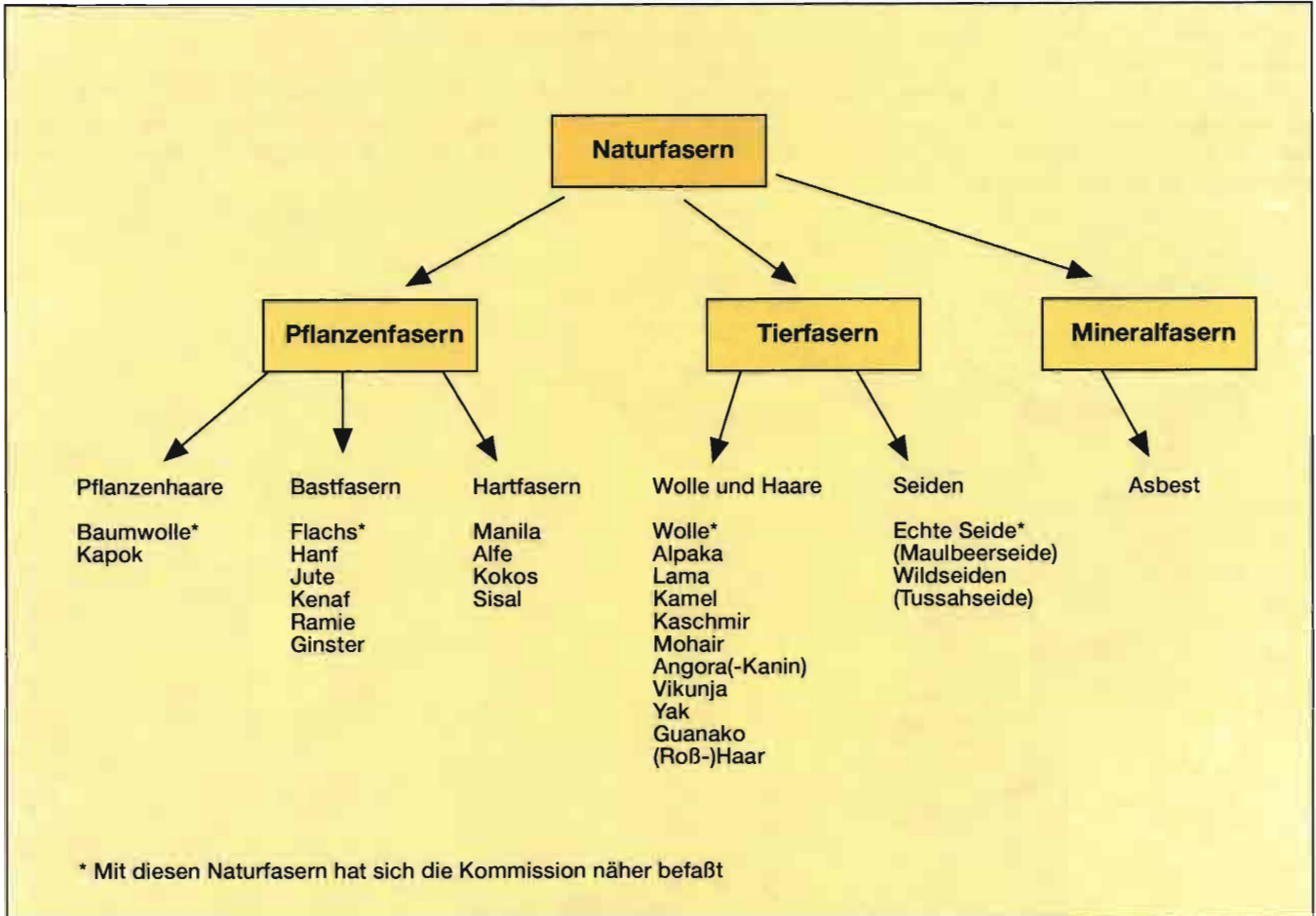


Abb. 4.3.4.1 Übersicht über Naturfasern, die im textilen Bereich verwendet werden (Arbeitsgemeinschaft Textil, 1992)

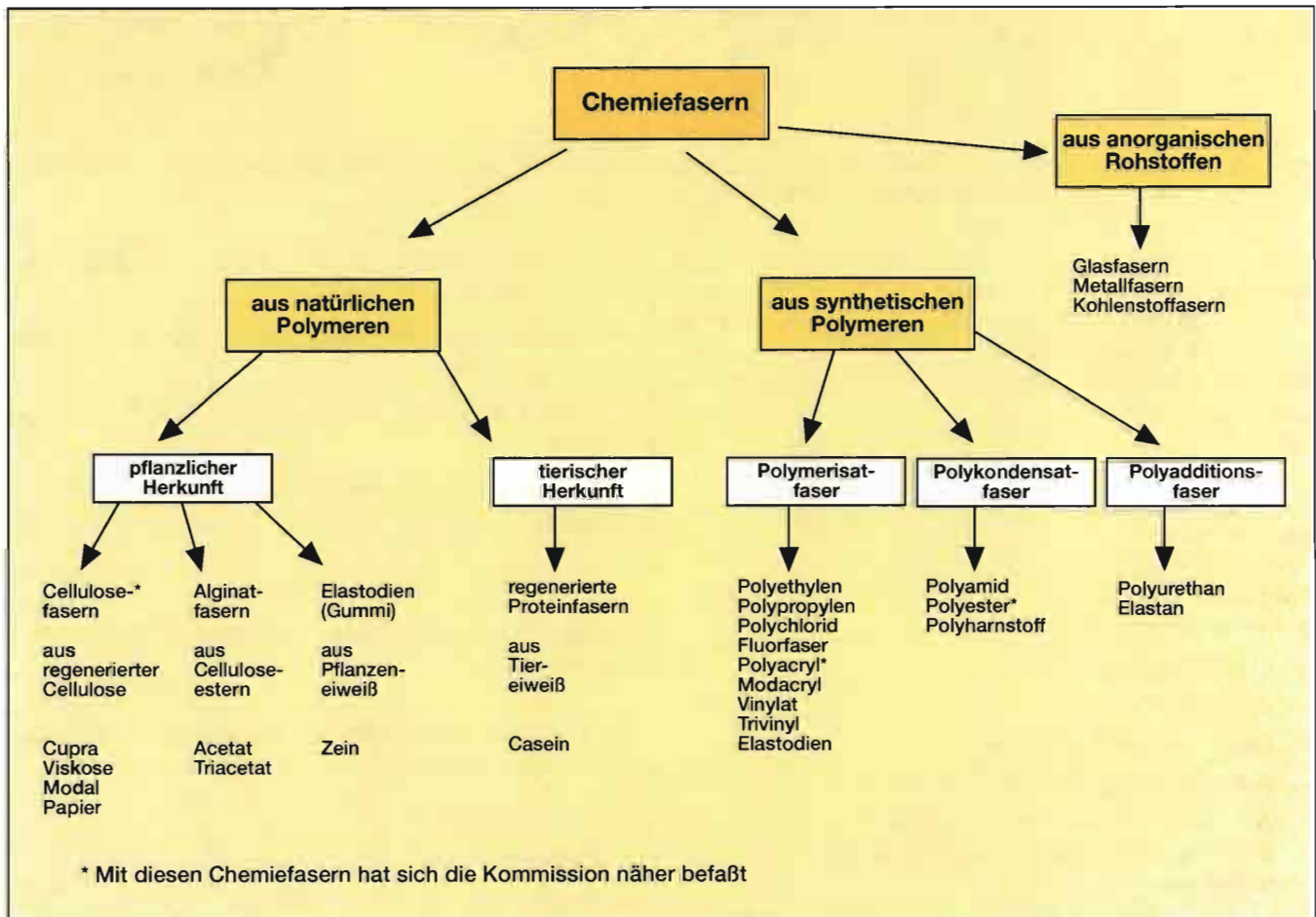


Abb. 4.3.4.2 Übersicht über Chemiefasern, die im textilen Bereich verwendet werden



Wie bereits erwähnt, konzentrierte sich die Enquete-Kommission bei ihrer Analyse auf die mengenmäßig bedeutendsten Faserarten: Bei den Naturfasern wurden Baumwolle, Leinen (Flachs), Wolle und Seide untersucht. Unter den Chemiefasern wurden die cellulosischen Chemiefasern und die synthetischen Chemiefasern Polyester, Polyamid sowie Polyacryl ausge-

wählt. Damit wurden etwa 80 % des Bekleidungs-marktes erfaßt.

Betrachtet man die Stoffströme entlang der tex-tilen Kette, so zeigt sich ein höchst komplexer Weg, der in Abbildung 4.3.4.3 vereinfacht wiedergegeben ist:

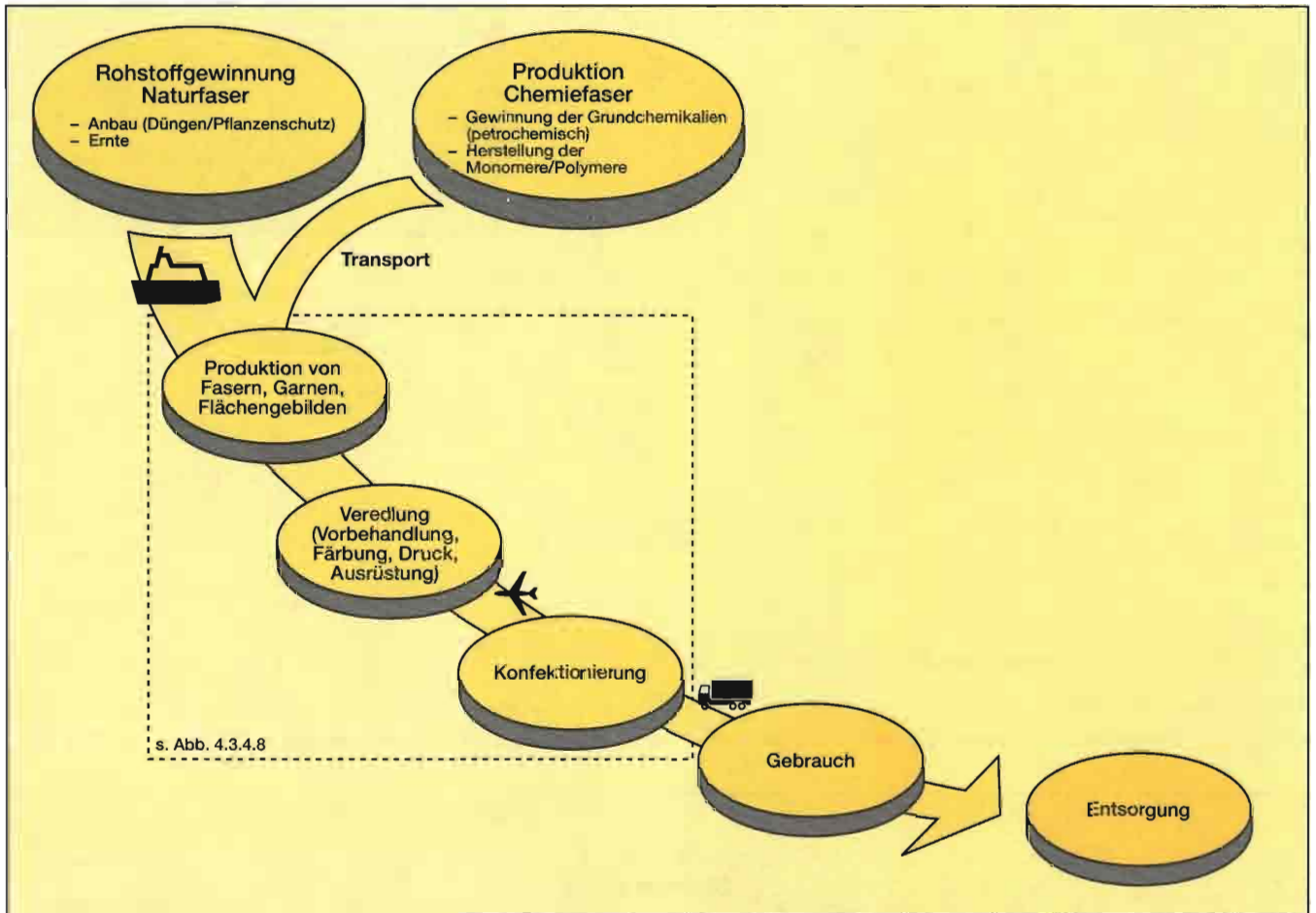


Abb. 4.3.4.3 Stoffströme entlang der textilen Bekleidungskette (ohne Berücksichtigung des Import und Exports) (Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“, 1993)

Es können hier nicht alle Einzelaspekte, die bei einer Stoffstrombetrachtung relevant sind, wiedergegeben werden. Beispielhaft wird das Spektrum der zu berücksichtigenden Aspekte bei der Primärproduktion von Naturfasern und der Textilveredlung dargestellt:

**Stoffstrombetrachtung bei der Primärproduktion von Naturfasern**

Folgende Einzelaspekte sind bei der Naturfaserprimärproduktion zu berücksichtigen:

- Produktionsmengen
- Anbauländer
- Größe der Anbauflächen
- Art und Menge der Kuppelprodukte
- Art und Menge der eingesetzten Hilfs- und Betriebsmittel (z. B. Düngemittel, Pflanzenschutzmittel etc.)
- humantoxikologische Eigenschaften der Hilfs- und Betriebsmittel

- ökotoxikologische Eigenschaften der Hilfs- und Betriebsmittel
- Verbleib der eingesetzten Hilfs- und Betriebsmittel
- Menge des eingesetzten Trink- und Brauchwassers
- Menge der eingesetzten nicht erneuerbaren Energie (z. B. für Transport und Maschineneinsatz).

**Stoffstrombetrachtung bei der Produktionsstufe Textilveredlung**

Die einzelnen Verfahren der Textilveredlung können nach folgenden Kategorien untergliedert werden:

- Vorbehandlung
- Färbung
- Textildruck
- Ausrüstung.

Bei der Stoffstrombetrachtung jedes einzelnen Veredelungsmittels (!) muß zunächst zwischen Produktion und Anwendung unterschieden werden.

Bei der Produktion sind im wesentlichen folgende Aspekte zu berücksichtigen:

- Produktionsmengen
- Rohstoffeinsatz
- Art und Menge der Kuppelprodukte
- Art und Menge der eingesetzten Hilfs- und Betriebsmittel
- humantoxikologische Eigenschaften der Hilfs- und Betriebsmittel
- ökotoxikologische Eigenschaften der Hilfs- und Betriebsmittel
- Verbleib der eingesetzten Hilfs- und Betriebsmittel
- Art und Menge der eingesetzten Energie
- Menge des eingesetzten Trink- und Brauchwassers
- Menge der eingesetzten nicht erneuerbaren Energie (z. B. für Transport und Maschineneinsatz)
- Art und Menge der Emissionen und Verteilung der emittierten Stoffe in die Umwelt
- Abbauverhalten der emittierten Stoffe
- humantoxische Eigenschaften der emittierten Stoffe
- ökotoxische Eigenschaften der emittierten Stoffe
- Art und Menge der Abfälle.

Bei der Anwendung der Veredlungsmittel sind folgende Aspekte zu unterscheiden:

- Menge der verwendeten Veredlungsmittel
- Energieeinsatz
- Menge des eingesetzten Trink- u. Brauchwassers
- Art und Menge der Emissionen
- Verbleib der Veredlungsmittel auf der Textilie und Verteilung der Emissionen in die Umwelt
- humantoxische Eigenschaften der Veredlungsmittel
- ökotoxische Eigenschaften der Veredlungsmittel
- Menge und Art der Abfälle
- Verbleib der Veredlungsmittel nach dem Gebrauch bei der Entsorgung.

Eine ähnlich differenzierte Betrachtungsweise gilt auch für alle anderen Stufen innerhalb der textilen Kette, nämlich die Produktion von Chemiefasern, die Produktion von Fasern, Garnen und geweb-

ten Flächen (jeweils Naturfasern, Chemiefasern und Mischungen aus beiden Faserarten) sowie die Konfektionierung, der Gebrauch, der Transport und die Entsorgung.

Allgemeine Übersicht über Mengenbetrachtungen innerhalb der textilen Kette

Weltweit wurden 1991 ca. 40,3 Mio. t Fasern (insgesamt, nicht nur bezogen auf Bekleidungstextilien) produziert; der Anteil an Baumwolle betrug 47 % (18,94 Mio. t), an Wolle 5 % (2,02 Mio. t) und an Chemiefasern 48 % (19,34 Mio. t). In der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) wurden 1991 ca. 670 000 t textile Bekleidung verbraucht. Den in der Bundesrepublik Deutschland mengenmäßig bedeutendsten Faserrohstoffanteil hat mit 354 000 t (53 %) die Baumwolle, gefolgt von den synthetischen Chemiefasern mit rund 143 000 t (21 %). Wolle steuert mit ca. 36 000 t nur ca. 5 % zum Rohstoffeinsatz bei (COGNIS, 1992).

Der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch an Bekleidungstextilien beträgt in der Bundesrepublik Deutschland nach Berechnungen von COGNIS ca. 11 kg. Alle anderen Quellen gingen bislang von ca. 20 bis 23 kg aus, wobei in diesen Angaben vermutlich auch der Verbrauch an Nicht-Bekleidungstextilien, z. B. Haushalts- und Heimtextilien, enthalten ist. Allein diese Differenz zeigt, daß selbst bei wichtigen Basisdaten innerhalb des Stoffstroms der textilen Kette Unklarheiten und Uneinigkeit bestehen.

Wie aus Tabelle 4.3.4.1 ersichtlich, stellt die Damen- und Mädchenoberbekleidung mit 288 000 t das mit Abstand größte Bekleidungssegment in der Bundesrepublik Deutschland (im Jahre 1990, bezogen auf die alten Bundesländer) dar.

#### 4.3.4.3.1 Stoffstrombetrachtung der Primärproduktion von Naturfasern am Beispiel der Baumwolle

Produktionsmengen und Importe in die Bundesrepublik Deutschland

Die Weltproduktion an Rohbaumwolle betrug im Durchschnitt der Jahre 1990/92 schätzungsweise 20 Mio. t (s. Abb. 4.3.4.4).

Zwischen 1970 und 1990 stieg die Produktion um durchschnittlich 2,2 % p. a.; die Anbauflächen nahmen dagegen durchschnittlich lediglich um 0,2 % p. a. zu. Demnach konnten die Flächenerträge um etwa 2,0 % p. a. gesteigert werden, wobei die Flächenertragssteigerung vor allem auf vermehrte Bewässerung, Intensivierung der mineralischen Düngung und chemischen Schädlingsbekämpfung zurückzuführen ist. In einigen Ländern wie z. B. Indien, Brasilien oder Ostafrika bestehen noch beträchtliche Flächen-ertragsreserven.

Tabelle 4.3.4.1

**Mengenmäßiger Anteil der unterschiedlichen Bekleidungssegmente in der Bundesrepublik Deutschland  
(alte Bundesländer) im Jahre 1990**

Bekleidungssegment	Mengenangabe in 1 000 t	Anteil in %
Bekleidungsmarkt insgesamt . . . . .	680	100
Damen- und Mädchen-Oberbekleidung . . . . .	288	42
Herren- und Knaben-Oberbekleidung . . . . .	158	24
Herren- und Knaben-Unterbekleidung inklusive Oberhemden . . . . .	68	10
T-Shirts und Unterhemden . . . . .	47	7
Damen- und Mädchen-Unterbekleidung . . . . .	35	5
Sport- und Badebekleidung . . . . .	30	4
Strickstrümpfe . . . . .	23	3
Damenbeinkleidung . . . . .	17	2
Babybekleidung . . . . .	12	2
Miederwaren . . . . .	2	0,3

Quelle: K Drs 12/8 a, Holthaus

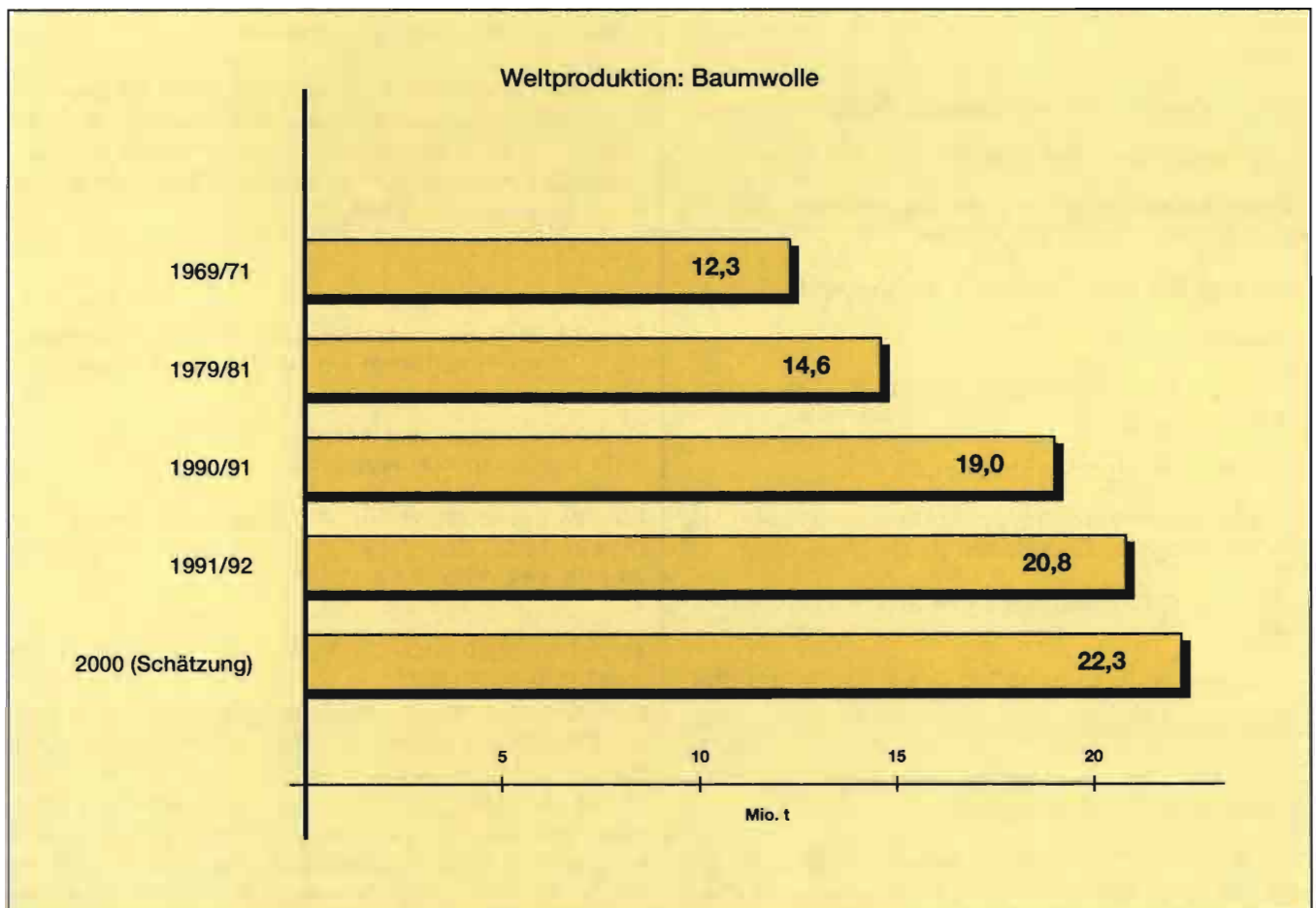


Abb. 4.3.4.4 Weltproduktion an Rohbaumwolle von 1969 bis 2000 (K Drs 12/8 a, Brandt)

Der Import an Baumwollfasern in die Bundesrepublik Deutschland betrug im Jahre 1990 (alte Bundesländer) 260 000 t. Tabelle 4.3.4.2 gibt einen Überblick über die Importländer:

Tabelle 4.3.4.2

**Baumwollimporte (in 1 000 t)  
in die Bundesrepublik Deutschland  
(alte Bundesländer, Stand 1990)**

Europa .....	52
UdSSR .....	28
Afrika .....	59
USA .....	41
Mittel- und Südamerika .....	55
Asien .....	11
Nahost .....	10
Australien .....	4

Quelle: COGNIS, 1992, S. 19

**Anbauflächen**

Die Weltanbaufläche für Baumwolle liegt im Durchschnitt der letzten drei Jahre bei etwa 33 Mio. ha, das sind etwa 4,7 % der Weltgetreidefläche bzw. 2,4 % der Weltackerfläche (zum Vergleich: Die Bundesrepublik Deutschland, alte und neue Bundesländer, umfaßt ca. 35,9 Mio. ha) (KDRs 12/8a, Brandt).

Abbildung 4.3.4.5 gibt einen Überblick über die Verteilung der Anbauflächen auf die wichtigsten Erzeugerländer.

**Anbauländer**

Zu den wichtigsten Baumwollerzeugerländern zählen die USA (17,3%), die GUS (13,6%), VR China (24,4%), Indien (11,1%) und Pakistan (9,2%), die zusammen rund 75 % der gesamten Baumwollproduktion erzeugen (KDRs 12/8a, Brandt). Abbildung 4.3.4.6 gibt einen Überblick über die wichtigsten Rohbaumwollerzeugerländer.

**Kuppelprodukte**

1000 kg geerntete Saatbaumwolle enthalten im Durchschnitt:

- a) für die Textilfaserherstellung geeignete Rohfasern: 420 kg
- b) andere Naturprodukte:
  - Saatkuchen 200 kg
  - Öl 110 kg
  - Schalen 210 kg
  - zurückbehaltenes Saatgut 20 kg
- c) Abfälle: Verunreinigungen 40 kg

Ein Drittel der geernteten Baumwollrohfasern wird als Ausgangsmaterial der Faserherstellung verwendet. Der Rest, die sogenannten Linters, d. h. kurze Baumwollfasern, werden als Cellulose-Chemiefasern eingesetzt und zur Papierproduktion verwendet.

**Art und Menge der eingesetzten Hilfs- und Betriebsmittel**

*Schädlingsbekämpfungsmittel*

Die Baumwollpflanze wird wie kaum eine andere tropische Kulturpflanze von Schädlingen heimge-sucht. Auch in keiner anderen Anbaukultur ist das Resistenzproblem so ausgeprägt. Der intensive Pesti-zideinsatz führt im Zeitablauf zur Entwicklung von resistenten Schädlingen, so daß neue Wirkstoffe ein-gesetzt werden müssen, gegen die die Schädlinge bald wiederum Widerstandsfähigkeit entwickelt ha-ben. Zudem werden durch Insektizide auch Nützlinge verdrängt, so daß der chemische Pflanzenschutz wei-ter ausgebaut wird (KDRs 12/8d, Knirsch).

Als Schädlingsbekämpfungsmittel werden heute in erster Linie Pyrethroide (z. B. Cypermethrin, Fenvale-rate) und organische Phosphorverbindungen einge-setzt. Allerdings ist für 1991 noch der Einsatz des in vielen Ländern mit Verboten belegten Chlorkohlen-wasserstoff-Insektizides DDT für Tansania dokumen-tiert worden. Das Insektizid Lindan (gamma-HCH) wird auch heute noch beim Baumwollanbau ange-wendet (KDRs 12/8d, Knirsch).

Tabelle 4.3.4.3 gibt einen Überblick über häufig eingesetzte Baumwollinsektizide und -akarizide.

Aus diesen Angaben ist erkennbar, daß bereits inner-halb von nur drei Jahren zum Teil völlig andere Wirkstoffe und Wirkstoffkombinationen bei der Baumwollschädlingsbekämpfung zum Einsatz kom-men. Dies läßt sich mit der schnellen Pestizidresistenz erklären, die den Einsatz neuer Schädlingsbekämp-fungsmittel in immer kürzeren Zeitabständen erfor-derlich macht.

*Herbizide und Entlaubungsmittel*

Neben den hohen Pestizideinsätzen bei der Baum-wollproduktion werden auch große Mengen an Ent-laubungsmitteln ( z. B. Dimethylarsensäure, Thidi-azuron sowie Tribufos) zur Ernteerleichterung sowie Herbizide (z. B. Diuron, Fluometuron, Mepiquat u. a.) eingesetzt, auf deren Einsatz im Rahmen der Stoff-strombetrachtung lediglich hingewiesen werden soll (nähere Informationen: KDRs 12/8d, Knirsch).

*Düngemittel*

Bei intensivem Anbau werden 80 bis 120 kg Stickstoff/ha sowie 20 bis 40 kg Phosphorpentoxid/ha an Mine-raldünger eingesetzt. Auf Kali-Düngung wird in den semi-ariden Tropen meist verzichtet.



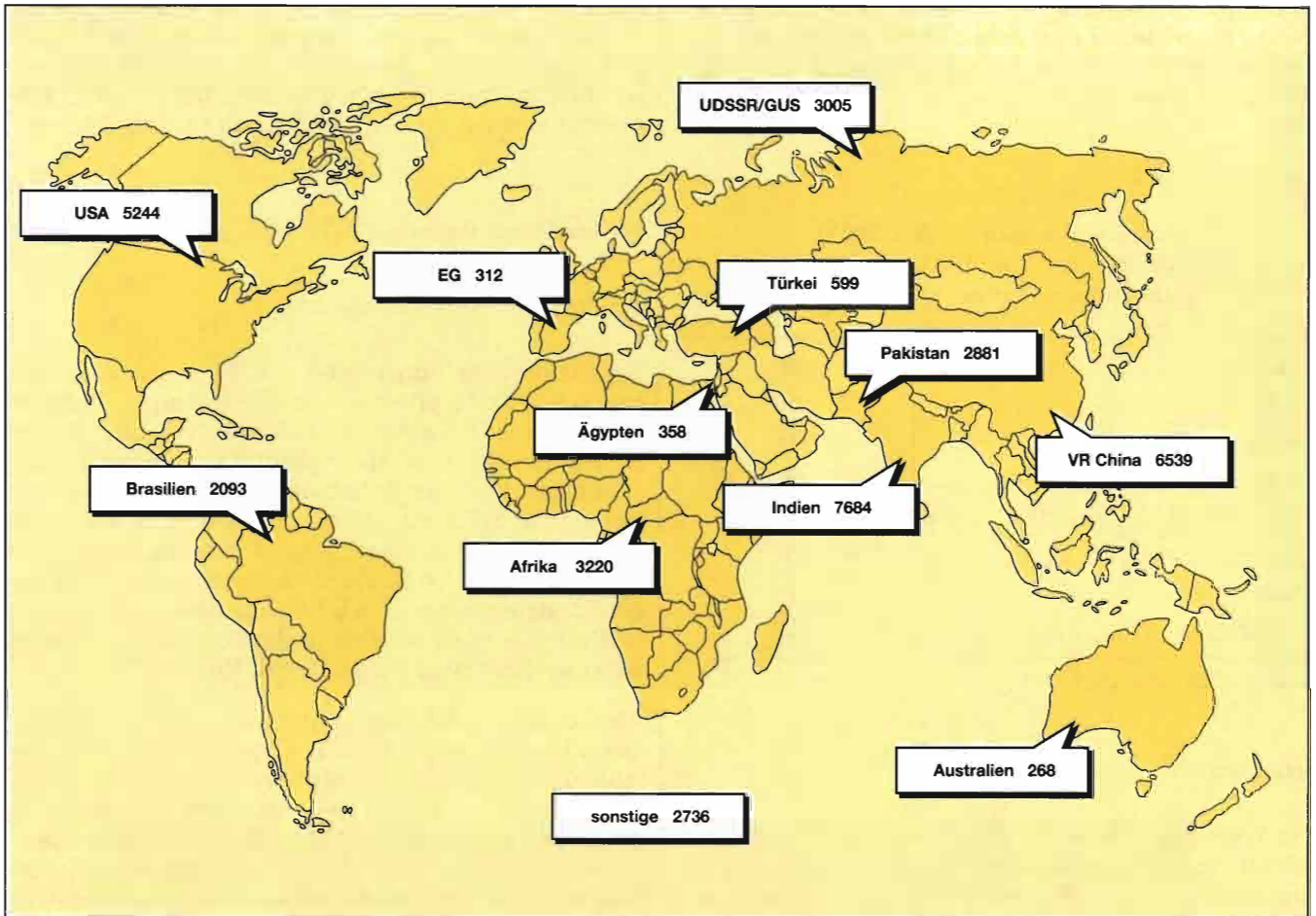


Abb. 4.3.4.5 Weiterntefläche für Baumwolle (in 1000 ha) 1991/92

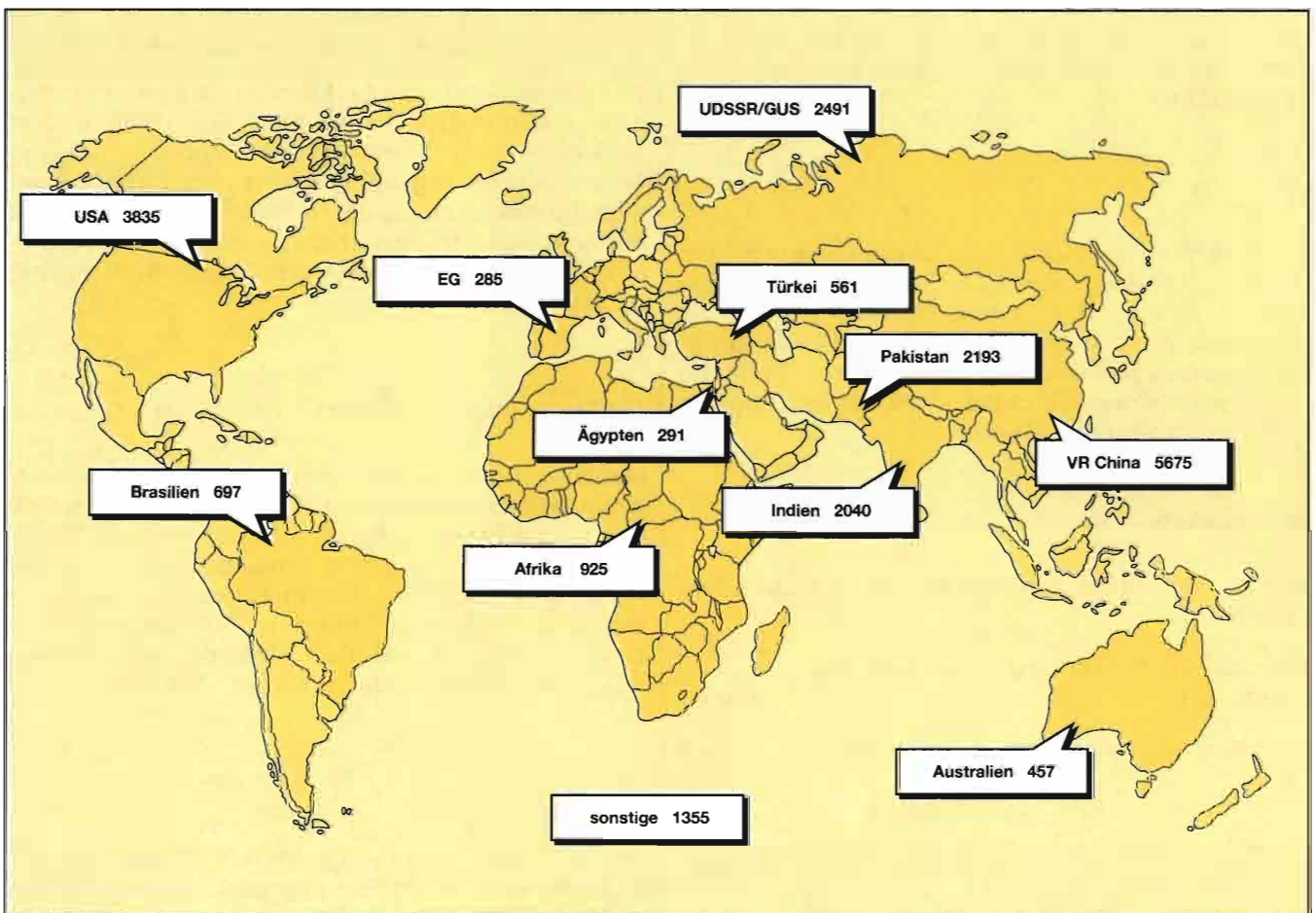


Abb. 4.3.4.6 Weltrohbaumwollerzeugung (in 1000 t) 1991/92



**Die 10 aufgrund ihrer Umsatzanteile bedeutsamsten Baumwollinsektizide und -akarizide (1988)  
im Vergleich zu den 10 umsatzstärksten Baumwollinsektiziden und -akariziden 1991  
(ohne %-Anteil)**

Rang 1991	Wirkstoff bzw. Wirkstoffkombination	Rang 1988	Wirkstoff bzw. Wirkstoff-Familie	Marktanteil 1988
1.	Cypermethrin	1.	Cypermethrin	18,6 %
2.	Monocrotophos	2.	Monocrotophos	12,5 %
3.	Cyhalothrin	3.	Fenvalerate/Esfenvalerate	11,6 %
4.	Cypermethrin + Profenofos	4.	Parathion/Parathion-methyl	8,5 %
5.	Endosulfan	5.	Deltamethrin	3,9 %
6.	Deltamethrin	6.	Quinalphos	3,6 %
7.	Fenvalerate	7.	Endosulfan	3,3 %
8.	Parathion-methyl	8.	Aldicarb	3,1 %
9.	Aldicarb	9.	Fenpropathrin	2,7 %
10.	Profenofos	10.	Diflubenzuron	2,6 %

\*) Ein direkter Vergleich der Daten für 1991 mit denen von 1988 ist aufgrund der unterschiedlichen Erhebungsmethoden und Einteilungen nicht möglich.

#### Verbleib der eingesetzten Hilfs- und Betriebsmittel

Umfassende, systematische Daten über den Verbleib der eingesetzten Hilfs- und Betriebsmittel liegen nicht vor. Lediglich über den Verbleib der Pestizide sind einige Fakten bekannt.

#### Verbleib auf Rohbaumwolle und Baumwolltextilien

Chlorkohlenwasserstoff-Insektizide wurden noch in jüngster Zeit auf Rohbaumwolle nachgewiesen, so z. B. DDT auf kalifornischer Rohbaumwolle, obwohl DDT seit 1972 in den USA verboten ist. Im Auftrag der Bremer Baumwollbörse wurde eine umfangreiche Untersuchung bezüglich der Pestizidrückstände auf importierter Rohbaumwolle durchgeführt. Es konnten im wesentlichen Phosphorester und Pyrethroide identifiziert werden. Da diese nicht alkalibeständig sind, verringern sich die Rückstandsmengen bei den alkalischen Veredlungsprozessen (KDrS 12/8 b, Neundörfer).

#### Verbleib in den jeweiligen Umweltkompartimenten

Genaue Daten über den Verbleib der eingesetzten Hilfs- und Betriebsmittel in den einzelnen Umweltkompartimenten liegen nicht vor. Es sind lediglich Stichprobenuntersuchungen bekannt.

#### Boden

Stichprobenuntersuchungen im ägyptischen Baumwollanbaugebiet ergaben, daß vor allem in den obersten Bodenschichten Pestizide noch bis zu vier Monaten nach der Ausbringung im Boden nachweisbar sind. Aufgrund des Abbaus der Pestizide ist nicht von einer Anreicherung auszugehen (KDrS 12/8 d, Knirsch).

#### Wasser

Durch Pestizideinsatz kann eine Belastung des Grundwassers und der Oberflächengewässer erfolgen. Die Pestizidbelastung des Grundwassers ist abhängig von dem Versickerungsverhalten des Pestizids und den Bodeneigenschaften. Eine Belastung der Oberflächengewässer tritt vor allem durch Abdrift während des Sprühens auf (KDrS 12/8 d, Knirsch).

#### Luft

Die Belastung der Atmosphäre durch Pestizide ist vor allem durch Funde von Pestiziden in Niederschlägen diskutiert worden. Eine Belastung der Luft erfolgt insbesondere durch die Abdrift bei der Ausbringung der Pestizide durch Flugzeuge. Spezifische Erkenntnisse durch den Pestizideinsatz bei Baumwolle sind bisher nicht bekannt (KDrS 12/8 d, Knirsch).

## Menge des eingesetzten Trink- und Brauchwassers

Genauere Daten liegen über den Wasserverbrauch in afrikanischen Ländern vor: In der westafrikanischen Trocken- und Feuchtsavanne wird die Baumwolle in der Regel im Trockenfeldbau angebaut. In der Wüstensteppe des Sudan hingegen werden pro Jahr etwa 13 000 m<sup>3</sup>/ha aus dem Nil zur Bewässerung der Baumwolle entnommen. Diese Mengen sind in Dürre-jahren als durchaus kritisch für das Brauchwasseraufkommen im Assuan-Stausee und im Unterlauf des Nils anzusehen. Im Durchschnitt werden im Sudan für 1 kg Rohbaumwolle etwa 29 m<sup>3</sup> Nilwasser verbraucht. Mit ähnlichen Größenordnungen rechnet man in den Anbaugebieten im Senegal, in Tana, Sambesi, und an den Aral-Zuflüssen. In Israel liegt der Wasserverbrauch aufgrund hoher Flächenerträge bei etwa 7 m<sup>3</sup>/kg Rohbaumwolle (KDRs 12/8a, Brandt).

## Menge eingesetzter nicht-erneuerbarer Energie

Der Einsatz nicht-erneuerbarer Energie in der Primärproduktion variiert je nach Standort: Mit steigenden Personalkosten steigt auch die Kapital- und Energieintensität für die Erzeugung.

Folgende Rohöläquivalente werden in den unterschiedlichen Baumwollanbaugebieten für die Produktion von 1 kg Rohbaumwolle ausgemacht:

USA	1kg Rohöläquivalent
GUS	1kg Rohöläquivalent
Australien	1kg Rohöläquivalent
Westafrika	0,3 bis 0,5 kg Rohöläquivalent
Sudan	0,3 bis 0,5 kg Rohöläquivalent

## 4.3.4.3.2 Stoffstrombetrachtung der Primärproduktion von Chemiefasern

Wie bei den Naturfasern ist es auch bei den Chemiefasern schwierig, den für Bekleidungstextilien verwendeten Anteil zu identifizieren — ein hoher Anteil der Chemiefasern wird zu technischen Textilien und Heimtextilien verarbeitet. Außerdem ist die Datenglage nach Ergebnissen der COGNIS — Vorstudie unbefriedigend, da viele Einzeldaten der amtlichen Statistiken z. T. gesperrt sind. Erschwerend kommt hinzu, daß sich zwischen den Angaben der Industrievereinigung Chemiefaser e.V. (IVC) und den Angaben der Außenhandelsstatistik hinsichtlich Produktion, Import und Export große Abweichungen ergeben. Im folgenden werden entsprechend der COGNIS-Vorstudie und der öffentlichen Anhörung die IVC-Daten zugrundegelegt (s. COGNIS, 1992, S. 22ff).

## Produktionsmengen, Import und Export

Weltweit wurden im Jahr 1991 rund 19,4 Mio. t Chemiefasern produziert. Davon wurden in der Bundesrepublik Deutschland 1,046 Mio. t hergestellt.

Im Gegensatz zu den Naturfasern, die fast ausschließlich importiert werden, ist die Bundesrepublik Deutschland mit 714 000 t Export (überwiegend nach Westeuropa) gegenüber einem Import von 358 000 t ein Netto-Exporteur (s. Tabelle 4.3.4.4).

Im Zeitraum von 1973 bis 1991 ist eine deutliche Verschiebung der Faserproduktion von den Industriestaaten in die sog. Entwicklungs- und Schwellenländer zu beobachten: Wurden 1973 dort noch 1,3 Mio. t produziert, stieg die Produktion bis zum Jahre 1991 um rund 500 % auf 7,7 Mio. t an. Damit werden rund 40 % der Weltproduktion von Chemiefasern heute in den sog. Entwicklungs- und Schwellenländern hergestellt. Dies hatte im gleichen Zeitraum den Abbau von einem Drittel der europäischen Faserkapazität zur Folge.

Für die Bundesrepublik Deutschland bedeutet dies eine Produktionssteigerung von lediglich 7 % innerhalb der letzten 18 Jahre. Neben einer Importsteigerung von 33 % seit 1973 ist bei manchen Halbfertigprodukten ein Importanstieg von 700 % zu verzeichnen, was in der Bundesrepublik Deutschland zu vielen Betriebsschließungen führte (KDRs 12/8a, Kamerbeek).

Tabelle 4.3.4.5 gibt einen Überblick über die größten Chemiefaserproduzenten weltweit und national.

Der Bekleidungsanteil am Chemiefaserverbrauch beträgt in der Bundesrepublik Deutschland ca. 31 %. Damit ist die Menge, die ausschließlich zu Bekleidung weiterverarbeitet wird (202 000 t), höher als der Gesamtverbrauch der Baumwolle für die Herstellung von Baumwollgarn (ca. 186 000 t), von dem wiederum ein Teil auch für andere Anwendungsgebiete verwendet wird (s. COGNIS, 1992, S. 22).

Im Jahr 1990 wurden in der Bundesrepublik Deutschland überwiegend folgende Chemiefasern im Bekleidungs-bereich verarbeitet:

Polyester (PES)	ca. 90 000 t
Polyacryl (PAN)	ca. 20 000 t
Polyamid (PA)	ca. 30 000 t
cellulosische Chemiefasern	ca. 60 000 t

Auf diese vier Chemiefasern konzentriert sich die folgende Stoffstrombetrachtung im wesentlichen.

## Ausgangsstoffe

Zur Herstellung von *Polyester* werden Dimethylterephthalat (103 Gew.%) oder Terephthalsäure (88 Gew.%) und Ethylenglycol (36 Gew.%) eingesetzt.

Für die Herstellung von *Polyacryl* benötigt man Acrylnitril (ca. 92 Gew.%), Methylacrylat (weniger als 6 Gew.%), Vinylacetat (weniger als 8 Gew.%) und Methallylsulfonat (weniger als 1 Gew.%).

*Polyamide* werden entweder aus Caprolactam (PA 6) oder aus Adipinsäure und Hexamethyldiamin (PA 6.6) hergestellt.

*Cellulosische Chemiefasern* — mit Viskose und Acetat als Hauptvertreter — werden ausschließlich aus Zellstoff hergestellt. Dieser wird aus Europa, Kanada, Südafrika, USA und künftig evtl. auch aus Südamerika importiert.

Rohstoffbasis für die synthetischen Chemiefasern sind petrochemische Rohstoffe, d. h. in den menschlichen Zeitskalen betrachtet nicht-erneuerbare Rohstoffe. Dieser Aspekt ist hinsichtlich der Operationalisierung des Leitbildes der nachhaltig zukunftsverträglichen

Entwicklung bedeutsam. Genaue Angaben über Mengen und Importländer liegen nicht vor.

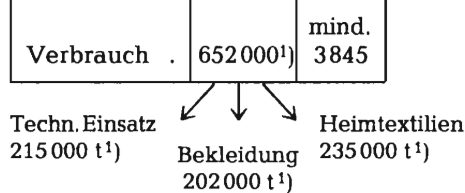
Kuppelprodukte

Bei der Herstellung cellulosischer Chemiefasern aus Zellstoff entsteht als Kuppelprodukt Natriumsulfat. Bei den synthetischen Chemiefasern entstehen in der Regel keine Kuppelprodukte (KDRs 12/8 a, Kamerbeek).

Tabelle 4.3.4.4

**Import, Export und Verbrauch von Chemiefasern in der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer)**

	Summe		Polyester		Polyamid		Polyacryl		Rest synth. Chemiefaser		zellulosische Chemiefaser	
	Tonnen	Mio. DM	Tonnen	Mio. DM	Tonnen	Mio. DM	Tonnen	Mio. DM	Tonnen	Mio. DM	Tonnen	Mio. DM
Import . . . . .	358 000 <sup>1)</sup>	2 420 <sup>2)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
davon Spinnfasern	255 000	865	100 000	290	27 000	137	17 500	50	60 000	190	50 000	200
davon Filamente . .	152 000	1 555	47 000	395	59 000	580	—	—	21 000	280	25 500	300
Produktion .	990 000 <sup>1)</sup>	6 400 <sup>1)</sup>	333 000 <sup>1)</sup>	—	220 000 <sup>1)</sup>	—	187 000 <sup>1)</sup>	—	70 000 <sup>1)</sup>	—	180 000 <sup>1)</sup>	1 275
davon Spinnfasern	441 000	mind. 1 560	144 500	525	54 000	315	201 000 <sup>4)</sup>	630	41 000	?	?	—
davon Filamente <sup>3)</sup>	402 000	?	188 500	—	166 000	—	18 000 <sup>5)</sup>	—	29 000	—	?	—
Export . . . . .	714 000 <sup>1)</sup>	mind. 4 975 <sup>2)</sup>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
davon Spinnfasern	451 000	mind. 1 665	373 000 <sup>6)</sup>	1 380 <sup>6)</sup>	43 000	205	mind. 5 000 <sup>7)</sup>	mind. 6 <sup>7)</sup>	mind. 30 000 <sup>7)</sup>	mind. 75 <sup>7)</sup>	s. Polyester	—
davon Filamente . .	328 000	mind. 3 310	130 000 <sup>8)</sup>	1 130 <sup>8)</sup>	mind. 172 000 <sup>7)</sup>	mind. 1 500 <sup>7)</sup>	?	?	mind. 26 000 <sup>7)</sup>	mind. 680 <sup>7)</sup>	s. Polyester	—
Verbrauch .	652 000 <sup>1)</sup>	mind. 3 845										



- 1) Werte: IVC, 1990
- 2) Spinnfaser + Filamente (Mio. DM)
- 3) Gesamtproduktion abzgl. Spinnfaserproduktion
- 4) Wert höher als Gesamtproduktion, da unterschiedliche Datenbasis
- 5) aus Filamente-Produktion (Meldenummer 455518) abzgl. Produktion Filamente aus Polyester, Polyamid, sonstige Chemiefaser
- 6) incl. Spinnfaser aus Polyacryl, Rest synth. Chemiefaser und zellulosische Spinnfaser
- 7) Mindest-Werte, da teilweise mit bei Polyester gelistet
- 8) wie 6) + Polyamid

Quelle: Cognis, 1992

Tabelle 4.3.4.5

**Die größten internationalen und nationalen Chemiefaserproduzenten, Stand 1992**

<p><i>1. International (nach Umsatzgröße)</i></p> <p>Du Pont Hoechst Formosa Plastic (Nanya) Toray Enimont Rhone-Poulenc Teijin Akzo Far Eastern Asahi Courtaulds ICI Lenzing Hualon Samyang Shinkong Tuntex Sunkyong Daehan Reliance Textiles</p> <p><i>2. National (alphabetisch)</i></p> <p>Akzo Faser AG Amoco Bayer AG Bennecke Bottrop Deufil Deutsche ICI GmbH Du Pont de Nemours (Deutschland) GmbH Hoechst AG Hüls Märkische Faser AG Rhone-Poulenc Rhodia AG Steen Thüringische Faser AG TWD</p>
--

Quelle: K Drs 12/8a, Kamerbeek

Art und Menge der eingesetzten Hilfs- und Betriebsmittel

*Synthetische Chemiefasern*

Bei der Polymerisation bzw. Polykondensation werden in der Regel Katalysatoren eingesetzt. Da es sich hierbei überwiegend um firmenspezifisches Know-How handelt, sind Detailinformationen nicht zugänglich. Als eine Ausnahme ist beispielsweise dem Umweltbundesamt bekannt, daß Antimon als Katalysator bei der PES-Herstellung aus Dimethylterephthalat eingesetzt wird.

Zudem ist der Zusatz von Stabilisatoren — zumeist Phosphorsäure oder phosphorige Säure — erforderlich. Die Einsatzmengen liegen im ppm-Bereich.

Des weiteren werden bei der Herstellung synthetischer Chemiefasern Lösungsmittel eingesetzt. Im Falle von Polyacryl dienen z. B. Dimethylformamid, Dimethylacetamid, wässrige Rhodanit-Salzlösungen sowie in selteneren Fällen Salpetersäure als Lösungsmittel.

*Cellulosische Chemiefasern*

Als Spinnhilfsmittel werden Zinksulfat und Schwefelkohlenstoff zusammen mit Natronlauge zur Herstellung des löslichen Cellulosexanthogenat eingesetzt. Titandioxid findet häufig als Mattierungsmittel Verwendung.

Verbleib der eingesetzten Hilfs- und Betriebsmittel

*Verbleib auf den synthetischen Chemiefasern*

Katalysatoren und Stabilisatoren verbleiben in den synthetischen Fasern. Bei Polyacryl sind noch 0,2 bis 2 Gew. % in der ausgelieferten Faser enthalten. Dieser Anteil reduziert sich im Verlauf der textilen Kette auf Werte unter 0,01 Gew. %.

Das Mattierungsmittel Titanoxid verbleibt bei der Weiterverarbeitung ebenfalls im Garn (cellulosische Faser).

*Verbleib in den jeweiligen Umweltkompartimenten*

Systematisch wurden hierzu die Daten im Rahmen der Stoffstrombetrachtung nicht erfaßt. Es liegen nur wenige Informationen vor (K Drs 12/8a, Kamerbeek).

*Energieverbrauch*

Als Energieträger werden bei der Chemiefaserproduktion Erdöl, Kohle und Erdgas verwendet. Nach einer Studie des Internationalen Chemiefaserverbandes im Jahr 1980 betrug der damalige Energieverbrauch für die Polymerisation und die Spinnerei aufgeteilt nach den einzelnen Faserarten:

Polyester	25,8 GJ/t Faser
Polyamid (PA 6)	24,5 GJ/t Faser
Polyamid (PA 6.6)	25,9 GJ/t Faser
Polyacryl	34,6 GJ/t Faser
cellulosische Chemiefaser	33,3 GJ/t Faser

Allein bei der Produktion von Polyacryl hat sich gegenüber 1980 der Energieaufwand um ca. 40 % verringert. Über den derzeitigen Energieverbrauch für die anderen Fasertypen liegen keine Informationen vor.

*Menge des eingesetzten Trink- und Brauchwassers*

Der Wassereinsatz ist je nach Hersteller, Fasertyp und Herstellverfahren unterschiedlich.

Bei Polyacryl beträgt der Trinkwasserbedarf 0,3 m<sup>3</sup>/t Faser. An salzfreiem Wasser werden 15 m<sup>3</sup>/t Faser eingesetzt.

Für die Produktion von Polyester (von der Polymerisation bis zur Faserherstellung) beträgt der Bedarf an Prozeßwasser 2,3 m<sup>3</sup>/t.

**4.3.4.3.3 Stoffstrombetrachtung der Textilveredlung**

Der wohl komplexeste Verfahrensschritt innerhalb der textilen Kette ist die Textilveredlung. Unter diesem Begriff werden sämtliche Arbeitsprozesse zusammengefaßt, die dazu dienen, die optischen Eigenschaften eines Textils zu verbessern (z. B. durch Färben, Bleichen, Bedrucken oder Mercerisieren), sowie die Verarbeitungs- und Gebrauchseigenschaften zu optimieren.

Die Art der Anwendungen bei den zahlreichen Verfahren der Textilveredlung hängt von der Zusammensetzung sowie der Form des textilen Rohstoffs und der vorgesehenen Verwendung ab.

Die einzelnen Veredlungsarbeiten an Textilien werden auf unterschiedlichen Verarbeitungstufen der Textilien durchgeführt, nämlich im unversponnenen Zustand der Textilfaser, der sog. Flocke, am Garn und an der Web-, Strick- und Wirkware, d. h. an der textilen Fläche. Somit stellt — streng genommen — die

Einreihung der Textilveredlung innerhalb der textilen Kette zwischen Produktion von Fasern, Garnen und Flächengebilden einerseits und der Konfektionierung andererseits eine Vereinfachung dar.

**Veredlungsverfahren**

Um eine Vorstellung von der Vielzahl unterschiedlicher Veredlungsverfahren zu vermitteln, werden diese im folgenden kurz vorgestellt. Diese Darstellung gehört im eigentlichen Sinn nicht zur Stoffstrombetrachtung, erleichtert aber das Verständnis für die im folgenden Kapitel aufgezeigten Probleme bei der Stoffstromerfassung.

**Vorbehandlung**

Durch die Vorbehandlung werden die Textilmaterialien auf die folgenden Veredlungsschritte vorbereitet. Dabei werden anhaftende Fremdstoffe, so z. B. die beim Spinnen, Weben, Wirken oder Stricken verwendeten Hilfsmittel, oder auch natürlich anhaftende Verunreinigungen von Naturfasern mittels verschiedener Verfahren entfernt und ausgewaschen. Außerdem dienen Vorbehandlungsverfahren dem Ziel, die Struktur des Textilguts so zu beeinflussen, daß die Aufnahmefähigkeit für Farbstoffe und Textilhilfsmittel optimiert wird.

In Tabelle 4.3.4.6 sind die wichtigsten Vorbehandlungsverfahren für Baumwoll-, Woll- und Synthetextilien zusammengefaßt:

Tabelle 4.3.4.6

**Übersicht über die wichtigsten Vorbehandlungsverfahren in der Textilveredlung**

Vorbehandlung		
Baumwolle Cellulose	Wolle	Synthetische Fasern
Sengen	Sengen	
Entschlichten	Waschen	Waschen
	Walken Karbonisieren	
Abkochen/Beuchen Mercerisieren Laugieren	Fixieren	Fixieren
		Rauhen Scheren
Bleichen	Bleichen	Bleichen
optisches Aufhellen		optisches Aufhellen
	Chlorieren	Chlorieren

Quelle: Cognis, 1992



Die Vorbehandlung wird unterteilt in die nasse Vorbehandlung und die Trockenvorbehandlung (mechanische Vorbehandlung): Bei der nassen Vorbehandlung wird das Textilgut im Bad- oder Imprägnierverfahren mit der entsprechenden Vorbehandlungsflotte behandelt. Die gelösten Verunreinigungen und Reaktionsprodukte werden durch Auswaschungen entfernt. Zu den wichtigsten nassen Vorbehandlungsverfahren zählen: Entschlichten und Vorreinigen/Abkochen, Beuchen/Mercerisieren und Karbonisieren. Auf die einzelnen Verfahren wird nicht näher eingegangen (weitere Informationen: s. Arbeitsgemeinschaft Textil, 1992, S. 34 ff).

Zu den trockenen (mechanischen) Vorbehandlungsschritten zählen: Sengen/Scheren/Schmirgeln/Rauhen und Gaufrieren. Auch hier wird auf die einzelnen Verfahren nicht näher eingegangen (weitere Informationen: s. Arbeitsgemeinschaft Textil, 1992, S. 34 ff).

### *Färbung*

Die Färbung von Textilien wird in unterschiedlichen Verarbeitungszuständen durchgeführt. Mengenmäßig ist das Färben textiler Flächen am bedeutendsten. In Abhängigkeit von der jeweiligen Verarbeitungsstufe werden unterschiedliche Färbeverfahren und Farbstofftypen eingesetzt. Der Farbstoff- und Chemikalienverbrauch variiert je nach eingesetztem Verfahren und zu färbender Textilfläche.

Nach einer Vorbehandlung werden die Farbstoffe auf das Textilgut aufgebracht und anschließend fixiert. In einem letzten Arbeitsschritt werden die nicht fixierten Färbechemikalien ausgewaschen.

### *Textildruck*

Durch das Bedrucken textiler Flächen, Garne und Ketten wird die Bemusterung von Textilien erzielt. Haupteinsatzgebiet der Textildruckerei sind neben der Bekleidung auch Haushalts- und Tischwäsche sowie Raumtextilien.

Man unterscheidet zwischen Direktdruck, Reservedruck und Ätzdruck. Beim Direktdruck erfolgt der Farbstoffauftrag scharf begrenzt auf eine vorbehandelte, ungefärbte Ware. Beim Ätzdruck wird eine vorhandene Färbung durch Aufdrucken einer Ätzpaste lokal zerstört. Beim Reservedruck wird die Ware nach dem Musterauftrag eingefärbt. Durch eine Reservepaste als Schutzfilm wird eine anschließende Färbung an dieser Stelle verhindert.

### *Appretur*

Bei der Appretur — auch Textilausrüstung oder Hochveredlung genannt — wird das Textilgut durch mechanische oder thermische Verfahren (Trockenappretur) oder durch Chemikalien (Naßappretur) behandelt. Dadurch werden dem Textil bestimmte Gebrauchseigenschaften oder spezielle Oberflächeneffekte verliehen. Um einen Eindruck von der Vielfalt der unterschiedlichen Appreturverfahren zu gewinnen, werden die wichtigsten im fol-

genden aufgezählt, ohne daß auf sie im einzelnen näher eingegangen wird: Pflegeleichtausrüstung/Sanforisierung/Erschwerung/Füllen und Versteifen/Weichmachung/Hydrophobierung/Oleophobierung/Hydrophilierung/Mattierung/Glanzausrüstung/Antistatische Ausrüstung/Anti-Schmutzausrüstung/Antimikrobielle Ausrüstung/Flammschutzausrüstung/Antifilzausrüstung/Schiebefest- Maschenfest-Ausrüstung/Beschichtungsmittel (Arbeitsgemeinschaft Textil, 1992, S. 42 ff).

### *Stoffströme in der Textilveredlung*

Wie bereits in Kapitel 4.3.4.3 dargestellt, müßten bei der Stoffstrombetrachtung nun für jedes Veredlungsmittel eine Vielzahl von Einzelaspekten berücksichtigt werden (Abschneidekriterien).

Schätzungen gehen von ca. 7 000—8 000 im Handel befindlichen Textilhilfsmitteln aus. Der Colour Index umfaßt derzeit ca. 4000 unterschiedliche im Handel befindliche Farbstoffe. Die Aufführung der Verbindungen im Colour Index läßt jedoch nicht auf die wirtschaftliche Bedeutung eines Farbstoffes schließen. Wenn sich auch unter diesen geschätzten Zahlen Handelsnamen mit identischer chemischer Zusammensetzung verbergen, so gibt doch die große Spannweite der Schätzungen einen Hinweis auf die nur ungenügenden Kenntnisse auf dieser Stufe der textilen Kette. Zudem macht die Zahl deutlich, welchen Umfang eine Stoffstrombetrachtung entlang der textilen Kette annehmen müßte, wollte man wirklich alle Einzelstoffe berücksichtigen.

Die bei der folgenden Stoffstrombetrachtung genannten Daten beziehen sich auf die Gesamtmenge aller Textilhilfsmittel und nicht auf Einzelstoffe. Ob Daten zum Stoffstrom der einzelnen Textilhilfsmittel vorliegen, kann hier nicht entschieden werden, da weder in den beiden Vorstudien, noch im Fragenkatalog zur öffentlichen Anhörung eine Einzelbetrachtung thematisiert wurde.

### *Produktion*

#### *Produktionsmengen*

Schätzungen gehen für das Jahr 1992 von einer weltweiten Textilhilfsmittelproduktion von ca. 1,6 bis 1,7 Mio. t aus. In der Bundesrepublik Deutschland wurden nach Schätzungen der TEGEWA im Jahr 1990 rund 110 000 t Textilhilfsmittel produziert (KDrS 12/8 b, Schmidt).

### *Rohstoffeinsatz*

Bei der Vielzahl unterschiedlicher Textilhilfsmittel ist zu diesem Aspekt keine sinnvolle Antwort möglich.

*Art und Menge der Kuppelprodukte*

Bei der Produktion von Textilhilfsmitteln entstehen nach Sachverständigenaussagen im Rahmen der öffentlichen Anhörung keine Kuppelprodukte, da in der Regel in Eintopfverfahren ohne nachfolgende Aufarbeitungsschritte produziert wird. Im Falle der Farbstoffherstellung, die über mehrstufige Syntheseschritte für die Vorprodukte erfolgt, entstehen Kuppelprodukte der Vorprodukte, die direkt weiterverwendet werden (KDRs 12/8 a, Moll/Schmidt). Diese Aussagen stehen im Widerspruch zum Handbuch Chlorchemie II, Ausgewählte Produktlinien des Umweltbundesamtes (UBA, 1992; s. dort insbesondere Kapitel 8.1.2 Reaktivfarbstoffe).

*Art, Menge und Verbleib der eingesetzten Hilfs- und Betriebsmittel*

Auch hierzu ist bei der unterschiedlichen Art der Textilhilfsmittel und den entsprechend unterschiedlichen Produktionswegen keine Aussage zu treffen.

*Art und Menge der eingesetzten Energie*

Der durchschnittliche Energieeinsatz beträgt ca. 7 % der Herstellkosten. Außer dieser monetären Aussage liegen keine Informationen vor (KDRs 12/8 b, Schmidt).

Als primäre Energieträger werden Öl, Gas, Kohle und als sekundäre Energieträger Wasser, Dampf, Eis und Strom eingesetzt.

*Menge des eingesetzten Trink- und Brauchwassers*

Trinkwasser wird nur für sanitäre Zwecke und für Sicherheitseinrichtungen verwendet. Bei der Textilhilfsmittelproduktion werden ca. 50—100 l Brauchwasser als Kühl-, Reinigungs- und Synthesewasser eingesetzt pro kg Textil (KDRs 12/8 b, Schmidt).

*Menge eingesetzter nicht-regenerativer Energie (z. B. für Transport und Maschineneinsatz)*

Hierzu liegen keine Informationen vor.

*Art und Menge der Emissionen und Verteilung der emittierten Stoffe in die Umwelt*

Bei der Produktion von Textilhilfsmitteln entstehen Emissionen in die Luft und in das Abwasser. Im Mittel liegen die Emissionen in die Luft im ppm-Bereich, in das Abwasser im Bereich unter 1 % (bezogen auf das Endprodukt) (KDRs 12/8 b, Schmidt).

*Abbauverhalten der emittierten Stoffe*

Dies war nicht Gegenstand der Anhörung.

*Humantoxische Eigenschaften*

Aspekte der Toxikologie wurden bei der Stoffstrombetrachtung generell zunächst ausgeklammert (s. Kap. 4.3.4.4). Lediglich im Zusammenhang mit Fragen zu Arbeitsschutzbedingungen fanden human-toxikologische Betrachtungen Berücksichtigung. Dabei ist die Produktion von Textilhilfsmitteln und Farbstoffen im Rahmen der öffentlichen Anhörung thematisiert worden. Über das Ausmaß, wieviele Stoffe als Auslöser für Atemwegserkrankungen gelten, gibt es unterschiedliche Auffassungen.

Aromatische Amine können als Auslöser für Erkrankungen der Harnwege identifiziert werden. Es besteht der Verdacht, daß alle Azo-Farbstoffe, die eine im Stoffwechsel freisetzbare kanzerogene Arylamin-komponente enthalten, ein krebserzeugendes Potential besitzen. Farbstoffe werden häufig als Auslöser für allergische Atemwegserkrankungen ausgemacht (DFG, 1993, S. 90—91).

*Ökotoxische Eigenschaften*

Dieser Themenkomplex wurde bei der Stoffstrombetrachtung zunächst nicht berücksichtigt (s. Kap. 4.3.4.4).

*Art und Menge der Abfälle*

Hierzu liegen keine Informationen vor.

*Anwendung der Veredlungsmittel*

*Menge der verwendeten Veredlungsmittel*

In der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) wurden im Jahr 1990 rund 110 000 t Textilhilfsmittel verbraucht, wobei knapp die Hälfte als Ausrüstungsmittel eingesetzt wurden. Tabelle 4.3.4.7 gibt einen Überblick über die Mengenverteilung (COGNIS, 1992).

Tabelle 4.3.4.7

**Mengenverteilung der Textilhilfsmittel auf die einzelnen Einsatzgebiete in der Bundesrepublik Deutschland (alte Bundesländer) 1990**

Art der Hilfsmittel	t/a
Hilfsmittel für Fasern und Spinnen . . . . .	10 000
Hilfsmittel für Weberei und Wirkerei . . . . .	12 000
Hilfsmittel für Vorbehandlung und Veredlung . . . . .	3 000
Hilfsmittel für Färben und Drucken . . . . .	25 000
Ausrüstungsmittel . . . . .	50 000
universelle Hilfsmittel . . . . .	10 000

Quelle: COGNIS, 1992

Nicht bekannt ist, wieviele Textilhilfsmittel durch Importe bereits auf der Textilware in die Bundesrepublik Deutschland gelangen. Da ca. 85 % der Textilien aus ausländischer Produktion stammen, ist eine genaue Erfassung der eingesetzten Zusätze schwierig (s. Arbeitsgemeinschaft Textil, 1992).

Neben den Textilhilfsmitteln werden bei der Textilveredlung noch 100 000 t sonstige Chemikalien wie Säuren, Laugen oder Natriumchlorid sowie fast 12 000 t — bezogen auf das Jahr 1986 — Farbstoffe verarbeitet.

### *Energieeinsatz*

Der Energieeinsatz für das Färben und Vorbehandeln ist etwa gleich groß, für das Ausrüsten deutlich geringer. Für Vorbehandlung, Färbung, Druck und Ausrüstung müssen bei Naturfasern rund 10 bis 20 MJ/kg an Energie eingesetzt werden, für Chemiefasern beträgt der Energieeinsatz rund 5 bis 10 MJ/kg (KDRs 12/8a, Moll; KDRs 12/8b, Schmidt).

Von der Garnveredlung über die Maschenveredlung zur Gewebeerzeugung steigt der spezifische Energieeinsatz an. Insgesamt ist der Energieverbrauch bei der Textilveredlung sehr hoch und zählt zu den bei weitem größten Umweltbelastungen in Textilveredlungsbetrieben (KDRs 12/8b, Schönberger).

### *Menge des eingesetzten Trink- und Brauchwassers*

Der Wassereinsatz ist abhängig vom jeweiligen Veredlungsverfahren: Wie beim Energieeinsatz nimmt der Wasserbedarf von der Garnveredlung (60 bis 160 l/kg) über die Maschenveredlung (150 bis 230 l/kg) bis hin zur Gewebeerzeugung (200 bis 350 l/kg) zu.

Die Anforderungen an die Wasserqualität für das Prozeßwasser (als Kühlwasser wird i. d. R. Brauchwasser eingesetzt) sind sehr hoch und liegen z. T. über denen für Trinkwasser: Die Wasserhärte darf 3 bis 4 d nicht überschreiten; der Gehalt an Schwermetallen wie Eisen, Kupfer oder Mangan ist auf max. 0,1 mg/l beschränkt (KDRs 12/8a, Moll).

### *Art und Menge der Emissionen, Verbleib der Veredlungsmittel auf der Textilie und Verteilung der Emissionen in die Umwelt*

Von den bei der Textilveredlung entstehenden Emissionen sind die Umweltkompartimente Wasser und Luft am stärksten betroffen.

### *Wasser*

Nach einem im Rahmen des UFOPLAN durchgeführten Vorhaben gelangten im Jahre 1986 71 % der Textilhilfsmittel, 100 % der Grundchemikalien (Säuren, Laugen und Natriumchlorid) sowie 20 % der Farbstoffe ins Abwasser. Bei der Vielfalt unterschiedlicher Chemikalien kann über das Abbauverhalten keine allgemeine Aussage getroffen werden. Oft wer-

den aus Gründen der Produktqualität schwer abbaubare Stoffe eingesetzt. Diese können jedoch in Abwasseranlagen (durch Adsorption an der Belebtschlammglocke) eliminierbar sein. Dies beinhaltet jedoch nur eine Verlagerung aus dem Abwasser in den Schlammbereich.

### *Luft*

Hohe Abluft- und Abwärmebelastungen entstehen beim Sengen, bei Trocknungs- und Fixierprozessen beim Färben und Drucken, vor allem beim Fixieren der Farbstoffe mittels Heißluft oder heißem Dampf. Die Spannrahmentrocknung in der Appretur zählt ebenfalls zu den emissionsrelevanten Prozessen. Dabei belasten Begleitstoffe wie Wollfett, Schlichtestäube, Textilhilfsmittel, zahlreiche Zersetzungsprodukte sowie CO/CO<sub>2</sub> und SO<sub>2</sub> (Verbrennungsabgase beim Sengen) die Luft. Bei verschiedenen Dämpfungs- und Trocknungsprozessen gelangen flüchtige Hilfsmittel wie z. B. Carrier, Harnstoff, Testbenzin, organische Säuren, Amine und Schwefelverbindungen in die Abluft. Die Abgase können sehr geruchsintensiv sein. (KDRs 12/8b, UBA; Arbeitsgemeinschaft Textil, 1992).

### *Verbleib auf der Textilie*

Nach Schätzungen der Arbeitsgruppe Textil des Bundesgesundheitsamtes und TEGEWA verbleiben von den Farb- und Druckhilfsmitteln zwischen 0,1 bis 2 Gew. % auf dem Textil. Bindemittel für den Pigmentdruck und die Pigmentfärbung können bis zu 6 % des Textilgewichts ausmachen. Die Farbstoffanteile liegen zwischen 2 und 6 %. Der Anteil an Appreturchemikalien schwankt zwischen weniger als 1 % und über 15 %. Der im Textil verbleibende Chemikalienanteil kann bei Baumwolle bis zu 30 % des Gewichts ausmachen (s. Arbeitsgemeinschaft Textil, 1992, S. 48).

### *Humantoxische Eigenschaften*

Da dieser Themenkomplex bei der Stoffstrombetrachtung zunächst ausgeklammert worden war (s. Kap. 4.3.4.4), liegen hierzu nur im Zusammenhang mit Arbeitsschutzbedingungen Informationen vor, die bereits bei der Produktion von Textilhilfsmitteln thematisiert wurden.

### *Ökotoxische Eigenschaften*

Dieser Themenkomplex wurde bei der Stoffstrombetrachtung ebenfalls ausgeklammert (s. Kap. 4.3.4.4).

### *Menge und Art der Abfälle*

Als Abfälle entstehen pro Kilogramm veredelter Ware ca. 60 bis 70 g Klärschlamm und 30 bis 40 g Textilabfälle aus Scherstaub, Fehlproduktion und Prüfstellen. Bei jährlich rund 760 000 t veredelter Textilien entstehen somit zwischen 45 600 bis 53 000 t Klärschlamm und 23 000 bis 30 000 t Textilabfälle (s. Arbeitsgemeinschaft Textil, 1992, S. 47).

*Verbleib der Veredlungsmittel nach dem Gebrauch bei der Entsorgung*

Hierzu liegen keine Informationen vor.

**4.3.4.3.4 Stoffstrombetrachtung als Input/Output-Bilanz am Beispiel der Textilveredlung**

Die bisher beispielhaft dargestellten Stoffstrombetrachtungen innerhalb des Bedürfnisfeldes Textilien/ Bekleidung machen deutlich, daß bei einer Berücksichtigung sowohl quantitativer als auch qualitativer Aspekte eine Informationsfülle zusammengetragen

wird, die einer Systematisierung und Strukturierung bedarf, um überhaupt Grundlage für eine Entwicklung von Bewertungskriterien darstellen zu können.

Es wurde deshalb im Falle dieses umfangreichen Beispielfeldes diskutiert, eine Art Verkürzung der Betrachtungsweise vorzunehmen, bei der zunächst ausschließlich Mengenbetrachtungen in den Blick genommen werden, die auf jeder Stufe der textilen Kette nach dem stofflichen Input und Output fragt.

Graphisch stellt sich diese Überlegung in Abwandlung zur Abbildung 4.3.4.3 folgendermaßen dar (s. Abb. 4.3.4.7):

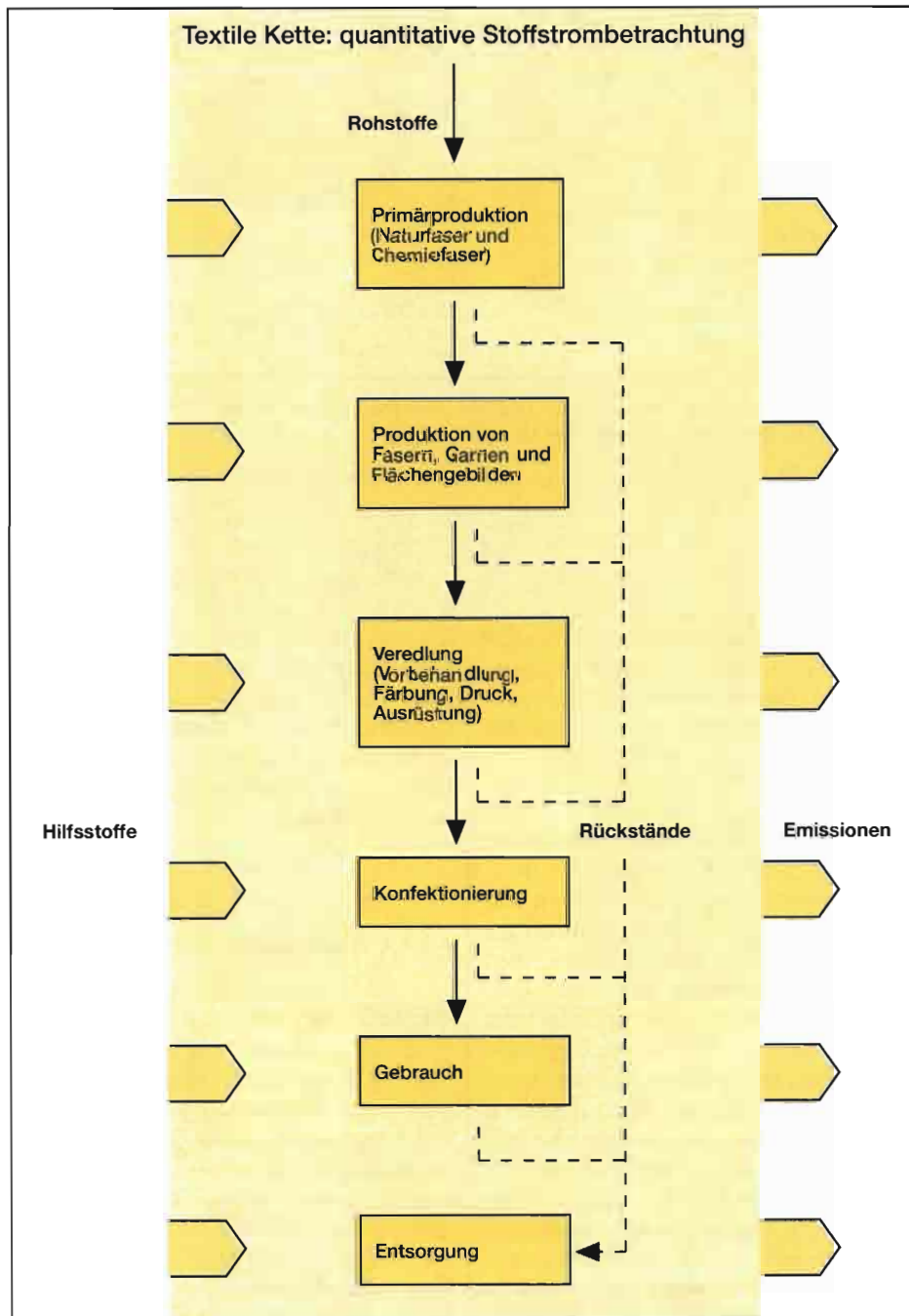


Abb. 4.3.4.7 Raster für eine quantitative Stoffstrombetrachtung entlang der textilen Bekleidungskette (Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“, 1993)



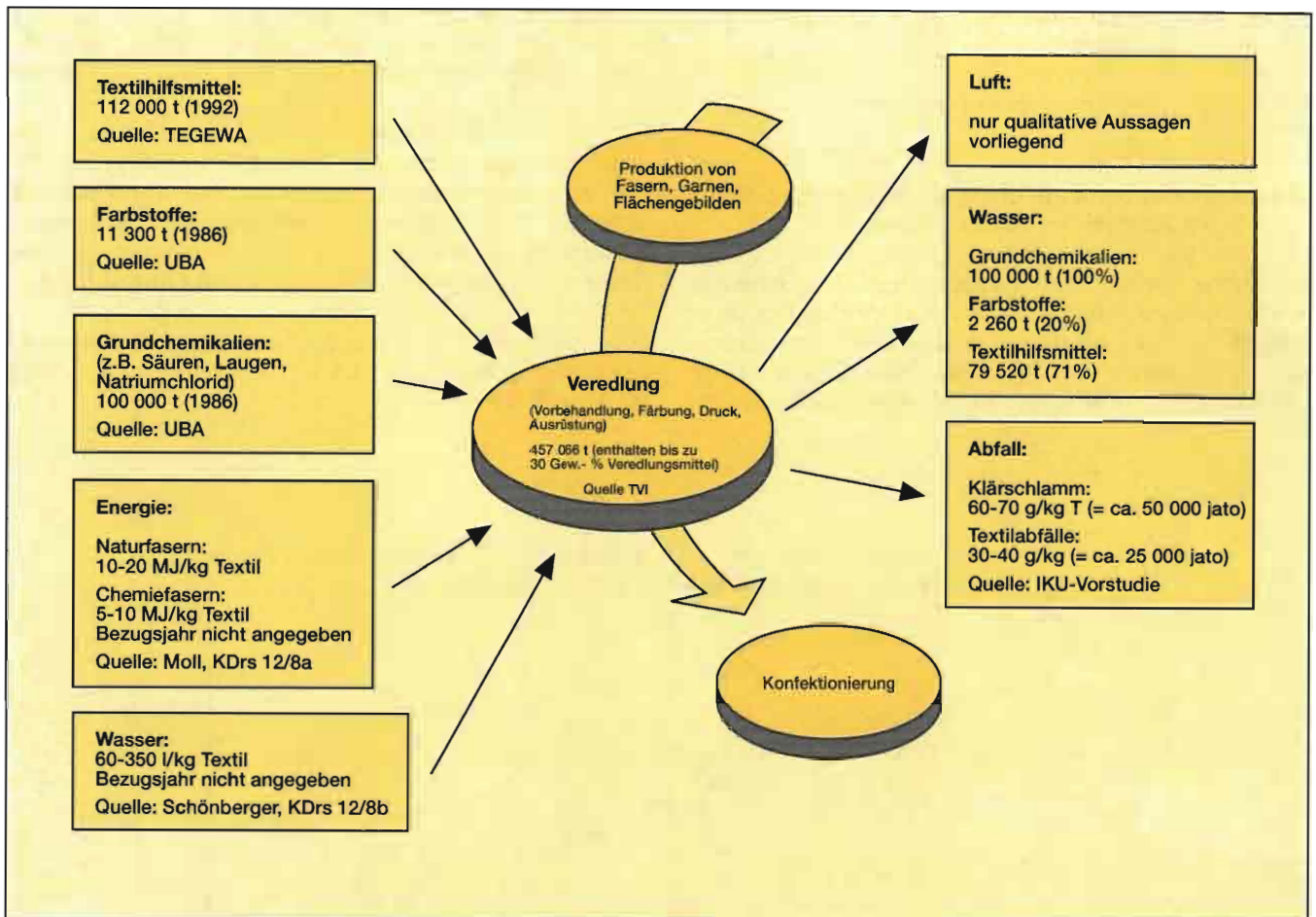


Abb. 4.3.4.8 Input/Output Betrachtung am Beispiel der Textilveredelungsverfahren in der Bundesrepublik Deutschland (Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“, 1993)

Um den Unterschied zur bisherigen Betrachtungsweise zu verdeutlichen, ist die Input/Output-Betrachtung am Beispiel der Textilveredelungsverfahren graphisch wiedergegeben (s. Abbildung 4.3.4.8).

Gegenüber der bisherigen umfassenderen Stoffstrombetrachtung, die auch qualitative Aspekte berücksichtigt, wird hier der eigentliche Stoffmengenfluß deutlicher. Da diese Art der Betrachtung zu Beginn der Analyse des Bedürfnisfeldes nicht beabsichtigt war, sind im Rahmen der Anhörung die jeweiligen Daten z. T. nicht explizit erfragt worden. Dies hat zur Folge, daß nun eine Vielzahl an Daten vorliegt, die miteinander nicht in Beziehung gesetzt werden können, weil sie von unterschiedlichen Bezugsgrößen ausgehen. Bei dem vorliegenden Beispiel der Textilveredelungsverfahren wird dies daran deutlich, daß zu den eingesetzten Stoffen z. T. Daten von 1986 vorliegen, während sich die Mengenangabe zu veredelter Bekleidung auf 1990 bezieht. Auch manche Informationsdefizite (Luftemissionsmengen, eingesetzte Mengen an Garnen, Maschen und Flächengebilden) könnten darin begründet sein, daß die Fragestellungen nicht eindeutig die Mengenbetrachtung in den Mittelpunkt stellen.

Zu diskutieren ist, ob durch die verkürzte quantitative Stoffstrombetrachtung nicht implizit schon qualitative Aspekte berücksichtigt werden, indem nur die „relevanten“ Mengen abgefragt werden, ohne daß das Kriterium „Relevanz“ nachvollziehbar hergeleitet wird, da ja gerade qualitative Aspekte nicht thematisiert werden.

#### 4.3.4.4 Ökologische und toxikologische Relevanz

Ökologische, ökotoxikologische und humantoxikologische Fragestellungen standen bislang beim Bedürfnisfeld Textilien/Bekleidung noch nicht im Mittelpunkt der Betrachtung. Dieser Vorgehensweise ging die Überlegung voraus, daß zunächst der Stoffstrom systematisch in seiner gesamten Komplexität erfaßt werden sollte, um nach dessen Analyse all die Stufen einer genauen Betrachtung zu unterziehen, bei denen sich eine ökologische und toxikologische Relevanz herauskristallisiert. Ein Teilaspekt — nämlich Fragen zu Unverträglichkeitsreaktionen — wird in der Studie „Erstellung einer Sachbilanz am Beispiel des Bekleidungsassortiments einer bundesdeutschen Behörde“ berücksichtigt.



In einer für Dezember 1993 geplanten internen Anhörung sollen Fragen zur ökologischen und toxikologischen Relevanz vertieft erörtert werden. An dieser Stelle kann aber schon darauf hingewiesen werden, daß sich auf allen Stufen des Stoffstroms der textilen Bekleidungskette eindeutig eine große ökologische und toxikologische Bedeutung des Themenfeldes abzeichnet: Allein bei der Primärproduktion der Faserrohstoffe seien für die Naturfasern beispielhaft der enorme Landschaftsverbrauch sowie Verunreinigungen aller Umweltkompartimente durch Düngemittel und Pflanzenschutzmittel (mit schädigenden Folgen für Grundwasser, Gewässer, Luft) und für die Chemiefasern die Nutzung nicht-erneuerbarer Ressourcen zu nennen. Neben diesen ökologischen Einflüssen sind auch gravierende humantoxische Wirkungen bekannt.

So ist beispielsweise die Insektizidanwendung mittels Rückenspritze im bäuerlichen Anbau sehr problematisch. Nichtbeachtung der Anwendungsvorschriften aber auch wechselnde Windrichtungen während des Auftrags führen zu schweren Vergiftungen und Todesfällen. So wurden im Verlauf der öffentlichen Anhörung von den Sachverständigen Prof. Brandt (DIE) und J. Knirsch (PAN) WHO-Schätzungen wiedergegeben, denen zufolge durch unsachgemäße Anwendung jährlich beim Gesamtpestizideinsatz (also nicht nur auf die Baumwollproduktion bezogen) 30 000 bis 40 000 Todesfälle zu beklagen sind; zudem geht man von ca. 2 Mio. gesundheitlichen Langzeitschädigungen aus. Dieser Sachverhalt hat bei der öffentlichen Anhörung eine heftige Diskussion ausgelöst, so daß die Problematik im weiteren Verlauf der Kommissionsarbeit vertieft thematisiert wird.

Auch der Einsatz der unterschiedlichen Textilhilfsmittel bedarf einer genauen Untersuchung auf ihre ökologische und toxikologische Relevanz. Dabei ist insbesondere zu unterscheiden zwischen möglichen gesundheitlichen Auswirkungen der auf dem textilen Gut gewollt oder ungewollt verbleibenden Substanzen einerseits und den Textilhilfsmitteln, die nach ihrem Einsatz in die Umwelt emittieren, andererseits.

Während für die Anmeldung von Neustoffen nach dem Chemikaliengesetz umfangreiche Anmelde- und Mitteilungspflichten zu erfüllen sind, steht ausreichendes Detailwissen über Altstoffe bisher nur partiell zur Verfügung. Künftig werden im Rahmen der EG-Altstoffverordnung die Angaben zu Altstoffen, die bisher dem Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe (BUA) von der Industrie zur Verfügung gestellt werden, EG-weit in ausgeweitetem Rahmen zu übermitteln sein.

Das Bundesgesundheitsamt hat im Frühjahr 1992 eine Arbeitsgruppe „Textilien“ ins Leben gerufen. Die Aufgabe der Arbeitsgruppe besteht in der Erarbeitung genereller Aussagen über das Gefährdungspotential der in Altkleidertextilien eingesetzten Ausrüstungs- und Hilfsmittel. Im Rahmen einer Bestandsaufnahme sollen Prioritäten zum gesundheitlichen Verbraucherschutz aufgezeigt und Forschungsbedarf formuliert werden.

#### 4.3.4.5 Ökonomische Relevanz

So wie im Falle der Stoffstrombetrachtung idealerweise für jede Stufe der textilen Kette und alle jeweils relevanten Detailspekte eine Art Bilanz über Input und Output erstellt werden müßte, wäre entsprechend auch die ökonomische Relevanz als Wertschöpfungskette entlang der einzelnen Produktionsstufen darstellbar.

In dieser Systematik liegen der Kommission z. Z. jedoch keine vollständigen Daten vor. Wie schon bei der Stoffstrombetrachtung bereitet auch hier die Identifizierung des Bekleidungsanteils am textilen Markt große Schwierigkeiten: Viele Daten beziehen sich auf den gesamten Textilsektor, während gesondert für textile Bekleidung keine Daten vorhanden sind.

Die folgenden Ausführungen sollen als Einstieg in die Thematik verstanden werden, in der lediglich Umsatzzahlen auf der Stufe der konfektionierten Ware berücksichtigt werden.

In der Bundesrepublik Deutschland wurde im Jahr 1991 textile Bekleidung im Wert von ca. 35 Mrd. DM gekauft. Der Anteil der Bekleidungsindustrie am Bruttoinlandsprodukt belief sich auf 0,44 %. Der Importanteil an Konfektionsware betrug mit ca. 610 000 t rd. 90,7 %, ca. 171 000 t wurden in der Bundesrepublik Deutschland produziert und ca. 113 000 t wurden exportiert.

Der jährliche Pro-Kopf-Verbrauch beträgt ca. 11 kg (COGNIS, 1992), wobei frühere Untersuchungen von 20 bis 23 kg ausgehen, in denen allerdings sämtliche Textilien berücksichtigt wurden. Insgesamt ist der Anteil der Bekleidung an den Gesamtausgaben der Haushalte rückläufig: Machte dieser Anteil im Jahr 1975 noch 8,8 % aus, fiel er im Jahr 1985 auf 7,8 % und erreichte im Jahr 1991 bei einem Vier-Personen-Haushalt mit einem mittleren Einkommen nur noch 6,3 %. Dies entsprach rd. 240,— DM pro Monat. Bei einem entsprechenden Haushalt mit höherem Einkommen lag der Anteil von Bekleidung bei 6,9 %; dies entspricht rd. 376,— DM.

Damit sind die Ausgaben für Bekleidung in der Bundesrepublik Deutschland anteilmäßig immer noch höher als in anderen bedeutenden Industrieländern. In den USA erreichte der Anteil im Vergleichsjahr etwa 5,7 % und in Japan 6,2 % (KDRs 12/8a, Hartmann).

Wenn derzeit in der öffentlichen Diskussion vor allem die Bekleidungsindustrie bei sozial-ökonomischen Themen — insbesondere wegen Umsatzrückgängen und damit verbundenen Arbeitsplatzverlusten — im Vordergrund steht, so darf dies nicht darüber hinwegtäuschen, daß alle Stufen entlang der textilen Kette eine hohe ökonomische Relevanz aufweisen. Zu berücksichtigen sind beispielsweise die bundesdeutschen Düngemittel- und Pflanzenschutzmittelexporte, die zum Anbau der Rohfasern benötigt werden, die Chemiefaserexporte und die enormen Mengen an unterschiedlichen Textilhilfs- und Veredelungsmitteln. Die Bekleidungsindustrie ist also ökonomisch betrachtet nur ein Teilbereich innerhalb der gesamten textilen Kette.

Im weiteren Verlauf der Kommissionsarbeit steht auch die vertiefte Berücksichtigung ökonomischer Aspekte der textilen Bekleidung im Vordergrund. In diesem Zusammenhang ist für Dezember 1993 die Durchführung einer internen Anhörung zum Thema „Internationale Handelsabkommen im Textilsektor“ geplant — so z. B. das Welttextilabkommen und die GATT-Verhandlungen —, da diese ein z. Zt. geltender Rahmen sind, der bei Vorschlägen für ein integriertes Stoffstrommanagement zu beachten ist.

#### 4.3.4.6 Soziale Relevanz

Beim Themenfeld Textilien/Bekleidung können zwei unterschiedliche Aspekte der sozialen Relevanz festgemacht werden:

Zum einen wird darunter — wie auch bei den anderen Beispielfeldern — die Arbeitsplatzsituation verstanden. Zum anderen hat Kleidung aber auch in ihrer Verwendung eine soziale Bedeutung, da sie über die Stellung in der Gesellschaft, die wirtschaftliche Situation oder die Gruppenzugehörigkeit informiert.

##### Arbeitsplatzsituation

Streng genommen müßten an dieser Stelle — ähnlich wie bei einer systematischen Stoffstrombetrachtung — sämtliche Arbeitsplätze innerhalb der textilen Kette dargestellt werden. Die folgenden Daten beziehen sich aber im wesentlichen nur auf die bundesdeutsche Bekleidungsindustrie. Eine Differenzierung nach den unterschiedlichen Produktionsstufen konnte nicht vorgenommen werden.

In rund 2 000 Betrieben beschäftigte die Bekleidungsindustrie im Durchschnitt des Jahres 1991 ca. 160 000 Arbeitnehmer (alte Bundesländer), was einem Anteil von 2,7 % aller Industriebeschäftigten entsprach. In der Chemiefaserindustrie wurden 1991 im Durchschnitt 35 000 Mitarbeiter beschäftigt. Wieviele davon für die Bekleidungsindustrie gearbeitet haben, kann nicht nachvollzogen werden.

Vor dem Hintergrund steigender Produktionsverlagerungen, Zunahme der Importe, dem Ausbau der passiven Lohnveredlung sowie der herrschenden Rezession auf dem inländischen Markt und den wichtigsten ausländischen Absatzmärkten nahm die Zahl der Beschäftigten in der Bekleidungsindustrie um rd. 13 500 auf nur noch 147 000 zum Jahresende 1992 ab. Der Arbeitsplatzabbau war in den letzten 30 Jahren sehr dramatisch. Dieses wurde in der Öffentlichkeit nur wenig beachtet, da gleichzeitig andere Branchen neue Arbeitsplätze bieten konnten. Dieser Strukturwandel konnte durch unternehmerische Initiativen, die es zweifellos auch gegeben hat, nicht aufgehalten werden. Es muß jedoch erwähnt werden, daß einige Unternehmensgruppen durch Konzentrierung auf Nischen und Qualität diesen Rückgang etwas aufgehalten haben. Auch heute gibt es neue Wege für neue Beschäftigungsmöglichkeiten durch Ansätze wie ökologisches Design und Green Cotton.

In den neuen Bundesländern war der Stellenabbau in der Bekleidungsindustrie einschneidender und rigorer als in den meisten anderen Branchen dort. Konkrete Strukturdaten hinsichtlich der Beschäftigung in der Textil- und Bekleidungsindustrie der neuen Länder liegen zur Zeit nicht vor. Die letzten statistisch verfügbaren Daten ergeben, daß in der Textilindustrie in knapp 400 Betrieben rund 85 000 Arbeitnehmer und in der Bekleidungsindustrie in 300 Betrieben rund 53 000 Arbeitnehmer im Jahresdurchschnitt 1991 beschäftigt wurden. Zum Vergleich: In der ehemaligen DDR waren im Jahr 1989 durchschnittlich rund 320 000 Arbeitnehmer in den beiden Branchen beschäftigt. Die augenblicklichen Beschäftigungszahlen für beide Branchen werden nur noch auf etwa 55 000 geschätzt.

Der durchschnittliche Stundenlohn in der deutschen Bekleidungsindustrie lag im Jahr 1992 bei 15,60 DM. Berücksichtigt man noch einen Sozialkostensatz von 75 %, so entstanden Personalkosten in Höhe von 27,30 DM pro Stunde (KDRs 12/8 a, Hartmann).

##### Kleidung als Statussymbol

Es bedurfte nicht erst des Romans von Gottfried Keller „Kleider machen Leute“, um sich der Bedeutung von Bekleidung als äußeres Merkmal für die Zuordnung in der Gesellschaft, die finanzielle Situation und Gruppenzugehörigkeit bewußt zu werden.

Entsprechend gehört Bekleidung zu den „High Interest“-Konsumgütern sowohl bei Frauen als auch bei Männern quer durch alle Altersgruppen. Bei der Kaufentscheidung dominiert weniger der Grund- und Gebrauchsnutzen, sondern es kommt ganz besonders der Aspekt des persönlichen Ausdrucks zum Tragen. Dieses Kaufmotiv ist zwar tendenziell bei Frauen (90 %) sowie den jüngeren Jahrgängen (89 %) stärker vorhanden, aber allgemein spielt die Persönlichkeitsdarstellung als Einflußgröße beim Kleidungskauf eine große Rolle (Arbeitsgemeinschaft Textil, 1992, S. 71).

Die Art des Sich-Kleidens gibt unmittelbar Informationen über die soziale Stellung des Trägers, was vor allem auch darin begründet ist, daß die frühere Konformität des Bekleidungsverhaltens heute einer starken Differenzierung in Bekleidungsstilen gewichen ist. Gerade wegen dieser Aufweichung von Bekleidungsnormen und damit der eindeutigen sozialen Information, kommt dem Sich-Kleiden heute als Persönlichkeitsausdruck eine bedeutende Rolle zu.

Kleidung ist Teil der Selbstdarstellung und Identitätsfindung. Welche Kleidung Konsumenten präferieren, hängt u. a. davon ab, inwieweit das jeweilige Kleidungsstück geeignet ist, eine Übereinstimmung mit dem eigenen Selbst herzustellen. Oft wird Kleidung auch als Mittel der symbolischen Selbstergänzung eingesetzt. Dabei wird die Ausstrahlung eines Konsumgutes zur Ergänzung des eigenen Selbstwertes genutzt. Dies zeigt sich z. B. in der Markenorientierung. Marken symbolisieren eine bestimmte, positive Erlebniswelt, von der der Träger hofft, daß diese auf ihn übergeht. Dies gilt natürlich nur so lange, wie die Marke Symbolkraft besitzt. Diese Symbolkraft der

Marken ist heute stark relativiert, da Markenartikel in nahezu allen gesellschaftlichen Schichten gekauft werden. Daraus resultiert eine zunehmend kritische Haltung des Verbrauchers gegenüber Marken und die Tendenz, sich weniger über Marken als über Unikate zu profilieren (Arbeitsgemeinschaft Textil, 1992, S. 72).

#### 4.3.4.7 Weitere Vorgehensweise

##### Hauptstudien

Die Stofffülle machte es erforderlich, einige Segmente des Bedürfnisfeldes Textilien/Bekleidung einer genaueren Betrachtung zu unterziehen, um so zu verallgemeinerbaren Aussagen zu gelangen. Die Enquete-Kommission einigte sich auf die Vergabe folgender Hauptstudien:

An die Arbeitsgemeinschaft Textil unter der Federführung des Beratungsbüros für Umweltpolitik in Leiden wurde eine Studie zum Thema „Empirische Studie über die Interaktionen der Hauptakteure — Chemische Industrie, Veredelungsindustrie, Handel, Verbraucher — innerhalb der textilen Kette zum Stoff- und Informationsfluß“ vergeben. In dieser Studie soll die derzeitige und eine mögliche zukünftige Rolle der Hauptakteure in der textilen Kette in bezug auf eine ökologisch verträgliche Gestaltung der Stoffströme untersucht und diskutiert werden.

Im Rahmen von Interviews und eines Workshops sollen systematisch Perspektiven und gegenwärtige Barrieren, beispielsweise durch die Weitergabe von Informationen entlang der Stufen der textilen Kette, thematisiert werden. Die Studie schließt sowohl eine Analyse der vorhandenen und erforderlichen Informationsbasis als auch eine Analyse der Einflußmöglichkeiten der Akteure und der Wirkungen dieser Rahmenbedingungen ein.

Eine weitere Studie zum Thema „Untersuchung und Analyse des Bekleidungsverbrauchs einer bundesdeutschen Behörde“ wurde an die COGNIS Gesellschaft für Bio- und Umwelttechnologie mbH vergeben.

Die thematische Eingrenzung auf das Bekleidungssegment einer bundesdeutschen Behörde wurde gewählt, weil die hier bereits vorhandene Datenbasis die Durchführung der Studie in der vorgesehenen kurzen Bearbeitungszeit erleichtert.

Im Mittelpunkt der Untersuchung stehen:

- die Analyse der Beschaffung von Bekleidung nach ökologischen Kriterien
- die Quantifizierung des Verbrauchs (Einkauf, Bestand, Ausmusterung) an textiler Bekleidung und der stofflichen Zusammensetzung der Bekleidung nach Natur- und Chemiefasern
- die Analyse der Tragedauer und des Pflegeaufwands
- die Analyse der mit dem Tragen von Bekleidung zusammenhängenden Unverträglichkeitsreaktionen

- eine Auswertung der Daten hinsichtlich ökologischer Verbesserungspotentiale
- Vorschläge für ein Stoffstrommanagement hinsichtlich einer ökologisch verträglichen Beschaffung textiler Bekleidung.

Auf die beiden geplanten internen Anhörungen, die bereits erwähnt wurden, ist zu verweisen.

#### 4.3.4.8 Zusammenfassung

Das Bedürfnisfeld „Textilien/Bekleidung“ wurde ausgewählt, da es sich im Vergleich zu den anderen Beispielfeldern u. a. durch hohe Komplexität, internationale Verflechtung und hohe Aktualität in der derzeitigen öffentlichen Diskussion auszeichnet und gleichzeitig eine große soziale und ökonomische Relevanz aufweist.

Wie zu erwarten, ist eine Stoffstrombetrachtung eines solch komplexen Bedürfnisfeldes ungleich umfangreicher als bei den Einzelbeispielen. Deshalb wurden die Themenkomplexe Ökologie und Toxikologie zunächst ausgeklammert.

Um den Rahmen des Zwischenberichts nicht zu sprengen, beschränkte sich die Darstellung der Stoffstrombetrachtung auf lediglich zwei Stufen der textilen Kette — nämlich die Primärproduktion und die Textilveredelung, ohne daß diese Auswahl bereits eine Schwerpunktsetzung im Sinne einer Bewertung darstellen soll.

Als eines der Hauptprobleme bei der Stoffstrombetrachtung erwies sich die Datenlage bzw. die Datenverfügbarkeit. Die anfängliche Vermutung, daß generell nur wenige Daten zum Bedürfnisfeld Textilien/Bekleidung vorhanden sind, konnte nicht für alle Stufen der textilen Kette bestätigt werden. So liegen beispielsweise für die Primärproduktion von Baumwolle, wie in Kap. 4.3.4.3.1 gezeigt wurde, überrasschend präzise Informationen zu den Themenkomplexen Produktion, Anbauflächen oder Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmitteln vor. In vielen Fällen sind zwar Informationen vorhanden, eine Aufarbeitung der Daten wird jedoch durch unterschiedliche Bezugsgrößen erschwert. Entweder ist der Bezug zwischen Textilien allgemein und Bekleidungstextilien nicht eindeutig definiert — daraus resultieren beispielsweise die großen Abweichungen bezüglich des Pro-Kopf-Verbrauchs von Bekleidungstextilien zwischen 11 und 23 kg —, oder aber es liegen Daten für verschiedene Bezugsjahre und/oder Länder vor. Erschwert wird die Datensituation noch für die Bundesrepublik Deutschland, da manche Informationsquellen bereits die neuen Bundesländer berücksichtigen, manche sich wiederum nur auf die alten Länder beziehen.

Darüber hinaus zeigten sich gravierende Informationsdefizite, wie sie beispielsweise bei der Textilveredelung festgemacht werden können. Dies kann z. T. auch in der Art der Herangehensweise an die Stoffstrombetrachtung begründet sein. Bei dem Versuch einer rein quantitativen „Input/Output-Bilanz“

(Kap. 4.3.4.3.4) zeigte sich, daß hierzu die Daten nicht systematisch und präzise genug abgefragt wurden.

Durch die Ausgrenzung der Themenfelder Ökologie und Toxikologie fehlen bei der Stoffstrombetrachtung wesentliche Aspekte, so daß diese noch bei weitem nicht als abgeschlossen betrachtet werden kann. Deshalb ist im Rahmen der Kommissionsarbeit auch noch keine Bewertung erfolgt.

### 4.3.5 Mobilität

#### 4.3.5.1 Begründung für die Themenwahl

Das Bedürfnisfeld „Mobilität“ ist von hoher Bedeutung für die Stoffströme industrialisierter Gesellschaften. Das Bedürfnis nach Mobilität wird heute im europäischen Wirtschaftsraum durch verschiedene Faktoren verstärkt. Dazu zählen:

- Trennung von Wohnen und Arbeiten
- Entvölkerung der Innenstädte durch Konzentration der Dienstleistungen bei gleichzeitiger Auslagerung der Industriebetriebe
- Bildung von Einkaufszentren
- Zunahme von Freizeit, Urlaub und Wohlstand
- relative Verteuerung von Wohnraum im Vergleich zur individuellen Mobilität
- Streben nach Selbstverwirklichung, Flexibilität und Statussymbolen.

Im Hinblick auf die Verursachung des ständig ansteigenden Gütertransports sind zu nennen:

- Vergrößerung der Wirtschaftsräume
- Arbeitsteilung in der Güterproduktion
- z. T. künstlich erzeugte Nachfrage nach Waren, die über große Entfernungen transportiert werden müssen
- zu niedrige Frachtkosten.

Der Ausbau jeglicher Verkehrsinfrastruktur hat den motorisierten Verkehr erleichtert und damit weitere Verkehrsbewegungen induziert.

Während sich die Enquete-Kommission „Schutz der Erdatmosphäre“ vorwiegend mit dem Energieverbrauch im Verkehr (>25 % der 1991 in der Bundesrepublik Deutschland verbrauchten Energie) und den damit verbundenen Emissionen und Schäden beschäftigt, setzte die Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ den Schwerpunkt auf die Untersuchung der Stoffströme, die durch

- die Herstellung von Fahrzeugen
- ihre Wartung und Reparatur
- ihre Entsorgung
- und die Herstellung der Verkehrsinfrastruktur

ausgelöst werden. Das steigende Bedürfnis nach motorisierter Mobilität, insbesondere die massive Zunahme des PKW- und LKW-Verkehrs in Europa sowie die bei Arbeitsbeginn vorliegenden Daten über den Verbrauch an Grundstoffen aus der Metall- und Chemieindustrie führen zu der Annahme, daß die Deckung des Mobilitätsbedürfnisses einen erhebli-

chen und darüberhinaus zunehmenden Anteil der Stoffströme in der Technosphäre und in die Umwelt verursacht. Hinzu kommen die durch Mobilität und damit indirekt durch die Stoffströme ausgelösten Folgewirkungen für Leben und Gesundheit der Menschen wie auch die volkswirtschaftlichen Kosten.

Der Bereich Mobilität integriert eine große Anzahl von Stoffströmen, u. a. auch die der stofflichen Einzelbeispiele Cadmium, Benzol und R 134a. Durch die Stoffströme im Bereich Mobilität wird eine Vielzahl ökologischer, ökonomischer und sozialer Kriterien miteinander verknüpft.

Prognosen zufolge werden die gesamten Güter- und Personenverkehrsleistungen bis zum Jahre 2010 in der Bundesrepublik gegenüber dem Vergleichsjahr 1990 um zwei Drittel zunehmen. In Ost-West-Richtung allein wird für den grenzüberschreitenden Güterverkehr eine Verdreifachung (KDrs 12/10a, BAST, S. 190), für den innerdeutschen Güterverkehr eine Versiebenfachung, und für den innerdeutschen Personenverkehr sogar eine Verachtfachung vorausgesetzt (Bundesregierung, 1992).

Als Antwort auf diesen Trend ist insbesondere aus ökologischen Gründen, wie

- Energieverbrauch
- Waldschäden
- Emission von Schadstoffen
- Verbrauch von nicht erneuerbaren Ressourcen
- Verringerung der Lebensqualität
- Landschaftsschutz
- und Abfallproblematik

ein Umdenken erforderlich. Das betrifft weniger das Bedürfnis nach Mobilität an sich, sondern mehr die zur Bereitstellung von Mobilität eingesetzten Stoffströme und deren Beeinflussung.

Mit der Wahl dieses Bedürfnisfeldes hat die Kommission ihrer Aufgabe entsprochen, die wichtigsten Problemkreise der industriellen Stoffwirtschaft methodisch zu analysieren und zu bewerten und gegebenenfalls Handlungsempfehlungen für ein integriertes Stoffstrommanagement daraus abzuleiten.

#### 4.3.5.2 Vorgehensweise

Die typische Zusammensetzung eines durchschnittlichen Personenkraftfahrzeugs ist in Tabelle 4.3.5.1 wiedergegeben. Über 40 Millionen Autos bilden heutzutage sozusagen das größte rollende Rohstofflager in Deutschland. Darüber hinaus entstehen bei der Herstellung jedes einzelnen PKWs einschließlich der Grundstoffherzeugung ca. 1,5 bis 6 t abzulagernde Abfälle (KDrs 12/10a, UBA, S. 11). Dazu kommen ca. 16 t Rückstände (im wesentlichen Abraum, Schlacken) des Bergbaus und der Metallgewinnung.

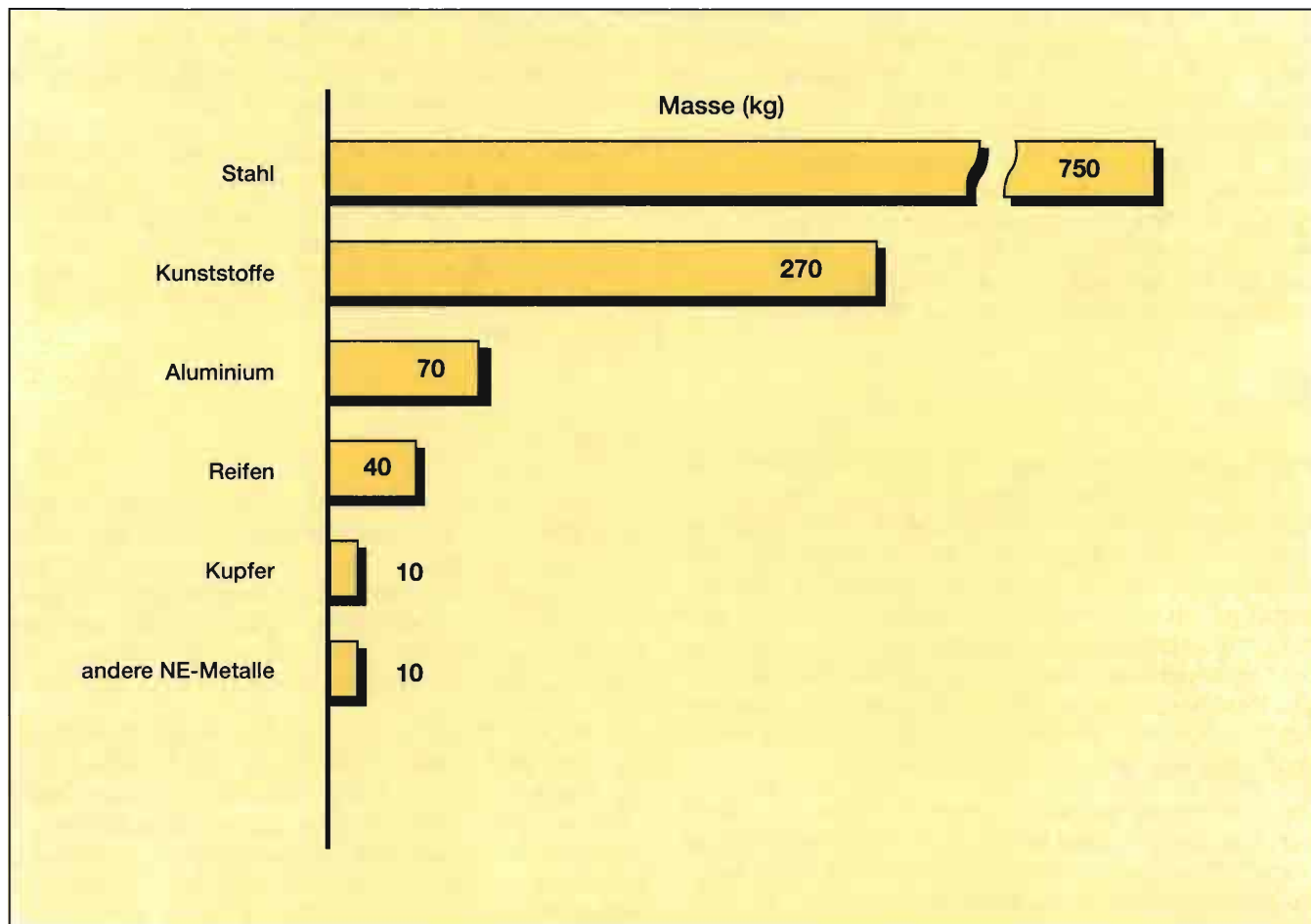


Abbildung 4.3.5.1 Stoffliche Zusammensetzung eines durchschnittlichen Personenkraftfahrzeuges der Mittelklasse (Angaben in kg/PKW) (UPI, 1992)

Derartige Angaben müssen weiter spezifiziert und ausgewertet werden, und zwar hinsichtlich

- der Unterschiede zwischen verschiedenen Verkehrsträgern
- der erkennbaren und unter ökologischen Gesichtspunkten wünschenswerten Ersatzstoffen und Materialien für den Fahrzeugbau
- und des Materialverbrauchs bei der Nutzung der Fahrzeuge über die gesamte Nutzungsdauer.

Dies stößt allerdings auf Probleme, weil die Datenlage bereits bezogen auf einzelne PKW-Typen nicht ausreichend ist. Für andere Verkehrsträger (z. B. Bahn) lagen noch erheblich weniger aussagekräftige Informationen vor. Um analog den bereits bekannten spezifischen Energieverbräuchen die Stoffströme zu bewerten, ist ein Überblick über die Effizienz der eingesetzten Stoffe notwendig. Dazu werden Durchschnittswerte zur Nutzungsdauer (Jahre), Fahrleistung (Kilometer) und Auslastung (Personen/Tonnen) benötigt. Es ist beabsichtigt, die Stoffeffizienz in vergleichbaren Dimensionen, wie Stoffmenge/Personenkilometer und Stoffmenge/Tonnenkilometer, abzuschätzen. Ein erstes Beispiel dieser Art ist in einem Gutachten für die Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz der Erdatmosphäre“ erarbeitet worden (UPI, 1992).

Des weiteren sollte angesichts der aktuellen abfallwirtschaftlichen Debatte untersucht werden, welche Voraussetzungen für eine deutliche Steigerung der Verwertung von Altfahrzeugen über den Anteil an Stahl- und anderen NE-Metallen hinaus geschaffen werden müssen.

Im Zusammenhang mit der Frage des Energieverbrauchs im Verkehr soll weiterhin dem Problem nachgegangen werden, welche Möglichkeiten der Verringerung des spezifischen Energieverbrauchs, wie z. B. durch

- Verwendung leichterer Materialien,
- Konstruktion anderer Antriebe,
- oder höhere Energieeffizienz

aus stofflicher Sicht für sinnvoll gehalten werden.

Die Enquete-Kommission ist daher daran gegangen, die Stoffströme von vier verschiedenen Verkehrsträgern inklusive der jeweiligen Stoff- und Energieeffizienz darzustellen, zu vergleichen und zu bewerten. Dies soll im Bereich des Personentransports an den Beispielen PKW und Bahn und im Bereich des Gütertransports an den Beispielen LKW, Bahn und Binnenschiff erfolgen.

Aufgrund der Komplexität dieses Bedürfnisfeldes ist eine umfangreiche Datenbasis erforderlich, um diese



Aufgabe angemessen erfüllen zu können. Daher hat die Enquete-Kommission versucht, die notwendigen Daten im Rahmen einer öffentlichen Anhörung sowie einer zusätzlichen schriftlichen Befragung weiterer Sachverständiger (Datenerhebungsbogen) zu ermitteln. Dazu wurde der Bilanzraum begrenzt, um den Aufwand zur Erhebung der Daten nicht zu weit zu treiben: Stoffe mit einem Gewichtsanteil von weniger als 1 % werden nicht in die Untersuchung einbezogen. Das gilt jedoch nicht für die Problemstoffe FCKW, PVC, Schwermetalle, Lacke und Elektronikteile.

#### Anhörung

Die öffentliche Anhörung unter dem Titel „Mobilität — Darstellung, Bewertung und Optimierung von Stoffströmen“ wurde am 6. und 7. Mai 1993 im Brandenburger Landtag zu Potsdam durchgeführt (KDRs 12/10; 12/10 a—f). Die 33 geladenen Sachverständigen aus Forschung, Umweltschutz, Staat und Industrie nahmen Stellung zu Fragen der Herstellung, des Gebrauchs und der Entsorgung der Verkehrsträger. Darüber hinaus wurden Fragen der Arbeitsplätze, der Infrastruktur sowie des rechtlichen und sozio-ökonomischen Umfeldes behandelt.

Die Enquete-Kommission bedauert, daß außer einem Vertreter des Verbands der Automobilindustrie (VDA, Frankfurt) keine Repräsentanten der deutschen Automobilindustrie der Einladung gefolgt sind.

#### Datenerhebungsbogen

Im Gegensatz zu der öffentlichen Anhörung beschränkt sich der Datenerhebungsbogen unter dem Titel „Stoffströme/Stoffbilanzen zur Bereitstellung

von Mobilität“ im wesentlichen auf Fragen der Herstellung, des Gebrauchs und der Entsorgung der Verkehrsträger. Zudem ist er ausschließlich an die Hersteller der Verkehrsträger gerichtet.

Die sich unter den insgesamt 26 befragten Herstellern befindlichen sechs Hersteller der deutschen Automobilindustrie überließen die Beantwortung des Datenerhebungsbogens ausschließlich dem VDA. Die Zurverfügungstellung von Daten durch den VDA gestaltet sich bisher, im Gegensatz z. B. zum Verkehrsträger Bahn, nur sehr zögerlich.

#### Studie

Zur Zusammenführung und Auswertung der im Rahmen der Anhörung und der zusätzlichen Datenerhebung gewonnenen Daten hat die Enquete-Kommission eine Studie inklusive einer zusätzlichen Literaturrecherche in Auftrag gegeben. Studiennehmer ist das Consulting-Unternehmen Fichtner in Stuttgart. Die Studie soll im Januar 1994 abgeschlossen werden.

Da die mit Hilfe der Anhörung und des Datenerhebungsbogens erzielte Datenbasis bisher nicht befriedigend ist, wird Fichtner zusätzlich eigene Daten erheben, um die bestehenden Lücken zu schließen. In diesem Zusammenhang wäre eine verstärkte Kooperation auch seitens der deutschen Automobilindustrie wünschenswert.

Eine Bewertung der Stoffströme für das Bedürfnisfeld Mobilität kann durch die Enquete-Kommission erst nach Fertigstellung der Studie erfolgen. Daraus abgeleitete Handlungsempfehlungen für ein integriertes Stoffstrommanagement können daher erst Gegenstand des Endberichtes sein.

## 5 Bewertung und Management von Stoffströmen

### 5.1 Bewertung von Stoffströmen

Eine der zentralen Aufgaben der Enquete-Kommission besteht darin, Bewertungskriterien für den Umgang mit Stoffen zu entwickeln, anhand derer sich spätere Handlungsempfehlungen nachvollziehbar ableiten lassen. In dieser Aufgabe liegt ein „Herzstück“ der Kommissionsarbeit, was nicht zuletzt auch im Titel der Kommission „... Bewertungskriterien und Perspektiven für umweltverträgliche Stoffkreisläufe in der Industriegesellschaft“ zum Ausdruck kommt.

Das Ziel eines Stoffstrommanagements verlangt als ersten Schritt die Entwicklung geeigneter Methoden zur Erfassung der Stoffströme und den Aufbau einer entsprechenden Datenbasis. Die Enquete-Kommission hat daher eine Studie zum Thema „Erfassung von Stoffströmen aus naturwissenschaftlicher und wirtschaftswissenschaftlicher Sicht zur Schaffung einer Datenbasis für die Entwicklung eines Stoffstrommanagements“ in Auftrag gegeben, welche die unterschiedlichen Konzepte zur Erfassung von Stoffströmen und die bereits bestehenden Datenbasen auf ihre Eignung zur Erfassung von Stoffströmen analysieren soll. Hierbei wird auch auf technische bzw. ökonomische Ansätze und Möglichkeiten ihrer Verknüpfung eingegangen. Zur Präzisierung der natur-ingenieurwissenschaftlichen Ansätze und der ökonomischen Ansätze zur Stoffstromerfassung sollte je ein natur-ingenieurwissenschaftliches Verfahren für die Beschreibung von Stoffströmen konkret angewendet werden. Die Enquete-Kommission erwartet hiervon eine Aussage zu den methodischen Möglichkeiten und Begrenzungen — z. B. im Datenbereich — sowie entsprechende Verbesserungsvorschläge.

Die Aufstellung nachvollziehbarer Bewertungskriterien für stoffpolitische Bewertungsverfahren erfordert einerseits Einvernehmen über normativ bestimmte Zielvorgaben (im Sinne von Leitbildern; s. Kap. 3) und andererseits eine Prüfung der Angemessenheit und Praktikabilität dieser Bewertungskriterien in bezug auf die zu bewertenden Sachverhalte. Dies wird im folgenden näher erläutert.

#### 5.1.1 Begriffsklärung und Vorgehen der Enquete-Kommission

Eine Bewertung erfolgt nach Betrachtung und Analyse eines gegebenen Sachverhalts oder Geschehnisses und verknüpft die daraus gewonnenen Erkenntnisse mit einem bereits gegebenen Wertesystem, das in (impliziten oder expliziten) Leitbildern seinen Ausdruck findet. Zweck der Bewertung ist es, Entscheidungen treffen zu können, auf deren Basis Maßnahmen abgeleitet werden können.

Im alltäglichen Leben ist der Mensch mit Bewertungen von Geschehnissen und Sachverhalten auf Basis eines (individuellen oder kollektiven) Wertesystems ständig konfrontiert, um daran seine Entscheidungen zu orientieren. Für eine verbindliche und nachvollziehbare Bewertung zwischen einzelnen Menschen oder Gruppen in der Gesellschaft ist eine Einigung auf ein Bewertungsverfahren erforderlich, bei dem festgelegte Bewertungskriterien zur Bewertung bestimmter Sachverhalte zur Anwendung kommen.

Zur Veranschaulichung der Begriffe Sachverhalt, Bewertungsverfahren, Bewertungskriterium und Leitbild sowie ihrer Verknüpfung ein Beispiel aus dem Sport: Die Einstufung der sportlichen Qualität eines Eiskunstläufers durch eine Jury basiert auf einem festgelegten Bewertungsverfahren. In unserem Beispiel stellt die Eiskunstlaufdarbietung den Sachverhalt, das Geschehnis dar, während sich die Punkteverteilung der Jury an den Regeln des Bewertungsverfahrens orientiert. Im Bewertungsverfahren (bei der Punktvergabe) werden Bewertungskriterien und Sachverhalt verknüpft.

An welchem Leitbild orientiert sich dieses Bewertungsverfahren? Nach welchen Kriterien wird bewertet? Welche Kriterien scheiden von vornherein aus und welchen wird besondere Bedeutung beigemessen?

Um beim Beispiel zu bleiben: Zweck des Bewertungsverfahrens ist es, mit Hilfe von Einzelbewertungen unter den Eiskunstläufern eine Rangordnung nach sportlichem und künstlerischem Können aufzustellen und den besten von ihnen zu identifizieren. Dabei wird derjenige innerhalb der Rangordnung an oberster Stelle stehen, der dem Idealbild innerhalb der sportlichen Disziplin am nächsten kommt. Als Leitbild steht dahinter das in der westlichen Kultur verankerte Bestreben, sportliche Höchstleistungen als ein Ideal menschlicher Selbstentfaltung zu würdigen.

Orientiert an diesem Leitbild werden in dem Bewertungsverfahren von der Jury Kriterien wie z. B. die Augenfarbe oder die Sprachkenntnisse des Eiskunstläufers von vornherein direkt ausscheiden. Kriterien wie Technik (Note A) oder tänzerische, künstlerische Leistung (Note B) werden dagegen in hohem Maße Berücksichtigung finden. D. h., innerhalb der möglichen Bewertungskriterien wird eine Auswahl und Prioritätensetzung bzw. Festlegung einer Rangfolge vorgenommen, die eine am Leitbild sportlicher Höchstleistung orientierte und dem zu bewertenden Sachverhalt angemessene Bewertung der Eiskunstläufer ermöglicht.

An diesem Beispiel können auch die Grenzen der Objektivierbarkeit des Bewertungsverfahrens verdeutlicht werden: Während bei der technischen Bewertung eher objektive Kriterien zugrunde liegen — über die Anzahl der Pirouetten läßt sich kaum

streiten — kommt bei der Bewertung auch ein subjektives Moment, so z. B. die Attraktivität des Eiskunsläufers, hinzu.

Wie in diesem Beispiel zu verdeutlichen versucht wurde, orientiert sich eine Bewertung im Rahmen eines (mehr oder weniger objektiven) Bewertungsverfahrens einerseits an einem Leitbild und andererseits an einem gegebenen Sachverhalt.

Auch stoffpolitische Bewertungen orientieren sich zum einen an einem Leitbild, hier bezogen auf das Ziel des Schutzes von Mensch und Umwelt, zum anderen an einem gegebenen Sachverhalt, einem ökologischen, ökonomischen und sozialen „Status quo“.

Die Enquete-Kommission nähert sich der Aufgabe, Bewertungskriterien zu entwickeln, nach zwei Vorgehensweisen: zum einen auf induktivem Wege, indem Fallbeispiele (d. h. nach oben dargestellten Ausführungen Sachverhalte) analysiert werden, zum anderen auf deduktivem Wege, d. h. über eine Konkretisierung von Leitbildern, an denen sich die Bewertungen orientieren sollen. Dabei kristallisiert sich das Leitbild einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung als übergreifendes Leitbild einer Stoffpolitik heraus (s. Kap. 3).

Es gibt bereits eine Anzahl von Bewertungsansätzen unterschiedlichster Art, die im Auftrag der Enquete-Kommission im Rahmen einer Studie zusammengefaßt und ausgewertet werden.

In Abbildung 5.1.1 wird diese Vorgehensweise graphisch wiedergegeben.

Zur Verdeutlichung der Graphik: Zwischen Sachverhalten, Bewertungsverfahren, Bewertungskriterien und Leitbildern bestehen wechselseitige Interdependenzen. Das kulturell, ethisch-philosophisch, religiös beeinflusste und auf einem Wertesystem beruhende Leitbild ist maßgebend für die Auswahl und Gewichtung von Bewertungskriterien, die nach den Regeln des Bewertungsverfahrens zur Anwendung kommen sollen. Auch zwischen Bewertungsverfahren, Bewertungskriterien und Sachverhalt gibt es Wechselwirkungen. So wird die Auswahl entscheidungsrelevanter Bewertungskriterien induktiv anhand des gegebenen Sachverhaltes entwickelt, andererseits wird der Sachverhalt auch im Hinblick auf die Suche nach entscheidungsrelevanten Bewertungskriterien in den Blick genommen, d. h. bestimmte Aspekte des Sachverhaltes finden größere, andere geringere Beachtung.

Auch bei Vorliegen konsensfähiger Bewertungskriterien bleibt die Bewertung zu einem Teil subjektiv. Dies kommt vor allem bei der Prioritätensetzung oder Festlegung einer Rangfolge zum Tragen. Welchen Platz beispielsweise ökologische Eigenschaften wie Toxizität, Landschaftsverbrauch, Ressourcenverbrauch oder Ozonerstörungspotential innerhalb des Bewertungsverfahrens einnehmen sollen, orientiert sich an den Leitbildern, die nur zu einem Teil kollektiv

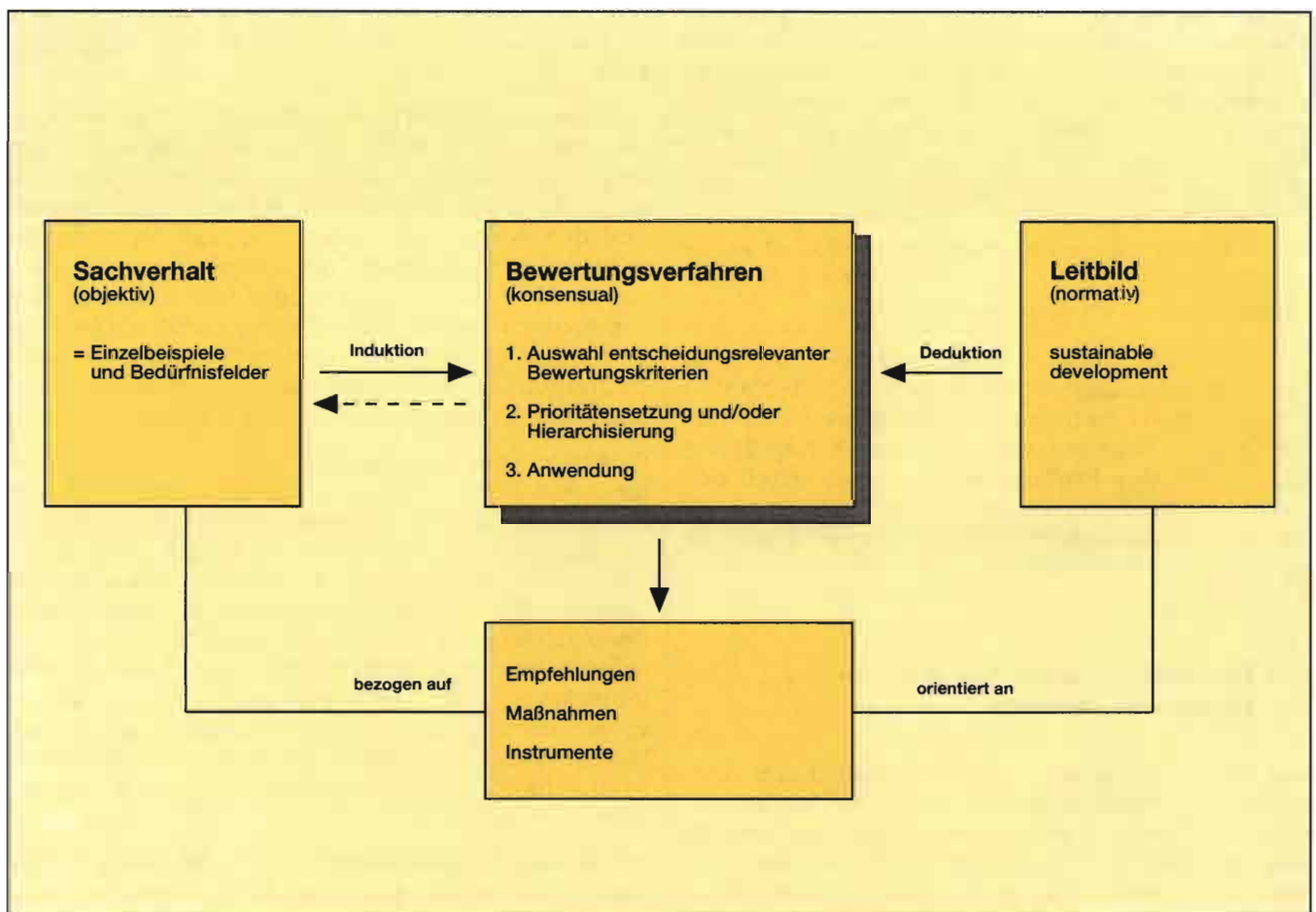


Abbildung 5.1.1 Induktives und deduktives Verfahren zur Entwicklung von Bewertungskriterien sowie Empfehlungen und Maßnahmen (Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“, 1993)

bestimmt und immer auch individuell geprägt sind. Einigkeit über die Auswahl, Prioritätensetzung und/oder Festlegung einer Rangfolge von ökologischen Bewertungskriterien ist erst über einen diskursiven, auf Konsens zielenden Prozeß erreichbar. Eine konsensuale Bewertung ebnet zugleich auch den Weg für die erforderliche Akzeptanz der aus den Bewertungen entwickelten Maßnahmen.

Induktives Vorgehen: Entwicklung von Bewertungskriterien aus Sachverhalten

Die Enquete-Kommission hat sich dem Ziel, Bewertungskriterien zu entwickeln, durch induktives Vorgehen anhand der Einzelbeispiele Cadmium, Benzol und R 134a sowie der Bedürfnisfelder Textilien/Bekleidung und Mobilität — wobei letztere noch wenig thematisiert wurden — zu nähern versucht.

Zu Beginn der Arbeit an den Einzelstoffbeispielen wurden Kriterien zusammengetragen, die sich aus der derzeitigen wissenschaftlichen und öffentlichen Diskussion über die Beurteilung von Stoffen, Stoffströmen und Produktionsverfahren ableiten ließen. Auf dieser Basis wurde das Datenmaterial zur Erstellung von Sachstandsanalysen zusammengetragen.

In der folgenden Auswertungsphase fand parallel zur Systematisierung der Sach- und Wirkungsbilanz bereits eine Bewertung verschiedener Aspekte statt. Insgesamt ist das Bewertungsverfahren als ein Diskussionsprozeß innerhalb der Enquete-Kommission zu verstehen, bei dem eine Fokussierung auf entscheidungsrelevante Bewertungskriterien in ständiger Rückkopplung zwischen den Ebenen Sachstandsanalyse und Zielvorstellung stattfand. Bereits bei der Auswertung des Datenmaterials erwiesen sich die Ergebnisse der Analyse als unterschiedlich bewertungsrelevant. In Orientierung an den Bewertungszie-

len konnten einige Kriterien schon in diesem Stadium als vernachlässigbar eingestuft werden. Andere Aspekte gewannen erst im Verlauf der Diskussionen an Bedeutung und wurden in die Bewertung einbezogen.

Bei der Vorbereitung der öffentlichen Anhörung zur Chlorchemie hat die Enquete-Kommission eine erste Aufstellung von Bewertungskriterien für dieses Themenfeld und Ansätze zur Bündelung dieser Kriterien im Sinne eines Kriterienrasters vorgenommen. Da die Auswertung dieser Anhörung in der Enquete-Kommission noch nicht erfolgte, können die Ergebnisse im Zwischenbericht noch nicht vorgelegt werden.

Für die Entwicklung von Bewertungskriterien bzw. eines Kriterienrasters ist bereits die Auswahl der Sachverhalte/Fallbeispiele von entscheidender Bedeutung, weil Eigenschaftsmerkmale, die in den Beispielen nicht vertreten sind, bei der Auflistung von Bewertungskriterien nach der induktiven Methode keine Berücksichtigung finden.

Eine weitere induktive Näherung an das Problem der Bewertungskriterien war durch die Beschäftigung mit dem niederländischen Ansatz eines integrierten Stoffstrommanagements (VNCI, 1992) gegeben. In diesem Ansatz werden ökologische und ökonomische Kriterien zur Bewertung stoffwirtschaftlicher Optionen verknüpft. Die ökologischen Bewertungskriterien orientieren sich in diesem Modell an den nationalen Umweltzielen in den Niederlanden. Eine entsprechende Herangehensweise ist nach Auffassung der Enquete-Kommission für deutsche Verhältnisse nicht anwendbar. Vermißt wurde in diesem Ansatz die Berücksichtigung sozialer Kriterien. Allerdings ist das pragmatische Vorgehen in den Niederlanden insofern lehrreich, als wenige politisch getragene Oberziele das Leitbild ausfüllen, auf dessen Basis Bewertungen vorgenommen werden.

### Initiative der niederländischen chemischen Industrie

Ein Ansatz für die hier zu lösenden Probleme ist die von der niederländischen chemischen Industrie entwickelte Methode eines integrierten Stoffstrommanagements (VNCI-Modell) als Instrument der Entscheidungsvorbereitung und -findung umweltbezogener Maßnahmen. Im Zusammenwirken von Experten, Wissenschaftlern und Entscheidungsträgern (Politik, Verwaltung, Industrie, Gewerkschaften und Umweltverbänden) werden alle verfügbaren Fakten und wissenschaftlichen Erkenntnisse transparent aufbereitet und in einem konsensorientierten Entscheidungsprozeß systematisch verwendet. Das Ziel liegt darin, praktische Umweltmaßnahmen auf den Weg zu bringen.

Beabsichtigt ist die Entwicklung einer Methodik zur Erarbeitung einer konsensualen Entscheidung durch alle Betroffenen. Voraussetzung dafür ist eine gemeinsame Bewertungsgrundlage, wie sie in den Niederlanden durch die Orientierung auf die wesentlichen Felder der Umweltpolitik in den Niederlanden,

nämlich den Treibhauseffekt, den Ozonabbau, die Versauerung, die Eutrophierung, die Photooxidation, die Verteilung giftiger Substanzen, die Deponierung von Abfällen, die Beeinträchtigung durch Lärm, Geruch und Unfallgefahr sowie die Erschöpfung natürlicher Ressourcen gegeben war. Eine Weiterentwicklung dieser Methodik mit dem Ziel des Abbaus immanenter Schwächen — Festsetzung der Wichtungsfaktoren, Institutionalisierung, Managementstrukturen, Rolle der Umweltverbände etc. — erscheint sinnvoll. Darüber hinaus sollte auch eine Übertragung in andere Bereiche der Stoffwirtschaft versucht werden. Grundsätzlich könnte die Methodik auch auf anderen Ebenen (Länder, Kommunen) Anwendung finden. Dabei sollte nicht übersehen werden, daß die oben skizzierte Methode eines integrierten Stoffstrommanagements zwar pragmatisch aber auch arbeitsaufwendig ist. Vor dem Einsatz dieses Instruments sollte daher stets eine Überprüfung der Verhältnismäßigkeit der Maßnahmen erfolgen.

Die Enquete-Kommission hat sich zum Ziel gesetzt, als Grundlage für ein Stoffstrommanagement Kriterien für die ökologische Bewertung stoffwirtschaftlicher Optionen unter gleichrangiger Beachtung ökonomischer und sozialer Folgen zu entwickeln.

Um bei der induktiven Vorgehensweise zur Bestimmung von Bewertungskriterien zu einer weiteren Systematisierung zu kommen, ist es angebracht, sich eine Übersicht über das Gesamtspektrum von Sachverhalten zu verschaffen, auf die diese Bewertungskriterien Anwendung finden sollen. Für stoffwirtschaftliche und stoffpolitische Bewertungskriterien ist dementsprechend eine Analyse der Bandbreite und eine Typisierung der stoffrelevanten Umweltprobleme erforderlich. Einen Zugang zur Bewältigung dieser Aufgabe bietet die Typisierung von stoffrelevanten Umwelt- und Gesundheitsproblemen nach deren Zeit- und Raumskalen.

Deduktives Vorgehen: Entwicklung von Bewertungskriterien aus Leitbildern

Bei der deduktiven Methode wird von Leitbildern ausgehend versucht, Bewertungskriterien bzw. ein Kriterienraster zu entwickeln.

Im Rahmen der bisherigen Kommissionsarbeit wurde das Leitbild einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung als normative Grundlage für die Entwicklung von Leitbildern einer Stoffpolitik aufgegriffen. Zur Diskussion und Ausformulierung dieser Leitbilder wird auf Kapitel 3 verwiesen.

### 5.1.2 Bewertungsverfahren

Das Bewertungsverfahren kann folgendermaßen unterteilt werden:

- (1) Bestimmung von Bewertungszweck und Bewertungsgegenstand
- (2) Risikoabschätzung
- (3) Nutzenabschätzung
- (4) Abwägung

- (1) Bestimmung von Bewertungszweck und Bewertungsgegenstand

Die Bestimmung des Zwecks der Bewertung legt dar, welchen Erkenntnisgewinn zu welchen Fragen man erwartet und in welcher Weise vorgesehen ist, die Erkenntnisse zu verwenden. In diesem Zusammenhang ist auch das Problem zu verdeutlichen, das Anlaß zu der Untersuchung gab. Der Gegenstand der Bewertung wird durch eine präzise Abgrenzung unter Nennung der Abschneidekriterien beschrieben. Die Einengung des Bewertungsgegenstandes erfolgt im Prinzip dadurch, daß eine dem Sachverhalt angemessene

und nachvollziehbare Auswahl von Bewertungskriterien vorgenommen wird.

Je nach Bewertungsgegenstand werden unterschiedliche Akteure die Bewertung nach ihren eigenen Kriterien vornehmen, soweit nicht gesellschaftlich akzeptierte Ziele und Leitbilder dieser Bewertung zugrunde liegen.

Darüber hinaus ist das methodische Vorgehen zu erläutern, d. h., es sind die Bedingungen anzugeben, unter denen die nachfolgenden Schritte getan werden.

#### (2) Risikoabschätzung

Schutzziele und Schutzgüter werden von den untersuchten Stoffströmen potentiell beeinträchtigt. Schutzziele und Schutzgüter wurden zur Ableitung der Bewertungskriterien herangezogen. Sie gehen sozusagen in den Bewertungskriterien auf.

Die Risikoabschätzung soll vermitteln, wieweit der Stoffstrom die Schutzgüter gefährden und die Erreichung der Schutzziele behindern kann, wobei die Wahrscheinlichkeit dieser Beeinträchtigungen abgeschätzt werden muß. Die Risikoabschätzung im weitesten Sinne versucht, alle den Schutzziele und -gütern abträgliche Wirkungen zu berücksichtigen.

Die Gefährdungsabschätzung verbindet die Sach- und Wirkungsbilanz mit den Schutzziele und Schutzgütern. Sie liefert anhand von Gefährdungskriterien — bildlich gesprochen — ein Gefährdungsprofil, das eine Vorstellung davon gibt, wieweit der Umgang mit dem Stoff die Schutzziele und -güter beeinträchtigt.

#### (3) Nutzenabschätzung

Die Nutzenabschätzung soll vermitteln, welche Nutzen mit dem Stoffstrom verbunden sind. Sie wird ebenfalls aufgrund der Sach- und Wirkungsbilanz erstellt. Kriterien zur Abschätzung des Nutzens können im Prinzip ökologische, ökonomische und soziale sein, wenngleich mit ökologischen Kriterien in der Regel die Gefährdung von Gesundheit und Umwelt abgeschätzt wird und nur in wenigen Fällen ein Nutzen. Die Nutzenabschätzung erweist sich als sehr viel schwieriger als die Risikoabschätzung, weil sie in noch stärkerem Maße subjektiven Einschätzungen unterliegt. Eine weitere Problematik ergibt sich, wenn Nutzen und Risiken verschiedene Personen betreffen oder zeitlich und räumlich voneinander getrennt sind. Ökonomische und soziale Kriterien können in den Fällen festgelegt und verwendet werden, in denen der Nutzen zum Beispiel als Umsatz in DM beziehungsweise in Anzahl von Arbeitsplätzen ausgedrückt werden kann. Spezifische Nutzenkriterien zum Beispiel für Produkte können in der Regel nicht ermittelt werden. Für die Bewertung der Verwendung eines Stoffes in einem definierten Bedürfnisfeld sollten seine Einsatzfelder in Form von use pattern und Verwendungszwecken explizit angegeben werden.

#### (4) Abwägung

Im Abwägungsschritt wird das Gefährdungsprofil, das einen Eindruck davon vermittelt, wieweit die Schutz-



güter und Schutzziele beeinträchtigt werden, dem Nutzenprofil, das eine Einschätzung vom Spektrum und Gewicht der Nutzen wiedergibt, gegenübergestellt. Die Größen, die das Gefährdungsprofil kennzeichnen und jene, die das Nutzenprofil wiedergeben, gehören meist unterschiedlichen Kategorien an, die — ähnlich wie Äpfel und Birnen — nicht einfach miteinander vergleichbar sind. In Einzelaspekten, wie bei bezifferbaren Kosten und Nutzen, sind jedoch auch vergleichbare Größen gegeben, die einfach bilanziert werden. Über bezifferbare Kosten und Nutzen hinaus können Gefährdung und Nutzen nicht einfach bilanziert werden. Von entscheidender Bedeutung bei der Abwägung ist die Rangordnung der Bewertungskriterien, die von den Schutzzielen, aber auch von den Werthaltungen der Bewerter bestimmt wird. Bei den stofflichen Fallbeispielen haben sich jeweils eines oder wenige Kriterien als entscheidend für die Handlungsempfehlungen herausgestellt.

## 5.2 Management von Stoffströmen

Die Fallbeispiele Benzol, Cadmium und R 134 a haben die Möglichkeiten der Stoffstrombetrachtung und Ansatzpunkte für ein Stoffstrommanagement aufgezeigt. Das Spektrum der hierbei angesprochenen Instrumente reicht von Schulungsprogrammen für Anwender über die Ausgestaltung des bestehenden ordnungsrechtlichen Instrumentariums, forcierte Technologieentwicklung, Monitoring-Programme, ökonomische Instrumente und freiwillige Vereinbarungen bis hin zu globalen Konventionen. Der bisherige Diskussionsstand in der Enquete-Kommission läßt erst sehr wenige verallgemeinerbare Aussagen über Instrumente eines Stoffstrommanagements zu. Als vorläufiger Erkenntnisstand kann festgestellt werden:

Es hat sich bei allen drei Fallbeispielen gezeigt, daß punktuelle Eingriffe in Stoffströme oft weitreichende Folgen haben, die durch eine enge Verflechtung der verschiedenen Stoff- und Güterströme bedingt sind. Eine Verringerung des Benzolgehalts im Benzin bedingt beispielsweise Veränderungen im Bereich der Grundstoffversorgung der chemischen Industrie. Die Regulierung der Cadmiumströme hat Rückwirkungen auf die Zink- und Düngemittelströme und die Wahl von FCKW-Ersatzstoffen kann Auswirkungen auf verbundwirtschaftliche Strukturen in der chemischen Industrie haben.

Eine auf einzelne stofflich bedingte Probleme orientierte Umweltpolitik birgt die Gefahr in sich, daß mit der Lösung eines Problems an anderer Stelle Probleme verstärkt oder erst geschaffen werden und daß ungewollte ökonomische Folgewirkungen auftreten. Hierbei sind insbesondere das Phänomen der Kuppelproduktion und die Beziehung von Stoff- und Güterströmen zu berücksichtigen.

Die Enquete-Kommission wird bei der Diskussion der Instrumente sowohl die Erfahrungen aus den Fallbeispielen verwerten als auch aus der allgemeinen Instrumentendiskussion heraus die für die Fallbeispiele vorgeschlagene Vorgehensweise kritisch überprüfen.

### 5.2.1 Definition und Zielsetzung

Stoffstrombewertung und Management von Stoffströmen sind entscheidende innerbetriebliche Instrumente, die in der Regel mit dem Ziel betrieben werden, Stoffe effizient zum richtigen Zeitpunkt zur Produktion von Gütern bereitzustellen und die Verwertung bzw. Entsorgung von Abprodukten möglichst preiswert sicherzustellen.

Zunehmend wird das Management von Stoffströmen innerbetrieblich auch mit dem Ziel betrieben, ökologisch kritische Stoffe in geringem Maße zu verwenden.

Stoffstromanalysen (s. Kap. 4) und Stoffstrombewertungen (s. Kap. 5.1) sind wesentliche Voraussetzungen für ein Stoffstrommanagement. Innerbetriebliches Stoffstrommanagement hat sich bereits vielfach beim produktionsintegrierten Umweltschutz bewährt, z. B. katalytische Hydrierung statt Metallreduktion. Es finden sich auch Ansätze im produktintegrierten Umweltschutz, z. B. neue Pflanzenbehandlungsmittel mit geringerer Ausbringungsmenge und mit spezifischer Wirkung und der Verzicht auf kritische Inhaltsstoffe in Waschmitteln. Wegen der drängenden Probleme im Abfallbereich stammen viele Ansätze für ein Stoffstrommanagement mit Beeinflussung von staatlicher Seite aus der Abfallwirtschaft. Darunter versteht der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) „das aufeinander abgestimmte Zusammenwirken von Vermeidung, Verwertung und Beseitigung von Abfällen mit dem Ziel, die Gesundheit des Menschen zu schützen sowie die belebte und unbelebte Umwelt vor Ansammlungen von Abfällen und deren schädlichen Auswirkungen soweit wie möglich zu bewahren“ (Deutscher Bundestag, SRU, 1990, S. 571). Der Rat hat daher für eine Reihe von Stoffen bzw. Gütern zur Lösung abfallwirtschaftlicher Probleme Managementkonzepte vorgeschlagen.

Eine zukünftige Stoffwirtschaft geht über die Betrachtung von Abfällen hinaus. Ihr Gegenstand sind alle Stoffe und Güter, von denen schädliche Auswirkungen auf den Menschen oder die Umwelt ausgehen können. Stoffwirtschaft muß Stoffe bzw. Güter von der Entstehung bis zur Entsorgung und während ihres gesamten Lebensweges betrachten und auch die damit verbundenen Energieströme mitberücksichtigen.

Die Entwicklung von Stoffwirtschaftskonzepten und deren Umsetzung sind Aufgaben eines Stoffstrommanagements. Unter dem Leitbild Sustainable Development sind jedoch für große Ströme vor allem nicht-erneuerbarer Ressourcen aber auch für relativ kleine Ströme umweltgefährlicher Stoffe Managementansätze erforderlich, die regional, national oder auch international greifen. Die damit verbundene Steuerung von Stoff- und Energieströmen nach umweltpolitischen, wirtschaftlichen und sozialen Zielen ist keinesfalls mit einem tiefgestaffelten System der Stoff- und Produktprüfung und -zulassung mit einem dichten Netz staatlicher Eingriffe (Wirtschaftsdirigismus) zu verwechseln. Vielmehr soll das Stoffstrommanagement und die Stoffstromsteuerung auf betrieblicher Ebene integraler Bestandteil aller Managementakti-

vitäten sein und auf der gesetzgeberischen Ebene durch eine zielführende Rahmengesetzgebung unterstützt werden. Dies ist eine wichtige Voraussetzung für eine effektive Umsetzung der angestrebten Umweltziele.

### 5.2.2 Instrumente des Stoffstrommanagements

Die Diskussion um ein zukünftiges Stoffstrommanagement ist mit der Forderung nach einem stoff- und produktpolitischen Instrumentarium verbunden und birgt erhebliches Konfliktpotential zwischen wirtschafts- und umweltpolitischen Interessen.

In diesem Zusammenhang und im Hinblick auf die Diskussionen des Stoffstrommanagements von einzelnen Stoffen (Cadmium, Benzol und R 134 a) ist die Unterscheidung von Strategien und Instrumenten wichtig. Strategien bezeichnen übergreifende Ziele. Instrumente sind einzelne ordnungsrechtliche, kooperative, ökonomische oder präventive Maßnahmen, die gewählt werden, um ein Ziel oder eine Strategie umzusetzen.

Die Enquete-Kommission ist sich der großen Bedeutung und der Notwendigkeit neu zu schaffender Instrumente, welche sowohl ökologischen, ökonomischen als auch gesellschaftlichen Belangen gerecht werden, bewußt. Sie ist aufgrund ihres Auftrages aufgefordert, diese mitzugestalten. Die Diskussionen um deren Ausgestaltung sind in der Enquete-Kommission noch nicht beendet. Insofern wird in diesem Bericht auf eine ausführliche Diskussion und Bewertung bestehender und in der Literatur vorgeschlagener Instrumente verzichtet.

Zur Bewertung der Instrumente hat die Enquete-Kommission eine Studie zur „Konzeption eines in sich geschlossenen Stoffrechts“ vergeben, die folgende Aufgabenstellung bearbeiten soll:

— Darstellung stoffpolitischer Regelungsdefizite im deutschen Umweltrecht

— Präzisierung der Zielsetzung für ein integriertes Stoffrecht, das umfassend alle Stufen der Produktlinie berücksichtigt

— Darstellung einer Konzeption für ein konsistentes, in sich geschlossenes Stoffrecht, das u. a. Stoffströme, Stoffübergänge zwischen Medien, Verlagerungen und Vermischen von Stoffen und die Entstehung von Abfall berücksichtigt

— Aufzeigen von — auch innovativen — Instrumenten zum Management von Stoffströmen

— Erarbeitung von Lösungsvorschlägen zur Abstimmung stoff- und medienbezogener Regelungen.

Die Enquete-Kommission hat damit für die nächsten Monate folgende Fragen zu diskutieren und wenn möglich zu beantworten:

— Definition von wesentlichen umweltpolitisch begründeten Oberzielen für das Leitbild Sustainable Development unter Berücksichtigung sozialer und ökonomischer Rahmenbedingungen

— Entwicklung von Bewertungskriterien, die den Oberzielen angepaßt sind; Versuch einer Festlegung einer Rangfolge der Bewertungskriterien anhand der Vorgehensweise bei den Einzelbeispielen bzw. Bedürfnisfeldern

— Kriterien zur Beschreibung eines „Nutzen“, Anforderungen an die Beschreibung von Einsatzfeldern eines Stoffes in Form von use pattern

— Minimalanforderungen an die Beschreibung von Stoffströmen

— Kriterienraster für die Auswahl von Stoffen, bei denen Stoffströme zu analysieren und zu bewerten sind

— Strategien und Instrumente für das Stoffstrommanagement.

## Glossar

*Die Definitionen im Glossar haben nur vorläufigen Charakter, da z. B. im Abfallbereich sowohl EG-weit als auch in der Bundesrepublik Deutschland derzeit noch um eindeutige Begriffsdefinitionen gerungen wird.*

### Abfall

Subjektiver Abfallbegriff: Stoffe, die in Prozessen neben der Herstellung von Produkten entstehen oder deren Verwendungszweck entfallen ist, denen sich der Besitzer entledigen will.

Objektiver Abfallbegriff: Stoffe, die nicht weiter verwendet oder verwertet werden und zu entsorgen sind.

### Abschneidekriterien

Grundregeln für die Reduzierung von Untersuchungsschritten, um nebensächliche Aspekte aus der Behandlung innerhalb der Bilanzgrenzen einer Ökobilanz herauszuhalten.  
→ Ökobilanz

### AFEAS (Alternative Fluorocarbon Environmental Acceptability Study)

Forschungsprogramm der weltweit führenden Industrieunternehmen, die sich mit der Entwicklung von FCKW-Ersatzstoffen befassen.

### Aggregation

Zusammenführung von Daten, die bei unterschiedlichen Maßeinheiten auf eine gemeinsame Maßeinheit umgerechnet werden und so Abschätzungen über komplexe Zusammenhänge z. B. bei Ökobilanzen ermöglichen.

### Altstoffe

Altstoffe sind Stoffe, die vor dem 18. September 1981 im Bereich der Europäischen Gemeinschaften in Verkehr gebracht wurden. Sie sind im europäischen Altstoffverzeichnis EINECS (European Inventory of Existing Commercial Substances) erfaßt. Altstoffe können ohne Anmelde- bzw. Mitteilungsverfahren hergestellt und in Verkehr gebracht werden. Durch EG-Verordnung (Altstoffverordnung Nr. 793/93 EWG) werden Hersteller von Altstoffen mit jährlichen Produktionen > 1 000 t zur Erstellung von Datensätzen verpflichtet.  
→ Neue Stoffe, → Chemikaliengesetz

### Anwendung; „offene“, „teiloffene“, „geschlossene“

#### Anwendung

„offene Anwendung“: Direktmissionen während der Gebrauchphase von 50—100 % „teiloffene Anwendung“: Direktmissionen während der Gebrauchphase von 10—50 % (z. B. Autoklimaanlage)

„geschlossene Anwendung“: Direktmissionen während der Gebrauchphase unter 10 % (z. B. Kühlschrank).

### Benzol

Aromatischer Kohlenwasserstoff C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, der als natürlicher Bestandteil von Rohöl in bestimmten Raffinierungsfractionen enthalten ist.

### Bilanzbewertung

Abschließender Verfahrensschritt in Ökobilanzen und Produktlinienanalysen, der die Ergebnisse der Sach- und Wirkungsbilanz im Sinne einer Gesamtbewertung umfaßt. Er ist relativ, da er ein begründetes Urteil vor dem Hintergrund eines persönlichen oder kollektiven Wertesystems darüber abgibt, inwieweit die Risiken angesichts der Nutzen vertretbar sind.  
→ Ökobilanzen, → Produktlinienanalysen

### Bilanzgrenzen

Grenzen zeitlicher, räumlicher und sachlicher Art eines Bilanzraums, der Teil eines Gesamtsystems ist.

### Biosphäre

Die Bereiche der Umweltkompartimente, die von lebenden Organismen besiedelt sind.  
→ Umweltkompartiment

### Cadmium

Ein in der Natur weit verbreitetes Element, das im wesentlichen in Vergesellschaftung mit Zink vorkommt.

### Chemiepolitik

Betrachtungsweise von Stoffen, bei der positive und negative Wirkungen — auch von Neben- und Umwandlungsprodukten — abgeschätzt werden. Dabei sind alle Phasen von der Produktion über den Gebrauch bis zur Beseitigung zu beurteilen. Eine so definierte, auf einen sozialen Nettonutzen des Einsatzes von Chemikalien abzielende Chemiepolitik wurde 1984 vom BUND als neuer Politikbereich gefordert. Die Industrie interpretiert den Begriff weit umfassender und bezieht die Belange der gesamten Umwelt- und Industriepolitik mit ein.

### Chemiepolitischer Dialog

Sammelbegriff für verschiedene öffentlich ausgetragene Kontroversen und Diskussionen über chemierelevante Themen. Ein chemiepolitischer Dialog kam Anfang der achtziger Jahre nach einer Reihe von schweren Unfällen der Chemieindustrie auf, an dem sich Umweltorganisationen, politische Parteien, Chemieindustrie, Gewerkschaften und andere gesellschaftliche Gruppen beteiligten. Zentraler Gegenstand des chemiepolitischen Dialogs sind Leitbilder einer Stoffpolitik.  
→ Leitbilder

### Chemikaliengesetz

Zweck des Chemikaliengesetzes, das am 1. Januar 1982 (zuletzt novelliert am 14. März 1990) in Kraft getreten ist, ist es, den Menschen und die Umwelt vor schädlichen Einwirkungen gefährlicher Stoffe zu schützen. Das Chemikaliengesetz setzt in weiten Teilen die 6. Änderungsrichtlinie der EG-Richtlinie über die Einstufung, Kennzeichnung und Verpackung gefährlicher Stoffe um (79/831 EWG). Das Gesetz schreibt vor, daß neue Stoffe auf mögliche gefährliche Eigenschaften zu prüfen sind. Zur Zeit befindet sich das Gesetz in der Umsetzungsphase der 7. Änderungsrichtlinie der EG.  
→ Neue Stoffe, → Altstoffe

### Dealkylierung (Hydrodealkylierung)

Abspaltung von Alkylgruppen aus organischen Molekülen; hier aus alkylgruppentragenden Aromaten (z. B. Toluol und Xylol) zur gezielten Herstellung von Reinbenzol.

### Deposition

Ablagerung von natürlichen oder anthropogenen Stoffen auf Oberflächen (z. B. säurehaltige Niederschläge auf Waldgebiete).

### Diffuser Eintrag

Aus unspezifischen Quellen gestreuter und dadurch schlecht kontrollierbarer Eintrag von Stoffen in die Umweltkompartimente.  
→ Umweltkompartiment

### DIN

Kurzbezeichnung für Deutsches Institut für Normung, das korporatives Mitglied der internationalen Normungsorganisation ISO ist. Der Normenausschuß Grundlagen des Umweltschutzes bearbeitet im Unterausschuß Produktökobilanz Standardisierungen.

**eco-labels**

Auszeichnung für Produkte, die bestimmten Kriterien hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen genügen. Im engeren Sinne die von der EG anvisierten Umweltzeichen für bestimmte Produktgruppen.

**Epidemiologie**

Die Wissenschaft von der Entstehung, Verbreitung, Bekämpfung und den sozialen Folgen von zeitlich und örtlich in besonders starkem Maße auftretenden Epidemien, zeittypischen Massenerkrankungen und Zivilisationsschäden.

**Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW)**

Industriell hergestellte organische Verbindungen mit Chlor- und Fluoratomen. Während vollhalogenierte FCKW ausschließlich aus Kohlenstoff und Halogenen bestehen, enthalten teilhalogenierte FCKW (H-FCKW) zusätzlich Wasserstoffatome.

→ Ozonzerstörungspotential, → Ozonschutzschild, → Fluorkohlenwasserstoffe

**Fluorkohlenwasserstoffe (FKW)**

Industriell hergestellte organische Verbindungen mit Fluoratomen. Im Gegensatz zu den FCKW sind sie chlorfrei. Sie besitzen kein direktes Ozonzerstörungspotential, tragen jedoch zum Treibhauseffekt bei.

**Funktionelles Äquivalent**

Festzulegende Vergleichseinheit, auf die sich die zu bilanzierende Umweltbelastung bezieht, z. B. Menge verpackter Lebensmittel.

→ Ökobilanzen

**Galvanisierung**

Herstellung dünnschichtiger metallischer Überzüge über diverse Metalle oder Kunststoffe mit Hilfe des elektrischen Stroms aus Salzlösungen.

**GATT**

Abkürzung für das seit 1948 bestehende General Agreement on Tariffs and Trade (Allgemeines Zoll- und Handelsabkommen), ein multilaterales Vertragswerk mit dem Ziel, Zolltarife u. a. Handelshemmnisse systematisch abzubauen bzw. zu beseitigen. GATT ist neben dem reinen Vertragswerk zugleich eine UNO-Sonderorganisation. Diese regelt auf weltweiter Basis die Rechte und Pflichten im internationalen Handel. Langfristiges Ziel des GATT, dem 96 Länder angehören, ist die Neugestaltung der internationalen Wirtschaftsbeziehungen.

**Global Warming Potential (GWP)**

→ Treibhauspotential

**Halogene**

Halogene (griech.: Salzbildner; d. h. chem. Elemente, die mit Metallen direkt Salze bilden). Als Halogene bezeichnet man die Elemente der siebten Hauptgruppe des Periodensystems Fluor, Chlor, Brom, Jod und Astat.

**Integrierter Umweltschutz**

Bezeichnung für Umweltschutz-Maßnahmen, die in Anlagen, Verfahren oder Produkte eingebaut werden, so daß diese eine funktionsfähige Einheit ergeben, die schonender ist als andere, bestehende Anlagen, Verfahren oder Produkte. Der Begriff umfaßt produktions- und produktintegrierten Umweltschutz.

**Intergenerativ**

Mehr als eine (Menschen-)Generation betreffend.

**Intragenerativ**

Die gleichzeitig lebenden (Menschen-) Generationen betreffend.

**Irreversibilität**

Beschreibt Vorgänge, die nicht umkehrbar sind.

**Kombinationswirkung**

Bezeichnung für das Zusammenwirken mehrerer Faktoren auf ein Organ, auf einen Organismus oder eine Organismengemeinschaft.

**Konfektionierung**

Von lat.: confectio = Anfertigung, Vollendung. Bezeichnung für die Endbehandlung von Produkten, um diese zu optimaler Verwendung für den Verbraucher zu präparieren. Bei der Bekleidungsherstellung umfaßt die Konfektionierung die Schritte Zuschneiden, Fügen (z. B. Nähen, Kleben od. Schweißen) sowie Formen.

**Kuppelprodukte**

Sind die neben dem Zielprodukt zwangsläufig anfallenden verwertbaren Stoffe, Halb- und Fertigerzeugnisse, z. B. Chlor neben Natronlauge bei der Alkalichloridelektrolyse (Abgrenzung gegenüber den Rückständen).

**Länderausschuß für Immissionsschutz (LAI)**

Der Länderausschuß für Immissionsschutz ist eines von verschiedenen Koordinierungsgremien für die umweltpolitischen Bund-Länder-Aktivitäten. Er befaßt sich mit dem Rechtsbereich des Bundesimmissionsschutzgesetzes und erfüllt die Funktion einer frühzeitigen Einbeziehung der Länder in rechtstechnische Überlegungen des Bundes.

**Leitbilder**

Wahrnehmungs-, denk-, entscheidungs- und verhaltensleitende Grundvorstellungen (Bilder) in der Gesellschaft. Konsensuale Leitbilder können durch Identifikation vorhandener Leitbilder und deren Weiterentwicklung im diskursiven Prozeß erarbeitet werden. Leitbilder existieren auf unterschiedlichen Ebenen. Unter Leitbildern einer Stoffpolitik werden Entwürfe für Entwicklungs- und Gestaltungsalternativen anthropogener Stoffströme verstanden, d. h. der Stoffströme, in die der Mensch gegenüber natürlichen Prozessen handelnd eingreift.

**MAK-Wert**

Maximale Arbeitsplatzkonzentration; Höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz, die nach dem gegenwärtigen Wissensstand auch bei wiederholter und längerfristiger Exposition die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt und diese nicht unangemessen belästigt. Der MAK-Wert ist die höchstzulässige Konzentration eines Arbeitsstoffes als Gas, Dampf oder Schwebstoff in der Luft am Arbeitsplatz, die nach dem gegenwärtigen Stand der Kenntnis auch bei wiederholter und langfristiger, in der Regel täglich achtstündiger Exposition, jedoch bei Einhaltung einer durchschnittlichen Wochenarbeitszeit von 40 Stunden (in Vierschichtbetrieben 42 Stunden je Woche im Durchschnitt von vier aufeinanderfolgenden Wochen) im allgemeinen die Gesundheit der Beschäftigten nicht beeinträchtigt und diese nicht unangemessen belästigt. In der Regel wird der MAK-Wert als Durchschnittswert über Zeiträume bis zu einem Arbeitstag oder einer Arbeitsschicht integriert.

**Management**

→ Stoffstrommanagement

**Massenerhaltungssatz**

Lehrsatz, der besagt, daß Masse weder durch chemische noch durch physikalische Vorgänge verloren geht oder neu geschaffen werden kann.

**Materialfluß**

Verkettung aller Vorgänge beim Gewinnen, Be- und Verarbeiten von Gütern innerhalb festgelegter Bereiche. Zum Materialfluß gehören alle Formen des Durchlaufens von Arbeitsgegenständen (z. B. Material, Stoffmengen, Datenträger) durch ein System.

**Meritorische Eigenschaft**

Die Eigenschaft eines Gutes, besonders verdienstvoll zu sein. Meritorische Güter werden wegen ihrer grundlegenden Bedeutung unabhängig von der Nachfrage der Verbraucher angeboten (Beispiele: Schulpflicht, Restriktionen zur Aufrechterhaltung des ökologischen Gleichgewichtes).

**Mineralisierung (Mineralisation)**

Abbau toter organischer Stoffe bis zur anorganischen bzw. mineralischen Stufe durch die Einwirkung von abbauenden Mikroorganismen und Pilzen wie z. B. bei der Humusbildung, ggf. im weiteren Verlauf auch durch Druck- und Temperaturerhöhung.

**Mobilisierung**

Freisetzung eines Stoffes aus einem gebundenen, i.d.R. nicht bioverfügbaren Zustand in eine transportable (z. B. gelöste) Form.

**Mutagenität**

Erbgutverändernde Wirkung von Substanzen und Strahlung.

**Nachhaltigkeit**

Aus der Forstwirtschaft stammender Begriff, der ein Kriterium für eine am Erhalt des Bestandes orientierte Bewirtschaftung des Waldes beschreibt. Im weiteren Sinn charakterisiert Nachhaltigkeit eine Entwicklung, die dem Konzept eines „Sustainable Development“ folgt. Nachhaltigkeit ist hier gleichbedeutend mit Sustainability.

→ Sustainable Development

**Nachsorgender Umweltschutz**

Bezeichnung für Umweltschutzmaßnahmen, die nach der Entstehung von Emissionen im weitesten Sinne (Abluft, Abwasser, Abfälle, Lärm etc.) ansetzen.

→ Vorsorgender Umweltschutz

**Natürliches Kapital**

Die Gesamtheit der Produktivität aller erneuerbaren und erschöpflichen natürlichen Ressourcen.

**NC-Akku**

Nickel-Cadmium-Akkumulator; wiederaufladbare Batterie, die als elektrisch aktive Masse die Schwermetalle Nickel und Cadmium enthält.

**Nekrose**

Örtliches Absterben von Zellen, Geweben und Organen.

**Netto-Efflux**

Abzüglich aller Einströme verbleibender Ausstrom eines Stoffes aus einem Bilanzsystem.

**Neue Stoffe**

Neue Stoffe sind Stoffe, die nach dem Stichtag 18. September 1981 erstmals in den Europäischen Gemeinschaften in Verkehr gebracht wurden oder werden. Diese müssen nach dem Chemikaliengesetz, das am 1. Januar 1982 in Kraft getreten ist, zuletzt geändert am 14. März 1990, bereits vor dem Inverkehrbringen nach festgelegten Kriterien auf mögliche gefährliche Eigenschaften geprüft und bei der Anmeldestelle nach dem Chemikaliengesetz bei der Bundesanstalt für Arbeitsschutz angemeldet werden.

→ Chemikaliengesetz

**Nutzen-Kosten-Analyse**

Instrument zur Beurteilung von staatlichen Entscheidungen; durch eine systematische, möglichst vollständige Aufarbeitung der Nutzen und Kosten der einzelnen Maßnahmen und eine Gesamtbeurteilung werden Entscheidungssituationen transparenter.

**Nutzen-Risiko-Abwägung**

Letzter Teilschritt des Bewertungsprozesses nach dem Abschätzen der Kosten und Risiken eines Stoffes und der Abschätzung des Nutzens und der Chancen. Die Nutzen-Risiko-Abwägung stellt dem Gefährdungsprofil das Nutzenprofil gegenüber und wägt sie gegeneinander ab.

→ Nutzen-Kosten-Analyse, → Risiko

**Ökobilanzen**

Ökobilanzen analysieren den gesamten Lebensweg (Produktlinie) eines Produktes (Entnahme und Aufbereitung von Rohstoffen, Herstellung, Distribution und Transport, Gebrauch, Verbrauch und Entsorgung), analysieren die ökologischen Wirkungen und bewerten die längs des Lebensweges auftretenden

Stoff- und Energieumsätze und die daraus resultierenden Umweltbelastungen.

→ Produktlinienanalysen

**Ökologisches Design**

Art der Gestaltung von Produkten und Produktionsprozessen, die darauf abzielt, die damit verbundene Entnahme von Stoffen aus dem Naturhaushalt und die Stoffeinträge in den Naturhaushalt zu vermindern und die Beeinträchtigung der Umweltfunktionen zu verringern.

**Ökologisches Kapital**

Die Gesamtheit aller erneuerbaren und nicht erneuerbaren natürlichen Ressourcen.

**Ökologie**

Wissenschaft von den Wechselwirkungen der Lebewesen untereinander und mit ihrer unbelebten Umwelt.

**Ökotoxikologie**

Wissenschaft von den Auswirkungen von Stoffen auf die belebte Umwelt.

→ Toxikologie

**Ozonschutzschild**

Gebräuchliche Bezeichnung für die Wirkung, die die Ozonschicht der Erdatmosphäre auf die Biosphäre ausübt. Die Ozonschicht umgibt die Erde in 15 bis 30 km Höhe und absorbiert die energiereiche UV-Strahlung der Sonne. Die Zerstörung der Ozonschicht führt zu einer Erhöhung der haut- und zellschädigenden UV-B-Strahlung in Bodennähe. Hauptverursacher der Ozonzerstörung sind die Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW).

→ Fluorchlorkohlenwasserstoffe

**Ozonzerstörungspotential (ODP Ozon Depletion Potential)**

Maß für die relative Ozonabbaufähigkeit von chemischen Verbindungen. Bezugsgröße ist FCKW 11, dessen ODP-Wert mit 1 festgesetzt ist.

**Persistenz**

Beständigkeit gegenüber biologischem, chemischem bzw. physikalischem Abbau.

**Phytotoxizität**

Giftigkeit gegenüber Pflanzen.

**Primärer Rohstoff**

Aus seiner natürlichen Umgebung entnommener Grundstoff der belebten oder unbelebten Natur (z. B. Papier aus Holz, Zinkmetall aus Zinkerz).

→ Sekundärer Rohstoff

**Produktintegrierter Umweltschutz**

→ Integrierter Umweltschutz

**Produktionsintegrierter Umweltschutz**

→ Integrierter Umweltschutz

**Produktlinie; „offene“, „teilloffene“, „geschlossene“****Produktlinie**

„offene Produktlinie“: Direktmissionen über die gesamte Produktlinie, bezogen auf eine Funktionseinheit: 50—100 %

„teilloffene Produktlinie“: Direktmissionen über die gesamte Produktlinie, bezogen auf eine Funktionseinheit: 10—50 %

„geschlossene Produktlinie“: Direktmissionen über die gesamte Produktlinie, bezogen auf eine Funktionseinheit: unter 10 %.

**Produktlinienanalysen**

Produktlinienanalysen analysieren den gesamten Lebensweg (Produktlinie) eines Produktes (Entnahme und Aufbereitung von Rohstoffen, Herstellung, Distribution und Transport, Gebrauch und Verbrauch und Entsorgung), analysieren die ökologischen, ökonomischen und sozialen Wirkungen und bewerten die längs des Lebensweges auftretenden Stoff- und Energieumsätze und die daraus resultierenden Umweltbelastungen und die sozioökonomischen Wirkungen. Produktlinienanalysen erfassen, analysieren und bewerten auch den Nutzen



eines Produktes in einer Kosten-Nutzen-Abwägung. Produktlinienanalysen werden von einem Forum bestehend aus Vertretern der gesellschaftlichen Gruppen begleitet.

#### **PVC**

Polyvinylchlorid; Chlorhaltiger Kunststoff, Verwendung z. B. für Rohre, Fußbodenbeläge, Fensterrahmen, Elektroisolierungen und Verpackungen.

#### **Quellen**

Quellen sind Orte des Ursprungs von Stoffen.

#### **R 134 a**

Teilhalogenierter Fluorkohlenwasserstoff (H-FKW) der Formel  $\text{CF}_3\text{CH}_2\text{F}$  (1,1,1,2-Tetrafluorethan). Für den industriellen technischen Gebrauch wurde eine spezielle Ziffernotation entwickelt. Nach DIN 8962 werden alle teil- und vollhalogenierten FCKW und FKW durch den Buchstaben R (von engl.: refrigerator = Kältemittel) und 2 bzw. 3 nachgestellten Ziffern gekennzeichnet, die die Anzahl der Kohlenstoff-, Wasserstoff- und Fluoratome verschlüsseln.

#### **Recycling**

Erneute oder wiederholte Verwendung oder Verwertung von Rückständen oder Teilen von Produkten und von Produktionsreststoffen.

→ Abfall, → Reststoffe, → Wiederverwendung, → Wiederverwertung

#### **Ressourcen**

Im weiteren Sinne alle Bestände der Produktionsfaktoren Arbeit, Boden und Kapital, die bei der Produktion von Gütern eingesetzt werden können. Im engeren Sinn werden unter Ressourcen das natürliche Kapital, Rohstoffe, Energieträger und Umweltmedien verstanden, wobei zwischen (bedingt) regenerierbaren und nicht regenerierbaren Ressourcen unterschieden werden kann. Dem Bericht liegt die engere Begriffsbildung zugrunde.

#### **Reststoffe**

Stoffe, die am Ende eines Prozesses übrig bleiben und verwertet werden.

→ Abfall, → Rückstände

#### **Risiko**

In diesem Bericht wird unter Risiko das Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit eines Schadens und der Schadenshöhe aufgefaßt. Der Risikobegriff wird hier auch auf Umweltgefährdung bezogen.

#### **Rückstände**

Rückstände sind Stoffe und Produkte, denen sich ein Besitzer entledigen will, die als Sekundärrohstoffe verwertet oder als Abfälle entsorgt werden müssen.

#### **Sekundärer Rohstoff**

Aus Produktionsreststoffen oder verbrauchten Produkten erhaltener Stoff, der verwertet wird.

→ Primärer Rohstoff

#### **Senken**

Unter Senke wird ein Umweltkompartiment verstanden, in dem Stoffe angereichert werden und aus diesen ggf. durch Abbauvorgänge eliminiert werden können.

#### **SETAC (Society of Environmental Toxicology and Chemistry)**

Maßgeblich an der Ausgestaltung des Instruments Ökobilanzen beteiligte Organisation.

#### **Stoffe**

Chemische Elemente oder deren chemische Verbindungen, wie sie natürlich vorkommen oder hergestellt werden, einschließlich der Verunreinigungen und der für die Vermarktung erforderlichen Hilfsmittel.

#### **Stoffstrom**

Der Weg eines Stoffes von seiner Gewinnung als Rohstoff über die verschiedenen Stufen der Veredelung bis zur Stufe des Endprodukts, den Gebrauch/Verbrauch des Produktes, ggf.

seine Wiederverwendung/Verwertung bis zu seiner Entsorgung.

#### **Stoffstrommanagement**

Der Begriff des Stoffstrommanagements steht für den Versuch einer Beeinflussung von Stoffvolumen und Stoffstruktur, wobei offen bleibt, auf welche Weise die stoffpolitische Umsetzung der von der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ in diesem Zwischenbericht diskutierten Leitbilder erfolgen soll. Inwieweit eine solche Steuerung z. B. auf eine interventionistische Weise, d. h. durch unmittelbares und direktes Eingreifen des Staates, oder über eine Beeinflussung wirtschaftlicher Rahmenbedingungen erfolgen soll, ist noch umstritten.

#### **Subsidiaritätsprinzip**

Gesellschafts- und sozialpolitisches Prinzip, nach dem übergeordnete Einheiten (z. B. Länder) nur die Aufgaben erfüllen sollen, die auf untergeordneter Ebene (z. B. Gemeinden) bzw. von nichtstaatlichen Organisationen nicht übernommen werden können.

#### **Substitution**

Ersatz bzw. Austausch von Stoffen oder Produkten oder Dienstleistungen gegen ebensolche mit vergleichbaren Nutzungseigenschaften.

#### **Sustainable Development**

Hier in der Übersetzung „nachhaltig zukunftsverträgliche Entwicklung“ verwendeter Begriff, der für ein umwelt- und entwicklungspolitisches Konzept steht, das u. a. durch den Brundtlandbericht formuliert und auf der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung 1992 in Rio de Janeiro weiterentwickelt wurde.

#### **Technikfolgenabschätzung (TA)**

Das planmäßige, systematische, organisierte Vorgehen, das den Stand der Technik und ihre Entwicklungsmöglichkeiten analysiert und unmittlere und mittelbare technische, wirtschaftliche, gesundheitliche, ökologische, humane, soziale und andere Folgen dieser Technik und möglicher Alternativen abschätzt.

#### **Teilhalogenierte Fluorchlorkohlenwasserstoffe**

→ Fluorchlorkohlenwasserstoffe

#### **Teratogenität**

Mißbildende Wirkung von Substanzen auf Embryonen.

#### **Total Equivalent Warming Impact (TEWI)**

Konzept zur Berechnung des äquivalenten Gesamtbeitrags einer Produkthanwendung zum Treibhauseffekt. Dabei werden die direkten Beiträge (z. B. Kältemittlemissionen eines Kühlschranks) und die indirekten Beiträge (z. B.  $\text{CO}_2$ -Emissionen durch elektrische Energieerzeugung für den Betrieb eines Kühlschranks) addiert und in äquivalenten  $\text{CO}_2$ -Mengen angegeben.

→ Treibhauspotential

#### **Toxikologie**

Wissenschaft von den schädigenden Wirkungen natürlicher oder anthropogener Stoffe auf lebende Organismen.

#### **Treibhauseffekt**

Ausgelöst durch Gase in der Atmosphäre, die die kurzweilige Sonnenstrahlung nahezu ungehindert bis zur Erde passieren lassen und die langweilige, von der Erde abgestrahlte Wärmestrahlung absorbieren, liegt die Temperatur in der Bodennähe ca. 30 Grad höher als die Strahlungstemperatur des Systems Erde-Atmosphäre (natürlicher Treibhauseffekt). Der Anstieg menschlich bedingter Spurengase ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ , FCKW, FKW) in der Atmosphäre wird voraussichtlich eine zusätzliche Temperaturerhöhung in Bodennähe auslösen.

#### **Treibhauspotential (Global Warming Potential, GWP)**

Maß für die relative Klimawirksamkeit eines Gases. Bezugsgröße ist das wichtigste Treibhausgas Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ), dessen GWP-Wert mit 1 festgelegt ist. Die GWP-Werte hängen

von der Wärmeabsorptionseigenschaft der Gase sowie ihrer Verweilzeit in der Atmosphäre ab.

#### **TRK-Wert**

Technische Richtkonzentration für krebserzeugende Stoffe oder für krebserzeugende Stoffe, für die keine Maximale Arbeitsplatz-Konzentration (MAK-Wert) angegeben werden kann. Für diese Stoffe dient die Technische Richtkonzentration als Anhaltspunkt für zu treffende Schutzmaßnahmen und die meßtechnische Überwachung am Arbeitsplatz sowie die medizinische Überwachung der Arbeitnehmer. Sie gibt den kleinsten Konzentrationswert an, der nach dem Stand der Technik erreicht werden kann und der als Anhalt für die zu treffenden Schutzmaßnahmen und die meßtechnische Überwachung am Arbeitsplatz heranzuziehen ist.

→ MAK-Wert

#### **Umweltkompartiment**

Abgrenzbare Ausschnitte aus der Umwelt, wie z. B. Boden, Wasser, Luft, Biota (Gesamtheit aller Lebewesen).

#### **Umweltmedien**

Umweltmedien oder Umweltkompartimente bezeichnen Wasser, Boden, Luft und Biomasse als homogene Räume in ihrem Vermögen, Stoffe aufzunehmen, zu verteilen, gegebenenfalls um- oder abzubauen oder anzureichern und sie in ein anderes Medium abzugeben.

#### **Umweltverträglichkeitsprüfung (UVP)**

Nach dem Gesetz zur Umsetzung der Richtlinie des Rates vom 27. Juni 1985 über die Umweltverträglichkeitsprüfung bei bestimmten öffentlichen und privaten Projekten (UVP-Gesetz) vom 12. Februar 1990 (BGBl. I S. 205), zuletzt geändert am 20. Juni 1990 (BGBl. I S. 1080) sind die Umweltauswirkungen bestimmter Vorhaben auf Menschen, Tiere, Pflanzen, Boden, Luft, Klima und Landschaft sowie Kultur- und Sachgüter einschließlich der Wechselwirkungen frühzeitig und umfassend zu ermitteln, zu beschreiben und zu werten. Die UVP ist ein „unselbständiger Teil verwaltungsbehördlicher Verfahren, die der Entscheidung über die Zulässigkeit von Vorhaben dienen“.

#### **Umweltziele**

Bezeichnen gesellschaftlich artikulierte Ziele hinsichtlich der angestrebten Qualität der Umwelt.

#### **Unit-Risk-Wert**

Maß für das Krebsrisiko, bezogen auf einen Expositionszeitraum von 70 Jahren bei einer Konzentration von 1 µg krebserzeugender oder krebserzeugender Substanz pro m<sup>3</sup>.

#### **Use-pattern**

Branchenübergreifendes Verteilungs- und Gebrauchsmuster.

#### **Verursacherprinzip**

Das Verursacherprinzip ist neben dem Vorsorge- und dem Kooperationsprinzip eines der umweltpolitischen Grundprinzipien. Danach ist der Verursacher für eine von seinem Verhalten drohende Umweltzerstörung verantwortlich.

#### **Vorsorgender Umweltschutz**

Der vorsorgende Umweltschutz umfaßt solche Maßnahmen, die unmittelbar oder mittelbar dazu beitragen, Umweltschäden oder -belastungen dadurch zu vermeiden, daß die Entstehung bzw. Freisetzung von Schadstoffen oder Lärm oder radioaktiven Strahlen weitgehend verringert wird.

→ Integrierter Umweltschutz

#### **Welt-Textil-Abkommen**

Das erste Multifaserabkommen — auch Welttextilabkommen (WTA) genannt — wurde 1974 abgeschlossen und ist dem GATT angegliedert. Dem WTA gehören 43 Länder und die EG an.

#### **Wiederverwendung**

Erneute Benutzung eines gebrauchten Produktes für den gleichen Verwendungszweck.

#### **Wiederverwertung**

Wiederholter Einsatz von Stoffen und Produkten in einem gleichartigen wie dem bereits durchlaufenen Produktions- oder Verarbeitungsprozeß.

## Abkürzungsverzeichnis

a	Jahr
AFEAS	Alternative Fluorocarbon Environmental Acceptability Study
AMOEBAs	Allgemeine Methode der Beschreibung und Bewertung ökologischer Systeme
ARGEBA	Arbeitsgemeinschaft Batterien
BAT	Biologischer Arbeitsstoff-Toleranzwert
BAU	Bundesanstalt für Arbeitsschutz
BCSD	Business Council for Sustainable Development
BDI	Bundesverband der Deutschen Industrie
BGA	Bundesgesundheitsamt
BImSchG	Bundesimmissionsschutzgesetz
BImSchV	Bundesimmissionsschutzverordnung
BMA	Bundesministerium für Arbeit und Sozialordnung
BMFT	Bundesministerium für Forschung und Technologie
BMU	Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit
BMWi	Bundesministerium für Wirtschaft
BReg	Bundesregierung
BT	Bundestag
BTX	Benzol, Toluol und Xylol (Erdölfraktion)
BUA	Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe
BUND	Bund für Umwelt- und Naturschutz Deutschland
BUWAL	Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft der Schweiz
Cd	Chemisches Zeichen für Cadmium
CEFIC	Conseil Europeen des Federations de l'Industrie Chimique (Europäischer Chemieverband)
CFB	Chemische Fabrik Budenheim
COGNIS	Gesellschaft für Bio- und Umwelttechnologie
d	Tag
DDT	Dichlordiphenyltrichlorethan (Insektizid)
DFG	Deutsche Forschungsgemeinschaft
DIE	Deutsches Institut für Entwicklungspolitik
DIN	Deutsches Institut für Normung
DKV	Deutscher Kälte- und Klimatechnischer Verein
DNA	Desoxyribonucleic Acid (Erbsubstanz)
DVGW	Deutscher Verband für das Gas- und Wasserfach
EAWAG	Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz
EDTA	Ethylendiamintetraacetat (Komplexbildner)
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EINECS	European Inventory of Existing Commercial Substances
EPA	Environmental Protection Agency (US-amerikanische Umweltschutzbehörde)
FAO	Food and Agriculture Organization (United Nations)
FCKW	Fluorchlorkohlenwasserstoff
FhG	Fraunhofer Gesellschaft
FKW	Fluorkohlenwasserstoff
GATT	General Agreement on Tariffs and Trade
GefStoffV	Gefahrstoffverordnung
GJ	Gigajoule (10 <sup>9</sup> Joule)
GSF	Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit

GWP	Global Warming Potential
h	Stunde
ha	Hektar
HDI	Human Development Index
H-FCKW	Teilhalogenierter Fluorchlorkohlenwasserstoff
H-FKW	Teilhalogenierter Fluorkohlenwasserstoff
IBFG	Internationaler Bund freier Gewerkschaften
ICC	International Commercial Cooperation (Internationale Handelskammer)
IKU	Institut für Kommunikation und Umweltplanung
IÖW	Institut für ökologische Wirtschaftsforschung
IPACT	International Pharmaceutical Aerosol Consortium Toxicology Programme
IPCC	Intergovernmental Panel of Climate Change
ISO	International Organization for Standardization
IUCN	International Union for Conservation of Nature and Natural Resources
IVC	Industrievereinigung Chemiefaser
JECFA	Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives
LAI	Länderausschuß für Immissionsschutz
LAS	Lineare Alkylbenzolsulfonate
KDrs	Kommissionsdrucksache
kt	Kilotonne (10 <sup>3</sup> Tonnen)
kWh	Kilowattstunde
MAK	Maximale Arbeitsplatzkonzentration
MIPS	Materialintensität pro Serviceeinheit
MJ	Megajoule (10 <sup>6</sup> Joule)
MTBE	Tertiärer Butylmethylether
MUT	Programmgruppe Mensch-Umwelt-Technik
MWV	Mineralöl Wirtschaftsverband
NAGUS	Normenausschuß Grundlagen des Umweltschutzes
NC-Akku	Nickel-Cadmium-Akkumulator
NE-Metall	Nicht-Eisenmetall
ng	Nanogramm (10 <sup>-9</sup> Gramm)
ODP	Ozone Depletion Potential
OECD	Organization for Economic Cooperation and Development
OH	Hydroxylradikal
PA	Polyamid
PAFT	Programme for Alternative Fluorocarbon Toxicity Testing
PAN	Polyacrylnitril
PAN	Pestizid Aktions-Netzwerk
PES	Polyester
PFI	Political Freedom Index
p. a.	per annum
pH-Wert	Negativer dekadischer Logarithmus der Wasserstoffionenkonzentration (Säuregrad)
ppb	parts per billion
ppbv	parts per billion (Volumenanteile)
ppm	parts per million
ppt	parts per trillion
pptv	parts per trillion (Volumenanteile)
PVC	Polyvinylchlorid
R 12	Dichlordifluormethan (FCKW)
R 22	Chlordifluormethan (H-FCKW)
R 134 a	Tetrafluorethan (H-FKW, FCKW-Ersatzstoff)

---

R 152a	Difluorethan (H-FKW, FCKW-Ersatzstoff)
RAWG	Rückstands- und Abfallwirtschaftsgesetz
RWi	Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung
s	Sekunde
SAGE	Strategic Advisory Group on Environment
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry
SRI	Stanford Research Institut International
SRU	Sachverständigenrat für Umweltfragen
t	Tonne
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft
TEGEWA	Verband der Textilhilfsmittel-, Lederhilfsmittel-, Gerbstoff- und Waschrrohstoffindustrie
TEWI	Total Equivalent Warming Impact
TFA	Trifluoressigsäure
TRGS	Technische Regeln für Gefahrstoffe
TRK	Technische Richtkonzentration
UBA	Umweltbundesamt
UFOPLAN	Umweltforschungsplan des BMU
UNCED	United Nations Conference on Environment and Development
UNDP	United Nations Development Programme
UNEP	United Nations Environment Programme
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VCI	Verband der Chemischen Industrie
VDA	Verband der Automobilindustrie
VNCI	Association of the Dutch Chemical Industry
VOC	Volatile organic chemicals (Flüchtige organische Verbindungen)
W	Watt
WCS	World Conservation Strategy
WHO	World Health Organization
WICEM	World Industry Conference on Environmental Management
WMO	World Meteorological Organization/UNEP
WTA	Welt Textil-Abkommen



## Verzeichnis der Kommissionsdrucksachen

Nr.	Titel	Datum
1	<b>Fragen- und Sachverständigenkatalog</b> für eine öffentliche Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ am 24./25. September 1992 zum Thema: „Ökobilanzen/Produktlinienanalysen“ (vergl. K Drs 12/3) (liegt auch in englischer Sprache ohne eigene Nummer vor)	22. Juli 1992
2	<b>Fragen- und Sachverständigenkatalog</b> für eine öffentliche Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ am 22./23. Oktober 1992 zum Thema: „Benzol“ (liegt auch in englischer Sprache ohne eigene Nummer vor)	19. August 1992
2 a	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (K Drs 12/2) für die öffentliche Anhörung am 22./23. Oktober 1992 Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Dr. Gunter Alfke Dr. Rainer Frenzel-Beyme Prof. Dr. Hartmut Dunkelberg Wolfgang Hien Dr. Gunter Meyer Dr. Hans-Jürgen Moschke Dr. Richard Ott Dr. Georg Ruhrmann Prof. Dr. Robert Snyder Dr. Peter Wiedemann Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund (BAU) Umweltbundesamt, Berlin (UBA)	13. Oktober 1992
2 b	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (K Drs 12/2) für die öffentliche Anhörung am 22./23. Oktober 1992 Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Prof. Dr. W. Mücke Prof. Dr. H.-W. Schlipköter Prof. Dr. G. Zimmermeyer	20. Oktober 1992
2 c	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (K Drs 12/2) für die öffentliche Anhörung am 22./23. Oktober 1992 Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Dr. J. Schuster Dr. G. Alfke Umweltbundesamt, Berlin (UBA)	27. Oktober 1992

Nr.	Titel	Datum
3	<b>Fragen- und Sachverständigenkatalog</b> für eine öffentliche Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ am 24./25. September 1992 zum Thema: „Ökobilanzen/Produktlinienanalysen“ (mit aktualisierter Liste der Sachverständigen)	25. September 1992
3 a	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/1) für die öffentliche Anhörung am 24./25. September 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Dipl. Chem. Armin Radünz Prof. Dr.-Ing. E.H. Helmut Schaefer Prof. Dr. ing. chem. Paul Fink	9. September 1992
zu 3-a	<b>Ergänzung</b> Prof. Dr.-Ing. E. H. Helmut Schaefer	23. September 1992
3 b	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/1) für die öffentliche Anhörung am 24./25. September 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Prof. Dr. Walter Klöpffer Dipl. Volksw. Frieder Rubik	11. September 1992
3 c	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/1) für die öffentliche Anhörung am 24./25. September 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Dr. Ing. Eberhard Jochem Dr. Karl Heinz Feuerherd Dipl.-Ing. oec. Frank Joachim Möller Dr. Gert-Walter Minet	11. September 1992
3 d	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/1) für die öffentliche Anhörung am 24./25. September 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Prof. Dr. Ian Boustead Prof. Dr. Udo de Haes	11. September 1992
3 e	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/1) für die öffentliche Anhörung am 24./25. September 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Dipl. Chem. Dieter Gremler Dr. Reinhard Pfriem Dipl. Ing. Carl-Otto Gensch Dr. Achim Schorb	15. September 1992
3 f	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/1) für die öffentliche Anhörung am 24./25. September 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Jan A. Wesseldijk Allan Astrup Jensen	23. September 1992

Nr.	Titel	Datum
3 g	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/1) für die öffentliche Anhörung am 24./25. September 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Dr. Manfred Marsmann Bundesgesundheitsamt (BGA) Prof. Dr. Karl-Heinrich Hansmeyer	23. September 1992
3 h	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/1) für die öffentliche Anhörung am 24./25. September 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Umweltbundesamt (UBA) Prof. Dr. Wolfgang Ströbele Dr.-Ing. Marina Franke	23. September 1992
4	<b>Stellungnahmen</b> vor der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ am 25. Juni 1992 zum Thema: „Ökobilanzen/Produktlinienanalysen“  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Dr. Rainer Griebhammer Umweltbundesamt (UBA) Prof. Dr. Joachim Krüger Dr. Manfred Marsmann	21. Oktober 1992
5	<b>Stellungnahmen</b> vor der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ am 10. September 1992 zum Thema: „Cadmium“  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Dipl.Ing. Dieter Balzer Dr. Eberhard Böhm Prof. Dr. Helmut Greim Dr. Klaus Isermann Umweltbundesamt (UBA) Bundesanstalt für Arbeitsschutz (BAU)	21. Oktober 1992
5 a	<b>Antworten auf die ergänzenden Fragen</b> zur internen Anhörung zum Thema: „Cadmium“ am 10. September 1992 in Bonn	28. Oktober 1992
6	<b>Fragen- und Sachverständigenkatalog</b> für eine öffentliche Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ am 3./4. Dezember 1992 zum Thema: „Ökobilanz/Produktlinienanalyse am Beispiel des FCKW-Ersatzstoffes R 134 a und anderer Ersatzstoffe bzw. Technologien“	30. Oktober 1992
6 a	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/6) für die öffentliche Anhörung am 3./4. Dezember 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Patrick Hofstetter Bundesanstalt für Arbeitsschutz (BAU) Uta von Winterfeldt Mathias Pauls Dr. Albrecht Meyer Prof. Dr. Karl-Heinz Becker	17. November 1992

Nr.	Titel	Datum
6 b	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDrs 12/6) für die öffentliche Anhörung am 3./4. Dezember 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Dr. Christoph Brühl Dr. Olmstead Jörn Schwarz Dr. Manfred Nonnenmann	17. November 1992
6 c	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDrs 12/6) für die öffentliche Anhörung am 3./4. Dezember 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Dr. Sigismund Hug Dr. André Leisewitz Prof. Dr. Helmut Lotz Prof. Dr. med. Harry Rosin George M. Rusch Dr. Rudolf Staab	19. November 1992
6 d	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDrs 12/6) für die öffentliche Anhörung am 3./4. Dezember 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Karl Breidenbach Archie McCulloch Phillip D. Fairchild Wolfgang Luppe Patrick Hofstetter Umweltbundesamt, Berlin (UBA)	24. November 1992
6 e	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDrs 12/6) für die öffentliche Anhörung am 3./4. Dezember 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: J. Franklin A. Kraemer Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn (BMU) Bundesministerium für Wirtschaft, Bonn (BMWi)	1. Dezember 1992
6 f	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDrs 12/6) für die öffentliche Anhörung am 3./4. Dezember 1992  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Maurice Verhille Dr. Volrad Wollny Jean M. Lupinacci Bundesgesundheitsamt, Berlin (BGA)	4. Dezember 1992

Nr.	Titel	Datum
7	<b>Bericht des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit</b> Prof. Dr. Klaus Töpfer, am 5. November 1992 zum Kommissionsauftrag	5. November 1992
8	<b>Fragen- und Sachverständigenkatalog</b> für eine öffentliche Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ am 16./17. März 1993 zum Thema: „Die Stoffe, aus denen unsere Kleider sind — Stoffströme in der textilen Bekleidungskette“	22. Januar 1993
8 a	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (K Drs 12/8) für die öffentliche Anhörung am 16./17. März 1993	1. März 1993
	Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger:	
	Dipl.-Volksw. Friedrich Aumann Prof. Dr. Hartmut Brandt Assessor Jürgen Dax Dr. Dieter Hansen Dr. Wolf D. Hartmann Prof. Dr. Hartwig Höcker Walter Holthaus Klaus Kammerbeek Prof. Dr. Jürgen Mecheels Prof. Dr. Ing. Lothar Meckel Dr. Raul A. Moll Hermann Paschen Siegfried Regenber Rudolf Schuler Frank Tiedtke Dr. Cornelia Voß Uwe Wagner	
8 b	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (K Drs 12/8) für die öffentliche Anhörung am 16./17. März 1993	2. März 1993
	Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger:	
	Dr. Konrad Neundörfer/Dr. Heinz U.Schüer Gesamtverband der Textilindustrie, Eschborn Textil. Ing. Günther Schmidt BASF AG, Ludwigshafen Harald Schönberger, Gottenheim Umweltbundesamt, Berlin (UBA) Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund (BAU)	
8 c	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (K Drs 12/8) für die öffentliche Anhörung am 16./17. März 1993	24. März 1993
	Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger:	
	Dr. Reinier de Man Anna Nieß Dr. Konrad Neundörfer, Dr. Heinz Schüer Caroline Raffauf Doris Reiter-Argyriadis Bernhard Rosenkranz Mathias Schek	



Nr.	Titel	Datum
8 d	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDrS 12/8) für die öffentliche Anhörung am 16./17. März 1993  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Prof. Dr. Gerhard Egbers Jürgen Knirsch Isa Renner	30. März 1993
9	<b>Bericht des Bundesminister für Forschung und Technologie</b> Dr. Heinz Riesenhuber, am 10. Dezember 1992 zum Kommissionsauftrag	10. Dezember 1992
10	<b>Fragen- und Sachverständigenkatalog</b> für eine öffentliche Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ am 6./7. Mai 1993 zum Thema: „— Mobilität — Darstellung, Bewertung und Optimierung von Stoffströmen“	17. Februar 1993
10 a	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDrS 12/10) für die öffentliche Anhörung am 6./7. Mai 1993  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Umweltbundesamt, Berlin (UBA) Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund (BAU) Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch-Gladbach (BAST) Bundesanstalt für Güterfernverkehr, Köln (BAG)	15. April 1993
10 b	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDrS 12/10) für die öffentliche Anhörung am 6./7. Mai 1993  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Dr. rer. pol. P. Engelkamp Prof. Dr. Ing. Hans H. Heuser Prof. Dr. Ing. Eckhard Kutter Maschinenbau- und Metallberufsgenossenschaft, Düsseldorf Verband Kunststoffherzeugende Industrie e. V., Frankfurt Dr. Peter-Jörg Kühnel	15. April 1993
10 c	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDrS 12/10) für die öffentliche Anhörung am 6./7. Mai 1993  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Statistisches Bundesamt, Wiesbaden Prof. Dr. Dieter Haubold Prof. Dr. Peter Baccini Dipl. Ing. Roland Heinisch	21. April 1993
10 d	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDrS 12/10) für die öffentliche Anhörung am 6./7. Mai 1993  Enthält die Stellungnahme des folgenden Sachverständigen: Prof. Dr. Gunter Zimmermeyer	29. April 1993

Nr.	Titel	Datum
10 e	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/10) für die öffentliche Anhörung am 6./7. Mai 1993  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Dr. Karl Otto Schallaböck Dr. Oliver Worm	14. Mai 1993
10 f	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/10) für die öffentliche Anhörung am 6./7. Mai 1993  Enthält die Stellungnahme des folgenden Sachverständigen: Horst Neumann	14. Mai 1993
11	<b>Fragen- und Sachverständigenkatalog</b> für eine öffentliche Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ am 3./4. Juni 1993 zum Thema: „Chlorchemie“	23. März 1993
11 a	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/11) für die öffentliche Anhörung am 3./4. Juni 1993  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: E. J. Deutsch Prof. Dr. H. P. Johann H. Kraef Dr. J.C. Meerkamp van Embden J. Roeser Dr. W. Schlegel Dr. A. Stüwe M. Zott Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund (BAU)	17. Mai 1993
11 b	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/11) für die öffentliche Anhörung am 3./4. Juni 1993  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: Dr. H.-N. Adams J. Eckstein Dr. A. Engelmann J. Halbekath Dr. G. Hollmann J. Kurz Prof. Dr. F. Nader Dr. W. Tötsch Umweltbundesamt, Berlin (UBA)	24. Mai 1993
11 c	<b>Stellungnahmen der Sachverständigen</b> zu dem Fragenkatalog (KDRs 12/11) für die öffentliche Anhörung am 3./4. Juni 1993  Enthält Stellungnahmen folgender Sachverständiger: A. Ahrens P. Kripzak Dr. W. Schlegel Dr. Jansen in de Wal	28. Mai 1993

Nr.	Titel	Datum
12	<b>Referat des Vorsitzenden der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“</b> Ernst Schwanhold, MdB, anlässlich der Konstituierung des Arbeitskreises „Umwelt und Industrie“ der Deutsch-Portugiesischen Industrie- und Handelskammer am 30. März 1993 in Lissabon	30. März 1993
13	<b>Einführungstext, Fragen- und Sachverständigenkatalog</b> für eine öffentliche Anhörung der Enquete-Kommission „Schutz des Menschen und der Umwelt“ am 7. Oktober 1993 zum Thema: „Leitbilder einer Stoffpolitik“	23. Juni 1993

## Literaturverzeichnis

- Amecke, H.-B. (1987): Chemiewirtschaft im Überblick. Weinheim.
- Arbeitsgemeinschaft Textil (1992): Stoff- und Informationsströme in der Produktlinie Bekleidung. Vorstudie im Auftrag der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“, Veröffentlichung voraussichtlich 1994, Bonn.
- Arbeitsgruppe Umwelt (1993): Programm der Arbeitsgruppe Umwelt für die SPD-Bundestagsfraktion. Beilage zum Spiegel, 17, Bonn.
- Baccini, P. (1993): Wie steuern wir die Stoffwechselprozesse einer Volkswirtschaft?; in Sutter, H.; M. Held (Hg.): Stoffökologische Perspektiven der Abfallwirtschaft — Grundlagen und Umsetzung. Berlin.
- Baccini, P.; P.H. Brunner (1990): The Metabolism of the Anthroposphere. Heidelberg.
- Barney, G.O. (1980): The Global 2000 Report to the President. Washington.
- Bätcher, K.; E. Böhm (1992): Zusammenfassende Darstellung des Kenntnisstandes zu Cadmium-Stoffströmen in der Bundesrepublik. Studie im Auftrag der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“, Veröffentlichung voraussichtlich 1994, Bonn.
- Bätcher, K.; E. Böhm, W. Tötsch (1992): Untersuchung über die Auswirkungen geplanter gesetzlicher Beschränkungen auf die Verwendung, Verarbeitung und Substitution von Cadmium in Produkten. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, Berlin.
- Becktepe, C.; T. Strütt-Bringmann (Hg.) (1992): Der Stoff, aus dem die Kleider sind. Die Verbraucher Initiative, Bonn.
- Binswanger, H. (1978): Strategien gegen Umweltzerstörung und Arbeitslosigkeit. BUND-Information, 3, Bonn.
- Binswanger, H.; et al. (1983): Arbeit ohne Umweltzerstörung. Frankfurt/M.
- BMU — Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1992a) (Hg.): Bericht der Bundesregierung über die Konferenz der Vereinten Nationen für Umwelt und Entwicklung im Juni 1992 in Rio de Janeiro. BT-Drucksache 12/3380, Bonn.
- BMU — Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1992 b): Umweltschutz in Deutschland. Nationalbericht, Bonn.
- BMU — Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1993): Gesetz zur Vermeidung von Rückständen, Verwertung von Sekundärrohstoffen und Entsorgung von Abfällen (Rückstands- und Abfallwirtschaftsgesetz — RAWG). Entwurf, Bonn.
- BÖDEKER, W. (1990): Zur Häufigkeit tödlicher und nichttödlicher Pestizidvergiftungen — Eine Betrachtung nationaler und internationaler Morbiditäts- und Mortalitätsstatistiken; in: Bödeker, W.; C. Dümmler (Hg.): Pestizide und Gesundheit. Karlsruhe.
- Bongaertz, J. C.; I. Kozel (1992): Zusammenstellung der Ansätze von Stoffstrommanagement und stoffpolitische Regelungen auf internationaler Ebene und besonders auf EG-Ebene. Studie im Auftrag der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“, Veröffentlichung voraussichtlich 1994, Bonn.
- Brakel, van, M.; M. Buitenkamp (1992): Sustainable Netherlands — A Perspective for Changing Northern Lifestyles. Amsterdam.
- Brandt, H. (1989): Die Baumwollerzeugung afrikanischer Länder — Internationale Wettbewerbsfähigkeit und ökologische Probleme. Berlin.
- Brandt, H., I. Suhrer (1989): Klimaschwankungen, Getreideproduktion und Früherkennung von Versorgungslücken in ausgewählten Sahelländern. Berlin.
- Brenck, A. (1991): Moderne umweltpolitische Konzepte — Sustainable Development und ökologisch soziale Marktwirtschaft. Diskussionspapier, Institut für Verkehrswissenschaft, Universität Münster.
- Brink, ten, B.J.E.; et al. (1991): A Quantitative Method for Description & Assessment of Ecosystems — The AMOEB. Approach. Marine Pollution Bulletin, 23.
- Brunner, P. (1992): Der regionale Stoffhaushalt — Methodik, Resultate und Folgerungen. Österreichische Wasserwirtschaft, 44 (3/4).
- BUA — Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe der Gesellschaft deutscher Chemiker (1988): Benzol. Stoffbericht, 24, Weinheim.
- BUA — Beratergremium für umweltrelevante Altstoffe der Gesellschaft deutscher Chemiker (1992): OH — Radikale in der Troposphäre — Konzentration und Auswirkung. Stoffbericht, 100, Weinheim.
- BUND — Bund für Umwelt und Naturschutz Deutschland e.V. (1984): Chemiepolitik — BUND fordert einen neuen Politikbereich. Positionen, 10, Bonn.
- Bundesregierung (1992): Deutsche Verkehrspolitik im zusammenwachsenden Europa. Regierungserklärung des Bundesministers für Verkehr, Prof. Dr. Günther Krause, Bonn.
- Carson, R. (1962): Silent Spreng. München.
- CEFIG — Conseil Europeen des Federations de l'Industrie Chimique (1992): CEFIG Statement on an Integrated Approach Towards Sustainable Development. Brüssel.
- COGNIS — Gesellschaft für Bio- und Umwelttechnologie mbH (1992): Textilien/Kleidung. Vorstudie im Auftrag der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“, Veröffentlichung voraussichtlich 1994, Bonn.
- Dag-Hammarskjöld-Bericht (1975): Was tun? Plädoyer für eine andersartige Entwicklung. Friedensanalysen, 3, Frankfurt/M.
- DECHEMA — Deutsche Gesellschaft für Chemisches Apparateswesen, Chemische Technik und Biotechnologie e.V.; et al. (Hg.) (1990): Produktionsintegrierter Umweltschutz in der chemischen Industrie. Frankfurt/M.
- Deutscher Bundestag (1986): Konzept der SPD und der IG-Chemie-Papier-Keramik für eine umwelt- und gesundheitsverträgliche Chemiepolitik. BT-Drucksache 10/5181, Bonn.
- Deutscher Bundestag (1987): Umweltgutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU). BT-Drucksache 11/1568, Bonn.
- Deutscher Bundestag (1990): Sondergutachten des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) — Abfallwirtschaft. BT-Drucksache 11/8493, Bonn.

- Deutscher Bundestag (1990): Umwelt- und Gesundheitsgefährdung durch Cadmium und Maßnahmen der Bundesregierung — Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage. BT-Drucksache 11/6494, Bonn.
- Deutscher Bundestag (1993): Altausrott-Verordnung und Verminderung von Stoffströmen — Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage. BT-Drucksache 12/5391, Bonn.
- Deutscher Umwelttag (1992): Elemente eines ökologischen Wirtschaftsstils. Arbeitskreis „Ökologisches Wirtschaften“, Frankfurt/M.
- DFG — Deutsche Forschungsgemeinschaft (1993): MAK- und BAT-Wert-Liste. Mitteilung, 29, Weinheim.
- Dierkes, M. (1985): Gesellschaft, Technik — Auf dem Wege zu einem neuen gesellschaftlichen Umgang mit der Technik; in: Wildemann (Hg.): Umwelt, Wirtschaft, Gesellschaft — Wege zu einem neuen Grundverständnis. Im Auftrag des Staatsministers von Baden-Württemberg, Stuttgart.
- EAWAG — Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz (1990): Der regionale Stoffhaushalt im unteren Buental (RESUB) — Die Entwicklung einer Methode zur Erfassung des regionalen Stoffhaushaltes. Dübendorf.
- EG — Kommission der Europäischen Gemeinschaften (1992): Für eine dauerhafte und umweltgerechte Entwicklung — Fünftes Umweltaktionsprogramm der EG., KOM(92) 23/II endg., Brüssel.
- Eidgenössische Kommission für Abfallwirtschaft (1986): Leitbild für die schweizerische Abfallwirtschaft. Schriftenreihe Umweltschutz (51), BUWAL, Bern.
- Ewers, U. (1990): Untersuchungen zur Cadmiumbelastung der Bevölkerung in der Bundesrepublik Deutschland; in: Schadstoffe und Umwelt, 4, Berlin.
- Fichtner GmbH (1993): Beispielorientierte Aufarbeitung des Bedürfnisfeldes „Mobilität“ für eine stoffstromorientierte Diskussion zur Entwicklung stofflicher und politischer Handlungsperspektiven — Stofffluß bei Produktion, Betrieb und Entsorgung verschiedener Fahrzeuge. Vorstudie im Auftrag der Enquete-Kommission „Schutz der Menschen und der Umwelt“, Veröffentlichung voraussichtlich 1994, Bonn.
- Fischer, S.K.; et al. (1991): Energy and Global Warming Impact of CFC Alternative Technologies; in: United States Department of Energy (DOE) (Hg.). Alternative Fluorocarbon Environmental Study (AFEAS), Washington.
- GdCh -Gesellschaft deutscher Chemiker (1992): Altstoffbeurteilung. Frankfurt/M.
- Gesamttextil (Hg.) (1991): Jahrbuch der Textilindustrie 1991. Frankfurt/M.
- Gleich, von, A. (1991): Über den Umgang mit Natur — Sanfte Chemie als wissenschaftliches, chemiepolitisches und regionalwirtschaftliches Konzept. Wechselwirkung (48).
- Harborth, H.-J. (1991): Dauerhafte Entwicklung statt globaler Selbsterstörung. Berlin.
- Hauß, V. (Hg.) (1987): Unsere gemeinsame Zukunft — Der Brundtland-Bericht der Weltkommission für Umwelt und Entwicklung. Greven.
- Hilger, W. (1993): Staatliches Handeln — Stütze oder Hürde für die Innovation? Vortrag beim Forschungsinstitut für Wirtschaftsverfassung und Wettbewerb e. V. am 30. Juni 1993 im Wissenschaftszentrum, Bonn.
- Hofmeister, S. (1989): Stoff- und Energiebilanzen — Zur Eignung des physischen Bilanz-Prinzips als Konzeption der Umweltplanung. Technische Universität, Berlin.
- Hofstetter, P. (1992): Weshalb „Öko-Kühlschrank“? FCKW-, Energie- und Entsorgungsproblematik; in: GAIA Ecological Perspectives in Science, Humanities and Economics. Vol. 1 (6).
- IBFG — Internationaler Bund freier Gewerkschaften (1992): Umwelt und Entwicklung als Gewerkschaftsthema. Fünftehnter IBFG-Weltkongreß, Caracas, Venezuela, 17.—24. März 1992. Brüssel.
- ICC-Internationale Handelskammer (1991): Charta für eine langfristig tragfähige Entwicklung — Grundsätze des Umweltmanagements. International Chamber of Commerce, Paris.
- IUCN — International Union for the Conservation of Nature; et al. (1980): World Conservation Strategy — Living Resource Conservation for Sustainable Development. Gland (Switzerland).
- IVC — Industrievereinigung Chemiefaser e.V. (Hg.) (1990): Die Chemiefaser-Industrie in der Bundesrepublik Deutschland. Frankfurt/M.
- Kopfmüller, J. (1993): Sustainable Development — Die Idee einer zukunftsfähigen Entwicklung. Wechselwirkung (61).
- LAI — Länderausschuß für Immissionsschutz (1992): Krebsrisiko durch Luftverunreinigungen — Entwicklung von Beurteilungsmaßstäben für kanzerogene Luftverunreinigungen. Düsseldorf.
- Liebisch, A.; M. Deppe, A. Dyck (1992): Einsatz von Schädlingsbekämpfungsmitteln im nichtagrarischen Bereich — Dokumentation und Expositionsanalyse. Umweltbundesamt, Texte, 44, Berlin.
- Löbke, K.; J. Walter, M. Wenke (1993): Umweltschutz und Industriestandort. Zeitschrift für angewandte Umweltpolitik (Veröffentlichung in Vorbereitung).
- McKinney, P.A.; et al. (1991): Parental occupations of children with leukemia in West Cumbria, North Humberside and Gateshead. British Medical Journal (302).
- Meadows, D.; et al. (1972): The Limits to Growth; deutsch (1973): Die Grenzen des Wachstums. Reinbek.
- Meadows, D.; et al. (1992): Beyond the Limits; deutsch: Die neuen Grenzen des Wachstums. Stuttgart.
- Michael, K.; Stadt Detmold (Hg.) (1993): Besonders sparsame Haushaltsgeräte 1993/94 — Eine Verbraucherinformation. Detmold.
- Mierscheid, J. (1993): Ökologische Kenndaten zum FCKW-Ersatzstoff R 134a. Beitrag zum 3. Hoechst Steinlaus-Symposium, XII (3), Frankfurt/M.
- Nationales Komitee zur Vorbereitung der UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Brasilien (1992): Perspektiven einer weltweiten umweltverträglichen Entwicklung — Zeit zu handeln. Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Bonn.
- Nichols, J.K.; P.J. Crawford (1983): Chemical Management in the Eighties. OECD, Paris; deutsch (1988), Bundessprachenamt, Hürth.
- Nutzinger, H.G.; A. Zahrnt (1989): Öko-Steuern. Karlsruhe.
- OECD — Organization for Economic Cooperation and Development (1993): Environmental Performance Reviews — Germany. Paris.
- Osten, von, W. (1991): Zielrichtung der chemiepolitischen Diskussion — Orientierung am Leitbild „Strategien und Wirtschaftsprinzipien der Natur“; in: Held, M. (Hg.): Leitbilder der Chemiepolitik — Stoffökologische Perspektiven der Industriegesellschaft. Frankfurt/M.
- Pearce; et al. (1990): Sustainable Development — Economics and Environment in The Third World. Brookfield.
- Ried, M. (1989): Das Öko-Textil-Buch — Chemie im Kleiderschrank. Hamburg.



- Rippen, G. (1991): Handbuch Umweltchemikalien — Stoffdaten, Prüfverfahren, Vorschriften. Erg.Lfg. 9/92, Landsberg.
- Römpp; J. Falbe, M. Regitz (Hg.) (1989): Römpp Chemie Lexikon. Stuttgart.
- Rosenkranz, B.; E. Castello (1989): Leitfaden für gesunde Textilien. Hamburg.
- Rosler, M.J. (1990): Crop Profile Cotton; in: Pesticide Outlook. 1(5).
- Rosner, G.; et al. (1993): Zusammenfassende Studie zum aktuellen Kenntnisstand über Herkunft und Verbleib von Benzol und seinen industriell bedeutendsten Folgeprodukten. Studie im Auftrag der Enquete-Kommission des Deutschen Bundestages „Schutz des Menschen und der Umwelt“, Veröffentlichung voraussichtlich 1994, Bonn.
- RWI — Rheinisch-Westfälisches Institut für Wirtschaftsforschung (1992): Umweltschutz, Strukturwandel und Wirtschaftswachstum. RWI-Untersuchungen, 4, Essen.
- Schmidheiny, S. (1992): Kurswechsel — Globale unternehmerische Perspektiven für Entwicklung und Umwelt. Business Council for Sustainable Development, München.
- Schmidt-Bleek, F. (1993): Ökologie der Stoffströme — Ihre Bedeutung für eine zukunftssichere Wirtschaft. Wuppertal.
- Schultze, G. (1992): Die Erlebnisgesellschaft. Frankfurt/M.
- Stadt Frankfurt/M. / Umwelt Forum Frankfurt/M. (Hg.) (1990): Erste Frankfurter Studie zur Förderung chemiepolitischer Verständigungsprozesse — Planungsstudie und diskursanalytische Vorstudie. Elmshorn, u. a.
- Stadt Frankfurt/M. / Umwelt Forum Frankfurt/M. (Hg.) (1992): Zweite Frankfurter Studie zur Förderung chemiepolitischer Verständigungsprozesse. Elmshorn, u. a.
- Stoeppler, M. (1990): Cadmium; in: Metal and Their Compounds in the Environment. Weinheim.
- Sukopp, H. (1986): Bausteine für ein Monitoring für den Naturschutz. Ber. ANL, 10.
- UBA — Umweltbundesamt (1991): Entwicklung eines Verfahrens zur ökologischen Beurteilung und zum Vergleich verschiedener Wasch- und Reinigungsmittel. Texte, 16, 1 u. 2, Berlin.
- UBA — Umweltbundesamt (1991 a): Handbuch Chlorchemie I — Gesamtstofffluß und -bilanz. Texte, 55, Berlin.
- UBA — Umweltbundesamt (1992): Handbuch Chlorchemie II — Ausgewählte Produktlinien. Texte, 42, Berlin.
- UBA — Umweltbundesamt (1992 a): Ökobilanzen für Produkte — Bedeutung-Sachstand-Perspektiven. Texte, 38, Berlin.
- UBA — Umweltbundesamt (1993): Ökologische Bilanz von Rapsöl bzw. Rapsölmethylester als Ersatz von Dieselmotorkraftstoff (Ökobilanz Rapsöl). Texte, 4, Berlin.
- UNCED — United Nations Conference on Environment and Development (1992): Proposal of the Chairman of the Preparatory Committee for UNCED on the Rio Declaration on Environment and Development. Rio de Janeiro.
- UNDP — United Nations Development Programme (1990/1991/1992): Human Development Report. New York, Oxford, u. a.
- UNEP — United Nations Environment Programme (1992): Montreal Protocol 1991 Assessment — Report of the Refrigeration, Air Conditioning and Heat Pumps. Technical Options Committee, Dezember 1991, New York.
- UPI — Umwelt- und Prognose-Institut (1992): Öko-Bilanz eines Autolebens. Heidelberg.
- VNCI — Verband der Niederländischen Chemischen Industrie (1992): Integrated Substance Chain Management. Leidschendam.
- WCED — World Commission on Environment and Development (1987): Our Common Future (The Brundtland-Report). Oxford.
- Weltbank (1990): Weltentwicklungsbericht 1990. Washington D.C..
- Weltbank (1992): Weltentwicklungsbericht 1992 — Entwicklung und Umwelt — Kennzahlen der Wirtschaftsentwicklung. Bonn, u. a.
- WHO — World Health Organization (1992): Cadmium — International Programme on Chemical Safety. Genf.
- WMO — World Meteorological Organization / UNEP — United Nations Environment Programme (1992): Global Research and Monitoring Projekt. Report, 25, Genf.
- Zellner, R.; et al. (1993): (Veröffentlichung in Vorbereitung); in: Chemical Physics Letters.
- Zoll, R. (1993): Alltagssolidarität und Individualismus — Zum soziokulturellen Wandel. Frankfurt/M.





