

Der Rat von Sachverständigen  
für Umweltfragen

# ENERGIE UND UMWELT

Sondergutachten  
März 1981

VERLAG W. KOHLHAMMER GMBH STUTTGART UND MAINZ

# ENERGIE UND UMWELT



Der Rat von Sachverständigen  
für Umweltfragen

# **ENERGIE UND UMWELT**

Sondergutachten  
März 1981

VERLAG W. KOHLHAMMER GMBH STUTTGART UND MAINZ

ERBEFOLG UND  
TILGUNG

von  
Hans-Joachim Lauth

Erschienen im Juni 1981  
Preis: DM 19,—  
ISBN 3-17-003238-0  
Bestellnummer: 7800105-81901  
Druck: Bonner Universitäts-Buchdruckerei

## Vorwort

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen legt mit dem Sondergutachten „Energie und Umwelt“ ein weiteres Gutachten vor, das wieder einem speziellen Bereich der Umweltpolitik gewidmet ist. Grundlage dieses Gutachtens ist der im Einrichtungserlaß (s. Anhang) festgelegte Auftrag, die Situation der Umwelt darzustellen und auf Fehlentwicklungen und Möglichkeiten zu deren Vermeidung hinzuweisen; die Absicht des Rates, die Energieproblematik unter dem Gesichtspunkt des Umweltschutzes zu bearbeiten, entsprach auch einem Wunsch der Bundesregierung, insbesondere des Bundesministers des Innern.

Bei der Arbeit an diesem Gutachten ist der Rat in mannigfacher Weise von zahlreichen Personen und Institutionen unterstützt worden; ihnen allen möchte er danken.

Zu einigen fachlichen Spezialproblemen hat der Rat gutachtliche Stellungnahmen erbeten, an denen folgende Wissenschaftler mitgewirkt haben: Dr. Wolfgang Bahr, Bonn; Prof. Dr. Heinz Fortak, Berlin; Prof. Dr. Karl Ganser, Düsseldorf; Dr. Bernd Prinz, Essen; Prof. Dr. Hans-Joachim Queisser, Stuttgart; Dr. Peter Wagner, Stuttgart; Dr. Ulrich Werschnitzky, Frankfurt. Darüber hinaus dankt der Rat Prof. Dr. Hans-Karl Schneider, Köln, für Anregungen und Kritik.

Die wissenschaftlichen Mitarbeiter des Rates haben durch eigene Ausarbeitungen, Diskussionsbeiträge und Materialsammlung zum Gutachten wesentlich beigetragen. Im wissenschaftlichen Stab der Geschäftsstelle haben mitgearbeitet: Dipl.-Kfm. Monika Cziesla-Kerssenfischer, Ass. Albrecht Glitz, Dr. László Kacsóh, Dr. Jürgen Peter Schödel. Als wissenschaftliche Mitarbeiter der Ratsmitglieder haben zum Gutachten beigetragen: Dr. Eduard Geisler, Dr. Christoph Heger, Dipl.-Oec.-Troph. Hiltraud Holle, Dipl.-Biol. Joachim von Jutrczenki, Dipl.-Ing. Barbara von Kügelgen, Stud. rer. pol. Ulrike Ladwig,

Dipl.-Pol. Hans Maier, Ass. Werner Preusker, Dr.-Ing. Ulrich Rudolph, Dipl.-Vw. Fritz Vorholz.

Besonderen Dank schuldet der Rat Herrn Dr. Dietrich F. W. von Borries, dem Koordinator für dieses Gutachten in der Geschäftsstelle. Seine Vorschläge zur Konzeption des Gutachtens, seine fundierten eigenen Beiträge und die kritische Begleitung aller Entwürfe waren für den Rat eine unentbehrliche Hilfe. Als Leiter der Geschäftsstelle des Rates hat Dipl.-Pol. Jürgen H. Lottmann zur Vollendung des Gutachtens durch die Unterstützung des Vorsitzenden bei seinen Aufgaben, durch umsichtige Planung der Arbeiten und eigene Entwürfe wesentlich beigetragen.

Herr Ernst Bayer hat die technischen Arbeiten am Gutachten mit Sorgfalt und Geduld erledigt; ihm und den namentlich nicht erwähnten Angehörigen der Geschäftsstelle gebührt Dank für die gute Mitarbeit.

Der Rat dankt auch der Leitung und den Mitarbeitern des Statistischen Bundesamtes, die den Rat in fachlichen und technischen Fragen bei der Fertigstellung des Gutachtens unterstützt haben.

Der Abschluß dieses Gutachtens fällt mit dem Ende der Berufungszeit der Kollegen Konrad Buchwald, Karl-Heinrich Hansmeyer, Rudolf Preußmann, Günther Rincke, Klaus Scholder sowie des Unterzeichnenden zusammen. Die ausscheidenden Mitglieder blicken auf neun Jahre fruchtbarer und anregender Zusammenarbeit zurück, deren Ergebnisse in nunmehr acht Gutachten und Stellungnahmen veröffentlicht worden sind. Sie wünschen dem Rat auch in der neuen Zusammensetzung eine erfolgreiche Arbeit zum Wohle der Umwelt.

Alle Fehler und Mängel, die das Sondergutachten „Energie und Umwelt“ enthält, gehen allein zu Lasten der Mitglieder des Rates in seiner bisherigen Besetzung.

Wiesbaden, im März 1981

*Hartmut Bick*  
Vorsitzender



**Mitglieder**  
**des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen**  
(Stand März 1981)

Prof. Dr. rer. nat. Hartmut Bick, Bonn  
(Vorsitzender)

Prof. Dr. jur. Jürgen Salzwedel, Bonn  
(Stellvertretender Vorsitzender)

Prof. Dr. rer. nat. Konrad Buchwald, Hannover

Prof. Dr. rer. pol. Karl-Heinrich Hansmeyer, Köln

Prof. Dr. med. Dietrich Henschler, Würzburg

Prof. Dr. med., Dr. phil. Gerd Jansen, Essen

Prof. Dr. rer. pol. Paul Klemmer, Bochum

Prof. Dr.-Ing. Albert Kuhlmann, Köln

Prof. Dr. rer. nat. Rudolf Preußmann, Heidelberg

Prof. Dr.-Ing. Günther Rincke, Darmstadt

Prof. Dr. jur. Fritz W. Scharpf, Berlin

Prof. Dr. phil. Klaus Scholder, Tübingen

Ökologie

Umweltrecht

Naturschutz, Landschaftspflege

Wirtschafts-, Finanzwissenschaft

Toxikologie, Gesundheitsrisiken

Lärm, Psychophysiologie

Landesplanung, Standortfragen

Umwelttechnik

Krebsforschung

Wasser

Organisationsfragen der Umweltpolitik

Allgemeine Umweltfragen

# Inhaltsübersicht

EINFÜHRUNG	Energieverbrauch von Haushalten und Kleinverbrauchern
GEGENWÄRTIGE UND VORHERSEHBARE ENERGIESTRUKTUREN UND IHRE UMWELTPROBLEME	Energiestruktur
Gegenwärtige Energiestrukturen und die Problematik von Energieverbrauchsprognosen	Möglichkeiten der rationellen Energieverwendung
Umweltbelastungen durch die Energieversorgung	Wirtschaftliche Gesichtspunkte der Energiegewinnung
Fossile Brennstoffe	Umweltpolitische Bewertung
Kernenergie	Anpassungshindernisse
Regenerierbare Energiequellen	Energieverwendung im Verkehr
Zur Bewertung der Belastungen und Risiken	Endenergiestruktur
Gesundheitliche Risiken beim Einsatz von Kernkraft und fossilen Energieträgern	Strategien
Ökologische Belastungen und Risiken beim Einsatz von fossilen Energieträgern, Kernenergie und regenerierbaren Energiequellen	FUNKTIONALE UND SIEDLUNGS-STRUKTURELLE ANSATZPUNKTE FÜR DIE UMWELTENTLASTUNG BEI DER WÄRME- UND STROMVERSORGUNG
Auswirkungen von Energieversorgungsanlagen auf Struktur und Bild der Landschaft	Umweltpolitische Bedeutung einer verstärkten Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung
Belastungen des Klimas	Fragen der Wirtschaftlichkeit von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen
Technische Möglichkeiten der Emissionsminderung bei forciertem Einsatz von Kohle	Rechtliche und wirtschaftliche Hindernisse erhöhter industrieller Stromerzeugung
Einsatz in großen und mittleren Feuerungen	Rechtliche und wirtschaftliche Hindernisse beim Ausbau der Fernwärmenetze
Industrieller Einsatz	Umweltpolitische Bedeutung einer siedlungsstrukturell angepassten Wärmeversorgung
Hausbrand und Kleinverbrauch	Die siedlungsstrukturelle Ausgangssituation
Kohleveredelung	Umweltbelastung und siedlungsstrukturelle Eignung wichtiger Wärmeversorgungssysteme
MÖGLICHKEITEN DER UMWELTENTLASTUNG DURCH RATIONELLE ENERGIENUTZUNG UND SUBSTITUTION ZWISCHEN DEN ENERGIETRÄGERN	Umweltentlastung durch Dezentralisierung und Substitution
Einführung	Umweltpolitische Grenzen der Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung
Energiegewinnung und Umwandlung	SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN
Konventionelle Energieträger	Umweltbelastung durch Energienutzung
Das Nutzungspotential regenerativer Energiequellen	Zur Einsparung und Substitution von Energie
Energieverwendung in der Produktion	Funktionale und siedlungsstrukturelle Ansatzpunkte für die Umweltentlastung bei der Wärme- und Stromversorgung
Rationelle Energienutzung und Substitution in der Produktion — Möglichkeiten in Industrie und Gewerbe	Energiebedarf, Umweltbelastung und Kraftwerksplanung
Energieverwendung in der Agrar- und Ernährungswirtschaft	ANHANG

## Inhaltsverzeichnis

		Seite		Seite	
	Einführung .....	11	1.3.1.2	Zur Wirkung von Schadstoffen aus Verbrennungsvorgängen .....	54
1	Gegenwärtige und vorhersehbare Energiestrukturen und ihre Um- weltprobleme .....	13	1.3.1.3	Zur Meßbarkeit der Belastungen .	56
1.1	Gegenwärtige Energiestrukturen und die Problematik von Energie- verbrauchsprognosen .....	13	1.3.1.4	Zusammenfassung .....	56
1.1.1	Allgemeine Entwicklung des Ener- gieverbrauchs .....	13	1.3.2	Ökologische Belastungen und Risi- ken beim Einsatz von fossilen Energieträgern, Kernenergie und regenerierbaren Energiequellen ..	57
1.1.2	Entwicklung des Energiever- brauchs in der Bundesrepublik Deutschland .....	15	1.3.2.1	Fossile Energiequellen .....	57
1.1.3	Erwartungen über den künftigen Energieverbrauch .....	18	1.3.2.2	Kernenergie .....	61
1.2	Umweltbelastungen durch die Energieversorgung .....	23	1.3.2.3	Regenerierbare Energiequellen ..	62
1.2.1	Fossile Brennstoffe .....	23	1.3.2.4	Zusammenfassung der Bewertung aus ökologischer Sicht .....	62
1.2.1.1	Primärenergiegewinnung .....	23	1.3.3	Auswirkungen von Energieversor- gungsanlagen auf Struktur und Bild der Landschaft .....	63
1.2.1.2	Energieumwandlung .....	25	1.3.4	Belastungen des Klimas .....	65
1.2.1.3	Emissionen aus der Verfeuerung fossiler Brennstoffe .....	27	1.3.4.1	Einführung .....	65
1.2.1.4	Größenordnung der Emissionen nach Herkunft .....	30	1.3.4.2	Lokale klimatische Auswirkungen und Risiken .....	65
1.2.2	Kernenergie .....	34	1.3.4.3	Regionale klimatische Auswirkun- gen und Risiken .....	66
1.2.2.1	Besondere Schwierigkeiten der öf- fentlichen Kernenergie Diskussion	34	1.3.4.4	Globale klimatische Auswirkun- gen und Risiken .....	66
1.2.2.2	Bisherige Erfahrungen mit dem Einsatz von Kernenergie zur Elek- trizitätserzeugung .....	35	1.4	Technische Möglichkeiten der Emissionsminderung bei forcier- tem Einsatz von Kohle .....	68
1.2.2.2.1	Der Weg des Kernbrennstoffs ....	35	1.4.1	Einsatz in großen und mittleren Feuerungen (Kraftwerke) .....	69
1.2.2.2.2	Gewinnung und Aufbereitung von Uranerz .....	35	1.4.2	Industrieller Einsatz .....	71
1.2.2.2.3	Belastungen beim Normalbetrieb von Kernkraftwerken .....	36	1.4.3	Hausbrand und Kleinverbrauch ..	73
1.2.2.3	Die potentiellen Strahlenbelastun- gen .....	41	1.4.4	Kohleveredelung .....	74
1.2.2.3.1	Störfälle und Unfälle .....	41	2	Möglichkeiten der Umweltentla- stung durch rationale Energienut- zung und Substitution zwischen den Energieträgern .....	77
1.2.2.3.2	Probleme der Entsorgung .....	43	2.1	Einführung .....	77
1.2.2.4	Neuere technologische Varianten	47	2.2	Energiegewinnung und Umwand- lung .....	79
1.2.3	Regenerierbare Energiequellen ..	48	2.2.1	Konventionelle Energieträger ....	79
1.2.3.1	Grundsätzliches .....	48	2.2.1.1	Primärenergiegewinnung .....	79
1.2.3.2	Niedertemperaturwärme aus Son- nenstrahlung .....	49	2.2.1.2	Energieumwandlung .....	80
1.2.3.3	Biomasse .....	50	2.2.2	Das Nutzungspotential regenerati- ver Energiequellen .....	83
1.2.3.4	Windkraft .....	51	2.3	Energieverwendung in der Pro- duktion .....	85
1.2.3.5	Kleine Wasserkräfte .....	51	2.3.1	Rationelle Energienutzung und Substitution in der Produktion — Möglichkeiten in Industrie und Gewerbe .....	85
1.2.3.6	Umgebungswärme .....	52	2.3.1.1	Industrielle Güterproduktion, Energieverbrauch und Umweltbe- anspruchung .....	85
1.3	Zur Bewertung der Belastungen und Risiken .....	52			
1.3.1	Gesundheitliche Risiken beim Ein- satz von Kernkraft und fossilen Energieträgern .....	52			
1.3.1.1	Zur Wirkung der Radioaktivität ..	52			



	Seite		Seite
2.3.1.2	89		
2.3.1.3	92		
2.3.1.3.1	92		
2.3.1.3.2	92		
2.3.1.3.3	94		
2.3.2	95		
2.3.2.1	95		
2.3.2.2	95		
2.3.2.3	98		
2.4	99		
2.4.1	99		
2.4.2	100		
2.4.2.1	100		
2.4.2.2	102		
2.4.3	103		
2.4.4	104		
2.4.5	105		
2.4.5.1	105		
2.4.5.2	106		
2.4.5.3	107		
2.5	108		
2.5.1	108		
2.5.2	110		
2.5.2.1	110		
2.5.2.2	111		
2.5.2.3	112		
2.5.2.3.1	112		
2.5.2.3.2	116		
3	118		
3.1	118		
3.1.1	118		
		3.1.1.1	118
		3.1.1.2	118
		3.1.2	120
		3.1.3	121
		3.1.3.1	121
		3.1.3.2	122
		3.1.3.3	122
		3.1.3.4	123
		3.1.3.5	124
		3.1.4	125
		3.1.4.1	126
		3.1.4.2	128
		3.1.4.3	129
		3.2	130
		3.2.1	130
		3.2.1.1	130
		3.2.1.2	131
		3.2.2	132
		3.2.2.1	132
		3.2.2.2	134
		3.2.3	137
		3.2.3.1	137
		3.2.3.2	139
		3.2.3.3	140

	Seite
3.3	Umweltpolitische Grenzen der Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung ..... 142
4	Schlußfolgerungen und Empfehlungen ..... 144
4.1	Umweltbelastung durch Energienutzung ..... 144
4.2	Zur Einsparung und Substitution von Energie ..... 148
4.3	Funktionale und siedlungsstrukturelle Ansatzpunkte für die Umweltentlastung bei der Wärme- und Stromversorgung ..... 151
4.4	Energiebedarf, Umweltbelastung und Kraftwerksplanung ..... 155

	Seite
<b>Anhang</b>	
Tabellenanhang zu Kap. 1.2 .....	157
Erlaß über die Einrichtung eines Rates von Sachverständigen für Umweltfragen beim Bundesminister des Innern .....	179
Verzeichnis der Abkürzungen ....	181
Verzeichnis der Gutachten des Sachverständigenrates .....	183
Literaturverzeichnis und Anmerkungen .....	184

## EINFÜHRUNG

1. Seit seiner Einrichtung hat der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen der Belastung der Umwelt durch die Energienutzung hohe Bedeutung zugemessen und dies in seinen Gutachten zum Ausdruck gebracht. Im Sondergutachten „Auto und Umwelt“ wies er bereits 1973 darauf hin, daß der Individualverkehr nicht nur ein bedeutender Luftverschmutzer ist, sondern auch eine gefährliche Abhängigkeit von knappen Energieträgern begründet. Im Umweltgutachten 1974 widmete der Rat den Abschnitt „Energiewirtschaftliche Aspekte“ dieser Thematik und nahm eine erste qualitative Einschätzung der Umweltbelastung durch verschiedene Energieträger vor. Im Sondergutachten „Umweltprobleme des Rheins“ behandelte der Rat Abwärmeeinleitung, Kühltechnik, Standortwahl und Klimaeffekte von Kraftwerken. Im „Umweltgutachten 1978“ hat der Rat grundsätzliche Überlegungen zum Verhältnis von Energieversorgung und Umweltschutz unter den „Aspekten einer längerfristigen Umweltpolitik“ angestellt und dazu ein Sondergutachten angekündigt.<sup>1)</sup>

2. Es kann nicht Aufgabe eines Rates von Sachverständigen für Umweltfragen sein, ein umfassendes energiepolitisches Gutachten vorzulegen. Die breite Streuung der prognostizierten Energieverbräuche wird aus dem Bericht der Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergiepolitik“ von 1980 besonders deutlich. Der Rat verzichtet auf eigene energiewirtschaftliche Projektionen. Er sieht es vielmehr als seine spezifische Aufgabe an, in der energiepolitischen Diskussion den Umweltgesichtspunkten das notwendige Gewicht zu geben und Wege aufzuzeigen, wie sie künftig besser berücksichtigt werden können.

3. Der Rat stellt im vorliegenden Gutachten die Umweltbelastungen der verschiedenen Energiequellen zusammenfassend dar und bewertet sie. Er hat eine besondere Aufgabe darin gesehen, solche Umweltfragen zum Gegenstand seiner Untersuchung zu machen, die noch keine ausreichende Würdigung und öffentliche Diskussion erfahren haben. Er mußte dabei Schwerpunkte setzen und auf Vollständigkeit verzichten. Besonders dringlich waren ihm Fragen der besseren Energienutzung, der Erschließung zusätzlicher Energieformen und der Raumstruktur der Energieversorgung, die untereinander in vielfältiger, für die Entwicklung umweltverträglicher energiepolitischer Strategien bedeutsamer Beziehung stehen.

4. Der Rat konnte der Kontroverse um die Kernenergie nicht ausweichen. Er konzentrierte sich auch hier auf das Grundsätzliche und beschränkte Detailausführungen auf das für die Gedankenführung unumgängliche Minimum. Der Rat ist sich be-

ußt, daß die Argumente pro und contra Kernenergie weit über fachliche Fragen hinausreichen; er hofft, daß es ihm gelungen ist, die komplexe Problemstruktur zu verdeutlichen und damit einen Beitrag zur Urteilsbildung zu leisten.

5. Der erwartete verstärkte Einsatz von Kohle — vom Hausbrand bis zur Kohleveredelung — hat den Rat veranlaßt, den dabei zu lösenden Emissionsproblemen besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Hier zeichnen sich Gefahren für die Umwelt ab, wenn es nicht gelingt, die in der Entwicklung befindlichen umweltfreundlichen Technologien weiterzuentwickeln und zur betrieblichen Reife zu bringen. Der Rat hat den Auswirkungen der Kohlenutzung auf Mensch und Natur vor allem auch im Hinblick darauf besondere Aufmerksamkeit gewidmet, daß diese Risiken wegen der Vertrautheit mit dieser Energiequelle in der öffentlichen Diskussion oft unterschätzt werden.

6. Die Analyse der Umweltbelastungen und ihre Bewertung führt den Rat folgerichtig zur Überprüfung der Frage, in welchem Umfang rationelle Energienutzung und Substitution zwischen den Energieträgern zur Umweltentlastung beitragen können. Er prüft dabei, inwieweit Zielharmonie von Energieeinsparung und Umweltentlastung besteht und wo besondere Maßnahmen zum Schutz der Umwelt notwendig sind. Diese Fragestellung wird getrennt für die Bereiche Produktion, Haushalt und Gebäude sowie Verkehr behandelt. Im Bereich der Produktion wird dabei der Agrar- und Ernährungswirtschaft ein eigener Abschnitt gewidmet, da es sich hier um die Grundlagen unmittelbarer Existenzsicherung handelt, bezüglich der Nutzung regenerierbarer Energiequellen besonders günstige Bedingungen vorliegen und vielfach hinsichtlich der quantitativen Relationen unklare Vorstellungen herrschen. Bei der Behandlung des Bereichs Haushalte und Gebäude wird auch auf die besondere Situation der öffentlichen Hand sowie die Finanzierungsprobleme zwischen Mietern und Eigentümern bei Wärmeschutz und Heizkosten eingegangen. Bei der Behandlung des Verkehrs werden vornehmlich die Umweltprobleme des Individualverkehrs angesprochen; angesichts seiner früheren Äußerungen konnte sich der Rat hier darauf beschränken, die neueren Entwicklungen zu würdigen und bereits begründete Forderungen zu aktualisieren.

7. Die Energieeinsparungen und Umweltentlastungen, die einzelne Energieverbraucher bewirken können, lassen sich durch Kraft-Wärme-Kopplung und siedlungsgerechte Energieversorgung ergänzen und steigern. Diese Strategien erfordern eine Zusammenarbeit mehrerer Partner oder Institutionen; sie werden daher nicht allein durch wirtschaftliche Überlegungen beeinflusst, sondern auch durch rechtliche Normen bestimmt. Marktentwicklungen voll-

<sup>1)</sup> Siehe Liste der Veröffentlichungen im Anhang.



ziehen sich daher hier nicht automatisch; sie bedürfen vielmehr des politischen Anstoßes. Der Rat hat diesen Strategien einen eigenen Teil des Sondergutachtens gewidmet. Er untersucht darin, welche rechtlichen Instrumente und finanziellen Anreize eingesetzt werden können, um den Ausbau der Fernwärmeversorgung und die industrielle Wärme-Kraft-Kopplung voranzutreiben.

8. In den „Schlußfolgerungen und Empfehlungen“ greift der Rat die Grundzüge seiner Argumentation erneut auf und leitet daraus Vorschläge für eine künftige integrierte Umwelt- und Energiepolitik ab. Dabei wird deutlich gemacht, wieweit die Ziele der Energie- und Umweltpolitik parallel verfolgt werden können und wo der Schutz der Umwelt der Entwicklung der Energienutzung Grenzen setzt.

# 1 GEGENWÄRTIGE UND VORHERSEHBARE ENERGIESTRUKTUREN UND IHRE UMWELTPROBLEME

## 1.1 Gegenwärtige Energiestrukturen und die Problematik von Energieverbrauchsprognosen

### 1.1.1 Allgemeine Entwicklung des Energieverbrauchs

9. Bis Anfang des 18. Jahrhunderts waren die Menschen nahezu ausschließlich auf erneuerbare Energiequellen angewiesen, unter denen das Holz die mit Abstand größte Bedeutung besaß. Die Erschließung des fossilen Energieträgers Kohle wurde danach zur entscheidenden Grundlage der industriellen Revolution, erst sie ermöglichte die Eisenerzeugung im Großen und den Betrieb von Dampfmaschinen. Das Zusammentreffen von naturwissenschaftlicher Erkenntnis, großtechnischer, kapitalorientierter Produktionsweise und Nutzung fossiler Energiequellen schuf die moderne industrielle Welt, in der wir heute leben.

10. Bis zur Mitte des 20. Jahrhunderts blieb das Wachstum des Energieverbrauchs allerdings durch die relativ hohen Kosten der Kohlegewinnung und Kohleverwendung auf etwa 2 % pro Jahr begrenzt. Erst das Erdöl mit seinen durch die Erschließung immer neuer Ölfelder über lange Zeit hinweg tendenziell fallenden Förderkosten ermöglichte dann in der zweiten Hälfte dieses Jahrhunderts eine bis dahin unvorstellbare Beschleunigung des weltweiten Energieverbrauchs und führte zugleich auf breiter Front zur Substitution anderer Energiequellen durch Öl als Brennstoff und als Treibstoff. Seitdem beruht das gesamte moderne Verkehrswesen, die Schifffahrt, Teile des Schienenverkehrs, der Straßenverkehr wie auch der Luftverkehr direkt oder indirekt auf der Verfügbarkeit von Treibstoffen, die aus Öl gewonnen werden; zugleich wuchs die Bedeutung des Öls als Rohstoff der chemischen und pharmazeutischen Industrie. Die Erschließung von Erdgas und Kernenergie hat in den letzten Jahrzehnten weitere Möglichkeiten zur Ausweitung des Energieangebots eröffnet.

11. Vor dem Hintergrund dieser Umstrukturierung wuchs der Weltverbrauch der kommerziellen Energieträger (Kohle, Erdöl, Erdgas, Hydroelektrizität) von 1864 Mio t SKE im Jahre 1929 über 2512 Mio t SKE im Jahre 1949 und auf rund 10 000 Mio t SKE im Jahre 1979; hinzu kommen sogenannte nichtkommerzielle Energieträger (z. B. Holz, Reisig, Dung), die für 1949 auf rund 590 Mio t SKE und für 1974 auf rund 550 Mio t SKE geschätzt werden. Dieses Wachstum ging vor allem auf Kosten der Kohle. Während diese im Jahre 1949 noch 59 % des kommerziellen Energieverbrauchs und rund 47,5 % des

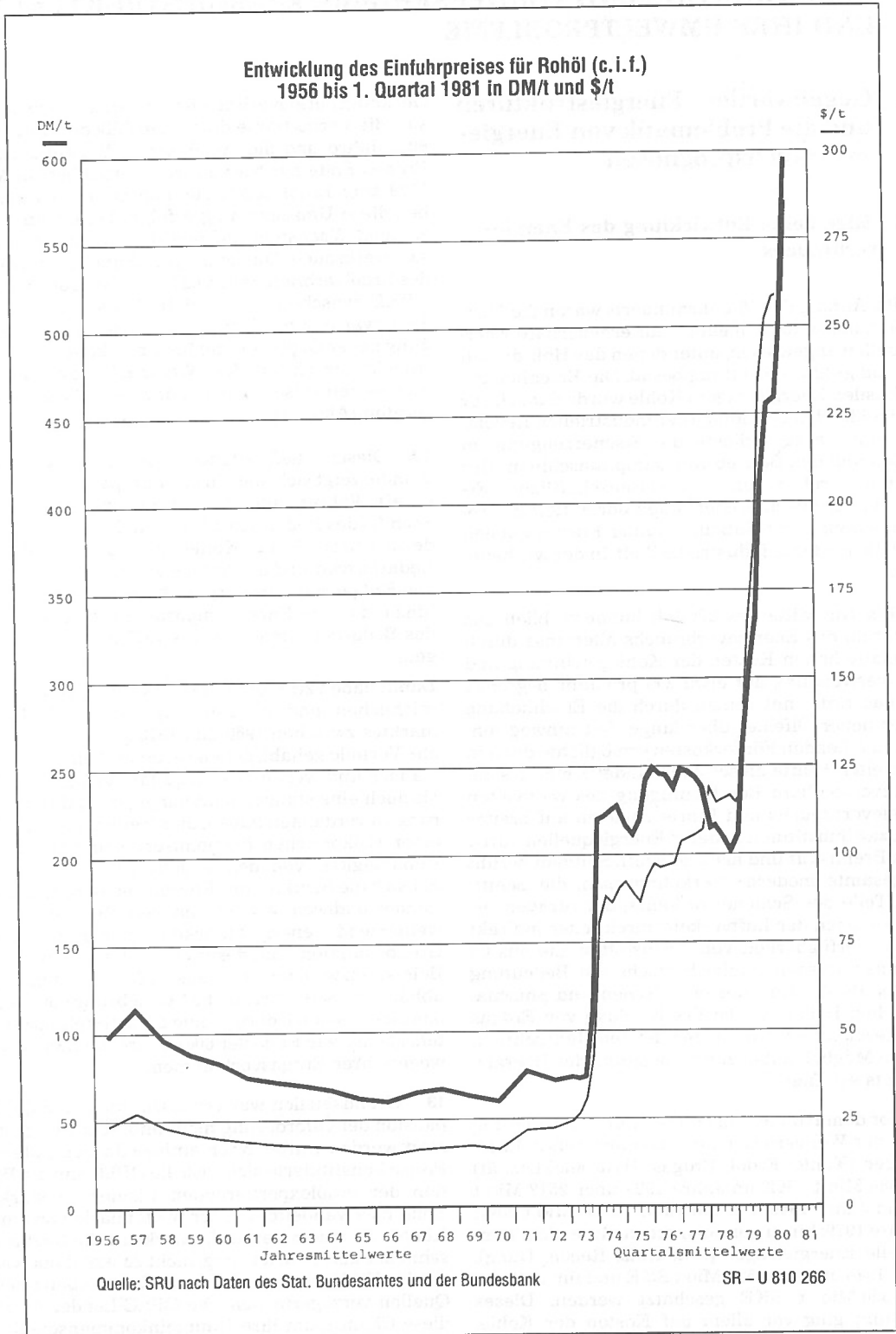
Gesamt-Energieverbrauchs bestritt, veränderten sich die Verhältnisse durch den Ölboom Anfang der 60er Jahre und die zunehmende Verwendung von Erdgas Ende der 60er Jahre in erheblichem Maße. 1979 trug Erdöl 50,5 % zur kommerziellen Energie bei; diese Umschichtung erfolgte bei einem gleichzeitigen Wachstum auf den dreieinhalbfachen Gesamtverbrauch. Das außergewöhnliche Anwachsen des Erdölverbrauchs von 627 Mio t SKE auf 4247 Mio t SKE zwischen 1949 und 1973, also um 8,3 % pro Jahr, war nur möglich durch die ständige Erschließung neuer Ölquellen, die für einen kontinuierlichen Angebotsdruck auf dem Weltmarkt und damit für real — zeitweise auch nominal — fallende Preise sorgten (Abb. 1.1).

12. Dieser tiefgreifende energiewirtschaftliche Wandel zeigt sich auch in der Europäischen Gemeinschaft. Während unmittelbar nach dem 2. Weltkrieg noch  $\frac{4}{5}$  des Bedarfs mit Kohle und  $\frac{1}{10}$  mit Erdöl gedeckt wurde, deckte Kohle 1973 nur noch 23 % des Bedarfs, während die Anteile von Erdöl auf 59 % und von Erdgas auf 12 % angewachsen waren. Es kommt hinzu, daß die Energieimporte, die 1949 etwa 10 % des Bedarfs ausmachten, bis 1977 auf 60,4 % anstiegen.

Damit haben zweifellos die Länder Europas von dem reichlichen und billigen Angebot des Welterdölmarktes zwischen 1960 und 1973 große wirtschaftliche Vorteile gehabt, denen sie einen Teil ihres Wohlstandes und wegen des ubiquitär verfügbaren Erdöls auch eine standortunabhängigere Industrialisierung zu verdanken haben, dies freilich um den Preis einer risikoreichen ökonomischen und politischen Abhängigkeit von den Erdölförderländern. Dabei hat sich die Struktur der Energieversorgung der EG-Länder dadurch angeglichen, daß die ursprünglich weitgehend energieautarken Kohleförderländer Großbritannien, Bundesrepublik Deutschland und Belgien inzwischen ebenfalls zu 50 % von Einfuhren abhängen. Seit kurzem hat Großbritannien durch das Nordseeöl wiederum eine Sonderstellung erhalten, ebenso wie Ende der 60er Jahre die Niederlande wegen ihrer Erdgasvorkommen.

13. Grundsätzlich war vorauszusehen, daß die Expansion der Ölförderung nicht unbeschränkt fortgesetzt werden würde. Nach einigen Jahren fallender Preise konstituierte sich 1960 die OPEC, um die Position der erdölexportierenden Länder zu stärken. Ende 1969 wandelte sich der Weltölmarkt von einem Käufer- zu einem Verkäufermarkt, da die Nachfrage schneller als erwartet stieg, nicht zuletzt dank wachsender US-Nachfrage. Auch die Erschließung neuer Quellen verzögerte sich. Die OPEC-Länder nutzten diese Chance, um ihre Haupteinkommensquelle Öl stärker als Entwicklungsinstrument zu nutzen und zugleich ihre Einnahmen vor Kaufkraftverlusten zu

Abb. 1.1



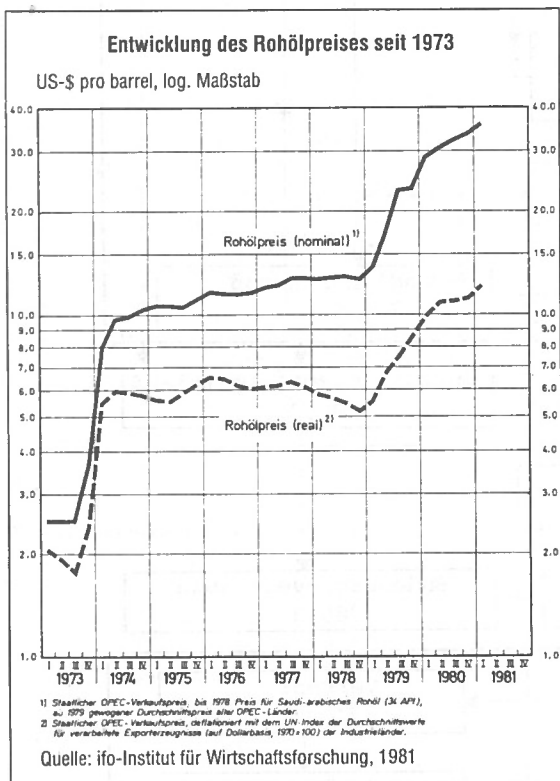


schützen. Kodifiziert wurde dies in den Abkommen von Teheran und Tripolis 1971 über die Anhebung der Preise und in dem Abkommen von New York und Wien 1972 über die Beteiligung an der Ölgewinnung; verschiedene Verstaatlichungsmaßnahmen kamen hinzu.

14. Die Spannungen und Konflikte zwischen Israel und den arabischen Nachbarstaaten veranlaßten die arabischen Länder, das Öl als Waffe einzusetzen: die Unterbindung der Lieferungen im Oktober und November 1973 sollte als politisches Druckmittel wirken. Im Dezember 1973 erklärte die OPEC, sie werde die Preise einseitig festsetzen. Zugleich erhöhte sie die Preise auf das Dreifache.

Die Ende 1973 ohnehin labile Weltwirtschaft stürzte daraufhin in die tiefste Rezession seit der Weltwirtschaftskrise der 30er Jahre mit der Folge, daß 1975

Abb. 1.2



die Weltölproduktion zum erstenmal geringfügig um 208 Mio t SKE schrumpfte und die Erdölpreise bis 1978 relativ stabil blieben (Abb. 1.2). Als jedoch 1979 der Iran seine Lieferungen stark drosselte und bei nunmehr guter Konjunktur sowie kalter Witterung die Ölnachfrage wieder beträchtlich stieg, ergab sich ein zweiter steiler Preisanstieg der sich noch bis ins Jahr 1980 fortsetzte; von Dezember 1978 bis Mai 1980 ergab sich ein Preisanstieg von 145 %.

## 1.1.2 Entwicklung des Energieverbrauchs in der Bundesrepublik Deutschland

### Energiebilanzen

15. Die Nutzung der Energiequellen dient der Erzeugung von Gütern und Dienstleistungen. Die in der Natur vorkommenden Energiequellen sind vielfach für die direkte Nutzung wenig geeignet; sie werden deshalb in leichter handhabbare Energieträger umgewandelt. Dieser Fluß der Energie von der Gewinnung über die Veredelung bis zum Endverbrauch wird durch Energiebilanzen erfaßt (Abb. 1.3). Als Primärenergie werden die fossilen Energieträger sowie Wasserkraft und Kernenergie bezeichnet, wobei letztere fiktiv mit dem ersparten Brennstoffeinsatz von Kohlekraftwerken bewertet werden. In der Umwandlungsbilanz werden Einsatz und Ausstoß sowie der Eigenbedarf der energieerzeugenden Industrie ausgewiesen. Nach Abzug der nichtenergetischen Verwendungen verbleibt die für den Endverbrauch verfügbare Energie, die sich auf Industrie, Verkehr sowie Haushalt und Kleinverbrauch aufteilen läßt. Damit ergibt sich ein lückenloses Bild des Energieflusses, das auch Aufschluß gibt über die Verluste, die auf den jeweiligen Veredelungsstufen auftreten.

### Primärenergieverbrauch

16. Verfolgen wir die Stufen der Energieumwandlung im einzelnen, so ist der inländische Primärenergieverbrauch von 155,5 Mio t SKE im Jahre 1953 über 264,6 Mio t SKE im Jahre 1965 auf 408,2 Mio t SKE im Jahre 1979 angewachsen. Die Steigerungsrate betrug jährlich im ersten Zeitraum 4,53 %, im zweiten 3,15 %. Die wesentliche strukturelle Änderung der ersten Periode bestand in der Ausweitung des Rohöls und der Mineralölprodukte von 6 % auf 41 %, in der zweiten Periode war die Ausbreitung des Erdgases von etwa 1 % auf etwa 16 % signifikant.

Niveau und Struktur spiegeln die starke Zunahme der Importabhängigkeit. Die Einzelheiten der Entwicklung der Primärenergie-Struktur enthalten Abb. 1.4 und Tab. 1.1.

Es sei vermerkt, daß der tatsächliche Primärenergieverbrauch noch etwas höher ist, da importierte Mineralölprodukte noch um den Raffinerieaufschlag zu ergänzen sind; für 1979 macht das immerhin rund 3,5 Mio t SKE aus, die beim Raffinerieprozess im Ausland verbraucht wurden.

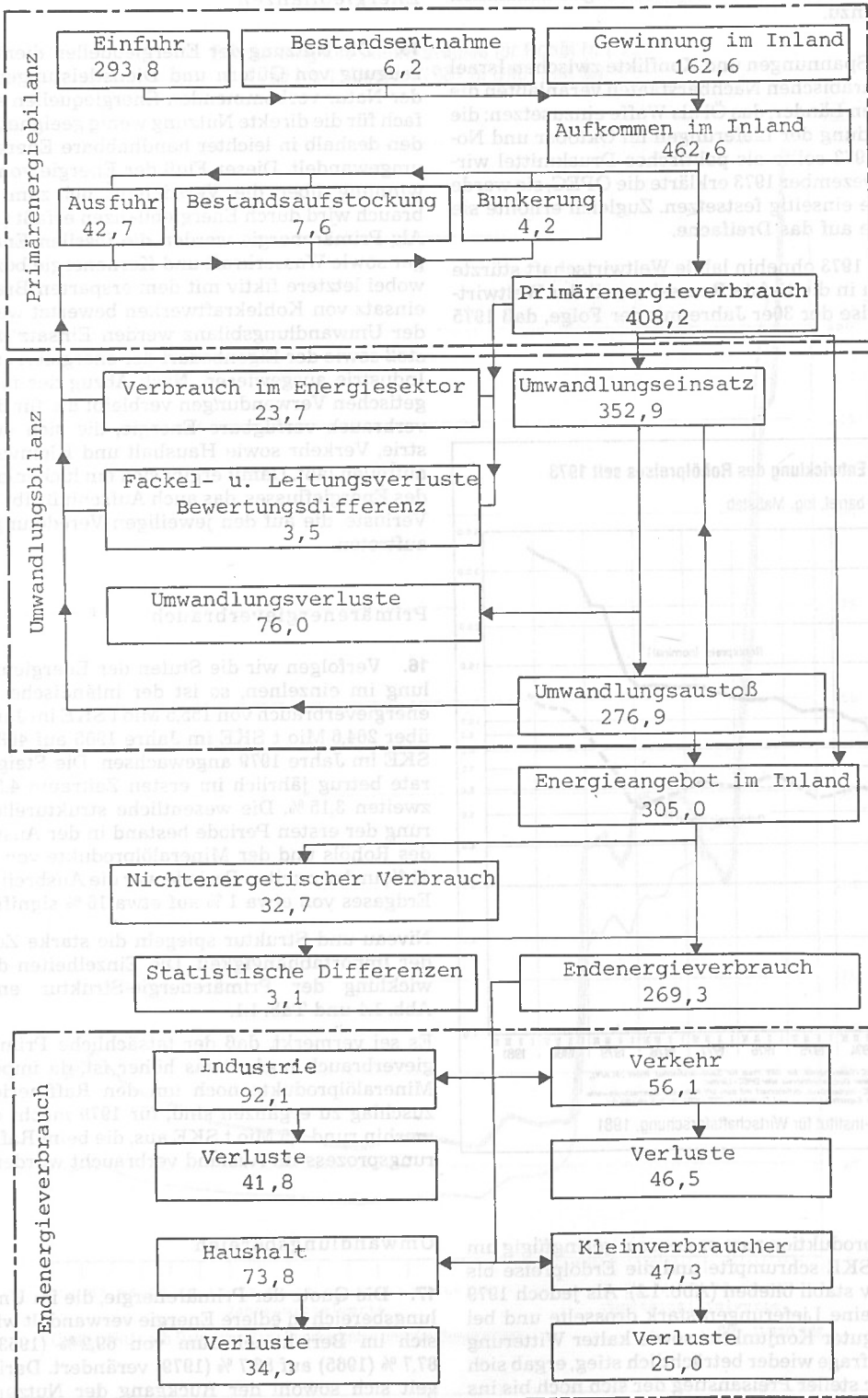
### Umwandlungsbereich

17. Die Quote der Primärenergie, die im Umwandlungsbereich in edlere Energie verwandelt wird, hat sich im Berichtszeitraum von 69,2 % (1953) über 87,7 % (1965) auf 86,7 % (1979) verändert. Darin spiegelt sich sowohl der Rückgang der Nutzung von Kohle beim Endverbrauch als auch der wachsende Einsatz des Rohöls, das vollständig in Raffinerien

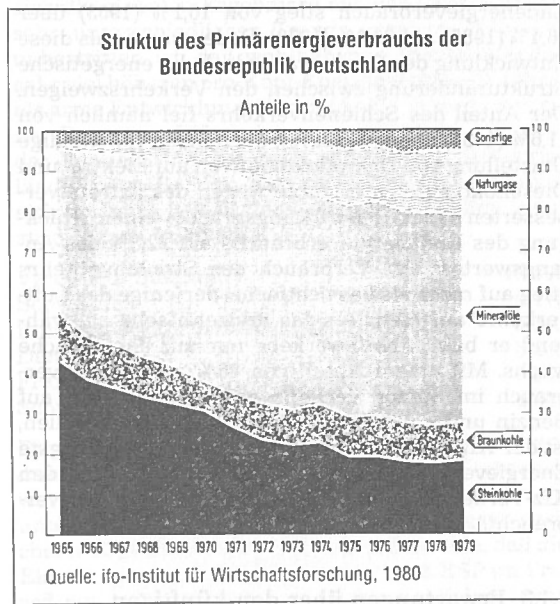
Abb. 1.3

### Energiebilanz der Bundesrepublik Deutschland 1979

Angaben in 1000 t SKE



Quelle: SCHÄFER, 1980, verändert, Verlustangabe nach RWE



weiterverarbeitet wird. In der gleichen Zeit stieg der Energieeinsatz der fossil befeuerten Kraftwerke von 28,8 über 56,4 auf 100,4 Mio t SKE; zugleich erhöhte sich die Quote am inländischen Primärenergieeinsatz von 18,5 % über 21,3 % auf 22,8 %, obwohl der thermische Bruttowirkungsgrad von 23,4 % über 34,2 % auf 38,1 % wesentlich verbessert werden konnte; in dieser Entwicklung kommt die zunehmende Elektrifizierung zum Ausdruck.

Eine tiefgreifende Veränderung erfuhr schließlich auch der nichtenergetische Verbrauch, der von 2,6 über 13,3 auf 32,9 Mio t SKE anstieg. Diese Entwicklung spiegelt vor allem die Entfaltung der Petrochemie wider.

Tab. 1.1

Niveau und Struktur des Primärenergieverbrauchs (PE)

Jahr	PE-Verbrauch im Inland in 1000 t SKE	%		
		Kohle	Mineralöle	Erdgas
1953	155,5	88,6	6,0	0,04
1965	264,6	54,6	40,9	0,94
1979	408,2	27,9	50,4	15,9

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

### Endenergieverbrauch

18. Der Endenergieverbrauch ist von 105,6 Mio t SKE (1953) über 184,2 Mio t SKE (1965) auf 269,3 Mio t SKE (1979) angewachsen, wobei der Anteil des Industriesektors von ca. 46 % im Jahre 1953 auf ca. 34 % im Jahre 1979 sank (Tab. 1.2).

19. Auch die Verbrauchsstrukturen in den einzelnen Sektoren sind für die nachfolgenden umweltpo-

Endenergieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland und in der Industrie allein

Jahr	Endenergieverbrauch Mio t SKE	Industrie	
		Mio t SKE	%
1953	105,6	48,6	46,0
1965	184,2	78,7	42,7
1979	269,3	92,1	34,2

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

litischen Fragen von besonderem Interesse. So hat sich in der betrachteten Zeitspanne von 1953 bis 1979 die industrielle Energieträgerstruktur stark gewandelt. Waren 1953 noch 71 % der Energieträger feste Brennstoffe, so ist ihr Anteil auf 18,6 % im Jahre 1979 gesunken. Demgegenüber ist der relative Gasverbrauch um mehr als 50 % gestiegen, der relative Stromverbrauch hat sich mehr als verdoppelt. Bereits im Jahre 1965 hatte sich der Anteil des Heizöls an der industriellen Energieträgerstruktur von knapp über 1 % (1953) auf über 31 % vervielfacht und ist seitdem relativ konstant geblieben.

20. Die Aufteilung des Energieverbrauchs auf die verschiedenen Industriegruppen hat sich im Betrachtungszeitraum nur wenig verändert (Tab. 1.3). Absolut größter Energieverbraucher ist mit leicht abnehmender Tendenz nach wie vor die Grundstoff- und Produktionsgüterindustrie.

Tab. 1.3

Anteile der Industriesektoren am Endenergieverbrauch der Industrie

Industriesektor	1953	1965	1979
	%		
Nahrungs- und Genußmittel .	7,5	6,3	7,0
Verbrauchsgüter . . . . .	10,5	9,2	9,7
Investitionsgüter . . . . .	7,2	10,2	12,4
Grundstoff- und Produktionsgüter . . . . .	73,3	73,1	70,1
Nichtkohlebergbau . . . . .	1,5	1,3	0,8

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

21. Die dominierende Verwendungsart der Energie im industriellen Bereich liegt in der Erzeugung von Prozeßwärme (80%). 11,5% der eingesetzten Energie werden für die Erzeugung von Licht und Kraft verwendet und 8,5% fließen in die Raumheizung. Von dem Prozeßwärmebedarf entfallen 20% auf den Temperaturbereich bis 200 °C, 30% auf den Bereich von 200 bis 950 °C und 50% auf den Temperaturbereich von 950 °C bis 1 700 °C.

### Haushalt und Kleinverbrauch

22. Lange Zeit wurden die Sektoren Haushalte und Kleinverbrauch zusammen erfaßt; damit geht der

Blick dafür verloren, daß wichtige Teilbereiche eine von den privaten Haushalten stark abweichende Struktur aufweisen; dazu gehören insbesondere Landwirtschaft, Handwerk und Handel.

23. Die Landwirtschaft hatte im Wirtschaftsjahr 1977/78 mit einem Energieverbrauch von 5,4 Mio t SKE einen Anteil von knapp 6% am Sektor Haushalte und Kleinverbrauch. Leichtes Heizöl macht den größten Anteil aus; die wichtigste Strukturänderung ist jedoch der steigende Stromeinsatz (Wachstumsrate 1960/61 bis 1977/78, 7,7% pro Jahr). Der Handwerksbereich hatte 1974 einen Anteil von 9,3% am Endenergieverbrauch des Sektors Haushalte und Kleinverbrauch, wobei knapp die Hälfte auf das Bau- und Ausbaugewerbe und gut ein Viertel auf die Nahrungsmittelhandwerke entfielen. Der Handelsbereich hatte 1973 mit einem Endenergieverbrauch von rund 5,8 Mio t SKE einen Anteil von 6,5% am Bereich Haushalte und Kleinverbrauch.

24. Der Anteil des Sektors Haushalt und Kleinverbrauch am Endenergieverbrauch entwickelte sich von 34,9% (1953) über 38,7% (1965) auf 43,7% (1979), wobei die Steigerung nicht ausschließlich von den privaten Haushalten ausgeht. Deren Anteil am ganzen Sektor fiel von 64,5% (1970) auf 62,9% (1977), so daß er bezogen auf den gesamten Endenergieverbrauch derzeit etwa 27% beträgt.

Die Energieträgerstruktur der privaten Haushalte hat sich von den festen Brennstoffen weg zu Heizöl, Gas und Strom entwickelt, die 1979 zusammen rund 88% des Endenergieverbrauchs in diesem Bereich deckten. Der Anteil des Endenergiebedarfs für Heizung und Warmwasserzubereitung wird wiederum auf etwa 90% geschätzt, so daß insgesamt 24% des gesamten Endenergiebedarfs für private „Niedertemperatur-Zwecke“ eingesetzt werden. Die Entwicklung der Beheizungsstruktur ist aus Tab. 1.4 er-

Tab. 1.4

**Beheizungsstruktur in der Bundesrepublik Deutschland**

Energieträger	Anteil der Wohnungen (i. v. H.) (beheizt) in den Jahren			
	1960	1970	1975	1978
Kohle.....	83	43	18	13
Heizöl.....	15	45	52	53
Gas.....	1	6	16	19
Fernwärme.....	1	4	8	8
elektrische Energie ..	—	2	6	7

Quelle: KARTTE, PILTZ (1981)

sichtlich. 87% des Endenergiebedarfs für Niedertemperatur-Zwecke entsprechen etwa 60 Mio t SKE leichtem Heizöl, das bedeutet: Rund 36% der Mineralölprodukte werden auf diese Weise verfeuert.

**Verkehr**

25. Der Sektor Verkehr gliedert sich in den Schienen-, Straßen- und Luftverkehr sowie die Küsten-

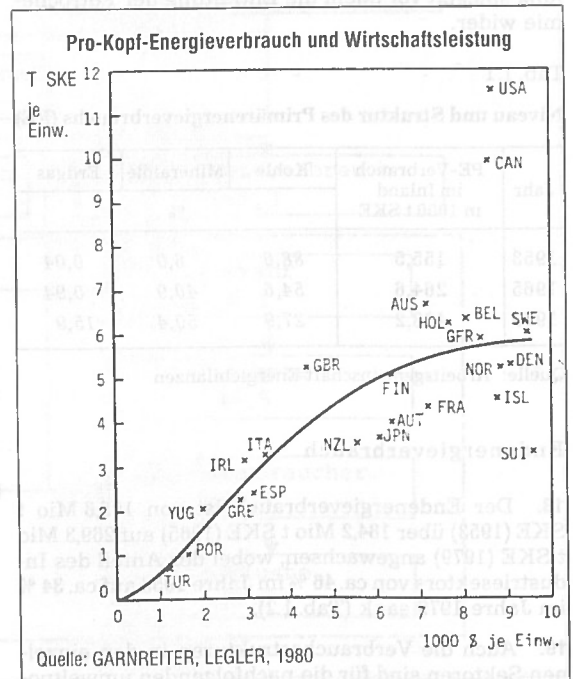
und Binnenschifffahrt. Der Anteil des Verkehrs am Endenergieverbrauch stieg von 16,1% (1953) über 16,4% (1965) auf 20,8% (1979). Bedeutsamer als diese Entwicklung der Quote war jedoch die energetische Strukturänderung zwischen den Verkehrszweigen. Der Anteil des Schienenverkehrs fiel nämlich von 61,6% (1953) auf 4,5% (1979); die nahezu vollständige Umstellung von Dampflokomotiven auf Elektro- und Diesellokomotiven erlaubte wegen des extrem verbesserten Traktionswirkungsgrades einen Rückgang des Endenergieverbrauchs auf 22,3% des Anfangswertes. Der Verbrauch des Straßenverkehrs stieg auf mehr als das achtfache, derjenige des Luftverkehrs auf mehr als das dreizehnfache an, während er beim Schiffsverkehr nur auf das 1,3fache wuchs. Mit einem Anteil von 86% am Energieverbrauch im Sektor Verkehr, wobei knapp 71% auf Benzin und gut 29% auf Dieselkraftstoff entfallen, ist der Kfz-Verkehr dort mit Abstand der wichtigste Energieverbraucher; insgesamt werden durch den Kfz-Verkehr 28% (1979) der Mineralölprodukte verbraucht.

**1.1.3 Erwartungen über den künftigen Energieverbrauch**

**Zusammenhang von Energieverbrauch und Wirtschaftstätigkeit**

26. In den 60er Jahren verlief die Entwicklung des realen Bruttosozialprodukts weitgehend parallel mit dem Primärenergieverbrauch, d. h. der Elastizitätskoeffizient zwischen Primärenergieverbrauch und Bruttosozialprodukt lag nahe 1. Daraus wurde die Erwartung abgeleitet, daß Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum eng gekoppelt seien, obwohl

Abb. 1.5

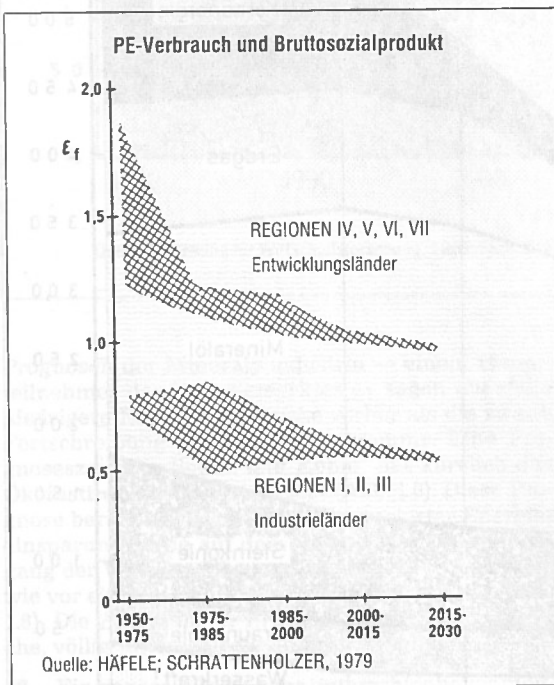


eine genauere Analyse bereits damals zeigte, daß sich die globalen Ergebnisse aus der Überlagerung sehr unterschiedlicher Trends ergaben. Während unbestritten ist, daß wohlhabende Industrieländer sehr viel höheren pro-Kopf-Energieverbrauch haben als arme Entwicklungsländer (Abb. 1.5), kann von einer Proportionalität keineswegs die Rede sein, wie der Vergleich einiger hoch entwickelter Industrieländer zeigt. Der Pro-Kopf Energieverbrauch belief sich im Jahre 1975 in folgenden ausgewählten Industrieländern in kg SKE:

Vereinigte Staaten	10 999
Schweden	6 178
Bundesrepublik Deutschland	5 345
Dänemark	5 268
Frankreich	3 944
Schweiz	3 642

Die Analyse des Verhältnisses von Bruttosozialprodukt (BSP) und Primärenergie(PE)-Verbrauch wurde so zum Anlaß politischer Kontroversen und unterschiedlicher Prognosen. Das wichtigste gesicherte Ergebnis dieser Analysen dürfte sein, daß die Elastizität zwischen PE-Verbrauch und BSP im Prozeß der Industrialisierung sinkt. Als Folge davon dürfte sie für die Entwicklungsländer noch deutlicher über 1 liegen, während sie bei Industrieländern sich auf 0,5 hin entwickelt (Abb. 1.6). Auch wenn die Industrieländer ihren PE-Verbrauch stabilisieren, wird er in den Entwicklungsländern noch lange Zeit erheblich wachsen.

Abb. 1.6



## Nachfrage und Angebot als Bestimmungsgrößen

27. Grundlage einer jeden Schätzung des künftigen Energieverbrauchs ist die Analyse der Nach-

frage und des Angebots. Lange Zeit konnte das Angebot als elastisch angesehen werden, so daß die Nachfrage die bestimmende Größe war. Die Abschätzung der Nachfrage erfolgte aus einer Analyse des Bestandes und des Zuwachses an energieverbrauchenden Aggregaten und war daher eng mit dem Wachstum des Bruttosozialprodukts bzw. den Investitionen in Produktionsanlagen und langfristige Konsumgüter verbunden.

Mit der Ölkrise wurde die Analyse des Angebots wieder zu einem zentralen Bestandteil jeder Energieprognose. Grundlage des Angebots sind die gesicherten Reserven — insbesondere der bereits erschlossene Anteil derselben — sowie die Investitionen für die Erschließung bekannter und für die Suche nach neuen Quellen. Man sieht leicht, daß auf der Angebots- wie auf der Nachfrageseite mehrere wesentliche Variable insbesondere politischer Art unbekannt sind; es versteht sich also von selbst, daß Prognosen voneinander abweichen, da immer wieder unterschiedliche, aber doch plausible Annahmen über wesentliche Einflußgrößen möglich sind.

## Prognosetechnik

28. Die einfachste Methode der Prognose besteht in der Fortschreibung des historischen Trends des Primärenergieverbrauchs; abgesehen davon, daß dieses Verfahren immer wieder versagte, hängt es empfindlich von der gewählten Stützperiode ab. Verlässlicher ist die Bestimmung der Endenergienachfrage auf der Basis der Verbrauchserwartungen der Sektoren, die ihrerseits durch die Ermittlung von Produktion und Einkommen bestimmt wird. Aus der Endenergienachfrage läßt sich dann unter Berücksichtigung der Umwandlungstechnik auf den Primärenergieverbrauch schließen. Abweichende Ergebnisse von Prognosen nach dieser Methode beruhen weitgehend auf unterschiedlichen Annahmen über die Entwicklung von Struktur und Niveau der Wirtschaftstätigkeit. Prognosen dieses Typs können verfeinert werden durch die Berücksichtigung von Einspareffekten, die sich aus Preissteigerungen oder politischen Programmen ergeben, wozu die Preis- und die Einkommenselastizität der Energienachfrage bekannt sein müssen. Schließlich können Niveau und Struktur des so bestimmten Primärenergiebedarfs von der Angebotsseite her auf ihre mögliche Deckung hin überprüft werden; aus auftretenden Diskrepanzen müssen dann Prognosekorrekturen und/oder energiepolitische Strategien abgeleitet werden.

29. Angesichts dieser Unsicherheiten bei der Vorhersage energiewirtschaftlicher Entwicklungen versucht man mit plausiblen alternativen Annahmen über die wichtigsten Einflußgrößen unterschiedliche Szenarien aufzubauen und damit eine systematische Analyse möglicher zukünftiger Entwicklungen zu betreiben. Das Ziel solcher Bemühungen ist nicht primär die Vorhersage der Höhe des künftigen Primärenergieverbrauchs oder des Beitrags einzelner Energiequellen, sondern das Aufzeigen der gegenwärtig zu treffenden Entscheidungen sowie deren



wahrscheinlicher Folgen. In diesem Sinne will auch der Rat seine Überlegungen zum Energieverbrauch verstanden wissen.

tumsverluste als auch die inzwischen erzielten bzw. absehbaren Einsparungen.

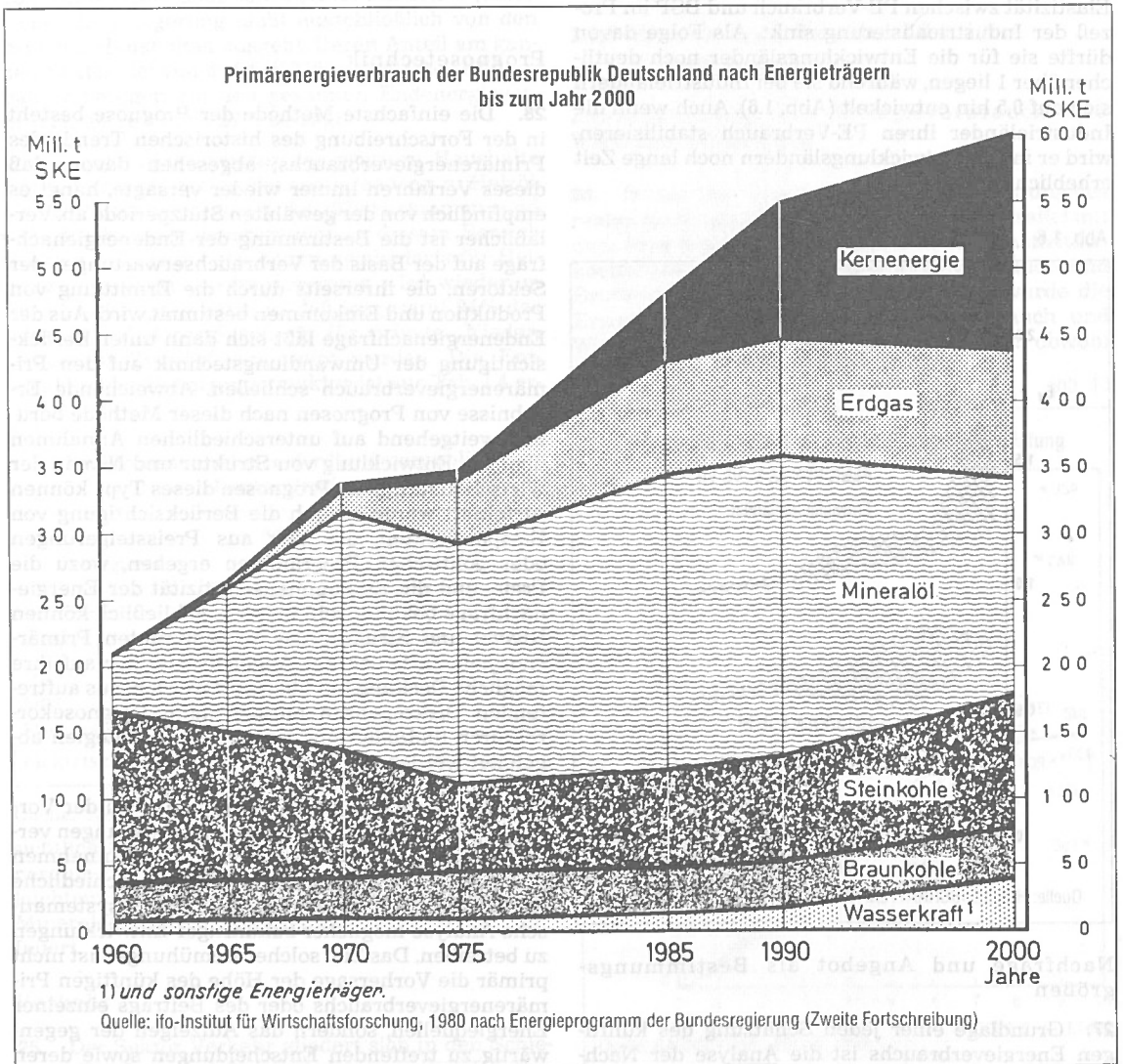
Wichtige andere Prognosen

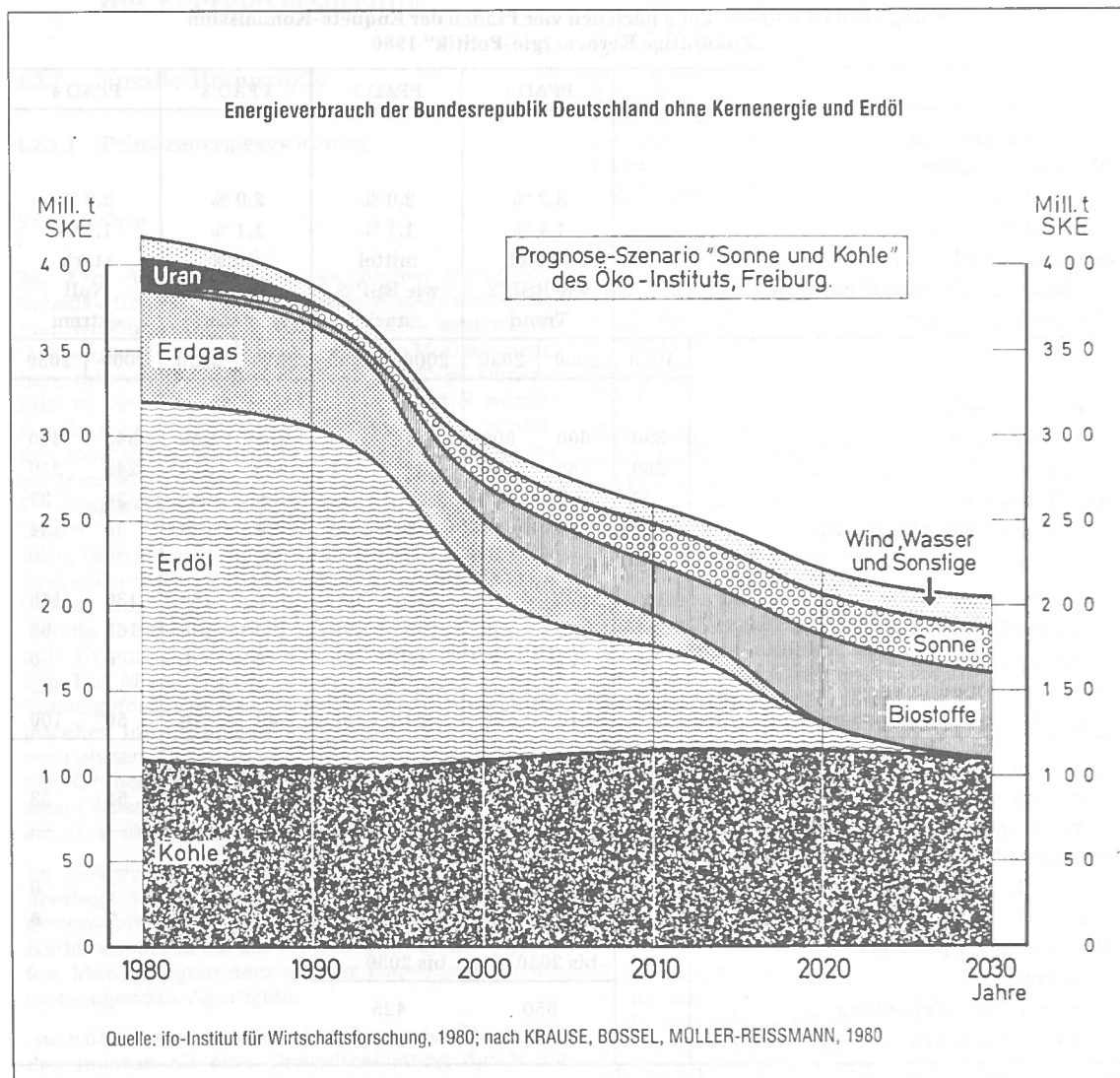
Die Energieprogramme der Bundesrepublik Deutschland

30. Kurz vor der Ölkrise hat die Bundesregierung 1973 ein Energieprogramm vorgelegt, das weitgehend von der Verbrauchsentwicklung der 60er Jahre ausging und hohe Wachstumsraten vorhersagte. Das Programm diente vor allem der Sicherung dieses erwarteten Bedarfs. Nach der Ölkrise wurde 1974 eine erste Fortschreibung und 1977 eine zweite Fortschreibung des Energieprogramms vorgelegt, in denen die Erwartungen hinsichtlich des Verbrauchs in zwei Schritten zurückgenommen wurden; die Korrekturen berücksichtigen sowohl die Wachs-

31. Neben den offiziellen Prognosen (Abb. 1.7) sind zahlreiche andere Prognosen publiziert und in den vergangenen Jahren diskutiert worden. Genannt sei die Prognose im Rahmen des Deutschlandmodells von PESTEL (1980), die eine konsistente Schätzung von Wirtschaftswachstum und Energieverbrauch anstrebt. Sie prognostiziert, bedingt durch ein geringeres wirtschaftliches Wachstum, einen geringeren PE-Verbrauch als die Gemeinschaftsprognose der wirtschaftswissenschaftlichen Institute, die im Energieprogramm der Bundesregierung zugrunde gelegt wird; letztere wäre allerdings bei gleich niedrigem Wachstum sogar noch etwas geringer ausgefallen.

Abb. 1.7





32. Ein ganzes Bündel sehr unterschiedlicher möglicher Entwicklungen des Energieumsatzes hat auch die Enquete-Kommission „Zukünftige Kernenergie-Politik“ unter Zugrundelegung teilweise unterschiedlicher Prämissen vorgelegt. Die Annahmen und Ergebnisse dieser vier „energiepolitischen Pfade“ sind in Tabelle 1.5 zusammengefaßt. Vor allem

unterscheiden sich die Prognosen hinsichtlich des Wirtschaftswachstums, des wirtschaftlichen und des industriellen Strukturwandels sowie bezüglich der unterstellten Anstrengungen zur Energieeinsparung. Da diese Variablen zumindest zum Teil politisch beeinflusst werden, handelt es sich bei den von der Enquete-Kommission vorgelegten Ergebnissen eher um Projektionen als um Prognosen.

33. Insgesamt wird deutlich, daß sowohl die Struktur als auch das Niveau des Energieangebots bzw. der -nachfrage einen erheblichen Variationsspielraum aufweisen, der größenordnungsmäßig von der Prognose der Zweiten Fortschreibung des Energieprogramms bis zum Prognose-Szenario des Öko-Instituts reicht. Die Variationsspielräume der prognostizierten Energiestrukturen deuten auf erhebliche energie- und umweltpolitische Handlungsspielräume hin, die politische Handlungsmöglichkeiten eröffnen und damit auch einen Handlungsbedarf begründen.



Tab. 1.5

**Energiebedarf und -deckung nach den vier Pfaden der Enquête-Kommission  
„Zukünftige Kernenergie-Politik“ 1980**

		PFAD 1		PFAD 2		PFAD 3		PFAD 4			
<b>Charakterisierung</b>											
<b>Wirtschaftswachstum</b>											
— vor 2000 .....		3,3 %		2,0 %		2,0 %		2,0 %			
— nach 2000 .....		1,4 %		1,1 %		1,1 %		1,1 %			
Strukturwandel .....		mittel		mittel		stark		stark			
Wachstum der Grundstoffindustrie .....		wie BSP/2		wie BSP/2		Null		Null			
Energieeinsparungen .....		Trend		stark		sehr stark		extrem			
		1978	2000	2030	2000	2030	2000	2030	2000	2030	
<b>Nachfrageseite</b>											
Primärenergiebedarf .....		390	600	800	445	550	375	360	345	310	
Energiebedarf .....		260	365	446	298	317	265	250	245	210	
Strombedarf <sup>1)</sup> .....		36	92	124	47	57	39	42	36	37	
Nichtenergetischer Verbrauch .....		32	50	67	43	52	34	34	34	34	
<b>Angebotsseite</b>											
Stein- und Braunkohle .....		105	175	210	145	160	145	160	130	145	
Erdöl und Erdgas .....		265	250	250	190	130	190	130	165	65	
Kernenergie in GWe .....		10	77	165	40	120	0	0	0	0	
— davon Brutreaktoren .....		—	—	84	—	54	—	—	—	—	
Regenerative Energiequellen .....		8	40	50	40	50	40	70	50	100	
<b>Sonstiges</b>											
Kohleverstromung .....		65	80	80	29	22	76	77	52	33	
Synthetisches Erdgas aus Kohle .....		—	18	50	18	56	—	—	—	—	
<b>Stromanteil in %</b>											
— an der Raumwärme .....		3	14	17	5	7	3	2	2	0	
— an der Prozeßwärme .....		7	19	17	8	8	8	8	7	6	
<b>Natururanbedarf in 1 000 t</b>											
kumuliert											
— ohne Wiederaufarbeitung .....				650		425					
— mit Brutreaktoren .....				390		255					

<sup>1)</sup> Der Strombedarf bezieht sich auf den Endenergiebedarf an Strom, nicht auf die Bruttostromerzeugung. Er ist hier in Millionen t SKE angegeben. 1 Million t SKE Strombedarf entspricht 8,13 TWh.  
Quelle: BT-Drucksache 8/4341

## 1.2 Umweltbelastungen durch die Energieversorgung

### 1.2.1 Fossile Brennstoffe

#### 1.2.1.1 Primärenergiegewinnung

##### Steinkohle

34. Der Abbaubetrieb in 44 Zechen verursacht Schadstoffemissionen in Luft und Wasser sowie Lärmentwicklung. Beim Abbau der Kohle auftretende Grubengase, die im wesentlichen aus Methan bestehen, müssen abgeführt werden, um Explosionsgefahr zu verhindern. Zu etwa einem Drittel werden sie abgesaugt, wobei gut die Hälfte des freiwerdenden Methans erfaßt und zum Teil der Wärmezeugung zugeführt wird. Die anderen zwei Drittel des Grubengases werden über die Klimatisierung der Grube im „Wetterstrom“ in die Atmosphäre abgeführt (durchschnittlicher Methangehalt etwa 0,4%). In die Grube dringt in erheblichem Umfang Grubenwasser ein, das je nach Herkunft unterschiedliche Anteile an Salzen, vorwiegend Kochsalz (NaCl), enthält. Es muß gesammelt und zu Tage gepumpt werden. Der Mengenanfall beträgt im Mittel 2,03 m<sup>3</sup> je Tonne geförderter Kohle. Der Aufschluß neuer Kohlezechen im nördlichen Ruhrgebiet wird zu einem vermehrten Zufluß salzhaltiger Grubenwässer führen. Grubenwässer sind im Sinne der bundesdeutschen Wassergesetzgebung keine Abwässer, solange sie nicht übertage genutzt werden.

Im Rahmen der Steinkohleförderung wird Lärm übertage durch Maschinen aller Art, wie z. B. Fördermaschinen, Grubenlüfter, Kompressoren und Kältemaschinen für die Wetterkühlung hervorgerufen. Man begegnet dem mit der Kapselung der lärmzerzeugenden Aggregate.

Auch die im Bergbaubetrieb auftretenden Bergschäden müssen als eine Umweltbelastung durch die Kohleförderung angesehen werden.

35. Das Fördergut enthält neben Kohle auch sogenannte „Berge“ und Verwachsenes, erst die Aufbereitung führt zu einem marktfähigen Erzeugnis. In den Aufbereitungsanlagen kann an zahlreichen Stellen staubhaltige Luft auftreten: überall wo trockenes Haufwerk rutscht, gefördert oder gestapelt wird, wo Kohle, Zwischengut und Berge zerkleinert werden, beim Windsichten und bei der thermischen Trocknung von Schlamm und Feinkohle. Die Abluft wird in Abschneidern gereinigt.

*Als Stand der Technik gibt der Entwurf der VDI-Richtlinie 2293 an, daß bei Neuanlagen für das Reingas aus der Raumluft- und Sichtluftentstaubung ein höchster Staubgehalt von 75 mg/m<sup>3</sup> und für das Reingas aus der Brüdenentstaubung von 150 mg/m<sup>3</sup> im Dauerbetrieb eingehalten werden kann. Die tatsächlichen Emissionswerte von Neuanlagen werden allerdings als niedriger liegend beschrieben (EISENHUT, 1979). Bei einer typischen, neu errichteten Aufbereitungsanlage mit 700 t/h Durchsatz, wie sie von der VDI-Richtlinie beispielhaft angeführt wird, ist nach den*

*Emissionswerten der VDI-Richtlinie eine Gesamtstaubemission von knapp 22 kg/h zu erwarten, entsprechend 31 g je Tonne durchgesetzter Steinkohle. Dieser Stand genügt allerdings nicht den Anforderungen von Nr. 2.3.3.2 der TA Luft 1974, der auch Kohleaufbereitungsanlagen unterliegen. Danach darf auch die Staub-Massenkonzentration im Reingas der Brüdenentstaubung 75 mg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten, wenn der Staub-Massenstrom 3 kg/h überschreitet. Aus der Beispielanlage ist folglich nur eine Staubemission von 18 kg/h zulässig, entsprechend 26 g je Tonne durchgesetzter Steinkohle.*

36. Das Brauchwasser einer Kohle-Aufbereitungsanlage wird in der Regel unter Zwischenschaltung von Kläreinrichtungen zur Abscheidung der Feststoffanteile im Kreis geführt. Frischwasser wird dem Kreislauf zugeführt und gereinigtes Waschwasser in geringen Mengen abgegeben, um ein zu starkes Aufsalzen des Waschwassers zu verhindern.

Der Anteil von Fein- und Feinstkorn in der Kohle wird durch Verstärkung der Abbaumechanisierung und durch Einschränkung der Ballastkohlenproduktion zunehmen. Das führt zu vermehrter Anwendung von Feinstkornsortierverfahren mit der Tendenz zu höherem Energieaufwand.

Vermehrt werden künftig Rohkohlenmischschläger u. a. zur Vergleichmäßigung des Schwefelgehalts von Kraftwerkskohlen durch Mischung angelegt. Der Bergbau geht davon aus, daß eine vollkommene Überdachung dieser Läger nur in unmittelbarer Nachbarschaft von Wohnbebauungen notwendig ist.

37. Der Anteil der bei der Aufarbeitung anfallenden „Waschberge“ ist mit 43,7% der Gesamtförderung sehr hoch. Nur 10% werden als Versatz in die Gruben zurückgeführt, weitere 30% der Waschberge werden als Schüttgut genutzt und 60% werden auf Halde gekippt.

Flächen, auf denen eine Berghalde liegt, lassen sich nicht mehr hochwertig nutzen. Sie müssen daher klein gehalten werden. Üblich sind Haldenflächen von 30 bis 50 ha mit Aufschüttungshöhen von 100 bis 140 m (RICK, 1974). Das Platzangebot im Ruhrgebiet wird hierbei möglicherweise bald nicht mehr ausreichen.

38. Neben Bergehalden ist bei der Umweltbelastung auch an Kohle- und Kokshalden zu denken: 1975 lagerten 6,4 Mio t Steinkohle, 7,9 Mio t Steinkohlenkoks und 30 000 t Steinkohlenbrikett, die nicht abgesetzt werden konnten. Außerdem haben Zechen und Kraftwerke in der Regel Misch- und Vorratsläger.

39. Staubförmige Emissionen von Halden treten auf beim Auffüllen, durch Abwehung und bei Wiederaufnahme des aufgehaldeten Guts. Die Staubemission bei Auffüllung und Wiederaufnahme wird durch besondere Fördermittel — und bei ungewöhnlich trockener, staubender Feinkohle durch Wasserberieselung — niedrig gehalten. Haldenabwehungen wird durch bepflanzte Wälle, Beregnen und — bei Bergehalden — Begrünung sowie bei Feinkohlenhalden durch Besprühen mit Chemikalien begeg-

net. Schwelherde und Brandnester mit den daraus entstehenden Emissionen sind Folgen fehlerhafter Einlagerung (EISENHUT, 1979).

## Braunkohle

40. Im dichtbesiedelten Gebiet (410 Einwohner/km<sup>2</sup>) des rheinischen Braunkohlenreviers — eine Fläche von 2 500 km<sup>2</sup> zwischen Köln, Aachen und Düsseldorf — mit stark genutzten, hochwertigen landwirtschaftlichen Flächen und einem dichten Netz von Verkehrswegen und Wasserläufen bedeuten die Abbaumaßnahmen einen tiefen Eingriff in die Umwelt. Die Abstimmung mit den langfristigen Zielen der Landesplanung im Hinblick auf Umsiedlung von Ortschaften, Verlegung von Verkehrswegen, Rekultivierung und Landschaftsgestaltung verlangt eine Konzentration auf wenige große Tagebaue. Aber auch rein technisch-wirtschaftliche Gründe haben die Konzentration auf heute fünf Tagebaue begünstigt; so macht allein der Aufwand für die Bewegung des sogenannten Böschungsabbaus zur Herstellung standsicherer Böschungen eine bestimmte Mindestgröße des Abbaufeldes erforderlich.

41. Der Abbau erfolgte zunächst in Flözen mit geringer Abraumberdeckung und Mächtigkeiten von bis zu 100 m. Das Verhältnis des wegzuschaffenden Abbaus zur Menge der geförderten Kohle war bis etwa 1955 kleiner als 1 m<sup>3</sup> Abraum pro 1 t Kohle. Danach mußten die in größere Tiefen — bis zu 350 m — unter dem Grundwasserspiegel liegenden Flöze angegangen werden. Das Abraum-Kohle-Verhältnis verschlechtert sich auf zunächst 2 m<sup>3</sup>: 1 t und derzeit 3 m<sup>3</sup>: 1 t. Bei den im Jahre 2000 noch weitergeführten oder neu aufgeschlossenen Tagebauen bis zu einer Tiefe von 470 m wird mit einem durchschnittlichen Abraum-Kohle-Verhältnis von 5 m<sup>3</sup>: 1 t gerechnet. Die Wirtschaftlichkeitsgrenze bei heutigen Energiepreisen wird bei etwa 10 m<sup>3</sup>: 1 t gesehen (LEUSCHNER, 1980).

42. Neben der Notwendigkeit, immer größere Deckschichten über der Kohle abzuräumen, ergab sich mit zunehmender Tiefe der Abbaufelder der Zwang, den Grundwasserspiegel bis unter die tiefste Abbausohle abzusenken und Grundwasserzuflüsse am Tagebaurand abzufangen. Das erfolgt über Galerien von Vertikalfilterbrunnen am Tagebaurand, die mit Hilfe von Tauchmotorpumpen das Grundwasser auf die erforderliche Tiefe absenken. In den vergangenen fünf Jahren wurden im Mittel  $1,2 \cdot 10^9$  m<sup>3</sup>/a Wasser aus 900 Brunnen gehoben. Für das Wasser-Kohle-Verhältnis eines Mitte der 50er Jahre aufgeschlossenen Tagebaus wird als ein ungünstigstes Jahresmittel ein Wert von 16 m<sup>3</sup>: 1 t angegeben (GOEDECKE, KÖNIGS, 1979). Die anfallenden Wassermengen werden, soweit im Revier Bedarf ist, zur öffentlichen und industriellen Versorgung herangezogen.

43. Die Grundwasserabsenkung wirkt sich in der Umgebung der Tagebaue aus. So können Brunnen der öffentlichen und privaten Wasserversorgung

trocken fallen. Bodensenkungen durch das Zusammendrücken der entwässerten Lockergesteine und dadurch Bergschäden an Gebäuden und Verkehrswegen sind möglich. Das Ausbleiben nennenswerter Ertragsminderungen bei Kulturpflanzen wird mit dem Hinweis auf die Tatsache erklärt, daß auf 95% der Fläche des Reviers der Grundwasserspiegel ohnehin 5 m unter der Fluroberfläche liegt (LEUSCHNER, 1980 a).

44. Die Nachbarschaft von Tagebauen ist mitunter von Staub- und Lärmimmissionen betroffen. Begrünung und Versiegelung der freigelegten Flächen vermindern die Staubbildung, Wasser-Bedüngungen im Bereich des Schaufelbaggerades und an den Transportbandübergaben sollen Staub niederschlagen. Wasserscheier, bepflanzte Schutzwälle oder Schutzpflanzungen am Rande des Tagebaus schränken die Staubaubreitung ein.

Hauptschallquelle eines Tagebaus sind die Bandstrecken. Lärmtechnisch optimierte Bauteile und Lärmschutzwände schränken die Lärmimmissionen ein.

45. Die Tagebautechnik nimmt große Wirtschaftsflächen in Anspruch. Das vor wenigen Jahren aufgeschlossene Abbaugelände Hambach I umfaßt eine Fläche von 6,54 km<sup>2</sup>. Gesetzliche Bestimmungen verlangen nach Ausbeutung eines Tagebaus die Rekultivierung der Landschaft. Die Abbaufolge der Tagebaue muß dazu so gesteuert werden, daß mit den bei Aufschluß neuer Tagebaue bewegten Erdmassen die Resträume auslaufender verfüllt werden können. Seit Beginn der Braunkohlenförderung im Rheinland hat der Bergbau rund 188 km<sup>2</sup> Land in Anspruch genommen; davon wurden bisher 127 km<sup>2</sup> wieder nutzbar gemacht, und zwar zu 44% forstwirtschaftlich und zu 43% landwirtschaftlich, 13% entfallen auf neue Verkehrswege, Siedlungen und Seen. Zum Teil ist neues Erholungsgebiet geschaffen worden.

## Erdöl, Erdgas

46. Das bei Bohrungen und bei Erdölgewinnung in großen Mengen anfallende meist salzhaltige Wasser wird in Tanks gesammelt und über Versenkbrunnen wieder in Lagerstätten zur Erhöhung ihrer Ergiebigkeit eingepreßt, zum Teil aber auch an die Industrie zur Weiterverwertung abgegeben. Bohrrückstände, ölverschmutzter Sand und Restöle werden in Zentraldeponien gesammelt. Sie werden von der Menge her nicht als Problem gewertet.

47. Die Emissionssituation ist bei Bohren, Fördern und Aufbereiten gekennzeichnet durch eine beachtliche Lärmerzeugung aus Aggregaten, die häufig nicht vollständig gekapselt werden können. Zum Schutz der nicht selten in großer Nähe wohnenden Nachbarschaft sind Lärmschutzmaßnahmen erforderlich. Bei den stofflichen Emissionen überwiegen die SO<sub>2</sub>-Emissionen aus den Energieerzeugern der Anlagenperipherie bzw. bei den Erdgasaufbereitungsanlagen aus der Nachverbrennung hinter der Erdgas-Entschwefelungsanlage. Die Möglichkeit ei-

ner Emission von Schwefelwasserstoff bei der Förderung und Aufbereitung von Erdgas wird dank mehrfacher Auslegung gegen Lecks und Störanfälle von der Industrie ausgeschlossen.

Die einzelnen Verfahrensschritte von der Suchbohrung bis zur Aufbereitung stellen sich wie folgt dar:

#### a) Bohrung

48. Im Jahr 1978 betrug die Bohrmeterleistung der deutschen Erdöl- und Erdgasgewinnungsindustrie 264 272 m. Gut ein Drittel der Bohrungen dienen dem Aufschluß — wobei nur jede zehnte fündig wird — und zwei Drittel der Entwicklung von Lagerstätten. Reibungen mit anderen Grundstücksnutzungen oder Belangen des Naturschutzes sind mitunter nicht zu vermeiden.

49. Es müssen ein kontrollierter Abfluß des Lagerstätteninhalts und der Schutz der höher liegenden Grundwasserschichten gewährleistet sein. Man erreicht dies durch Druckstabilisierung mit Hilfe der Spülflüssigkeit — in der Regel einer wäßrigen Tonlösung mit gelegentlichem Chemikaliensatz, die auch den Meißel kühlt und das Bohrklein hochschwemmt — sowie durch Verrohrung und Zementierung des Bohrlochs. Die Spülflüssigkeit wird aus Ersparnisgründen im Kreislauf gefahren, Überschüssiges wird zusammen mit erbohrtem Gestein in Spülsammelstellen (Zentraldeponien) gegeben. Reste aus der selten angewandten Ölpülung werden letztlich zusammen mit weiteren Restölen gesondert in zentralen Deponien gelagert. Neue Verfahren der Entsorgung werden entwickelt. Die geförderte Flüssigkeit (Salzwasser, Öl und Sand) wird in Tanks aufgefangen und zur Weiterverarbeitung oder Entsorgung weitergeleitet; zufließendes Erdgas wird abgefackelt. Die Vermeidung von H<sub>2</sub>S-Emissionen sollen besondere Schutzmaßnahmen gewährleisten. Die Eindämmung der Geräusche des Bohrtriebs, darunter die der Antriebsmotoren, ist ein nicht überall gelöstes Problem.

#### b) Ölförderung

50. Bei der Primärförderung treibt der Lagerstättendruck das Öl zur Förderbohrung. Reicht er nicht aus, werden Förderpumpen eingesetzt. Aus deutschen Lagerstätten können so 10 % des vorhandenen Öls gewonnen werden. Durch Einpressen von Wasser oder von Erdgas oder oft auch von beidem kann der Lagerstättendruck gesteigert werden. Mit solchen Sekundärverfahren rechnet man weitere 20 % fördern zu können. Etwa 75 % der deutschen Förderung wird durch Wasserfluten gewonnen; das geförderte Naßöl enthält durchschnittlich 87 % Wasser.

Durch Einpressen von Heißdampf (Dampfpluten) und durch andere „tertiäre“ Gewinnungsverfahren (Feuerfluten, Mischphasenfluten, Tensidfluten, Polymerfluten und Alkalifluten) erwartet man, die Gesamtentölung der Lagerstätten auf 40—45 % des Ölinhalts steigern und bisher nicht nutzbare Schwerölvorkommen mit erhöhtem Energieeinsatz gewinnbar machen zu können.

#### c) Ölaufbereitung

51. Das geförderte Naßöl ist zur Weiterverarbeitung in der Raffinerie noch nicht geeignet. Es muß von Erdölgas, Wasser, Salz und Sand gereinigt werden. Das in Vorabscheidern, Absetztanks und elektrischer Entsalzung gereinigte Öl wird in Tanks gefüllt und geht zur Raffinerie. Das mitgeförderte Lagerstättenwasser wird nach Durchlaufen von Klärtanks und Kiesfiltern in Öllagerstätten verpreßt. Die abgeschiedenen Feststoffe gelangen zur Deponie.

#### d) Gasförderung

52. Die Zuflußbedingungen in den Lagerstätten sind in der Regel so, daß das Gas eruptiv zur Förder-sonde strömt. Reicht der Druck für eine eruptive Förderung nicht aus, können Kompressoren über Tage eingesetzt werden. Zur Ausbeute von bisher wegen undurchlässiger Schichten in großen Tiefen nicht wirtschaftlich gewinnbaren Erdgaslagern ist inzwischen mit dem Frac-Verfahren eine Stimulationstechnik entwickelt worden.

#### e) Gasaufbereitung

53. Zu den Aufbereitungsanlagen auf Erdgassondenplätzen gehören unter anderem Einrichtungen zur Reinigung, Kühlung oder Aufheizung und Trocknung. Insbesondere aber müssen den „sauren“, d. h. Schwefelwasserstoff enthaltenden Gasen — das sind 60 % der deutschen Erdgase — in Aufbereitungsanlagen die Schwefelverbindungen entzogen werden. Das geschieht zu über 99 %, wobei in „Clausanlagen“ mit einem Umsetzungsgrad von 97 % elementarer Schwefel erzeugt wird, der in der Industrie Verwendung findet. Das Abgas der Clausanlagen wird der Nachverbrennung zugeführt, in der noch enthaltenes H<sub>2</sub>S in SO<sub>2</sub> umgewandelt wird; es wird anschließend mit den Rauchgasen der Energieerzeugungsanlage über den Schornstein in die Atmosphäre abgeleitet.

#### f) Abwasser

54. Die Entsorgung von Abwasser ist unterschiedlich für Oberflächenwasser, Sanitär- und Gebrauchswasser sowie Abfallwässer aus der Produktion. Letztere werden gesammelt und in Versenkbohrungen ohne Kontakt mit dem Grundwasser verpreßt.

#### 1.2.1.2 Energieumwandlung

55. Soweit fossile Primärenergie einer Umwandlung und nicht dem Endenergieverbrauch zugeführt wurde, entfielen im Jahre 1979 54,5 % auf Raffinerien, 30 % auf Wärmekraftwerke, 12 % auf Kokereien und 1,6 % auf Fernheizwerke und Heizkraftwerke. Kohlevergasung und -verflüssigung werden als zukünftige Technologien in den Kapiteln 1.4.4 und 2.2.1 behandelt.

#### Raffinerien

56. In Mineralölraffinerien werden in verschiedenen Verarbeitungsprozessen aus Rohöl Produkte



wie Benzine, Heizöl, Schmieröle abgetrennt. Dabei wird Energie auf den jeweils angemessenen Temperaturniveau eingesetzt. Abwärme wird mit Kühlwasser, Kühltluft, Rauchgasen und heißen Produktströmen abgegeben.

*Typisch sind Temperaturen von 35 °C beim Kühlwasser, von 90 bis 100 °C bei der Kühltluft und von 200 °C beim Rauchgas. CECH, KÖGL und FRITSCH (1980) geben für eine Raffinerie an, daß 72 % ihrer Abwärme mit Temperaturen unter 100 °C anfallen, 2 % über 400 °C und die restlichen 36 % sich auf den dazwischen liegenden Temperaturbereich verteilen. HÖTTEMANN (1980) rechnet, daß etwa 20 % des Gesamtenergieverbrauchs einer Raffinerie zuletzt als Wärme auf so niedriger Temperatur anfallen, daß eine Verwendung noch nicht wirtschaftlich ist.*

**57.** Raffinerien belasten in gewissem Umfang die Luft mit ihren Emissionen. Entsprechend ihrem hohen Dampfdruck können leichtflüchtige Stoffe aus Leckagen, bei der Mischung von Produkten durch Lufteinblasen sowie aus Lagertanks und Transportbehältern von Rohölen und niedrigsiedenden Zwischenprodukten an die Umgebungsluft abgegeben werden.

**58.** Schwefeldioxid wird von den Feuerungsanlagen der Raffinerien und von den Entschwefelungsanlagen nachgeschalteter Claus- und Schwefelsäure-Anlagen ausgeworfen. Schwefelwasserstoff entsteht insbesondere beim Entschwefeln von Produkten mit Wasserstoff. ECKE und DREYHAUPT (1977) haben für eine Raffinerie des technischen Standes von 1974 folgende auf die Menge des eingesetzten Rohöls bezogene Emissionen angegeben: organische Gase und Dämpfe insgesamt 590 g/t Rohöl, darunter Benzinkohlenwasserstoffe 330 g/t Rohöl, Schwefelwasserstoff 1 g/t Rohöl. Für die Emission von Schwefeldioxid, die abhängig von eingesetztem Brennstoff und weiteren Betriebsbedingungen stark streut, ergibt sich für dieselbe Anlage ein Wert von 2 kg/t Rohöl. Neuere Daten, die eingeführte Verbesserungen und die gesunkene Auslastung der Raffinerien berücksichtigen, sind nicht veröffentlicht worden.

**59.** An weiteren, sehr geruchsstarken Stoffen werden Merkaptane in die Umgebungsluft abgegeben, die teils im Rohöl schon vorliegen, teils sich erst bei der Verarbeitung bilden. Aus den Regeneratoren katalytischer Crackanlagen kann entstehendes Kohlenmonoxid emittiert werden. Staubbörmige Emissionen können aus Ofen- und Dampfkesselfeuerungen und als Katalysatorstaub aus bestimmten Crackanlagen anfallen. Die Fackel, die nur im Ausnahmefall bei Anfall großer Gasmengen in Betrieb sein soll, ist so ausgebildet, daß auch plötzlich anfallende große Gasmengen rußfrei verbrannt werden können. Der Ausbrenngrad der Raffineriefackel liegt nach neueren Untersuchungen bei 99 % und darüber.

**60.** Hinsichtlich der Wasserreinheit stellen Raffinerien dank deutlicher Anstrengungen der Industrie kein Umweltproblem dar. Die Ölverluste der westeuropäischen Raffinerien mit dem Abwasser konnten schon vor einigen Jahren von 0,0153 % des eingesetzten Rohöls im Jahre 1969 auf 0,0042 % im Jahre 1974 gesenkt werden (CONCAWE, 1977). Eine

etwas ungünstigere Situation bietet sich bei den Altanlagen.

**61.** Lärmemissionen von Raffinerien gehen insbesondere von Verdichtern, Pumpen, Ventilen und Gebläsen aus. Sie werden bekämpft durch Rohrummantelungen, geräuscharme Motoren, Axialventilatoren, Zwangsluftzuführung zu den Öfen und Schalldämpfer an deren Brennern. Durch die unter dem Gesichtspunkt rationeller Energienutzung wünschenswerte Fackelgasrückgewinnung sollte das Lärm emittierende Abfackeln eingeschränkt werden.

## Steinkohlenverkokung

**62.** Die in der Bundesrepublik Deutschland geförderte Steinkohle wird zu 45 % der Verkokung zugeführt. Bei der Verkokung von nach Backvermögen und Blähgrad sowie nach Vorliegen bestimmter Inhaltsstoffe geeigneter, aufbereiteter Kohle werden Koks, Kohlenwertstoffe und Kokereigas (Stadtgas) erzeugt. Der erzeugte Koks wird im wesentlichen von der eisenschaffenden Industrie gebraucht.

Die großtechnische Kokerei ist eine Anlage hohen Flächenbedarfs. Sie besteht aus einem umfangreichen Kohlelager, der Ofenbatterie für die Verkokung der Kohle und einem weiteren, sehr ausgedehnten Anlagenteil für die Aufbereitung des erzeugten Kokereigases. Das bei der thermischen Zersetzung von Steinkohle unter Luftabschluß im Koks-Ofen entstehende Rohgas wird je nach Verwendung gereinigt und aufbereitet (Niederdruck- oder Ferngasqualität). Bei der Kühlung auf 20 bis 30 °C fallen Teer und Kondensate aus. Die restlichen Teerbestandteile sowie Ammoniak, Benzol, Schwefelwasserstoff und andere Inhaltsstoffe — sog. „Kohlenwertstoffe“ — werden auf verschiedenen Waschstufen aus dem Gas herausgezogen und in der Kokerei oder in zentralen Anlagen zu verkaufsfähigen Produkten verarbeitet.

**63.** Neben den Staubemissionen aufgrund des Kohlenumschlags und der Kohlenvorbereitung sowie durch Anlagen zu Kokstransport und -siebung, die eingeschränkt werden durch Anfeuchten der Kohlenhalden und Abdecken der Förderbänder, werden Emissionen von Stäuben, Gasen und teerhaltigen Dämpfen durch die Beschickung der Koksöfen, den Verkokungsvorgang, das Koksdrücken und das Kokslöschen verursacht. Gasförmige Schadstoffe treten während der Verkokung aus undichten Ofentüren, Füllöchern und Steigrohren aus. Die Beheizung der Koksöfen und die Schwefelsäureerzeugung werfen Schwefeloxide aus. Bisher ist es noch nicht gelungen, die Emissionen während der Garungszeit von Koksöfen quantitativ zu erfassen (EISENHUT, 1979). Sie hängen von einer Vielzahl technischer und betrieblicher Gegebenheiten ab, insbesondere auch von Alter und Wartungszustand der Koksöfenanlage. Wegen der Problematik der für einzelne Stoffe- oder Stoffgruppen — darunter besonders die PAH — gültigen Emissionsfaktoren wird auf Kap. 1.2 (Tz. 85 und Tz. 89) verwiesen. Pauschal wird der Staubanfall auf 300 bis 400 g je Tonne Koks geschätzt (FRANCK, KNOP, 1979).

64. Die Feuchtigkeit der Einsatzkohle, Bildungswasser und Prozeßwasser zum Kokslöschen und zur Gasreinigung machen das Abwasser der Kokereien aus. Charakteristische Inhaltsstoffe sind: absetzbare Stoffe, Ammoniak, Phenole und weitere sauerstoffzehrende Verbindungen. Es wird zum Teil im Kreislauf geführt und zum Teil nach Klärung in die Vorfluter abgegeben. Die Klärung umfaßt eine Entpholung, meistens auch eine Entfernung des wasser-dampfflüchtigen Ammoniaks und der leicht freisetzbaren Cyanide und häufig eine biologische Reinigung in Verbandsklärwerken.

## Brikettierung

### a) Steinkohlebrikettierung

65. Um die großen Mengen an Kohlenstaub und Feinkohle, die gerade bei der modernen, maschinellen Gewinnung und Aufbereitung der Mager- und Anthrazitkohle anfallen, als Hausbrand zu vermarkten, müssen sie zu Stücken gepreßt werden. Das Verbrennen pechgebundener Briketts ist im Rahmen der Immissionsschutzgesetzgebung eingeschränkt worden. Die Anstrengungen zur Herstellung raucharmer Steinkohlebriketts sind dagegen im vergangenen Jahrzehnt verstärkt worden. Die Erzeugung von Extrazit und Ancit (Heißbrikettierung) hat zugenommen.

Brikettfabriken emittieren staubhaltige Luft hinter den Trocknern, an Übergabestellen von Fördergut und aus Zerkleinerungs-, Sieb- und Kühlanlagen, vor allem aber staubhaltige Brüden am Trockneraustritt. Der Wasserkreislauf einer Brikettfabrik ist in der Regel geschlossen; Abwasser wird vor Abgabe an den Vorfluter im Absetzbecken geklärt.

### b) Braunkohlebrikettierung, Braunkohlenstauberzeugung

66. Braunkohlebrikettfabriken vereinigen Anlagen zur Aufbereitung, Trocknung, Verpressung und Verladung von Braunkohleprodukten und ein Grubenkraftwerk, das den benötigten Prozeßdampf und Strom erzeugt. Auf Grund dieser Kopplung zeichnet sich der Brikettierungsprozeß durch hohe Energieeffizienz aus. Brikettfabriken emittieren Luftverunreinigungen, Lärm und Abwasser. Vor allem dort, wo Trockenkohle bewegt oder zerkleinert wird, entsteht staubhaltige Luft. Die größten Staubmassenströme treten in den Brüden am Trockneraustritt auf. Lärmquellen in Brikettfabriken sind sämtliche maschinellen Einrichtungen wie Gebläse, Kompressoren, Brikettpressen, die Rinnen, in denen Briketts ruckweise vorgeschoben werden, sowie das LKW- und Eisenbahntransportwesen. Die Abwassermengen und Abwasserqualitäten schwanken stark von Anlage zu Anlage gemäß ihrem technologischen Aufbau.

### 1.2.1.3 Emissionen aus der Verfeuerung fossiler Brennstoffe

67. Aus Verbrennungsanlagen werden zahlreiche Emissionen freigesetzt. Diese sind von der Art des Brennstoffs und von der Feuerungstechnik abhängig, aber auch Größe und Auslastung der Anlagen

können einen maßgeblichen Einfluß haben. Brennstoff- und Betriebsparameter wie

- Art, Herkunft, Heizwert und Zusammensetzung des Brennstoffs bzw.
- Aufbereitung (Sortierung, Mahlung, Aufwärmung), Kessel- und Brennertyp, Temperatur, Druck, Luftüberschuß, Beigabe von Zusatzstoffen

bestimmen den Wirkungsgrad und die Emissionen einer Anlage.

68. Der Ausstoß von Kohlendioxid, Schwefeldioxid, Halogenwasserstoffen und von radioaktiven Teilchen hängt nur von der Zusammensetzung des Brennstoffs ab, abgesehen vom unterschiedlichen Einbindegrad in die Asche oder der Wirksamkeit von Rückhaltemaßnahmen. Zwischen eingesetzten Brennstoffen und Emission besteht bei diesen Komponenten ein linearer Zusammenhang.

69. Der Ausstoß von Kohlenmonoxid (CO), Ruß- und Kohlepartikeln, organischen Gasen und Dämpfen und von Stickstoffoxiden (NO, NO<sub>2</sub>) hängt maßgeblich von den Betriebsparametern ab. Die Bildung von Stickstoffoxiden wird durch Flammentemperatur, Luftüberschuß und Gestaltung des Feuerraumes beeinflusst und nimmt mit der Feuerungsleistung zu, während die anderen Emissionen durch die Unvollständigkeit der Verbrennung bedingt sind, die bei kleineren Anlagen ausgeprägter ist.

70. Der Ausstoß von partikelförmigen Emissionen (Flugasche, Aerosole) aus der Verfeuerung insbesondere fester Brennstoffe sowie die Schwefelwasserstoff-Bildung bei Verwendung schwefelhaltiger Brennstoffe hängen von Brennstoff-Eigenschaften und feuerungstechnischen Bedingungen ab.

### Kohlendioxid CO<sub>2</sub>

71. CO<sub>2</sub> tritt bei der Verbrennung aller Kohlenwasserstoffe enthaltenden Brennstoffe auf. Wegen der besonderen globalen Bedeutung im Zusammenhang mit Klimaveränderungen wird es in Kap. 1.3.4 behandelt. Die CO<sub>2</sub>-Emissionen in der Bundesrepublik Deutschland sind in Tab. 1 des Anhangs aufgeführt.

### Kohlenmonoxid

72. Kohlenmonoxid (CO) fällt im Energieumwandlungs-, Straßen- und Luftverkehrsbereich als Ergebnis unvollständiger Verbrennung an sowie in zahlreichen Prozessen der Grundstoffindustrie als ungenügend nachverbranntes Abgas von Reduktionsvorgängen. Zur Wirkung von CO hat sich der Rat ausführlich geäußert (Umweltgutachten 1978, Tz. 216 ff.).

73. Die Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft vom 28.8.1974 schreibt Beschränkungen der CO-Konzentration im Abgas von Feuerungsanlagen vor. Die CO-Emissionen von Kraftfahrzeugen mit Ottomotoren werden durch die Straßenverkehrszulassungsordnung begrenzt. Die einschlägigen Untersuchungen zeigen jedoch, daß die festgelegten Seriengrenzwerte zum Teil schon bei neuen Fahrzeugen

gen in unzulässigem Ausmaß überschritten werden. Der schlechte Wartungszustand vieler Fahrzeuge bringt eine zusätzliche Verschlechterung der Emissionen mit sich.

#### Stickstoffoxide

74. Je höher die Temperatur im Feuerraum ist, um so mehr Stickstoffoxide werden durch thermische Oxidation des Stickstoffs, der in der Verbrennungsluft wie auch in Kohle und Erdöl enthalten ist, gebildet. Im Rauchgas liegen Stickstoffoxide zu 95 % als NO und zu 5 % als NO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O<sub>4</sub> oder N<sub>2</sub>O<sub>5</sub> vor. Üblicherweise wird die gesamte Stickstoffoxidemission als eine NO<sub>2</sub>-Emission angegeben.

75. Emissionsgrenzwert für Stickstoffoxide sind in der TA Luft vom 28. 8. 1974 nicht enthalten; ihre Festlegung könnte einen wirksamen Anstoß zur verstärkten Entwicklung und Einführung von Minderungsmaßnahmen bedeuten. Die NO<sub>x</sub>-Emissionen für Kraftfahrzeuge mit Ottomotoren werden durch die Straßenverkehrszulassungsordnung (entsprechend der ECE-Regelung Nr. 15) begrenzt. Die Grenzwerte liegen jedoch so hoch, daß selbst die Fahrzeuge der Baujahre vor 1970 die jüngsten, ab 1. 10. 1981 gültigen, Grenzwerte unterschreiten. Die NO<sub>x</sub>-Vorschriften dürften daher kaum eine emissionsmindernde Wirkung haben.

#### Schwefeloxide

76. Schwefel ist je nach Art und Herkunft des Brennstoffs in unterschiedlichen Verbindungen enthalten: Pyrit und Sulfate vor allem in festen, andere anorganische Schwefelverbindungen wie H<sub>2</sub>S, COS und CS<sub>2</sub> in gasförmigen Brennstoffen, während organische Schwefelverbindungen in festen, flüssigen und gasförmigen Brennstoffen vorkommen. Sulfate gelangen im wesentlichen unverändert in die Asche, die anderen Schwefelverbindungen werden bei der Verbrennung in der Regel in Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>), bei Anwesenheit katalytisch wirkender Metalle (z. B. Vanadium im Mineralöl) auch in beträchtlichem Maße in Schwefeltrioxid (SO<sub>3</sub>) überführt. Unter lokalen reduzierenden Bedingungen können sich auch Verbindungen wie H<sub>2</sub>S, COS und andere Sulfide bilden.

77. Vielfach wird durch Aufbereitung der Brennstoffe ihr Schwefelgehalt vermindert. Der wenig mit Kohle und Bergen verwachsene Pyrit (etwa 40 % des gesamten Schwefels) kann durch physikalische Trennmethoden abgetrennt werden. Damit werden auch große Anteile an Asche-, Schwermetall- und Fluoridgehalten abgetrennt. In Koksprodukten verbleiben etwa 50 % des gesamten Schwefels der verkohnten Kohle.

78. Der Schwefel wird — soweit er nicht in die Asche eingebunden wird — im wesentlichen als SO<sub>2</sub>, teils auch als SO<sub>3</sub> freigesetzt. Die Ascheeinbindung spielt nur bei Braunkohle eine wesentliche Rolle, sie schwankt zwischen 10 und 90 % um einen Mittelwert von 50 %, so daß der Schwefel der Steinkohlen und der Heizöle nahezu vollständig als Oxid emittiert wird. Von den 3,6 Millionen t SO<sub>2</sub>, die 1975 emittiert wurden, entfielen 47 % auf Kraftwerke und Fern-

heizwerke und 33 % auf Industrief Feuerungen, der Rest auf Hausbrand und Verkehr; inzwischen hat sich diese Relation — wegen der Entschwefelung von Heizöl EL auf 0,3 % S — noch stärker zu Lasten der großen Feuerungen verschoben.

79. Seit dem 1. 1. 1979 ist auf Grund der 3. Verordnung zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (3. BImSchV) der Schwefelgehalt der Mitteldestillate (Heizöl EL, Dieselkraftstoff) auf 0,3 % begrenzt. Es ist nunmehr auch im großtechnischen Maßstab möglich, die bei höheren Temperaturen siedenden Mineralölkomponenten in die verschiedenen niedriger siedenden Fraktionen nach Bedarf umzuwandeln. Bei diesem Prozeß findet gleichzeitig eine Entschwefelung statt. Aus gasförmigen Brennstoffen werden anorganische Schwefelverbindungen wie H<sub>2</sub>S, COS, CS<sub>2</sub> und organische schwefelhaltige Dämpfe von Merkaptanen, Disulfiden und Thiophenen zur Vermeidung von Geruchsbelästigungen, Korrosion und Ablagerungen entfernt. Die Schwefeldioxidemission bei der Nutzung gasförmiger Brennstoffe ist daher gering.

80. Die TA Luft vom 28. 8. 1974 begrenzt die Emission von Schwefeldioxid im Abgas von Feuerungsanlagen, die mit gasförmigen Brennstoffen gefeuert werden, auf 50 mg/m<sup>3</sup> (Erdgas) bzw. 100 mg/m<sup>3</sup> (Kokereigas), bezogen auf einen Volumengehalt an Sauerstoff von 3 %.

81. Bei festen und flüssigen Brennstoffen sieht die TA Luft 1974 eine unmittelbare Begrenzung der SO<sub>2</sub>-Emissionen nicht vor. Allerdings folgen sie indirekt aus der Begrenzung des Schwefelgehalts auf höchstens 1 % und der Verpflichtung zur Rauchgasentschwefelung für Anlagen einer Feuerungswärmeleistung von 4 TJ/h und mehr. Insbesondere für Steinkohlefeuerung präzisiert der Runderlaß vom 2. 8. 1977 des Ministers für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen die Anforderungen an die Auslegung der Rauchgasentschwefelung dahin, daß die auf die elektrische Kraftwerksleistung bezogene Emission 289 kg/TJ ( $\eta = 0,378$ ) nicht übersteigen darf. Dem entspricht unter durchschnittlichen Betriebsbedingungen ein Emissionskonzentrationsgrenzwert von 850 mg/m<sup>3</sup> bei einem Sauerstoff-Volumengehalt im Abgas von 6 %. Bei der Genehmigung im Lande Nordrhein-Westfalen werden folgende Punkte berücksichtigt:

- Ermittlung der Schornsteinmindesthöhe und Prüfung auf Einhaltung der Immissionswerte im Einwirkungsbereich der Anlage; die vom Antragsteller angegebenen Emissionen werden auf Plausibilität überprüft;
- bei Steinkohlekraftwerken wird zusätzlich die Forderung nach Einhaltung der Emissionsgrenzwerte des Runderlasses vom 2. 8. 1977 gestellt;
- regional werden einschränkende Forderungen hinsichtlich der Brennstoffart oder des Schwefelgehaltes erhoben.

#### Organische Gase und Dämpfe

82. Bei der aus technischen Gründen nur unvollständigen Verbrennung treten vorwiegend Alkene



(Olefine) und gesättigte und ungesättigte Oxidationsprodukte wie Alkanone (Ketone) und Alkanale (Aldehyde), aber auch unveränderte Bestandteile des Brennstoffs wie Benzinkomponenten oder Methan als Emission auf. Dazu gehören auch pyrolytische Zersetzungsprodukte des Brennstoffs, z. B. die polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe; diese wie auch der Ruß werden weiter unten behandelt. Diese Emissionen von organischen Gasen und Dämpfen können durch Anwendung geeigneter Feuerungstechniken vermindert werden.

**83.** Organische Gase und Dämpfe werden üblicherweise mit Summenparametern wie „Gesamt-C“ gekennzeichnet. Es muß jedoch betont werden, daß die Messung des Gesamtkohlenstoffgehalts für Belange des Umweltschutzes allein völlig unzureichend ist. Die organischen Verbindungen sind sehr unterschiedlich toxisch; sie schädigen die stratosphärische Ozonschicht in unterschiedlichem Maße. Die Reaktivitätsgrade der verschiedenen Kohlenwasserstoffe bei der photochemischen Oxidantienbildung unterscheiden sich um bis zu vier Zehnerpotenzen. Seit 1973 treten in der Bundesrepublik Deutschland erhöhte Mengen an Oxidantien in der Luft auf; es handelt sich weit überwiegend um Ozon ( $O_3$ ) neben Peroxiacetylnitrat (PAN), Alkanalen, Salpetersäure, organischen Säuren u. a.

**84.** Die TA Luft vom 28. 8. 1974 ordnet eine Reihe von einzeln aufgeführten, unter Umgebungsbedingungen dampf- oder gasförmigen organischen Verbindungen drei Klassen zu und begrenzt ihre Massenkonzentration im Abgas. Für gasförmige Brennstoffe wird die Emission von Alkanalen (Aldehyden, gerechnet als Formaldehyd) begrenzt. In der „Raffinerie-Richtlinie“ des Landes Nordrhein-Westfalen vom 14. 4. 1975 sind für die Bearbeitung von Genehmigungsanträgen erstmalig Immissionsgrenzwerte für organische Stoffe und Stoffgruppen festgelegt worden. Die Kohlenwasserstoff-Emissionen von Kraftfahrzeugen mit Ottomotoren sind durch die Straßenverkehrszulassungsordnung begrenzt. Auch diese Grenzwerte sind so hoch angesetzt, daß ihre Einwirkung auf die Motorenkonstruktion zweifelhaft erscheint.

Feststoffe, Aerosole, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH), Spurenelemente

**85.** *Feststoffemissionen weisen eine für die Anlage (einschl. Entstaubung) charakteristische Korngrößenverteilung zwischen ca. 0,01 und 2000  $\mu\text{m}$  auf. Emissionen über den ganzen Bereich werden als Gesamtstaub bezeichnet, während der Anteil unter 10  $\mu\text{m}$  Partikeldurchmesser (gem. TA-Luft) oder 7,1  $\mu\text{m}$  aerodynamischem Durchmesser (VDI-Richtlinie 3459) als Feinstaub gilt. Feinstäube mit einem Korngrößenbereich unter 0,2  $\mu\text{m}$  bilden Aerosole, die feinsten Gas/Feststoff-Dispersionen, deren Feststoffgehalt über mehrere Wochen oder sogar über Monate nicht sedimentiert.*

**86.** Mehr als 60 % der Feststoffemissionen aus stationären Quellen in der Bundesrepublik Deutschland sind als Feinstaub einzustufen. Der Staubausschwurf moderner Anlagen, die mit leistungsfähiger Rückhaltetechnik ausgestattet sind, besteht praktisch zu 100 % aus Feinstaub. Kraftfahrzeuge emittieren ausschließlich Feinstaub, z. T. als Aerosol.

**87.** Rauchgase enthalten Feststoffpartikeln verschiedener Herkunft:

- unbrennbare Beimengungen des Brennstoffs
- nicht vollständig ausgebrannte Brennstoffpartikeln
- Zersetzungsprodukte des Brennstoffs wie Ruß, Teerpech, polycyclische aromatische Kohlenwasserstoffe u. a.

**88.** Als Umwandlungsprodukte von Begleitelementen bzw. als unbrennbare Beimengungen des Brennstoffs werden überwiegend Sulfate, Oxide, Alumosilikate und Silikate ausgestoßen. Sowohl an die Kohlenstoffsubstanz gebunden als auch im Ballast gibt es eine Reihe Elemente, deren Verbindungen Schädwirkungen zugeschrieben werden (Schwermetallverbindungen). Im Feuerungsprozeß laufen komplizierte Umwandlungsvorgänge ab, die die endgültige Erscheinungsform des Elements im Prozeßstaub als Glaskügelchen oder Feinstaubkörnchen (Oxid, Salz, Element) bestimmen. Hier spielen die Flüchtigkeit der Verbindungen und Verweilzeit in der heißen Zone — abgesehen von der Brennstoffzusammensetzung — die wichtigste Rolle.

Die meisten, in der Natur vorkommenden Elemente wurden auch in Kohlen gefunden, wobei viele nur mit Hilfe modernster Analyseverfahren nachgewiesen wurden. Davon sind ca. ein Dutzend (As, Be, Ba, Cd, Hg, V, Pb, Se, Sb, Zn, Th, Tl, Po, U) von Umweltrelevanz. Rohöle enthalten organische Metallverbindungen, die als Schwermetallemissionen unbedeutend sind. Wichtiger Bleiemittler ist der Straßenverkehr, insofern verbleiter Otto-Kraftstoff benutzt wird.

Ältere Großanlagen (Rostfeuerungen, Kohlestaubfeuerungen mit unzulänglicher Mahlung; Schwerölfeuerungen mit unzulänglicher Zerstäubung), besonders aber Kleinf Feuerungen (Hausbrand: Rostfeuerungen, Verdampfungsbrenner, kleinere Zerstäubungsbrenner) können erhebliche Mengen an Unverbranntem auswerfen. Der heutige Stand der Technik gewährleistet dagegen in größeren Feuerungsanlagen einen fast vollständigen Ausbrand des Brennstoffs. Die Feststoff-Emissionen moderner mit Schweröl oder festen Brennstoffen gefeuerter Großanlagen bestehen daher zum größten Teil aus Flugasche bzw. während des Rußblasens aus Ruß.

**89.** Die wegen ihrer vermuteten krebserzeugenden Wirkung bedeutsamsten pyrolytischen Zersetzungsprodukte der Brennstoffe sind die PAH (polycyclic aromatic hydrocarbons) (s. Kap. 1.3.1). Wegen ihrer hohen Thermostabilität muß immer mit ihrer Anwesenheit gerechnet werden. Sie werden unter anderem von Verbrennungsmotoren und Kokereien sowie bei der Hausbrandfeuerung mit festen Brennstoffen freigesetzt (s. auch Tab. 30 des Anhangs).

Obwohl PAH in der Atemluft sowohl partikel- als auch gasförmig vorliegen können, treten sie in der Regel unter Umgebungsbedingungen entweder wegen ihres hohen Schmelzpunktes selbst partikelförmig oder aber an Partikel angelagert auf. Hinsichtlich der krebserzeugenden Wirkung s. auch Kap. 1.3.1.

Die Analytik der PAH ist, wie auch die Probenahme, erst in jüngster Zeit einer Lösung näher gebracht worden. Der heutige Kenntnisstand über das Ausmaß der Belastung mit PAH über längere Zeitspannen ist noch unvollständig. Meßergebnisse scheinen darauf hinzudeuten, daß die PAH-Emission aus mit Heizöl EL gefeuerten Haushaltsheizungsanlagen, bezogen auf die eingesetzte Brennstoffmenge, erheblich geringer ist als die aus Kraftfahrzeugen mit Ottomotoren.

Ein Meßprogramm zur großräumigen Ermittlung der Belastung des Gebietes zwischen Essen, Krefeld und Düsseldorf mit folgenden PAH: Benzo(a)pyren, Benzo(e)pyren, Benzo(a)anthracen, Dibenzo(a,h)anthracen, Benzo(ghi)perylen und Coronen zeigt Einzelwerte im Bereich von 0,001 bis 0,1 µg/m<sup>3</sup>. In der TA Luft ist bis jetzt keine Begrenzung des PAH-Ausstoßes enthalten.

90. Zur Begrenzung staubförmiger Emissionen legt die TA Luft 1974 u. a. Emissionsgrenzwerte fest. Zusätzlich gilt für alle Anlagen, auf die sich die Gültigkeit der TA Luft erstreckt, daß für gewisse toxische Stäube, die den Giftklassen I bis III zugeordnet werden, die Massenkonzentration im Abgas bestimmte, für die jeweilige Klasse festgesetzte, Werte nicht überschreiten darf.

Eine Begrenzung der Feststoffemissionen aus Kraftfahrzeugen erfolgt für Dieselfahrzeuge über die StVZO und für Fahrzeuge mit Ottomotoren über die Begrenzung der Benzinverbleiung durch das Benzinbleigesetz.

#### Schwefelwasserstoff

91. Bei modernen Kohlefeuerungen kann ebenso wie bei Verfeuerung flüssiger Brennstoffe angenommen werden, daß die Rauchgase frei von Schwefelwasserstoff (H<sub>2</sub>S) sind. Dagegen kann bei Rostfeuerungen für feste Brennstoffe, wo der Verbrennung ein Schwelprozeß unter örtlichem Sauerstoffmangel vorausgeht, sowohl aus organisch als auch anorganisch gebundendem Schwefel H<sub>2</sub>S gebildet werden. Der Schwefel wird nur dann zu SO<sub>2</sub> oxidiert, wenn er eine Hochtemperaturzone mit genügendem Luftüberschuß durchtreten muß.

Bei der Koksgewinnung können beträchtliche Schwefelwasserstoffemissionen auftreten.

#### Halogenwasserstoffe

92. Kohle enthält Beimengungen von Fluor- und Chlorverbindungen. Bei der Verbrennung wandeln sich diese Verbindungen zu Fluorwasserstoff (HF) und Chlorwasserstoff (HCl) um. Bei der Müllverbrennung können wegen des Anteils fluor- und chlorhaltiger Kunststoffabfälle ebenfalls Fluor- und Chlorwasserstoff auftreten. Für die Rauchgasentschwefelung entwickelte Waschverfahren sind in etwas modifizierter Form auch zur Abscheidung der Halogenwasserstoffe geeignet. Allerdings werden dadurch das Abwasser und der als Produkt der Rauchgasentschwefelung entstehende Gips verunreinigt.

#### Radioaktive Stoffe

93. Bei der Verfeuerung von Braun- oder Steinkohle werden die natürlich-radioaktiven Stoffe, die mit der Kohle oder ihren Beimengungen zu Tage gefördert werden, über die Rauchgasemission freigesetzt oder in die Asche eingebunden. Neuere Untersuchungen haben zu den in Tab. 10 des Anhangs mitgeteilten Emissionsfaktoren geführt. Neben den Emissionen der an festen Partikeln gebundenen Nuklide werden auch radioaktive Edelgase — vor allem Radon — bei der Verbrennung aus dem Brennstoff frei (Tab. 11 des Anhangs). Für eine mit den Emissionen kernenergetischer Anlagen vergleichende Betrachtung wird auf Kap. 1.2.2 hingewiesen.

#### 1.2.1.4 Größenordnung der Emissionen nach Herkunft

94. Der Bereich Energieumwandlung und -verbrauch wird im folgenden aufgeschlüsselt in:

- Großfeuerungen (Kraftwerke, Fernheiz- und Heizkraftwerke) mit über 100 GJ/h Feuerungswärmeleistung,
- Industrief Feuerungen (kleinere bis mittlere Kessel Feuerungen, Zentralheizungen) mit 4 bis 100 GJ/h Feuerungswärmeleistung,
- Hausbrand und Kleingewerbe,
- Verkehrsmittel.

Dem Abschnitt über die Industrief Feuerungen ist eine kurze Darstellung der Emissionen einiger Nichtverbrennungs-Prozesse im Energieversorgungssystem angefügt. Wesentliche numerische Werte für Emissionsfaktoren sind im Anhang zusammengestellt.

#### Großfeuerungen

95. Die in Großfeuerungen einsetzbare optimale Feuerungstechnik erreicht eine nahezu vollständige Verbrennung des Brennstoffs, d. h. es entstehen wesentliche CO<sub>2</sub>-Emissionen (Tab. 1, Anhang), während die von Kohlenmonoxid gering gehalten werden. Bei müllgefeuerten Großanlagen liegen die Emissionen höher (Tab. 2, Anhang).

Organische Verbindungen werden, wenn optimale Bedingungen in Großfeuerungsanlagen eingehalten werden, in sehr geringem Maße emittiert. Ausreichende Messungen, die diese Erwartungen bestätigen, fehlen (Tab. 3, Anhang). Im Abgas (Reingas) mehrerer Steinkohlekraftwerksblöcke unterschiedlicher Feuerungs- und Ascheaustragssysteme wurden PAH gefunden. Die Konzentration an Benzo(a)pyren schwankt nach den wenigen vorliegenden Untersuchungen zwischen 0,2 und 15 ng/m<sup>3</sup>; daraus errechnet sich eine auf die Brennstoffmenge bezogene Emission von 3,5 bis 225 µg/t.

96. Die Schwefeldioxid-Emissionen sind, abhängig vom Schwefelgehalt des Brennstoffs, beträchtlich (s.

Tab. 4, Anhang). Eine Ausnahme bilden Feuerungen mit Gas, das aus betrieblichen Gründen von Schwefelverbindungen gereinigt wird. Die SO<sub>2</sub>-Emission kann gesenkt werden durch Verminderung des Schwefelgehalts des Brennstoffs oder durch eine Rauchgasentschwefelung. Zur Reduzierung der Schwefelemissionen s. Kap. 1.4.1.

**97.** Halogenwasserstoffe werden in einem vom Chlor- oder Fluorgehalt des Brennstoffs bzw. seiner Beimengungen abhängigen Maße emittiert; nur ein Teil wird in die Asche eingebunden (Tab. 5, Anhang). Im Rauchgas von Braunkohlekraftwerken findet man Fluorid-Konzentrationen von 50—200 µg/m<sup>3</sup>. Vielfach gelingt bei der Messung keine Trennung der Fluorid-Emissionen von den Fluorwasserstoff-Emissionen. Halogenwasserstoffe können mit Waschverfahren für SO<sub>2</sub> aus dem Abgas abgeschieden werden.

Während die HCl-Emissionen aus fossilen Brennstoffen im wesentlichen seit Jahren konstant sind, zeigen sie bei der Müllverbrennung eine steigende Tendenz, offenbar wegen des zunehmenden PVC-Anteils im Müll.

**98.** Die Emission von Staub wird durch die TA Luft auf insgesamt 150 mg/m<sup>3</sup> begrenzt. Verschiedene Rückhalteverfahren stehen heute zur Verfügung, um die jeweiligen Auflagen zu erfüllen. Trotz dieser Verfahren tritt hinter Filteranlagen von Großfeuerungen in beträchtlichem Maße lungengängiger Feinstaub auf (Partikeldurchmesser kleiner als 7 µm) (Tab. 6 u. 7, Anhang). Besonderen Anlaß zur Besorgnis geben die Anteile von Schwermetallverbindungen im Abgas wiedergegeben; daraus ergibt sich u. a. ein Vorkommen von Blei, Cadmium, Chrom, Kupfer usw. Ausgewählte Emissionsfaktoren für Braunkohlekraftwerke befinden sich in Tab. 9 des Anhangs.

In den Emissionen aus Ölfeuerungen mit schwerem Heizöl bestimmter Provenienz können insbesondere Vanadium-, Nickel- und Eisenverbindungen enthalten sein; bei Erdgasfeuerungen kann je nach Herkunft des Gases Quecksilber in geringen Mengen vorhanden sein.

**99.** Die Kohle oder ihre Beimengungen enthalten natürlich-radioaktive Bestandteile, z. B. liegen der Uran- und Thoriumgehalt in rheinischen Braunkohle-Tagebauen zwischen 0,2 mg/kg und 1,4 mg/kg bzw. 0,4 und 2,7 mg/kg. In Saarkohlen wurden etwa 5 mg/kg und in oberbayerischen Glanzkohlen sogar bis zu über 30 mg/kg Uran nachgewiesen. Der weitestgrößte Teil wird in den Elektrofiltern abgeschieden. Es kommt daher zu einer Anreicherung dieser Elemente in der Asche. Nach den vorliegenden Ergebnissen liegen die Uran- und Thoriumgehalte in Kraftwerksaschen mit ≤ 5 mg/kg bzw. ≤ 10 mg/kg bei den Durchschnittswerten für Tongesteine.

**100.** Über die Emission an feste Partikeln gebundener Nuklide aus neuen Steinkohle- und Braunkohle-

Kraftwerken haben im Auftrag des Bundesministers des Innern neuere Untersuchungen stattgefunden und zu den in Tab. 10 (Anhang) mitgeteilten Emissionsfaktoren geführt.

Neben den Emissionen an feste Partikeln gebundener Nuklide werden noch radioaktive Edelgase — insbesondere Radon — aus Kraftwerksfeuerungen emittiert, die bei der Verbrennung aus dem Brennstoff frei werden. Emissionsfaktoren sind in Tab. 11 (Anhang) zusammengestellt.

Zu den Belastungen durch radioaktive Stoffe vgl. Abschn. 1.2.2.2.3 und Kap. 4.1.

**101.** In modernen Feuerungsanlagen können die Stickstoffoxid-Emissionen mit dem Wirkungsgrad der Feuerung ansteigen (Tab. 12, Anhang). Es ist aber möglich, die Tendenz in Zukunft durch Anwendung neuer Feuerungstechnologien wieder umzukehren.

### Industrief Feuerungen, Prozesse

**102.** Aufgrund der bei kleineren Feuerungsanlagen gegenüber Großfeuerungen vereinfachten Feuerungstechnik kommt es im Bereich der Industriefeuerungen zu einer weniger vollständigen Verbrennung. Zu den CO<sub>2</sub>-Emissionen s. Tab. 1 (Anhang). Das führt zu einem Auswurf an Kohlenmonoxid (Tab. 13, Anhang) und organischen Gasen und Dämpfen (Tab. 14, Anhang), der in der Regel — im einzelnen ist das auch brennstoffbedingt — merklich größer ist als der aus Großfeuerungen, aber noch erheblich kleiner als der aus den Bereichen Haushalt und Kleingewerbe (je nach Brennstoff) oder Verkehr. Insbesondere können Oxidationsprodukte von Kohlewasserstoffen wie Alkanale (Aldehyde) emittiert werden (Oxidantienbildung).

**103.** Schwefeldioxid-Emissionen (Tab. 15, Anhang) sind, bezogen auf die gleiche Feuerungswärmeleistung, ebenso groß wie bei Großfeuerungen; eine Erniedrigung tritt als Folge der Verfeuerung von Brennstoffen einer möglicherweise höheren Qualität (geringeren Schwefelgehalts, z. B. Steinkohlkoks) auf; eine Erhöhung wegen des Fehlens einer Rauchgasentschwefelung bei Industriefeuerungen. Der Einsatz schwefelärmerer Brennstoffe, wie z. B. Produkte der Kohleveredelung (Kap. 1.4.3), kann hier eine Verbesserung der Situation bringen.

Die Emissionen von Halogenwasserstoffen (Tab. 16, Anhang) entsprechen denen von Großanlagen, die mit demselben Brennstoff befeuert werden und ebenfalls keine Rauchgaswäsche haben.

**104.** Die Gesamtstaubemission für feste Rohbrennstoffe sind in Industriefeuerungen beträchtlich größer als in Großfeuerungen, da hier nur ein geringes Maß an Rückhaltemaßnahmen aufgewendet wird. Für die staubarmen flüssigen und gasförmigen Brennstoffe sind die Verhältnisse in beiden Bereichen ähnlich. Bemerkenswert ist der geringere Staubauswurf für veredelte Produkte wie Steinkohlkoks und Braunkohlenbriketts (Tab. 17, Anhang). Die Unterschiede in Höhe und Zusammensetzung der Feinstaubemissionen in den Bereichen Groß-

feuerungen und Industriefeuerungen erklären sich ebenfalls aus den angewandten Rückhaltemaßnahmen (Tab. 18, Anhang).

Herausragend sind die großen Zink- und Bleiemissionen aus der Müllverbrennung.

**105.** Infolge der unvollständigen Verbrennung werden Industriefeuerungen — ebenso wie alle Großanlagen — unter den Feststoffen auch erhebliche Mengen an unverbranntem Brennstoff und an Zersetzungsprodukten wie Ruß und PAH aus. Die PAH-Emission aus Feuerungsanlagen wird weiter unten behandelt.

Die Emission an Stickoxiden (Tab. 19, Anhang) ist in der Tendenz niedriger als aus Großfeuerungen, aber dennoch erheblich.

**106.** Zum Energieversorgungssystem, dessen Umweltbelastungen hier ins Auge gefaßt werden, gehören auch die Anlagen des Umschlags und der Umwandlung von Energieträgern, wie Läger, Kokereien und Ö Raffinerien. Die letzteren emittieren Kohlenmonoxid (Tab. 20, Anhang) in beträchtlichen Mengen. Für die bei der Koksgewinnung auftretenden großen Mengen von Schwefelwasserstoff sind noch keine Emissionsfaktoren abgeleitet worden. Auf die Emission aliphatischer und aromatischer Kohlenwasserstoffe aus den Lecks von Raffinerien wird hingewiesen. Erhebliche Mengen an Staub werden bei Aufbereitung, Transport und Lagerung von Steinkohle, bei der Kohle-Brikettierung und bei der Verkokung frei (Tab. 21, Anhang). Herabsetzung der Staubemission ist möglich durch konsequente Anwendung geeigneter Verfahren (Löschgleishallen in Kokereien, berieselte Halden, neue Bauweisen usw.).

**107.** In Koksofenbetrieben finden sich im Steinkohleteer PAH in einer in weiten Grenzen schwankenden Zusammensetzung (Tab. 21, Anhang). Sie werden über Öffnungen und Lecks emittiert, lagern sich an Koksstaub an oder bilden selbst Aerosole. An verschiedenen Ofentüren einer Kokerei wurden Benzo(a)pyren-Emissionen zwischen 75 und 165  $\mu\text{m}^3$  und Arbeitsplatzkonzentrationen zwischen 1,4 und 40,7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen. An Arbeitsplätzen in einem anderen Kokereibetrieb wurden Benzo(a)pyren-Konzentrationen zwischen 0,5 und 135  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  gefunden. Die Konzentration der PAH ist von vielen Einflußgrößen abhängig: Einsatzkohle, Füllverfahren, Verkokungsbedingungen, Bauart, Alter und Wartungszustand der Anlage usw. Es ist von entscheidender Bedeutung, ob die Ofenanlage mit emissionsmindernden Maßnahmen ausgestattet ist.

### Hausbrand und Kleingewerbe

**108.** Allen Feuerstätten im Bereich Hausbrand und Kleingewerbe ist gemeinsam, daß eine vereinfachte Feuerungstechnik eingesetzt werden muß und Emissionen nicht durch Rückhaltemaßnahmen vermindert werden. Lediglich bei verschiedenen Arten der Wurffuerung kann auf einen Entstauber am Kesselaustritt nicht verzichtet werden, da ohne

Rückführung des abgeschiedenen Flugstaubs kein zufriedenstellender Ausbrand der Feststoffe gelänge. Zwar sind die im Hausbrand und Kleingewerbe vielfach zum Einsatz kommenden veredelten Brennstoffe (Tz. 332) in bezug auf einige Komponenten weniger emissionsintensiv, andererseits können andere Komponenten vermehrt ausgeworfen werden, so z. B. PAH bei der früher praktizierten Verwendung von Steinkohleenteer als Brikett-Bindemittel.

In der Praxis des häuslichen und betrieblichen Alltags werden Feuerstätten häufig betrieben, ohne daß die bei der Bauartzulassung festgesetzten Regeln und Normen, ja sogar ohne daß die Herstelleranweisungen beachtet werden. Daher sind die Emissionen in Wirklichkeit vielfach höher als in Prüfstandsuntersuchungen ermittelt. Emissionsfaktoren für verschiedene Brennstoffe sind in Tab. 22 des Anhangs aufgeführt.

**109.** Die Kohlenmonoxid-Emissionen sind, insbesondere bei Einzelöfen für feste Brennstoffe, bei denen die Regelung der Ofenleistung durch Drosseln der Luftzufuhr erfolgt, erheblich höher als in den anderen Bereichen. Sie sind im einzelnen abhängig von der Last (Vollast, Teillast) oder dem Luftüberschuß (Tab. 23, Anhang). Stickstoffoxid-Emissionen (Tab. 24, Anhang) sind in Hausbrand und Kleingewerbe, entsprechend den gewöhnlich niedrigen Feuerraumtemperaturen, vergleichsweise gering, insbesondere für Braunkohlenbrikettfeuerungen, da dort vergleichsweise tiefe Brennraumtemperaturen herrschen.

Die Emission von Schwefeloxiden und von Fluorwasserstoff ist von den jeweiligen Gehalten der Brennstoffe und ihren Einbindegraden in die Asche abhängig und insofern von derselben Größenordnung wie die in Industrie- und Großfeuerungen. Da Rückhaltemaßnahmen nicht möglich sind, kann die Emission somit im wesentlichen nur durch Übergang zu schwefelärmeren Brennstoffen, also u. U. Veredelungsprodukten gemindert werden (s. auch Tab. 25, Anhang).

**110.** Bei den in Hausbrand und Kleingewerbe — ebenso wie in den älteren Industrie- oder Kraftwerksfeuerungen — vorherrschenden Rostfeuerungen kann in dem der eigentlichen Verbrennung vorangehenden Schwelprozeß aus den Schwefelbeimengungen des Brennstoffs Schwefelwasserstoff gebildet werden, der in Kleinferuerungen in der Regel nicht mehr zu Schwefeldioxid oxidiert wird. Emissionsfaktoren sind in Tab. 22 (Anhang) angegeben. Der in kleinen Feuerstätten stattfindende unvollständige Ausbrand bedingt auch, daß organische Verbindungen in größerem Maße ermittelt werden.

Für Bildung und Auftreten von Oxidantien in der Atmosphäre bedeutsam ist der Auswurf an Alkanalen (Aldehyden), die bei Verbrennung flüssiger und gasförmiger Brennstoffe durch Umsetzung im Brennraum entstehen und im allgemeinen als Methanal (Formaldehyd) ausgewiesen werden (s. Tab. auch 26 u. 27, Anhang)

**111.** Staub- und Aerosolemmissionen aus der Verbrennung von Steinkohle sind in besonderem Maße



lastabhängig: Die Staubemissionen nehmen mit der Last zu, die aerosolartigen Teeremissionen ab. Für Braunkohle fehlen entsprechende Untersuchungen. Die aerosolartigen Emissionen von Gasfeuerungen sind im allgemeinen vernachlässigbar; bei der Heizölfeuerung steht die Emission von PAH-Aerosolen im Vordergrund des Interesses (Tab. 26, 27 und 28, Anhang).

Schwermetall-Emissionen aus Hausbrand- und Kleingewerbef Feuerungen betragen etwa 1 mg Blei, 15 mg Zink und 0,01 mg Cadmium auf 1 MJ eingesetzter Steinkohle (aber nicht Koks!); bei der Feuerung von Heizöl rechnet man mit etwa 1 mg Vanadiumpentoxid auf 1 MJ.

**112.** Die oben summarisch aufgeführten aerosolartigen Feinstäube und Nebel enthalten PAH in wechselnder Zusammensetzung und Menge in Abhängigkeit vom Brennstoff und weiteren Einflußgrößen (Tab. 30, Anhang). Bemerkenswert ist die geringe Emission des veredelten Kohleproduktes Extrazit und die noch wesentlich geringere von leichtem Heizöl, das mit einem Zerstäubungsbrenner verbrannt wird.

Die PAH-Emission des Gasofens erwies sich in einer Einzeluntersuchung als 40fach bis 1000fach geringer als die eines in der Leistung vergleichbaren ölgefeuerten Ofens.

Andere Untersuchungen ergaben, daß bei einer mit Heizöl EL befeuerten Haushalts-Heizungsanlage mit Hochdruck-Zerstäubungsbrenner eine brennstoffbezogene Benzo(a)pyren-Emission auftrat, die erheblich unter der ottomotorischer Kraftfahrzeuge lag (Tab. 37, Anhang).

Neuere PAH-Emissionsmessungen an einem mit Steinkohlen- und Braunkohlenbriketts befeuerten Ofen ergaben Werte, die in der Regel ein bis zwei Zehnerpotenzen kleiner sind als die mit früher üblichen pechgebundenen Briketts (Tab. 30, Anhang); heute werden überwiegend mit Sonderbindemitteln hergestellte raucharme Steinkohlenbriketts auf den Markt gebracht.

## Verkehrsmittel

**113.** Der Abschnitt beschränkt sich auf einen Abriss der Belastung durch Emissionen aus Otto- und Dieselmotoren. Die Belastung durch Flugzeugabgase — im wesentlichen Emissionen von Ruß und unverbrannten Kohlenwasserstoffen — ist unter Emissionsgesichtspunkten nur für die Umgebung von Flughäfen erheblich. Das bei der Verbrennung auch hier entstehende Kohlendioxid wird wegen seiner möglichen klimatischen Bedeutung in Kap. 1.3.4 behandelt.

Der Bestand an PKW und Kombifahrzeugen setzte sich 1979 aus 95,5% Fahrzeugen mit Ottomotoren und 4,5% Fahrzeugen mit Dieselmotoren zusammen. Der LKW-Bestand enthält ca. 40% Fahrzeuge mit Ottomotoren.

**114.** Die Kohlenmonoxidemissionen aus Ottomotoren schwanken über den großen Bereich von unge-

fähr 20 bis 300 g/km bzw. 250 bis 350 g/kg Kraftstoff. Beide Faktoren haben wegen besserer Motorkonstruktion und Abgasregelung mit der Zeit abgenommen. Die CO-Emissionen von Dieselmotoren liegen um einen Faktor 5 bis 10 darunter.

**115.** Der Straßenverkehr ist in den Städten die größte Stickstoffoxid-Quelle. Dabei ist die Größe dieser Emissionen aus LKW mittlerer Leistung etwa halb so groß wie die der ottomotorischen PKW. Die spezifischen Emissionen größerer Diesel-Einheiten liegen allerdings wegen anderer Verbrennungsverfahren (z. B. Direkteinspritzung) wieder höher.

**116.** Schwefeldioxid-Emissionen aus Kraftfahrzeugen sind gering, Dieselkraftstoff kann einen Schwefelgehalt von 0,3% enthalten, der bei der Verbrennung vollständig in Schwefeloxide umgewandelt und ausgeworfen wird. Für die Bezugsjahre 1982 bis 1987 wird daraus — je nach Fahrmodus — eine auf die Fahrstrecke bezogene Emission von 1,1 bis 1,3 g/km vorausgesagt. Benzin enthält dagegen organische Schwefelverbindungen von im Mittel 0,025% oder 0,4 g/l.

**117.** Hingegen können die Verbrennungsmotoren in Verkehrsmitteln als Hauptverursacher der Emissionen an organischen Gasen und Dämpfen außerhalb der industriellen Ballungsräume angesehen werden. Der Anteil dieser Quellengruppe in den Gesamtemissionen steigt noch, zumal der des Bereichs Kleinverbrauch stark zurückgeht. Die auf den Energieeinsatz bezogenen Emissionen von Ottomotoren (Tab. 34, Anhang) übertreffen die von Dieselmotoren (Tab. 35, Anhang) um das Acht- bis Zehnfache. Sie kommen zu 55—75% aus dem Auspuffrohr, zu 5—25% aus dem Kurbelgehäuse und zu 10% aus Verflüchtigungsquellen, wie Tank oder Vergaser, während Dieselmotoren praktisch ausschließlich über das Auspuffrohr emittieren. Die emittierten organischen Gase und Dämpfe bestehen zum größten Teil aus unverbrannten Kraftstoffkomponenten. Der Anteil an Aldehyden und Ketonen ist bei Dieselmotoren und Ottomotoren größenordnungsmäßig gleich. Er kann nach amerikanischen Untersuchungen bis zu 36% der Kohlenwasserstoffemissionen betragen. Das Spektrum der Einzelkomponenten ist jedoch sehr unterschiedlich.

**118.** Die Kennzeichnung der Emission an unverbrannten Kohlenwasserstoffen durch pauschale Summenparameter, wie Gesamtkohlenwasserstoffe u. ä., ist für die Beurteilung der Umweltbelastung unbrauchbar. Die Spanne der Wirkungen reicht von ungefährlich (Methan) bis zu möglicherweise krebs erzeugend (Benzol). Repräsentative Untersuchungen, die eine Abschätzung der einzelnen Komponenten gestatten würden, liegen nicht vor.

**119.** Otto- und Dieselmotoren werfen Feststoffe unterschiedlicher Art aus. Verbleiten Kraftstoff verbrauchende Ottomotoren emittieren vorwiegend bleihaltige Verbindungen, Dieselmotoren (und Gasturbinen) stoßen Ruß aus. Zusätzlich treten infolge der Unvollständigkeit der Verbrennung immer PAH im Abgas auf.

Nach den Bestimmungen des Benzinbleigesetzes darf die Bleikonzentration in Vergaserkraftstoffen

seit dem 1. Januar 1976 0,15 g/l nicht überschreiten; daraus lassen sich auf den Brennstoffverbrauch oder auf den Energieeinsatz bezogene Blei-Emissionen von 0,2 g/kg Benzin bzw. 4,7 kg/TJ abschätzen.

**120.** Da Dieselmotoren (Tab. 36, Anhang) schon aus motortechnischen Gründen mit Luftüberschuß betrieben werden müssen, kann eine Erhöhung des Luftüberschusses zu Verminderung der Rußemission lediglich bei Inkaufnahme einer Leistungsminde- rung bei Vollast genutzt werden. Die Gestaltung der Brennkammer kann unter Umständen eine Ver- besserung bringen.

Der Beitrag des Kraftfahrzeugverkehrs zu den jähr- lichen PAH-Emissionen wird vergleichsweise gering eingeschätzt: Der Anteil des Kraftfahrzeugverkehrs an der Benzo(a)pyren-Emission wird mit weniger als 2% angegeben (Tab. 37, Anhang). Allerdings gibt der zugrunde gelegte Fahrmodus („Europatest“) das Fahr- und Betriebsverhalten in Ballungsgebieten nicht befriedigend wieder.

Eine neuere Untersuchung hat gezeigt, daß Verga- ser-Fahrzeuge höhere PAH-Emissionen als Ein- spritzfahrzeuge aufweisen und daß Schichtladungs- motoren trotz wesentlich niedrigerer Kohlenwasser- stoff-Emission die höchsten PAH-Auswürfe haben (Tab. 38, Anhang). Aus diesen Untersuchungen geht auch hervor, daß ältere Fahrzeuge (Zulassung nach dem 1. Oktober 1971, aber vor dem 1. Oktober 1975) dreimal so viel PAH ausstoßen wie neuere. Die stark vom Luftverhältnis bei der ottomotorischen Ver- brennung abhängige PAH-Emission spiegelt offen- bar die in neueren Kraftfahrzeugen vorgenommene Gemischabmagerung wider.

Nicht nur die Gesamtmenge der emittierten PAH, auch ihr Komponentenspektrum ist weitgehend ab- hängig vom Luftverhältnis und kann sich daher für verschiedene Fahrzyklen unterscheiden. Die An- gabe einer Leitkomponente, aus der auf die übrigen PAH-Auswürfe geschlossen werden könnte, ist nicht möglich.

## 1.2.2 Kernenergie

### 1.2.2.1 Besondere Schwierigkeiten der öffentlichen Kernenergiediskussion

**121.** Eine Bewertung der Umweltbelastungen, die durch den Einsatz von Kernenergie für die Energie- versorgung entstehen, sieht sich besonderen Schwierigkeiten gegenüber. Diese umweltpoliti- schen Schwierigkeiten, wie sie sich in der öffentli- chen Diskussion abzeichnen, haben zwei Gründe:

— Das umweltpolitische Urteil über den Einsatz der Kernenergie kann sich nicht auf die Emissionen des Normalbetriebes beschränken, es muß den ganzen Zyklus von der Gewinnung des Kern- brennstoffes bis zur Endlagerung radioaktiver Abfälle berücksichtigen. Vor allem die Probleme der Entsorgung und Endlagerung mit ihren im historischen Sinne unvorstellbar langen Fristen entziehen sich nahezu jeder objektiven Beurtei-

lung: je nachdem, ob man die Endlagerung für eine potentielle Gefahr für zukünftige Generati- onen hält oder nicht, reicht die Skala der Bewer- tung von nahe Null bis gegen Unendlich.

— Zum anderen müssen potentielle Störfälle und Unfälle in die Bewertung einbezogen werden, deren Risiko bisher nur theoretisch errechnet und dementsprechend umstritten ist. Auch hier rei- chen die Bewertungen in den Auseinandersetz- ungen über die Umweltgefährdung durch Kern- kraftwerke von nahe Null bis gegen Unendlich. Tatsächlich lassen die Ergebnisse der Risikoana- lysen sowohl die eine wie die andere Deutung zu. Entscheidungen in dieser Frage beruhen daher in ganz besonderem Maße auf anderen als wis- senschaftlich-technischen Faktoren.

**122.** Erschwerend kommt hinzu, daß auch die ene- gie- und wirtschaftspolitische Bedeutung der Kern- energie strittig ist. Für die entschiedenen Befürwor- ter der Kernenergie stellt sie die einzig verfügbare Technik zur Ausweitung des Primärenergieange- bots dar; ihr Einsatz ist nach deren Meinung unbed- ingt erforderlich, da nur auf diese Weise die Abhän- gigkeit vom Öl nachhaltig gemindert werden kann. Hinzu kommt der positive Effekt für Beschäftigung und Export. Demgegenüber vertreten die Gegner der Kernenergie die These, daß die volkswirtschaft- lichen Ressourcen effizienter in Energieeinsparung und Erschließung regenerativer Quellen eingesetzt würden. Hinter dieser rational anmutenden Alterna- tive stecken freilich wiederum höchst unterschiedli- che außerökonomische Werthaltungen und Lebens- einstellungen, bei denen sich eine Synthese noch nicht abzeichnet.

**123.** Unter diesen hier nur skizzierten Bedingun- gen ist eine Einigung oder auch nur eine Annähe- rung der Befürworter und der Gegner von Kern- kraftwerken gegenwärtig nicht zu erwarten. Die Folge ist die Verzögerung und teilweise Verhinde- rung des weiteren Ausbaus der Kernenergienut- zung, die seit einigen Jahren faktisch eingetreten ist. Eine Veränderung dieser Lage wird nur durch eine Veränderung der Bedingungen möglich sein, die sie herbeigeführt haben. Es dürfte klar sein, daß dies nur allmählich, in kleinen Schritten, geschehen kann. In der Tat sind Ansätze dazu auf beiden Seiten zu beobachten:

— Der zweite Ölpreisschub ab 1979 macht weiten Kreisen der Bevölkerung den Wert einer eigen- en, unabhängigen Energieversorgung deutlich. In der Tat wäre eine mögliche Abhängigkeit vom Uran mit der gegenwärtigen Abhängigkeit vom Öl nicht vergleichbar.

— Die Kernindustrie erkennt zunehmend die spezi- fischen Sicherheitsbedürfnisse der Bevölkerung und kommt ihnen mit neuartigen Sicherheits- konzeptionen entgegen. Sollte eine Reaktorvari- ante möglich werden, deren inhärente Sicherheit den gefürchteten Großunfall naturgesetzlich aus- schließt, so wäre eine neue Phase der Akzeptanz- diskussion eröffnet.

## 1.2.2.2 Bisherige Erfahrungen mit dem Einsatz von Kernenergie zur Elektrizitätserzeugung

### 1.2.2.2.1 Der Weg des Kernbrennstoffs

124. Kernbrennstoffe bedürfen bis zu ihrem Einsatz im Kraftwerk einer komplizierten Aufbereitung, die von der Erzgewinnung über die Anreicherung bis zur Brennelementproduktion reicht. Nach dem Kraftwerkeinsatz stellt sich die Aufgabe der Entsorgung, für die grundsätzlich mehrere Alternativen offen stehen. Ob und in welchem Ausmaß aus dem Weg des Kernbrennstoffs ein Kreislauf wird, hängt von der technischen und politischen Lösung der Wiederaufarbeitung und von der Wiederverwen-

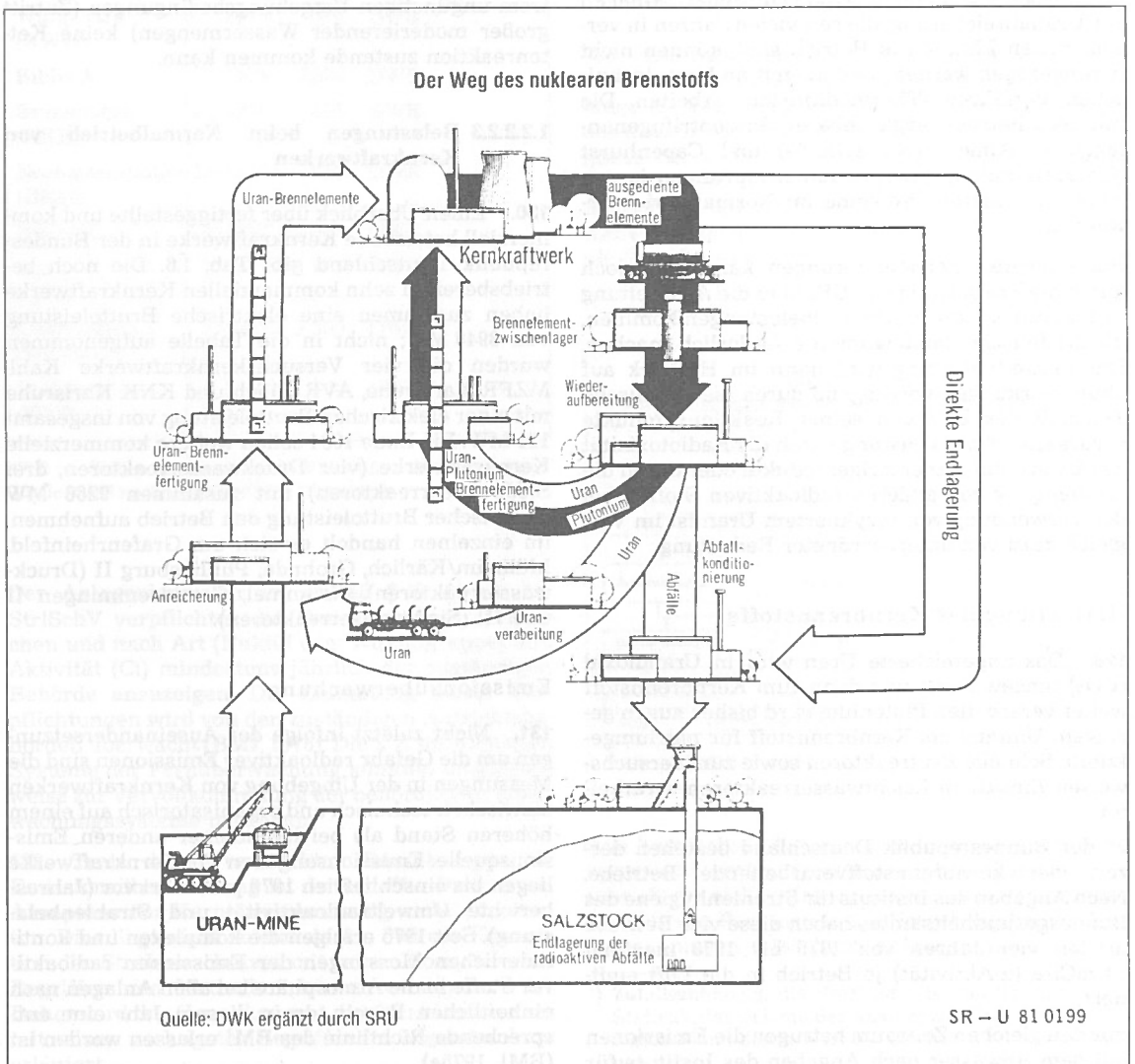
dung in Reaktoren unterschiedlichen Typs ab. Die Zusammenhänge verdeutlicht Abb. 1.9.

### 1.2.2.2.2 Gewinnung und Aufbereitung von Uranerz

#### Uranerzgewinnung

125. Nur ein sehr kleiner Teil des für den Betrieb von Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland benötigten Urans wird aus Erzen gewonnen, die im Land selbst abgebaut werden. Der Uranerz-Abbau in der Bundesrepublik Deutschland führt nicht zu nennenswerten Umweltbelastungen. Auch die Uranerzgewinnung und -aufbereitung in anderen Staaten hat keine globalen Effekte.

Abb. 1.9





## Urananreicherung

**126.** Zur Zeit muß die Anreicherung des Uran 235 im Ausland durchgeführt werden. Der Antrag auf Errichtung einer inländischen Urananreicherungsanlage mit dem Standort Gronau in Nordrhein-Westfalen ist gestellt; mit der Errichtung soll im Jahre 1981 begonnen werden. Vorgesehen ist eine Anreicherung mit Hilfe von Gaszentrifugen, die Uranhexafluorid ( $UF_6$ ) bei Drücken unterhalb des Atmosphärendrucks einsetzen.

**127.** Im Normalbetrieb wird die Umweltbelastung durch Emissionen aller Art voraussichtlich extrem gering sein und weit unter den in § 45 Strahlenschutzverordnung (StrlSchV) festgelegten Grenzen bleiben (Tz. 139). Dies gilt auch, wenn ausschließlich aus der Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen gewonnenes Uran — sogenanntes rezykliertes Uran — verarbeitet wird. Gegenwärtig ist eine Quantifizierung der Umweltbelastung durch die geplante Anlage in Gronau noch nicht möglich, weil die Emissionsquellenstärken nicht abschließend im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren festgelegt sind. Erfahrungsdaten anderer großtechnischer Anlagen zur Urananreicherung, die seit vielen Jahren in verschiedenen Ländern in Betrieb sind, können nicht herangezogen werden, weil sie mit anderen technischen Verfahren (Thermodiffusion) arbeiten. Die mit dem Betrieb vergleichbarer Gaszentrifugenanlagen in Almelo (Niederlande) und Capenhurst (Großbritannien) gewonnenen Erfahrungen lassen keine besonderen Probleme im Normalbetrieb erwarten.

Bei schweren Betriebsstörungen kann es jedoch durch die Freisetzung von  $UF_6$  über die Ausbreitung in der Atmosphäre zu Umweltbelastungen kommen, die Notfallschutzmaßnahmen erforderlich machen. Die Umweltbelastung wird dann im Hinblick auf akute Wirkungen vorwiegend durch die chemische Toxizität des  $UF_6$  und seiner Reaktionsprodukte verursacht. Eine Belastung durch die Radiotoxizität des Urans und seiner Folgeprodukte oder durch die Beimengung von anderen radioaktiven Stoffen bei der Verwendung von rezykliertem Uran ist im Vergleich dazu von untergeordneter Bedeutung.

### Herstellung des Kernbrennstoffs

**128.** Das angereicherte Uran wird in Urandioxid ( $UO_2$ ) umgewandelt und dann zum Kernbrennstoff weiter verarbeitet; Plutonium wird bisher nur in geringem Umfang als Kernbrennstoff für natriumgekühlte Schnelle Brutreaktoren sowie zum versuchsweisen Einsatz in Leichtwasserreaktoren verarbeitet.

In der Bundesrepublik Deutschland bestehen derzeit vier kernbrennstoffverarbeitende Betriebe. Nach Angaben des Instituts für Strahlenhygiene des Bundesgesundheitsamtes haben diese vier Betriebe in den vier Jahren von 1975 bis 1978 maximal 13 mCi/a ( $\alpha$ -Aktivität) je Betrieb in die Luft emittiert.

Für den gleichen Zeitraum betragen die Emissionen mit dem Abwasser nach Angaben des Instituts für

Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes maximal 1,2 Ci/a ( $\alpha$ -Aktivität) je Betrieb. Aus diesen Emissionen berechnete das Bundesgesundheitsamt die Strahlenexposition für den entsprechenden Zeitraum, die jeweils am stärksten belastete Bevölkerungsgruppe und den jeweils kritischsten Belastungspfad. An der ungünstigsten Stelle in der Umgebung der kernbrennstoffverarbeitenden Betriebe ergab sich rechnerisch eine maximale Strahlenexposition für den gesamten Organismus (Gesamtkörper) als Folge von Abwassereinleitungen in Höhe von 1 mrem/a, d. h. 1/30 des in § 45 StrlSchV festgelegten Grenzwertes. Die gleiche Relation ergibt sich für die Inhalation von Luftverunreinigungen. Ihre Beurteilung kann unmittelbar an eine Würdigung dieser Grenzwerte anschließen (s. Tz. 139, 207 ff.).

**129.** Zur Vermeidung von Störfällen und Unfällen werden die Anlagen so betrieben, daß keine Ansammlungen spaltbaren Materials auftreten, die kritisch werden könnten. Durch Mengenbegrenzungen oder durch die Wahl geeigneter geometrischer Anordnungen wird sichergestellt, daß auch unter extrem ungünstigen Umgebungsbedingungen (Zutritt großer moderierender Wassermengen) keine Kettenreaktion zustande kommen kann.

### 1.2.2.2.3 Belastungen beim Normalbetrieb von Kernkraftwerken

**130.** Einen Überblick über fertiggestellte und kommerziell betriebene Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland gibt Tab. 1.6. Die noch betriebsbereiten zehn kommerziellen Kernkraftwerke haben zusammen eine elektrische Bruttoleistung von 8948 MW; nicht in die Tabelle aufgenommen wurden die vier Versuchskernkraftwerke Kahl, MZFR Karlsruhe, AVR Jülich und KNK Karlsruhe mit einer elektrischen Bruttoleistung von insgesamt 111 MW. Bis Ende 1984 sollen weitere kommerzielle Kernkraftwerke (vier Druckwasserreaktoren, drei Siedewasserreaktoren) mit zusammen 9266 MW elektrischer Bruttoleistung den Betrieb aufnehmen; im einzelnen handelt es sich um Grafenrheinfeld, Mülheim/Kärlich, Grohnde, Phillipsburg II (Druckwasserreaktoren), Krümmel, Grundremmingen II und III (Siedewasserreaktoren).

### Emissionsüberwachung

**131.** Nicht zuletzt infolge der Auseinandersetzungen um die Gefahr radioaktiver Emissionen sind die Messungen in der Umgebung von Kernkraftwerken inzwischen technisch und organisatorisch auf einem höheren Stand als bei irgendeiner anderen Emissionsquelle. Emissionsangaben für Kernkraftwerke liegen bis einschließlich 1978 publiziert vor (Jahresberichte Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung). Seit 1975 erfolgen die komplexen und kontinuierlichen Messungen der Emissionen radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre bei allen Anlagen nach einheitlichen Regeln, da in diesem Jahr eine entsprechende Richtlinie des BMI erlassen worden ist (BMI, 1975a).

**Fertiggestellte und betriebene Kernkraftwerke**

Kernkraftwerke	Kommerzielle Inbetriebnahme Monat/Jahr	Elektrische Bruttoleistung (MW)	Typ	Bemerkungen
Gundremmingen (KRB)	3/1967	250	SWR	Seit 13. 1. 77 außer Betrieb
Lingen (KWL)	10/1968	268	SWR	Seit 5. 1. 77 außer Betrieb
Obrigheim (KWO)	4/1969	345	DWR	
Stade (KKS)	5/1972	662	DWR	
Würgassen (KWW)	1972	670	SWR	
Biblis A	2/1975	1204	DWR	
Brunsbüttel (KKB)	11/1976	805	SWR	
Neckarwestheim (GKN)	12/1976	855	DWR	
Biblis B	1/1977	1 300	DWR	
Isar (KKI)	3/1979	907	SWR	
Unterweser (KKU)	9/1979	1 300	DWR	
Phillipsburg (KKP)	1980	900	SWR	

SWR = Siedewasserreaktor, DWR = Druckwasserreaktor  
 Quelle: SRU nach verschiedenen Unterlagen

Der Anlagenbetreiber ist gemäß § 46 Abs. 1 der StrlSchV verpflichtet, die Emissionen zu überwachen und nach Art (Nuklid oder Nuklidgruppe) und Aktivität (Ci) mindestens jährlich der zuständigen Behörde anzuzeigen. Die Einhaltung dieser Verpflichtungen wird von den zuständigen Aufsichtsbehörden überwacht (BMI, 1978). Die z. Z. entwickelten Systeme der Fernüberwachung könnten möglicherweise zur Vervollkommnung der behördlichen Überwachungssysteme beitragen.

132. Trotz dieser verstärkten Bemühungen zur Emissionsüberwachung ist der erhoffte Beitrag zur Akzeptanz der Kernenergienutzung nicht eingetreten. Dies liegt nicht zuletzt daran, daß die Konzeption des Strahlenschutzes mit seinen komplizierten Begriffen und Methoden schwer verständlich ist. Daher wird das Grundkonzept des Strahlenschutzes mit seinen wichtigsten Begriffen im folgenden kurz erläutert.

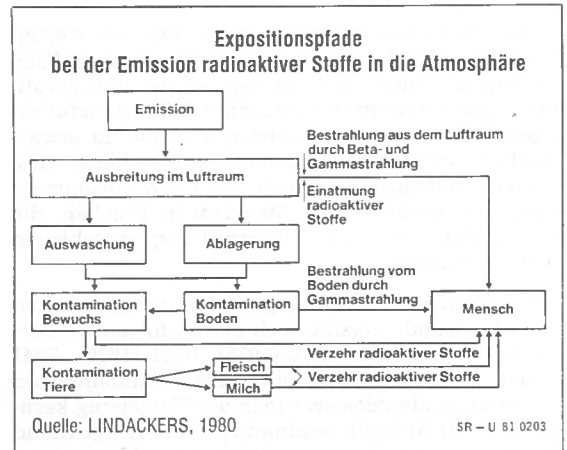
**Grundbegriffe des Strahlenschutzes**

133. Der Strahlenschutz zielt auf die Minimierung strahlenbiologischer Effekte durch Minimierung der Strahlenexposition. Soweit es sich um den Schutz der Umwelt und nicht um den Schutz des Personals im Kraftwerk handelt, ist dies mit Emissionsminderung gleichbedeutend. Von der Emission bis zum strahlenbiologischen Effekt sind folgende Schritte zu unterscheiden:

- Emission von Nukliden unterschiedlicher Aktivität, Strahlungsart und Strahlungsenergie,
- Verteilung durch natürliche, weitgehend nicht beeinflussbare Vorgänge,
- Exposition der Organismen und ihrer Organe aufgrund der erfolgten Verteilung,
- Strahlenbelastung unter Berücksichtigung der relativen biologischen Wirksamkeit verschiedener Strahlentypen (quantifiziert durch die äquivalente Strahlendosis oder Äquivalentdosis),
- Auslösung biologischer Schäden, die bei kleinen Dosen stochastisch<sup>1)</sup> verteilt sind.

134. Die einzelnen Stufen dieser Kette lassen sich nur beschränkt meßtechnisch erfassen, weil und solange die Strahlungsintensität nur einen Bruchteil des natürlichen Niveaus ausmacht. Vor dem Hintergrund der verhältnismäßig hohen Strahlenexposition durch natürliche radioaktive Stoffe, kosmische und terrestrische Strahlung sowie fall-out von Kernwaffenversuchen in der Atmosphäre kann nämlich die Strahlenexposition, die durch die geringe Emis-

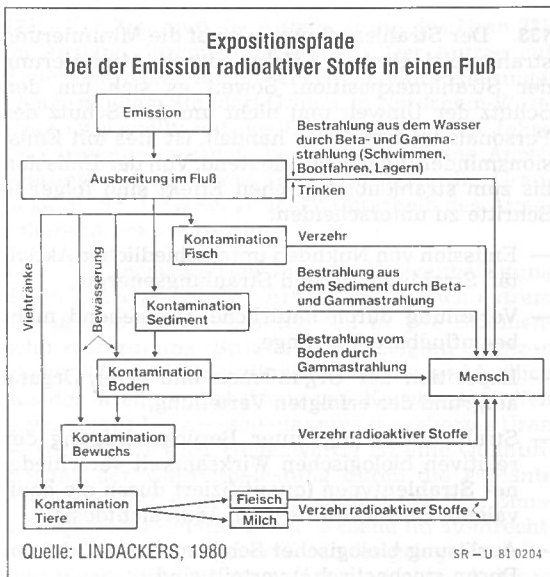
Abb. 1.10



sion kerntechnischer Anlagen in deren Umgebung verursacht wird, nur mit erheblichem Aufwand und sehr oft gar nicht getrennt meßtechnisch erfaßt werden. Die von Personen in der Umgebung kerntechnischer Anlagen tatsächlich aufgenommene Äquiva-

<sup>1)</sup> Zufallsabhängig; die Stochastik ist ein Teilgebiet der Statistik, das sich mit der Analyse zufallsabhängiger Ereignisse und deren Wert für statistische Untersuchungen befaßt.

Abb. 1.11



lentdosis kann ohnehin nicht unmittelbar gemessen werden (s. o.). Um dennoch eine Vorstellung der Strahlenbelastung zu gewinnen, verwendet der Strahlenschutz mathematische Modelle. Über Verteilungsrechnungen werden die natürlichen Verteilungsvorgänge nachgebildet und anschließend die ökologischen Expositionspfade für alle relevanten Nuklide verfolgt (s. Abb. 1.10 und 1.11). Der Konzeption nach sind die Modelle so ausgelegt, daß sie die tatsächliche Strahlenbelastung auf keinen Fall unterschätzen. Auf diese Weise kommt man zu erwarteten maximalen Strahlenexpositionen.

In die Berechnungen ist eine große Zahl von Werten einzubringen, die nicht immer standortspezifisch vorliegen. Es müssen dann sogenannte „konservative“ Daten eingesetzt werden, die nach bestem fachlichem Ermessen gewährleisten, daß die zu erwartende Strahlenexposition nicht unterschätzt wird. Es ist verständlich, daß sich in diesem Zusammenhang wissenschaftliche Streitfragen ergeben, die nur durch wiederholte Überprüfung entschieden werden können.

Mit Hilfe dieser Berechnungsverfahren wurden vom Bundesgesundheitsamt auch die im folgenden dargestellten und aus BMI (1975), BMI (1976), BMI (1977), Deutscher Bundestag (1980) entnommenen Jahresäquivalentdosiswerte in der Umgebung kerntechnischer Anlagen bestimmt. Der derzeitige Stand der Berechnungsverfahren ist in einer Richtlinie zu § 45 StrlSchV (s. Tz. 140) ausführlich dargestellt.

**135.** Der maximale Strahlenexpositionswert gibt nach den Erkenntnissen der Strahlenbiologie einen Anhalt über die Häufigkeit möglicher Strahlenschäden. Nach den Zielvorstellungen des Strahlenschutzes soll er so niedrig wie möglich liegen; er darf jedoch keinesfalls die sog. Dosisgrenzwerte der Strahlenschutzverordnung überschreiten. Dosisgrenzwerte werden nach nationalen und internationalen Normen als Ergebnis eines Abwägungsprozesses

zwischen biologischem Risiko, technischer Machbarkeit, ökonomischem Nutzen und sonstigen Wohlfahrtseffekten festgesetzt. Es überrascht daher nicht, daß sich diese Normen sowohl im Zeitverlauf wie auch international unterschiedlich aber mit einer deutlichen Tendenz zur Senkung der Grenzwerte entwickelt haben.

Emissionen kerntechnischer Anlagen müssen stets so gering sein, daß die geltenden Dosisgrenzwerte eingehalten werden. Darüber hinaus gilt im deutschen Strahlenschutzrecht der Grundsatz, daß der jeweilige Stand von Wissenschaft und Technik bei der Emissionsbegrenzung erfüllt werden muß. Werden danach die Emissionswerte verschärft, muß die Genehmigungsbehörde dem Betreiber gegebenenfalls aufgeben, die Anlage umzurüsten. Geschieht dies nicht, ist die Anlage stillzulegen.

**136.** Das System des Strahlenschutzes ist in sich logisch geschlossen. Auch ist keine bessere Alternative erkennbar. Gleichwohl enthält es unvermeidlich einige Schätzurteile und Konventionen. An einzelnen Stellen sind daher immer wieder Verbesserungen möglich. Fehlt freilich der Grundkonsens, so vermag ihn auch ein noch so verfeinertes System nicht herzustellen.

#### Abgeschätzte Strahlenexposition

**137.** Maximale Strahlenexpositionswerte für einzelne Expositionspfade in der Umgebung der Kernkraftwerke sind in Tab. 1.7 und 1.8 zusammengestellt. Die nach der soeben dargestellten Methode angegebenen Werte wurden für die ungünstigste Stelle in der Umgebung der Kernkraftwerke und unter der Annahme extremer Verzehrsgewohnheiten ermittelt. Dennoch ist insgesamt festzustellen, daß die in der Umgebung der vorgenannten kerntechnischen Anlagen von Personen im ungünstigsten Falle aufgenommenen Äquivalentdosiswerte noch innerhalb des in der Bundesrepublik Deutschland gegebenen Schwankungsbereichs der natürlichen Strahlenexposition (70—130 mrem/a) liegen; Spitzenwerte liegen um 1 000 mrem/a. Mit Sicherheit liegen sie (eine Ausnahme bei Jod, s. Tab. 1.7) weit unter den in § 45 StrlSchV angegebenen Grenzwerten. Im übrigen hat sich unter der natürlichen Strahlenexposition das Leben der Menschen im mitteleuropäischen Raum über viele Jahrtausende hin entwickelt.

#### Dosisgrenzwerte

**138.** § 45 StrlSchV regelt die Dosisgrenzwerte für Bereiche, die nicht Strahlenschutzbereiche im Sinne des Arbeitsschutzes sind.

„Der Strahlenschutzverantwortliche nach § 29 Abs. 1 hat die technische Auslegung und den Betrieb seiner Anlagen oder Einrichtungen so zu planen, daß die durch Ableitung radioaktiver Stoffe aus diesen Anlagen oder Einrichtungen mit Luft oder Wasser bedingte Strahlenexposition des Menschen so gering wie möglich gehalten wird und jeweils höchstens 3/500, im Fall der Schilddrüse über Ernährungsketten insgesamt höchstens 3/1000 der Werte der Anlage X

## Maximale Strahlenexpositionswerte für einzelne Expositionspfade für Druckwasserreaktoren 1975—1978

Exposition		Gammastrahlung Abluft	Betastrahlung Abluft	Inhalation und Ingestion Jod-131	Alle Pfade Abluft Ganzkörper	Alle Pfade Abwasser Ganzkörper
Kernkraftwerk	Jahr	mrem/a				
KWO .....	1975	0,7	2	50		1,4
	1976	0,07	0,06	0,1		0,7
	1977	0,06		0,3		0,08
	1978	0,06		0,3	0,2	0,1
KKS .....	1975	0,03	0,03	3		0,01
	1976	0,3	0,09	1		0,01
	1977	0,1		2	0,1	0,01
	1978	0,05		0,1	0,06	0,01
Biblis .....	1975	0,02	0,03	1		0,01
	1976	0,04	0,01	2		0,01
	1977	0,1		0,4	0,2	0,01
	1978	0,06		1	0,07	0,02
GKN .....	1976	0,006	0,007	0,2		0,01
	1977	0,1		7	0,2	0,02
	1978	0,01		2	0,02	0,02

Quelle: Nach Ermittlungen des Bundesgesundheitsamtes, veröffentlicht in BMI, 1975; BMI, 1976; BMI, 1977; Deutscher Bundestag, 1980

Tab. 1.8

## Maximale Strahlenexpositionswerte für einzelne Expositionspfade für Siedewasserreaktoren 1975—1978

Exposition		Gammastrahlung Abluft	Betastrahlung Abluft	Inhalation und Ingestion Jod-131	Alle Pfade Abluft Ganzkörper	Alle Pfade Abwasser Ganzkörper
Kernkraftwerk	Jahr	mrem/a				
KRB .....	1975	1	0,2	30		0,8
	1976	0,4	0,1	40		1,4
KWW .....	1975	0,06	0,03	0,8		0,06
	1976	0,2	0,3	30		0,09
	1977	0,3		10	0,5	0,2
	1978	0,6		50	0,8	0,2
KKB .....	1976	0,03	0,02	0,001		0,1
	1977	0,08		1	0,1	0,04
	1978	0,8		6	0,9	0,4

Quelle: Nach Ermittlungen des Bundesgesundheitsamtes, veröffentlicht in BMI, 1975; BMI, 1976; BMI, 1977; Deutscher Bundestag, 1980

Spalte 2 beträgt. Diese Strahlenexposition muß für die ungünstigsten Einwirkungsquellen unter Berücksichtigung sämtlicher relevanter Belastungspfade einschließlich der Ernährungsketten berechnet werden; die im einzelnen zu treffenden Annahmen und anzuwendenden Verfahren zur Ermittlung der Strahlenexposition bestimmt der für Reaktorsicherheit und Strahlenschutz zuständige Bundesminister durch Rechtsverordnung mit Zustimmung des Bundesrates. Sofern andere Anlagen oder Einrichtungen an diesen oder anderen Standorten zur Strahlenexposition in den bezeichneten Einwirkungsstellen beitragen, hat die zuständige Behörde darauf hinzuwirken, daß die in Satz 1 genannten Werte insgesamt nicht überschritten werden.

**139.** Aus § 45 in Verbindung mit Anlage X Spalte 2 StrlSchV ergeben sich für die Summe aller Belastungspfade folgende Dosisgrenzwerte (Tab. 1.9), die auch bei einer örtlichen Kumulation kerntechnischer Anlagen einzuhalten sind.

Die in § 45 StrlSchV festgelegten Grenzwerte liegen erheblich unter den entsprechenden Grenzwerten, die die International Commission on Radiological Protection im Januar 1977 (ICRP, 1977) empfohlen hat und die in die Richtlinie des Rates der Europäischen Gemeinschaften vom Juli 1980 (Euratom/80/836) aufgenommen worden sind.

Tab. 1.9

**Dosisgrenzwerte nach Strahlenschutzverordnung**

Belasteter Körperteil	Abluft	Abwasser
	mrem/a	
Ganzkörper, Knochenmark, Gonaden, Uterus	30	30
Hände, Unterarme, Füße, Unterschenkel, Knöchel einschließlich Haut	360	360
Haut, falls nur diese der Strahlung exponiert ohne die oben erfaßte Haut	180	180
Knochen	180	180
Andere Organe, z. B. Lunge	90	90
Schilddrüse über Ernährungsketten	90	

Quelle: Nach StrlSchV

**140.** Eine Berechnung der Strahlenexposition muß, sofern Akkumulationseffekte beteiligt sind, eine zeitliche Dimension zugrunde legen. Die als Richtlinie zu § 45 StrlSchV festgelegten „Allgemeinen Berechnungsgrundlagen für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer“ (BMI, 1979) schreiben daher vor, daß bei Expositionspfaden, die mit einer Anreicherung von Radionukliden in der Umwelt verbunden sind, von einer Akkumulationszeit von 50 Jahren auszugehen ist. Auch an dieser Stelle wird wiederum die Tragweite von Detailfestlegungen sichtbar.

**141.** Bei Einhaltung der genannten Dosisgrenzwerte können akute schädliche Wirkungen nicht auftreten. Stochastisch, das heißt zufällig verteilte Schädigungen wie Krebs, Leukämie und Erbschäden können allerdings auch bei sehr geringen Dosen nicht ausgeschlossen werden. Allerdings muß nachdrücklich darauf hingewiesen werden, daß die zu erwartende Häufigkeit derartiger Wirkungen deutlich geringer ist als diejenige, die auf die natürliche Strahlenexposition zurückzuführen ist. Gleichviel addieren sich beide; bezüglich der medizinischen Strahlenbelastung vgl. Tz. 210.

**142.** Zwei spezifische Einwendungen verdienen besondere Beachtung:

— Es wird behauptet, die Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen sei mit der natürlichen Strahlenexposition nicht vergleichbar, da es sich um ein anderes Spektrum ionisierender Teilchen handle. Wie die Strahlenschutzkommission nochmals 1976 ausführlich begründet hat, trifft dies nicht zu, da in beiden Fällen auf Äquivalentdosis umgerechnet wird: Die biologische Wirkung der verschiedenen Strahlenarten aus natürlichen und künstlichen Strahlenquellen beruht auf den gleichen biophysikalischen Mechanismen. Eine äußere oder innere Bestrahlung aus künstlichen Quellen hat bei gleicher Äquivalentdosis, d. h. bei Berücksichtigung von Strahlenart und -energie, Dosisleistung und gegebenenfalls mikroskopischer Dosisverteilung neben der räumlich gemittelten Energiedosis, die gleiche Wirkung wie die Bestrahlung aus natürlichen Quellen (BMI, 1976a).

— Häufig wird auf die besondere chemische Toxizität und Radiotoxizität von Plutonium hingewiesen. Hinsichtlich der chemischen Toxizität ist Plutonium im Hinblick auf Grundwirkungen und Speichermöglichkeit in etwa mit Blei, entfernt auch mit Quecksilber zu vergleichen. Für die Beurteilung der Radiotoxizität ist zu unterscheiden, ob das Plutonium in löslichen oder unlöslichen Verbindungen vorliegt. Die Inhalation von Plutoniumaerosolen führt zu einer Dosisverteilung in der Lunge, die um so inhomogener ist, je geringer die Lungenlöslichkeit und je breiter das Spektrum des Durchmessers sowie der spezifischen Aktivität der Partikel ist. Das Problem möglicher extrem inhomogener Dosisverteilung wird unter dem Schlagwort „heiße Partikeln“ diskutiert. Die insgesamt bisher vorliegenden Erfahrungen (siehe auch Strahlenschutzkommission 1976b) bestätigen, daß die in der Strahlenschutzverordnung festgelegten Grenzwerte ausreichend vorsichtig bemessen sind.

**Weitere Schritte der Strahlenschutzpolitik**

**143.** Das Ziel, die Exposition zu minimieren, läßt sich für den Umweltbereich am sichersten durch eine weitere Senkung der Emissionen erreichen. Der hier mögliche Spielraum ließe sich sicherlich durch eine ins einzelne gehende technische Analyse ermitteln. Dieser Weg ist für den Rat freilich nicht



gangbar. Er beschränkt sich deshalb auf einen Vergleich der empirisch ermittelten Emissionen mit den in den atomrechtlichen Verfahren genehmigten Werten.

Dieser Vergleich zeigt, daß die genehmigten Werte in der Praxis stark unterschritten werden. Der Rat empfiehlt, die sich hier abzeichnenden Spielräume unter Beachtung der Verhältnismäßigkeit bei künftigen Genehmigungsverfahren auszuschöpfen. Hinsichtlich der quantitativen Dimensionen hat LINDACKERS (1980) Berechnungen vorgelegt, die auch die Schwankungen des Auslastungsgrades und die Streuung nach dem Anlagenalter berücksichtigen. Er kommt dabei zu den in Tab. 1.10 zusammengestellten Emissionsgenehmigungswerten.

Tab. 1.10

**Technisch einhaltbare maximale Emissionsgenehmigungswerte für Kernkraftwerke mit Leichtwasserreaktoren je 100 MW installierter elektrischer Bruttoleistung**

Emission	Emissionsgenehmigungswerte für	
	Druckwasserreaktor (Ci/a)	Siedewasserreaktor (Ci/a)
Abluft		
— Edelgase . . . . .	5 000	13 000
— Aerosole (HWZ>8d) . . . . .	0,04	0,09
— Jod-131 . . . . .	0,06	0,3
Abwasser		
— Spalt- und Aktivierungsprodukte . . . . .	1,2	6
— Tritium . . . . .	750	75

Quelle: LINDACKERS, 1980

Der Rat erwartet als Folge einer solchen Genehmigungsstrategie, daß sich neue und niedrigere Normen und faktische Emissionen wiederum auseinander entwickeln. Außerdem steigert eine realitätsnahe Festsetzung von Emissionsnormen die Glaubwürdigkeit der Strahlenschutzpolitik.

**Abwärme aus Kernkraftwerken**

144. Der Wirkungsgrad von Leichtwasser-Kernkraftwerken ist aus prozeßtechnischen Gründen wesentlich geringer als der Wirkungsgrad von Kohlekraftwerken. Bezogen auf die Netto-Stromproduktion fällt etwa 50 % mehr Abwärme an. Ein Leichtwasser-Reaktorblock von 1 300 MWe erzeugt damit ungefähr 2,5 mal soviel Abwärme wie ein Kohlekraftwerk von 750 MWe. Dieser Zahlenvergleich zeigt die ungleich größeren Kühlprobleme von Kernkraftwerken, zumal sie als Grundlastkraftwerke auch bei ungünstiger Wasserführung betrieben werden sollen. Es kann nicht bestritten werden, daß dies

die Standortwahl prägt. Allerdings wird durch Verwendung von geeigneter Kühlturmtechnik (vgl. Rheingutachten Tz. 328 ff.) die Wärmeeinleitung in Oberflächenwasser so gering gehalten, wie dies aus Gründen des Umweltschutzes erforderlich ist. Radioaktive Stoffe, die bei der Entnahme aus dem Vorfluter bereits im Kühlwasser enthalten sind und durch Verdunstung emittiert werden, werden als Vorbelastung berücksichtigt.

145. Umweltbelastungen durch Naßkühltürme könnten durch den Einsatz von Trockenkühltürmen vermieden werden, die allerdings neue, noch nicht ausreichend erforschte klimatische Umweltprobleme mit sich bringen dürften (s. Tz. 288 ff.).

**1.2.2.3 Die potentiellen Strahlenbelastungen**

146. Es wurde ausgeführt, daß die Strahlenbelastungen von Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland im Normalbetrieb sehr gering sind. Dies wird durch hochentwickelte und sorgfältig überwachte Messungen belegt. Tatsächlich beziehen sich die Befürchtungen in der Öffentlichkeit in der Regel auch weniger auf den Normalbetrieb als auf die Möglichkeit schwerer Unfälle sowie die wachsenden Mengen hochradioaktiver Abfälle und stark radioaktiver Bauteile stillgelegter Kernkraftwerke, die für Jahrtausende sicher, d.h. unter Abschluß von der Biosphäre, gelagert werden müssen. Dies sind Probleme, die in ihren Fragestellungen und in ihren Dimensionen für die Energieversorgung völlig neuartig sind; es verwundert daher nicht, daß Schätzurteile auf diesem Felde zunehmen, so daß das Ausmaß kontroverser Standpunkte nahezu zwangsläufig wächst. Das Konfliktpotential wird auch dadurch gesteigert, daß sich die potentiellen Gefahren der Erfahrungswelt entziehen. An die Stelle von Erfahrungen mit großen Unfällen — die uns bisher erspart geblieben sind — treten rechnerisch ermittelte Abschätzungen, bei denen für die potentiell Betroffenen keine Plausibilitätskontrolle mehr möglich ist.

**1.2.2.3.1 Störfälle und Unfälle**

147. In der heute hochentwickelten Reaktorsicherheitstechnik unterscheidet man unter den Aspekten des Strahlenschutzes Störfälle und Unfälle. Diese beiden, in der öffentlichen Diskussion oft mißverständlichen Begriffe bedürfen der Erläuterung. Störfälle sind in der Sprache der Reaktorsicherheitsphilosophie diejenigen Ereignisse im Reaktorsystem, die eine Gefahr der Freisetzung größerer Mengen von Spaltprodukten herbeiführen als im bestimmungsgemäßen Betrieb maximal zugelassen sind. Zur Vermeidung von Störfällen und zur Begrenzung der Störfallauswirkungen bei Kernkraftwerken werden seit je her drastische und immer umfassendere Schutzmaßnahmen gesetzlich gefordert und realisiert. Diese wurden ursprünglich vorwiegend an dem sogenannten größten anzunehmenden Unfall (GAU), dem Bruch der Hauptkühlmittelleitung, ausgerichtet. Inzwischen werden der Auslegung der Si-

cherheitseinrichtungen eine ganze Reihe denkbarer gefährlicher Ereignisse, sog. Auslegungstörfälle, zugrundegelegt. Sie wurden in den atomrechtlichen Genehmigungsverfahren festgelegt und erstrecken sich auch auf sehr seltene äußere Einwirkungen, wie z.B. den Absturz schnell fliegender Militärflugzeuge, Gasexplosionen und Erdbeben. Diese Erweiterung der Sicherheitsphilosophie bedeutet einen beachtlichen Fortschritt; freilich kann die Liste der zu berücksichtigenden Einwirkungen niemals vollständig sein. Insbesondere die Möglichkeit, Kriegseinwirkungen und Terror mit militärischen Waffen zu berücksichtigen, sind offensichtlich begrenzt und auch bei anderen gefährlichen Technologien nicht üblich.

Für derartige Auslegungstörfälle sind in § 28 Abs. 3 StrlSchV die Dosisgrenzwerte festgelegt, die in der Umgebung nicht überschritten werden dürfen. Diese betragen für einen solchen Fall für die Schilddrüse rund das 170-fache, für die verschiedenen Körperbereiche rund das 85-fache der für den Normalbetrieb nach StrlSchV jährlich zulässigen Grenzwerte. Dies entspricht höchstens 5 rem Ganzkörperdosis pro Störfall. Das ist der Wert, der Beschäftigten in kerntechnischen Anlagen jährlich maximal zugemutet wird. Auch bei diesen Dosisgrenzwerten für Auslegungstörfälle werden nach Auffassung der ICRP (ICRP, 1977, Absatz 193) akute schädliche Wirkungen nicht auftreten. Die Wahrscheinlichkeit von Schäden am genetischen Material wird im Vergleich zum Normalbetrieb entsprechend höher sein; die Erhöhung dieses Erwartungswertes bleibt jedoch hinter demjenigen Erwartungswert zurück, den man für die natürliche Strahlenexposition bei fünfzigjähriger Exposition veranschlagen muß.

**148.** Als Unfall werden im Gegensatz zum Störfall im Sinne der Definition der Strahlenschutzverordnung alle Ereignisabläufe bezeichnet, die in der Umgebung zu einer Überschreitung der Grenzwerte der Strahlenexposition von § 28 Abs. 3 StrlSchV führen. Im Sinne dieser Definition war der Ereignisablauf beim Kernkraftwerk Three Miles Island in der Nähe von Harrisburg, USA, im März 1979 ein Störfall. Erst bei einer größeren Leckage der Sicherheitshülle wäre aus diesem Störfall ein Unfall geworden.

**149.** Zusammenfassend wird beim Kernkraftwerksbetrieb unterschieden:

- bestimmungsgemäßer Betrieb. Hierunter fallen auch Betriebsstörungen, solange radioaktive Freisetzungen auf die genehmigten Werte beschränkt sind.
- Störfälle. Die Emissionen überschreiten zwar die für den Normalbetrieb zulässigen Werte, die Strahlenexposition in der Umgebung bleibt jedoch unterhalb der Schranken von § 28 Abs. 3 StrlSchV.
- Unfälle. Die Dosisgrenzwerte von § 28 Abs. 3 StrlSchV werden in der Umwelt überschritten.

**150.** Es ist hervorzuheben, daß die bei Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland beobachteten Betriebsstörungen, die zur Abschaltung

von Kernkraftwerken geführt haben, fast ausschließlich im konventionellen Bereich aufgetreten sind und nicht zu radioaktiven Emissionen geführt haben. Einzelne Abschaltungen waren allerdings auch mit erhöhten radioaktiven Ableitungen verbunden, ohne daß dabei aber die Schwelle zum Störfall erreicht worden wäre.

**151.** Für die Zwecke des Strahlenschutzes ist diese Begriffsbildung klar und in sich konsistent. Sie weicht allerdings erheblich vom Sprachgebrauch ab, wie er normalerweise im Alltag und in der Technik üblich ist. So ist beispielsweise ein Auto-Zusammenstoß ohne Personenschäden kein „Störfall“, sondern ein Unfall. Auch vermag der Laie kaum einzusehen, daß ein Ereignis, das einem Totalschaden an der Anlage nahekommt (Three Miles Island), nur ein Störfall sein soll.

Die mit der Kernenergie Befaßten sollten daher überlegen, wie derartige Sprachbarrieren abgebaut werden könnten, die die Verständigung erschweren und die obendrein den Verdacht der Verharmlosung nähren können.

**152.** Seit Beginn der friedlichen Kernenergienutzung war bekannt, daß trotz aller technischen und administrativen Schutzmaßnahmen Unfälle bei Kernkraftwerken nicht ausgeschlossen werden können, die mit einer größeren Freisetzung von Spaltprodukten in der Umgebung und daraus resultierenden erheblichen Wirkungen verbunden sind. Ein Unfall im Sinne des Strahlenschutzes ist weltweit bisher offenbar im Bereich der friedlichen Nutzung nicht eingetreten. Zur Abschätzung der Eintrittswahrscheinlichkeit und der möglichen Schadensumfänge denkbarer Unfallereignisse wurden die Methoden der Risikoanalyse entwickelt und in groß angelegten Studien auf Leichtwasserreaktoren angewendet (Rasmussen-Report, 1975; Deutsche Risiko-Studie KKW, 1979). Die auf diesen Grundlagen gewonnenen Aussagen sind allesamt durch die Tatsache geprägt, daß einer außerordentlich geringen Eintrittswahrscheinlichkeit in einem sehr geringen Teil der Fälle katastrophale Folgen gegenüberstehen. Dies macht die Grenzen von Risikostudien als politische Entscheidungshilfen deutlich; sowohl Befürworter als auch Gegner der Kernkraftwerke können sich aus verschiedenen Betrachtungsstandpunkten gleichermaßen auf Ergebnisse solcher Risikostudien beziehen.

**153.** Unfälle im Sinne des Strahlenschutzes würden sicherlich in den meisten Fällen von begrenztem Umfang und entsprechend begrenzten Folgen sein. Die Unfallschäden werden anhand eines Unfallfolgenmodells berechnet, in dem die Freisetzung radioaktiver Materials, atmosphärische Ausbreitung und Ablagerung, Dosisberechnung, Schutz- und Gegenmaßnahmen sowie die gesundheitlichen Schäden quantitativ erfaßt werden. Ein Unfall, der durch die ungünstigsten Bedingungen für Freisetzung, Wetterverhältnisse und Bevölkerungsverteilung gekennzeichnet ist, kann auch das Ausmaß großer Katastrophen annehmen. Die Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke (DRS, 1979) weist folgende maxi-

male Folgen unterschiedlicher und sehr schwerer Unfallverläufe durch ein 1 300 MWe Druckwasser-Kernkraftwerk aus:

- 14 500 Todesfälle durch akutes Strahlensyndrom,
- 104 000 Todesfälle durch Leukämie und Krebs in den auf den Unfall folgenden 20—30 Jahren, zur Hälfte außerhalb des Gebietes der Bundesrepublik Deutschland.

Neben diesen Todesfällen ist zu berücksichtigen, daß

- maximal 42 000 Personen aus einem Gebiet von 33 km<sup>2</sup> innerhalb von wenigen Stunden evakuiert werden müßten,
- maximal 1 Million Personen aus einem Gebiet von bis zu 380 km<sup>2</sup> innerhalb weniger Tage schnell umgesiedelt werden müßten,
- bis zu 2,9 Millionen Personen aus einem Gebiet von etwa 5 600 km<sup>2</sup> im Verlauf mehrerer Monate umgesiedelt werden müßten.

Es ist bis heute nicht bekannt, wann eine Rückkehr dieser Personen möglich wäre. Die Möglichkeiten, diese Rückkehr durch sog. Dekontamination zu beschleunigen, sind bis heute nicht entsprechend untersucht.

Als langfristiges Gefahrenpotential verbliebe eine bedeutende genetische Belastung mit Auswirkungen für viele Generationen.

**154.** Die Risikostudie hat zugleich deutlich gemacht, daß die genannten maximal ungünstigen Unfallabläufe bei einem unterstellten Bestand von 25 Kernkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland mit einer Häufigkeit in der Größenordnung von eins zu zehn Milliarden je Jahr auftreten können. Von großen Teilen der Bevölkerung wird dies nicht als Beruhigung empfunden, weil sich eine solche Katastrophe trotz der geringen Wahrscheinlichkeit jederzeit ereignen könnte. Daher kann das Risiko eines Unfalls von katastrophalem Ausmaß aus der Gesamtbewertung nicht ausgeklammert werden.

**155.** Die maximalen unmittelbaren und mittelbaren Folgen eines großen Kernkraft-Unfalls sind kaum nachvollziehbar; sie lassen sich allenfalls (aber ohne die genetischen Spätfolgen) mit großen Naturkatastrophen vergleichen. Im Bereich der Unfälle mit begrenzten Folgen erscheint jedoch ein Vergleich mit anderen Risiken der technischen Umwelt sinnvoll.

Wie statistische Untersuchungen zeigen (LINDAKERS, 1980) ist das mittlere, individuelle Risiko eines Menschen durch Unfall zu Tode zu kommen, je nach dem Gefahrenbereich, in dem er sich aufhält, sehr unterschiedlich. Beispielsweise ergeben sich bei der Arbeit (ohne Wegerisiko) zwischen den wichtigsten Berufsgruppen Unfallrisikounterschiede bis zum 30-fachen. Der höchste Wert ergibt sich für Berufstätige im Bergbau, der niedrigste für Berufstätige im Gesundheitsdienst. Der deutschen Risikostudie Kernkraftwerke kann das geschätzte Risiko von

Personen, in der Umgebung von Kernkraftwerken als Folge eines nuklearen Unfalls ums Leben zu kommen, entnommen werden (DRS, 1979). Danach ist der höchste Risikowert für Unfälle mit Todesfolgen — unter Einschluß der Möglichkeit, erst viele Jahre später an einer unfallbedingten Krankheit zu sterben — kleiner als ein Tausendstel des Risikos, als Berufstätiger im Gesundheitsdienst tödlich zu verunglücken.

**156.** Im Vergleich mit dem oft zitierten Verkehrsrisiko gibt die Deutsche Risikostudie eine interessante Abschätzung: Die Wahrscheinlichkeit dafür, daß durch 25 Kernkraftwerke in der Bundesrepublik Deutschland bei einem Unfall gleichzeitig mehr als 5 Personen zu Tode kommen — wiederum Spätfolgen eingeschlossen —, liegt größenordnungsmäßig um einen Faktor zehntausend niedriger als das vergleichbare empirische Risiko im Verkehrsbereich.

**157.** Es sei ausdrücklich darauf hingewiesen, daß derartige Risikovergleiche nur begrenzte Aussagen erlauben. Bezogen auf nukleare Unfälle berücksichtigen sie zwar die Spätfolgen bei den unmittelbar Betroffenen, nicht jedoch das Risiko einer genetischen Schädigung späterer Generationen. Darüber hinaus haben alle derartigen Risikovergleiche die Schwäche, die individuelle Akzeptanz von Risiken ausklammern zu müssen. Es ist beispielsweise bekannt, daß individuelle Risiken (z. B. Rauchen, Autofahren) um etwa drei Größenordnungen, d. h. das Tausendfache höher hingenommen werden, als man bereit ist, öffentlich auferlegte Risiken (sofern überhaupt bemerkt) hinzunehmen. Dieses Phänomen ist im übrigen für weite Bereiche des Umweltschutzes kennzeichnend.

Die begrenzte Aussagekraft von Risikovergleichen darf allerdings nicht den Blick dafür verstellen, daß Risikoanalysen auch mindestens ebenso wichtige andere Funktionen haben. Sie helfen Schwachstellen der Sicherheitskonzeptionen und der Sicherheitstechnik aufzudecken. Sie weisen ferner darauf hin, an welchen Stellen bei einem wirklichen Unfall eingegriffen werden soll, um das Ausmaß der Folgen zu begrenzen. Der Rat hält sie aus diesen Gründen für unverzichtbar.

**158.** Die Technik des natriumgekühlten Schnellen Brütters bringt andersartige Sicherheitsprobleme mit sich. Grundsätzlich bleibt jedoch bei gleicher elektrischer Leistung wegen des vergleichbar großen Inventars an Spaltprodukten das Ausmaß maximaler Unfallfolgen bezogen auf den Leichtwasserreaktor unverändert. Die besonderen Wirkungen des Plutoniums in der Umwelt lassen allerdings längerfristige und schwererwiegende ökologische Folgen möglich erscheinen.

#### 1.2.2.3.2 Probleme der Entsorgung

**159.** Bei der Herstellung von Kernbrennstoff und beim Betrieb von Kernkraftwerken fallen nahezu kontinuierlich radioaktive Abfälle an. Dies sind in der Hauptsache beladene Filter aus Lüftungsanla-



gen, Ionenaustauschharze und Verdampfungsrückstände. Einen zweiten Abfallkomplex bilden mit radioaktiven Stoffen kontaminierte Gegenstände aller Art. Probleme ganz anderer Dimension bilden die abgebrannten Brennelemente und die radioaktiv kontaminierten oder aktivierten Teile außer Betrieb genommener und stillzulegender Kernkraftwerke.

#### Abfälle (außer Brennelementen)

**160.** Je nach dem Grad der Kontaminierung werden schon beim Anfall schwach-, mittel- und hochradioaktive Abfälle getrennt gesammelt. Soweit die Abfälle veraschbar sind, erfolgt eine Volumenreduzierung durch Veraschung unter Beachtung der notwendigen Schutzmaßnahmen zur Vermeidung einer Kontamination der Umwelt. Die Abfälle, zu denen beispielsweise auch Krankenhausabfälle aus der Radiotherapie gehören, werden in Normbehälter gefüllt und in Zwischenlagerstellen gesammelt. Die Lagerung erfolgte bis vor kurzem in dem entsprechend eingerichteten Salzbergwerk Asse II. Nachdem Ende 1978 die Genehmigung für diese Versuchseinlagerung von schwach- und mittlerradioaktiven Abfällen abgelaufen ist, darf dort zur Zeit eine Einlagerung nicht vorgenommen werden. Die Verfahren zur Genehmigung der weiteren Einlagerung und Endlagerung schwach- und mittlerradioaktiver Abfälle sind eingeleitet. Bis zu einer Genehmigung muß die Lagerung in Zwischenlagerstellen erfolgen; sicherlich keine erfreuliche Lösung, die zeitlich möglichst beschränkt bleiben sollte.

**161.** Sowohl die Konditionierung der Abfälle als auch deren Transport zu Zwischen- und Endlagern stellen keine nennenswerte Belastung für die Umwelt dar. Selbst bei Transportunfällen könnten infolge der vorhergehenden Verfestigung dieser Abfälle keine umweltgefährdenden Kontaminationen eintreten. Der Mengenanfall ist hinreichend bekannt und bietet keine besonderen Schwierigkeiten. Soweit bis heute bekannt, ist die Einlagerung in entsprechend erkundeten Salzformationen der zuverlässigste Weg, um den Wiedereintritt der radioaktiven Stoffe in die Biosphäre mit ausreichender Sicherheit zu verhindern.

**162.** Die Bundesrepublik Deutschland hat es abgelehnt, radioaktive Abfälle an tiefen Stellen im Atlantik routinemäßig zu versenken, da nicht genügend gesichert ist, daß die versenkten Abfälle lange genug von der Biosphäre ferngehalten werden. Sie hat sich jedoch an probeweisen Versenkungen von radioaktiven Abfällen, die von der OECD zur Erkundung der damit verbundenen oder daraus folgenden Probleme durchgeführt worden sind, beteiligt und damit sichergestellt, daß ihr die bei diesen Untersuchungen gewonnenen Kenntnisse zur Verfügung stehen.

**163.** Ein Sonderproblem sind Teilabbruch und sichere Einschließung nicht mehr betriebener Kernkraftwerke und anderer nuklear-technischer Anlagen. Dies wird durch Probleme der Material-Alte-

rung erforderlich; hinzu kommt, daß ältere Anlagen vom technischen Fortschritt überholt werden und daß der Wartungsbedarf überproportional steigt.

Es gibt planerische Konzepte, nach denen ein Teilabbruch und ein gesicherter Einschluß abgewickelt werden; sie sollen beim Kernkraftwerk Niederaichbach erprobt werden. Echte Erfahrungen dürften aber erst beim Abbruch eines länger betriebenen Kernkraftwerkes (Lingen, Gundremmingen) gewonnen werden.

#### Abgebrannte Brennelemente

##### a) Vorläufige Lagerung

**164.** Bei den heutigen Leichtwasser-Kernkraftwerken muß jährlich etwa ein Drittel der Brennelemente gegen neue ausgetauscht werden. Für einen 1300 MW Reaktor bedeutet dies einen Anfall von etwa 30 t abgebrannten Kernbrennstoffs im Jahr entsprechend etwa 70 Brennelementen. Die entnommenen Brennelemente werden in der Reaktoranlage unter Wasser gelagert und überwacht. Wäre die Entsorgung gelöst, so würden sie frühestens nach einem Jahr Abklingzeit zur Wiederaufarbeitungsanlage verbracht. Da diese Lösung auf sich warten läßt (s.u.), werden in zunehmendem Maße sog. Kompaktlager mit größerer Aufnahmefähigkeit eingerichtet. Nach derartiger Umrüstung (70 Brennelemente belegen ein Volumen von rund 30 m<sup>3</sup>) können im Kernkraftwerk selbst 8 Nachlademengen gelagert werden. Zusätzlich bleibt im Brennelementelagerbecken Raum für eine vollständige Kernladung frei, damit der in Betrieb befindliche Kern, wenn es Sicherheitserwägungen erfordern, jederzeit ausgeladen werden kann. Die Einrichtung von Kompaktlagern ist genehmigungspflichtig. Das Risiko für die Umgebung erhöht sich durch die größere Lagerkapazität nicht.

**165.** Solange der endgültige Verbleib abgebrannter Brennelemente nicht geklärt ist, wird eine längerfristige Zwischenlagerung erforderlich. Bei einer sogenannten „nassen“ Zwischenlagerung in großen Wasserbecken müssen eine zuverlässige Wärmeabfuhr und ausreichender Schutz gegen Wasserverlust sichergestellt sein. Inzwischen erscheint auch eine „trockene“ Zwischenlagerung in stapelbaren, sicheren Behältern ohne Zwangskühlung bei hinreichend langer vorheriger Lagerung der Brennelemente in den Kompaktlagern der Kernkraftwerke möglich und im Hinblick auf den Umweltschutz günstiger, da Korrosionsprobleme entfallen und eine „passive“ Naturkühlung stattfinden kann.

##### b) Transport der abgebrannten Brennelemente

**166.** Für notwendige Transporte werden spezielle Transportbehälter verwendet. Sie müssen den strengen international gültigen Sicherheitsvorschriften der Internationalen Atomenergie-Organisation genügen. Ein Transportbehälter kann bis zu 7 Brennelemente aufnehmen. Die Transportbehälter sind so

ausgelegt, daß sie der Einwirkung von genau definierten Schadensfeuern und dem Absturz aus Höhen bis zu 10 m standhalten, ohne daß die Sicherheit des Behälters beeinträchtigt wird. Unter Berücksichtigung der jährlichen Entlademenge von 70 Brennelementen sind also je Kernkraftwerk-Block jährlich 10 Transporte erforderlich. Im Hinblick auf die Zahl der Transporte und die Zuverlässigkeit der Transportbehälter ist das Risiko eines Transportunfalls mit Freisetzung radioaktiver Stoffe außerordentlich klein.

### c) Wiederaufarbeitung

**167.** Eine Wiederaufarbeitung verbrauchter Brennelemente hat grundsätzlich die doppelte Aufgabe der Rückgewinnung von Kernbrennstoff und der Erleichterung der Endlagerung nicht wieder verwendbarer Spaltprodukte und Transurane. Die energiepolitische Bedeutung der Wiederaufarbeitung ist hier nicht zu behandeln; der Rat beschränkt sich auf die Betrachtung der umweltpolitischen Probleme.

**168.** Seit September 1971 ist eine Wiederaufarbeitungsanlage für verbrauchte Brennelemente als Pilotanlage bei Karlsruhe (WAK) in Betrieb. Ihre Auslegungskapazität beträgt 175 kg Uran pro Tag bei 200 Betriebstagen pro Jahr entsprechend 35 t/a, allerdings wurde diese bisher nicht ausgeschöpft. Hauptzweck der WAK war und ist es, Betriebserfahrungen zu gewinnen und die Technologie der Wiederaufarbeitung weiterzuentwickeln. Die Emissionen radioaktiver Stoffe aus der WAK für die Jahre 1975 und 1976 sind aus Tab. 1.11 ersichtlich.

Die in Tab. 1.11 angegebenen Emissionen sind geringer als die genehmigten Emissionswerte. Der Unterschied der in den beiden Jahren gemessenen Emissionen ist dadurch bedingt, daß Brennelemente unterschiedlichen Abbrandes aufgearbeitet werden.

**169.** Der Stand der Vorbereitungen zur Errichtung einer größeren Wiederaufarbeitungsanlage ist nach dem vorläufigen Scheitern des nuklearen Entsorgungszentrums bei Gorleben bei Abschluß des Gutachtens unklar. Zwar sind andere Standorte in verschiedenen Bundesländern im Gespräch (s. Beschluß der Regierungschefs des Bundes und der Länder vom 28. September 1979), doch läßt sich über die Realisierungschancen noch nichts aussagen. Im Land Hessen ist bei der zuständigen Behörde jedoch ein Antrag auf Errichtung einer Anlage mit einer Kapazität von 350 t/a gestellt. Hinsichtlich der zu erwartenden Umweltbelastungen kann daher nur auf die Daten und Emissionsgrenzwerte zurückgegriffen werden, die die Strahlenschutzkommission für das Entsorgungszentrum bei Gorleben festgelegt hatte. Selbstverständlich müssen auch hier die Normen der Strahlenschutzverordnung eingehalten werden.

**170.** Die mittlere spezifische tatsächliche Emission der WAK und die mittleren kapazitätsbezogenen Emissionsgrenzwerte für ein nukleares Entsorgungszentrum sind in Tab. 1.12 zusammengestellt. Aus dieser Tabelle ist ersichtlich, daß für eine künftige Anlage nach Ansicht der Strahlenschutzkommission für alle Emissionen mit Ausnahme von Tritium in die Abluft erheblich verbesserte Rückhalte-techniken realisiert werden können und müssen; dabei ist bereits berücksichtigt, daß in einer künftigen Wiederaufarbeitungsanlage beträchtlich höher abgebrannte, d. h. stärker radioaktive Brennelemente verarbeitet werden müssen. Angesichts der geplanten Kapazität dürfte diese Emissionsminderung auch erforderlich sein.

**171.** Auch in Wiederaufarbeitungsanlagen kann es zu Störfällen und Unfällen kommen. Die Auslegungsstörfälle im Sinne der Definition der Strahlenschutzverordnung werden im Rahmen des Genehmigungsverfahrens noch zu bestimmen sein. Bei Eintritt dieser Auslegungsstörfälle muß die Sicherheitstechnik für die Einhaltung der Grenzwerte sor-

Tab 1.11

Gemessene Emissionen der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe in den Jahren 1975 und 1976

Emission	genehmigt	1975 (Ci/a)	1976 (Ci/a)
Abluft			
— Krypton-85 .....	350 000	43 000	86 000
— Tritium .....	1 000	68	102
— Aerosole (Alpha-Aktivität) .....	0,01	0,003	0,0031
— Aerosole (Beta-Aktivität) .....	2,0	0,17	0,14
Abwasser			
— Spalt- und Aktivierungsprodukte .....	<sup>1)</sup>	0,09	0,04
— Tritium .....	<sup>1)</sup>	1 500	3 100

<sup>1)</sup> Einleitungsgenehmigung nur für KFK insgesamt

Quelle: Nach atw 24, 1979

Tab. 1.12

**Mittlere spezifische tatsächliche Emissionen der WAK und kapazitätsbezogene Emissionsgrenzwerte für ein zukünftiges nukleares Entsorgungszentrum (NEZ)**

Emission	Tatsächliche Emission WAK	Vorgesehene Emissionsgrenzwerte des NEZ
	Ci/t Uran	Ci/t Uran
Abluft		
— Krypton-85 . . . . .	5 375	714
— Tritium . . . . .	7,1	143
— Aerosole (Alpha-Aktivität)	$2,5 \cdot 10^{-4}$	$3,6 \cdot 10^{-5}$
— Aerosole (Beta-Aktivität)	$1,3 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-3}$
Abwasser		
— Spalt- und Aktivierungsprodukte	$5,4 \cdot 10^{-3}$	$2,9 \cdot 10^{-4}$
— Tritium . . . . .	192	0,9

Quelle: Nach Bundesgesundheitsamt bzw. Strahlenschutzkommission, veröffentlicht in Energiediskussion, 1978, Deutscher Bundestag, 1977

gen, wie sie in § 28 Abs. 3 StrlSchV festgelegt sind. Sicherlich kann auch hier ein durch Versagen des Sicherheitssystems ausgelöster Unfall im Sinne der Strahlenschutzverordnung nicht ausgeschlossen werden. Unter Berücksichtigung der bisherigen Erfahrungen und der baulichen Gestaltung von Wiederaufarbeitungsanlagen kann aber bereits jetzt ohne eine detaillierte Risikostudie festgestellt werden, daß die maximalen Auswirkungen möglicher Unfälle bei einer Wiederaufarbeitungsanlage auf jeden Fall erheblich geringer sein werden als bei schwersten Unfällen in einem Kernkraftwerk, weil die durch einen Unfall freisetzbare Menge an radioaktiven Stoffen entscheidend niedriger ist. Im atomrechtlichen Genehmigungsverfahren muß nachgewiesen werden, daß störfallbedingte Freisetzungen radioaktiver Stoffe hinreichend sicher verhindert werden. Eine Abschätzung des Risikos kleiner und mittlerer Unfälle kann wohl nur eine eigene Risikostudie vornehmen.

**d) Konditionierung und Endlagerung der Rückstände**

**172.** Nicht wieder verwendbare Spaltprodukte und Transurane müssen von der Biosphäre ferngehalten werden. Dies soll durch Endlagerung geschehen. Das Konzept des nuklearen Entsorgungszentrums sieht vor, die Spaltprodukte zu verglasen und in Stahl eingebettet in Salzstöcken zu lagern. Dies dürfte nach Ansicht der Mehrheit der Fachleute das Problem der Endlagerung lösen; einige Fachleute haben zu einzelnen Aspekten Bedenken.

Auffassungsunterschiede hängen nicht zuletzt davon ab, ob ein sicherer Einschuß für mehrere tau-

send Jahre — danach entspricht die spezifische Radioaktivität derjenigen einer Uranerzlagerstätte — oder für rd. eine Million Jahre bis zum Zerfall der Aktiniden (Transurane außer Plutonium) gefordert wird.

Der Rat sieht sich nicht in der Lage, zu diesem Diszens Stellung zu nehmen, zumal sich zumindest theoretisch eine ganz andere Lösung dieses Problems anbietet. Wenn es gelänge, durch geeignete Neutronenbestrahlung die außerordentlich langlebigen und radiotoxisch bedeutsamen Transurane in Stoffe mit sehr viel kürzerer Halbwertszeit oder sogar vereinzelt in inaktive Nuklide umzuwandeln und dies auch im großtechnischen Maßstab zu nutzen, dann könnte die Zeitspanne für den notwendigen Abschluß dieser radioaktiven Stoffe von der Biosphäre drastisch reduziert werden. Angesichts dieser — bisher freilich nur theoretischen — Möglichkeit könnte es zweckmäßig sein, die Endlagerung der hochradioaktiven Abfälle so zu gestalten, daß zu einem späteren Zeitpunkt ohne zusätzliche Risiken eine weitere Behandlung möglich bleibt. Da eine endgültige Entscheidung über die Endlagerung der hochradioaktiven Spaltprodukte noch nicht getroffen wurde und auch kurzfristig nicht getroffen werden muß, empfiehlt der Sachverständigenrat eine intensive Erforschung dieser Möglichkeiten.

**e) Direkte Endlagerung abgebrannter Brennelemente**

**173.** Gemäß dem Beschluß der Regierungschefs von Bund und Ländern zur Entsorgung der Kernkraftwerke vom 28. September 1979 soll neben der Möglichkeit der Wiederaufarbeitung die direkte Endlagerung von abgebrannten Brennelementen ohne Wiederaufarbeitung auf ihre Realisierbarkeit und sicherheitstechnische Bewertung untersucht werden. Der Bundesminister für Forschung und Technologie hat dazu inzwischen ein Programm vorgelegt. Die notwendigen Untersuchungen sollen bis Ende 1984 abgeschlossen sein.

**174.** Der Wegfall der Wiederaufarbeitung und der notwendigen Konditionierung der hochradioaktiven Abfälle hat den Vorteil, daß die damit verbundenen Emissionen sowie die zugehörigen Störfall- und Unfallrisiken fortfallen. Andererseits ist dieses Konzept mit dem Verlust von wertvollem Kernbrennstoff verbunden. Darüber hinaus erfordert das in den abgebrannten Brennelementen enthaltene Plutonium mit seiner langen Halbwertszeit eine zuverlässige Endlagerung der abgebrannten Brennelemente bis zu einer Dauer von rund einer Million Jahre.

**175.** Der Sachverständigenrat begrüßt gleichwohl eine detaillierte Untersuchung dieses möglichen Entsorgungskonzeptes vor allem deshalb, weil auch in den kommenden Jahren sicherlich eine nennenswerte Zahl von Versuchsbrennelementen in Kernkraftwerken eingesetzt werden wird, die nicht ohne weiteres in den zu errichtenden Wiederaufarbeitungsanlagen verarbeitet werden können. Allerdings sollte ein solches Konzept keine Alibifunktionen übernehmen.

#### 1.2.2.4 Neuere technologische Varianten

**176.** Von entscheidendem Einfluß auf das Betriebsrisiko und die Unfallauswirkungen sind Leistungsgröße und Reaktortyp von Kernkraftwerken. Zunächst wurden kleinere Kernkraftwerke entwickelt; die deutschen Demonstrationsanlagen hatten Leistungen von 200—300 MWe; später führten u. a. Wirtschaftlichkeitsüberlegungen zu einer starken Anhebung der Blockgrößen bis zum heutigen Standardtyp von 1 200—1 300 MWe. Inzwischen hat sich jedoch herausgestellt, daß Kraftwerke dieser Größe an die Grenzen des industriell Machbaren stoßen, erheblich größere und zahlreichere Sicherheitseinrichtungen erfordern; es kann auch nicht ausgeschlossen werden, daß die Größe die Akzeptanzproblematik verschärft hat. Zudem verringern Mehrkosten für Sicherheitseinrichtungen und starke Verzögerungen bei der Errichtung die erwarteten Vorteile durch Degression des leistungsspezifischen Aufwands beträchtlich.

**177.** Eine erhebliche Reduzierung der Blockgröße ermöglicht es, bei vereinfachter Technologie mindestens den gleichen Sicherheitsgrad zu erreichen und vor allem die maximalen Folgen eines schweren Unfalls entscheidend zu reduzieren. Dies gilt auch für Leichtwasser-Kernkraftwerke, wie aus einer Industriestudie entnommen werden kann. Die hohe inhärente Sicherheit dieses Konzeptes beruht darauf, daß ein Siedewasserreaktor mit Naturumlauf und sekundärer Dampferzeugung für die Turbine vorgesehen ist. Verringerte Leistungsdichte und ein weitgehend passives Notkühlssystem tragen weiterhin zur Sicherheit bei. Insgesamt handelt es sich um eine Mischung der bei Druck- und Siedewasserreaktoren erprobten Technik, die versucht, die jeweils spezifischen Vorteile miteinander zu vereinen und eine besonders „gutmütige“ Anlage zu entwickeln. Kleine Anlagen erfordern tendenziell mehr Standorte. Gleichzeitig entschärfen sie jedoch die Standortproblematik, weil sie sicherer sind. Mehrere Blöcke an demselben Standort können den Standortbedarf reduzieren.

**178.** Unter dem Eindruck der anhaltenden Sicherheitsdiskussion ist in letzter Zeit der Hochtemperaturreaktor (HTR) verstärkt in der Öffentlichkeit diskutiert worden, da ihm vor allem bei kleinen Leistungen ein besonderes Sicherheitspotential zugeschrieben wird. Der Reaktortyp HTR wird derzeit nur in der Bundesrepublik Deutschland weiterentwickelt; er verdankt sein besonderes Interesse der Möglichkeit, Hochtemperaturprozeßwärme zu erzeugen, deren Bedeutung für die Kohlevergasung in Nordrhein-Westfalen frühzeitig erkannt wurde. Ein Prototyp der Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor (AVR) in Jülich arbeitet seit Mitte der 60er Jahre mit einer Leistung von 15 MWe im wesentlichen störungsfrei, ein größerer Wassereintrich führte nicht zu merklichen Umweltbelastungen.

**179.** Der HTR, wie er derzeit verfolgt wird, ist ein gasgekühlter, graphitmoderierter Reaktor mit kugelförmigen Brennelementen. Die Brennstoffkörnchen sind in pyrolytisch aufgebrauchte Graphithüllen eingeschlossen und anschließend in die gesinterte

Graphitmatrix eingebettet. Die kugelförmigen Brennelemente haben ihre Funktionsfähigkeit bis zu Abbränden von mehr als dem dreifachen des Abbrandes von Leichtwasserreaktor-Brennelementen nachgewiesen.

Als Brennstoff wird in Jülich ein Thorium-Uran-Gemisch verwendet; das Reaktorkonzept läßt sich allerdings auch im Uran-Plutonium-Zyklus realisieren. Der HTR eröffnet damit verschiedene Möglichkeiten der Brennstoffstreckung, bringt aber auch zusätzliche technologische Probleme bei der Wiederaufarbeitung.

**180.** Die wichtigsten denkbaren Störfälle und Unfälle des HTR und damit auch sein Sicherheitspotential wurden inzwischen theoretisch untersucht (MAGS, 1978; FASSBENDER et al., 1981). Danach erfolgt jede unfallbedingte Aufheizung des Reaktorkerns im Vergleich zu Leichtwasserkernkraftwerken sehr viel langsamer (über Stunden) und erleichtert daher die Gegenmaßnahmen. Die Zwischenlagerung der Brennelemente ist ohne Zwangskühlung möglich. Das mit einem einzelnen Brennelementtransport verbundene Risiko kann durch Reduzierung der je Transport mitgeführten Zahl der Brennelemente wesentlich geringer gehalten werden als bei Leichtwasserreaktor-Brennelementen. Auch die Endlagerung abgebrannter Brennelemente ohne Wiederaufarbeitung ist mit AVR-Brennelement-Kugeln bereits im Salzbergwerk Asse II versuchsweise in Angriff genommen worden.

**181.** Angesichts derart augenfälliger Vorteile könnte es überraschen, daß sich dieser Reaktortyp bis heute nicht weiter durchgesetzt hat. Dies liegt zunächst daran, daß die Entwicklung des Leichtwasserreaktors seit Jahrzehnten weltweit betrieben wird und der große zeitliche, technische und kommerzielle Vorsprung dieses Reaktortyps nur schwer eingeholt werden kann. Es hat sich aber auch gezeigt, daß je nach spezifischer Aufgabenstellung und Reaktorgröße die genannten Sicherheitsvorteile teilweise wieder verlorengehen können oder ein unerwartet großer technischer Entwicklungsaufwand ausgelöst wird.

— So sind die Probleme des eigentlichen Hochtemperaturreaktors, der vor allem Hochtemperaturprozeßwärme erzeugen soll, technisch noch nicht beherrscht. Die ursprünglich geplante Heliumturbine läßt sich in der bisherigen Konzeption nicht verwirklichen. Bei hohen Temperaturen treten Werkstoffprobleme auf. Gerade der Einsatz dieses Reaktortyps für die Kohlevergasung ist also noch offen.

— Ferner hat sich gezeigt, daß auch bei der Stromerzeugung der Sprung vom AVR in Jülich zum Hochtemperaturreaktor Schmehausen mit einer elektrischen Leistung von 300 MW einen erheblichen zusätzlichen Entwicklungsaufwand auslöst hat. Insbesondere der Bau großer Druckbehälter aus Spannbeton mußte technisch bewältigt werden. Wird der Hochtemperaturreaktor Schmehausen, wie bisher geplant, nach 1985 in Betrieb genommen, müssen mehrjährige Betriebserfahrungen ausgewertet werden, bevor



man diese Reaktorlinie einer wirklichen Anwendungsreife näher bringen kann.

- Hochtemperaturreaktoren etwa in der Größe von 1300 MW, wie sie bei den Leichtwasserreaktoren vorherrschen, werden in absehbarer Zeit nicht verfügbar sein. Als Alternative in der Grundlaststromversorgung kommt der Hochtemperaturreaktor danach jedenfalls auf längere Sicht nicht in Betracht.

**182.** Alles dies nötigt aber nicht unbedingt zum Verzicht auf die Nutzung der besonderen Sicherheitsvorteile des HTR, jedenfalls dann nicht, wenn man unter Beschränkung auf kleinere Leistungseinheiten eine Kombination mit der eingeführten Reaktortechnik anstrebt. Solche Konzepte werden in der Industrie zur Zeit diskutiert. Eines dieser Reaktorkonzepte besteht aus einer variablen Zahl gleichartiger Modulen, von denen jeder so ausgelegt ist, daß die Eintrittswahrscheinlichkeit für eine massive Spaltproduktfreisetzung im Verlauf eines großen Unfalls noch wesentlich geringer ist als bei Leichtwasserreaktoren gleicher Größe, da die Zeitkonstante und die sonstigen physikalischen Bedingungen einen sicheren Schutz der Umwelt ermöglichen. Das Konzept sieht zunächst eine thermische Einheitsleistung von 200 MW je Modul vor, aus der eine elektrische Leistung von 85 MW gewonnen werden kann.

Als wesentliche Gründe für den genannten Sicherheitsvorteil werden vorgetragen: Die Wärmefestigkeit der Kernmaterialien, die passiv vorhandene Wärmekapazität eines Moduls, die auf das Volumen des Reaktorkerns bezogene thermische Leistungsdichte und die thermische Maximalleistung sind so aufeinander abgestimmt, daß die Nachzerfallswärme über viele Tage zu einer solchen Erwärmung des Brennstoffs führt, daß einerseits keine nennenswerten Mengen an Spaltprodukten freigesetzt werden, die Temperaturerhöhung aber andererseits so groß ist, daß die Anlage über den gleichen Zeitraum unterkritisch bleibt.

**183.** Mit dieser Variante des HTR-Konzepts kommt ein Reaktortyp in die Diskussion, dessen inhärente Sicherheit größer ist als die eines Leichtwasserreaktors gleicher Größe. Das entscheidende Merkmal, wonach eine unfallbedingte Aufheizung des Reaktorkerns im Vergleich zum Leichtwasserreaktor sehr viel langsamer verläuft und daß daher mehr Zeit für Gegenmaßnahmen und Rettungsmaßnahmen verbleibt, kann auch für die Standortfrage Bedeutung gewinnen. Darüber hinaus könnten kleinere Hochtemperaturreaktoren bei Bewährung wegen veränderter Standortkriterien näher an Städte und Verdichtungsgebiete gerückt werden und damit für die Einspeisung von Heizwärme in Fernwärmenetze in Betracht kommen. Auch ein Einsatz zur Nutzung der industriellen Kraft-Wärme-Kopplung ist denkbar.

Auch bei diesem Konzept ist freilich die Wiederaufarbeitungsfrage für HTR-Brennelemente nicht gelöst. Die laufenden Forschungsarbeiten zielen darauf ab, die Brennstoffpartikel aus der Graphitmatrix zu befreien und anschließend so aufzulösen, daß die

Brennstofflösung in einer Wiederaufarbeitungsanlage für Leichtwasserreaktor-Brennelemente weiter aufgearbeitet werden kann.

Angesichts der Möglichkeit, kleine Hochtemperaturreaktoren künftig als Heizkraftwerke in größerer Nähe zum Verbraucher sowie zur industriellen Kraft-Wärme-Kopplung einzusetzen, erscheint es gerechtfertigt, Entwicklung und Realisierung solcher Konzepte unabhängig von Bau und Betrieb des HTR Schmeheausen in Angriff zu nehmen. Der Rat empfiehlt daher, genehmigungsreife Entwürfe zu erarbeiten und eine Demonstrationsanlage zu bauen.

**184.** Auch die Erschöpfbarkeit der Uranvorräte muß in die Betrachtung einbezogen werden. Selbst bei optimistischer Einschätzung werden die Vorräte an Uran 235 bei weiterer Kernenergienutzung in wenigen Jahrzehnten erschöpft sein, sofern nicht einer der möglichen Wege der Spaltstoffvermehrung (Uran-Plutonium-Zyklus, Thorium-Uran-Zyklus) beschritten wird. Beide Wege der Spaltstoffvermehrung weisen — insbesondere im Hinblick auf den Bau von Kernwaffen — das gleiche Gefährdungspotential auf. Andererseits würde die Einführung einer vom Potential her gefährlichen und komplizierten Technologie für so kurze Zeit auch umweltpolitisch nicht gerechtfertigt werden können. Offen ist, auf welche Weise die anzustrebende Spaltstoffvermehrung sichergestellt werden kann. Die Nutzung des Uran-Plutonium-Zyklus über den natriumgekühlten Schnellen Brüter mit seinen spezifischen Problemen stellt nicht die einzige Möglichkeit dar. Forschungsergebnisse deuten vielmehr an, daß mit Hilfe von Spallations-Neutronenquellen Spaltstoffvermehrung möglich ist.

## 1.2.3 Regenerierbare Energiequellen

### 1.2.3.1 Grundsätzliches

**185.** Jahrtausendlang standen den Menschen für die Erzeugung von Wärme, Kraft und Licht nur erneuerbare Energiequellen, wie Holz und Pflanzenreste, Körperwärme, Muskel-, Wind- und Wasserkraft sowie Wachs, Öl und Talg, zur Verfügung. Ohne Zweifel war auch die Nutzung dieser „natürlichen“ Energiequellen ein Eingriff in die Ökosysteme und hat direkt und indirekt zu erheblichen Veränderungen und Belastungen der Umwelt geführt. Die Einführung von Ackerbau und Weidewirtschaft — die, historisch gesehen die bei weitem bedeutendste Nutzung der Energiequelle Sonnenlicht darstellt — änderte Struktur, Gestalt und den Reflektionsgrad des Sonnenlichtes (Albedo) großer Teile des Festlandes grundlegend. Exzessive, über die Rodung für landwirtschaftliche Zwecke hinausgehende Nutzungen von Wäldern haben weite Landstriche veröden lassen. Die Luftverschmutzung durch Energienutzung war hoch, als mit Holz, Torf oder Dung gekocht und geheizt wurde, auch wenn andere siedlungshygienische Probleme damals noch gravierender waren. Selbst die mit der Energienutzung verbundenen Risiken, von Unfällen bei der Holzgewinnung bis zu



Feuersbrünsten in dicht bebauten Städten, waren eine permanente Bedrohung und nicht ein Restrisiko.

**186.** Schon die historische Erfahrung zeigt die Notwendigkeit auf, bei den Bemühungen zur verstärkten Nutzung regenerativer Energiequellen die Wirkungen auf die Umwelt zu beachten. Alle Ökosysteme werden durch die in ihnen ablaufenden Energieumsetzungen entscheidend mitgeprägt; die Nutzung natürlicher Energieströme oder Energiespeicher ist daher stets ein Eingriff, dessen ökologische Konsequenzen zu prüfen sind. Diese Prüfung ist grundsätzlich für die einzelnen Energieformen, Ökosystem- und Nutzungstechniken individuell vorzunehmen; im folgenden sollen zunächst einige Gesichtspunkte vorgestellt werden, die auf allgemeinen Charakteristika erneuerbarer Energiequellen beruhen.

Die erneuerbaren Energieströme weisen in der Regel geringe Leistungsdichte und/oder starke zeitliche und räumliche Varianz auf; höhere Leistungsdichten (Wasserkraft, Tidenhub, Wellenenergie) entstehen nur über natürliche Sammelprozesse und sind daher an sehr spezielle, teils nahezu singuläre Standorte gebunden. Die biochemische Speicherung von Sonnenenergie als Biomasse erreicht nicht die Energiedichte fossiler Energieträger und hat wegen der geringen effektiven Leistungsdichte einen großen Flächenbedarf. Sehr zutreffend werden die erneuerbaren Energiequellen daher auch als leistungsbegrenzt gekennzeichnet, die nicht regenerativen Energiequellen dagegen als vorratsbegrenzt.

**187.** Die geschilderten naturgegebenen Eigenschaften der erneuerbaren Energiequellen bedingen für Sammlung, Speicherung und Transport einen Aufwand, der erheblich höher liegen kann als bei der Verwendung fossiler Energieträger. Den über die Vorleistungen vermittelten indirekten Umweltbelastungen ist daher bei der Nutzung regenerativer Energieformen ebensoviel Aufmerksamkeit zu widmen wie bei der Nutzung herkömmlicher Energieträger. Sofern für die Nutzung regenerierbarer Energiequellen eine neue Technologie entwickelt werden muß, wie z. B. bei Photozellen, müssen spezifische Aspekte berücksichtigt werden.

**188.** Vielfach wird vermutet, daß die Nutzung regenerierbarer Energiequellen infolge der erforderlichen Vorleistungen höhere Umweltbelastungen hervorrufen könnte als die Verwendung konventioneller Energieträger. Sofern die Vorleistungen herkömmliche Investitionsgüter sind, folgt jedoch aus der Vorleistungsverflechtung, daß wirtschaftlich rentable und bei der Anwendung selbst umweltfreundlich betriebene Nutzung erneuerbarer Energiequellen auch insgesamt umweltentlastend wirkt, d. h. die Vorleistungen den Nutzen für die Umwelt nicht aufzehren.

**189.** Dagegen bilden die Eigenschaften, welche erneuerbare Energiequellen umweltpolitisch attraktiv machen, nämlich naturnaher Stoff- und Energiekreislauf, geringe und wenig gefährliche Energiedichte, dezentrales Aufkommen, auch die Ursache für die typischen Umweltbelastungen bei der Nut-

zung dieser Energien. Von wenigen Ausnahmen (geothermische Wärme) abgesehen, ist es für regenerierbare Energiequellen unmöglich, die Schutzstrategie der weitgehenden Abkapselung des technischen Nutzungsprozesses von der Umwelt anzuwenden, die allen Emissionsminderungs Bemühungen und der Reaktorsicherheitsphilosophie zugrunde liegt. Erneuerbare Energiequellen sollten deshalb — schon wegen ihrer Flächenintensität — von vornherein in Abstimmung mit den anderen Nutzungsansprüchen an die Umwelt erschlossen werden. Wie schwierig diese Integration ist, läßt die Wasserkraftnutzung erkennen, bei der trotz langer Erfahrung nicht immer befriedigende Lösungen gelangen.

**190.** Für die Zwecke dieses Gutachtens genügt es, auf die Umweltwirkungen derjenigen regenerativen Energiequellen einzugehen, deren Nutzung nach dem Stand der technischen Entwicklung und den Bedingungen in der Bundesrepublik Deutschland bis zum Jahre 2000 einen nennenswerten Beitrag zur Energieversorgung leisten können. Nach Ansicht des Rates handelt es sich dabei um:

- Niedertemperaturwärme aus Sonnenstrahlung
- Biomasse (Verbrennung und Vergasung von Holz und Stroh sowie Biogas)
- Windkraft
- kleine Wasserkräfte
- Umgebungswärme

Während die ersten vier Energiequellen Exergiequellen<sup>1)</sup> sind, stellen Umweltmedien als Wärmequellen für Wärmepumpen (Umgebungswärme)<sup>2)</sup> dar. Da die natürlichen Energiequellen durch Sonnenenergie oder Erdwärme regeneriert werden, sollen die Effekte der Wärmeentnahme hier besprochen werden, obwohl die Wärmepumpen auch als bloße Technik rationaler Energienutzung aufgefaßt werden können. Bezüglich der Abschätzung der Potentiale der regenerierbaren Energiequellen wird auf Kap. 2.2.2 verwiesen.

Unabhängig von der für die Zwecke des Gutachtens getroffenen Auswahl empfiehlt der Rat auch bei der wirtschafts- und entwicklungspolitisch wichtigen Entwicklung anderer Techniken zur Nutzung erneuerbarer Energiequellen in Mitteleuropa und den Entwicklungsländern den Umweltgesichtspunkten große Sorgfalt zu widmen.

### 1.2.3.2 Niedertemperaturwärme aus Sonnenstrahlung

**191.** Mit der Nutzung von Sonnenenergie durch Kollektoren oder Absorber sind unmittelbar stoffliche Umweltbelastungen nicht verbunden, mögliche Belastungen können sich nur bei Verlust des Wärmeübertragungsmittels ergeben, wenn dieses umweltschädliche Zusätze enthält. Die Rückwirkung

<sup>1)</sup> Exergie: Energie, die in mech. Arbeit umgewandelt werden kann.

<sup>2)</sup> Anergie: Energie ohne Arbeitsfähigkeit, hier Umgebungswärme.

auf die Albedo kann angesichts des geringfügigen Flächenanteils vernachlässigt werden. Gegen Sonnenkollektoren bestanden zunächst ästhetische Bedenken. Die neueren Entwicklungen in Richtung auf deren vollständige Integration in Dächer oder Fassaden mindert diese Vorbehalte; Spiegelungsreflexe von Glasabdeckungen können durch Entspiegelung oder Mattierung vermieden werden.

### 1.2.3.3 Biomasse

**192.** Die Substitution von Energieträgern durch Biomasse kann auf drei grundsätzlich sehr unterschiedliche Weisen erfolgen. Die verstärkte Nutzung von Bauholz und Naturfasern als Werkstoff vermag Metalle, Zement und Kunststoffe zu ersetzen, womit der zur Herstellung erforderliche Energieaufwand entfällt. Geeignete Biomasse kann als chemischer Rohstoff herangezogen werden. Dabei könnte sowohl der Energiegehalt der chemischen Rohstoffe (z. B. Mineralölprodukte) substituiert werden, als auch ein wesentlicher Anteil der Energie der Syntheseschritte der Herstellungsverfahren entfallen. Die Energieeinsparung und die Umweltentlastung durch eine solche Verwendung von Biomasse kann wesentlich größer sein als bei rein energetischer Nutzung. Die dritte Form der Substitution von Energieträgern durch Biomasse besteht schließlich darin, Biomasse direkt für energetische Zwecke zu nutzen. Die für die nächsten Jahrzehnte wichtigsten Möglichkeiten dieser direkten Substitution und ihre Umweltwirkungen werden im folgenden angesprochen.

### Holz

**193.** Die Bundesrepublik Deutschland ist ein Holzimportland; es läge deshalb nahe, Waldrestholz und Abfallhölzer stärker als bisher einer Verwertung in der Zellstoff-, Papier- und Spanplattenindustrie zuzuführen. In den letzten Jahren haben steigende Preise begonnen, in diese Richtung zu wirken. Dennoch wird geschätzt, daß noch immer 1 bis 2 Mio m<sup>3</sup> pro Jahr industrielle Abfallhölzer und 1 Mio t Sperrmüllholz, Schalholz und Abbruchholz bei der Abfallbeseitigung Probleme verursachen und auf Depo-nien wertvollen Platz verbrauchen.

Die Verfeuerung von Holzabfällen oder nicht mehr verwertbarer Resthölzer in größeren Anlagen bringt keine grundsätzlichen Umweltprobleme. Der Schwefelgehalt von Holz ist, verglichen mit dem anderer fester Brennstoffe, gering. NO<sub>x</sub> kann je nach Anlagengröße und Verbrennungsführung gebildet werden; die CO-Grenzwerte der TA Luft 1974 lassen sich mit modernen Anlagen einhalten. Der CO<sub>2</sub>-Ausstoß entspricht dem Kohlenstoffgehalt des Holzes. Die für den Staubauswurf geltenden Grenzwerte sind je nach Typ und Kapazität der Feuerung sowie der Feinheit des Holzes unterschiedlich festgelegt. In einfachen Fällen sind mechanische Staubabscheider, in schwierigen auch filternde Entstauber erforderlich. Die Emission von organischen Dämpfen und Geruchsstoffen verursacht gelegentlich Probleme, die aber durch bessere und größere

Feuerraumgestaltung gelöst werden können. Die Feuerung von Holz im Haushalt wirft erhebliche Umweltprobleme auf.

Messungen der Gesamtemission von Staub, Ruß und Teer an Feuerungen für feste Brennstoffe ergaben an allen Brennstoffen hohe Beanstandungsquoten, bei Holzfeuerungen waren der Durchbrandkessel zu 60 %, der Unterbrandkessel zu 32 % zu beanstanden (DAVIDS, GLIWA, 1977). Offene Holzfeuer (Kamine) oder kleine Holzöfen — haben besonders wenn sie gedrosselt betrieben werden — hohe Emissionen, insbesondere auch an polycyclischen Aromaten. Falls Brennholz künftig für Hausbrandzwecke in größerem Umfang genutzt werden sollte, müßte die Verbrennungstechnik der zugehörigen Öfen wesentlich verbessert werden.

**194.** Die Nutzung von Schwachholz und Abfällen des Holzeinschlags als Brennholz oder in der holzverarbeitenden Industrie bedarf unter ökologischen Gesichtspunkten einer differenzierten Betrachtung. Eine zur Pflege der Waldbestände erwünschte Durchforstung ist ökologisch unbedenklich, solange die Lebensmöglichkeiten für nicht genutzte Pflanzen und verschiedene Wildtierarten erhalten bleiben. Die Entnahme von Holzabfällen reduziert zwar den Nährstoffkreislauf, die Humusbildung und den Besatz mit Kleintieren und Pilzen; solange sie sich auf die groben Anteile beschränkt, kann ihr aus ökologischen Gründen im Wirtschaftswald jedoch nicht widersprochen werden. Technischer Aufwand, Kosten und ökologische Bewertung der Gewinnung von Stockholz (Stubben) hängen wesentlich vom Standortverhältnis und Bodentyp ab; in bestimmten Fällen können Stubben einen wesentlichen Schutz gegen Bodenabschwemmungen bedeuten und alte Verrottungszonen den natürlichen Nachwuchs von Bäumen begünstigen.

**195.** Wenn Forstwirtschaft in großem Umfang für energiewirtschaftliche Zwecke — einschließlich der Veredelung zu Gas und Kraftstoffen — betrieben werden soll, wozu z. B. in Kanada, Schweden und Brasilien Untersuchungen laufen, müssen die Umweltbelange von Anfang an berücksichtigt werden. Dies gilt insbesondere, wenn neue Wege der intensiven Forstwirtschaft („Energiefarmen“) beschritten werden. Eine verstärkte Nutzung des Holzzuwachses im Rahmen einer nachhaltigen Forstwirtschaft ist möglich; bei Verzicht auf Düngung und andere Intensivverfahren sind keine gravierenden ökologischen Probleme zu erwarten.

### Stroh

**196.** Ein erheblicher Anteil des Getreidestrohs kann gegenwärtig weder als Einstreu noch durch Einarbeitung in den Boden oder industrielle Nutzung wirtschaftlich verwertet werden. Für dieses Problemstroh bietet sich die energetische Nutzung durch Verbrennung, Vergasung oder Zuschlag zur Biogaserzeugung an. In ökologischer Hinsicht ist das Verheizen von Stroh einer Verbrennung auf dem

Felde oder einer Verrottung in großen Strohhalden vorzuziehen. Der hohe Anteil flüchtiger Bestandteile im Stroh führt über 300°C zur Freisetzung großer Mengen brennbarer Gase, so daß Strohöfen mit zweiteiliger Verbrennung arbeiten müssen. In der primären Verbrennungszone wird über die Luftzufuhr die Heizleistung geregelt, in der Sekundärzone wird die zum vollständigen Ausbrand der Gase erforderliche Luft dosiert zugeführt. Heizkessel für Stroh in Form von Hochdruckballen, Großballen oder Häckselgut sind verfügbar. Zur Einhaltung der Vorschrift, daß die Emissionen an Staub, Ruß und Teer 300 mg/m<sup>3</sup> Rauchgas nicht überschreiten, empfiehlt sich der Einbau von Fliehkraftentstaubern. Zur Verbesserung des Ausbrandes und Senkung der Emission organischer Gase und Dämpfe empfehlen sich geeignete Nachbrennzonen. Ein angelaufener Großversuch mit Strohmehl wird weitere Erkenntnisse über umweltfreundliche Strohfuehrungstechnik bringen.

Der hohe Anteil flüchtiger Bestandteile macht Stroh auch für die Vergasung und anschließende Verstromung mit Gasmotoren oder Nutzung als Heizgas geeignet. Da eine solche Anlage ohnehin Staubabscheider enthält und eine weitergehende Gasreinigung möglich ist, läßt sie sich umweltfreundlich betreiben. Die bei Verbrennung und Vergasung von Stroh anfallende Asche kann als Düngemittel verwendet werden.

## Methangärung und Biogas

**197.** Die anaerobe Fermentation organischen Materials ist seit langem bekannt und großtechnisch für die Stabilisierung der Klärschlämme im Einsatz. Seit einigen Jahren werden die mikrobiologischen Reaktionen und die technische Optimierung dieses Prozesses intensiv untersucht. Als Substrate kommen tierische Exkrememente, Klärschlämme, Pflanzenabfälle, Rückstände aus der Lebensmittelproduktion, Fraktionen des Hausmülls sowie speziell angebaute Landpflanzen und Algen in Frage. Die Produktion von Biogas aus tierischen Exkrementen ist auch eine Methode der schadlosen Verwertung dieser Abfälle bei gleichzeitiger Geruchsminderung und dūngetechnischer Qualitätsverbesserung. Insbesondere bei Massentierhaltungen ermöglicht sie eine wesentliche Reduktion der Umweltprobleme. Durch Methangärung wird die Qualität des Klärschlammes verbessert und seine Menge reduziert. Die Verbesserung des Faulprozesses entlastet also nicht nur die Energiebilanz von Kläranlagen, sondern kann auch zur Lösung der Schlammprobleme beitragen. Biogasproduktion ermöglicht eine wesentliche Reduktion der BSB<sub>5</sub>-Belastung von Abwässern der Lebensmittelverarbeitung (Schlachthöfe, Hefefabriken, Molkereien). Biogas enthält einen Anteil Schwefelwasserstoff, doch bleiben die Schwefelemissionen bei der Verbrennung im Bereich derjenigen von leichtem Heizöl. Wird eine Reinigung mit Eisenhydroxid vorgenommen, so ergibt sich ein dem Erdgas äquivalentes Emissionsverhalten.

## 1.2.3.4 Windkraft

**198.** Windenergie hat wie Wasserkraft den Vorteil, daß sie bereits eine mechanische Energieform ist. Die Energiedichte ist zwar wesentlich geringer als bei Wasserkraft, jedoch von der gleichen Größenordnung wie bei photoelektrischer Energienutzung. Da die Rotorblätter nur einen kleinen Teil der wirksamen Fläche überdecken müssen, ist der Materialbedarf vergleichsweise gering.

Als Umweltauswirkungen der Anlagen kommen vor allem Geräusche einschließlich Infraschall, Beeinträchtigung des Landschaftsbildes und Verletzungen von Vögeln in Betracht.

**199.** Über die Geräuschemissionen von Windenergieanlagen liegen zur Zeit nur ungenügende Meßwerte vor. Empirische Erfahrung zeigt, daß Anlieger kleiner Windenergieanlagen in einzelnen Fällen bis zu einer Entfernung von ca. 350 m über Lärmbelästigung klagen, während Hersteller und Betreiber berichten, daß die allgemeinen Windgeräusche die Laufgeräusche übertönen. Der Rat empfiehlt, an den Demonstrationsanlagen systematische Messungen vorzunehmen. Bei einer 2 MW-Anlage in USA zeigte sich, daß Infraschall abgestrahlt und als störend empfunden wurde. Entstehung und Wirkung von Infraschall sollten beachtet und untersucht werden.

Verschiedentlich wurden Bauanträge für kleine Windenergieanlagen mit der Begründung abgelehnt, sie fügten sich nicht in das Orts- bzw. Landschaftsbild ein. Ihre optische Wirkung unterscheidet sich indes nicht wesentlich von der mittlerer Hochspannungsleitungen. Große Windkraftanlagen sind wegen ihrer Höhe und Bewegung unübersehbar (Growian I, Ständerhöhe 100 m, Rotor 150 m; Growian II, Ständerhöhe 120 m, Rotor 195 m). Aber auch Hochspannungsleitungen sind je nach Spannung zwischen 35 und 65 m hoch und können bei Flußüberquerungen 220 m übersteigen. In der Bundesrepublik Deutschland wird die Anwendung der Windenergie nur örtlich begrenzt eine gewisse Bedeutung gewinnen (Kap. 2.2.2). In diesem Umfang können demgegenüber keine ausschlaggebenden umweltpolitischen Bedenken geltend gemacht werden.

## 1.2.3.5 Kleine Wasserkräfte

**200.** Die Nutzung der Wasserkraft stellt durch die notwendigen Bauwerke — ggf. Stauseen — und die Änderung des Abflußverhaltens einen schwerwiegenden Eingriff in Natur und Landschaft dar. Der Rat hat schon im Rheingutachten auf die vielfältigen Umweltgesichtspunkte verwiesen, die bei der Entscheidung über Wasserkraftprojekte zu berücksichtigen sind. Der Erhaltung charakteristischer natürlicher Flußlandschaften ist auch bei steigenden Energiepreisen hohe Bedeutung zuzumessen; der Rat begrüßt deshalb, daß unter diesem Gesichtspunkt von einzelnen Projekten Abstand genommen wurde.

**201.** Anders sind kleine Laufwasserkraftwerke zu beurteilen, soweit sie ohne wesentliche ökologische Beeinträchtigungen erbaut oder betrieben werden

können. Sie sind teilweise seit langem in die Kulturlandschaft integriert (Mühlengräben). Kleine Laufwasserkraftwerke sind vielfach veraltet oder außer Betrieb. In manchen Fällen könnte Modernisierung oder Wiedereinrichtung in Betracht gezogen werden. Allerdings dürfen nicht um deren geringen Energieeinsparpotentials willen die ökologisch wertvollen Tallandschaften zerstört werden.

### 1.2.3.6 Umgebungswärme

**202.** Bei der Bereitstellung von Niedertemperaturwärme durch Wärmepumpen dient Umgebungswärme, die den Medien Luft, Wasser oder Boden entnommen wird, als Anergiequelle. Beim Einsatz von Wärmepumpen kann man zwischen den Umweltbelastungen durch den Antrieb und den Umweltbelastungen bei der Entnahme der Umgebungswärme unterscheiden. Der Antrieb mit Elektromotoren ist am Einsatzort sehr umweltfreundlich; die Erzeugung der elektrischen Energie ist mit den bekannten Belastungen verbunden. Der Antrieb mit stationären Verbrennungsmotoren verursacht die für diese Maschinen typischen Emissionsprobleme. Absorptionswärmepumpen weisen nur die um die Leistungsziffer reduzierten Emissionen von Heizkeseln auf.

**203.** Im folgenden werden die möglichen Umwelteffekte bei der Entnahme der Umgebungswärme behandelt.

Da die Luft überall verfügbar ist, wird sie vermutlich am häufigsten als Anergiequelle benutzt werden. Als potentielle Umwelprobleme kommen die Ansauggeräusche der Ventilatoren in Frage. Diese Lärmbelastung läßt sich zumindest soweit mindern, daß die geltenden technischen Normen eingehalten werden.

**204.** Bei Wasser als Wärmequelle sind die Umwelprobleme verschieden, je nachdem ob Oberflächenwasser oder Grundwasser genutzt wird. Der Entzug von Wärme aus Fließgewässern, die mit Kühlwasser belastet sind, kann dazu beitragen, die Temperaturen dem natürlichen Niveau wieder anzunähern. Auch mit Abwasser zugeführte Wärmemengen können so genutzt werden. Risiken bestehen vor allem darin, daß aus der Anlage Wärmeträgermittel oder andere Verunreinigungen in den Vorfluter gelangen.

Die Grundwassernutzung kann auf zwei technischen Wegen erfolgen: Einmal durch Förderung von Grundwasser und Einbringung in Schluckbrunnen nach Entzug der Wärme, zum anderen durch Einbringung des Wärmetauschers in den Grundwasserstrom. In beiden Fällen liegt die größte Gefahr darin, daß das Grundwasser durch aus der Anlage austretende Wärmeträgermittel verunreinigt wird. Darüber hinaus bringt das Aufbohren der Deckschicht die Gefahr des Eindringens von verschmutztem Oberflächenwasser in den Grundwasserhorizont mit sich. Schließlich ist auch eine übermäßige Abkühlung des Grundwassers ökologisch bedenklich. Die Wasserbehörden drängen daher mit Recht auf

konstruktive Sicherheit, geeignete Werkstoffwahl und zuverlässige Überwachungsmaßnahmen.

**205.** Die Entnahme von Umweltwärme aus dem Erdboden kann auf zweierlei Weise erfolgen. Zum einen durch Rohrleitungen, die in etwa 2 m Tiefe verlegt werden, und zum anderen durch tiefe Bohrungen, in welche doppelwandige Wärmeaustauscher eingefügt werden. Die oberflächennahe Wärmeentnahme verschiebt die Temperaturprofile und verändert damit die Vegetationsperiode. Insbesondere können nur flachwurzelnde Pflanzen angebaut werden, da die Umgebung der Leitungen systembedingt vereist.

Bei der Wärmeentnahme über tiefe Bohrungen wird das Grundwasser zur Wärmelieferung mit herangezogen, eventuelle Vereisungen erfolgen in großer Tiefe, so daß sich an der Erdoberfläche kaum Auswirkungen ergeben.

## 1.3 Zur Bewertung der Belastungen und Risiken

### 1.3.1 Gesundheitliche Risiken beim Einsatz von Kernkraft und fossilen Energieträgern

**206.** Die derzeit diskutierten Versuche zur vergleichenden Bewertung gesundheitlicher Risiken durch verschiedene Formen der Energieumwandlung heben auf quantitative Kriterien ab. Quantitative Vergleiche sind nur dann statthaft, wenn identische oder in ihrem gesundheitlichen Stellenwert gleichartige Wirkungen gegenübergestellt werden. Diese Voraussetzung ist jedoch, zumindest gegenwärtig, beim Vergleich gesundheitsbeeinträchtigender Auswirkungen von Kernenergie und Verbrennung fossiler Energieträger nicht gegeben. Nur die radioaktiven Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger können zum unmittelbaren Vergleich herangezogen werden; ihr Anteil am gesamten Schadpotential ist jedoch gering.

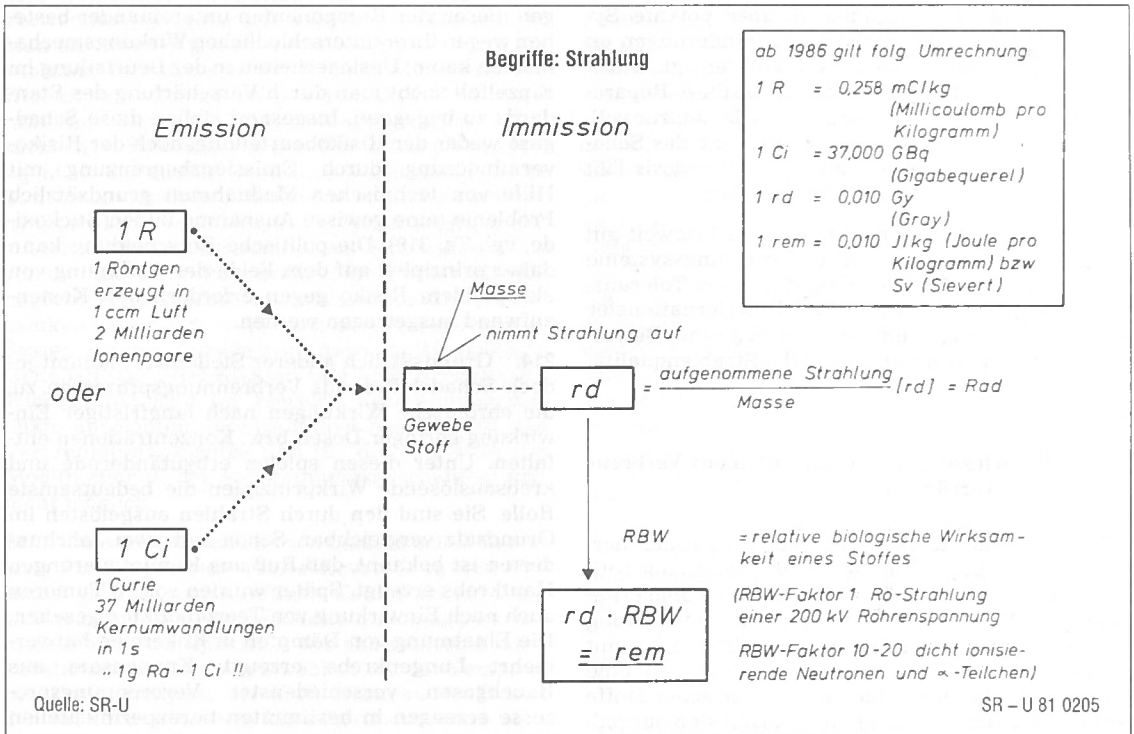
#### 1.3.1.1 Zur Wirkung der Radioaktivität

**207.** Sieht man zunächst von rein mechanischen Verletzungen bei Großunfällen ab, so ist der Träger von möglichen Schadwirkungen beim Betrieb von Kernkraftwerken die freiwerdende strahlende Materie. Die Mechanismen der Schadefekte radioaktiver Einwirkungen auf biologische Systeme sind relativ gut untersucht. Quantitative Risikoabschätzungen sind anhand experimentell ermittelter und epidemiologisch beobachteter Dosis-Wirkungs-Beziehungen möglich und vielfach durchgeführt worden.

**208.** Bei der Beschreibung biologischer Strahlenwirkungen ist streng zu trennen zwischen

— Körperschäden, die sofort auftreten. Diese akuten Wirkungen treten nach hohen Dosen bei ein-





maliger bzw. wiederholter Einwirkung in kurzen Zeiträumen auf.

- Effekten am genetischen Material der Zellen (Erbgutänderungen und Krebsentstehung); diese Effekte beruhen entweder auf chronischer Wirkung nach meist langfristiger Einwirkung geringer Dosen oder können im Extremfall auch als Folge kurzfristiger Einwirkung sehr hoher Dosen, die überlebt werden, auftreten.

**209.** Körperschäden auf Grund akuter Wirkungen äußern sich als sog. Strahlenkater (vorübergehendes Unwohlsein), Schäden am blutbildenden System, am Verdauungstrakt und an der Haut. Aus der Strahlenanwendung ist bekannt, daß mehr als 100 rem zur Auslösung erforderlich sind, oberhalb von 200 rem kommt es in Tierversuchen bereits zu Todesfällen, nach 400 rem sterben etwa 50 % exponierter Tiere, 700 rem sind für praktisch alle Individuen tödlich. Es existiert eine Schwellendosis, unterhalb derer diese Effekte nicht mehr auftreten; sie wird bei 50 rem angesetzt. Abb. 1.12 erläutert einige der benutzten Begriffe.

**210.** Schäden am genetischen Material der Zellen sind ganz anders zu beurteilen. Schäden an Keimzellen können auf künftige Generationen übertragen werden. Schäden an Körperzellen können Krebs auslösen. Die Dosis-Wirkungs-Beziehungen dieser Effekte werden als Häufigkeit ihres Auftretens in Kollektiven stimmter Größe bestimmt (stochastische Wirkung). Der Verlauf der Dosis-Wirkungskurven in niedrigen Wahrscheinlichkeitsbereichen

des Auftretens ist schwer zu bestimmen, mit abnehmender Dosis wird die Unschärfe beständig größer. Theoretische Betrachtung wie praktische Erfahrung an Mensch und Versuchstieren deuten darauf hin, daß bei diesem Typ der Wirkung eine Schwellendosis, unterhalb derer das Schadereignis nicht mehr eintritt, nicht existiert. Die Quantifizierung des Strahlenrisikos im Bereiche sehr geringer Dosen stößt auf die Schwierigkeit, daß Erbgutänderungen und Krebserkrankungen mit gewisser Häufigkeit stets vorhanden sind; ob sie „spontan“ auftreten oder andere, nicht identifizierte Schadursachen haben, ist zur Zeit ungeklärt. Die Festlegung von Toleranzwerten für die Strahlenbelastung orientiert sich deshalb an der „Spontanrate“ gewisser Krebsarten einerseits und der beständig auf der Erdoberfläche vorhandenen und zur Einwirkung kommenden natürlichen Strahlenbelastung andererseits. Deren Mittelwert wird gegenwärtig als 100 mrem/a angenommen. Dagegen beträgt in der Bundesrepublik Deutschland die durchschnittliche medizinisch-diagnostische Strahlenbelastung ca 50 mrem/a. Die weiteren Strahlenbelastungen aus fall-out von Atomwaffenversuchen (1970), sonstige berufliche Exposition und Kleinquellen, z. B. Leuchtfarben und Fernsehen, betragen nur einen Bruchteil der medizinisch-diagnostischen Strahlenbelastung. Daß weder die experimentelle Forschung noch die Epidemiologie in der Lage sind, eine Zunahme von Schäden am genetischen Material bei den angenommenen Toleranzwerten festzustellen, bedeutet jedoch nicht das Fehlen solcher Effekte und das Fehlen jeglichen Risikos.



211. Sowohl bei Strahlenschäden als auch bei der Krebsentstehung durch chemische Stoffe ist nachgewiesen, daß der Organismus über potente Systeme zur Reparatur der Primärveränderungen an den Erbgutträgern (Nukleinsäuren) verfügt. Unbekannt ist zur Zeit jedoch wiederum, ob diese Reparaturleistung im Bereich sehr geringer Dosen zur vollständigen oder nur teilweisen Behebung des Schadens führt. Die Existenz einer Schwellendosis läßt sich deshalb auch hieraus nicht ableiten.

Verschiedene Strahlenqualitäten sind insoweit gut vergleichbar, als einheitliche Bewertungssysteme anwendbar und auch zur Grundlage von Toleranzwerten gemacht worden sind. In internationaler Übereinstimmung sind heute biologische Bewertungsfaktoren für unterschiedliche Strahlenqualitäten akzeptiert.

### 1.3.1.2 Zur Wirkung von Schadstoffen aus Verbrennungsvorgängen

212. Im Gegensatz zu dem insgesamt gut definierten und mit physikalischen und pharmakokinetischen Parametern beschreibbaren Wirkungskriterium bei Strahlenschäden muß die Beurteilung eventuell gesundheitsschädigender Effekte bei mit Kohle oder Erdöl betriebenen Kraftwerken eine große Zahl sehr unterschiedlicher chemischer Stoffe einbeziehen. Ihre toxischen Wirkungen sind nur teilweise erforscht. Das Bekannte weist auf z. T. extrem unterschiedliche Wirkungsspektren, mit Angriff an ganz verschiedenen Organsystemen mit nicht vergleichbaren Mechanismen, von der einfachen lokalen und reversiblen Reizwirkung des  $\text{SO}_2$  bis zur Krebsentstehung durch polycyclische aromatische Verbindungen. Die Wirkungsforschung hat sich hier im wesentlichen an der Analyse einzelner Schadstoffe oder Schadstoffgruppen orientiert, wie sie der chemisch-analytische Aufschluß nach dem jeweiligen Stand der Kenntnis lieferte. Bei der Auswahl spielten eher zufällige Erfahrungen — meist von akuten Vergiftungen im Gewerbe — eine wesentliche Rolle. Auch das Streben nach Einsatz möglichst einfacher Analysemethoden zur Gewährleistung flächendeckender Erhebungen über längere Zeiträume, z. B. zur Ermittlung tages- und jahreszeitlicher Gänge der Immissionen war von maßgeblichem Einfluß. Systematische Wirkungsaufschlüsse der komplexen Gemische blieben in Ansätzen stecken, die Suche nach und Benutzung von „Leitsubstanzen“ war hier hinderlich.

213. Die vergleichsweise besten Bewertungsgrundlagen sind für die quantitativ bedeutsamsten, gasförmigen Verbindungen erarbeitet:  $\text{CO}$ ,  $\text{SO}_2$ , Halogenwasserstoffe, Stickstoffoxide. Im Prinzip sind sie den akuten (unspezifischen) Strahlenwirkungen vergleichbar insofern, als hier Wirkungsschwellenwerte existieren. Diese sind weitgehend an akuten Wirkungskriterien orientiert, bei  $\text{SO}_2$ , Halogenwasserstoffen und Stickstoffoxiden an den Reizwirkungen auf die Schleimhäute des Atemtraktes (wenn auch an unterschiedlichen Partien), bei  $\text{CO}$  an der Blockierung des roten Blutfarbstoffes. Lediglich bei  $\text{SO}_2$  werden auch Langzeiteffekte berücksichtigt,

wenn auch mit weniger erhärteten Parametern (vgl. Umweltgutachten 1978, Kap. 1.1.7). Wechselwirkungen dieser vier Komponenten untereinander bestehen wegen ihrer unterschiedlichen Wirkungsmechanismen kaum; Unsicherheiten in der Beurteilung im Einzelfall sucht man durch Verschärfung des Standards zu begegnen. Insgesamt stellen diese Schadstoffe weder der Risikobeurteilung, noch der Risikoverminderung durch Emissionsbegrenzung mit Hilfe von technischen Maßnahmen grundsätzlich Probleme (eine gewisse Ausnahme bilden Stickoxide, vgl. Tz. 319). Die politische Entscheidung kann daher prinzipiell auf dem Felde der Abwägung von akzeptablem Risiko gegen erforderlichen Kostenaufwand ausgetragen werden.

214. Grundsätzlich anderer Stellenwert kommt jedoch Schadstoffen aus Verbrennungsprozessen zu, die chronische Wirkungen nach langfristiger Einwirkung geringer Dosen bzw. Konzentrationen entfalten. Unter diesen spielen erbgutändernde und krebsauslösende Wirkprinzipien die bedeutsamste Rolle. Sie sind den durch Strahlen ausgelösten im Grundsatz vergleichbar. Schon seit zwei Jahrhunderten ist bekannt, daß Ruß aus Kaminfeuerungen Hautkrebs erzeugt. Später wurden solche Tumoren auch nach Einwirkung von Teerprodukten gesehen. Die Einatmung von Dämpfen in Kokereien hat vermehrt Lungenkrebs erzeugt. Kondensate aus Rauchgasen verschiedenster Verbrennungsprozesse erzeugen in bestimmten tierexperimentellen Modellen bösartige Tumoren. Aus diesen Befunden wird mit hoher Wahrscheinlichkeit abgeleitet, daß die erhöhten Erkrankungs- und Sterberaten an Lungenkrebs der Bevölkerung in Städten und industriellen Ballungsgebieten — zumindest in großen Anteilen — auf der dauernden Einwirkung von Luftverunreinigungen aus Verbrennungsprodukten beruhen. Zwar wird ein ursächlicher Zusammenhang gelegentlich angezweifelt, z. B. mit dem Hinweis auf den schwer abzutrennenden Einfluß des Rauchens. Tatsächlich ist — aus vielerlei, besonders methodischen Gründen — eine direkte Beweisführung zur Zeit nicht möglich; doch sind alle bisher erbrachten experimentellen und epidemiologischen Befunde geeignet, zumindest den dringenden Verdacht des Zusammenhangs zu begründen.

215. Die in den letzten Jahrzehnten voranschreitende Umstellung von Kohle auf Erdöl, vor allem im Hausbrand hat zu einer deutlichen Verminderung der Immissionen bei denjenigen Luftverunreinigungskomponenten geführt, die man für die krebs-erzeugende Wirkung verantwortlich macht. Doch kann, wegen der langen Latenzzeit des Lunkenkrebses von zwei bis drei Jahrzehnten, eine eventuelle Verminderung der Erkrankungs- und Sterberaten z. B. (noch) nicht abgelesen werden.

216. Als verursachende chemische Stoffe hat die experimentelle Krebsforschung die an Staubteilchen gebundenen polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) einschließlich heterocyclischer, insbesondere N-haltiger Polycyclen, ermittelt. Unter diesen spielt das Benzo(a)pyren eine in der Forschung dominierende Rolle. Dies ist methodisch, im Sinne der Wirkungsanalyse zufallsbedingt:

der Stoff ist frühzeitig isoliert und identifiziert worden. Seine Reindarstellung und versuchsmäßige Verwendung gestaltet sich vergleichsweise einfach. Man hat Benzo(a)pyren deshalb vielfach zur „Leitsubstanz“ erhoben, sowohl für die Beschreibung der Wirkung, als auch für die chemisch-analytische Charakterisierung von Verbrennungsprodukten. Tatsächlich ist Benzo(a)pyren in Tierversuchen eindeutig nicht die stärkste wirksame Verbindung dieser Stoffklasse; ob diese Substanz beim Menschen überhaupt wirksam ist, bleibt zur Zeit offen. Dagegen existieren in Rauchgaskondensaten viele andere PAH von viel stärkerer Wirksamkeit. Sie können, obwohl in geringeren Konzentrationen anwesend, die Wirksamkeit wesentlich, wohl auch überwiegend tragen. Systematische Aufschlüsse nach anteilmäßigen Gehalten von PAH-Klassen und krebserzeugender Wirksamkeit sind für einzelne Verbrennungsprodukte angelaufen, repräsentative Schlüsse für alle Verbrennungsvorgänge und für die Einflüsse von Modifikationen des Verbrennungsgeschehens sind nicht möglich.

**217.** Dieser Sachstand ist von maßgeblicher Bedeutung für die gesundheitliche Beurteilung früherer, heute geübter und künftiger Kohleverbrennungstechnologien. Was PAH-Gehalte anbelangt, so verschiebt sich das Spektrum der zahlreichen Einzelsubstanzen im Gemisch erheblich mit der Temperatur. Erste Analysen der krebserzeugenden Potenz der Fraktionen im sog. Mäusehauttest, einer sehr empfindlichen Nachweismethode für PAH-Carcinogenität, deuten darauf hin, daß mit steigender Temperatur (bis zu 1 000 °C) auch die Wirkungspotenz größer wird.

Benzo(a)pyren kann nicht als Leitsubstanz dienen, ebenso wenig sind unspezifische Bestimmungsverfahren der PAH ein verlässliches Kriterium für die carcinogene Potenz. Die aufgezeigten Erkenntnislücken machen deutlich, daß die Risikobeurteilung hier großen Irrtümern unterliegen kann, wenn sie sich allein auf die konventionellen Meßparameter Benzo(a)pyren und Gesamt-PAH stützt. Dringend erforderlich ist daher die systematische Untersuchung der Verbrennungsprodukte auf ihre Wirkungspotenz hin. Insbesondere sollte eine solche Kombination von chemisch-analytischem Aufschluß und tierexperimenteller Zuordnung der Wirksamkeit die Entwicklung und Bewertung neuer Feuerungstechniken und der Abgasreinigung begleiten.

**218.** Die Unsicherheit im Urteil der Gesundheitsgefährdung durch Produkte der Kohlenutzung wird noch wesentlich erhöht durch die Tatsache, daß neben PAH noch andere erbgutändernde und krebserzeugende Stoffe auftreten. Man hat ihnen bisher wenig Beachtung geschenkt, da die Nachweistekniken im chemisch-analytischen wie im toxikologischen Bereich nicht hinreichend entwickelt waren. Sie dürfen aber von der Risikobetrachtung nicht ausgeschlossen werden, zumal die chemisch-analytische Meßtechnik zwischenzeitlich einen höheren Stand erreicht hat. Zu nennen sind hier zunächst einige Schwermetalle (vgl. Tab. 8 und 9 im Anhang) mit krebserzeugender Wirksamkeit: z. B. Arsen, Beryllium, Cadmium, Chrom, Nickel, Antimon. Ihre Bedeu-

tung liegt wahrscheinlich nicht in den sehr geringen Konzentrationen, in denen sie in der Luft auftreten. Vielmehr ist sie in ihrer Persistenz und möglichen Anreicherung in Umwelt-Kompartimenten zu sehen, von wo aus diese Schadstoffe unter Umständen von Menschen in erhöhten Dosen aufgenommen werden könnten. Systemanalysen, die die Größen der Aufnahme und des Risikos abschätzen ließen, liegen nicht oder nicht ausreichend vor. Eine Ausnahme bilden hier radioaktive Metallemmissionen, die wegen der hochempfindlichen und spezifischen Meßbarkeit leicht erfaßt werden können.

**219.** Schwerwiegender ist das Auftreten von aromatischen Nitro- und Aminoverbindungen. PAH können von den Stickstoffoxiden des Abgases nitrirt, später zum Teil zu den Aminen reduziert werden. Mit steigender Verbrennungstemperatur treten vermehrt Stickoxide und nitrirte PAH auf. Die krebserzeugende Wirkung solcher Aminoverbindungen ist lange bekannt. Für die entsprechenden Nitroverbindungen ist sie nachgewiesen und durch Untersuchungen zum Wirkungsmechanismus ausgedeutet worden. Nach gegenwärtiger Kenntnis wird diese Art von krebserzeugender Wirkung aber vom klassischen, in diesem Zusammenhang bisher fast ausschließlich eingesetzten Mäusehauttest nicht erfaßt; auch hier fehlt es an systematischen Ansätzen.

**220.** Ferner ist kürzlich die Bildung der TCDD (2, 3, 7, 8-Tetrachlordibenzodioxin), dem Giftstoff von Seveso, bei pyrolytischen Prozessen nachgewiesen worden. Auch in der Flugasche von Kraftwerken findet sich, soweit bisher untersucht, regelmäßig TCDD. Zwar sind die Konzentrationen gering, doch handelt es sich um den bisher stärkste wirksamen synthetischen Giftstoff überhaupt. Eine gültige Bewertung dieser sehr jungen Forschungsergebnisse für die Risikoabschätzung ist noch nicht möglich, die Befunde sollten jedoch Anlaß zu intensiven weiteren Studien, besonders bei der Entwicklung von Alternativtechnologien, sein. Auch bei TCDD wird die toxische und krebserzeugende Wirkung mit hoher Wahrscheinlichkeit im Mäusehauttest nicht erfaßt.

**221.** Vermutlich sind noch weitere Schadstoffe in den Verbrennungsprodukten fossiler Energieträger enthalten, die Effekte am genetischen Material der Zellen (Tz. 210 ff.) auslösen, aber bisher nicht genügend Beachtung gefunden haben. Zu nennen sind z. B. Olefine und ungesättigte Aldehyde, die als Gase nicht im Kondensat erscheinen, aber entweder selbst oder nach chemischer Umsetzung mit anderen Rauchgasbestandteilen, z. B. Stickstoffoxiden, zu biologisch reaktiven Substanzen werden können. Hier steht die Wirkungsforschung noch ganz am Anfang. Diese und die anderen genannten Schadprinzipien, besonders solche mit erbgutändernder und krebserzeugender Potenz, müssen in die Analyse und Risikobeurteilung einbezogen werden. Dazu bedarf es des Einsatzes neuer toxikologischer Prüfstrategien, die statt des bisherigen Standardtests eine Mehrzahl von experimentellen Modellen mit der Erfassung unterschiedlicher, weitest möglich gespannter Wirkungsspektren heranziehen.

Erste Versuche in dieser Richtung bestätigen sowohl die Unzulänglichkeit älterer Prüfmuster als auch die Existenz überraschender Wirkungspotentiale in vermeintlich weitgehend gereinigten Rauchgasen. Flugasche aus einer Wirbelschichtfeuerungsanlage erweist sich als gleich stark mutagen wie solche aus konventionellen Verbrennungsanlagen (ZELENSKI, PANGACO, HALL-ENOS, 1980), die Mutagenität steigt stark an, wenn die Größe der Aschepartikel abfällt (CLARK, HOBBS, 1980); die Einflüsse, die das Schadpotential vermehren oder vermindern, sind z. Z. nicht eindeutig zu definieren (CHRISP, FISLER, LAMMERT, 1978).

**222.** Ein weiteres, die Beurteilung grundsätzlich erschwerendes Element kommt hinzu. Für die Expositionsermittlung einer Population wird zu Recht in erster Linie die aktuelle Immissionskonzentration von Schadstoffen herangezogen. Sie ist jedoch nicht allein für die Risikobewertung maßgebend. Wichtig ist ebenso die Persistenz der einzelnen Schadstoffe in der Umwelt und die Berücksichtigung der Möglichkeit, daß sie infolge Akkumulation zunehmend stärker indirekt auf den Menschen einwirken, z. B. über Nahrungsketten. Bei den PAH bestehen nur für einige Stoffe beschränkte Kenntnisse über ihr Umweltverhalten. An der Luft werden sie durch das Sonnenlicht relativ rasch inaktiviert. Über den Einfluß dieser Vorgänge auf die gesamte, krebserzeugende Wirkung fehlen bereits exakte Daten, es gibt nur Vermutungen. Im wesentlichen ist nur Benzo(a)pyren untersucht. Über das Verhalten von PAH im Boden sind die Kenntnisse ungenügend. Zur Persistenz anderer, vermuteter oder nachgewiesener Schadstoffe gibt es kaum verwertbare Informationen. TCDD gilt als extrem resistent gegen Umwelteinflüsse.

Die aufgezeigten Unsicherheiten und Kenntnislücken weisen auf, daß eine qualitative und quantitative Risikobeurteilung der Folgen von Verbrennungen fossiler Energieträger nicht im erforderlichen Maße möglich ist.

### 1.3.1.3 Zur Meßbarkeit der Belastungen

**223.** Für eine direkt vergleichende, gesundheitliche Risikoabschätzung zwischen Kernenergie und Kohleverbrennung fehlen also die Grundlagen vornehmlich bei der Kohleverwendung. Für die Bewertung der beiden Energiegewinnungsformen ist aber noch ein Sachverhalt zu diskutieren, der in den bisherigen Betrachtungen noch nicht Berücksichtigung gefunden hat. Dies betrifft die Meßbarkeit von Schadfaktoren, und zwar nicht nur in der Umgebung der exponierten Menschen, sondern im Organismus selbst.

**224.** Im Falle energiereicher Strahlung existieren hoch empfindliche, spezifische und verlässliche Meßverfahren. Die Meßstrategie gestaltet sich unproblematisch, da sie auf eine geschlossene Theorie der Strahlenwirkung aufbauen kann. Die Meßverfahren gestatten die präzise Ermittlung der externen, auf z. T. indirektem Wege auch weitgehend die Abschätzung der internen Strahlenbelastung des Menschen in allen Dosisbereichen, sie arbeiten rasch und sind

vergleichsweise wenig aufwendig. Mit diesem Instrumentarium ist nicht nur die Risikoabschätzung, sondern vor allem auch die Strategie der Schadens Eindämmung auf eine feste Grundlage gestellt; nicht nur wird die ständige Überwachung von Emissionen aus Kernkraftwerken im Normalbetrieb gewährleistet, sondern es ist bei Entwicklung und Bereitstellung entsprechender Meßapparaturen auch die Anzeige und Kontrolle von Stoffen bei Unfällen bis hin zu deren größtem Ausmaß möglich; die entstehende Strahlenbelastung kann quantitativ ermittelt und lokalisiert, ihre eventuelle Ausbreitung verfolgt werden. Sie dient nicht nur als Monitor, sondern auch als wichtigste Basis von Krisenbewältigungen.

**225.** Demgegenüber ist die Meßstrategie zur Erfassung von Emissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger unvollkommen, da sie viele Hilfshypothesen beiziehen und sich grundsätzlich auf das beschränken muß, was bekannt ist. Zwar sind auf dem Gebiet der Mikroanalytik mit physikalischen Methoden (Gas- und Flüssigchromatographie, Massenspektrometrie) bemerkenswerte Fortschritte im Hinblick auf Trennung und Identifizierung der Komponenten und Anzeigeempfindlichkeit erzielt worden. Sie sind aber sehr kosten-, zeit- und personalaufwendig und deshalb nur begrenzt einsetzbar. Die praktisch einsetzbaren Feldmethoden sind nicht sehr spezifisch, vor allem im Vergleich zur Strahlenmessung wenig empfindlich. Die Schadstoffanalytik beschränkt sich zur Zeit auf die externe Belastung, Verfahren zur Ermittlung der internen Belastung stehen in den allerersten Anfängen. Am wichtigsten ist auch hier wieder, daß mit den einfachen praktikablen Bestimmungsverfahren nur bekannte Stoffe, nicht aber die vermuteten, noch nicht identifizierten Schadfaktoren erfaßt werden.

### 1.3.1.4. Zusammenfassung

**226.** Zusammenfassend läßt sich feststellen: die am Erbgut angreifenden Schadefekte (Mutationen und Krebs) sind im Grundsatz für Strahlen und chemische Belastung von der Qualität her vergleichbar. Was die Meßbarkeit anbelangt, so ist diese bei den gesundheitlichen Risiken von Strahlenemissionen aus Kernkraftwerken gut entwickelt, die Effekte sind relativ gut zu beurteilen. Hingegen sind die Risiken aus Kohleabbrandprodukten nur unvollständig bekannt, die bekannten sind bei erbgutschädigenden und krebserzeugenden Wirkprinzipien nicht verlässlich quantifizierbar, die Meßbarkeit ist unzureichend. Alternativmethoden der Abgasreinigung sind praktisch nicht auf effektive Schadwirkungsminderung untersucht.

**227.** Die Dosis-Wirkung-Beziehung als Grundlage einer Quantifizierung des Gesundheitsrisikos ist bei Strahlenbelastung in höheren Dosisbereichen klar erkennbar und auch in niedrigen Bereichen vergleichsweise gut bekannt bzw. abschätzbar. Bei chemischen Stoffen sind sie jedoch viel komplizierter, von Stoff zu Stoff wechselnd und für kaum einen Stoff so gut untersucht, daß sie auf Risikobeurteilungen für den Menschen anwendbar sind.

**228.** Schäden am genetischen Material manifestieren sich nicht nur in Tumoren, sondern auch in vererbaren Veränderungen. Die Bestimmung (oder Abschätzung) von Tumortoten, wie sie derzeit in Risikobewertungsansätzen überwiegend herangezogen wird, kann deshalb auch nicht der einzige Parameter für vergleichende Risikobetrachtungen sein. Mit der Vererbbarkeit wird eine Hypothek zu Lasten künftiger Generationen aufgenommen, deren Größe im Falle der chemischen Schadprinzipien zur Zeit viel ungewisser ist als bei Strahlenbelastungen.

**229.** Die Entscheidung für die Bevorzugung dieser oder jener Energiegewinnungsart wird also durch eine Reihe von Erwägungen kompliziert, die noch nicht ins Bewußtsein der Öffentlichkeit gedrungen sind. Keinesfalls kann unterstellt werden, daß mit der verstärkten Nutzung der Kohle nur gewisse akute Schädwirkungen — eventuell nur vorübergehend — in Kauf genommen werden können oder müssen. Das Gegenteil ist richtig: es sind langfristige, schwer abschätzbare, auch in künftige Generationen wirkende Beeinträchtigungen zu berücksichtigen. Sie können kleiner oder größer als bei Anwendung der Kernenergie sein. Nur eine intensive, systematische Wirkungsforschung kann die Voraussetzungen für eine wohl fundierte, vergleichende Risikobewertung schaffen.

### 1.3.2 Ökologische Belastungen und Risiken beim Einsatz von fossilen Energieträgern, Kernkraft und regenerierbaren Energiequellen

**230.** Neben gesundheitlichen Gefährdungen des Menschen (vgl. Kap. 1.3.1) entstehen im Zusammenhang mit der Energieversorgung nach Typ, Wirkung und flächenmäßiger Betroffenheit sehr verschiedenartige Belastungen von natürlichen und naturnahen Ökosystemen (vgl. Umweltgutachten 1978, Tz. 28 ff.). Man kann unterscheiden zwischen ökosystemverändernden oder -zerstörenden Eingriffen durch bauliche Maßnahmen in Landlebensräumen oder an Gewässern und Belastungen von Ökosystemen durch Immissionen. Die unterschiedliche Natur dieser Belastungen macht eine vergleichende Bewertung schwer; das spiegelt sich insbesondere in der öffentlichen Diskussion wider, die mangels objektiverer Tatbestände häufig sehr subjektive Bewertungen zeigt.

Landwirtschaftliche Nutzflächen stellen kein naturnahes Ökosystem dar und werden hier nicht behandelt. Im übrigen befaßt sich die folgende Darstellung nur mit den Verhältnissen in der Bundesrepublik Deutschland; globale Aspekte im Zusammenhang mit der CO<sub>2</sub>-Emission bei der Nutzung fossiler Brennstoffe werden in Kap. 1.3.4 behandelt.

Im folgenden wird die gegenwärtige ökologische Belastungssituation dargestellt und eine Abschätzung der Veränderungen bei einem Wandel der Energiestrukturen versucht. Von der Energieversorgung her wird dabei wie in Kap. 1.2 eine Dreiteilung in fossile Energiequellen, Kernenergie und regenerierbare Energiequellen vorgenommen.

#### 1.3.2.1 Fossile Energiequellen

**231.** Die Gewinnung fossiler Brennstoffe geht beim Braunkohlentagebau mit sehr starken Eingriffen in Ökosysteme einher. Abgesehen vom Tagebau selbst, bei dessen Anlagen bestehende Ökosysteme ausgeräumt werden, wird in einem größeren Areal der Grundwasserhaushalt durch die zum Abbau notwendige Grundwasserabsenkung beeinflusst und darüber hinaus das System der Oberflächengewässer verändert.

Die im rheinischen Braunkohlenrevier praktizierte Rekultivierung der ausgekohlten Tagebaue, d. h. die Schaffung neuer Lebensräume mit vielfältiger Besiedlungsmöglichkeit für Pflanzen und Tiere, hat den Braunkohleabbau ökologisch tragbar gemacht, wobei in den Abwägungsprozeß auch ökonomische Gründe eingeflossen sind. Das ist wichtig zu bemerken, da bei geringer mächtigen Lagerstätten (Hoher Meißner) die öffentliche Akzeptanz trotz möglicher Rekultivierungen wegen des Ungleichgewichtes zwischen Ökosystemzerstörung und ökonomischen Nutzen nicht gegeben sein kann. Gemessen an der Gesamtfläche der Bundesrepublik Deutschland sind die ökologischen Belastungen durch den Abbau fossiler Brennstoffe insgesamt gesehen gegenwärtig tragbar.

**232.** Erhebliche ökologische Belastungen stellen die aus der Nutzung fossiler Energiequellen stammenden Immissionen dar. Die entscheidenden, bei der Energieversorgung entstehenden Schadkomponenten für natürliche und naturnahe Ökosysteme sind Schwefeldioxid (SO<sub>2</sub>) und Fluorwasserstoff (HF), die Pflanzen als prägende Glieder von Ökosystemen schon bei sehr geringen Konzentrationen schädigen.

**233.** Anteilig nach Flächenbelastung überwiegt die Schädwirkung des SO<sub>2</sub>, das vor allem nicht nur direkt sondern auch indirekt nach chemischer Umwandlung beträchtliche Fernwirkungen ausübt. Von der Verarbeitung fluorhaltiger Materialien ist seit langem bekannt, daß HF freigesetzt wird (z. B. Ziegeleien, Aluminiumwerke, Phosphatverarbeitung); wegen der relativ geringen Schornsteinhöhen dieser Betriebe treten sehr deutliche Wirkungen im Nahbereich auf. Erst spät wurde erkannt, daß HF auch bei der Kohlefeuerung entsteht und bei hohen Schornsteinen auch gewisse großräumige Belastungen auftreten. Da vielfach HF und SO<sub>2</sub> gemeinsam einwirken, sind genaue Wirkungszuordnungen entsprechend schwierig. SO<sub>2</sub> wirkt nicht nur als Schadgas, sondern belastet nach Umwandlung in schwefelige Säure und Schwefelsäure als saurer Niederschlag (Schnee, Regen) vor allem kalkarme Gewässer und Böden. Dagegen bildet das mengenmäßig viel weniger ins Gewicht fallende HF unschädliches schwerlösliches Kalziumfluorid.

**234.** Die Bedeutung von Stickstoffoxiden (NO<sub>x</sub>) als Schadkomponente für Ökosysteme ist gegenwärtig vergleichsweise geringer; in gewissem Umfang tragen sie durch Bildung von salpetriger Säure und Salpetersäure zur Ansäuerung von Niederschlägen bei. Das dabei auftretende Nitrat wirkt düngend („eutrophierend“) und vermag dadurch Veränderungen



des Pflanzenbestandes auszulösen.  $\text{NO}_x$  ist weiterhin wesentlich im Zusammenhang mit der Entstehung photochemischer Oxidantien in der Atmosphäre (Ozon, Peroxyacetyl-nitrate, insbesondere Peroxyacetylnitrate (PAN)).

**235.** Das Ausmaß der immissionsbedingten Ökosystems Schäden in der Bundesrepublik Deutschland ist umstritten. Es fehlen flächendeckende Erhebungen, die exakte Aussagen über die Verbreitung von Immissions Schäden erlauben. Dies hat zu einem erheblichen Teil methodologische Gründe. Zwar gehören Pflanzen, die sich als Leitorganismen zur Erfassung von Ökosystems Schäden anbieten, zu den bestuntersuchten Objekten im Immissionschutz überhaupt; es gibt aber eine Vielzahl unterschiedlicher Immissionswirkungen, die mit Bestimmtheit nicht gleich zu werten sind.

In Wäldern beispielsweise sind höhere Bäume eines Bestandes stärker belastet als niedrige. Das hängt mit der in der Höhe zunehmenden Windgeschwindigkeit zusammen, die eine Zunahme des Immissionsflux (= Immissionskonzentration  $\times$  Windgeschwindigkeit) bedeutet. Die herausragenden Bäume setzen weniger Samen an und sterben früher ab; ihre Nachkommenzahl ist gering gegenüber den niederwüchsigen. Auf diese Weise kann das genetische Merkmal (Erbmerkmal) „Hochwüchsigkeit“ aus einem Bestand ausgemerzt werden und damit eine Schädigung von nachfolgenden Baumgenerationen eintreten.

Die Beurteilung der Wirkung von Immissionen aus der Nutzung fossiler Brennstoffe wird vor allem dadurch erschwert, daß es eine Vielzahl von Kombinationswirkungen gibt und Schadstoffe aus sehr unterschiedlichen Quellen auftreten. Die Reaktion einer Pflanze unter natürlichen Standortbedingungen ist überdies abhängig von Klima- und Witterungsfaktoren, Bodentyp und -feuchte, Nährsalzversorgung u. a. Eine Übertragung von experimentell oder modellmäßig erarbeiteten Erkenntnissen auf realistische Bedingungen des Freilandes und die Ableitung von Bewertungsmaßstäben ist zur Zeit kaum möglich.

**236.** Obwohl land- und forstwirtschaftliche Ertragsminderungen kein eigentliches Kriterium für das Ausmaß ökologischer Belastungen sein können, muß wegen des Fehlens von Daten über die Belastungssituation auf Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen zurückgegriffen werden, die immerhin gewisse Anhaltspunkte hergeben. WENTZEL (1980) hat eine Abschätzung aller Waldflächen mit nachweislicher Ertragsminderung versucht; bei einem immissionsbedingten Assimilationsverlust von zehn Prozent und mehr als Bemessungsgrundlage für eine eingetretene Schädigung physiologischer Funktionen der Pflanze, sind bis zu 300 000 ha Waldfläche in der Bundesrepublik Deutschland immissionsgeschädigt. Dabei allerdings sind auch Immissionen berücksichtigt, die nicht aus der Verbrennung fossiler Brennstoffe stammen. Bei der Bewertung dieser im Vergleich zur Gesamtwaldfläche (7,3 Mio ha) sehr kleinen Fläche muß berücksichtigt werden, daß neben dem verhältnismäßig groben Kriterium Ertrags-

einbuße eine Reihe von Hinweisen auf Ökosystemstörungen besteht.

**237.** Die genannten Ertragsminderungen treten im Nahbereich um Emittenten auf; hier ist neben der forstwirtschaftlichen Ertragseinbuße mit starker Minderung der Artenzahl bei krautigen Pflanzen und Sträuchern sowie dem Wegfall der Nadelhölzer zu rechnen. Außerdem können Vermehrungsstörungen bei Laubbäumen auftreten, die eine natürliche Verjüngung verhindern. Veränderte Konkurrenzverhältnisse innerhalb des Pflanzenbestandes bedingen vielfach Massenentfaltung früher eher seltener Arten.

**238.** Der Tierbestand wandelt sich mit den Veränderungen der Pflanzenbesiedlung, da bestehende Nahrungsverflechtungen ausgelöscht werden und neue entstehen. Immissionsgeschädigte Bäume können in stärkerem Maße als normal von bestimmten parasitischen Insektenarten besiedelt werden, die sog. Holzschädlinge nehmen zu; die Reihe der Beispiele ließe sich fortsetzen.

**239.** Die derzeit gültigen Immissionswerte (IW 1) der TA Luft 1974 reichen nicht zum Schutze aller Pflanzenarten aus. Daher besteht auch bei Einhaltung dieser Werte weiterhin ein erhebliches ökologisches Störpotential. Einer Minderung der forstwirtschaftlichen Schäden und einer Linderung der ökologischen Störungen dient der seit längerem praktizierte Umbau von empfindlichen Waldbeständen, d. h. eine Anpflanzung von weniger immissionsgefährdeten Baumarten in hochbelasteten Gebieten.

**240.** Die bisher im Rahmen der Sanierung von hochbelasteten Gebieten, insbesondere des Ruhrgebietes, durchgeführten Maßnahmen zur Minderung der  $\text{SO}_2$ -Immission haben großräumig gesehen noch keine ökologische Verbesserung gebracht, da der Ferntransport von  $\text{SO}_2$  nicht entscheidend gesenkt wurde. Vorbeugemaßnahmen in Ballungsgebieten, die auch dem weiteren Umland zugute kommen, können nur in dem Einsatz schwefelarmer Brennstoffe und der Rauchgasentschwefelung bestehen. Der Bau höherer Schornsteine allein, der nur zur besseren Verdünnung führt, stellt keine ökologisch tragbare Lösung dar.

**241.** Bei der Fernwirkung von  $\text{SO}_2$  — und nur dieses spielt gegenwärtig in dem angesprochenen Zusammenhang eine Rolle — muß zwischen der Auswirkung des verfrachteten gasförmigen Schadstoffes  $\text{SO}_2$  und derjenigen des Folgeproduktes „saure Niederschläge“ unterschieden werden.

Während  $\text{SO}_2$  oberirdisch an Pflanzen angreift, wirkt der saure Niederschlag einmal an den oberirdischen Pflanzenteilen, zum anderen aber in erheblichem Umfang im Erdboden auf Mikroorganismen, Kleintiere und Pflanzenwurzeln und beeinflusst überdies den Bodenchemismus. In kalkreichen Böden kann die Säure neutralisiert werden, so daß die Wirkung gering ist; kalkarme Böden hingegen, die in der Bundesrepublik Deutschland einen erheblichen Anteil ausmachen, versauern und zeigen bei stärkerer Belastung einschneidende Störungen der Bodenbiologie. In beträchtlichem Umfang werden Stoff-



haushalt und Organismenbesiedlung von kalkarmen Gewässern durch saure Niederschläge beeinträchtigt; dabei spielen die stoßartigen Belastungen zur Zeit der Schneeschmelze eine besonders negative Rolle.

**242.** Über die aktuelle Belastungssituation der Ökosysteme in der Bundesrepublik Deutschland durch den Ferntransport von  $\text{SO}_2$  und das Auftreten saurer Niederschläge kann mangels ausreichender Beobachtungsdaten keine allgemein gültige Aussage gemacht werden. An der Bedeutung des Problems besteht aber kein Zweifel, wie folgende quantitative Betrachtung von PRINZ (1980) zeigt: In den höher belasteten Teilen des Ruhrgebietes mit  $100 \mu\text{g SO}_2$  pro  $\text{m}^3$  kann mit einer trockenen Deposition (d. h. einer Deposition von Schwefel aus  $\text{SO}_2$ ) wenigstens in Höhe von jährlich 125 kg Schwefel pro ha gerechnet werden. In einem weniger belasteten Gebiet ( $40 \mu\text{g SO}_2$  pro  $\text{m}^3$ ) würden im Jahr etwa 50 kg Schwefel pro ha als trockene Deposition anfallen, dazu kommen etwa 20 bis 25 kg Schwefel aus der nassen Deposition (d. h. aus sauren Niederschlägen).

Im Solling, also etwa 150 km vom Ruhrgebiet entfernt, betrug die mittlere jährliche trockene Deposition 26 (Buchenbestand) bzw. 61 kg Schwefel pro ha (Fichtenbestand) bei einer jährlichen nassen Deposition von 24 kg pro ha. Zum Vergleich: Bezieht man die mittlere jährliche Schwefelemission auf die Fläche, so ergibt sich für die Bundesrepublik Deutschland insgesamt der Wert 80 kg Schwefel pro ha und für das Ruhrgebiet 1 700 kg Schwefel pro ha.

Es muß also davon ausgegangen werden, daß großräumig eine beträchtliche Schwefeldeposition erfolgt. Ökosystemgefährdungen gehen insbesondere von der nassen Deposition aus, da im Solling (und in vergleichbar gelagerten Ökosystemen) die aus  $\text{SO}_2$  stammende Schwefelsäure die wichtigste Quelle für H-Ionen ist, von denen die Ansäuerung des Bodens ausgelöst wird.

**243.** Die ökologischen Folgen von sauren Niederschlägen wurden im Solling eingehend untersucht (ULRICH, MAYER, KHANNA, 1979). Es ergaben sich folgende hier interessierende Ergebnisse: Unter dem Einfluß der Luftverunreinigung hat die Bodenversauerung im Untersuchungszeitraum 1966—1973 erheblich zugenommen. Aus den hierdurch bewirkten Veränderungen im Bodenchemismus wird auf eine erhebliche potentielle Gefährdung durch toxisch wirkende Konzentrationen von Aluminiumionen (evtl. auch von Eisenionen) in der Bodenlösung geschlossen. ULRICH et al. befürchten, daß die untersuchten Bestände im Solling bei anhaltender Einwirkung versauernder Immission im Laufe von Jahren oder höchstens Jahrzehnten als Folge von Aluminiumtoxizität absterben; für die meisten Pflanzen gilt, daß Aluminium bei höheren Konzentrationen in der Bodenlösung giftig wirkt.

**244.** Die Frage, ob derartige Gefährdungen auch für andere Waldökosysteme bestehen, läßt sich derzeit nur mit einer gewissen Einschränkung beantworten. Nach bodenkundlichen Untersuchungen nehmen die Sollingböden jedenfalls keine Sonder-

stellung ein, so daß bei entsprechender Immissions-situation alle Wälder auf bodensaurem Standort im Gebiet der Bundesrepublik Deutschland gefährdet erscheinen. Möglicherweise hängt das neuerdings in mehreren bodensauren Mittelgebirgsbereichen beobachtete Tannensterben mit derartigen Störungen zusammen.

**245.** Ein weiterer wesentlicher Befund der Untersuchungen im Solling, der nach Beobachtungen in anderen Regionen offenbar großräumigere Bedeutung hat, ist darin zu sehen, daß der Nährstoffhaushalt der Sollingwälder in starkem Maße von der Immission von Nährstoffen, vor allem von Stickstoffverbindungen, aus Luftverunreinigungen abhängig ist. Forstwirtschaftlich gesehen wären derzeit bei Ausschaltung der anthropogenen Einträge Zuwachsverluste zu erwarten. Aus ökologischer Sicht stellen die eutrophierenden Immissionen zwar Belastungen dar, die zu Veränderungen im Pflanzen- und Tierartenbestand führen können, es ist aber zu berücksichtigen, daß menschliche Übernutzung der Wälder in den letzten Jahrhunderten zu einer Nährsalzverarmung im Boden geführt hat, die jetzt durch Immissionen ausgeglichen wird.

Die Komplexität der hier angesprochenen Beziehungsgefüge wird dadurch verdeutlicht, daß auf Böden, wie sie beispielsweise im Solling vorliegen, derzeit die Düngewirkung der Stickstoffimmissionen im Kulminationspunkt angekommen ist, da jetzt das gleichfalls lebensnotwendige Magnesium zum Minimumfaktor geworden ist (ULRICH et al., 1979).

**246.** Zusammenfassend kann zum Ferntransport von Luftverunreinigungen und damit zur Belastungssituation von industrie- und siedlungsfernen Ökosystemen festgestellt werden, daß Hinweise auf Immissionswirkungen vorliegen und diese durchaus den Charakter einer ökologischen Schädigung haben. Diese Feststellung veranlaßt den Rat zu der Forderung, im Sinne des Vorsorgegedankens verstärkt emissionsmindernde Maßnahmen bei der Nutzung fossiler Brennstoffe zu ergreifen, insbesondere gilt das hinsichtlich einer Minderung der  $\text{SO}_2$ -Emission.

**247.** Ein Zusammenhang zwischen den  $\text{SO}_2$ -Emissionen und der Beeinträchtigung der Pflanzen, insbesondere der Nadelbäume sowie der Versauerung von Böden gilt auch bei den verantwortlichen Behörden in den Industriestaaten der nördlichen Hemisphäre als hinreichend erwiesen; auch der des Transports von  $\text{SO}_2$  und seiner Folgeprodukte über große Entfernungen wird allgemein unterstellt. In Ländern mit großen und empfindlichen stehenden Gewässern kommen noch Befürchtungen hinsichtlich einer ökologischen Verarmung beim Absinken der pH-Werte hinzu. Es ist daher nicht verwunderlich, daß von einigen Ländern, insbesondere den skandinavischen, internationale Schritte zur Minderung der  $\text{SO}_2$ -Belastungen angeregt wurden.

Diese Pläne führten nach Verhandlungen im Rahmen der Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (ECE) im November 1979 zu dem „Übereinkommen über weiträumige grenzüberschreitende Luftverschmutzung“. Die Wirkung die-

Schadwirkungen durch SO<sub>2</sub>-Immissionen

	Schadwirkung	
	10 %	20 %
Einjährige Nutzpflanzen	0,12 mg m <sup>-3</sup>	0,20 mg m <sup>-3</sup>
Mehrfährige, vor allem forstlich genutzte Pflanzen . . . . .	0,05 mg m <sup>-3</sup>	0,10 mg m <sup>-3</sup>

Quelle: PRINZ, 1980

ser Übereinkunft kann noch nicht beurteilt werden, sie zeigt jedoch, wie ernst die großräumige SO<sub>2</sub>-Belastung von den Industriestaaten der nördlichen Hemisphäre genommen wird.

Im Rahmen der Europäischen Gemeinschaft bringt die EG-Richtlinie vom 15. Juli 1980 über Grenzwerte und Leitwerte der Luftqualität für Schwefeldioxid und Schwebestaub (80/779/EWG) zum Ausdruck, daß die Besorgnis über die großräumige SO<sub>2</sub>-Belastung auch unter den Mitgliedstaaten allgemein geteilt wird.

**248.** Die nach dem Bundesimmissionschutzgesetz und der TA Luft 1974 geltende Rechtslage ist gegenwärtig nicht eindeutig bestimmbar. Nach § 6, § 5 Ziff. 1 BImSchG darf eine Anlage, aus der SO<sub>2</sub> emittiert wird, nur genehmigt werden, wenn sichergestellt ist, daß schädliche Umwelteinwirkungen und sonstige Gefahren, erhebliche Nachteile und erhebliche Belästigungen für die Allgemeinheit und die Nachbarschaft nicht hervorgerufen werden können. Nach der TA Luft 1974 ist vor allem der Langzeitwert (IW 1) auf 0,14 mg SO<sub>2</sub> pro m<sup>3</sup> festgelegt. Dieser Immissionswert reicht als Grenzwert unzweifelhaft nicht aus, um alle schädlichen Umwelteinwirkungen, insbesondere solche auf empfindliche Pflanzenarten, und Gefährdungen von Ökosystemen auszuschließen. Die nach dem IW 1 von 0,14 mg SO<sub>2</sub> pro m<sup>3</sup> zulässigen SO<sub>2</sub>-Immissionen sind bis zum vierfachen höher als sie von Nadelholzwäldern ohne Erkrankung oder Zuwachsverluste ertragen werden können. Unterstellt man eine volle Ausnutzung dieses Belastungsrahmens, würde dies entsprechend dem Anteil der empfindlichen Nadelhölzer am deutschen Wald für nahezu 70 % aller Waldbäume langfristig eine Gefahr des Absterbens bedeuten. Hinzu kommt, daß durch saure Niederschläge entscheidende Beeinträchtigungen der Bodenqualität eintreten würden. Dies bedroht nicht nur empfindliche Nadelbäume sondern alle Laubwälder. Die TA Luft 1974 versucht zwar, dem mit Hilfe einer Klausel vorzubeugen, nach der Gebiete, deren bisherige SO<sub>2</sub>-Belastung maximal 0,06 mg pro m<sup>3</sup> beträgt, nicht über diesen Wert hinaus belastet werden dürfen (Nr. 2.4.3, am Ende). Gegen die Wirksamkeit dieser Klausel einer bloßen Verwaltungsvorschrift bestehen jedoch erhebliche rechtliche Bedenken. Eine gesetzliche Grundlage für die Durchsetzung eines solchen Verschlechterungsverbotes ist nicht erkennbar.

**249.** Gegenwärtig sind hohe SO<sub>2</sub>-Immissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger auf verhältnismäßig kleine Räume beschränkt, was durch die räumliche Konzentration der Emittenten zu erklären ist und nicht durch die Wirkung der Immissionschutzgesetzgebung. Alle Maßnahmen zur Minderung der Immission durch Verdünnung, d. h. Verteilung über größere Flächen, sind aus ökologischer Sicht zu verwerfen, da daraus erhebliche Gefährdungen von Pflanzenarten und damit von naturnahen Ökosystemen entstehen.

Die Maßstäbe für die Genehmigung von SO<sub>2</sub> emittierenden Anlagen müssen daher verschärft werden. Dabei müssen jedenfalls die Schadwirkungen auf bestimmte Nadelhölzer berücksichtigt werden. Das Ausmaß der Schadwirkung von verschiedenen ho-

hen SO<sub>2</sub>-Immissionen auf bestimmte Pflanzentypen zeigt Tab. 1.13, wobei es sich um arithmetische Jahresmittelwerte handelt, die je nach Standortverhältnissen Abweichungen zeigen und durch synergistische Effekte Verstärkungen erfahren können.

Die Novelle der TA Luft, die z. Z. beraten wird, dürfte diesen Erfahrungen Rechnung tragen. In Anlehnung an die in der vergangenen Legislaturperiode gescheiterte Novelle zum BImSchG, sind darin Schwellenwerte vorgesehen, die Anhaltspunkte dafür ergeben, daß vorhandene Bestände von Tieren und Pflanzen wesentlich beeinträchtigt werden. Danach sind schädliche Umwelteinwirkungen bei einem Schwellenwert von 0,14 mg m<sup>-3</sup> nur ausgeschlossen, soweit es sich um Bestände an Schwarzkiefern (*Pinus nigra austriaca*) handelt, während für die Kiefer (*Pinus silvestris*) ein Schwellenwert von 0,08, für die Tanne oder Pflanzen gleicher Empfindlichkeit ein Schwellenwert von 0,05, für Pflanzen und Tiere in Naturschutzgebieten ein Schwellenwert von 0,02 mg m<sup>-3</sup> berücksichtigt werden müßte. Wie weit sich daraus auch schon nach geltendem Recht Genehmigungshindernisse ergeben, ist noch nicht abzusehen. Die zuständigen Bundes- und Landesbehörden gehen davon aus, daß mittels des Merkmals der Erheblichkeit von nachteiligen Einwirkungen auf die Pflanzen- und Tierwelt im Einzelfall eine gewisse Güterabwägung stattfinden könne. Danach würde die Bedeutung der beabsichtigten Anlage und die der zu schützenden Bestände zu bewerten sein; die Abwägung erst ergäbe, ob die Genehmigung für die Anlage erteilt wird oder nicht.

**250.** In diesem Zusammenhang sind auch Anregerungen aus dem wissenschaftlichen Schrifttum zu prüfen, die auf einen besseren Schutz empfindlicher Pflanzenarten und von Ökosystemen abzielen. Der Rat bezieht sich auf das Gutachten PRINZ (1980), in dem ein nach Flächennutzungsarten abgestuftes System von Grenzwerten vorgeschlagen wird, das in Tab. 1.14 zusammengefaßt ist.

**251.** Die Verschärfung von Immissionswerten zum Schutz empfindlicher Waldbestände reicht allerdings nicht aus, um Gefahren auszuschließen, die mit der Versauerung des Bodens zusammenhängen. Deshalb hilft nur eine möglichst weitgehende Vermeidung von Emissionen von SO<sub>2</sub> weiter. Entsprechende Auflagen müssen unabhängig davon gemacht werden, ob in der näheren oder weiteren Um-

Tab. 1.14

**Immissionsschutzrelevante Flächennutzungsarten und vorgeschlagene Grenzwerte (arithmetische Jahresmittelwerte von SO<sub>2</sub>-Immissionen in mg pro m<sup>3</sup>)**

Gewerbe- und Industrieansiedlungsbereiche	0,20
Wohnsiedlungsbereiche	0,14
Agrarbereiche	0,12
Wald:	
Laubholzbestände	0,10
Nadelwaldbestände	0,07
Naturschutzgebiete	0,05
Zum Vergleich:	
Gegenwärtiger Langzeitwert (IW 1) nach TA Luft 1974	0,14

Quelle: nach PRINZ, 1980

gebung von Anlagen Überschreitungen der Immissionswerte eintreten würden oder nicht.

**252.** Die vorangehenden Ausführungen führen zu folgenden Schlüssen: Da schon die gegenwärtige Belastung durch SO<sub>2</sub> aus der Nutzung fossiler Brennstoffe ökologische Gefährdungspotentiale erkennen läßt, kann danach eine verstärkte Kohlenutzung nur akzeptiert werden, wenn wirksame emissionshemmende Maßnahmen ergriffen werden. Es muß ausdrücklich gesagt werden, daß eine regionale Entlastung durch stärkere Verdünnung der Emission großräumig gesehen aus der Sicht des Pflanzen- und Ökosystemschutzes keine tragbare Lösung darstellt. Dezentralisierung von kohlebefeierten Kraftwerken mit einer gegenüber der heutigen Situation breiten räumlichen Streuung ist nur bei Ausnutzung aller technischen Möglichkeiten der Schwefelrückhaltung vertretbar.

**253.** Stickstoffoxide und Folgeprodukte, die heute in der Gesamtbewertung eine vergleichsweise geringe Belastungskomponente darstellen, dürften in der Zukunft an Bedeutung zunehmen.

**254.** Eine erhebliche Unsicherheit in der Bewertung der ökologischen Gefährdung durch Kohlenutzung besteht darin, daß neben den Hauptimmissionskomponenten SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> und HF zahlreiche weitere potentielle Schadstoffe in geringen Konzentrationen auftreten (vgl. Tab. 8 und 9 im Anhang). In den Spurenstoffen aus der Emission von Feuerungsanlagen gehören u. a. Cd, Pb, Ba, P, Sr usw. Alle diese Stoffe werden in unterschiedlichen Mengen auch aus anderen Quellen emittiert, ohne daß die herkunftsmäßigen Anteile genau bekannt sind. Bei Cd wird mit einem Anteil der Feuerungsanlagen von ca. 20% an der Gesamtbelastung in der Bundesrepublik Deutschland gerechnet. Die Spurenstoffe stellen keine energiespezifische Belastung dar und werden an dieser Stelle nicht weiter behandelt. Wenn sich auch viele Stoffe vornehmlich im engeren Umkreis um Emittenten finden, so ist doch grundsätzlich ein Auftreten in Ökosystemen der freien Land-

schaft möglich. Die unzureichende Datenbasis, über die aus der Nutzung fossiler Brennstoffe stammenden Immissionen, macht eine ökologische Risikoabschätzung für diese Quelle unmöglich. Das Auftreten von persistenten Stoffen und von Schwermetallen sowie die Möglichkeit von Anreicherungen in Organismen stellen auch bei sehr geringen Immissionen Gefährdungspotentiale dar. Hinsichtlich einer Risikobeurteilung von mutagenen und carcinogenen Schadstoffen für freilebende Organismen müssen ähnliche Überlegungen gelten wie bei der Gesundheitsgefährdung des Menschen (vgl. Kap. 1.3.1).

**255.** Regional sind gravierende Beeinträchtigungen oder Vernichtung von Ökosystemen zu befürchten, wenn bisher nicht für abbauwürdig erachtete Vorkommen von Braunkohle und Ölschiefer abgebaut werden sollten. Eine typische Konfliktsituation dieser Art stellt sich gegenwärtig bei der Planung eines Ölschieferabbaus im Raume Braunschweig, wo u. a. ökologisch wertvolle Feuchtgebiete gefährdet sind.

**256.** Die Abwärmelastung durch Kohlekraftwerke kann in Gewässern belastend wirken; diese Immission spielt aber im Vergleich zu anderen eine geringfügige Rolle. Sie ist im übrigen technologisch leicht zu vermeiden bzw. so zu reglementieren, daß wesentliche ökologische Belastungen ausbleiben.

### 1.3.2.2 Kernenergie

**257.** Ein Vergleich der ökologischen Belastungen und Risiken durch Immissionen aus der Kohleverbrennung und aus Kernkraftwerken im Normalbetrieb, also bei Außerachtlassung eines großen Störfalles, ergibt erheblich höhere Gefährdungspotentiale bei der Nutzung des fossilen Brennstoffs. Im Prinzip gelten hier bei der ökologischen Risikoabschätzung ähnliche Überlegungen wie bei der Abschätzung gesundheitlicher Risiken (vgl. Kap. 1.3.1). Diese Überlegungen gelten für den derzeitigen Stand der Kernenergienutzung in der Bundesrepublik Deutschland einschließlich des Brennstoffzyklus. Sie sind damit zu begründen, daß bei der Kernenergienutzung die ökologisch besonders belastenden Immissionen von SO<sub>2</sub> sowie HF und einige andere wirkungsmäßig noch nicht klar erfaßte Schadprinzipien fehlen. Anhaltspunkte dafür, daß radioaktive Immissionen aus dem Normalbetrieb von Kernkraftwerken zu ökologischen Schäden führen, liegen dem Rat nicht vor.

**258.** Ganz anders sieht allerdings die Situation aus, wenn man einen großen Unfall für möglich ansieht. Die dabei zu erwartenden ökologischen Belastungen sind inakzeptabel.

**259.** Die heutigen Kernkraftwerke haben einen sehr hohen Abwärmeeinfall, dessen schadlose Beseitigung aus ökologischer Sicht wesentlich ist. Das Abwärmeproblem wird vermutlich auch in Zukunft seine Bedeutung behalten; es kann aber als beherrschbar angesehen werden, so daß hier kein gravierendes ökologisches Gefährdungspotential vorliegt.

### 1.3.2.3 Regenerierbare Energiequellen

**260.** Die Nutzung regenerierbarer Energiequellen gilt im allgemeinen mit Recht als umweltfreundlich. Das trifft für die Bundesrepublik Deutschland insbesondere hinsichtlich des Vergleichs mit den großräumigen Belastungen von Ökosystemen durch Luftverunreinigungen zu, die bei der Nutzung fossiler Energiequellen gegenwärtig wegen mangelnder emissionsmindernder Maßnahmen erheblich sind. Allerdings muß man sehen, daß zumindest Stickstoffoxide auch beim Betrieb von Kraftfahrzeugen mit aus Biomasse erzeugten Äthanol oder Methanol und bei der Verbrennung von Biomasse (z. B. Stroh) in großen Anlagen entstehen. Gewisse Probleme bleiben also bestehen und müssen durch emissionsmindernde Maßnahmen gelöst werden.

**261.** Regional oder lokal kann es bei Nutzung alternativer Energiequellen zu beträchtlichen ökologischen Veränderungen kommen. So führt Wasserkraftgewinnung bei der Anlage von Flußstauen zu einem gravierenden Wandel im Stoffhaushalt und in der Organismenbesiedlung der betroffenen Gewässer. Dazu gehört beispielsweise der Ersatz strömungsliebender Fische durch Stillwasserformen oder die Verhinderung von Fischwanderungen; (vgl. dazu das Sondergutachten Umweltprobleme des Rheins, Tz. 253 u. a.). Die Folgen des Baus von Stauhaltungen müssen nicht immer negativ sein; die Innstauseen beispielsweise haben sich zu einem wichtigen Wasservogellebensraum entwickelt. Stauhaltungen beeinflussen nicht nur die Oberflächengewässer, sondern auch das Grundwasser, dessen Spiegelhöhe im Erosionsbereich unterhalb von Staumauern sinken kann, während oberhalb ein Anstieg möglich ist.

**262.** Talsperrenbauten führen lokal zur radikalen Umwandlung von bestehenden Landlebensräumen zu neuen Gewässerökosystemen. Diese Eingriffe bringen aufs Ganze gesehen nur sehr geringe, lokale ökologische Schäden und schneiden damit vor allem im Vergleich mit schadstoffemittierenden Nutzern von fossilen Energieträgern sehr gut ab. Man darf aber nicht übersehen, daß in der Bundesrepublik Deutschland bei dem noch verbliebenen kleinen Rest ökologisch wertvoller, aus Gründen der Arten- und Biotoperhaltung schützenswerter, Flächen auch lokale Flächenverluste für den Naturschutz ins Gewicht fallen können.

**263.** Die Wiederherstellung oder Einrichtung von kleinen Wasserkraftwerken in der Größenordnung von Mühlteichen oder -gräben dürfte, von Einzelfällen abgesehen, keine ökologischen Bedenken auslösen. Derartigen Anlagen kämen bei Berücksichtigung gewisser gestalterischer und nutzungstechnischer Auflagen eher eine positive ökologische Bedeutung zu als Lebensraum für bestandsgefährdete Arten.

**264.** Die Anlage von „Energiefarmen“ oder „Energiewäldern“, wie sie in Zukunftsszenarien von einzelnen Vertretern der Land- und Forstwirtschaft vorgeschlagen werden, käme zwar der Forderung

nach gesteigerter Nutzung einer stets erneuerbaren Energiequelle entgegen, würde aber aus gegenwärtiger Sicht in der Bundesrepublik Deutschland erhebliche ökologische Probleme bringen. Der Anbau von speziellen Zuckerrübensorten („Spitrüben“) etwa zur Äthanolgewinnung würde neben hohem Flächenbedarf beträchtlichen Einsatz von Dünger und Pflanzenschutzmitteln erfordern. Derartige Planungen würden dem Bestreben entgegenlaufen, die bestehenden ökologischen Belastungen aus landwirtschaftlichen Intensivkulturen abzubauen.

**265.** Die Kultur schnellwüchsiger Baumarten (z. B. bestimmte Pappelsorten) auf landwirtschaftlichen Grenzertragsböden zur Methanolproduktion oder zum direkten Einsatz als Brennmaterial würde Freiräume für wildlebende Pflanzen und Tiere noch weiter einengen und die bisherigen Planungen zur Schaffung von ökologischen Ausgleichsräumen und von großräumigen Naturschutzgebieten zunichte machen. Insbesondere würde das gelten, wenn die angesprochenen Maßnahmen wirklich einen nennenswerten Beitrag zur Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland leisten sollen. Die notwendigen starken Düngungsmaßnahmen lassen starke Veränderung der Krautschicht dieser Forsten im Sinne einer Entwicklung zu artenarmen Gesellschaften von Pflanzen und Tieren erwarten; darüber hinaus muß mit erheblichen Gewässerbelastungen infolge von Nährstoffausträgen gerechnet werden.

### 1.3.2.4 Zusammenfassung der Bewertung aus ökologischer Sicht

**266.** Aus ökologischer Sicht ist eine gleichbleibende oder in mäßigem Umfang zunehmende Nutzung von Kohle nur tragbar, wenn eine wirksame Minderung der Schadstoffemission vorgenommen wird. Besondere Bedeutung kommt dabei der drastischen Verringerung der großräumigen Belastung mit Schwefeldioxid und „sauren Niederschlägen“ zu.

**267.** Eine weitere Nutzung und gemäßigte Steigerung des Einsatzes von Kernenergie könnte bei abschließlicher Betrachtung der Immissionen aus dem Normalbetrieb akzeptiert werden. Das unabsehbare ökologische Gefährdungspotential bei einem großen Unfall der gegenwärtig favorisierten Kernkraftwerkstypen sollte Anlaß sein, auch — wie bei der Kohle — alle Möglichkeiten zur Begrenzung des Einsatzes von Kernenergie auszuschöpfen.

**268.** Regenerierbare Energiequellen haben im allgemeinen gegenüber den fossilen Energieträgern und der Kernenergie erhebliche Vorteile unter dem Aspekt der Ökosystemgefährdung. Allerdings gibt es auch bei der an sich umweltfreundlichen Wasserkraftnutzung regional oder lokal Belastungspotentiale. Einer verstärkten Produktion von Biomasse in Energiefarmen oder -wäldern muß eine erhebliche ökologische Belastung zugerechnet werden.



### 1.3.3 Auswirkungen von Energieversorgungsanlagen auf Struktur und Bild der Landschaft

**269.** Der Ausbau von bestehenden Anlagen der Energieerzeugung und -verteilung sowie die Realisierung neuer Strukturkonzepte der Energieversorgung können von erheblicher Auswirkung auf Struktur und Bild der betroffenen Landschaftsräume sein. Hieraus ergeben sich Nutzungskonflikte mit anderen vorhandenen oder geplanten Nutzungen dieser Räume.

Betroffen werden durch Neubauten und Erweiterungen von Energieversorgungsanlagen in erster Linie land- und forstwirtschaftlich genutzte Gebiete, naturnahe Erholungsgebiete, solche mit Naturschutzfunktionen und schließlich das Umland von Wohngebieten. Besonders bei den drei Letztgenannten ergeben sich bei der zusätzlich energiewirtschaftlichen Nutzung Konflikte, da hier Ansprüche an den Erlebniswert des Landschaftsbildes gestellt werden.

#### Zur Bewertung von Erlebniswerten

**270.** Im letzten Jahrzehnt sind Methoden zur Erfassung von Erlebniswerten und zu ihrer Bewertung entwickelt und zunehmend objektiviert worden. Dies gilt in besonderem Maße für psychometrische Methoden, die für die Bewertung verschiedener Bereiche der freien Landschaft, einzelner Baukörper, von Baugruppen und für Stadtviertel angewandt werden. Untersuchungen der letzten Zeit bestätigen, daß die so ermittelten Erlebnis- und Anmutungsqualitäten von landschaftlichen Strukturen und Baukörpern für große Teile der deutschen Bevölkerung gelten.

**271.** Für die Beurteilung von Baumaßnahmen und anderen Eingriffen in Erholungsgebieten und im Wohnumland spielen die Erholungsfaktoren einer erlebnisreichen Landschaft eine erhebliche Rolle. Zu den Erholungsfaktoren gehören Unverwechselbarkeit, Vielfalt und Naturnähe der Landschaft wie auch die Nutzungsmöglichkeiten für Freizeitaktivitäten und eine geringe Umweltbelastung. In Nah- und Ferienerholungsgebieten findet der Erholungssuchende den notwendigen Kontrast zur alltäglichen, technisch geprägten Wohn- und Arbeitswelt und zu ihren Belastungen. Technische Anlagen beeinträchtigen den naturnahen Charakter einer Landschaft und damit auch deren Erholungsfunktion. Bei den umweltpolitischen Auseinandersetzungen um Kraftwerksbauten spielen diese Beeinträchtigungen neben den erwarteten ökologischen Schäden durchaus eine wesentliche Rolle.

#### Auswirkungen von Energieversorgungsanlagen auf die Landschaft

**272.** Da es nicht Aufgabe dieses Gutachtens sein kann, die Auswirkungen aller Energieversorgungsanlagen auf die Landschaft zu beurteilen, werden

nur einige wichtige Aspekte herausgegriffen, nämlich die Folgen von Braunkohlentagebau, Steinkohlenbergbau, thermischen Kraftwerken, Wasserkraftwerken, Stromverteilungsanlagen und Pipelines.

#### Braunkohlentagebau

**273.** Abbau auf großen Flächen und Fördertiefen bis zu 350 m und mehr bedingen eine großräumige, völlige und dauernde Veränderung der Landschaftsstruktur (Tz. 40 ff.). Kippen, Halden, ausgedehnte und tiefe Restlöcher bzw. Restseen bilden ein völlig neues Relief, verändern Boden und Pflanzenwelt; es entsteht ein neues Nutzungsmuster. Auch außerhalb des Abbaubereiches werden durch Grundwasserabsenkung Pflanzengesellschaften auf Dauer geschädigt.

**274.** In den letzten Jahrzehnten ist es jedoch gelungen, durch Landschaftsplanungen und vervollkommnete Rekultivierungsmethoden in den Abbaubereichen neue, begrünte Kulturlandschaften für Land- und Forstwirtschaft und Erholungs- und Naturschutzfunktionen zu gestalten. Eines der eindrucksvollsten Beispiele hierfür ist das Rekultivierungsgebiet im rheinischen Braunkohlenabbaugebiet der Ville, das wichtige Naherholungsaufgaben für die Großräume Köln und Bonn wahrnimmt.

Durch den in der Zukunft notwendig werdenden tieferen und großflächigeren Abbau werden wertvolle und schwer ersetzbare Naherholungsgebiete betroffen. Hier muß eine zeitliche und räumliche Ordnung des Abbaues dafür sorgen, daß Störungen von Nutzungsansprüchen so gering wie möglich bleiben.

#### Steinkohlenbergbau

**275.** Im Vergleich zum Braunkohlentagebau sind beim Steinkohlenbergbau (Tz. 34 ff.) der Flächenbedarf und die Reliefveränderungen durch Absenkungen der Erdoberfläche (Bergschäden) weniger umfangreich. Kohlenhalden und -umschlagsanlagen beanspruchen aber die Landschaft lokal in erheblichem Maße.

Rekultivierungsmaßnahmen ermöglichen auch hier eine gestalterische wie ökologisch befriedigende Einfügung der Halden und der Senkungsgebiete in die Kulturlandschaft. Bei Intensivierung des Abbaus von Steinkohle sollten die landschaftspflegerischen Begleitpläne für die Rekultivierung nahtlos in die Fortschreibungen der örtlichen Landschaftspläne bzw. Grünordnungspläne eingefügt werden.

#### Thermische Kraftwerke

**276.** Hohe Kraftwerksblöcke und Kühltürme ordnen sich in der Regel weder den vorgegebenen Landschaftsstrukturen unter, noch bilden sie einen ästhetisch befriedigenden Kontrast zu ihnen. Vereinzelt gibt es aber in Abstimmung von Funktion und Form gut gestaltete Blöcke und Türme. Auch ihre räumliche gegenseitige Zuordnung ist in einigen Fällen —



auch im Verhältnis zu den Strukturen der Landschaft — befriedigend gelöst. Dies gilt auch für die Durchgrünung der Kraftwerksanlagen mit Rasenflächen und gliedernden sowie abgrenzenden Pflanzungen immisionsresistenter Sträucher und Bäume. Diese haben anerkanntermaßen nicht nur positive psychologische Auswirkungen für Belegschaft und Bevölkerung benachbarter Räume, sondern auch eine immisions- und lärm-mindernde Wirkung. Bei der Begrünung darf es allerdings nicht darauf ankommen, Zweckbauten durch Pflanzen zu tarnen. Eine weitere Belastung der Landschaft entsteht durch die Lagerung von Kraftwerksasche, der zumindest im Ruhrgebiet Bedeutung zukommt.

## Wasserkraftwerke

### Niederdruckanlagen (Fluß- und Kanalkraftwerke)

**277.** Fluß- und Kanalkraftwerke sind an Flußebenen mit relativ geringem Gefälle gebunden. Auf die landschaftsökologischen wie visuellen Auswirkungen wurde im Gutachten des Rates „Umweltprobleme des Rheins“ (1976) ausführlich eingegangen. Z. Z. steht in der Bundesrepublik Deutschland der Bau von Flußkraftwerken an Rhein und Donau zur Diskussion. Die Umwandlung des fließenden Stromes in eine Reihe von Stauhaltungen bedeutet in jedem Falle eine Veränderung des gewohnten Stromtalbildes. Die neuerdings erwogene erneute Inbetriebnahme aufgelassener Klein- und Kleinstkraftwerke an Bächen und kleinen Flüssen ist nicht nur energiewirtschaftlich, sondern auch im Hinblick auf Landschaftsbild und Wasserhaushalt der Täler zu überprüfen.

### Hochdruckanlagen (Speicherkraftwerke, Pumpspeicherwerke)

**278.** Angesichts der Energieknappheit muß damit gerechnet werden, daß der Bau von Speicher- bzw. Pumpspeicherwerken in der Bundesrepublik wieder aktuell wird; so werden aufgegebene Planungen jetzt wieder aufgegriffen. Speicherkraftwerke sind an Landschaftsräume mit dominierender Erholungsfunktion gebunden. In ihnen sind Auswirkungen auf Struktur und Bild der Landschaft besonders gravierend. Die Staumauern bedeuten zwar nach Form, Farbe und Dimension ein neues und stark in das Auge fallendes Element, können jedoch akzeptabel gestaltet werden.

Die offen verlegten Druckrohrleitungen von Pumpspeicherwerken sind in der Regel ein weithin im Landschaftsbild sichtbarer Eingriff. Durch ihre starre Linienführung, die erforderlichen Schneisenhebe im Wald und die Betonsockel heben sie sich als technisches Element scharf von ihrer Umgebung ab.

### Stromverteilungsanlagen

**279.** Vor allem das sich noch verdichtende Netz von Hochspannungsleitungen wirkt durch Zerschnei-

dungen des Landschaftsbildes in jedem Falle visuell störend. In besonderem Maße gilt das für noch naturnahe Landschaften mit dominierender Erholungsnutzung sowie für das Wohnumland. Besonders ästhetisch unbefriedigend sind die Mastenkonstruktionen mit unproportioniertem Verhältnis von Mast und Querstreben, die Massierung unterschiedlicher Typen von Masten in räumlichen Engpässen, auf weithin sichtbaren Kuppen, Rücken und Graten sowie in Aussichtslagen und schließlich die Zerschneidung von Waldflächen durch bleibende Schneisen.

**280.** Landschaftsschonendste Bauart für Stromverteilungsanlagen ist die Verkabelung. Ihr sollte grundsätzlich der Vorzug gegeben werden. Dem stehen allerdings noch finanzielle Gründe entgegen. Daher muß noch auf längere Zeit mit einer von zahlreichen Masten und Leitungen zerschnittenen Landschaft gerechnet werden. Bei wachsender Wertschätzung der Freihaltung von Erholungslandschaften und Wohnumlandgebieten von Eingriffen aller Art wird die Verkabelung zunehmend durchzusetzen sein.

**281.** Zur Minimierung von visuellen Beeinträchtigungen sollten in der Zukunft grundsätzlich folgende Regeln beachtet werden: Festlegung der Trassenführung in Anlehnung an die Landschaftsstrukturen unter Vermeidung von stark exponierten Gelandeteilen. Leitungen sollten gebündelt werden und eine Mehrfachnutzung der Gestänge, auch durch verschiedene Versorgungsunternehmen erfolgen. Es sollten die derzeitigen Versorgungsnetze überprüft werden, um durch Bündelung zusätzliche Trassen vermeiden zu können. Alle Möglichkeiten zur Verkabelung von Leitungen mittlerer und niedriger Spannungen sollten ausgenutzt werden.

### Rohrleitungen

**282.** Rohrleitungen für Rohöl, Mineralölprodukte und Gas werden in der Regel unterirdisch verlegt. Sie bedeuten daher im Vergleich zu Stromleitungen einen geringeren Eingriff in Struktur und Bild der Landschaft, allerdings müssen Waldschneisen erhalten bleiben.

Das gleiche gilt für die weitgehend der Sicht entzogenen Untergrundspeicher für Rohöl und Mineralölprodukte, da sie oberirdischen Tanklagern gegenüber einen erheblich geringeren Flächenbedarf aufweisen.

**283.** Wachsende Bedeutung wird der Verteilung von Fernwärme zukommen. Zu prüfen ist darum, welche gestalterischen und ökologischen Anforderungen an diese unterirdischen Leitungen zu stellen sind. Da die Fernwärmeversorgung aber eine insgesamt positive Auswirkung auf die Umwelt hat und die Rohre ohnehin zum großen Teil unter Straßen oder anderen Trassen verlegt werden, sieht der Rat keinen Anlaß zur Besorgnis.

### 1.3.4 Belastungen des Klimas<sup>1)</sup>

#### 1.3.4.1 Einführung

**284.** Bei der Energienutzung kommt es zu zwei klimatisch wirksamen Effekten: Bei der Nutzung von fossilen Brennstoffen tritt eine Veränderung des Strahlungshaushaltes der Atmosphäre durch die Emission von Spurengasen, Feinstaub und weiteren Aerosolen auf. Sowohl bei der Nutzung fossiler Brennstoffe als auch der Kernkraft kommt es zu einer direkten Erwärmung der Atmosphäre durch nicht nutzbare Abwärme.

Die bei der Energienutzung erzeugten Spurengase und Aerosole zeigen folgende klimawirksame Eigenschaften: Sie absorbieren kurz- und langwellige Strahlung; sie reagieren mit anderen chemischen Bestandteilen der Luft, wobei ihre Verweilzeit in der Atmosphäre eine Rolle spielt; verschiedene Gasbestandteile haben die Fähigkeit, Partikeln zu bilden.

**285.** Im langwelligen Bereich der atmosphärischen Strahlung wird der Strahlungshaushalt des Systems Atmosphäre-Erde durch den Wasserdampf, das Kohlendioxid und die anderen Spurengase sowie das Aerosol bestimmt. Im kurzwelligen Spektralbereich kommt es zu entscheidenden Beeinflussungen des Strahlungshaushaltes der Stratosphäre durch das Zusammenwirken von Chlor- und Stickstoffverbindungen mit dem Ozon sowie zu einem starken Einfluß des Feinstaubes.

Alle diese Einflüsse auf den Strahlungshaushalt wirken unterschiedlich auf das lokale, regionale und globale Klima. Da die Spurengase der Luft mehr oder weniger von der Nutzung fossiler Energieträger abhängen, ist ein direkter Zusammenhang zwischen der Energienutzung und der dadurch über die Eigenschaften der Spurengase vermittelten Beeinflussung des Klimas gegeben. In den meisten Fällen ist dagegen die Wärmeabgabe selbst kein klimabeflussender Faktor, es sind dies vielmehr die durch die Wärmeabgabe ausgelösten Sekundäreffekte (Wolkenbildung, Auslösung von Gewittern, Nebelbildung in Tälern u. a.), die zu lokalen Klimabeeinflussungen führen können.

**286.** Es muß einleitend betont werden, daß die durch anthropogene Änderungen der Zusammensetzung und des Wärmehaltes der Luft und die dadurch verursachten Klimaänderungen bisher noch nicht eindeutig aus dem Schwankungsbereich (dem sog. „Rauschen“) der natürlichen Klimavariationen herausgelöst werden konnten. Eine Ausnahme bildet das Stadtklima, das eindeutig durch menschliche Aktivitäten beeinflusst ist.

#### 1.3.4.2 Lokale klimatische Auswirkungen und Risiken

**287.** Die aus isoliert stehenden Industriekomplexen und Kraftwerken emittierten Spurengase bewirken keinen Beitrag zur Veränderung des lokalen Klimas. Die Wirkungen auf regionaler und globaler Ebene bleiben von dieser Aussage unberührt; eine Diskussion dieses Aspektes erfolgt in den Abschnitten 1.3.4.3 und 1.3.4.4.

Die Abwärmelastung von isoliert stehenden Industriekomplexen und Kraftwerken führt allenfalls zu geringen und schwer nachweisbaren lokalen und regionalen Veränderungen.

Dieses gilt selbst bei Kraftwerken mit der üblichen räumlichen Anordnung von Kühltürmen mit einer vertikalen Leistungsdichte von  $100\ 000\ \text{W/m}^2$  (zum Vergleich Strahlungsbilanz der Erdoberfläche  $100\ \text{W/m}^2$ ).

**288.** Abwärmefahnen von hohen Naßkühltürmen mit Naturzug erreichen die Erdoberfläche in ebenem Gelände nur sehr kurzzeitig oder meist überhaupt nicht, so daß dort von einer primären Beeinflussung des Mikroklimas der Umgebung nicht gesprochen werden kann. Bei Kraftwerksstandorten in Tallagen oder anderen ungünstigen Lagen können die Abwärmefahnen den Erdboden erreichen. In den meisten Fällen verbleibt nur die Möglichkeit von Sekundäreffekten, wie verstärkte Bewölkung im Einflußbereich eines Kraftwerkes oder erhöhter Niederschlag und Strahlungsabschattung durch die Kühlturmfanne. Bei modernen Kühltürmen wird kein Bodennebel erzeugt, es fällt kein Nieselregen aus der Fanne heraus. Untersuchungen haben aber auch gezeigt, daß die Bewölkung sowie die Zunahme des Niederschlags, verursacht durch die Fanne des Kühlturms, nicht aus dem normalen Witterungsverlauf in der Umgebung eines einzeln stehenden Kraftwerkes mit Naßkühltürmen mit Naturzug herausisoliert werden können. Diese Effekte verbergen sich innerhalb des normalen Variationsbereiches der meteorologischen Parameter des betreffenden Gebietes. Der Rat erkennt allerdings nicht, daß bei kleineren, älteren Kühltürmen (Zellenkühltürmen) noch Belastungen auftreten.

**289.** Modellrechnungen ergaben, daß die für Naßkühltürme geltenden Aussagen allerdings nicht voll für die neu geplanten und gebauten Trockenkühltürme gültig sein werden. Bei Trockenkühltürmen ist mit Sekundäreffekten in der Atmosphäre weit eher zu rechnen als bei Naßkühltürmen, d. h. es kann über derartigen Kühltürmen zu verstärkter Quellwolkenbildung kommen, welche sich aus dem normalen Wolkenbild eindeutig herausheben würde. Praktische Erfahrungen fehlen allerdings noch.

**290.** Als einziger wissenschaftlich eindeutig nachgewiesener anthropogener Einfluß auf das lokale Klima gilt die Veränderung des Klimas in Siedlungsverdichtungen, insbesondere in Städten.

Die Veränderung der natürlichen Erdoberfläche durch die Stadtbebauung erzeugt dort völlig neue Verhältnisse aerodynamischer, strahlungsmäßiger,

<sup>1)</sup> Dieses Kapitel stützt sich insbesondere bei den Ausführungen zum lokalen und regionalen Klima auf ein externes Gutachten von Prof. Dr. H. Fortak, Berlin.

thermischer und feuchtigkeitsmäßiger Art. Die Energienutzung in den Städten spielt dabei eine besondere Rolle.

*Als Größenordnung für die klimatischen Veränderungen innerhalb von Städten mögen folgende Werte angegeben werden: Reduzierung der Globalstrahlung um 10 bis 20 %, der Ultraviolettstrahlung bis 50 %, der Beleuchtungsstärke bis 15 %, Erhöhung der Jahresmitteltemperatur gegenüber der Umgebung 1 bis 2° C. Maximale Temperaturdifferenz zwischen dem Stadttinnern und der Umgebung 3 bis 10° C (selbst im Winter ist das Stadttinnere im Vergleich zur Umgebung 1 bis 3° C wärmer). Die relative Feuchtigkeit im Stadtgebiet ist entsprechend verringert, und zwar im Sommer um mindestens 8 % und im Winter etwa um 2 % niedriger. Die Menge des Taus wird im Stadttinneren um 50 bis 80 % vermindert, der Niederschlag um 10 % und mehr innerhalb von Stadtgebieten ausreichender Größe erhöht. Die Zahl der Tage mit Gewittern und Hagelschlag über Stadtgebieten steigt um 10 % und mehr. Die kombinierte Verdunstung von der Oberfläche der Stadt und der Vegetation ist im Stadtgebiet um 30 bis 60 % geringer als in der Umgebung und auch die Windgeschwindigkeiten werden im Stadtgebiet je nach Windstärke um 10 bis 40 % reduziert.*

**291.** Dies alles bedeutet, daß der Mensch sich in seinen Städten selbst ein Klima schafft, das vom natürlichen Klima schon recht verschieden ist. Bedenkt man, daß im Jahre 1978 70 % der Bewohner von Industrieländern in Städten lebten und daß der Weltdurchschnitt bei 40 % liegt, und bedenkt man ferner, daß voraussichtlich im Jahre 2030 90 % der Bewohner von Industrieländern in Städten leben werden und der Weltdurchschnitt auf 70 % angestiegen sein wird, dann erkennt man, daß dann fast die gesamte Menschheit in einem selbstgeschaffenen Klima leben wird, dem sich das natürliche Klima nur prägend und steuernd überlagert.

**292.** Charakteristisch für die Veränderung des Klimas in Stadtgebieten ist, daß diese sich nur auf den Höhenbereich der mittleren Bebauungshöhe der Stadt erstreckt. Bis zur Obergrenze der planetarischen Grenzschicht (1 000 bis 1 500 m) schwächt sich der Unterschied der meteorologischen Parameter zwischen Stadt und Umland rasch ab. Trotzdem bildet die Stadt über sich eine Wärmeinsel im Raum aus, die unter dem Einfluß des überlagerten Windfeldes zur thermischen Beeinflussung der Umgebung der Stadt führen kann.

**293.** Viel wichtiger jedoch als der Abwärmtransport vom Stadtgebiet in die freie Atmosphäre ist für das Klima die starke Belastung der Abwärmefahne einer Stadt mit Spurengasen, Feinstaub und Aerosolen. Deshalb kommt es nicht nur zu einer Beeinflussung des Stadtklimas, sondern auch zu einer Beeinflussung der klimatischen Verhältnisse der Umgebung einer Stadt.

**294.** Die Wechselwirkungen zwischen den meteorologischen Parametern und anderen Faktoren sind außerordentlich komplex; deshalb sind modellmäßige Vorhersagen von Änderungen des Stadtklimas durch verstärkten Verbrauch von Energie nur unter Schwierigkeiten zu erstellen. Da sich aber lokale klimatologische Auswirkungen anthropogener Aktivitäten unter Einfluß der Energienutzung eindeutig in allen unseren Städten, insbesondere in den Groß-

städten finden, ist es die Aufgabe einer von der Meteorologie unterstützten Stadtplanung, mögliche klimatologische Veränderungen so in die Betrachtungen einzubeziehen, daß unerwünschte Verhältnisse vermieden werden. In diesem Zusammenhang wird viel für die Erhaltung von natürlicher Frischluftzufuhr zu tun sein, und man wird bezüglich der Energienutzung z. B. das System der Fernheizung verstärkt in Betracht ziehen müssen.

### 1.3.4.3 Regionale klimatische Auswirkungen und Risiken

**295.** Regionale klimatische Auswirkungen der Energienutzung lassen sich für Ballungsgebiete bei einer größeren Anzahl von Wetterlagen mit Sicherheit vermuten. Betroffen sind vor allem das Rhein-Ruhr und das Rhein-Main-Gebiet, ferner die Großräume Hannover und Stuttgart. Die beiden Ballungsräume am Rhein bedecken jeweils etwa 6 000 km<sup>2</sup>, die beiden anderen etwa 2 000 km<sup>2</sup>. Der Ballungsraum Rhein-Main und der Großraum Stuttgart zeichnen sich durch stark gegliederte Topographie aus, wodurch die Verhältnisse besonders ungünstig werden. Die vier Ballungsräume, die bereits mehr als 6 % der Fläche der Bundesrepublik Deutschland bedecken, sind regionale Zentren der Energienutzung und damit auch Zentren der Spurengas-, Feinstaub-, Aerosol- und Wärmeemission. Zusätzlich liefert die durch die dichte Bebauung gegenüber der natürlichen Landschaft bewirkte Veränderung der physikalischen Eigenschaften der Erdoberfläche alle zusätzlichen Voraussetzungen für mögliche klimatische Veränderungen im regionalen Maßstab.

**296.** Trotz der als wahrscheinlich anzusehenden regionalen Veränderungen des Klimas in derartigen Ballungsgebieten ist jedoch ein an naturwissenschaftlichen Grundsätzen orientierter Nachweis bis heute wohl noch nicht erbracht worden. Für die in den Ballungsräumen eingebetteten Städte gilt jedoch alles, was vorher zum Thema Stadtklima angeführt wurde. Der Grund dafür, daß klimatische Auswirkungen für Ballungsgebiete als Ganzes noch nicht nachgewiesen werden konnten, mag darin liegen, daß es noch nicht zur Bildung einer eigentlichen Riesenstadt gekommen ist. Die gegenseitigen Abstände der Einzelstädte, die einen Ballungsraum aufbauen, sind anscheinend noch so groß, daß die Bildung eines eigenen Regionalklimas noch nicht nachweislich zustande gekommen ist. Trotzdem besteht die Besorgnis, daß bei weiterer Entwicklung in diese Richtung bedrohliche klimatische Verhältnisse in bestimmten Regionen eintreten könnten. Deshalb wendet sich die meteorologische Forschung neuerdings verstärkt der Untersuchung des Regionalklimas von Ballungsräumen zu.

### 1.3.4.4 Globale klimatische Auswirkungen und Risiken

**297.** Die Abwärmeemission künftiger Riesenstädte und Energieversorgungszentren wird nach gängigen Abschätzungen dann globale klimatische Aus-

wirkungen haben, wenn ein Äquivalent von 1 % der Solarkonstanten erreicht ist, was zu einer Steigerung der globalen Mitteltemperatur von 1 bis 4°C führen würde. Setzt man für das Jahr 2100 eine Bevölkerungszahl von 8 bis 12 Milliarden Menschen mit einem mittleren Pro-Kopf-Energieverbrauch von 3 bis 5 kW an, so bleibt man selbst dann noch erheblich unter dem als kritisch anzusehenden Wert: Die Sonneneinstrahlung beträgt für die gesamte Erde etwa 80 000 TW; 12 Milliarden Menschen würden höchstens 60 TW an Energie freisetzen. Operiert man freilich mit den wenig realistischen Zahlen von 20 Milliarden Menschen mit einem Vierfachen des heutigen US-Pro-Kopf-Verbrauchs von 10 kW, so erreicht man mit 800 TW bereits 1 % der Solarkonstanten, eine Größenordnung, die in thermodynamischen Systemen bereits grundlegende Veränderungen (Triggerwirkung) auslösen kann. Es gilt allerdings zu berücksichtigen, daß die Abwärme in einigen Gebieten der Erde freigesetzt würde und dadurch die globale Klimaverteilung beeinflussen könnte.

Eine Erwärmung der Erde erwartet man auch wegen der Emission von Feinstaub und Aerosolen als Folge der Energienutzung. Schon heute sind große Gebiete der östlichen Vereinigten Staaten, fast ganz Europa bis hin zum Ural und große Gebiete Ostasiens, insgesamt eine Fläche von 25 Mio km<sup>2</sup> (fast 5 % der Erdoberfläche), derart durch anthropogenen Feinstaub und Aerosole belastet, daß der Strahlungshaushalt empfindlich gestört sein dürfte. Über die hieraus resultierenden klimatischen Auswirkungen lassen sich allerdings heute noch keine verbindlichen Aussagen machen.

Das der Bevölkerung bekannteste Problem ist das CO<sub>2</sub>-Problem, dessen gängige Darstellung zunächst vorgestellt und dann durch neuere Erkenntnisse aktualisiert wird.

Seit etwa 1958 weiß man, daß die Kohlendioxidkonzentration in der Atmosphäre im steten Ansteigen begriffen ist. Es ist bekannt, daß seit der vorindustriellen Zeit, vor etwa 120 Jahren, zu der man von einem Kohlendioxidgehalt von etwa 0,028 bis 0,029 Vol. % ausgehen kann, bis zum Jahre 1980 ein weltweiter Anstieg auf den gegenwärtigen Wert von 0,0336 Vol. % (336 ppm), d. h. um 14–17 %, stattgefunden hat. Die bisherige Vorstellung ist, daß sich dieser Anstieg beschleunigt fortsetzen wird. Unter Berücksichtigung der weiteren Entwicklung der Erdbevölkerung und ihres Energiebedarfs schätzte man bisher, daß mit einer Verdopplung des gegenwärtigen Kohlendioxidgehaltes der Atmosphäre in etwa 50 Jahren zu rechnen ist.

**298.** Kohlendioxid und Wasserdampf steuern den langwelligen Strahlungshaushalt des Systems Erde — Atmosphäre entscheidend. Die von der Erde ausgesandte langwellige Strahlung (Wärmestrahlung) wird von Wasserdampf und Kohlendioxid in der Atmosphäre teilweise zurückgestrahlt (Glashaus- bzw. Treibhauseffekte); dieses ist einer der klimawirksamsten Effekte überhaupt. In diese bisher ausgeglichene Energiebilanz greift der Mensch nun durch Nutzung fossiler Energie und die damit verbundene Erhöhung des Kohlendioxidgehaltes der Atmo-

sphäre sowie durch die ebenfalls gekoppelten Veränderungen des Wasserhaushaltes entscheidend ein. Die Erhöhung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes bedeutet eine erhöhte Rückstrahlung auf die Erde.

**299.** Eine eindeutige Vorhersage der weiteren Entwicklung des globalen Klimas dürfte nur mit Hilfe eines Weltmodells möglich sein, das nicht nur die Bevölkerungsentwicklung, die Energienutzung, und die Klimawechselwirkungen, sondern auch die Veränderungen der Pflanzenwelt, sowie der Ozeane und Eisflächen mit berücksichtigt. Von einem Weltmodell ist man allerdings noch weit entfernt. Die bisherigen Klimamodelle liefern jedoch trotz aller unterschiedlichen Ansätze recht übereinstimmende Aussagen, nämlich, daß sich der Wärmeeintrag der langwelligen Strahlung bei Verdoppelung des Kohlendioxidgehaltes in der Atmosphäre um knapp 2 % erhöhen würde. Damit würde sich eine Erhöhung der mittleren Lufttemperatur in der Nähe der Erdoberfläche von etwa 2,8°C ergeben. Die Schwankungsbreite der von verschiedenen Modellen angegebenen Temperaturerhöhungen ist nicht allzu groß; die Werte liegen bei den gängigen Modellen zwischen 1,5°C und 4°C. Die Temperaturerhöhung würde je nach geographischer Breite verschieden ausfallen, im Gebiet der Tropen äußerst gering sein, während sie über den Polkappen und den polnahen Gebieten am größten ausfallen würde. Die Erwärmung über den polnahen Gebieten, besonders der nördlichen Hemisphäre, wird mit mehr als dem Faktor 3 des Mittelwertes angegeben.

**300.** Weitergehende Klimamodelle erlauben nicht nur die pauschale Berechnung der Temperaturverteilung nach Breitengraden, sondern darüber hinaus die Verteilung über die Erdteile in ihrer jahreszeitlichen Abhängigkeit. Damit entsteht erstmals ein Bild von dem veränderten Klima einzelner Gebiete. Bezüglich feuchterem oder trockenerem Klima kann man in Analogie zu Erkenntnissen aus der Klimaschicht folgendes schließen: Ganz Europa bis hin zum Ural (jedoch außer Skandinavien, das trockenere Klima bekommen würde), der Nahe Osten, ein breiter Streifen der afrikanischen Küste, Südindien und Ostasien würden danach ein feuchteres Klima bekommen. Trockeneres Klima würde sich vor allem über dem gesamten nordamerikanischen Kontinent einstellen.

**301.** An dieser bis vor kurzem weitgehend akzeptierten Meinung über das CO<sub>2</sub>-Problem wurden in letzter Zeit zunehmend Zweifel laut, die im wesentlichen drei Punkte umfassen:

- Der Anteil des fossilen Brennstoffverbrauchs am CO<sub>2</sub>-Anstieg ist geringer als angenommen wurde.
- Die Wachstumsraten des Energieverbrauchs sinken und die Vorräte fossiler Brennstoffe sind begrenzt.
- Die Zuverlässigkeit der Klimamodelle wurde nicht hinreichend berücksichtigt.

**302.** Neben der bisher allein diskutierten CO<sub>2</sub>-Emission durch die Nutzung fossiler Brennstoffe steht, wie man seit kurzem recht gut übersieht, die CO<sub>2</sub>-Emission aus der Brandrodung tropischer Ve-



getation mit anschließender Humusoxidation. Während die fossilen Brennstoffe pro Jahr etwa 5 Gt Kohlenstoff als CO<sub>2</sub> gebunden in die Atmosphäre tragen, werden der Wald- und Bodenzerstörung zwischen 1,3 und 10 Gt Kohlenstoff mit einem wahrscheinlichen Wert von 3 Gt Kohlenstoff pro Jahr zugeschrieben. Da jährlich nachweislich nur 2,8 Gt von diesen 8 Gt Kohlenstoff in der Atmosphäre verbleiben und da bei Andauern der heutigen Abholzraten in etwa 20 bis 30 Jahren der größte Teil der tropischen Wälder vernichtet sein wird, muß mit einem Absinken der CO<sub>2</sub>-Zuwachsrates gerechnet werden. Allerdings dürfte die Klimaänderung nach solch einer Periode ebenfalls spürbar sein, da die Rückstrahlungseigenschaften der Erdoberfläche in den abgeholzten Gebieten verändert werden.

**303.** Die Prognose des CO<sub>2</sub>-Anstieges ist also nur zum Teil eine Prognose des Verbrauchs fossiler Energieträger. Das allgemein benutzte Maß für einen kritischen Wert des atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehaltes ist eine Verdoppelung desselben. Bei der Annahme einer Wachstumsrate für den Verbrauch fossiler Brennstoffe von 4 % wird die Verdoppelung im Jahre 2030 erreicht. Bei 1 % Wachstum wird die Verdoppelung, wenn überhaupt, erst in mehr als 200 Jahren erreicht. Beide Berechnungen enthalten plausible Annahmen über den Abbau tropischer Wälder. Die Annahme eines langfristigen Verbrauchsanstiegs um 4 % pro Jahr gilt heute jedoch als überholt. Selbst ein angenehmer Wert von 1,7 % wird aus heutiger Sicht als überhöht angesehen.

**304.** Ein wesentlicher, neuerdings diskutierter Punkt betrifft die zur Verdoppelung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes benötigte Menge fossiler Brennstoffe. In der Atmosphäre befinden sich etwa 700 Gt Kohlenstoff als CO<sub>2</sub> gebunden. Für eine Verdoppelung ist die Verbrennung von rd. 1500 Gt Kohlenstoff entsprechend 2000 Gt SKE fossiler Brennstoffe nötig. Als wirtschaftlich nach heutigem Stand der Technik gewinnbare Vorräte werden jedoch weltweit nur 900 Gt SKE angesehen, bei einem geschätzten anstehenden Gesamtvorrat von 12 000 Gt SKE. Sollten entgegen der bisherigen Annahme die technischen Möglichkeiten die Ausnutzung größerer Mengen fossiler Brennstoffe möglich machen, so kann das CO<sub>2</sub>-Problem — wenn auch in später Zukunft — wieder Aktualität gewinnen.

**305.** Die Qualität der Klimamodelle erlaubt nur mit Vorbehalt die Übernahme der berechneten Temperaturerhöhungen infolge einer Verdoppelung des CO<sub>2</sub>-Gehaltes. Die bisher benutzten Werte von 2°C und mehr konnten von dem am weitesten fortgeschrittenen Modell (GATES, 1980) mit weniger als 1°C und durch semiempirische Untersuchungen von NEWELL, DOPPLICK (1979) bzw. IDSO (1980) mit etwa 0,25°C nicht bestätigt werden. Es bleibt abzuwarten, wie die Klimamodelle, die unter starken Vereinfachungen leiden, weiterentwickelt werden. Weitere empirische Untersuchungen über den atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Gehalt sind zur Abstützung der Modelle nötig, ebenso wie die weitere Beobachtung der Globaltemperatur, die seit etwa 1950 dem CO<sub>2</sub>-Anstieg entgegenläuft.

**306.** Die empirischen wie auch die semiempirischen Ergebnisse legen es zusammen mit den neueren Modellergebnissen nahe, dem CO<sub>2</sub>-Anstieg einen Effekt zuzuschreiben, der zwar eine Erhöhung der Globaltemperatur zur Folge hat, die jedoch nicht größer, sondern eher kleiner ist als die Amplitude der Temperaturvariationen der letzten Jahrhunderte.

**307.** Der Rat mißt nach Abwägung aller bekannt gewordenen Fakten der CO<sub>2</sub>-Belastung aus dem Verbrauch fossiler Brennstoffe keine wesentliche Bedeutung für das globale Klima zu. Der vielschichtige Problembereich sollte aber weiterhin aufmerksam verfolgt werden.

## 1.4 Technische Möglichkeiten der Emissionsminderung bei forciertem Einsatz von Kohle

**308.** Angesichts der politischen und ökonomischen Notwendigkeit, den Verbrauch von Erdöl und Erdgas langfristig zu drosseln, und angesichts der Schwierigkeiten einer raschen Ausweitung der Kernenergienutzung wird immer deutlicher das Ziel verfolgt, den Einsatz von Stein- und Braunkohle zu forcieren. Auch die „Enquête-Kommission Zukünftige Kernenergienutzung“ unterstellt bis zum Jahr 2 000 einen Zuwachs des jährlichen Kohleinsatzes von 105 Mio t SKE 1978 um 40 Mio t SKE (Pfade 2 + 3) bzw. 70 Mio t SKE (Pfad 1) und bis zum Jahr 2030 einen Zuwachs um weitere 15 Mio t SKE (Pfade 2 + 3) bzw. 35 Mio t SKE (Pfad 1). Der erste konkrete Schritt in diese Richtung ist mit dem großen Kohleverstromungsvertrag bereits getan, er sieht bis 1995 einen Anstieg der Verstromung von Steinkohle von rund 30 Mio t SKE/a auf 47,5 Mio t SKE/a vor.

Weitere entscheidende Schritte stehen mit dem Kohleveredelungsprogramm bevor. Schließlich ist auf Grund der Kostenentwicklung des Rohöls beim industriellen Energieeinsatz — eventuell aber auch bei der Raumheizung neben der Tendenz zum verstärkten Gaseinsatz — mit einer Rücksubstitution von Heizöl durch Kohle zu rechnen.

**309.** Erdöl wird nach den statistischen Daten für 1979 zu 53 % zur Erzeugung von Wärme und zu 27 % zur Gewinnung von Kraftstoffen eingesetzt; die Verwendungen als Chemierohstoff (9 %), zur Stromerzeugung (5 %), für Straßenbaustoffe (3 %) und für sonstige Zwecke (3 %) sind von der Menge her von untergeordneter Bedeutung. Soweit aus energie-wirtschaftlichen und energiepolitischen Gründen angestrebt wird, den Einsatz von Erdöl durch den von Kohle und Kohleveredelungsprodukten zu ersetzen, werden daher — wiederum von der Menge her — die Haupt-Substitutionsbereiche zunächst auf dem Gebiet der Wärmeerzeugung und langfristig auch bei der Kraftstoffgewinnung liegen. Bei der Substitution von Erdgas durch Kohle und Kohleprodukte besteht dagegen auch im Stromerzeugungsbereich zumindest theoretisch ein beträchtliches Po-



tential: 1978 wurden 18,3% des in der Bundesrepublik Deutschland erzeugten Stroms aus Erdgas gewonnen, entsprechend einem Anteil von 23,4% des gesamten Gasverbrauchs; der Anteil des Öls an der erzeugten Strommenge betrug nur 8,8%. Die im einzelnen angestrebten Umstellungen führen auch je nach den speziellen Umständen zu beträchtlichen Änderungen in den Umweltbelastungen, insbesondere den Emissionen luftfremder Stoffe.

**310.** Wegen der Größe der sich hier abzeichnenden Strukturänderung in der Energienutzung, dem Grad der Umweltbelastung der gegenwärtigen Kohlenutzung (Kap. 1.2.1, 1.3.1, 1.3.2) und der nicht ausgeschöpften Möglichkeiten der Emissionsminderung hält es der Rat für dringend erforderlich, die Umweltwirkungen einer verstärkten Kohlenutzung zu prüfen und Anregungen für Emissionsminderungsmaßnahmen und strukturelle Anpassungen zu geben. Der Rat hält dabei neben der Rauchgasreinigung die neuen Feuerungstechniken und deren Einsatz auch für mittlere industrielle Anlagen für ebenso bedeutsam wie die verschiedenen Kohleveredelungstechniken. Die Betrachtung der Umweltaspekte der Kohleveredelung erfolgt dabei zunächst unabhängig von der Frage, ob neben der Verstromung und dem voraussichtlich wachsenden Einsatz in Industrie und für Heizzwecke ausreichende Kohlemengen für die Veredelung zur Verfügung stehen können.

#### 1.4.1 Einsatz in großen und mittleren Feuerungen (Kraftwerke)

**311.** Emissionsminderung wird an dieser Stelle unter dem technischen Aspekt betrachtet, daher erfolgt wegen des unterschiedlichen Entwicklungsstandes eine isolierte Beschreibung für  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$ . Hinsichtlich der sonstigen Emissionen müssen hier einige grundsätzliche Ausführungen genügen. Angesichts der Gefährlichkeit von Feinstäuben, die aus Verbrennungsanlagen emittiert werden, laufen Bemühungen um den Einsatz von verbesserten Filtertechniken, insbesondere von Tuchfiltern. Der Rat begrüßt dieses Vorhaben. Die Durchsetzung der Emissionsminderungsmaßnahmen sollte von Untersuchungen der Schadpotentiale der gereinigten Abgase abgeleitet werden, dabei muß besonders auf mögliche ungünstige Sekundäreffekte der Reinigungstechniken, z. B. Emission von polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen geachtet werden. Zu den einzelnen Schadstoffen und ihren Wirkungen sei auf Kap. 1.3 verwiesen.

#### Entschwefelung

**312.** Die Minderung der  $\text{SO}_2$ -Emission kann grundsätzlich durch Brennstoffentschwefelung, Rauchgasreinigung und Entschwefelung während der Verbrennung erfolgen. Zunächst wurden nur die beiden ersten Methoden entwickelt, inzwischen stehen mit der Wirbelschichtfeuerung und dem Trockenadditivverfahren auch für den dritten Weg geeignete Lösungsansätze zur Verfügung. (Zur Wirkung von  $\text{SO}_2$  vgl. insbesondere Kap. 1.3.2.)

**313.** Bisher hat nur die Brennstoffentschwefelung beim Öl und Gas — insbesondere bei Heizöl EL — zu einer merklichen Reduktion der  $\text{SO}_2$ -Emissionen und damit zur Verbesserung der Immissionslage beigetragen. Beginnend mit den Jahren 1974/75 werden Großkraftwerke nur noch mit der Auflage genehmigt, Entschwefelungsanlagen einzubauen. Bis 1980 haben nur drei Kraftwerke mit einer Gesamtkapazität von 2 140 MWe eine Rauchgasentschwefelungskapazität von 495 MWe in Betrieb; die damit erzielte Minderung der  $\text{SO}_2$ -Emission um 10 000 bis 20 000 t  $\text{SO}_2$  pro Jahr ist vergleichsweise unbedeutend. Nach dem gegenwärtigen Planungsstand soll die Entschwefelungskapazität bis 1986 in 10 Großkraftwerken mit einer Gesamtkapazität von 6 434 MWe auf 4 305 MWe anwachsen (UBA, Jahresbericht 1979).

Eine Entlastung bei den Schwefelemissionen aus Kraftwerken ergibt sich aber nicht schon aus der Emissionsbegrenzung bei Neuanlagen, sondern erst, wenn alte Steinkohlekraftwerke, die bekanntlich keiner Emissionsbegrenzung unterliegen, in großem Umfang durch neue ersetzt werden. Bis 1990 könnten 18 000 MWe alter Steinkohlekraftwerke ersetzt und so jährlich 390 000 t  $\text{SO}_2$  weniger emittiert werden; selbst bei Zubau von weiteren 13 000 MWe bliebe eine Entlastung um 280 000 t  $\text{SO}_2$  pro Jahr erhalten (Rhein-Ruhr-Stiftung, 1978).

**314.** Für neue Steinkohlekraftwerke über 175 MWe ist nach einer Empfehlung der Umweltministerkonferenz vom 11./12. 2. 1980 an die Genehmigungsbehörden ein Emissionsgrenzwert von  $650 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  vorgesehen (bezogen auf 6% Sauerstoff im trockenen Rauchgas). Dies würde ohne Rauchgasentschwefelung einen Schwefelgehalt der Kohle von  $3,5 \text{ g S/kg SKE}$  bedingen, verglichen mit einem natürlichen Gehalt der Rohkohle von  $10\text{—}30 \text{ g S/kg SKE}$ . Der Rat empfiehlt, bei den Genehmigungen den Grenzwert von  $650 \text{ mg SO}_2/\text{m}^3$  zugrunde zu legen. Angesichts der möglichen Substitution von Öl durch Steinkohle bei industriellen Feuerungen und des Ausbaus der Fernwärmeversorgung (Heizkraftwerke unter 175 MWe) stellt sich die Frage, welche Maßnahmen zur Minderung der  $\text{SO}_2$ -Emission bei diesen Anlagen vorgesehen werden sollen. Abgesehen von der Möglichkeit, Rauchgasentschwefelung auch für kleinere Anlagen vorzuschreiben, bietet sich die Teilentschwefelung der Kohle durch mechanische Pyritabscheidung oder der Einsatz von veredelten Kohleprodukten (Tz. 332) an. Unter Umweltsichtpunkten erscheint es jedoch effizienter, möglichst oft auf die Wirbelschichtfeuerung überzugehen, insbesondere wenn ohnehin gründliche Entstaubung erforderlich ist.

#### Wirbelschichtfeuerung

**315.** Der Verbrennung von Steinkohle in der Wirbelschicht ist in den letzten Jahren besondere Aufmerksamkeit gewidmet worden, da sie, wie zunächst Laborversuche zeigten, ein emissionsminderndes Potential hat. Der Rat begrüßt die Entwicklung dieses Verfahrens, ist jedoch besorgt darüber, daß bisher lediglich die Reduzierung der Schadstoffe  $\text{SO}_2$

und  $\text{NO}_x$  sowie allenfalls der Halogene verfolgt wurde und weniger die Minderung anderer Schadstoffe wie der polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) oder Feinstäube. Der Staubaustrag ist bei der Wirbelschichtfeuerung zunächst einmal verfahrensbedingt höher als bei konventionellen Feuerungen.

**316.** Wegen der geringeren Verbrennungstemperatur in der Wirbelschicht werden nicht nur 30–50% weniger Stickoxide gebildet und emittiert, es ergibt sich vielmehr auch die Möglichkeit, durch Zugabe von Kalk oder Dolomit eine weitgehende Einbindung von Schwefeldioxid in die Asche zu erreichen. Ferner können in der Wirbelschicht auch ballastreiche Kohlen verfeuert werden; dabei wird ein Teil des Schwefeldioxids durch die im Ballast ohnehin enthaltenen Calciumverbindungen gebunden. Aufgrund des Chemismus und aufgrund von Erfahrungen in der Glasindustrie wird erwartet, daß auch Halogene durch Adsorption mit Kalk teilweise abgeschieden werden. Eine weitere Senkung der spezifischen Emissionen für  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  um den Faktor 2–3 ergibt sich, wenn die unter Druck betriebene Wirbelschicht verwirklicht werden kann; darüber hinaus verbessert sich dann — wegen der nachgeschalteten Abgasturbine — der Wirkungsgrad. Die Entwicklungsarbeiten laufen noch. Die Kosten dieser Schwefelungstechnik liegen um bis zu einer Größenordnung niedriger als bei der herkömmlichen Rauchgasentschwefelung. Die Eigenschaften der anfallenden Asche lassen ihre Verwendung als wärmedämmenden Baustoff möglich erscheinen; dabei wirkt sich günstig aus, daß ein Teil des Calciumcarbonates ( $\text{CaCO}_3$ ) zu Kalk ( $\text{CaO}$ ) gebrannt wird.

**317.** Als Entwicklungsstand werden heute bereits atmosphärische Wirbelschichtfeuerungen (unter Atmosphärendruck betriebene Anlagen) mit einer thermischen Leistung bis zu 120 MW angegeben. Anlagen dieser Größenordnung sind in der Bundesrepublik Deutschland im Bau, aber noch nicht in Betrieb. Pilotanlagen kleinerer Leistung werden zur Zeit an einigen Orten erprobt. Die bisherigen Ergebnisse sind ermutigend. Die in der Demonstrationsanlage Düsseldorf-Flingern verwendete Tuchfiltertechnik bringt zudem eine entscheidende Verbesserung für das Staubproblem. Der Abscheidesollwert der Filteranlage von 100 mg Staub pro  $\text{m}^3$  Rauchgas, der nach der TA Luft vorgeschrieben ist, wird, wie der Rat in Erfahrung bringen konnte, um mindestens die Hälfte unterschritten. Daher kann man davon ausgehen, daß der Stand der Technik eine erneute Festlegung der Werte der TA Luft erlaubt.

Die laufenden Projekte im Demonstrationsmaßstab sollen dazu beitragen, die betrieblichen und wirtschaftlichen Voraussetzungen für einen breiten Einsatz zu schaffen. Die Wirbelschichtfeuerung dürfte für Dampfkesselanlagen im mittleren und unteren Leistungsbereich, in den die meisten Industriefeuerungen fallen, eine Alternative zur herkömmlichen Feuerungstechnik bieten, insbesondere auch für die Kraft-Wärme-Kopplung. Der Rat verweist jedoch darauf, daß die Entsorgung der Wirbelschichtfeuerungen größere Probleme aufwirft als die von Ölfeuerungen.

**318.** Der Rat sieht für mittlere und kleine Feuerungen bezüglich der gleichzeitigen  $\text{SO}_2$ - und  $\text{NO}_x$ -Minderung keine Alternative zur Wirbelschichtfeuerung. Er hält es daher für dringlich, im Bereich des industriellen Kohleeinsatzes mehrere Feldversuche vorzunehmen, um auch hier möglichst rasch die technische Reife für eine breite Anwendung (Stand der Technik) nachzuweisen. Es zeichnet sich — auch durch internationale Erfahrungen — bereits jetzt ab, daß wirbelschichtgefeuerte Anlagen geeignet sein können, auf Standorten sanierungsbedürftiger verbrauchernaher Kraftwerke oder in Zechennähe mit unmittelbarem Zugriff auf Ballastkohle errichtet zu werden. Dem liefe es jedoch zuwider, wenn vorschnell große konventionelle Kraftwerke auf neuen Standorten erstellt werden und schließlich die EVUs ihr Kohlekontingent voll ausschöpfen und damit den Leistungsbedarf decken, ehe diese neue, vergleichsweise umweltfreundliche Technik zu einem angemessenen Einsatz kommt.

#### Andere $\text{NO}_x$ -mindernde Maßnahmen

**319.** Im letzten Jahrzehnt sind die Kesseltemperaturen und damit die spezifischen  $\text{NO}_x$ -Emissionen von Kraftwerken gestiegen. Diese Entwicklung macht in Verbindung mit der vorgesehenen Ausdehnung der Kohleverstromung Minderungsmaßnahmen bei konventionellen Kesseln dringlich. Die  $\text{NO}_x$ -Emissionen können bei bestehenden Anlagen durch Kesselabstimmung und die individuelle Regelung von Brennstoff- und Luftzufuhr für die Brenner, bei neuen Anlagen durch Oberluftdüsen und  $\text{NO}_x$ -arme Brenner gemindert werden. Die Feinabstimmung der Kraftwerkskessel erzielte eine Emissionsminderung von 10–20%. Der Einsatz von Oberluftdüsen ermöglichte eine Minderung der  $\text{NO}_x$ -Emission um bis zu 40%. Der Minderungsgrad beträgt für  $\text{NO}_x$ -arme Brenner nach dem Prinzip der Stufenverbrennung bis zu 50%. Eine Nachrüstung bestehender Kraftwerke mit diesem Brenner ist möglich. In der Bundesrepublik Deutschland wurde ein Kraftwerk auf Brenner mit Stufenverbrennung mit dem angeführten Ergebnis umgerüstet, ohne daß die Kraftwerksleistung zurückging. Bei Kombination mehrerer Maßnahmen dürften die spezifischen  $\text{NO}_x$ -Emissionen aus steinkohlegefeuerten Kraftwerken um 40–60% zurückgehen (Emissionsfaktoren wurden im Kapitel 1.2.1 behandelt).

#### Maßnahmen bei Braunkohlefeuerungen

**320.** Wegen der geplanten Konstanz der Braunkohleförderung und wegen des Bedarfs für die Veredelung ist mit einer starken Ausdehnung der Braunkohleverstromung nicht zu rechnen; die regionale Ballung macht jedoch Emissionsminderungen wünschenswert. Kraftwerksfeuerungen mit Rohbraunkohle haben wesentlich geringere Feuerraumtemperaturen als Steinkohlefeuerungen. Aus diesem Grunde und wegen der gleichzeitig praktizierten Rauchgasrückführung sind auch ihre spezifischen  $\text{NO}_x$ -Emissionen kleiner. Der natürliche Gehalt an basischen Aschebestandteilen bindet einen Teil des

Brennstoffschwefels in die Asche ein. Der restliche Anteil kann, wie Versuche ergaben, durch trockene Additive zur Braunkohle ebenfalls weitgehend in die Asche gebunden werden. Als Zuschläge sind Calciumoxid, Calciumcarbonat und Calciumhydroxid geeignet, wobei letzteres sich als besonders wirksam erweist. Durch entsprechend dosierte Zuschläge kann die SO<sub>2</sub>-Emission um mehr als 80% reduziert werden. Besonders effizient ist das Verfahren dann, wenn das natürliche Calcium-Schwefel-Verhältnis klein ist und die spezifischen Emissionen daher groß sind. Das erwähnte Additivverfahren soll in einem 300 MWe-Kraftwerk im Großen getestet werden. Nach vorläufigen Angaben betragen die Gesamtkosten etwa 50% einer entsprechenden Rauchgasentschwefelung. Der Rat bedauert, daß dieses vielversprechende Verfahren frühestens 1983 im Demonstrationsvorhaben getestet werden kann.

### 1.4.2 Industrieller Einsatz

#### Substitutionspotential

**321.** Im industriellen Bereich hat sich seit etwa 1960 eine weitgehende Umstellung der Feuerungen auf Heizöl, bei größeren Anlagen vorwiegend Heizöl S, bei kleineren auf Heizöl EL, vollzogen. In einer preisinduzierten Umkehrung dieses Vorgangs (Resubstitution) liegt eine erhebliche Möglichkeit für den verstärkten Einsatz von Kohle. Als eine Alternative für die Heizöl-Feuerung im industriellen Bereich, insbesondere in Anlagen zur Wärme- und Dampferzeugung stellt sich die Kohlenstaubfeue-

rung dar. Es besteht die Möglichkeit, sogenannten blasfähigen Kohlenstaub zu beziehen, damit der für kleinere Anlagen nicht sinnvolle Arbeitsgang des Mahlens der Kohle entfällt. In dieser Form des pneumatisch durch Leitungen förderbaren Staubes hat die Kohle einige der mit ihrem stückigen Zustand verbundenen und den Transport hindernden Eigenschaften verloren und zum Teil Handhabungsvorteile der Energieträger Öl und Gas erworben. Entscheidend ist, daß der Kohlenstaub ebenso wie Heizöl in den Brennraum eingeblasen wird, so daß Brennraumgestaltung und Feuerungstechnologie denen der Feuerung mit Heizöl ähnlich sind. Tatsächlich sind Brennverhalten und Regelverhalten bei Kohlenstaubfeuerung fast so günstig wie bei Ölfeuerung. Anders als bei der herkömmlichen Kohlefeuerung ist bei der Kohlenstaubfeuerung der Betrieb ohne Beaufsichtigung (wie bei Ölfeuerung) möglich und erlaubt.

**322.** Der Einfluß der Umstellung von Heizöl- zu Kohlenstaubfeuerung auf die Emissionen einer industriellen Wärme- oder Dampferzeugungsanlage wird an dem in Tab. 1.15 enthaltenen Beispiel einer typischen Feuerungsanlage von 40 GJ/h Feuerungswärmeleistung sichtbar. Danach ist mit einer Verminderung der Emission von Kohlenwasserstoffen, insbesondere Aldehyden, und unter Umständen von Schwefeldioxid zu rechnen. Dem stehen gegenüber eine Erhöhung der Emission von Feststoffen, Kohlenmonoxid und — bei Steinkohlenstaub — von Stickstoffoxiden, sowie zusätzliche Auswürfe anorganischer gasförmiger Fluor- und Chlorverbindungen. Die Gegenüberstellung in Tab. 1.15 gilt für neuere Anlagen mit einer modernen technischen

Tab. 1.15

Vergleich der Emissionen aus Heizöl S und Kohlenstaubfeuerungen einer Anlage der Feuerungswärmeleistung von 40 GJ/h = 11,1 MW<sub>th</sub>

Emittierter Stoff	Heizöl S		Braunkohlenstaub		Steinkohlenstaub	
	g/GJ	kg/h	g/GJ	kg/h	g/GJ	kg/h
Feststoffe .....	18	0,72	30	1,2	25	1,0
SO <sub>2</sub> .....	490 <sup>1)</sup> ... 880 <sup>2)</sup>	20 <sup>1)</sup> ... 35 <sup>2)</sup>	595 <sup>3)</sup>	24 <sup>3)</sup>	420 <sup>6)</sup> ... 1030 <sup>7)</sup>	17 <sup>6)</sup> ... 41 <sup>7)</sup>
CO .....	10	0,40	17	0,68	15	0,6
NO <sub>x</sub> berechnet als NO <sub>2</sub> ....	180	7,2	180	7,2	290	12
Kohlenwasserstoffe .....	9	0,36	5	0,20	5	0,20
Aldehyde .....	3	0,12	*	*	*	*
anorganische gasförmige Fluorverbindungen .....	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar	5 <sup>4)</sup>	0,20 <sup>4)</sup>	6 <sup>8)</sup>	0,24 <sup>8)</sup>
anorganische gasförmige Chlorverbindungen .....	nicht nachweisbar	nicht nachweisbar	32 <sup>5)</sup>	1,3 <sup>5)</sup>	85 <sup>9)</sup>	3,4 <sup>9)</sup>

Schwefel-, Fluor- und Chloranteile im Brennstoff:

<sup>1)</sup> S = 1 %      <sup>4)</sup> F = 0,014 %      <sup>7)</sup> S = 1,7 %

<sup>2)</sup> S = 1,8 %      <sup>5)</sup> Cl = 0,03 %      <sup>8)</sup> F = 0,02 %

<sup>3)</sup> S = 0,5 %      <sup>6)</sup> S = 0,7 %      <sup>9)</sup> Cl = 0,3 %

\* Faktor 10 geringer als für Heizöl, daher nicht relevant

Quelle: BMI-Forschungsbericht 77-104 02704

Ausstattung. Entsprechende Daten für Wirbelschichtfeuerungen stehen mangels ausgereifter Anlagen noch nicht zur Verfügung.

**323.** Es kann allerdings unter dem Gesichtspunkt des Umweltschutzes entscheidend sein, daß der Wechsel im Brennstoff — wie jede wesentliche Änderung — je nach Anlagengröße im vereinfachten oder förmlichen Verfahren genehmigt werden muß. Dabei wird eine ältere Anlage unter Umständen erstmalig den Anforderungen der TA Luft unterworfen und könnte in bezug auf ihr Emissionsverhalten saniert werden. Andererseits ist es möglich, daß gerade die Notwendigkeit eines Genehmigungsverfahrens gescheut wird und ein Hindernis bildet für eine sonst erwogene Brennstoffumstellung. Dabei stehen nicht immer die materiellen Anforderungen der TA Luft und die im Genehmigungsbescheid zu er-

wartenden Auflagen im Vordergrund als vielmehr die unter Umständen notwendige Offenlegung des Vorhabens und die dadurch möglicherweise ausgelöste Unruhe in der Nachbarschaft der Anlage. Mit der Zuweisung von Importkohlekontingenten bei der Umstellung von Öl oder Gas auf Kohle erfolgt inzwischen ein materieller Anreiz, der einen Ausgleich für die mit der Kohlefeuerung übernommenen technischen und betrieblichen Erschwernisse bedeutet und es attraktiver macht, sich den Genehmigungsverfahren zu unterziehen. Es sollte überprüft werden, ob weitere Anreize durch Einbeziehung der Umstellungskosten in den Kreis der steuerbegünstigten Investitionen sinnvoll wären.

**324.** Zur Abschätzung des Potentials der Heizöl-Substitution können die folgenden Daten des Jahres 1977 beitragen (vgl. Tab. 1.16): Von den etwa 34 500

Tab. 1.16

**Bestand an Dampferzeugern in der Bundesrepublik Deutschland, die behördlich vorgeschriebenen wiederkehrenden Prüfungen unterliegen:  
Anzahl und Dampferzeugung unterteilt nach Feuerungsbauarten (1977)**

Feuerungsbauart	Dampferzeuger		Dampferzeugung 31. 12. 1977		mittlere Dampf- erzeugung
	Anzahl	%	t/h	%	t/h
<b>1. Dampferzeuger mit einer Feuerungsbauart</b>					
Feststehender Rost . . . . .	2 022	5,9	5 182,63	1,3	2,6
Beweglicher Rost (ohne Wanderrost) . . . . .	205	0,6	2 495,8	0,6	12,2
Wanderrost . . . . .	755	2,2	13 569,46	3,3	18,0
Kohlenstaubfeuerung Ascheabzug trocken . . . . .	161	0,5	47 306,0	11,5	293,8
Ascheabzug flüssig . . . . .	186	0,5	31 189,4	7,6	167,7
Ölfeuerung . . . . .	21 792	63,2	110 705,1	26,9	5,1
Gasfeuerung . . . . .	1 896	5,5	35 538,64	8,6	18,7
mit Abhitze beheizt . . . . .	710	2,1	7 889,18	1,9	11,1
elektrische Beheizung . . . . .	4 406	12,8	7 443,98	1,8	1,7
sonstige Feuerung <sup>1)</sup> . . . . .	258	0,7	25 233,63	6,1	97,8
<b>2. Dampferzeuger mit mehreren Feuerungsbauarten</b>					
Feststehender Rost mit Zusatzfeuerungen . . . . .	287	0,8	1 911,73	0,5	6,7
Beweglicher Rost (ohne Wanderrost) mit Zusatz- feuerungen . . . . .	48	0,1	756,32	0,2	15,8
Wanderrost mit Zusatzfeuerungen . . . . .	234	0,7	5 862,96	1,4	25,1
Kohlenstaub- und Gasfeuerung . . . . .	95	0,3	14 063,7	3,4	148,0
Kohlenstaub- und Ölfeuerung . . . . .	154	0,4	40 464	9,8	262,8
Kohlenstaub-, Gas- und Ölfeuerung . . . . .	42	0,1	6 152,15	1,5	146,5
Gas- und Ölfeuerung . . . . .	979	2,8	49 614,55	12,1	50,7
Abhitze und Zusatzfeuerung . . . . .	156	0,5	2 581,99	0,6	16,6
<b>3. Dampferzeuger mit Müllfeuerung . . . . .</b>	<b>75</b>	<b>0,2</b>	<b>3 501,72</b>	<b>0,9</b>	<b>46,7</b>
<b>Insgesamt . . . . .</b>	<b>34 461</b>	<b>100,0</b>	<b>411 462,94</b>	<b>100,0</b>	<b>11,9</b>

<sup>1)</sup> einschl. Kernenergie

Quelle: Mitteilung der VdTÜV in TÜ 20 (1979) Nr. 2, S. I-V



Dampfkesseln zur Dampferzeugung (Dampferzeuger) in der Bundesrepublik Deutschland einschließlich des Landes Berlin, die der behördlich vorgeschriebenen regelmäßig wiederkehrenden Prüfung unterliegen, waren 63,2% ölgefeuert. Mit einer mittleren Dampferzeugung von 5,1 t pro Stunde trugen sie mit 26,9% zur gesamten Dampferzeugung bei. Auf Grund dieser mittleren Dampferzeugung, die einer Feuerungswärmeleistung von 13 GJ/h entspricht, sind die ölgefeuerten Dampferzeuger in der Regel dem industriellen Bereich zuzuordnen, für den Dampferzeugungsleistungen von etwa 5 bis 150 Tonnen Dampf je Stunde typisch sind. Auch die gasgefeuerten oder mit Öl und Gas gefeuerten Dampferzeuger, deren Anteil an der Gesamt-Anzahl der Dampferzeuger 5,5% bzw. 2,8% ist, sind mit einer mittleren Dampferzeugung von 18,7 t/h bzw. 50 t/h überwiegend dem industriellen Bereich zugehörig. Dagegen weisen die mittleren Dampfleistungen von ausschließlich mit Kohlenstaub oder mit Kohlenstaub und anderen Brennstoffen im Mischbetrieb gefeuerten Dampferzeugern diese überwiegend dem Kraftwerksbereich zu. Zumindest theoretisch ergibt sich also im industriellen Bereich ein erhebliches Potential der Substitution von Öl durch Kohlenstaub. Für weiter ins einzelne gehende Daten wird auf Tab. 1.16 verwiesen.

**325.** In dem neben der Dampferzeugung wichtigsten Gebiet der industriellen Energienutzung, dem der verschiedenen Prozeßfeuerungen, nimmt insbesondere in der Zementindustrie seit einigen Jahren der Einsatz von Kohle in Form von Braunkohlenstaub stark zu. Etwa 30% der Produktionsstätten der Zementindustrie sind schon auf Verfeuerung von Kohlenstaub umgestellt, weitere Umstellungen bis auf etwa 70% werden für die nächsten Jahre erwartet. Unter dem Gesichtspunkt des Umweltschutzes ist diese Entwicklung unbedenklich. Denn eine zusätzliche Umweltbelastung wird dadurch nicht verursacht, da der Schwefel-, Chlor- und Fluorgehalt des Brennstoffs weitgehend in das Produkt eingebunden wird und Produkt und Asche in den ohnehin vorhandenen Entstaubern abgeschieden werden.

**326.** In der Produktion feuerfester Materialien hat sich eine weitgehende Umstellung von Öl auf Gas vollzogen, die Umstellung auf Flüssiggas ist im Gange. Da hohe Brennraumtemperaturen erreicht werden müssen, stehen technische Schwierigkeiten einer Substitution durch Kohle entgegen. Hier liegt unter Umständen ein Einsatzfeld für Kohlegas hohen Heizwertes vor.

**327.** In der Ziegelei-Industrie sind die Öfen vor etwa 20 Jahren weitgehend auf Öl- und inzwischen vielfach auf Erdgasfeuerung umgestellt worden. Nur bei der Erzeugung minderwertiger Produkte wird die theoretische Möglichkeit gesehen, Öl durch Kohle zu ersetzen, wenn geeignete verbesserte Brenner entwickelt werden. Hochwertige Produkte (Sichtgut) bedürfen zu ihrer Herstellung schwefelarmer Brennstoffe, wie Heizöl EL und Gas. Da die vorliegenden Statistiken etwa ein Drittel der Ziegeleibetriebe, nämlich gerade die modernen, die mit wenig Personal auskommen, nicht erfassen, ist eine Abschätzung des Substitutionspotentials hier nicht möglich.

## Emissionsmindernde Maßnahmen

**328.** Will man künftig auch die gasförmigen Emissionen aus industriellen Feuerungsanlagen unter den in Tab. 1.15 in einem Beispiel angegebenen technischen Stand neuerer Anlagen senken, muß man schwefel- und aschearme Brennstoffe sowie optimal angepaßte Feuerungsanlagen einsetzen oder auch für diesen Bereich geeignete Abgasreinigungsanlagen entwickeln.

Rauchgasentschwefelungsanlagen, wie sie bei Feuerungen in modernen Großkraftwerken eingesetzt werden, können aus technischen und wirtschaftlichen Gründen in der Regel keine Anwendung finden. Insbesondere die Entsorgung der Anlagen, seien es solche mit nasser oder trockener Abscheidung, ist noch nicht befriedigend geklärt. Eine Staubkohle aus einem Gemisch von Braunkohle und Anthrazit vermag offenbar die  $\text{SO}_2$ -Emissionen zu reduzieren, jedoch muß in geeigneter Weise das Rauchgas entstaubt werden.

**329.** Um gestiegenen Anforderungen des Umweltschutzes zu genügen, bietet sich gerade für den industriellen Bereich die in Kap. 1.4.1 erörterte Wirbelschichtfeuerung an. Kleine Einheiten bis zu 50 t/h Dampf — entsprechend einer Feuerungswärmeleistung von etwa 130 GJ/h (36 MW<sub>th</sub>) — werden bereits angeboten.

### 1.4.3 Hausbrand und Kleinverbrauch

**330.** Der Rat macht darauf aufmerksam, daß eine Entwicklung zu wieder verstärktem Einsatz fester Brennstoffe im Bereich von Haushalt und Kleinverbrauch möglich erscheint; der Verbrauch stieg von 5,67 Mio t SKE im Jahre 1977 auf 7,47 Mio t SKE im Jahre 1979. Eine vermehrte Nachfrage nach feststoffgefeuerten und insbesondere nach bivalent (Koks und Öl/Gas) befeuerten Heizkesseln für kleinere Zentralheizungsanlagen (ab 18 kW) ist seit einiger Zeit erkennbar.

Einen Überblick über die Mitte der 70er Jahre erreichten Anteile der verschiedenen Energieträger am Wärmeaufkommen in Haushalt und Kleinverbrauch gestattet Tab. 1.17.

**331.** Die Verwendung von Kohle und Kohleprodukten in diesem Einsatzbereich ist zwar der Menge nach weniger bedeutend, aber wegen hoher spezifischer Emissionen (vgl. auch Kap. 1.2) und niedriger Schornsteinhöhen teils auch ungünstigen Durchlüftungsbedingungen in dicht besiedelten Gebieten mit ohnehin hohen Schadstoffvorbelastungen besonders umweltrelevant. Es kommt hinzu, daß in den vom Kohlenbergbau geprägten Gebieten die verfeuerte Hausbrandkohle zum Teil sog. Deputatkohle minderer Qualität ist. Dies macht es nach Ansicht des Rates notwendig, eine mögliche Entwicklung in Richtung eines verstärkten Einsatzes fester Brennstoffe auf den Einsatz veredelter Kohleprodukte hinzulenken.



Tab. 1.17

**Anteile verschiedener Energieträger am Wärmeaufkommen in Haushalt und Kleinverbrauch für einige Belastungsgebiete**

Energieträger	Anteil am Wärmeaufkommen		
	Ruhrgebiet West (1975) %	Rheinschiene Süd (1974) %	Ruhrgebiet Ost (1977) %
Steinkohle (einschl. Briketts)	22,2 (33,1) <sup>1)</sup>	3,5	10,5
Steinkohlenkoks	8,2 (10,3) <sup>1)</sup>	5,3	12,9
Braunkohlenbriketts	2,8 (4,2) <sup>1)</sup>	16,4	1,6
Heizöl EL	40,8 (43,7) <sup>1)</sup>	69,3	57,1
Gas	8,8 (8,7) <sup>1)</sup>	5,5	17,6
Strom	11,3 k.A.	k.A.	k.A.
Fernwärme	5,9 k.A.	k.A.	k.A.
Holz	k.A. k.A.	k.A.	k.A.

k.A. = keine Angaben

<sup>1)</sup> private Gebäude

Quelle: Luftreinhaltepläne Ruhrgebiet West und Ost sowie Rheinschiene Süd

**332.** Feste Brennstoffe mit emissionsarmem Ausbrand stehen zur Verfügung. Ihre Eigenschaften werden durch die Erste Verordnung zum BImSchG vorgeschrieben. Die Verwendung anderer Brennstoffe ist auf spezielle Öfen beschränkt. Diese Beschränkung gilt allerdings nicht für Deputatkohle, so daß örtlich erhöhte Belastungen auftreten können; dieser Zustand ist aber prinzipiell behebbar.

Wegen der tendenziell rückläufigen Roheisenproduktion kann mit einem erhöhten Angebot an Koks gerechnet werden, der in den Wärmemarkt fließen kann. Der Rat empfiehlt zu prüfen, ob und inwieweit dieser Koks und solcher anderer Herkunft (Kohlechemie, Erdölchemie) für Haushaltsfeuerungen eingesetzt werden kann.

Gegenwärtig werden jährlich einige 100 000 t Briketts auf Anthrazitbasis hergestellt. Das Anthrazitaufkommen beträgt dagegen 5,7 Mio t (1979). Ein fühlbarer Beitrag zur Substitution von emissionsträchtigen Kohlen und Briketts bzw. zur Ölsubstitution kann nur erwartet werden, wenn Anthrazitkohle nicht überwiegend verstromt wird, wofür sie sich ohnehin nicht besonders eignet.

**333.** Das Emissionsverhalten fester Brennstoffe ist in Abschn. 1.2.1.3 dargelegt worden. Da die Emissionen im Bereich Hausbrand und Kleinverbrauch proportional mit dem Verbrauch steigen, sieht der Rat eine unerfreuliche Steigerung der Umweltbelastung vorher, wenn die Brennstoffe vorzugsweise in Einzelöfen und Kleinanlagen genutzt werden, die wenig Spielraum zur Emissionsminderung lassen. Ein aus Umweltgesichtspunkten akzeptabler Weg zeigt sich nach Meinung des Rates in der Errichtung von Heiz-

werken oder Blockheizkraftwerken auf Kohlebasis, da nur damit das Emissionsproblem einigermaßen handhabbar wird.

**1.4.4 Kohleveredelung**

**Aufgabe und technologische Grundlagen**

**334.** Im Gegensatz zur vollständigen Verbrennung der Kohle ist bei der Kohleveredelung die Kohle in ein Gasmisch mit möglichst viel chemisch gebundener Energie umzuwandeln, das entweder als Energieträger oder als Chemierohstoff verwendet werden kann. Aus Gründen der Versorgungssicherheit soll umgewandelte Kohle unter Nutzung der bestehenden energiewirtschaftlichen Infrastruktur künftig Erdöl und Erdgas partiell oder vollständig ersetzen. Die Zielprodukte sind Gasmische von CO<sub>2</sub>, CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub> sowie Kraftstoffe und synthetisches leichtes Heizöl. Auch die Versorgung der chemischen Industrie mit Rohstoffen auf Kohlebasis (Synthesegas, Naphtha) muß in die Überlegungen mit einbezogen werden.

*Die hohen Kosten der Kohleförderung in Europa lassen eine wettbewerbsfähige Kohleveredelung mit deutscher (oder auch EG-) Kohle derzeit nicht zu. Dennoch sollten die Entwicklungsarbeiten an den verschiedenen Verfahrensprinzipien unter Einbeziehung der Werkstoffprobleme vorangetrieben werden. Die Kohleveredelung kann nämlich unter drei Bedingungen wettbewerbsfähig bzw. wirtschaftlich notwendig werden: Als Beitrag zur Versorgungssicherheit, im Falle einer Vervielfachung des Ölpreises sowie durch den Einsatz von importierter Kohle.*

**335.** Während bei den klassischen Energieumwandlungsprozessen typischerweise Schadstoffe in höheren Oxidationsstufen entstehen (z. B. SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>) treten bei der Kohleveredelung wegen der wasserstoffreichen Atmosphäre Schadstoffe in reduzierter Form (z. B. H<sub>2</sub>S, NH<sub>3</sub>) auf; damit ergeben sich andersartige anlagenspezifische Emissionsprobleme. Zur Weiterverarbeitung der Zwischenprodukte muß eine große Raffinerie in das Anlagenkonzept integriert werden, deren Anlagekosten weit höher und deren Emissionsprobleme deutlich anders sind als bei Erdölraffinerien gleicher Leistung. Eine Kohleverflüssigungsanlage vereinigt daher tendenziell Emissionsprobleme von Raffinerien, Kokereien und großen Chemieanlagen in einem Komplex.

**Emissionsprobleme**

**336.** Die Umweltbelastungen der Kohleveredelung bestehen aus Emissionen und Standortproblemen der Anlage selbst sowie aus der vorgelagerten Kohlegewinnung und der nachgelagerten Nutzung der erzeugten Energieträger. Die indirekten Umweltbelastungen sind nur insoweit von Bedeutung, als sie sich von den ohne Kohleveredelung zu erwartenden Belastungen unterscheiden. Hinsichtlich der Kohlegewinnung handelt es sich dabei vor allem um ein Mengenproblem, hinsichtlich der Produkte ist jedoch auch mit — gegenüber herkömmlichen Pro-

dukten — geänderter Zusammensetzung und der resultierenden Emission beim Verbrauch zu rechnen. Derartige Änderungen können aus Umweltsicht grundsätzlich sowohl entlastender Art (z. B. Gase für Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen) als auch belastender Art (z. B. ungünstige Treibstoffzusammensetzung durch höheren Aromatenanteil) sein. Die folgende Ausführungen beschränken sich auf die Emissionsprobleme der Anlage selbst.

**337.** Emissionen von Kohleveredelungsanlagen ergeben sich: Aus dem eigentlichen Veredelungsprozeß nach Maßgabe des gewählten Verfahrens und der eingesetzten Kohlsorte, aus den Produktenreinigungs- und -umwandlungsprozessen nach Maßgabe der Reinheitsanforderungen der nachgeschalteten Anlagen sowie der für die Produkte bestehenden Normen und als Folge der Emissionsnormen und der im Genehmigungsverfahren erteilten Auflagen.

Grundsätzlich fallen alle Emissionstypen (Abluft, Abwasser, Abfall, Lärm) an. Ins einzelne gehende Aussagen lassen sich mangels vorhandener Anlagen oder fortgeschrittener Genehmigungsverfahren nicht machen. Es ist aber möglich, aus grundsätzlichen Erwägungen und nach dem Stande der Erfahrungen an Versuchsanlagen zu einigen wichtigen Verfahrensprinzipien und Verfahrensstufen Tendenzaussagen zu treffen:

- *Niedertemperatur-Festbett-Verfahren sind zwar energetisch günstiger, erzeugen aber eine breite Palette von Nebenprodukten, deren umweltverträgliche Beseitigung oder Aufbereitung zu verwertbaren Produkten sehr aufwendig ist.*
- *Hochtemperatur-Flugstrom-Verfahren erzeugen weniger Nebenprodukte, sind jedoch durch Materialprobleme und ungünstigeren thermischen Nutzungsgrad belastet. Das Rohgas ist stark mit Flugstaub belastet und bedarf einer entsprechenden Reinigung. Die auftretenden hohen Drucke (bei der Vergasung bis zu 100 bar, bei der Verflüssigung mindestens 300 bar), die Handhabung großer Materialmengen und die Komplexität der Anlagen begünstigen diffuse Emissionen. Es muß mit Emissionen von CO, HCN, NH<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>S, Sulfiden, Phenolen, Teeren, Metallcarbonylen und Stäuben mit ganz unterschiedlichen Wirkungsmechanismen gerechnet werden, die zur Geruchsbelästigung und erhöhtem Risiko am Arbeitsplatz und in der Umgebung führen können.*
- *Die heute verfügbaren Gasreinigungsverfahren sind noch nicht geeignet, alle Schadstoffe mit vertretbarem Aufwand ausreichend zu entfernen. Das besondere Problem liegt dabei in der Vielzahl der auftretenden Schadstoffe und ihrer Bindungsformen, z. B. Schwefel als H<sub>2</sub>S, COS, CS<sub>2</sub> und als organisches Sulfid oder Stickstoff als HCN, NH<sub>3</sub>, Amine. Wegen der — bezogen auf den Energieinhalt — kleineren Gasvolumina ist die Entfernung der Schadstoffe bei der Kohleveredelung zwar theoretisch leichter zu beherrschen als bei der Kohleverstromung, die anzuwendenden Reinigungsverfahren sind auch aus zahlreichen verfügbaren Verfahren der Gasaufbereitung bekannt, jedoch bisher den neuen Aufgaben nicht angepaßt.*
- *Die Abscheidung der Feststoffe (Asche, Schlacke, Flugstaub, Katalysatorabrieb) wirft ebenfalls spezifische Probleme auf. Die Deponiefrage wird wie bei jeder anderen Kohlenutzung auch Schwierigkeiten bereiten.*
- *Kohleverflüssigung ist, gemessen an der gewonnenen Sekundärenergie, nicht nur teuer und energieaufwen-*

*diger, sondern auch emissionsintensiver als Kohlevergasung — schon allein wegen der zusätzlichen Umwandlungsstufen. Dies gilt insbesondere für die Fischer-Tropsch-Synthese, zumal dabei große Mengen schwerer aromatischer Kohlenwasserstoffe entstehen.*

- *Die erforderliche Nachbehandlung der primären Verflüssigungsprodukte verursacht Emissionsprobleme mit vielen aromatischen Heteroverbindungen, die über die Probleme herkömmlicher Raffinerien wesentlich hinausgehen.*

**338.** Zusammenfassend ist festzustellen, daß die Emissionen künftiger Kohleveredelungsanlagen bisher nicht hinreichend bekannt sind. Die Übertragung aus den Versuchsanlagen ist nicht ohne weiteres zulässig, da diese in erster Linie die Aufgabe hatten, das Verfahren in chemischer, energetischer, materialtechnischer und wirtschaftlicher Hinsicht zu prüfen. Die erforderlichen Kenntnisse für Emissionsminderungsmaßnahmen sind nur teilweise aus den Bereichen der Raffinerie-, Kokerei- und Chemietechnik vorhanden. Die Environmental Protection Agency der USA (EPA) hat erst kürzlich mehrere Projekte mit dem Ziel gestartet, eine umfassende Entsorgung der Kohleveredelungsanlagen zu gewährleisten. Der Rat weist mit Nachdruck darauf hin, daß den Emissionsproblemen künftig das gleiche Gewicht beizumessen ist wie der Verfahrensoptimierung; erst dann ist es zu verantworten, großtechnische Anlagen zu errichten.

## Genehmigung

**339.** Kohleveredelungsanlagen sind nach § 2 Nr. 17 l, ggf. auch nach § 2 Nr. 29 der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen (4. BImSchV) genehmigungspflichtig. Auch für begleitende Techniken wie z. B. die Speicherung von brennbaren Gasen oder von Mineralölprodukten (§ 2 Nrn. 43 u. 44) kann, wenn sie gegenüber der Hauptanlage von gewisser Selbständigkeit sind, eine Genehmigung erforderlich sein. Die wichtigsten materiellen Anforderungen für die im förmlichen Verfahren zu erteilende Genehmigung ergeben sich aus der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft) vom 28. 8. 1974. Dazu gehören die technologieunabhängigen Begrenzungen in Nr. 2 TA Luft 1974, insbesondere die Begrenzung von Emissionen dampf- oder gasförmiger organischer Verbindungen, die je nach Zugehörigkeit zu der Klasse I, II oder III 20 mg/m<sup>3</sup>, 150 mg/m<sup>3</sup> bzw. 300 mg/m<sup>3</sup> nicht überschreiten dürfen (Nr. 2.3.4.3). Die dort nicht aufgeführten organischen Verbindungen sind den Klassen zuzuordnen, deren Verbindungen sie in dampf- oder gasförmiger Form nach ihrer Wirkung am nächsten stehen. Ist die Zuordnung nach der Wirkung nicht möglich, sind die organischen Verbindungen den Klassen zuzuordnen, deren Verbindungen sie in ihrer chemischen Beschaffenheit am nächsten stehen. Von den technologie- und anlagenbezogenen Emissionsbegrenzungen und weiteren Bestimmungen in Nr. 3 der TA Luft 1974 sind diejenigen unmittelbar anwendbar, die Anlagen betreffen, wie sie auch bei der Kohleveredelung Verwendung finden. Dazu kann z. B. eine Claus-Anlage ge-

hören. Darüber hinaus sind auf Kohleveredelungsanlagen am ehesten die Bestimmungen über Mineralölraffinerien (Nr. 3.27.1) und Kokereien (Nr. 3.29.1) sinngemäß zu übertragen. Die genannten Nummern der TA Luft 1974 beziehen sich abschließend auf verschiedene VDI-Richtlinien, die in der Regel zehn Jahre älter sind. Eine stärkere Nutzung der Kohleveredelungstechnologie wird daher wegen der nur bedingt gültigen Analogie zwischen Mineralölraffinerien, Kokereien und Kohleveredelungsanlagen künftig eine Anpassung der materiellen Genehmigungsanforderungen an den modernen Kenntnisstand erforderlich machen. Dabei stehen mit im Vordergrund die in kohlechemischen Verfahren verstärkt auftretenden polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH) und andere Verbindungen, die im Verdacht stehen, Krebs auslösen zu können.

In analoger Weise sind die Voraussetzungen für die Erteilung von Erlaubnissen für die Einleitung der

Abwässer aus der Kohleveredelung nach dem Wasserhaushaltsgesetz zu überarbeiten.

**340.** Die große technische Komplexität von Kohleveredelungsanlagen sowie die Neuartigkeit und Vielfalt möglicher Emissionen stellt die Genehmigungsbehörde voraussichtlich vor große Probleme. Wenn es nicht gelingt, durch geeignete flankierende Maßnahmen bis hin zur Entwicklung technischer Richtlinien für die wichtigsten Schadstoffkomponenten die Genehmigungsverfahren rechtzeitig vorzubereiten, ist mit sehr langen Genehmigungszeiten zu rechnen. Da auch die öffentliche Akzeptanz derartiger Anlagen keineswegs gesichert erscheint, muß mit zusätzlichen einspruchsbedingten Verzögerungen gerechnet werden, so daß sich die von der Kernenergie bekannten Probleme bei der Kohleveredelung wiederholen könnten.

## 2 MÖGLICHKEITEN DER UMWELTENTLASTUNG DURCH RATIONELLE ENERGIENUTZUNG UND SUBSTITUTION ZWISCHEN DEN ENERGIE-TRÄGERN

### 2.1 Einführung

341. Im vorangehenden Kapitel wurde gezeigt, daß auch der für die Bundesrepublik Deutschland in erster Linie in Frage kommende Ersatz des knapp und teuer gewordenen Erdöls durch die verstärkte Nutzung von Kohle oder Kernenergie mit erheblichen Umweltrisiken verbunden sein kann. Aus umweltpolitischer Sicht ist deshalb die Energieeinsparung die bei weitem vorteilhafteste Strategie zur Lösung der gegenwärtigen energiepolitischen Probleme. Bei sonst gleichbleibenden technischen Bedingungen vermindert Energieeinsparung

- die Schadstoff-Emissionen,
- die Abwärmelastung der Gewässer und der Luft,
- den Landschaftsverbrauch und die Landschaftsbelastung
- die CO<sub>2</sub>-Belastung der Atmosphäre bei Verwendung fossiler Energieträger und
- die Strahlenbelastung der Umwelt und das Stör- und Unfallrisiko bei der Verwendung nuklearer Energieträger.

Die Umweltpolitik hat daher unter den derzeit in der Bundesrepublik Deutschland technisch und ökonomisch realisierbaren energiepolitischen Optionen eine eindeutige Präferenz für die auf Verminderung des Energieverbrauchs gerichteten Strategien. Der Spielraum dafür erscheint auch durchaus beträchtlich.

342. Im Vergleich zu anderen Produktionsfaktoren und Konsumgütern war Energie in der Vergangenheit billig. Insbesondere hat die Entwicklung der Erdölpreise während der Nachkriegszeit der absehbaren Verknappung dieses wichtigen Rohstoffs zunächst noch nicht Rechnung getragen: Wegen der politischen Schwäche wichtiger Förderländer waren die relativen (und zeitweise sogar die absoluten) Preise für Rohöl bis Anfang der siebziger Jahre rückläufig. Die Folge war eine zunehmende Verdrängung anderer Energieformen durch das Erdöl und eine beachtliche Zunahme des Energieverbrauchs im ganzen. Unsere gegenwärtige Produktions- und Konsumstruktur ist deshalb mit Sicherheit energieintensiver als dies ohne die Verfügbarkeit billigen Erdöls möglich gewesen wäre.

Mit der Verknappung und drastischen Verteuerung des Erdöls sind die relativen Preise für Energie insgesamt gestiegen; damit steigen auch die Chancen der Energieeinsparung. Bei der Beurteilung ihrer Möglichkeiten ist zwischen den technisch-physikalischen, den ökonomischen und den umweltpolitischen Aspekten zu unterscheiden.

### Technisch-physikalische Aspekte

343. Unter technisch-physikalischen Gesichtspunkten geht es um die Minimierung des Energieverbrauchs. Da sich dieser als Produkt aus der Menge der insgesamt nachgefragten Energiedienstleistungen und deren spezifischen Energieverbräuchen ergibt, ist grundsätzlich zwischen

- Maßnahmen zur Verminderung der Nachfrage nach Energiedienstleistungen und
  - Maßnahmen zur Senkung des spezifischen Energieverbrauchs (rationelle Energieverwendung)
- zu unterscheiden.

344. In allen Verwendungsbereichen wird Energie nicht direkt, sondern in der Form von „Energiedienstleistungen“ genutzt — nicht als elektrischer Strom, sondern als Beleuchtung, nicht als Heizenergie, sondern als Raumtemperatur. Der Verzicht auf Energiedienstleistungen stellt deshalb eine Form des Energiesparens dar, die die Verbraucher unmittelbar und kurzfristig bewirken können. Ein energiebewußtes Verbraucherverhalten muß nicht in jedem Falle mit Komfort-Verzicht verbunden sein; dies zeigt das Beispiel der nutzungsabhängigen Regelung der Raumtemperatur. In der Regel ist allerdings der Verzicht auf Energiedienstleistungen für den Verbraucher durchaus spürbar.

345. Ein derartiger Konsumverzicht kann durch wachsendes Energiebewußtsein gefördert oder durch höhere Energiepreise oder gesetzliche Regelungen (Tempo-Limit) erzwungen werden. Insgesamt scheint jedoch unter den gegenwärtigen wirtschaftlichen und politischen Bedingungen der Spielraum für eine kurzfristig wirksame Einsparung von Energiedienstleistungen begrenzt zu sein. Auf längere Sicht sind hier allerdings durchaus Änderungen wahrscheinlich. Die gegenwärtige Nachfrage nach Energiedienstleistungen wird wesentlich bestimmt durch Siedlungs-, Verkehrs- und Industriestrukturen, die sich während der Zeit des billigen Erdöls herausgebildet haben. Diese Strukturen sind zwar kurzfristig kaum veränderbar, auf längere Sicht lassen sie sich aber durch planerische Entscheidungen und Infrastrukturinvestitionen wesentlich beeinflussen. Der Rat weist deshalb darauf hin, daß die Verminderung des künftigen Bedarfs an Energiedienstleistungen zu einem wichtigen Kriterium aller die Siedlungs-, Verkehrs- und Industriestruktur beeinflussenden Planungen werden muß.

346. Kurz- und mittelfristig kann die rationelle Energienutzung einen wesentlich größeren Beitrag zur Energieeinsparung leisten als der Verzicht auf Energiedienstleistungen. Dabei ist unter den Maß-



nahmen, die auf Verminderung des spezifischen Energieverbrauchs gegebener Energiedienstleistungen gerichtet sind, zu unterscheiden zwischen:

- Maßnahmen, die bei gegebener Energiedienstleistung den dafür erforderlichen Nutzenergie-Aufwand vermindern (Wärmedämmung, leichtere und aerodynamisch günstigere Karosserien),
- Maßnahmen, die bei gegebenem Nutzenergie-Bedarf den dafür erforderlichen Aufwand an End-Energie vermindern (Motoren, Maschinen, Feuerungsanlagen mit höherem Wirkungsgrad) und
- Maßnahmen, die bei gegebenem Endenergiebedarf den dafür erforderlichen Aufwand an Primär-Energie vermindern (Verminderung von Umwandlungs-, Leitungs- und Verteilungsverlusten, Wärmerückgewinnung, Abwärmenutzung und Nutzung der Umgebungswärme).

**347.** Rationelle Energieverwendung kann nicht nur durch die technische Optimierung innerhalb gegebener Energieversorgungssysteme, sondern auch durch Substitution zwischen Energieversorgungssystemen gefördert werden. Die physikalischen Grundlagen dafür liefert die thermodynamische Theorie, derzufolge Energie nicht verbraucht, sondern lediglich umgewandelt werden kann (Energieerhaltungssatz). Bei der Umwandlung sinkt allerdings ihre Arbeitsfähigkeit — der „Exergiegehalt“ — durch irreversible Prozesse, während die nicht mehr in Arbeit umwandelbare „Anergie“ zunimmt und in der Form von Abwärme die Umwelt belastet. Die Verminderung des exergetischen Aufwandes bzw. der Anergie-Produktion ist also unter physikalisch-technischen Gesichtspunkten das eigentliche Ziel der rationellen Energienutzung. Allerdings unterscheiden sich die verschiedenen Energiedienstleistungen in ihrem jeweiligen Mindest-Exergiebedarf erheblich. Raumheizung und Warmwasserbereitung kann durch Wärmeenergie von relativ geringer Arbeitsfähigkeit geleistet werden, während die Benutzung von elektrischen Geräten oder Verbrennungsmotoren den Einsatz von exergiereichem elektrischem Strom oder Mineralöl erfordert. Exergie wird vergeudet und der Abwärmeanfall nimmt zu, wenn Energieformen mit hohem Exergiegehalt für Verwendungszwecke mit niedrigerem Exergiebedarf eingesetzt werden. In der Substitution von Energieträgern mit dem Ziel einer optimalen Zuordnung des Exergiegehalts von Energieträgern zum Exergiebedarf der Energiedienstleistungen liegen deshalb wesentliche Chancen für die rationelle Energieverwendung. Eine Vorstellung von dem damit zu erschießenden Einsparpotential vermittelt die Tatsache, daß 1978 etwa 55 % des Energieaufkommens in der Bundesrepublik ungenutzt blieben und unmittelbar als Abwärme in die Umwelt abgeführt wurden.

## Ökonomische Aspekte

**348.** Das ökonomische Interesse an Energieeinsparung stimmt mit den physikalisch-technischen Kriterien nur bis zu einem gewissen Grad überein.

Energie ist ein Kostenfaktor für Produktion und Konsum, und es entspricht dem ökonomischen Kalkül, diesen Kostenfaktor zu reduzieren; das ökonomische Einsparinteresse nimmt bei steigenden Energiepreisen zu. Allerdings ist Energieeinsparung nur in seltenen Fällen ein kostenloses Gut. In der Regel erfordert sie zusätzlichen Aufwand an Arbeit und Kapital für die Herstellung und den Betrieb leistungsfähigerer Energieversorgungs- und Energieverwendungssysteme. Unter ökonomischen Aspekten ist deshalb nicht die Minimierung des Energieverbrauchs, sondern nur die Minimierung der Gesamt-Kostenbelastung von Produktion und Konsum durch das jeweilige Energieversorgungssystem das Ziel. Maßnahmen der Energieeinsparung sind ökonomisch also nur dann sinnvoll, wenn der gegenwärtige Wert der Kostenentlastung eines künftig verminderten Energieverbrauchs höher liegt als der gegenwärtige Wert der Kostenbelastung durch die dafür erforderlichen Maßnahmen. Gewiß verbessert sich mit steigenden relativen Preisen für Energie die Kosten-Nutzen-Relation für Energie-sparmaßnahmen, aber die ökonomische Optimierung des Energieverbrauchs wird notwendigerweise immer zu einem weniger verminderten Verbrauchsniveau führen als eine ausschließlich auf die physikalisch-technische Minimierung des Verbrauchs gerichtete Strategie. Dies gilt auch, wenn dabei der für Energiesparmaßnahmen selbst erforderliche Energieeinsatz berücksichtigt wird.

**349.** Auch das so definierte ökonomische Optimum kann nur dann erreicht werden, wenn die relativen Preise für Energie den exergetischen Wert und die Knappheit der verschiedenen Energieträger zutreffend abbilden und wenn andere Anpassungshindernisse einem preisgerechten Energieverbrauchsverhalten nicht im Wege stehen.

*Die erste Voraussetzung war während der Periode der extrem niedrigen Rohölpreise zweifellos nicht erfüllt, und es besteht auch gegenwärtig noch keine Gewähr dafür, daß Preisniveau und Preisstruktur auf den Energiemärkten die realen Wert- und Knappheitsrelationen zwischen den Energieträgern angemessen repräsentieren. Gleichzeitig wird das Verhalten von Anbietern und Nachfragern auf den Energiemärkten durch zahlreiche Anpassungshindernisse beeinflusst, die einer raschen Annäherung an ökonomisch optimale Energieversorgungsstrukturen im Wege stehen. Zu den wichtigsten Anpassungshindernissen gehört dabei die gegenwärtige räumliche und funktionale Zuordnung von Energieversorgungssystemen und Verbrauchsbereichen. Wo ein ausreichendes Angebot energieparender Versorgungssysteme (Fernwärme, öffentlicher Personen-Nahverkehr) fehlt, da werden Änderungen des Verbraucherverhaltens erschwert; umgekehrt behindern Verbraucherinvestitionen in bestehenden Verbrauchsstrukturen (Einzelheizungen, Privatverkehr) und psychische Widerstände (etwa gegen die Benutzung öffentlicher Verkehrsmittel) die Marktdurchsetzung leistungsfähigerer Versorgungssysteme.*

Eine ökonomisch rationale Energieversorgung wird sich also kurzfristig nur beschränkt über Prozesse der Marktanpassung durchsetzen; sie erfordert mittel- und längerfristig angelegte Maßnahmen und Anpassungsprozesse, die auf eine Änderung der Versorgungs- und Verbrauchsstrukturen, auf den Abbau anderer institutioneller Anpassungshindernisse



und auf die Korrektur von „Verzerrungen“ im Gefüge der relativen Preise für Energie gerichtet sind.

## Umweltpolitische Aspekte

**350.** Das spezifische Interesse der Umweltpolitik ist weder mit dem Kriterium der physikalisch-technischen Minimierung des Energieverbrauchs noch mit dem Kriterium der ökonomischen Optimierung des Energieverbrauchs von vornherein identisch. Solange die Umwelt im ökonomischen Kalkül noch weithin als „freies Gut“ behandelt werden kann, liegt das einzelwirtschaftlich optimale Energieverbrauchs-niveau notwendigerweise höher als das bei voller Berücksichtigung der Umweltbelastungen gesamtgesellschaftlich optimale Verbrauchsniveau. Deshalb muß die Umweltpolitik mit gutem Grund das politische Gewicht ihrer Kriterien zu Gunsten zusätzlicher Energiesparmaßnahmen in die Waagschale werfen, die über den einzelwirtschaftlich definierten ökonomischen Optimalpunkt hinausgehen und sich damit dem Kriterium des physikalisch-technischen Optimums des Energieverbrauchs nähern.

**351.** Umweltpolitik im Energiebereich ist allerdings auch nicht mit Energiesparpolitik identisch. Ihr geht es letztlich nicht um die Minimierung des Energieverbrauchs, sondern um die Minimierung der aus Energieerzeugung, Energieumwandlung und Energieverwendung entstehenden Umweltbelastungen. Dabei sind auch Zielkonflikte zwischen Energieeinsparung und Umweltentlastung möglich: Zwar wird bei gegebener Energietechnik jede Einsparung auch die Belastung durch Emissionen vermindert, aber nicht jede energetisch effizientere neue Technik ist notwendigerweise auch umweltfreundlicher als die bisherige Art der Energieversorgung. Diese Möglichkeit des Konflikts ist beispielsweise bei der energetisch attraktiven Nutzung von Verbrennungsmotoren für die Raumheizung mittels Blockheizkraftwerken und Gaswärmepumpen zu berücksichtigen. Hier kann das umweltpolitische Urteil über konkurrierende Energieversorgungssysteme im Ganzen erst auf der Grundlage einer vergleichenden Emissionsbilanz gefällt werden.

**352.** Umweltpolitische Gesichtspunkte können zusätzlich die Forderung nach einer Substitution zwischen Energieversorgungssystemen begründen. Dies gilt insbesondere für die beschleunigte Umstellung des Altbaubestandes in Ballungsgebieten von der Wärmeversorgung durch Einzelheizungen auf Fernwärmeversorgung oder emissionsarme Sammelheizungen. Da allerdings bei einer solchen Umstellung vermutlich die Zahl der dauerhaft beheizten Wohnräume zunehmen wird, ist ein Energieeinsparungs-Effekt jedenfalls nicht sicher. Angesichts des außergewöhnlich hohen Beitrags von Hausbrand-Öfen zur Luftbelastung in den Ballungsregionen bleibt diese Substitution von Energieversorgungssystemen dennoch eine umweltpolitische Forderung höchster Priorität.

Das Beispiel weist zugleich auf eine zweite Besonderheit umweltpolitischer Anforderungen hin: Sie

haben Kriterien der räumlichen Verteilung zu berücksichtigen, die von denen einer bloßen Politik der Energieeinsparung abweichen können. Unter umweltpolitischen Gesichtspunkten kommt es zunächst und vor allem darauf an, die von der Energiegewinnung und -umwandlung ausgehenden Umweltbelastungen in jenen Regionen abzubauen, in denen Belastungsgrenzen erreicht oder überschritten sind; zugleich soll die Entstehung von Belastungen in Regionen mit besonders empfindlichen Ökosystemen vermieden werden. Die räumliche Auswirkung energiepolitischer Maßnahmen ist daher für die Umweltpolitik wesentlich; die energiepolitisch möglicherweise vertretbare Konzentration von Kraftwerksstandorten in Belastungsgebieten ist unter Umweltgesichtspunkten problematisch. Umgekehrt müßte die Umweltpolitik eine Konzentration der den Energieverbrauch senkenden Anstrengungen gerade auf Belastungsgebiete fordern, während unter energiepolitischen Gesichtspunkten andere Kriterien maßgeblich sein können. Auch hier kann es also Zielkonflikte zwischen Energieeinsparung und Umweltpolitik geben.

## 2.2 Energiegewinnung und -umwandlung

### 2.2.1 Konventionelle Energieträger

#### 2.2.1.1 Primärenergiegewinnung

**353.** In der Bundesrepublik Deutschland sind 1979 folgende Mengen an Primärenergie gefördert worden: Steinkohle 2 565 PJ<sup>1)</sup>, Braunkohle 1 090 PJ, Naturgase (zu 95 % Erdgas) 689 PJ, Erdöl 203 PJ und Wasserkraft 168 PJ.

Insgesamt sind die Möglichkeiten zur rationellen Nutzung des Energieeinsatzes bei der Primärenergiegewinnung nur gering. Dies gilt nicht für die intensivere Ausbeute der Lagerstätten durch fortgeschrittene Techniken, die allerdings vielfach einen höheren Energieeinsatz erfordern werden.

Für die einzelnen Primärenergieträger ergibt sich folgendes:

**354.** Der Eigenverbrauch der Steinkohlenzechen liegt seit Jahren bei etwa 2 % der Fördermenge; ein wesentliches Einsparpotential ist nicht erkennbar.

Beim Abbau von Steinkohle treten Grubengase (vornehmlich Methan) auf, die bisher nur zum Teil erfaßt werden; in ihrer verstärkten Verwertung liegt möglicherweise noch ein Potential rationeller Energienutzung, das auch einen Beitrag zur Umweltentlastung bedeuten könnte.

**355.** Die Wirbelschichtfeuerung (s. Tz. 315 ff.) kann im Bereich der Aufbereitung eine Umweltentlastung bringen, weil die anfallenden Flotationsberge und

1) Petajoule =  $10^{15}$  Joule (J), 1 PJ = 0,03412 Mio t SKE

Ballastkohle umweltfreundlicher genutzt werden können.

**356.** Im Bereich der Braunkohlenförderung betrug der Energie-Eigenverbrauch der Gruben und der Braunkohlenbrikettfabriken in den Jahren 1977, 1978 und 1979 3,1 %, 3,1 % und 3,6 % des Energieinhalts der geförderten Braunkohle. Die zunehmende Tiefe der abgebauten Flöze und das ungünstiger werdende Abraum-Kohle-Verhältnis wirken in Richtung eines erhöhten energetischen Eigenverbrauchs der Tagebaue, der durch den höheren Heizwert der aus größerer Tiefe geförderten Kohlen nicht aufgewogen wird. Da die Energieversorgung für die Förderung und Verarbeitung der Braunkohle bereits durch Kraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung erfolgt, sind keine nennenswerten Einspareffekte bei der Energiedarbietung mehr zu erwarten.

**357.** Der Energieeinsatz bei der inländischen Erdöl- und Erdgasförderung hängt stark von Förderbedingungen und -verfahren ab. Bei konventionellen Verfahren der Ölförderung ist er gering (Pumpleistung), bei tertiären Verfahren kann er dagegen sehr hoch werden. Bei der Förderung durch Aufheizen des Erdöllagers mittels Dampfpluten muß zur Zeit für 3 t Ausbeute 1 t Öl zur Dampferzeugung eingesetzt werden, dieses Verhältnis wird sich voraussichtlich weiter verschlechtern. Das mitgeförderte Erdgas oder Erdölgas wird weitgehend zur Energieversorgung der Ölförderanlagen eingesetzt, kurzfristig anfallende Überschußmengen werden abgefakelt; ihre Weiterleitung wird von den Förderfirmen als nicht wirtschaftlich angesehen.

Der energetische Aufwand für die Erdgasförderung ist vernachlässigbar, da keine Pumparbeit anfällt. Dagegen beansprucht die Aufbereitung (Trocknung, Reinigung von Schwefelwasserstoff, Kohlendioxid und Stickstoff) in gewissem Umfang Energie. Bei einigen Feldern müssen außerdem Kompressorstationen betrieben werden.

Einsparpotentiale werden bei dem schon erreichten Standard der Energiewirtschaftlichkeit nicht mehr gesehen.

### 2.2.1.2 Energieumwandlung

**358.** Von den 8 648 PJ konventioneller (fossiler) Primärenergie, die 1979 einer Umwandlung zugeführt worden sind, wurden 4 714 PJ in Raffinerien eingesetzt, 2 591 PJ in Wärmekraftwerken einschließlich 215 PJ in Gruben- und Zechenkraftwerken, 1 041 PJ in Kokereien und Ortsgaswerken, 162 PJ in Brikettfabriken und 140 PJ in Fernheizwerken und Heizkraftwerken. Für die Möglichkeiten einer rationelleren Energienutzung gilt folgendes:

**359.** Der Energieeinsatz in Raffinerien unterliegt zwei Entwicklungslinien. Einerseits haben steigende Preise zahlreiche Einsparmaßnahmen zur Folge gehabt, die sich auch umweltentlastend ausgewirkt haben. Andererseits hat sich die Produktpalette in Richtung auf marktgängigere Leichtdestillate verschoben; die damit verbundene größere Ver-

arbeitungstiefe (Konversion) erfordert erhöhten Energieeinsatz.

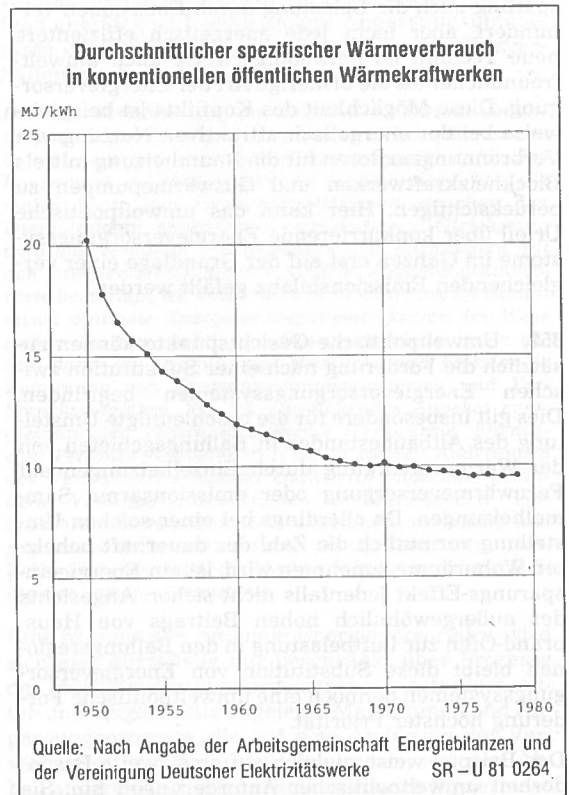
**360.** Die bei den Konversionsprozessen zusätzlich gewonnenen leichten Erzeugnisse werden einer Entschwefelung unterzogen; daher führt der Ausbau der Konversionskapazität zu einer stärkeren Auslastung der Entschwefelungs- und nachgeschalteten Anlagen und zu einer verstärkten Schwefelwasserstoff- und Schwefeldioxidemission. In dieselbe Richtung wirkt die von der 3. BImSchV verlangte verstärkte Entschwefelung von Heizölen. Insgesamt zeigen aber die SO<sub>2</sub>-Emissionen der Raffinerien leicht abnehmende Tendenz, da der Verbrauch an Heizmitteln zurückgegangen ist. Die verstärkte Entschwefelung der Raffinerieprodukte wirkt sich in einer erheblichen Verminderung der SO<sub>2</sub>-Emissionen beim Endverbraucher aus.

**361.** Raffinerien benötigen je nach dem Grad ihrer Komplexität zwischen 3 und 10 % des durchgesetzten Rohöls zur Energieerzeugung als Eigenverbrauch. Neben dem künftigen Einsatz verbesserter Technik kann vor allem der Abbau von Überkapazitäten zu Einsparungen führen.

### Kraftwerke

**362.** Fossil befeuerte Kraftwerke wurden in der Bundesrepublik Deutschland 1979 zu 68 % mit Kohle, zu 24 % mit Gas und zu 8 % mit Öl beschickt. Abb. 2.1 zeigt den durchschnittlichen spezifischen Wärme-

Abb. 2.1



verbrauch, das heißt das Verhältnis von eingesetzter (fossiler) Energie zur erzeugten elektrischen Energie, in konventionellen öffentlichen Wärmekraftwerken, wie es sich von 1950 bis 1979 entwickelt hat. Bei allen Kraftwerksarten ist eine starke Senkung des Wärmeverbrauchs in den vergangenen 30 Jahren und die zunehmende Verlangsamung dieser Abnahme seit der Mitte der 60er Jahre festzustellen. Man stößt sowohl hinsichtlich der thermodynamischen Gesetzmäßigkeit als auch der maschinentechnischen Bedingungen immer mehr vor allem an wirtschaftliche Grenzen.

**363.** Ein wichtiger den Kraftwerkswirkungsgrad begrenzender Faktor ist der Eigenverbrauch der Kraftwerke für Neben- und Hilfsanlagen, dessen Anteil an der Bruttostromerzeugung zunächst bis 1964 anstieg, da der Eigenbedarf zunehmend durch elektrischen Strom statt durch Dampf gedeckt wurde. Inzwischen hat sich diese Entwicklung wieder umgekehrt, so daß der Eigenverbrauch wieder abnahm.

Der Anteil der bei der Fortleitung und Verteilung des elektrischen Stroms verlorengehenden Energiemengen am Bruttoverbrauch ist seit den 50er Jahren von 11 auf rund 5% gesenkt worden. Hohe Investitionen sind heute im Netz erforderlich, um einen erneuten Anstieg dieses Anteils zu vermeiden.

**364.** In Tab. 2.1 sind Eigenverbrauch, Kraftwerkswirkungsgrad, Verteilungswirkungsgrad und der sich aus ihnen ergebende Gesamtnutzungsgrad für die Gesamtheit der Kraftwerke (öffentliche Wärmekraftwerke, Zechen- und Grubenkraftwerke, Industriekraftwerke, Kernkraftwerke, Wasserkraftwerke)

ke) im Zeitraum von 1955 bis 1979 zusammengestellt. Der Gesamtnutzungsgrad konnte von 22% im Jahre 1955 auf 34% im Jahre 1979 gesteigert werden, wobei in den 70er Jahren praktisch Konstanz vorhanden war. Eine weitere merkliche Erhöhung des durchschnittlichen Nutzungsgrades läßt sich durch Beschreiten neuer technologischer Wege (z. B. höhere Dampfdrücke, Kombiblock, zweistufige Dampfsysteme), vor allem aber durch Kraft-Wärme-Kopplung und den Ersatz älterer Kraftwerksanlagen durch neue mit ihrem höheren Wirkungsgrad erreichen.

**365.** Im Jahre 1978 entfielen 42% der Kraftwerksleistung auf Kraftwerke, die älter waren als 15 Jahre; 14% sogar auf Kraftwerke, die vor mehr als 25 Jahren in Betrieb genommen wurden. Wegen der Umweltvorteile der Ersetzung alter Steinkohlenkraftwerke durch moderne wird auf die Studie der Rhein-Ruhr-Stiftung (1978) hingewiesen. Auch für die Braunkohle gilt im Einzelfalle ähnliches. Alte Kraftwerke erreichen zum Teil nicht mehr als einen Wirkungsgrad von 30%. Von dem geplanten Ersatz eines Kraftwerks von 900 MW durch zwei moderne 600-MW-Blöcke mit einem Wirkungsgrad von gut 36% wird darum keine Erhöhung des Braunkohlenbedarfs erwartet (LEUSCHNER, 1980).

### Steinkohlenverkokung

**366.** Kokereien und Ortsgaswerke machen mit einem Energieeinsatz von etwa 1 100 PJ, davon 95% Primärenergie, den drittgrößten Umwandlungsbereich aus. Rund 45% der in der Bundesrepublik Deutschland geförderten Steinkohle wird in inländischen oder ausländischen Kokereien verarbeitet. Der erzeugte Koks wird im wesentlichen von der ei-

Tab. 2.1

Nutzungsgrade für die Gesamtheit der Kraftwerke (öffentliche Wärmekraftwerke, Zechen- und Grubenkraftwerke, Industrie-Kraftwerke, Kernkraftwerke, Wasserkraftwerke) und für die Stromverteilung

Jahr	Einsatz PJ	Ausstoß PJ	Eigenverbrauch PJ	Kraftwerkswirkungsgrad $g_k$	Verteilungswirkungsgrad $g_L$	Gesamtnutzungsgrad $g = g_k g_L$
1955 <sup>1)</sup>	1 116	290	18	0,25	0,90	0,22
1960 <sup>1)</sup>	1 392	428	26	0,29	0,91	0,26
1965	1 811	621	44	0,32	0,93	0,30
1970	2 230	873	56	0,37	0,93	0,34
1971	2 532	935	62	0,35	0,94	0,33
1972	2 693	990	64	0,34	0,94	0,32
1973	2 900	1 078	67	0,35	0,94	0,33
1974	3 009	1 122	70	0,35	0,95	0,33
1975	2 886	1 087	64	0,35	0,94	0,33
1976	3 161	1 201	73	0,36	0,95	0,34
1977	3 176	1 207	70	0,36	0,95	0,34
1978	3 340	1 272	75	0,36	0,94	0,34
1979	3 520	1 340	78	0,36	0,96	0,34

<sup>1)</sup> noch ohne Kernkraftwerke

$$g_k = \frac{\text{(Ausstoß)} - \text{(Eigenverbrauch)}}{\text{(Einsatz)}} \quad g_L = \frac{\text{(Energieangebot im Inland)} - \text{(Leistungsverluste)}}{\text{(Energieangebot im Inland)}}$$

Quelle: SCHÄFER, 1980, ergänzt um die Jahre 1978 und 1979, nach Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen

senschaftlichen Industrie verbraucht. Der Koks-Ofen wurde früher meist bei den Zechen gebaut und mit dem eigenen Kokereigas betrieben, der Gasüberschuß wurde an Gasversorgungsbetriebe abgegeben. Heute wird der Koks-Ofen bevorzugt im Verbund mit Eisenhütten betrieben und vielfach mit Gichtgas gefeuert, während das energiereiche Koksereigas im Hüttenbetrieb verwendet wird. Die Bedeutung für die öffentliche Gasversorgung ist seit dem Aufkommen des Erdgases stark gesunken. Der Anteil des Verbrauchs der Kokereien an der in ihnen eingesetzten Energie liegt bei 9 bis 10%. Einsparungen dürften nur durch Modernisierung, verbesserte Verbrennung oder Energierückgewinnung beim Lösen möglich sein.

### Brikettierung

**367.** Insgesamt wurden in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1979 1,673 Mio t Steinkohlenbriketts entsprechend einem Energieinhalt von 52,5 PJ erzeugt. Trotz eines Anstiegs der Briketterzeugung seit 1977 benötigte diese 1979 nur einen Anteil von 2,1% der Steinkohlenförderung; dabei hat allerdings die Erzeugung raucharmer Produkte — insbesondere Extrazit und Anzit — zugenommen. Durch bessere Auslastung und Verfahrensumstellung ist der Eigenverbrauch der Steinkohlenbrikettfabriken von 1977 bis 1979 von etwa 2,7% auf 1,4% des Energieeinsatzes gesunken. Auch bei der Braunkohlenbrikettierung ist ein hoher Stand der Energietechnik erreicht, der nur noch geringe Einsparungen erwarten läßt.

Brikettfabriken erzeugen in wachsendem Maße Braunkohlenstaub, der bei der Entstaubung der Trocknerbrüden als Koppelprodukt anfällt, inzwischen jedoch wegen der starken Erhöhung der Nachfrage aus Trockenkohle in Mühlen erzeugt wird. Sofern Braunkohlenstaub künftig in größerem Umfang Heizöl substituiert, wird auch der Eigenbedarf für diese Produktion wachsen.

### Kohlevergasung und Kohleverflüssigung

**368.** Kohlevergasung und Kohleverflüssigung können in Zukunft einen neuen, bedeutenden Bereich der Energieumwandlung darstellen. Die technologischen Grundlagen, der Stand des Einsatzes in der Bundesrepublik Deutschland und die Emissionsprobleme sind in Kap. 1.4.4 dargelegt. Antriebskraft dieser sich abzeichnenden Entwicklung ist nicht die Energieeinsparung, sondern der Zwang zur Substitution von Mineralölprodukten, langfristig auch von Erdgas. Dabei kann auch ein höherer spezifischer Energieeinsatz erforderlich werden. Die verschiedenen Verfahren sind unter dem Gesichtspunkt der Angepaßtheit an die zur Verfügung stehenden Kohlesorten und die angestrebten Endprodukte zu wählen und nicht, weil der Gesamtwirkungsgrad in dem einen oder anderen Verfahren etwas höher ist.

### Kohlevergasung

**369.** Die Kohlevergasung beansprucht einen hohen Energieeinsatz: Bei „autothermer“ Umwandlung gilt die Faustformel, daß ein Drittel der eingesetzten Kohle zur Deckung des Energiebedarfs für die che-

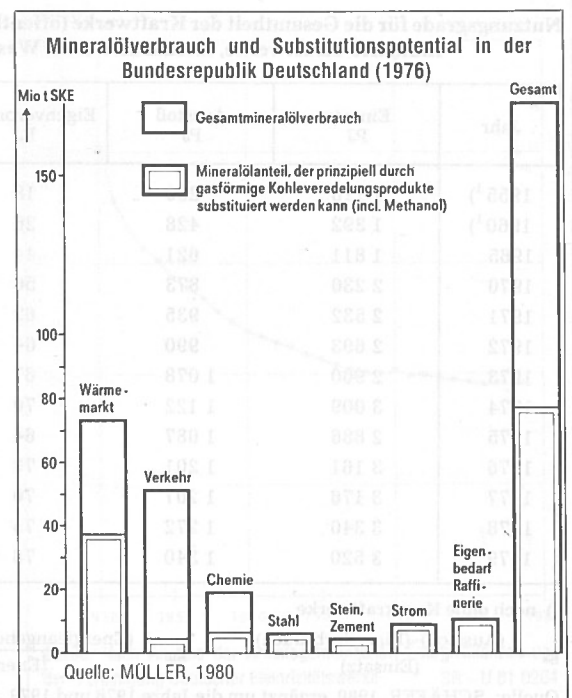
mischen Umwandlungsprozesse verfeuert werden muß. Das „Energiesparpotential“ des notwendigen Mehraufwandes an Energie besteht lediglich im Vergleich mit anderen, weniger wirksamen Wegen der Erdöl-/Erdgas-Substitution.

Die Möglichkeiten der Erdöl-/Erdgas-Substitution durch die Kohlevergasung sind vereinfacht die folgenden:

- umweltschonende Erhöhung des Wirkungsgrades der Stromerzeugung aus Kohle durch Koppelung der Kohlevergasung (Schwachgaserzeugung) mit dem Kombiprozeß der Gas-Dampf-Turbine,
- Erzeugung von Brenngas (Schwachgas) für weitere Zwecke,
- Reduktionsgaserzeugung für die Hüttenindustrie,
- Erzeugung von Synthesegas als chemischem Grundstoff und
- Erzeugung von Reichgas (Synthetic Natural Gas, SNG) mit Strom-Gas-Kopplung.

Eine besondere Bedeutung erhält möglicherweise die Erzeugung von künstlichem Erdgas (SNG), das als Energieträger mit hohem Heizwert den Transport über große Strecken lohnt und dazu in vorhandene Verteilungsnetze eingespeist werden kann. Es wird auch geltend gemacht, daß diese Form der Kohleenergieumwandlung umweltfreundlicher als die Verstromung sei (MÜLLER, 1980). Eine Vorstellung vom Umfang der möglichen Substitution von Mineralölprodukten in den verschiedenen Bereichen gibt Abb. 2.2.

Abb. 2.2





**370.** Die verschiedenen Wege von der Kohle zu den Produkten für Chemie, Metallurgie und Energiewirtschaft erfordern einen höheren stofflichen und energetischen Aufwand als die Herstellung vergleichbarer Produkte aus Erdgas oder Erdölderivaten. STAEGE (1980) weist wohl zu Recht darauf hin, daß über diesen höheren Aufwand oft unklare Vorstellungen bestehen, und die verschiedenen Aussagen hierüber meist global, vielfach zu optimistisch und im allgemeinen schlecht nachprüfbar sind.

### Kohleverflüssigung

**371.** Für die Kohleverflüssigung gilt der für die Kohlevergasung beschriebene Sachverhalt in verstärktem Maße. Ihr Einsatz gründet sich nicht auf das Gebot rationeller Energienutzung, er folgt vielmehr aus der Notwendigkeit, Kraftstoffe unter erhöhtem Energieaufwand durch Produkte aus Kohle zu ersetzen. Aufgrund ihres technologischen Entwicklungsrückstands gegenüber der Kohlevergasung wird die Kohleverflüssigung in der Bundesrepublik Deutschland in diesem Jahrhundert voraussichtlich eine nur bescheidene Rolle spielen.

## 2.2.2 Das Nutzungspotential regenerativer Energiequellen

**372.** Eine stärkere Nutzung regenerativer Energiequellen ermöglicht nicht nur die Substitution knapper und teurer Kohlenwasserstoffe im Inland, sie fördert auch die wirtschaftliche Entwicklung von Energietechniken, denen künftig eine erhebliche Bedeutung in Entwicklungspolitik und Außenhandel zukommen könnte. Der Rat behandelt im folgenden nur die Einspar- und Substitutionspotentiale derjenigen Techniken, die er für die überschaubare künftige Entwicklung im Inland als bedeutsam ansieht (s. Kap. 1.2.3). Er verbindet damit die ausdrückliche Empfehlung, daß auch diejenigen Techniken intensiver weiterentwickelt werden, die nur bei Rahmenbedingungen aussichtsreich sind, die im Inland nicht vorliegen. Sie können nämlich einen wichtigen Beitrag zur Entschärfung globaler Umweltprobleme leisten. Die Behandlung der inländischen Nutzungspotentiale geschieht vergleichsweise ausführlich, da in der öffentlichen Diskussion dieses Themas große Meinungsunterschiede bestehen.

### Niedertemperaturwärme aus Sonnenstrahlung

**373.** Das Energieäquivalent der gesamten auf die Erdoberfläche einfallenden Sonnenstrahlung beträgt rd.  $10^{14}$  t SKE/a, entsprechend dem 10 000fachen des globalen Energieverbrauchs. Für einzelne Regionen ergibt sich das theoretische Potential aus der Strahlungsdichte einschließlich ihrer zeitlichen Variationen und der verfügbaren Fläche. Für die Bundesrepublik Deutschland ergibt sich bei einer mittleren Einstrahlung von  $110 \text{ W/m}^2$  (Tag-Nacht- und jahreszeitliches Mittel) ein Strahlungsangebot von jährlich rd.  $3,5 \text{ GJ/m}^2$  oder insgesamt 30 Mrd t SKE/a, entsprechend dem 75fachen des gegenwärtigen Primärenergiever-

brauchs. Gebäude und Hofflächen machen 4,8% der Gesamtfläche des Landes aus. Die Art der Nutzung, bauliche Vorschriften, Dachneigung, Orientierung und Abschattung machen den größten Anteil dieser Fläche für die Solarenergienutzung ungeeignet. Schätzt man den geeigneten Flächenanteil auf  $1/10$  bis  $1/5$  und schließt eine Umwidmung von Flächen für die Solarenergienutzung aus, so stehen 0,5 bis 1% der Gesamtfläche, entsprechend einem Angebot solarer Strahlungsenergie von 150–300 Mio t SKE/a, zur Verfügung. Berücksichtigt man den Wirkungsgrad solarthermischer Wandlung und die Reduktion des Nutzungsgrades durch die gegenläufige Bewegung von Angebot und Bedarf bzw. durch Speicherverluste mit einem effektiven Nutzungsgrad von etwa 20%, so ergibt sich wahrscheinlich ein Niedertemperaturpotential von 30–60 Mio t SKE/a.

Die tatsächliche Nutzung hängt von der Entwicklung der Energiepreise, der Investitionskosten und der Ausbreitung anderer Systeme für Niedertemperaturwärme, insbesondere Fernwärme und Wärmepumpen, sowie vom Neubauvolumen ab. Die Schätzungen schwanken extrem und werden zudem durch Abgrenzungsfragen erschwert, da beispielsweise nicht klar ist, wie die aus Solarabsorbern im Zusammenwirken mit Wärmepumpen gewonnene Energie zugerechnet werden soll. Unterstellt man für einen Abschätzungsversuch beispielsweise, daß die — heute an der Schwelle der Wirtschaftlichkeit liegende — Warmwasserbereitung im Jahre 2000, soweit sie nicht über Fernwärme oder Wärmepumpen bereitgestellt wird, im Sommerhalbjahr vollständig in Kollektoranlagen erfolgt, und setzt dafür 50% der Wohnungen an, so ergibt sich eine Niedertemperatur-Energiemenge von etwa 0,5 Mio t SKE/a, wodurch rund 1 Mio t SKE/a an fossilen Energieträgern eingespart würden. Die Berücksichtigung von Warmwasserbedarf im gewerblichen und industriellen Bereich sowie die Bereitstellung von Teilen der Heizwärme könnte den Beitrag solcher Strahlungswärme um den Faktor 2 bis 10 erhöhen.

### Biomasse

**374.** Die Substitution von Energieträgern durch Biomasse kann über eine verstärkte Nutzung als Werkstoff, als Chemierohstoff und als Energieträger erfolgen (vgl. Kap. 1.2.3). Den ersten beiden Möglichkeiten kommt künftig wahrscheinlich erhöhte Bedeutung zu, die sich freilich noch nicht quantifizieren läßt; demgegenüber kann man das Potential der direkten energetischen Nutzung, für die vor allem Holz, Stroh und Biogas in Frage kommen, bereits heute abschätzen.

### Holz als Energieträger

**375.** Holz war als Energieträger, Baumaterial und Rohstoff für metallurgische Zwecke (Holzkohle) bis in die Mitte des vorigen Jahrhunderts der wichtigste Rohstoff überhaupt. Weltweit trug das Holz 1974 mit rd. 4%, in den Entwicklungsländern mit rd. 25% und in der Bundesrepublik Deutschland mit 0,2% zur Energieversorgung bei; sämtliche Zahlen sind unsicher, da die Statistiken die zur Selbstversorgung benutzten Mengen nicht genau erfassen.

Der Brennholzeinsatz in der Bundesrepublik Deutschland war bis vor kurzem stark rückläufig (1953 2,81 Mio t SKE, 1965 1,15 Mio t SKE, 1977 0,325 Mio t SKE). Die inländische Nutzholzernte beträgt etwa 30 Mio m<sup>3</sup>/a, die zugehörigen Waldabfälle haben einen Energieinhalt von rd. 5 Mio t SKE/a, wovon die eine Hälfte auf Äste, Kronen und Rinde, die andere auf schwer zu gewinnendes Stockholz (Wurzelstöcke) entfällt. Der forstlich in vielen Fällen erwünschte Einschlag von Schwachholz ist bis vor kurzem oft aus Kostengründen unterblieben. Schätzungen halten einen zusätzlichen Einschlag von 5 Mio m<sup>3</sup>/a  $\approx$  1 Mio t SKE/a für möglich. Ein wesentlicher Anteil des zusätzlichen Holzpotentials dürfte bereits bei den heutigen Preisen von der Zellstoff-, Papier- und Spanplattenindustrie genutzt werden, so daß nur der jeweils verbleibende Rest für energetische Zwecke zur Verfügung steht. Es wird ferner geschätzt, daß noch immer 1,2 Mio m<sup>3</sup>/a industrielle Abfallhölzer und 1 Mio t Sperrmüll-, Schal- und Abbruchholz ungenutzt auf Deponien landen. Ihre industrielle Verwertung oder Verbrennung würde 1 Mio t SKE/a andere Energieträger ersetzen.

Die Reserven an Brennholz würden den größten Substitutionseffekt für leichtes Heizöl dann erzielen, wenn sie in ländlichen Gegenden zur Deckung des Spitzenbedarfs und des Ausfallrisikos von Wärmepumpen eingesetzt werden; durch eine solche Kombination könnten einige Millionen Haushalte vom Heizöl EL unabhängig werden.

### Stroh als Energieträger

**376.** Beim Getreideanbau fallen in der Bundesrepublik Deutschland jährlich etwa 25 Mio t Stroh an, 20% oder 5 Mio t davon gelten als Problemstroh, das vor allem in größeren Getreideanbaugebieten nicht als Einstreu in der Viehhaltung verwendet oder in den Boden eingearbeitet werden kann (STREHLER, 1979). Da auch eine andere Verwertung (z. B. Stroh-pappeherzeugung, Zellstoffgewinnung, Verzuckerung) gegenwärtig nicht wirtschaftlich ist, bietet sich die energetische Nutzung (Verbrennung, Vergasung, Biogaserzeugung) an. Als Faustregel kann gelten, daß 3 kg Stroh den gleichen Heizwert haben wie 1 kg Heizöl und unter Berücksichtigung des geringeren feuerungstechnischen Wirkungsgrades 1 l Heizöl ersetzen können. Das verfügbare Problemstroh könnte daher theoretisch rd. 1,5 Mrd l Heizöl substituieren. Außer dem Problemstroh kann ein wesentlicher Teil des heute in den Boden eingearbeiteten Strohs ohne Nachteil für die Bodenfruchtbarkeit energetisch genutzt werden, falls die Asche als Dünger verwertet wird. Ein typischer Getreideanbaubetrieb, der Stroh für Heizung, Warmwasserbereitung und Getreidetrocknung einsetzt, kann aber höchstens ein Viertel seines Strohs im eigenen Betrieb nutzen. Das verfügbare Potential kann daher nur bei überbetrieblicher Nutzung voll ausgeschöpft werden, wozu beispielsweise nachbarschaftliche Kooperation oder die Herstellung von Strohbricketts zur Senkung der Transportkosten erforderlich sind. Nach STREHLER liegt die unterste Grenze für wirtschaftlichen Stroeinsatz bei 0,25 DM/l Heizöl, bei Einsatz von Strohpellets bei etwa 0,45 DM/l Heizöl, so daß bei Lösung der Transportprobleme mehrere hunderttausend Haushaltungen im ländlichen Raum mit Stroh beheizt werden könnten.

### Methangärung und Biogas

**377.** Bei der Ausfäulung von Klärschlamm ist die Methangärung seit langem üblich; als Ziel steht dabei jedoch die Schlammstabilisierung und nicht die Energiegewinnung im Vordergrund; immerhin liefert Klärgas bei steigender Tendenz 0,15% des inländischen Primärenergieaufkommens. Auf der Basis verfügbarer Biotechnologie schätzt INDEN (1977) das Biogaspotential aus dem Hausmüll sowie sämtlicher tierischer und menschlicher Exkrememente auf 358 PJ/a  $\approx$  12 Mio t SKE/a. Da Hausmüll einerseits teils verbrannt, teils kompostiert wird und die Trennung der vergärbaren Anteile schwierig ist, dürfte seine Nutzung zur Biogasproduktion unbedeutend bleiben. Menschliche Fäkalien gelangen im wesentlichen in den Klärschlamm, über die Ausdehnung der Abwasserreinigung und verbesserte Ausfäulung wird künftig ein Teil des Potentials realisiert werden. Das Potential aus tierischen Fäkalien beträgt 5 Mio t SKE/a. Setzt man im Interesse geringerer Investitionskosten kürzere Faulzeiten an, zieht den Eigenbedarf ab und beschränkt sich ferner auf Bestände über 15 Großvieheinheiten (GVE), wodurch etwa  $\frac{2}{3}$  des Viehbestandes erfaßt werden, so ergibt sich ein technisch erschließbares Potential von ca. 2,3 Mio t SKE/a  $\approx$  1,5 Mio t Heizöl EL/a. Für Bestände ab 100 GVE ist die Schwelle der Wirtschaftlichkeit fast erreicht, ihnen entspricht bei der gegenwärtigen Bestandsstruktur ein Potential von 0,6 Mio t SKE/a, welche rd. 0,4 Mio t Heizöl EL/a ersetzen können. Bei Massentierhaltung ist der umweltentlastende Effekt der Biogasproduktion durch Fäkalienverwertung unmittelbar evident.

*Wegen der starken Schwankungen des Gasbedarfs für Heizung und Trocknung sowie der hohen Kosten für die Gasspeicherung läßt sich bei normalen landwirtschaftlichen Betrieben eine vollständige Nutzung nur durch Einspeisen in ein — ggf. lokales — Gasnetz oder durch Verstromung erreichen. Günstige Verstromungsbedingungen, insbesondere bei Produktion von Spitzenstrom, können deshalb wesentlich zur raschen Einführung von Biogasanlagen beitragen. Bei Massentierhaltungen und Betrieben der Lebensmittelverarbeitung hängt die Wirtschaftlichkeit der Biogasproduktion entscheidend von den betrieblichen Umweltauflagen sowie der Abwasserabgabe ab. Soweit Biogas schweres Heizöl ersetzt, ergibt sich eine wesentliche Senkung der Emissionen.*

### Windkraft

**378.** Weltweit werden etwa 1,5 bis 2,5% der eingestrahelten Sonnenenergie in Bewegungsenergie der Atmosphäre, d. h. in Wind umgesetzt. Unterstellt man mit einer BMFT-Studie (um 1976) zur Vermeidung klimatischer Rückwirkungen eine Begrenzung der Energieentnahme auf 3%, so ergibt sich ein theoretisches Potential von etwa 10<sup>15</sup> kWh/a; dies entspricht einem thermischen Energieeinsatz von 300 Mrd t SKE/a. Das analoge theoretische Potential für die Bundesrepublik Deutschland beträgt nach dieser Studie 320 · 10<sup>9</sup> kWh/a  $\approx$  100 Mio t SKE/a; das technisch nutzbare Potential wird auf 218 · 10<sup>9</sup> kWh/a geschätzt.

Nach einer neueren Studie zur Wirtschaftlichkeit der Windenergienutzung (JARASS, OBERMAIR, 1980) könnten 4 000 Growian-Anlagen mit insgesamt 12 000 MW<sub>el</sub> eine Jahresarbeit von 38 · 10<sup>9</sup> kWh erzeugen und 2 400 MW<sub>el</sub> konventioneller Kraftwerks-

kapazität ersetzen. Die anlegbaren Bau- und Betriebskosten dürften 1985 mindestens 5 000 DM/kW betragen, ein Betrag, der bei Serienproduktion erreichbar scheint. Angesichts von 50 000 Hochspannungsmasten in der vom Windaufkommen her geeigneten norddeutschen Tiefebene dürften die Standortprobleme nicht unlösbar sein.

Der Stand der Entwicklungsarbeiten läßt es dem Rat dringlich erscheinen, Pilotanlagen zu bauen und in Betrieb zu nehmen. Neben großen Windkraftanlagen müssen kleine Serien mittlerer Anlagen unter Verwendung marktgängiger Bauteile gefertigt werden, um mit diesen die Lösung der Integrationsprobleme untereinander und mit dem Netz in der Praxis zu untersuchen. Ferner können nur auf diese Weise die Exportchancen genutzt werden, ehe die bereits eingetretenen Verzögerungen die Bundesrepublik endgültig um ihre anfangs besonders guten Aussichten gebracht haben.

## Wasserkraft

**379.** *Das theoretische Energiepotential der Wasserkraft ergibt sich aus der Menge der Niederschläge und der Verdunstung im Regeljahr sowie der Höhenlage der zugehörigen Fläche; für die Erde wird es auf rd. 44 000 TWh/a geschätzt. Für die Bundesrepublik Deutschland wurde es mit 99,3 TWh/a bestimmt (BMFT, um 1976). Weil die Wassermenge durch Hochwasserüberlauf und andere Wassernutzungen, die nutzbare Höhe durch Fallhöhenverluste im Gewässer und bei den Kraftwerkszu- und -abflüssen vermindert wird und darüber hinaus Umwandlungswirkungsgrad und Kraftwerksverfügbarkeit nicht vollständig sind, wird das technische Potential wesentlich kleiner; global wird es auf 12 900 TWh<sub>el</sub>/a geschätzt, für deren Erzeugung 4,3 Mrd t SKE/a erforderlich wären; für die Bundesrepublik beträgt es 20,75 TWh<sub>el</sub>/a, nach anderen Berechnungen 23,45 TWh<sub>el</sub>/a. Im Jahre 1973 waren global etwa 13%, in der Bundesrepublik etwa 75% des technischen Potentials ausgebaut. Gegenwärtig produzieren die inländischen Wasserkraftwerke (ohne Pumpspeicher) im Regeljahr rd. 15,8 TWh<sub>el</sub>/a  $\cong$  einem Primärenergie-Bedarf von 5 Mio t SKE/a. Für zusätzliche 4,9 TWh<sub>el</sub>/a gibt es Projekte, von denen einige aus Umweltgründen nicht realisiert werden sollten; bis 1983 sollen 111 MW mit etwa 0,5 TWh<sub>el</sub>/a in Betrieb gehen (siehe aber hierzu Abschn. 1.3.2.3 und 1.2.3.5).*

Unterstellt man, daß durch Modernisierung und eneuerte Nutzung ehemaliger Kleinanlagen bis herab zu Mühlengraben die Grenzen des technischen Potentials ausgedehnt werden, andererseits aber aus Gründen des Landschaftsschutzes nicht alle Potentiale voll genutzt werden, so dürfte Wasserkraft allenfalls 22—23 TWh<sub>el</sub>/a  $\cong$  7,5 Mio t SKE/a produzieren können. Über den Umfang der tatsächlichen Nutzung kleiner Wasserkraftpotentiale und die dabei noch mobilisierbaren Reserven ist zu wenig bekannt. Nähere Untersuchungen sind erforderlich, um zu prüfen, ob sich das technische Potential über die herkömmlichen Schätzungen hinaus ausdehnen läßt.

## Umgebungswärme

**380.** Soweit der Bedarf an Niedertemperaturwärme nicht aus Kraft-Wärme-Kopplung oder der

Abwärme industrieller Prozesse gedeckt wird, bietet sich dafür der Einsatz von Wärmepumpen an. Grundsätzlich können Wärmepumpen sowohl einzelne Häuser als auch Nahwärmenetze versorgen; aus dem Wärmeangebot von Flüssen könnten sogar Fernwärmenetze über geeignete Wärmepumpenanlagen gespeist werden. Je nach dem Typ der Anlage stammen ein bis zwei Drittel der Nutzwärme aus der Umgebung. Legt man die Zahlen von ROTH et al. (1980) zugrunde und berücksichtigt einen Zuschlag für gewerblichen und industriellen Bedarf, so könnten im Jahre 2000 etwa 10 Mio t SKE/a Umgebungswärme wirtschaftlich genutzt werden.

## 2.3 Energieverwendung in der Produktion

### 2.3.1 Rationelle Energienutzung und Substitution in der Produktion — Möglichkeiten in Industrie und Gewerbe

#### 2.3.1.1 Industrielle Güterproduktion, Energieverbrauch und Umweltbeanspruchung

**381.** Die industrielle Produktion ist, gemessen an ihrem direkten und indirekten Beitrag zum Bruttoinlandsprodukt, immer noch der wichtigste Träger der Wirtschaftskraft der Bundesrepublik Deutschland. Hierbei entstehen direkte und indirekte Umwelteffekte aus der Energienutzung. Die direkten Umweltbelastungen ergeben sich aus dem produktionsbedingten Endenergieverbrauch; darüber hinaus führt dieser Endenergieverbrauch zu Umweltbelastungen auf den vorgelagerten Stufen der Primärenergiegewinnung bzw. -umwandlung. Diese sind nicht Gegenstand der folgenden Ausführungen.

**382.** Für einen Überblick über den Zusammenhang zwischen industrieller Güterproduktion, dem damit verbundenen Energieverbrauch und den zugehörigen energiebedingten Umweltbelastungen kann man zunächst von der These ausgehen, daß diese Größen positiv korrelieren.

Eine strenge Kopplung besteht allerdings allenfalls bei fest vorgegebener Technik. Gerade die neuesten Entwicklungstendenzen zeigen jedoch, daß mit dem Vordringen neuer Produktionsverfahren durchaus Entkopplungsvorgänge auftreten können, die zeitlich begrenzt sogar gegenläufige Entwicklungen von Produktion und Energieverbrauch auszulösen vermögen. Im Einzelfall ist es auch durchaus möglich, daß zum Schutz der Umwelt eingesetzte Rückhalte-, Verteilungs- und Wiederverwertungstechniken einen vermehrten Energieeinsatz erfordern. Dabei kann eine teilweise Verlagerung der Umweltbelastungen auf die vorgeschalteten Ebenen der Energiebereitstellung (Gewinnung, Umwandlung) erfolgen; auch die räumliche Verteilung der Umweltbelastungen kann sich ändern. Ferner muß berücksich-

Tab. 2.2

## Anteile der Wirtschaftszweige am Endenergieverbrauch des übrigen Bergbaus und Verarbeitenden Gewerbes

Wirtschaftszweige	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979
Übriger Bergbau . . . . .	0,9	1,0	1,0	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,8	0,8
Steine und Erden . . . . .	11,6	12,5	12,7	12,0	10,3	10,4	10,0	10,1	9,7	9,8
Eisenschaffende Industrie . . . . .	34,3	31,5	31,7	33,3	35,4	32,7	31,6	29,1	28,8	30,1
Eisen-, Stahl- und Temper- gießereien . . . . .	1,3	1,3	1,2	1,1	1,4	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3
Ziehereien und Kaltwalzwerke . . . . .	0,8	0,7	0,7	0,6	0,6	0,6	0,7	0,5	0,5	0,5
NE-Metallerzeugung, -halbzeug- werke, -gießereien . . . . .	2,9	3,1	3,2	3,4	3,7	4,0	4,0	4,3	4,3	4,3
Chemische Industrie . . . . .	16,0	16,6	15,8	16,2	16,8	16,6	17,7	18,3	18,7	18,5
Zellstoff-, Papier- und Papp- erzeugung . . . . .	3,7	3,7	3,7	3,6	3,5	3,4	3,7	4,1	4,0	3,8
Gummiverarbeitung . . . . .	1,0	1,1	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,0
Übriges Grundstoff- und Produktionsgütergewerbe . . . . .	0,7	0,7	0,8	0,8	0,7	0,8	0,8	0,8	0,9	0,8
Grundstoff- und Produktions- gütergewerbe insgesamt . . . . .	72,3	71,2	70,9	72,1	73,4	70,6	70,7	69,4	69,2	70,1
Maschinenbau . . . . .	3,0	2,8	2,9	2,9	2,6	2,9	2,9	3,0	3,0	3,0
Straßen-, Luft- und Raumfahr- zeugbau . . . . .	2,8	3,1	3,2	3,1	2,7	3,1	3,3	3,6	3,8	3,8
Elektrotechnik, Feinmechanik, Optik . . . . .	2,3	2,4	2,4	2,3	2,2	2,5	2,5	2,6	2,6	2,5
Eisen-, Blech- und Metallwaren . . . . .	2,3	2,4	2,4	2,3	2,2	2,4	2,4	2,3	2,5	2,4
Übriges Investitionsgüter produzierendes Gewerbe . . . . .	0,6	0,5	0,6	0,6	0,5	0,6	0,6	0,8	0,8	0,7
Investitionsgüter produzierendes Gewerbe insgesamt . . . . .	11,0	11,2	11,5	11,2	10,2	11,5	11,7	12,3	12,7	12,4
Glas und Feinkeramik . . . . .	3,4	3,6	3,6	3,4	3,3	3,5	3,3	3,8	3,4	3,2
Herstellung von Kunststoffwaren . . . . .	0,7	0,8	0,9	0,9	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,3
Textilgewerbe . . . . .	3,2	3,3	3,2	2,9	2,7	2,9	2,9	2,9	3,0	2,8
Übriges Verbrauchsgüter produzierendes Gewerbe . . . . .	2,1	2,2	2,3	2,2	2,0	2,2	2,2	2,3	2,5	2,4
Verbrauchsgüter produzierendes Gewerbe insgesamt . . . . .	9,4	9,9	10,0	9,4	8,9	9,6	9,5	10,2	10,1	9,7
Zuckerindustrie . . . . .	1,3	1,4	1,4	1,3	1,5	1,6	1,6	1,8	1,6	1,5
Übriges Nahrungsmittelgewerbe . . . . .	3,6	3,8	3,7	3,6	3,8	4,3	4,2	4,0	4,2	4,2
Genußmittelgewerbe . . . . .	1,5	1,5	1,5	1,5	1,3	1,5	1,5	1,5	1,4	1,3
Nahrungs- und Genußmittel- gewerbe insgesamt . . . . .	6,4	6,7	6,6	6,4	6,6	7,4	7,3	7,3	7,2	7,0
Übriger Bergbau und Verarbeiten- des Gewerbe insgesamt . . . . .	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Quelle: Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, Bd. II, Lieferung 1979



tigt werden, daß verschiedene Energieträger überaus unterschiedliche Umweltbelastungen nach Art und Menge von Schadstoffen verursachen und selbst bei gleichen Energieträgern die technischen Gegebenheiten der Anlagen von großer Bedeutung sind. Die geschilderten Entkopplungsmöglichkeiten heben aber weder den Grundzusammenhang von Produktion und Energieeinsatz noch die produktionsbedingte umweltbelastende Wirkung hohen Energieverbrauchs auf.

**363.** Geht man von dieser Grundthese aus, so weist die Statistik die Branchen mit hohem Endenergieverbrauch aus; dies sind dann zugleich die dominierenden industriellen Verursacher energiebedingter Emissionen (Tab. 2.2). Es handelt sich vor allem um die Eisenschaffende Industrie, die Chemische Industrie, den Wirtschaftszweig Steine und Erden (insbesondere Zement-, Kalk- und Mörtelherstellung), die NE-Metallerzeugung, -halbzeugwerke, -gießereien, die Zellstoff-, Papier- und Pappeerzeugung, die Produktion von Glas und Keramik sowie Teile des Nahrungsmittelgewerbes.

**364.** Bei Wirtschaftszweigen, die hinsichtlich ihres Energieverbrauchs weniger hervorrangen, ist eine Beurteilung ihrer energiebedingten Umweltbelastung schwieriger. Dazu benötigt man Detailinformationen, wie die Aufgliederung des Energieverbrauchs nach Energieträgern und nach Art des Einsatzes sowie zugehörige Emissionsfaktoren<sup>1)</sup>, die den Schadstoffanfall pro Energieeinheit (in kg/TJ) ausweisen. Eine laufende Aufgliederung des sektoralen Energieverbrauchs auf 38 Energieträger erstellt die Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen. Aufgliederungen nach der Art des Energieeinsatzes sowie aktualisierte Emissionsfaktoren, die über den Schadstoffanfall je Energieeinheit und die Belastung von Luft, Wasser und Boden informieren, liegen jedoch nur partiell vor. Selbst wenn diese Daten verfügbar wären, würde eine Einordnung der Branchen nach energiebedingten Umweltbelastungen die bekannten mit der gesundheitlichen und ökologischen Wirkungsanalyse verbundenen Bewertungsprobleme stellen.

**365.** Eine umfassende Schätzung energieträgerrelevanter Emissionsfaktoren für die Luftbelastung hat DÖLLEKES (1976) vorgenommen; sie spiegelt etwa den Stand Mitte der siebziger Jahre wieder. Legt man diese Emissionsfaktoren unter Verwendung der Energiebilanzen des Jahres 1978 zugrunde, so treten bei wichtigen Schadstoffen (vgl. Kap. 1.2.1, 1.3 u. 1.4) die bereits genannten Branchen in den Vordergrund. Hinsichtlich der Relationen, wenn auch nicht hinsichtlich des Niveaus, ändert sich daran auch nichts Wesentliches, wenn man berücksichtigt, daß aufgrund des BImSchG und der TA Luft bestimmte Emissionsnormen eingehalten werden

<sup>1)</sup> Produktionsbezogene Emissionsfaktoren in der Eisen- und Stahl-, in der NE- u. in der Steine und Erden-Industrie sind zwar verfügbar. Da diese Daten jedoch nicht auf den spezifischen Energieeinsatz bezogen sind, sind sie in diesem Zusammenhang ungeeignet. Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen wurden vor kurzem veröffentlicht; vgl. Umweltbundesamt (1980); s. a. Abschn. 1.2.1.3.

müssen und vor allem bei Neuanlagen durch das Genehmigungsverfahren der jeweilige Stand der Emissionsminderungstechnik vorgeschrieben wird.

**366.** Betrachtet man die Schadstoffe im einzelnen, so entstehen SO<sub>2</sub> vor allem bei der Verbrennung von Schwerem Heizöl und Steinkohle, CO vor allem bei der Verbrennung von Koks sowie bei unzureichend gewarteten Feuerungen, NO<sub>x</sub> bei hohen Feuerungstemperaturen, z. B. bei Schmelzöfen, organische Gase und Dämpfe bei unvollständiger Verbrennung von Kohle und Heizöl, Cl und F bei der Verfeuerung von Kohle je nach deren Chlorid- und Fluoridgehalt sowie der Einbindungsfähigkeit der Aschen. Beim Brennstoffeinsatz in industriellen Öfen und Feuerungen treten Stäube in Form von Flugasche (diverse Silikate und Oxide) von unverbrannten Brennstoffpartikeln und Ruß auf. Hohe spezifische Emissionen entstehen vor allem bei den Energieträgern Steinkohle, Rohbraunkohle, Braunkohlenbriketts, Schwelkoks, Staub- und Trockenkohle sowie Hartbraunkohle, sofern keine weitgehende Staubscheidung vorgenommen wird. Dieser grobe Überblick verdeutlicht nochmals, daß der energieabhängige Schadstoffanteil in starkem Maße vom industriellen Wärmebedarf und dem hierzu benötigten Einsatz fossiler Brennstoffe bestimmt wird.

**367.** Unterstellt man längerfristig ein weiteres Wachstum der industriellen Güterproduktion, so wären hinsichtlich der Umweltbelastung durch den industriellen Energieverbrauch zwei gegensätzliche Szenarien denkbar:

- Eine steigende Umweltbeanspruchung ist zu erwarten, wenn die Produktion energieintensiver Industriezweige im Vergleich zur industriellen Gesamtproduktion nicht an Bedeutung verliert, die Möglichkeiten rationeller Energienutzung begrenzt sind, die Substitution zwischen den Energieträgern insgesamt nicht umweltentlastend wirkt, Emissionsminderungstechniken sich aus Kostengründen nicht durchsetzen lassen und die energieintensiven Produktionsstätten sich räumlich auf die Belastungsgebiete konzentrieren.
- Eine sinkende Umweltbeanspruchung ist denkbar, wenn die energieintensiven Produktionsbereiche im Rahmen eines sektoralen Strukturwandels an Bedeutung verlieren, der technologische Wandel den Einsatz umweltfreundlicher Energieträger begünstigt, die Entwicklung der Energiepreise und -kostenanteile oder sonstige Maßnahmen eine rationelle Energienutzung erzwingen und die in den Belastungsgebieten vorhandenen Sanierungspotentiale ausgeschöpft werden können.

**368.** Unterstellt man längerfristig stagnierendes oder rückläufiges industrielles Produktionsniveau, so ist durchaus denkbar, daß die Umweltbelastung durch verzögerten Strukturwandel und unterbliebene Sanierung trotz eines Rückgangs des Energieverbrauchs sich nicht günstiger entwickelt als bei weiterem Anstieg des Produktionsniveaus. Gegenwärtig ist es wenig realistisch, für die Bundesrepublik Deutschland von einem längerfristig stagnie-

Abb. 2.3a

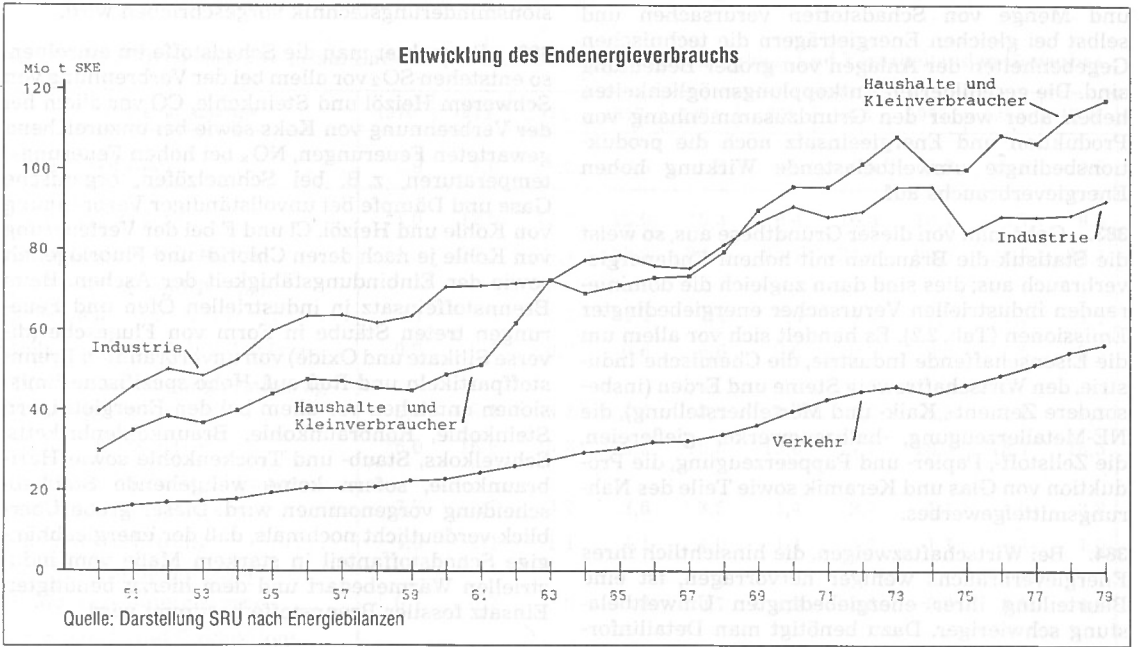
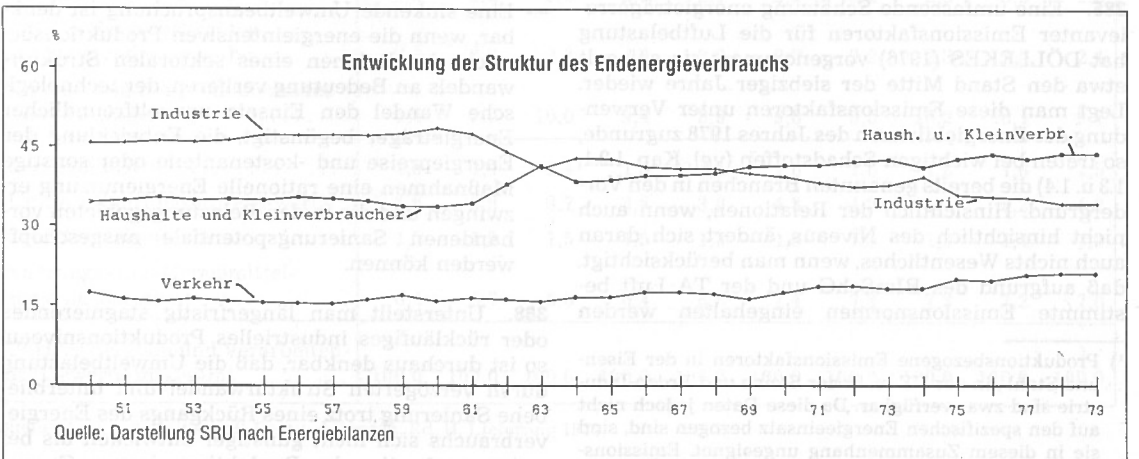


Abb. 2.3b



renden oder rückläufigen industriellen Produktionsniveau auszugehen. Die anstehenden Beschäftigungsprobleme, die Finanzierung des beachtlichen Importbedarfs der bundesdeutschen Wirtschaft und andere Gründe lassen es vielmehr zweckmäßig erscheinen, verbleibende Wachstumsspielräume zu aktivieren. „Volkswirtschaftlichen Nutzen“ kann dies langfristig allerdings nur stiften, wenn die ökologischen Belange gewahrt bleiben<sup>1)</sup>. Insofern muß im folgenden vor allem geprüft werden, welche Möglichkeiten einer rationellen Energienutzung und umweltentlastenden Produkt-, Sektoren- oder Energieträgersubstitution im Rahmen der industriellen Produktion gegeben sind und genutzt werden können.

### 2.3.1.2 Entwicklung des produktionsbedingten Endenergieverbrauchs in der Industrie

**389.** Analysiert man zunächst die Gesamtentwicklung des Endenergieverbrauchs des Industriebereichs, so wuchs der zur Erzeugung von Nutzenergie (z. B. Wärme, Kraft, Licht) dienende Endenergieverbrauch von 39,7 Mio t SKE im Jahre 1950 auf 92,1 Mio t SKE im Jahre 1979 (Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, 1980); er hat sich damit mehr als verdoppelt. Zugleich ging jedoch der Anteil des industriellen Endenergieverbrauchs im Vergleich zu den beiden anderen in den Energiebilanzen ausgewiesenen großen Nutzergruppen „Verkehr“ und „Haushalte und Kleinverbraucher“ seit 1960 (max. Anteil von 48,5 %) kontinuierlich zurück (vgl. Abb. 2.3 a und 2.3 b; er betrug im Jahre 1979 nur knapp mehr als ein Drittel des Gesamtverbrauchs. Sicherlich sind sowohl im Bereich „Verkehr“ als auch im heterogenen Sektor „Haushalte und Kleinverbraucher“ größere Teile der Endenergie für die Güterproduktion verwendet worden (Landwirtschaft, Handwerk); gleichwohl kann man die These vertreten, daß die konsumtive Endenergienutzung ab Anfang der sechziger Jahre stärker gewachsen ist als der produktive Endenergieeinsatz.

**390.** Zeitreihenvergleiche über die Nutzenergiestruktur sind aufgrund fehlender statistischer Informationen nicht möglich, für 1977 wird jedoch geschätzt, daß etwa drei Viertel der industriellen Endenergieverwertung der Erzeugung von Prozeßwärme diente, etwa 15 % in Licht und Kraft transformiert wurde und der Rest in die Raumheizung ging (SCHÄFER, 1980; EBERSBACH, 1980; KARL, 1980).

**391.** Im gleichen Zeitraum seit 1950 fand eine gravierende Änderung der Endenergieverbrauchsstruktur (Tab. 2.3 und Abb. 2.4 a und 2.4 b) statt, in deren Verlauf der Verbrauchsanteil der Steinkohle von 66,8 % im Jahre 1950 auf 16,3 % im Jahre 1972 absank, um anschließend auf einem Niveau zwischen 16 % und 18 % zu verharren.

<sup>1)</sup> Zur Quantifizierung solcher Spielräume vgl. DÖLLEKES (1976). Im Sonderforschungsbereich 26 der DFG „Raumordnung und Raumgewinnung“ wird an der Universität Münster unter der Leitung von R. Thoss an einem Konzept sozio-ökonomisch-ökologischer Entwicklungsplanung gearbeitet.

An die Stelle der Steinkohle trat zunächst das Mineralöl, das 1972 über 39 % der industriellen Endenergie lieferte, ab dem Jahre 1973 aber auf einen Verbrauchsanteil von weniger als einem Drittel (1979: 29,0 %) zurückging. Anteilmäßig rückten dafür die hinsichtlich ihrer Anwendung umweltfreundlicheren Energieträger Gas (insbesondere Erdgas) und Strom (zusammen 1979 bereits über 50 %) in den Vordergrund, wobei die Entwicklung der Anteilswerte die Schlußfolgerungen zuläßt, daß der Substitutionsprozeß noch nicht zum Abschluß gekommen ist.

**392.** Vergleicht man — trotz aller Unzulänglichkeiten längerer Zeitreihen der Energieverbrauchs- bzw. Produktionsstatistik — die Entwicklung des preisbereinigten Index der industriellen Nettoproduktion mit jener des industriellen Endenergieverbrauchs, so ergibt sich, daß mit der reichlichen Verdoppelung des Endenergieverbrauchs im Zeitraum von 1950 bis 1979 etwa eine Verfünffachung des Produktionsvolumens verbunden war, d. h. der spezifische Endenergieeinsatz pro industrielle Produktionseinheit sich mehr als halbiert hat. Unter Berücksichtigung des hohen Elektrizitätseinsatzes ergeben sich allerdings für die benötigte Primärenergie nicht ganz so günstige Werte. Bezieht man den Verbrauchszuwachs der großen Verbrauchergruppen zwischen 1960 und 1978 auf die Zunahme des realen Bruttosozialprodukts, ergeben sich folgende Elastizitätskoeffizienten (KRIEGSMANN, NEU, 1980):

#### Endenergieverbrauchselastizität

Gesamte Wirtschaft	0,849
Industrie	0,432
Verkehr	1,225
Haushalte und Kleinverbraucher	
inkl. militär. Dienststellen	1,095

Diese Elastizitätskoeffizienten bedürfen der Interpretation. So verbirgt sich beispielsweise hinter dem hohen Wert für den Verkehr nicht etwa eine Verschlechterung der Energieausnutzung, sondern ein überdurchschnittliches Wachstum des Individualverkehrs. Bei den Haushalten spiegelt sich die Wirkung des gewachsenen Wohlstandes in größeren Wohnungen mit mehr Heizkomfort. Im Industriebereich haben technischer Fortschritt und Strukturänderung bewirkt, daß der Energieeinsatz wesentlich langsamer wuchs als das reale Sozialprodukt. Es ist daher zu prüfen, inwieweit eine solche nicht nur energie-, sondern auch umweltpolitisch wichtige unterschiedliche Entwicklung von industriellem Wachstum und umweltbeanspruchendem Endenergieverbrauch begründet und für die nähere Zukunft unterstellt werden kann.

**393.** Grundsätzlich kann dieser Verlauf statistischer Ausdruck folgender realer Entwicklungen sein:

- sektorale Umstrukturierung innerhalb des Industriebereichs in Richtung auf weniger energieintensive Branchen,
- Änderungen der Produktionspalette innerhalb der Branchen zugunsten weniger energieintensiver Waren,

Abb. 2.4a

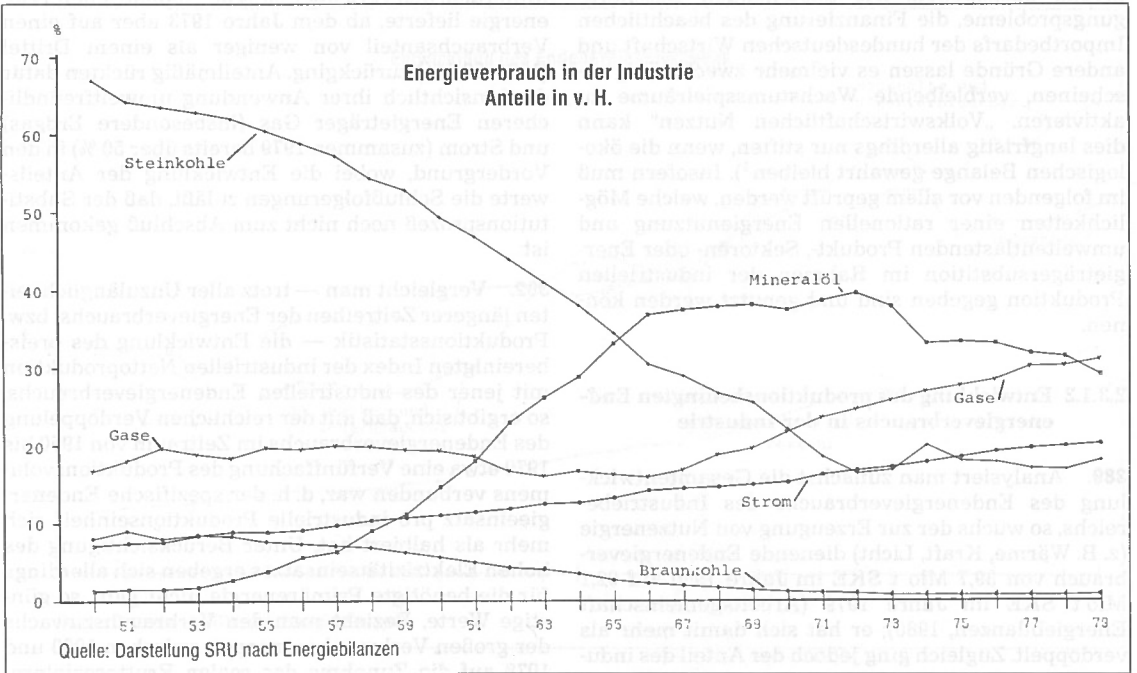
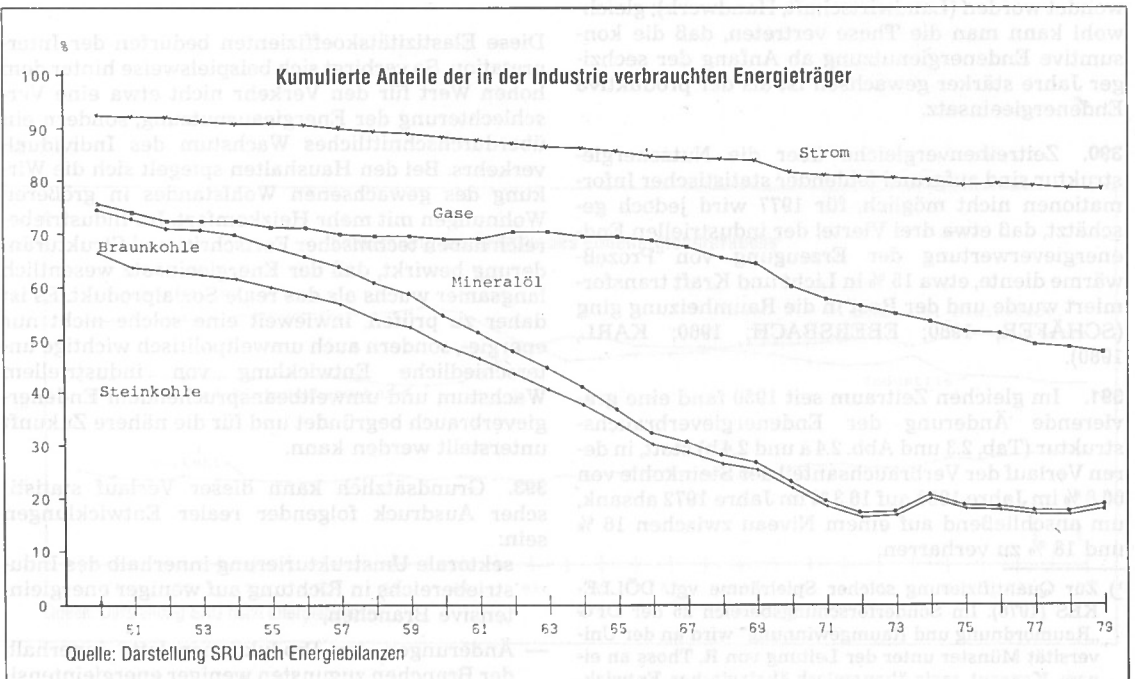


Abb. 2.4b





**Endenergieverbrauch der Industrie nach Energieträgern**  
Anteile in v. H.

Jahr	Steinkohle, Steinkohlen- koks, Steinkohlen- briketts und übrige feste Brennstoffe	Braun- kohle, Braun- kohlen- briketts	Mineral- öle	Gase	darunter: Naturgase	Strom	Fern- wärme	Mineral- öle und Naturgase	Gase und Strom, Fern- wärme
1950	65,8	7,7	1,3	16,6	0,0	7,2	0,2	1,3	24,0
1951	64,9	8,7	1,5	17,9	0,0	7,5	0,2	1,5	25,6
1952	63,3	7,7	1,5	19,5	0,0	7,6	0,2	1,5	27,3
1953	62,3	8,3	1,8	18,7	0,0	8,4	0,2	1,8	27,3
1954	61,8	8,2	2,7	18,2	0,0	8,9	0,2	2,7	27,3
1955	60,2	7,3	3,8	19,5	0,3	8,8	0,2	4,1	28,5
1956	58,3	7,2	5,6	19,3	0,4	9,1	0,2	6,0	28,6
1957	57,0	5,7	6,3	19,8	0,5	9,7	0,3	6,8	29,8
1958	54,1	6,7	9,0	19,6	0,5	10,3	0,3	9,5	30,2
1959	52,5	6,1	11,1	19,2	0,4	10,7	0,3	11,5	30,2
1960	49,1	5,5	14,6	19,1	0,4	11,0	0,7	15,0	30,8
1961	45,5	4,3	17,9	18,4	0,4	11,4	0,9	18,3	30,7
1962	43,7	4,1	22,8	16,5	0,5	11,8	1,2	23,3	29,5
1963	40,7	3,7	26,0	15,8	0,5	12,4	1,2	26,5	29,4
1964	37,8	3,3	28,6	16,5	1,0	12,6	1,2	29,6	30,3
1965	34,2	2,3	32,9	16,0	1,6	13,2	1,2	34,5	30,4
1966	30,2	2,1	36,6	15,7	2,2	14,1	1,3	38,8	31,1
1967	28,7	1,3	37,2	16,6	3,8	14,4	1,3	41,0	32,3
1968	25,5	1,3	37,6	18,5	6,1	14,6	1,3	43,7	34,1
1969	25,4	1,2	37,9	19,3	7,6	14,9	1,3	45,5	35,5
1970	21,9	1,0	37,2	21,4	9,2	15,2	1,5	46,4	38,1
1971	18,4	0,9	38,4	23,3	12,8	16,2	1,4	51,2	40,9
1972	15,3	0,7	39,3	24,3	14,5	16,7	1,3	53,8	42,3
1973	15,7	0,5	37,6	25,5	16,0	17,1	1,4	53,6	44,0
1974	19,9	0,5	32,9	26,6	16,5	17,7	1,5	49,4	45,8
1975	17,9	0,5	31,1	27,4	18,3	18,4	1,4	51,4	47,2
1976	17,7	0,5	32,9	28,1	19,0	19,1	1,4	51,9	48,6
1977	15,9	0,5	31,6	29,8	21,5	19,5	1,4	53,1	50,7
1978	16,7	0,5	31,2	29,9	21,2	19,8	1,4	52,4	51,1
1979	17,0	0,7	29,2	30,6	21,8	20,0	1,6	50,8	52,2

Quelle: Berechnungen und Zusammenstellung SR-U nach Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen, 1950 ff.

— technischer Fortschritt, der aufgrund neuer Verfahren oder steigenden Kapitaleinsatzes eine Senkung des spezifischen Energieverbrauchs auslöst.

### 2.3.1.3 Analyse des Zusammenhangs zwischen industrieller Produktion und Endenergieverbrauch

#### 2.3.1.3.1 Umstrukturierung zwischen den Branchen

**394.** Wirtschaftliches Wachstum und sektoraler Strukturwandel sind eng miteinander verbunden, da steigende Einkommen zu wachsender Nachfrage führen. Diese eröffnet neue Marktchancen und Rationalisierungsmöglichkeiten, die auf verschiedene Branchen unterschiedlich stark wirken. Angesichts der Tatsache, daß Energieversorgungsengpässe bis Anfang der 70er Jahre keine Rolle spielten und real sinkende Energiepreise in Bereichen mit geringem Energiekostenanteil sogar die Substitution arbeitsintensiver Produktionsverfahren durch energieintensive Fertigungstechniken begünstigten, kann man davon ausgehen, daß der bis dahin zu beobachtende sektorale Strukturwandel primär Folge von Datenänderungen außerhalb des Energiemarktes war.

*Eine Analyse der zeitlichen Entwicklung der Arbeitsproduktivität, der Nettoproduktion und des Arbeitsvolumens der Industriezweige im Zeitraum von 1960 bis 1976 zeigt, daß sich vor allem die meisten Branchen der Grundstoff- und Produktionsgüterindustrien sowie produktivitätschwache Bereiche der Verbrauchsgüter- sowie Nahrungs- und Genußmittelindustrie als wachstumsschwach erwiesen haben (LAMBERTS, LÖBBE et al., 1979). Da es sich hierbei aber zumeist auch um Industriezweige mit relativ hohem Endenergieverbrauchsanteil (vgl. Tab. 2.2) handelt, mußte sich schon aus statistischen Gründen ein sinkender spezifischer Energieverbrauch in der Gesamtindustrie ergeben.*

**395.** Wählt man als Wachstumsindikator den preisbereinigten Industrieumsatz, so zeigt sich, daß der Endenergieeinsatz 1950 etwa 440 g SKE/DM betrug und 1975 auf etwa 160 g SKE/DM zurückgegangen war. Durch statistische Analyse läßt sich — gemessen an der Struktur von 1960 — nachweisen, daß von 1960 bis 1975 Umstrukturierungseffekte etwa 20—25 % zur Verbesserung der industriellen Energieproduktivität beigetragen haben (LAMMERS, MIEBACH, RECKER, 1978; HAMPICKE, 1979). Da die in den Energiebilanzen verwendete Sektoralstruktur relativ grob ist, muß der eigentliche Umstrukturierungseffekt bei stärkerer Aufgliederung größer ausfallen.

**396.** Neuere Untersuchungen ähnlicher Art (GARNREITER, LEGLER, 1980) bestätigen, daß der Umschichtungsprozeß zugunsten solcher Branchen verlief, die wenig Energie benötigen oder die ihren spezifischen Energieeinsatz stark senkten. Letzteres trifft vor allem für die Chemische Industrie zu, die zwar viel Energie verbraucht, ihre Energieproduktivität aber stark erhöhen konnte, wozu auch Änderungen der Produktionspalette beitrugen.

**397.** Eine Prognose der künftigen Entwicklungschancen der gesamten Industrie bzw. einzelner Industriezweige ist äußerst schwierig, zumal das Wachstum seit 1973/74 von immer unterschiedliche-

ren Faktoren bestimmt wird. Die Abschätzung der Auslandsnachfrage wird zusätzlich erschwert durch protektionistische Tendenzen bei den wachstumsschwachen Grundstoff- und Produktionsgüterindustrien, die auch stagnierende Sektoren der Investitionsgüterindustrie ergreifen könnten. Gleichzeitig drängen die Entwicklungsländer mit Exporten in Güterbereiche, die arbeits- und teilweise kapitalintensiv sind, sich aber durch niedrige Humankapitalintensität auszeichnen. Der sektorale Strukturwandel wird sich darum mit größter Wahrscheinlichkeit in der bereits beschriebenen Richtung fortsetzen und eher zum Nachteil der energieintensiven Produktionsrichtungen (Ausnahme: Chemische Industrie) ausfallen.

Die durch Umstrukturierung bedingte unterschiedliche Entwicklung von Industrieproduktion und Endenergieverbrauch wird darum auch in den nächsten Jahren anhalten und sich bei ansteigenden Energiepreisen sogar noch deutlicher ausprägen. Der marktbedingte Anpassungsprozeß tendiert damit zu einer Industriestruktur, deren energiebedingte Umweltbelastung abnimmt. Auch unter beschäftigungspolitischen Gründen gibt es wenig Anlaß, diesen Sektorwandel (etwa über eine Politik gezielter Energieverbilligung) zu bremsen, da auf diese Weise eine längerfristig wenig überlebensfähige Arbeitsplatzstruktur konserviert würde.

#### 2.3.1.3.2 Rationalisierungseffekte beim Endenergieeinsatz

**398.** Unter Berücksichtigung der erläuterten sektoralen Umstrukturierung müssen rd. drei Viertel des zwischen 1960 und 1975 beobachteten Rückgangs des spezifischen Energieverbrauchs durch andere Faktoren erklärt werden. Einer der wichtigsten Faktoren ist die Energieeinsparung durch Änderung der Produktionsverfahren und Fertigungsprozesse, aber auch durch Einzelmaßnahmen zur Senkung des Energieverbrauchs.

*Einen groben Überblick über den Endenergieverbrauch je DM preisbereinigten Umsatzes für die wichtigsten der in den Energiebilanzen ausgewiesenen Industriezweige gibt Tab. 2.4 für die Jahre 1960 und 1975. Die Zahlenwerte liefern allerdings keine eindeutige Aussage über die technische Entwicklung der Verbrauchskoeffizienten, da sie teils erheblich vom Auslastungsgrad der Produktionsanlagen und damit von der jeweiligen konjunkturellen Situation beeinflusst werden. Unterauslastungen bewirken vielfach eine Überhöhung der Verbrauchswerte, Vollaustlastungen lassen hingegen die Koeffizienten fallen. Besonders deutlich wird dies für den übrigen Bergbau, der im Jahre 1975 eine beachtliche Unterauslastung verzeichnete, aber auch bei anderen Branchen dürfte schlechte Beschäftigung zu überhöhten Werten geführt haben. Insgesamt zeigt sich ein deutlicher Trend zu höherer Energieproduktivität.*

*Neue Daten (Tab. 2.5) zeigen, daß sich diese Entwicklung fortgesetzt hat (vgl. auch KARL, 1980). Mit Ausnahme der Gießereien nahm die Nettoproduktion überall schneller zu als der Energieverbrauch. In einigen Branchen nahm der Energieverbrauch trotz steigender Produktion von 1973 auf 1979 sogar absolut deutlich ab (Mineralölverarbeitung, Steine und Erden, Herstellung und Verarbeitung von Glas, Elektrotechnik).*

399. Der statistisch nachgewiesene Einspareffekt, der auf eine mindestens temporäre Entkopplungstendenz hinweist, kann verschiedene Gründe haben:

- Effekte unterschiedlicher Kapazitätsauslastung
- Intra-sektorale Produktionsverschiebungen
- bessere Umwandlung von Endenergie in Nutzungsenergie
- Einsparung von Nutzenergie durch energetische Verfahrensoptimierung

*Nur die beiden letzteren Vorgänge sind im eigentlichen Sinne Ausdruck eines rationellen Energieeinsatzes. Die dazu erforderliche bessere Wartung und Überwachung bzw. der Einsatz bekannter und erprobter zusätzlicher Technik oder die Entwicklung und Einführung neuer Verfahren (MEIXNER, 1980) bedeutet eine Substitution von Energieträgern durch die Faktoren Arbeit und/oder Sachkapital.*

400. Trendextrapolationen der bisherigen Entwicklung spezifischer Verbrauchskoeffizienten sind unsicher, wenn und soweit auch der Einspareffekt

bisher wenig bekannter und erprobter neuer Techniken berücksichtigt werden soll. Darüber hinaus hängt die Bereitschaft, solche Techniken einzuführen, vom Investitionsklima sowie von der zu erwartenden Preis- und sektoralen Kostenstruktur ab, die gegenwärtig kaum abschätzbar sind. Alle Quantifizierungsversuche des technisch und ökonomisch möglichen Einsparpotentials sind daher notwendigerweise spekulativ.

Für die Bundesrepublik Deutschland haben sich vor allem HAMPICKE sowie MEYER-ABICH et al. um eine Quantifizierung des technologisch bedingten Einsparungspotentials bemüht. Sie kommen zu dem Ergebnis, daß dieses für das Jahr 2 000 etwa 21 bis 25 % des industriellen Endenergieeinsatzes des Jahres 1973 beträgt, wobei die primären Einsparreserven im Bereich der energieintensiven Grundstoffindustrie gesehen werden (HAMPICKE, 1979; MEYER-ABICH et al., 1979). Betrachtet man die neueste Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs, so ergibt sich, daß dieses geschätzte Einsparpotential bei weitem überschritten wird, wenn der gegenwärtige

Tab. 2.4

Spezifischer industrieller Endenergieverbrauch in den Jahren 1960 und 1975, gemessen in g SKE pro DM preisbereinigter Umsatz

Industriezweig <sup>1)</sup>	1960						1975					
	insgesamt	Stein- und Braunkohle	Mine- ralöl	Gas	Strom	Fern- wärme	insgesamt	Stein- und Braunkohle	Mine- ralöl	Gas	Strom	Fern- wärme
Übriger Bergbau (51) . . . . .	573	412	68	2	92		920	6	217	540	157	
Steine und Erden (52) . . . . .	970	747	165	7	51		597	46	354	143	53	1
Eisensch. Industrie (53) . . . . .	1 267	633	78	495	61		885	354	140	315	73	2
NE-Metallindustrie (56) . . . . .	263	110	48	26	78		221	29	41	36	115	
Chemische Industrie (57) . . . . .	537	293	75	45	114	10	233	27	59	67	74	7
Zellstoff-, Papier- und Pappe- erzeugung (58) . . . . .	599	343	145	0	110		587	51	309	77	144	6
Übrige Grundstoff- und Produk- tionsgüterindustrie (54, 55, 59, 60) . .	178	105	22	27	22	2	139	22	52	32	30	2
Maschinenbau (61) . . . . .	45	21	10	6	8	0	43	3	21	9	10	0
Fahrzeugbau (62) . . . . .	57	19	17	7	14		58	3	21	17	17	0
Elektrotechn. Feinmechanik, Optik (63) . . . . .	39	16	10	3	10	1	29	1	14	4	9	0
EBM-Waren (64) . . . . .	82	26	18	24	12	1	77	1	35	25	15	1
Übrige Investitionsgüter- industrie (65) . . . . .	48	19	13	8	8		30	1	13	9	7	0
Glas und Feinkeramik (66) . . . . .	530	184	215	102	29		431	2	189	197	43	1
Textilgewerbe (68) . . . . .	144	99	21	1	20	3	114	7	59	20	23	5
Übrige Verbrauchsgüter- industrie (67, 69) . . . . .	39	20	12	1	7		45	2	25	5	12	1
Nahrungs- und Genußmittel- industrie (70, 71, 72) . . . . .	104	65	26	2	7	4	84	6	53	10	10	5

<sup>1)</sup> Die Nummern in den Klammern hinter den Namen der Industriezweige geben die Zeilennummern der Energiebilanzen an.  
Quelle: Zusammenstellung SR-U nach LAMMERS, MIEBACH, RECKER, 1978, S. 39—384

Trend mit gleicher Intensität anhält. Die Bereitschaft der Industrie, technische Einsparmöglichkeiten wahrzunehmen, ist offenbar größer als vielfach angenommen wird. Zudem zeigen sektorale Querschnittsanalysen, daß der Einspar- bzw. Investitionsanreiz deutlich mit zunehmender Energiekostenbelastung steigt (vgl. z. B. GARNREITER, LEGLER, KARL, 1980).

401. Alles in allem kann unterstellt werden, daß während der gegenwärtigen Anpassungsphase keine starke Kopplung von Energieverbrauch und industriellem Wachstum besteht. Da die Preise schneller stiegen als erwartet, übertreffen auch die realisierbaren Einsparpotentiale deutlich die ursprünglichen Erwartungen. Die Mobilisierung dieses Anpassungs- und Erneuerungspotentials wird allerdings nur dann den vollen möglichen Nutzen für die Umweltentlastung bringen, wenn dabei auch umweltschonende Techniken eingesetzt werden.

### 2.3.1.3.3 Substitutionseffekte beim Endenergieeinsatz

402. Neben dem rationellen Energieeinsatz wirkt sich auch ein Wandel der Energieträgerstruktur auf die Umweltbelastung aus. Da rd. drei Viertel des in-

dustriellen Endenergieeinsatzes der Erzeugung von Prozeßwärme dient, kommt den Feuerungen besondere Bedeutung zu. Im Hochtemperaturbereich ist vor allem Gas (insbesondere Erdgas), in anderen Fällen elektrische Energie, im Niedertemperaturbereich Fernwärme als umweltfreundliche Energie anzusehen. Einen Überblick über die Entwicklung des spezifischen Energieeinsatzes der einzelnen Energiearten für wichtige Industriezweige gibt Tab. 2.4.

403. Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß der Rückgang des spezifischen Endenergieeinsatzes von einem tiefgreifenden Substitutionsprozeß begleitet war, in dem zunächst Heizöl Kohle ersetzte, und dann Erdgas erst Kohle, ab 1973 auch Heizöl verdrängte (DOLINSKI, LABAHN, 1980; RAMMER, 1980). Seit kurzem findet eine Resubstitution von Öl durch Kohle statt, ohne daß schon von einer umfassenden Umstellung gesprochen werden kann. Praktisch über den ganzen Zeitraum besteht ein einheitlicher Trend zu vermehrtem Einsatz elektrischer Energie. Dies erklärt auch, warum sich die Produktivität der gesamten Endenergie von 1960 bis 1978 im Mittel um jährlich etwa 2 % erhöhte, während jene des Stromverbrauchs jährlich um etwa 1 % sank.

404. Dieser auf der Produktionsebene insgesamt als umweltentlastend zu bezeichnende Substitutionsprozeß war weniger Ausdruck einer Umwelt-

Tab. 2.5

### Entwicklung der Nettoproduktion und des Endenergieverbrauchs in der Industrie 1970—1979

Sektor	Index der Nettoproduktion (1970 = 100)			Index des Endenergieverbrauchs (1970 = 100)			Index des Endenergieverbrauchs bezogen auf Index der Nettoproduktion ( $I_E/I_N$ )		
	1973	1976	1979	1973	1976	1979	1973	1976	1979
Mineralölverarbeitung . . . . .	110,5	100,6	119,3	129,7	96,7	91,9	1,174	0,961	0,770
Gew. und Verarbeitung von Steinen und Erden . . . . .	109,5	96,1	110,7	111,7	88,2	82,3	1,020	0,918	0,743
Eisensch. Industrie . . . . .	112,1	96,9	106,2	103,7	90,2	83,8	0,925	0,931	0,836
NE-Metallerzeugung und -halbzeugwerke . . . . .	117,4	124,2	136,3	115,1	128,0	121,7	0,980	1,031	0,893
Gießereien . . . . .	92,2	84,6	88,4	93,9	101,4	114,8	1,018	1,199	1,299
Ziehereien, Kaltwalzwerke, Stahlverformung . . . . .	111,2	99,0	104,7	100,4	99,8	102,7	0,903	1,008	0,981
Maschinenbau . . . . .	100,4	98,1	102,0	99,4	92,1	97,2	0,990	0,939	0,953
Straßenfahrzeugbau . . . . .	112,0	115,8	136,1	110,7	107,1	112,7	0,988	0,925	0,828
Elektrotechnik . . . . .	121,5	125,5	136,1	99,1	95,7	86,4	0,816	0,763	0,635
Chemische Industrie . . . . .	126,8	132,3	146,3	112,2	117,1	130,1	0,885	0,885	0,889
Herstellung und Verarbeitung von Glas . . . . .	121,0	131,4	149,2	106,9	95,7	96,4	0,883	0,728	0,646
Holzbearbeitung . . . . .	116,0	118,4	125,9	118,9	106,3	121,7	1,025	0,915	0,967
Textilindustrie . . . . .	108,1	108,6	108,6	99,3	92,5	86,9	0,919	0,852	0,805
Ernährungsgewerbe . . . . .	110,9	118,5	118,5	106,6	114,1	111,6	0,961	0,963	0,878

Quelle: Aufbereitung des Statistischen Bundesamtes für SR-U



orientierung, sondern die Folge der Entwicklung der Faktorpreise. Steigende Durchschnittslöhne bzw. Lohnkosten lösten kapitalintensive Rationalisierungsprozesse aus, die einen vermehrten Strombedarf nach sich zogen. Gleichzeitig erwies sich die Verwendung von Kohle als arbeitsintensiv, ohne daß dies von der Preisseite her ausgeglichen worden wäre. Seit 1973, verstärkt seit 1979, vollzieht sich eine Loslösung vom Öl; soweit Substitution durch Gas erfolgt, ergibt sich eine Umweltentlastung, während beim Übergang auf Kohle spezielle Vorkehrungen zur Vermeidung von zusätzlichen Umweltbelastungen nötig sind. Der Übergang auf elektrische Energie führt tendenziell zu einer Verlagerung der Umweltprobleme auf die vorgeschaltete Energiebereitstellungsebene.

## 2.3.2 Energieverwendung in der Agrar- und Ernährungswirtschaft<sup>1)</sup>

### 2.3.2.1 Struktur des Energieverbrauchs

405. Der Energieeinsatz der Agrar- und Ernährungswirtschaft ist in der Energiebilanz nicht getrennt ausgewiesen, er ist vielmehr als Beitrag in den Sektoren des Endenergieverbrauchs enthalten. Nach vorliegenden Schätzungen (Bundesamt für Ernährung und Forstwirtschaft, BEF) betrug der direkte Energieeinsatz im agrarischen Bereich, d. h. ohne den Bedarf landwirtschaftlicher Haushalte, 1979 6,5 Mio t SKE = 190 PJ. Davon entfallen etwa 55 % auf die Landwirtschaft einschl. 9 % für Trocknung, Brennerei und Geflügelzucht, weitere 35 % auf den Gartenbau, der vor allem bei den Unterglaskulturen sehr energieintensiv ist; der Anteil der Forstwirtschaft und der Fischerei beträgt jeweils rd. 5 %. Der indirekte Energieaufwand für Handelsdünger, Pflanzenschutzmittel und für die Herstellung von landwirtschaftlichen Maschinen und Geräten liegt größenordnungsmäßig nur wenig unter dem direkten Energieeinsatz (44,5 % des Gesamtenergieverbrauchs). Dies ist vor allem auf den starken Einsatz von Handelsdünger (rd. 3,5 Mio t SKE) zurückzuführen. Die Zahlen verdeutlichen, daß selbst große Energiesparerfolge in der Landwirtschaft auf den gesamten Energieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland nur schwach durchschlagen werden.

*Für die Be- und Verarbeitung der agrarischen Urproduktion einschl. der zugehörigen Distribution, aber ausschließlich der unmittelbaren Zubereitung der Speisen, wurden 1979 rd. 10,2 Mio t SKE = 300 PJ Endenergie eingesetzt. Von diesem Gesamtverbrauch entfallen rd. 60 % auf das produzierende Ernährungsgewerbe, 20 % auf die Distribution, 15 % auf das Ernährungshandwerk und Kleinbetriebe sowie auf 5 % auf die Holzwirtschaft (BEF).*

406. Seit 1950 stieg der Einsatz kommerzieller Energie für Feldbestellung und Innenwirtschaft durch die Mechanisierung von 0,4 Mio t SKE auf fast

3,0 Mio t SKE, zugleich fiel die Zahl der Vollarbeitskräfte von rd. 3,9 Mio auf rd. 1 Mio. Damit erhöhte sich der Fremdenergieeinsatz je Vollarbeitskraft fast auf das 30fache, zugleich verdoppelte sich aber auch die Bruttobodenproduktion auf 62,7 Mio t Getreideeinheiten (GE). Trotz der Ölverteuerung hat der direkte Energieeinsatz in der Landwirtschaft seit 1973 immerhin noch um fast 16 % zugenommen. Im Gartenbau ist der Ölverbrauch seit 1973 bei weiter wachsenden Gewächshausflächen um 15 % bis 20 % zurückgegangen.

Bei der Be- und Verarbeitung durch die Ernährungswirtschaft ist der spezifische Energieeinsatz seit 1973 merklich zurückgegangen; er erreichte 1973 mit 6,43 Mio t SKE seinen höchsten Wert und stagniert seitdem zwischen 6,06 und 6,28 Mio t SKE/a. Seit 1973 hat sicher ferner eine deutliche Verschiebung zu Lasten von Kohle und Heizöl und zugunsten von Gas und elektrischer Energie eingestellt. Unter den einzelnen Wirtschaftszweigen des Ernährungsgewerbes hat die Zuckerindustrie sowohl den absolut größten Anteil als auch den höchsten spezifischen Verbrauch bezogen auf die Beschäftigten bzw. den Umsatz; einen Überblick über verschiedene Zweige des Ernährungsgewerbes gibt Tab. 2.6.

### 2.3.2.2 Energieeinsparungen in der Agrar- und Ernährungswirtschaft

407. Zwischen dem technischen Potential und dem wirtschaftlich realisierbaren Ausschöpfungsgrad für Energieeinsparung besteht eine erhebliche, kurzfristig nicht behebbare Diskrepanz. Quantitative Aussagen müssen dabei gegenwärtige direkte und indirekte Energieverbräuche, Preisentwicklungen und vielfältige einzelwirtschaftliche Zusammenhänge berücksichtigen; sie können daher nur Schätzungen sein. Neben den betrieblichen Einsparmöglichkeiten sind diejenigen im Wohnbereich von hoher Bedeutung; vielfach bieten sich dabei spezifische, für andere Haushalte nicht gegebene Chancen für rationelle Energienutzung oder für die Erschließung neuer Energiequellen im Verbund mit der Produktion. Bieten sich verschiedene Möglichkeiten, so sollten bei der Auswahl neben der rechnerischen Wirtschaftlichkeit auch die Ölsubstitution, die Umwelteffekte sowie die Arbeitsbedingungen angemessen berücksichtigt werden.

408. Mit 2,2 Mio t SKE/a stellt Dieselkraftstoff den Hauptanteil am Energieverbrauch der landwirtschaftlichen Produktion. Durch bessere Maschinen- und Motorentchnik sowie leistungsfähigere Methoden der Bodenbearbeitung und vereinfachte Fruchtfolgen stieg der Verbrauch in den letzten Jahren trotz steigender Schlepperleistungen nur noch wenig an. Eine Rückkehr zu den weniger mechanisierten Produktionsmethoden von 1949/50 würde etwa 3 Mio zusätzliche Vollarbeitskräfte und über 3 Mio zusätzliche Zugtiere — für welche auch Futter zu beschaffen wäre — erfordern und einen fühlbaren Rückschlag im allgemeinen Lebensstandard und der Nettonahrungsmittelproduktion auslösen. Ein Verzicht auf die hochmechanisierten Produktionsmethoden in der Landwirtschaft ist zwar theoretisch

<sup>1)</sup> Die agrar- und energiewirtschaftlichen Abschätzungen verdankt der Rat weitgehend einem Beitrag von Herrn Dr. U. Werschnitzky, Frankfurt.

## Endenergieeinsatz im Produzierenden Ernährungsgewerbe 1979

Zweige	Kohle 1000 t	Heizöl insg. 1000 t	Gas Mio m <sup>3</sup>	Strom Mio kWh	Endenergieeinsatz insgesamt		
					1000 t SKE	t SKE/a je Beschäftigten	t SKE je Mio DM Umsatz
Erzeugnisse aus Getreide und Kartoffeln . . . . .	56,6	306,4	191,4	1 153,0	868,3	8,70	59,4
Zuckerindustrie . . . . .	220,5	769,5	88,4	782,4	1 501,2	131,62	356,6
Milch- und Molkerei- produkte . . . . .	4,8	475,2	211,7	1 025,8	1 057,4	22,34	48,2
Öle und Fette . . . . .	9,8	61,8	92,4	445,4	262,9	22,62	40,1
Fleisch- und Fisch- verarbeitung . . . . .	3,12	150,0	57,8	676,1	371,6	4,46	18,7
Obst- und Gemüse- verarbeitung . . . . .	0,8	117,3	35,0	205,4	235,6	10,06	53,7
Bier, Wein, Spirituosen .	87,9	423,9	225,4	1 247,3	1 116,1	13,06	56,9
Kaffee- und Tee- verarbeitung . . . . .	4,8	67,0	12,4	157,6	135,2	10,45	15,1
Übriges Ernährungs- gewerbe . . . . .	5,8	148,1	52,1	749,8	374,3	4,71	24,6
Herstellung von Futter- mitteln . . . . .	0,9	126,0	29,2	558,3	283,8	20,78	37,6
Prod. Ernährungs- gewerbe . . . . .	394,9	2 645,1	995,7	7 001,1	6 207,0	13,27	50,3

Quelle: Nach Statistisches Jahrbuch über Ernährung, Landwirtschaft und Forsten 1980 und Berechnungen des BEF

möglich und würde auch zu Energieeinsparungen führen; eine solche Resubstitution von Kapital durch Handarbeit wäre jedoch volkswirtschaftlich nicht zu rechtfertigen. Insofern handelt es sich hierbei auch nicht um eine Strategie rationeller Energie-  
nutzung im engeren Sinne.

**409.** Dagegen könnten technische Verbesserungen bei der Umwandlung von Motorenleistung in Gerä-  
tenutzleistung einen wesentlichen Beitrag leisten; eine Reduktion der Verluste von 70 % auf 60 % würde 300 Mio l (entsprechend 0,4 Mio t SKE) Dieselkraft-  
stoff einsparen. Es sollte daher geprüft werden, ob durch eine bessere Anpassung von Maschinenlei-  
stungen an gewünschte Aufgaben sowie durch an-  
dere organisatorische und technische Maßnahmen Energie eingespart werden kann. In diesem Zusam-  
menhang muß auch überprüft werden, ob die Befrei-  
ung der Landwirtschaft von der Mineralölbesteue-  
rung noch in die energiepolitische Landschaft paßt. Zumindest sollte die Landwirtschaft nicht von Steuer-  
erhöhungen, die dem Ziel der Energieeinsparung  
dienen, ausgenommen werden.

Für Trocknung und Konservierung wurden im agrarischen Erzeugungsbereich 1979 etwa 350 000 t SKE  
aufgewendet; nach Untersuchungen des KTBL  
könnten durch verbesserte energiesparende Verfah-  
ren zwischen 15 % und 80 % eingespart werden; da-  
nach liegen Einsparungen bis zu 150 000 t SKE  
durchaus im Bereich des Möglichen.

**410.** Einsparungen beim indirekten Energiever-  
brauch sind nur sehr begrenzt möglich. Zwar muß  
für die Produktion von Mineraldünger Energie ein-  
gesetzt werden; der Gewinn an erzeugten Nahrungs-  
mitteln ist jedoch, in Energieeinheiten ausgedrückt,  
um ein Vielfaches höher (durchschnittlicher Multi-  
plikator 2,7). Gezielte Anwendung durch „harmoni-  
sche“ Düngung und optimale Wahl der Zeitpunkte  
für Stickstoffgaben können die Nährstoffnutzung  
verbessern und den weiteren Anstieg des Mineral-  
düngereinsatzes begrenzen. Die gestiegenen Dün-  
gerkosten dürften zusätzliche Anreize zum Abbau  
lokaler Überdüngungen geben. Die Energiebilanz im  
chemischen Pflanzenschutz ist sehr günstig (Auf-  
wand etwa 1 % des agrarischen Energieverbrauchs);

steigende Kosten, vor allem aber verbesserte Beratung und Überwachung sollten im Interesse der Umwelt- und Lebensqualität den Einsatz auf das notwendige Maß beschränken; Energieeinsparung ist dabei nur ein unbedeutender Nebeneffekt.

Weitere Möglichkeiten der Energieeinsparung ergeben sich aus einer standortgerechten Produktion, zumal diese durch höhere Erträge das energetische Ertrag-Aufwand-Verhältnis verbessert und den Aufwand für Pflanzenschutz reduziert. In der Bundesrepublik Deutschland haben Produktionsverlagerungen nur noch marginale Bedeutung, da längere Transportwege die Spareffekte weitgehend aufheben.

**411.** Im Weltmaßstab kann die Standortwahl für bestimmte landwirtschaftliche Erzeugnisse sicherlich noch optimiert werden. Zum Beispiel würde eine Lockerung der protektionistischen EG-Agrarpolitik, die ohnehin aus vielen Gründen dringlich ist, zu einer besseren Ausnutzung natürlicher Energiequellen (Sonnenenergie) führen und somit Energieeinsparungs- und Umweltentlastungseffekte an vergleichsweise ungünstigen Standorten wie der Bundesrepublik Deutschland bewirken.

Darüber hinaus weist der Rat darauf hin, daß die derzeitige Agrarpolitik nicht nur durch ihre Überproduktionsanreize, sondern auch durch die daraus folgenden Lagerhaltungsnotwendigkeiten einen Energieverbrauch künstlich hervorruft, der wirtschafts-, energie- und umweltpolitisch nicht zu rechtfertigen ist.

**412.** Der arbeits-, kapital- und energieintensive Gartenbau verwendet 90 % der Energie — vorwiegend Heizöl — in direkter Form als Heizenergie. Durch bauliche Maßnahmen (Wärmeschutz, bessere Flächenausnutzung), Änderungen der Heiztechnik (Untertischheizung, Luftheizung) und neue Wärmequellen (Wärmepumpen, Abwärme, Sonnenenergie, regenerierbare Brennstoffe) können zwischen 20 % und 40 % Heizleistung eingespart werden. Ohne nennenswerte Produktionseinbußen oder Produktionsumstellungen dürften Einsparungen bis zu 400 000 t SKE möglich sein. Mit der Süderweiterung der EG dürften darüber hinaus Produktionsverlagerungen erfolgen, die eine weitere, freilich nicht leicht quantifizierbare Energieeinsparung ergeben.

**413.** Das produzierende Ernährungsgewerbe verbraucht etwa 60 %, die Distribution etwa 20 % des Energieeinsatzes der Ernährungswirtschaft; Einsparbemühungen müssen sich daher auf diese Bereiche konzentrieren. Detaillierte Untersuchungsergebnisse über die weitverzweigten Transportsysteme bei der Erfassung landwirtschaftlicher Erzeugnisse und der Distribution von Nahrungsmitteln liegen nicht vor; es wird jedoch geschätzt, daß bessere Planung von Transporten unter Beachtung der leichten Verderblichkeit von Frischeerzeugnissen ein Sparpotential von 10 bis 15 % erschließen könnte. Wie bereits erwähnt, ist der spezifische Energieeinsatz im Ernährungsgewerbe seit 1973 zurückgegangen. Die großen Unterschiede in der Energieintensität der Bereiche lassen vermuten, daß weitere Energieeinsparungen durch Kraft-Wärme-

Kopplung, Wärmerückgewinnung sowie verbesserte Verarbeitungsverfahren und Verpackungsmethoden ermöglicht werden können. Das mittelfristige Potential kann auf 20 % geschätzt werden. Gewisse Energieeinsparungen dürften auch im Ernährungshandwerk möglich sein, das 1,5 Mio t SKE verbraucht; 7 % Einsparung entsprächen immerhin 0,1 Mio t SKE.

**414.** Im Ernährungsgewerbe stagniert der Energieverbrauch auf einem gegen 1973 leicht zurückgegangenen Niveau und dürfte angesichts der noch vorhandenen Einsparpotentiale auch künftig nicht nennenswert wachsen. Die Substitution unter den Energieträgern führte in den letzten Jahren zu einer deutlichen Umweltentlastung. Sollte sich künftig wieder ein stärkerer Einsatz von Kohle einstellen, entstehen die bekannten Emissionsprobleme (Abschn. 1.2.1.3; s. a. Kap. 1.4.3).

**415.** Energiesparmaßnahmen bei der Beheizung landwirtschaftlicher Haushalte könnten den Bedarf um bis zu 50 % des heutigen Verbrauchs senken und so bis zu 1,5 Mio t SKE — überwiegend leichtes Heizöl — einsparen; dies bedeutet, daß der Bedarf an Dieselkraftstoff für die Landbearbeitung zu einem großen Teil aus Einsparungen in landwirtschaftlichen Haushalten freigesetzt werden könnte. Eine besondere Möglichkeit für viehhaltende Betriebe ist die Nutzung biogener Wärme aus der Kühlung der Milch und aus der Abluft der Ställe in Verbindung mit Wärmepumpen. Für rd. 15 000 Betriebe — mit Bestandsgrößen ab 40 Milchkühen oder 400 Schweinen — besteht die Chance zur zusätzlichen Einsparung von etwa 50 000 — 80 000 t SKE. Eine Übersicht über die Einsparmöglichkeiten gibt Tab. 2.7.

Tab. 2.7

Energiesparpotentiale in der Agrar- und Ernährungswirtschaft

	Sparpotential in 1000 t SKE/a
Dieseldieselkraftstoff (Landbearbeitung) . . . .	400
Trocknung und Konservierung . . . . .	150
Gartenbau . . . . .	400
Biogene Wärme für den Haushalt . . . . .	50
Einsparpotential der Agrarwirtschaft . . . . .	1 000
Produzierendes Ernährungsgewerbe . . . . .	1 200
Distribution . . . . .	200
Ernährungshandwerk . . . . .	100
Einsparpotential der Ernährungswirtschaft . . . . .	1 500
Wärmeschutz landwirtschaftl. Haushalte . . . . .	1 500
insgesamt . . . . .	4 000

Quelle: Abschätzungen SR-U

### 2.3.2.3 Erschließung neuer Energiequellen im Agrarbereich

416. Durch Umwandlung von Sonnenenergie in Biomasse ist die Agrarwirtschaft der einzige Wirtschaftszweig der einen Nettoenergiegewinn erzielt; darüber hinaus begünstigt die Verfügbarkeit von Fläche die Nutzung von solarer Strahlungsenergie, von Windkraft und Umgebungswärme. Einen Überblick über die Möglichkeiten der energetischen und chemischen Nutzung der Biomasse gibt Abb. 2.5. Zur Abschätzung der Potentiale wird auf Kap. 2.2.2. verwiesen. Für die Agrarwirtschaft ergeben sich die folgenden spezifischen Aspekte.

417. Landwirtschaftliche Biomasse dient bislang vor allem der Bereitstellung von Nahrungs- und Futtermitteln; ihre Nutzung als chemischer Rohstoff und Energieträger ist weitgehend auf Abfälle und Reststoffe beschränkt. Neuerdings werden darüber hinaus Techniken zur energetischen oder chemischen Nutzung dafür geplanter Kulturen diskutiert (MEINHOLD, 1981). Die Verbrennung oder Vergasung von Stroh, die Gewinnung von Biogas aus Fäkalien, ggf. auch aus vegetabilen Pflanzenresten sind die wichtigsten energetischen Möglichkeiten, die vielfach zugleich auch eine umweltfreundliche Entsorgung ermöglichen.

Aus stärke- und zuckerhaltigen Produkten kann durch Vergärung und Destillation Äthanol als Kraftstoff gewonnen werden; Pflanzenöle können als Die-

selkraftstoff Verwendung finden. Die Energiebilanzen dieser Prozesse werden durch neuere Techniken laufend verbessert (Supramyl-Verfahren); die hohen Kosten und die Zweckentfremdung von Nahrungs- und/oder Futtermitteln bleiben problematisch.

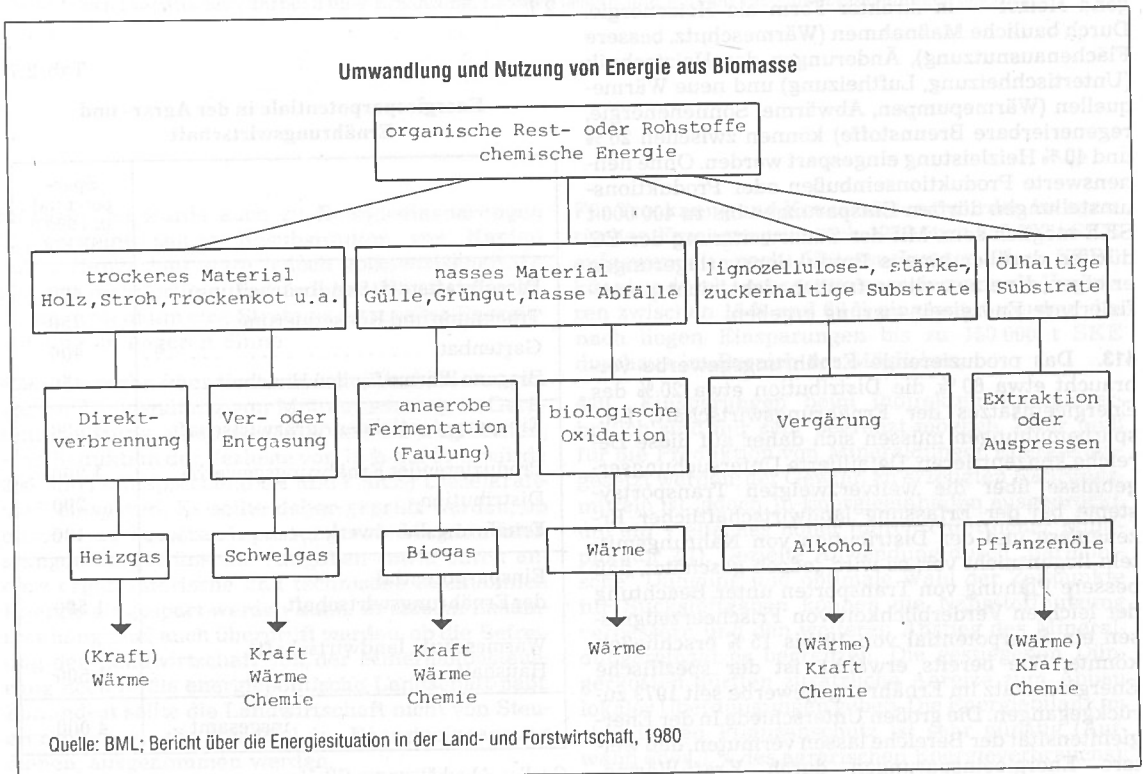
In der Forstwirtschaft fallen bedeutende Mengen Restholz an, das bisher überwiegend im Wald verblieb, da eine wirtschaftliche Nutzung nicht möglich schien; steigende Holz- und Energiepreise haben bereits zu einer stärkeren Nutzung als Rohstoff oder Brennholz geführt. Dieser Trend könnte sich schnell ausweiten.

418. Für die Verbrennung oder Vergasung von Stroh kommen nicht nur die etwa 5 Mio t „Problemstroh“ in Frage, sondern ohne Nachteil für die Bodenfruchtbarkeit auch beträchtliche weitere Anteile des Gesamtstrohanfalls.

*In Getreidebaubetrieben übersteigt der Strohanfall wesentlich die eigenen Nutzungsmöglichkeiten; nur überbetriebliche Kooperation, ggf. auch die Einbeziehung von nichtlandwirtschaftlichen Haushalten könnte eine weitgehende Ausschöpfung des Potentials ermöglichen. In typischen Getreideanbaugebieten könnten die anfallenden Strohüberschüsse Vergasungsanlagen mit anschließender Gasverwertung im technischen Maßstab lohnend machen.*

419. Nach Untersuchungen landwirtschaftlicher Bundesanstalten (FAL, KTBL) könnten bei weiter steigenden Ölpreisen Biogasanlagen künftig schon

Abb. 2.5





ab 15 Großvieheinheiten (GVE)<sup>1)</sup> wirtschaftlich werden. Da etwa zwei Drittel des Viehbestandes in Betrieben oberhalb 15 GVE vorliegen, könnten theoretisch etwa 1,5 Mio t Heizöl ersetzt werden. Betriebe bis 30 GVE dürften etwa 90 %, Betriebe bis 50 GVE etwa 70 % des Gases selbst verwerten können. Größere Betriebe können erhebliche Gasüberschüsse haben; die Verstromung oder Kooperation mit Nachbarn kann wirtschaftlich sein, wenn angemessene Randbedingungen dafür geschaffen werden. Für Bestände um 100 GVE erreicht die Biogasproduktion bereits jetzt die Schwelle der Wirtschaftlichkeit, sofern Eigenstrom erzeugt werden kann und angemessene Vergütungen für Überschussstrom bezahlt werden. In dieser Betriebsgröße ergibt sich ein Potential von rd. 0,6 Mio t SKE; damit wären u. a. 70 % der Legehennenhaltung und 95 % der Masthühnerhaltung (Großbetriebe) erfaßt. Eine quantitative Abschätzung des Potentials der Biomasse gibt Tab. 2. 8.

**420.** Für einige Betriebe der Ernährungswirtschaft, insbesondere Schlachthöfe, Hefefabriken, Molkereien, kann die Biogasproduktion eine wesentliche Reduktion der BSB<sub>5</sub>-Belastung ihrer Abwässer bewirken und zugleich einen fühlbaren Beitrag zur eigenen Energieversorgung leisten.

**421.** Die volle Erschließung des Energiepotentials aus Biomasse und sonstigen regenerativen Quellen erfordert nicht nur die technische Ausreifung der Anlagen, sondern auch die Entwicklung geeigneter organisatorischer und rechtlicher Formen für die wirksame Kooperation zwischen den Betrieben und den möglichen Energieverbrauchern. Nach Ansicht des Rates läßt es der technische Stand der Entwicklung zweckmäßig erscheinen, nunmehr auch diesen Fragen verstärkt öffentliche Aufmerksamkeit zu widmen.

<sup>1)</sup> Eine Großvieheinheit entspricht 500 kg Lebendgewicht.

## 2.4 Energieverbrauch von Haushalten und Kleinverbrauchern

### 2.4.1 Energiestruktur

**422.** Im Vergleich zu den Bereichen Industrie und Verkehr verzeichnete der Sektor Haushalte und Kleinverbraucher im Jahre 1979 mit einem Anteil von 43,7% den höchsten Endenergieverbrauch aller Sektoren. Der Energiebedarf wuchs hier während der vergangenen Jahrzehnte wesentlich rascher als in den übrigen Sektoren; noch wichtiger als die absolute Verbrauchssteigerung waren die Verschiebungen im relativen Anteil der verschiedenen Energieträger. Während 1950 noch etwa 90 % des Energiebedarfs von Haushalten und Kleinverbrauchern durch feste Brennstoffe (Steinkohle und Braunkohle) gedeckt wurde, war dieser Anteil bis 1979 auf 6,4% gesunken. Durch Gas wurden 1979 17,2% des Energiebedarfs gedeckt, durch Strom 15,4% und durch Fernwärme 3,6%. Der bei weitem höchste Verbrauchsanteil entfällt auf das Heizöl; trotz des Rückgangs von der Verbrauchsspitze von 60,3% im Jahre 1973 belief er sich immer noch auf 54,9% des Gesamtverbrauchs im Jahre 1979 (SCHMITZ, 1980).

**423.** Vom Gesamtverbrauch des Sektors Haushalte und Kleinverbraucher entfiel 1977 der überwiegende Teil (63%) auf den Bereich der privaten Haushalte. Die verbleibenden 37% entfielen auf die sogenannten „Kleinverbraucher“, zu denen alle öffentlichen Einrichtungen (Verwaltungsgebäude, Schulen, Krankenhäuser etc.) gerechnet werden, wie auch die Landwirtschaft, Handwerks- und Gewerbebetriebe mit weniger als 10 Beschäftigten, das Baugewerbe, Handels- und Dienstleistungsunternehmen und alle sonstigen Geschäfts- und Bürogebäude. In beiden Teilbereichen wird Energie vornehmlich in der Form von Niedertemperatur-Wärme für Raumheizung und Warmwasser verbraucht (vgl. Abb. 2.6). Bei den privaten Haushalten schätzt man den Anteil dieser beiden Verwendungszwecke auf 92% des Gesamtverbrauchs. Der Rest von 8% wird je etwa zur Hälfte zum Kochen und Backen (mit Gas oder Strom) und für elektrische Haushaltsgeräte, Licht und Unterhaltungselektronik eingesetzt.

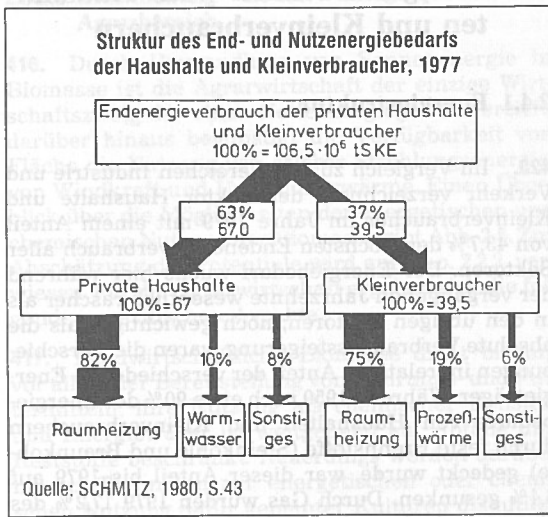
Tab. 2.8

Nachwachsende Energiequellen in der Agrarwirtschaft

	Potential		techn. und ökologisch unbedenklich erschließbar in 1000 t SKE/a	wirtschaftlich in absehbarer Zeit erschließbar in 1000 t SKE/a
	nat. Einheit	in 1000 t SKE/a		
Holzabfälle .....	23 Mio m <sup>3</sup> /a	5 000	2 000	1 000
Schwachholz .....	5 Mio m <sup>3</sup> /a	1 000	1 000	400
Abfallstroh .....	5 Mio t/a	2 000	2 000	2 000
Sonstiges Stroh .....	20 Mio t/a	8 000	3 500	2 000
Biogas .....	6,5 Mrd m <sup>3</sup> /a	5 000	2 000	600
Summe ...		21 000	10 500	6 000

Quelle: Berechnungen und Abschätzungen SR-U

Abb. 2.6



Angesichts der Verteuerung von Mineralöl haben im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher erhebliche Bemühungen um eine Verminderung des Energiebedarfs und um eine Substitution des Mineralöls durch andere Energieträger eingesetzt, die sich bei weiter steigenden Preisen gewiß noch verstärken werden.

### 2.4.2 Möglichkeiten der rationellen Energieverwendung

424. Die Möglichkeiten der Energieeinsparung werden hier schwerpunktmäßig für den Bereich der privaten Haushalte dargestellt, der insgesamt viel homogener und deshalb auch in den bisher vorliegenden Untersuchungen besser erfaßt ist als der in sich uneinheitliche Sektor der Kleinverbraucher. Da jedoch auch bei den Kleinverbrauchern der weit überwiegende Energieanteil für die Raumheizung aufgewandt wird, sind jedenfalls die darauf bezogenen Aussagen für beide Bereiche relevant. Die Darstellung beschränkt sich auf die einleitend (Kap. 2.1) genannten Möglichkeiten der „rationellen Energieverwendung“.

#### 2.4.2.1 Maßnahmen zur Verminderung des Endenergiebedarfs

##### Haushaltsgeräte

425. Derzeit beträgt der Aufwand für Kochen, Kühlen, Waschen, Beleuchtung, Fernsehen und andere Haushaltsgeräte nur 8% des Endenergieverbrauchs der privaten Haushalte. Da aber die Ausstattung der Haushalte unterschiedlich und gerade bei den besonders energieintensiven Haushaltsgeräten die Sättigungsgrenze noch nicht erreicht ist, kann die Bedeutung dieses Bereichs für den künftigen Ener-

gieverbrauch nicht vernachlässigt werden. Die bisher vorliegenden Untersuchungen über Einsparmöglichkeiten, die bereits beim gegenwärtigen Stand der Technik verwirklicht werden können, sind von LUHMANN (1979) im Rahmen der BMFT-Studie „Energieeinsparungen als neue Energiequelle, wirtschaftspolitische Möglichkeiten und alternative Technologien“ zusammenfassend dargestellt worden.

Die Studie versucht, die „Spannweite des Stromverbrauchs im Sättigungsfall“ zu ermitteln, indem sie für die verschiedenen Haushaltsgeräte jeweils den Pro-Kopf-Energieverbrauch beim Einsatz von Geräten nach derzeitigem Stand und beim Einsatz energetisch optimal ausgelegter und rationell eingesetzter Geräte miteinander vergleicht (Tab. 2.9). Unterstellt wird dabei in beiden Fällen eine 100%ige Verbreitung der betreffenden Geräte, was etwa bei Kühlschränken und Waschmaschinen (Sättigungsgrad 1978 etwa 90%) durchaus realistisch, aber bei Gefriergeräten (Sättigungsgrad 1978 50%) und bei Geschirrspülern (Sättigungsgrad 1978 nur 17%) kaum kurzfristig möglich erscheint (Tab. 2.10). Die daraus abgeleiteten Verbrauchswerte enthalten also eine tendenzielle Überschätzung der künftigen Nachfrage. Bei Beleuchtung, Unterhaltungselektronik und mechanischen Geräten geht die Studie davon aus, daß der Effekt technischer Einsparungsmöglichkeiten

Tab. 2.9

#### Spannweite der künftigen Elektrizitätsnachfrage der Haushalte

Elektrizitätsbedarf	Minimum	Maximum
	in kWh/P · a	
Beleuchtung . . . . .	100	100
Kühlgeräte . . . . .	225	575
Kochen . . . . .	70	125
Wäschepflege . . . . .	100	380
Geschirrspülmaschine . . . . .	90	290
Kraft und Sonstiges . . . . .	100	100
Zusammen . . . . .	685	1 570

Quelle: LUHMANN, 1979, S. 218

Tab. 2.10

#### Ausstattung mit Haushaltsgeräten

Von je 100 Haushalten besaßen	1970	1975	1978
Kühlschränke . . . . .	92	92	93
Waschmaschinen . . . . .	74	86	89
Elektroherde . . . . .	61	68	73
Heißwasserbereiter . . . . .	44	46	44
Gefriergeräte . . . . .	21	41	50
Geschirrspüler . . . . .	4	12	17

Quelle: Hauptberatungsstelle für Elektrizitätsanwendung e. V., Statistisches Faltblatt 1979

durch die zu erwartende Steigerung des Pro-Kopf-Verbrauchs kompensiert wird. Wesentliche Einsparungsmöglichkeiten ergeben sich dagegen bei Kühlgeräten und Elektroherden, teilweise bedingt durch eine erwartete Umstellung auf Gasherde. Die bedeutsamsten Einsparmöglichkeiten ergeben sich bei der Wäschepflege (Anschluß der Waschmaschinen an die Warmwasserleitung und Benutzung leistungsfähiger Schleudern vor der elektrischen Wäschetrocknung) und bei Geschirrspülmaschinen (Einführung von Warmwasseranschlüssen und energiesparenden Spülprogrammen). Die hier erzielbaren Strom-Einsparungen würden allerdings zum Teil durch eine Erhöhung des Gas- und Warmwassereinsatzes aufgewogen. Insgesamt ließe sich nach Aussage der Studie durch die Ausnutzung bereits heute realisierbarer technischer Sparmöglichkeiten der Pro-Kopf-Stromverbrauch etwa halbieren. Dies bezieht sich jedoch wohlgerne auf einen hochgerechneten Sättigungszustand, nicht auf den derzeitigen Ausstattungsgrad.

den. Das bei weitem größte Einsparpotential liegt jedoch bei der Wärmedämmung.

**428.** Die Wärmeabgabe an die Außenwelt ist einmal abhängig von der Wärmedurchlässigkeit der Umhüllungsfläche eines Gebäudes, zum anderen vom Verhältnis zwischen dieser Umhüllungsfläche und dem Gebäudevolumen. Das bedeutet, daß bei gleichem mittlerem Wärmedurchgangskoeffizienten freistehende Einfamilienhäuser mit einem ungünstigen Oberflächen-/Volumenverhältnis einen etwa doppelt so hohen spezifischen Wärmebedarf haben wie Mehrfamilienhäuser. Ebenso bedeutsam ist jedoch für „klimagerechtes Bauen“ die Nutzung des passiven Sonnenwärmegewinns durch geeignete Orientierung der Fensterflächen (BRUNNER, 1977).

Die Wärmeisolation der Außenwände, Dächer, Keller, Fenster und Türen der Gebäude war bis vor kurzem in der Bundesrepublik Deutschland noch nicht Gegenstand gesetzlicher Regelung, auch wenn gewisse Mindestanforderungen z. B. in DIN 4108 seit 1969 festgelegt waren. Erst die aufgrund des Energieeinsparungsgesetzes (EnEG) von 1976 erlassene Wärmeschutzverordnung hat — bisher allerdings nur für Neubauten — höchstzulässige Wärmedurchgangskoeffizienten festgelegt. Während die mittleren  $k_m$ -Werte<sup>1)</sup> des Altbaubestandes der Bundesrepublik Deutschland oberhalb von  $1,3 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  liegen, führt die Wärmeschutzverordnung für Neubauten je nach Gebäudetyp zu  $k_m$ -Werten zwischen  $0,77$  und  $1,4 \text{ W/m}^2 \text{ K}$  (SIEVERTS, VOLWAHSEN, ROTH, 1980). Damit allerdings sind die heute technisch und ökonomisch realisierbaren Wärmeschutzmöglichkeiten bei weitem noch nicht ausgeschöpft. Auch die derzeit diskutierte Novelle, die eine Absenkung der  $k$ -Werte um 20—25% vorsieht, bleibt noch unterhalb der Möglichkeiten. Besonders positiv ist die Absicht, auch für Altbauten Normen zu entwickeln.

Rein technisch gesehen läßt sich der Wärmeverlust der Haushalte durch Wärmeschutz fast beliebig weit reduzieren (ATTLMAYR, 1979; HÖRSTER, 1980). Das „technisch sinnvolle“ Minimum wird dann durch die Notwendigkeiten der Belüftung und der Feuchtigkeitsregulierung definiert, es wird aber auch dann verfehlt, wenn die erfolgreiche Wärmedämmung zusätzlichen Energieeinsatz zur Kühlung der Räume erfordert. In Auswertung der vorliegenden Studien kommt LUHMANN (1979) zu dem Ergebnis, daß bei Annäherung an die technisch sinnvolle Grenze der Wärmedämmung eine Halbierung des Heizwärmebedarfs pro Person möglich sei.

**429.** Insgesamt ist festzustellen, daß die erwartete höhere Energie-Dienstleistung in den privaten Haushalten bei Ausnutzung der technisch bereits gegebenen Einsparmöglichkeiten sogar mit einem gegenüber heute geringeren Nutzenergie-Einsatz erbracht werden kann. Wenn dagegen die gegenwärtig vorherrschenden technischen Modalitäten der Energieverwendung auch in Zukunft angewandt würden, wäre auf dem „Sättigungsniveau“ der Energie-Dienstleistung der Endenergieverbrauch der privaten Haushalte gegenüber heute um die Hälfte höher (Tab. 2.11).

<sup>1)</sup>  $k$ -Werte sind definiert als Leistung je Fläche und Temperaturdifferenz und werden gemessen in  $\text{W/m}^2 \text{ K}$ ;  $k_m$ -Werte kennzeichnen den mittleren Wärmedurchgang der Gebäudeoberfläche.

## Warmwasserbedarf

**426.** Die Studie von LUHMANN rechnet wegen der aus energetischen Gründen sinnvollen Umstellung von Waschmaschinen und Geschirrspülern auf Warmwasserbetrieb bei der energetisch optimalen Ausstattung der Haushalte mit einem gewissen Anstieg des Wasserwärmebedarfs pro Person (P). Dabei werden allerdings technische Möglichkeiten der Energieeinsparung durch die bessere Isolierung von Warmwasserspeichern und vor allem durch die Absenkung des Warmwassertemperaturniveaus (von heute  $60$ — $70^\circ \text{ C}$  auf das praktisch ausreichende Niveau von  $45$ — $50^\circ \text{ C}$ ) außer acht gelassen. Die Schätzung eines Wärmebedarfs für die Warmwasserversorgung von etwa  $1100 \text{ Mcal/P} \cdot \text{a}$  ( $4,6 \text{ GJ/P} \cdot \text{a}$ ) ist also vermutlich überhöht.

## Heizwärmebedarf

**427.** Der Heizwärmebedarf der privaten Haushalte ist abhängig von den folgenden Faktoren:

- Bevölkerungszahl,
- durchschnittlich beheizte Wohnfläche,
- Raumtemperatur und
- Wirksamkeit des Wärmeschutzes.

Während die Bevölkerungszahl nach den vorliegenden Prognosen weiter zurückgehen wird, nimmt die Zahl der Ein- und Zweipersonen-Haushalte vermutlich noch zu. Deshalb rechnet man auch mit einem weiteren Ansteigen der durchschnittlich beheizten Wohnfläche von ca.  $28 \text{ m}^2/\text{P}$ ., wobei auch die weiter voranschreitende Umstellung von Ofenheizungen auf Sammelheizungen zur Ausdehnung der tatsächlich beheizten Wohnfläche beiträgt. Andererseits kann ohne Komfortverzicht durch eine präzisere Regelung der Raumtemperatur und der Beheizungs-dauer der Wärmeverbrauch spürbar gesenkt wer-



Tab. 2.11

Varianten des Nutzenergiebedarfs der Haushalte in MJ/P · a

	im Sättigungsniveau		heute
	Minimum	Maximum	
Wärmebedarf .....	17 200	28 600	20 200
davon:			
Heizwärme .....	12 500	25 000	18 200
Wasserwärme .....	4 600 <sup>1)</sup>	3 600	
Prozeßwärme (Kochen per Gas) ...	100	—	2 000
Elektrizitätsbedarf .....	2 500 <sup>1)</sup>	5 650	2 100
Nutzenergiebedarf .....	19 700	34 250	22 300

<sup>1)</sup> Umschichtung eines Teils des Warmwasserbedarfs von Haushaltsmaschinen auf die zentrale Warmwassererzeugung, deshalb mehr Warmwasserwärme und weniger Elektrizitätsbedarf.

Quelle: LUHMANN, 1979, S. 219

#### 2.4.2.2 Maßnahmen zur Verminderung des Primärenergie-Einsatzes

**430.** Während der Energiebedarf für Licht, Kommunikation und Kraft bei Haushalten und Kleinverbrauchern im wesentlichen nur durch elektrische Energie gedeckt werden kann, läßt sich die Niedertemperaturwärme für Gebäudeheizung und Warmwasserbereitung durch Nutzung verschiedenster Energieträger und -verfahren erzeugen, die sich in ihrer energetischen Effizienz wesentlich voneinander unterscheiden. Die energetische Effizienz, hier definiert als „Jahresnutzungsgrad“ der eingesetzten Primärenergie im Verhältnis zur erzielten Nutzenergie, wird einerseits durch die Energieverluste bei der Erzeugung, der Umwandlung, dem Transport und der Verteilung beeinflusst, andererseits aber auch durch die „Energiegewinne“, die manche Wärmeversorgungssysteme aus der Nutzung der Umgebungswärme und Strahlungsenergie ziehen können. Bei dem nachfolgenden Überblick über die verschiedenen Wärmeversorgungssysteme (SIEVERTS, VOLWAHSEN, ROTH, 1980) wird generell unterstellt, daß elektrischer Strom in thermischen Kraftwerken ohne Kraft-Wärme-Kopplung erzeugt wird. Gegenwärtig stehen in der Bundesrepublik Deutschland vor allem die folgenden nach Jahresnutzungsgraden geordneten Wärmeversorgungssysteme zur Wahl:

**ELEKTROSPEICHERHEIZUNG:** Sie hat den ungünstigsten Nutzungsgrad von nur 30%. Wirtschaftlich diskutabel wird sie nur in der Form von Nachtspeicherheizungen, solange noch ansonsten schwer verwertbare Leistungsüberschüsse von Grundlast-Kraftwerken während der nächtlichen Verbrauchstaler zu nutzen sind.

**ÖLKESSEL:** Je nach der Auslegung und Dimensionierung der Heizanlagen variiert hier der Nutzungsgrad zwischen 63 und 68%. Schlechtere Nutzungsgrade ergeben sich insbesondere durch die noch weithin übliche Überdimensionierung der Heizanlagen. Dies bedeutet auch, daß beispielsweise eine Verminderung des Heizwärmebedarfs

durch wirksamere Wärmedämmung ohne entsprechende Anpassung der Ölkesselheizung zu einer Verschlechterung des Nutzungsgrades führen kann.

**GASKESSEL:** Sie arbeiten mit einem geringfügig höheren Nutzungsgrad von 70—74% unter Einsatz von Erdgas als Primärenergie. Ihr hauptsächlich wirtschaftlicher Vorteil gegenüber der Ölkesselheizung liegt im Verzicht auf individuelle Vorratshaltung.

**SOLARRÜCKLAUFERWÄRMUNG:** Sie kombiniert den Heizkreislauf einer üblichen Öl- oder Gaskesselheizung mit Sonnenkollektoren, wobei das rückfließende Heizwasser nur dann über die Kollektoren geleitet wird, wenn deren Temperatur höher liegt. Sie erlaubt mit verhältnismäßig geringen Zusatz-Investitionen eine Steigerung des Nutzungsgrades von Ölkessel-Heizungen auf insgesamt etwa 78%.

**FERNWÄRME:** Unter energetischen Gesichtspunkten ist die Erzeugung von Fernwärme aus Heizkraftwerken und durch Nutzung industrieller Abwärme (also nicht aus reinen Heizwerken) besonders sinnvoll, weil dabei ein Teil der andernfalls verlorengehenden Abwärme genutzt werden kann. Zwar sinkt durch die Auskopplung von Fernwärme die Effizienz der Stromerzeugung, aber während beim reinen thermischen Kraftwerk weniger als 40% der eingesetzten Energie genutzt werden, steigt der Gesamtnutzungsgrad bei der Kraft-Wärme-Kopplung auf 78%. Betrachtet man allein den für die Erzeugung von Fernwärme erforderlichen zusätzlichen Primärenergieeinsatz, so liegt dessen Nutzungsgrad sogar bei 300—400%. Allerdings sind die Leitungskosten hoch, so daß der wirtschaftliche Einsatz der Fernwärme relativ geringe Transportentfernungen von maximal 40 km und hohe Wärmeverbrauchsichten voraussetzt.

**BLOCKHEIZKRAFTWERKE:** Der Jahresnutzungsgrad dieser Form der Kraft-Wärme-Kopplung ist mit 80% geringfügig besser als der der Fernwärme. In kleinen Heizzentralen werden dabei mit Gas oder Mineralölprodukten betriebene Motoren oder Turbinen eingesetzt. Sie erzeugen über Generatoren elektrischen Strom, der ins Netz eingespeist wird, während ihre Verlustwärme (Kühlung und Abgase) für die Raumheizung und Warmwasserversorgung genutzt wird. Wegen ihrer geringeren Kapazität eignen sich Blockheizkraftwerke besonders für die Nahwärme-Versorgung



von geschlossenen Siedlungen außerhalb der großen Ballungsgebiete und für den planmäßigen Aufbau größerer Fernwärmenetze auf dem Weg der späteren Verkopplung einzelner „Versorgunginseln“.

**ELEKTROMECHANISCHE WÄRMEPUMPEN** (monovalent und bivalent): Wärmepumpen sind in der Lage, unter Einsatz von mechanischer Energie die Ausgangstemperatur eines Wärmemediums anzuheben. Sie erlauben damit die Nutzung des vorhandenen Wärmepotentials der Umgebungsluft, des Erdbodens, der Oberflächengewässer, des Grundwassers oder von warmen Abwässern. In Verbindung mit einem Ölkessel zur Deckung des Spitzenbedarfs steigt der Gesamtwirkungsgrad auf 90% der eingesetzten Primärenergie. Noch höhere Werte können in Verbindung mit Solarabsorbern erzielt werden.

**GASWÄRMEPUMPE** (monovalent oder bivalent): Im Gegensatz zum elektromotorischen Antrieb der Elektrowärmepumpe arbeitet die Gaswärmepumpe mit einem Gasbrenner (Absorptionsprinzip) oder mit einem Verbrennungsmotor, dessen Kühlwasser- und Abgaswärme zusätzlich für Heizzwecke genutzt werden kann. Der Einsatz einer zusätzlichen Kesselheizung für den Spitzenbedarf kann dadurch entfallen; der Gesamtnutzungsgrad derartiger Anlagen kann auf 130–180% der eingesetzten Primärenergie steigen.

**SOLAR-WOCHENSPEICHER MIT ÖLKESSEL:** Im Gegensatz zur Solar-Rücklauferwärmung ist hier im Heizwasserkreislauf eine den Wärmebedarf einer Woche deckende Speicheranlage vorgesehen, die alternativ durch Sonnenkollektoren und Ölkessel aufgeheizt wird. Jeder Gewinn an Sonnenwärme kann hier verwertet werden; der Ölkessel wird nur eingesetzt, wenn die Speichertemperatur unter die Vorlauftemperatur sinkt. Bei größeren Anlagen, die für Wohnblöcke wirtschaftlich sind, ergibt sich dabei ein Nutzungsgrad von mehr als 180% der eingesetzten Primärenergie. Den technologischen Engpaß stellen geeignete Speichermedien dar.

Die beiden folgenden Systeme zeichnen sich durch die Nutzung andernfalls vergeudeter biologischer Energiequellen aus, ohne daß sie dabei besonders hohe Nutzungsgrade erreichen:

**HOLZSCHNITZELFEUERUNG/STROHFEUERUNG:** Wo ausreichende Mengen von Abfallholz oder Abfallstroh verfügbar sind, kann Heizwärme auch durch deren Direktverbrennung gewonnen werden. Der Gesamtnutzungsgrad derartiger Anlagen liegt zwischen 61 und 65%.

**BIOGASANLAGEN MIT TOTEM- (TOTAL ENERGY MODULE) GERÄT:** Aus der in der Landwirtschaft anfallenden Biomasse (Fäkalien und pflanzliche Abfälle) kann durch anaerobe Vergärung Methangas gewonnen werden, das sowohl zur Wärme- als auch zur Krafterzeugung eingesetzt werden kann.

**431.** Die Jahresnutzungsgrade von Öl- und Gaskesseln haben sich seit Mitte der 70er Jahre wesentlich verbessert. Bei Ölkesseln sind Jahresnutzungsgrade von 80%, bei Niedertemperaturheizanlagen auch von über 85% möglich. Inzwischen stehen spezielle Gaskessel vor der Serienfertigung, die durch Kondensation des Wasserdampfes Jahresnutzungsgrade von rund 90% erreichen (Brennwertkessel).

Die technische Verbesserung der konventionellen Heizkessel geht schon jetzt über die Annahmen der zitierten Studie hinaus, so daß auf diesem Feld noch größere Einsparungen zu erwarten sind. Diese Verbesserung kann auch zu einem großen Marktanteil der herkömmlichen Sammelheizung führen, doch

dürfte dadurch das Potential für Fernwärme und Nahwärme nur geringfügig abnehmen, so daß insgesamt eher zusätzlicher Rückgang beim Primärenergiebedarf eintritt.

**432.** Da sich die verschiedenen Heizungsformen erheblich im Grad ihrer technischen Ausreifung und in ihren Anlagekosten unterscheiden, darf nicht von vornherein unterstellt werden, daß es technisch oder wirtschaftlich vernünftig wäre, immer und überall die energetisch günstigste Heizungsart einzusetzen. Deshalb wäre es auch nicht sinnvoll, eine umweltpolitische Beurteilung ausschließlich auf die energetischen Kennziffern zu stützen und die Emissionswerte zu vernachlässigen (s. Tz. 351); erforderlich ist auch eine Einschätzung der realistischen Anwendungsmöglichkeiten unterschiedlicher Heizungsformen. Diese läßt sich ohne eine Berücksichtigung wirtschaftlicher Gesichtspunkte nicht gewinnen.

## 2.4.3 Wirtschaftliche Gesichtspunkte der Energiegewinnung

**433.** Sobald wirtschaftliche Gesichtspunkte ins Spiel kommen, geht es nicht mehr um die maximale Energieeinsparung, sondern um die Suche nach dem optimalen Verhältnis von Aufwand und Ertrag. Außerdem sind unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten die beiden bisher getrennt behandelten Einsparungsmöglichkeiten des Wärmeschutzes und der Wahl von Heizungssystemen zusammen zu behandeln. Generell gilt: Je höher der verbrauchsabhängige Heizkostenanteil ist, desto wirtschaftlicher werden zusätzliche Wärmeschutzmaßnahmen sein. Allerdings unterscheiden sich die für eine bestimmte Wärmedämmung erforderlichen Aufwendungen für die unterschiedlichen Gebäude- und Siedlungstypen in hohem Maße, und noch mehr unterscheiden sich für die verschiedenen Heizungsarten die Energiekosten und die Kosten der Heizanlagen. Überdies ist unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten auch ein wesentlicher Unterschied, ob es um die Modernisierung der Wärmeversorgung und Wärmedämmung von Altbauten oder um die Errichtung von Neubauten mit von vornherein optimaler Ausstattung geht. Schließlich läßt das rasche Ansteigen der Energiepreise in den vergangenen Jahren auch für die Zukunft erhebliche Veränderungen der relativen Preise möglich erscheinen und schafft damit zusätzliche Kalkulationsunsicherheiten. Diese Faktoren werden erstmals in einer vom BMBau in Auftrag gegebenen Untersuchung der Abhängigkeit des Heizwärmebedarfs von der Siedlungsstruktur berücksichtigt (ROTH et al., 1980).

**434.** Für die Zwecke der Untersuchung wurde der Baubestand der Bundesrepublik Deutschland nach insgesamt vier Raumtypen (Kernstadt, Außenzone, Mittelstadt und ländlicher Raum) und nach neun wärmeversorgungsrelevanten Siedlungstypen (von der Ein- und Mehrfamilienhaus-Siedlung über die Zeilenbebauung, Blockbebauung und Citybebauung bis zu den Industrie- und Lagergebäuden) klassifiziert und quantifiziert. Sodann wurden für jeden

Siedlungstyp die spezifischen Wärmedämmungskosten für die Altbaurenovierung und für Neubauten ermittelt sowie für jeden Siedlungstyp die spezifischen Wärmeversorgungskosten (Kosten für Heizanlagen mit Unterverteilung und Energiekosten) für insgesamt 12 verschiedene Wärmeversorgungssysteme bei drei verschiedenen Niveaus der relativen Energiepreise (100%, 150% und 200% der Preise von 1978) abgeschätzt. Für jeden der durch die angegebenen Parameter bestimmten Falltypen wurde dann der Kostenverlauf für Energieeinsatz und Wärmedämmung bestimmt.

**435.** Ziel dieser Berechnungen war zunächst die Bestimmung der einzelwirtschaftlich kostengünstigsten Kombination von Wärmeschutz und Wärmeversorgungssystem für die verschiedenen Siedlungstypen. Dabei hat sich die Erkenntnis bestätigt, daß erhebliche Mehraufwendungen für den Wärmeschutz von Altbauten rentabel wären und Neubauten mit sehr viel besserem Wärmeschutz ausgerüstet werden sollten, als die geltende Wärmeschutzverordnung vorschreibt.

Da in der Untersuchung der tatsächliche Anteil der verschiedenen Siedlungstypen am gesamten Baubestand der Bundesrepublik Deutschland bestimmt wurde, war es auch möglich, die Marktanteile der verschiedenen Wärmeversorgungssysteme zu ermitteln, die sich ergeben würden, wenn jedes Gebäude mit der jeweils kostengünstigsten Wärmeversorgung ausgerüstet würde.

**436.** *Trotz einiger problematischer Annahmen über die Verfügbarkeit und die Preise leitungsgebundener Energieträger (z. B. Anlaufverluste der Fernwärme nicht berücksichtigt) liefert die Untersuchung doch eine insgesamt plausible Abschätzung des Energiebedarfs und der Funktionsteilung zwischen den verschiedenen Wärmeversorgungssystemen unter der Annahme, daß alle Verbraucher sich kostenorientiert verhalten: Wenn ein ausreichender Zeitraum (20 bis 30 Jahre) für die Umrüstung des Altbaubestandes im Zuge ohnehin anfallender Renovierungsarbeiten gelassen wird, dann steigt trotz zunehmendem Wohnraumbedarf und bei unveränderten Energiepreisen von 1978 zwar der Jahres-Nutzwärmebedarf in der Bundesrepublik Deutschland von 406 TWh im Jahre 1974 auf 474 TWh, aber der Jahres-Primärenergiebedarf sinkt dabei von 901 TWh im Jahre 1974 auf 642 TWh. Wird jedoch eine Verdoppelung der realen Energiepreise gegenüber dem Jahre 1978 angenommen, und werden gleichzeitig (immer im Rahmen des betriebswirtschaftlich Vertretbaren) Anstrengungen zu einer gezielten Minimierung des Primärenergiebedarfs unternommen, so kann der Jahres-Primärenergiebedarf bei unveränderter Raumstruktur auf 431 TWh gesenkt werden. Die im Rahmen eines betriebswirtschaftlich vernünftigen Verhaltens möglichen Primärenergie-Einsparungen bewegen sich also in Größenordnungen zwischen knapp 30 und mehr als 50% des Energiebedarfs von 1974.*

## 2.4.4 Umweltpolitische Bewertung

**437.** Mit der Verringerung des Energieverbrauchs durch intensiven Wärmeschutz und Bevorzugung von Wärmeversorgungssystemen mit hohem Nutzungsgrad sinkt nicht nur der Gesamt-Energieauf-

wand für die Gebäudeheizung, es ändern sich auch die Marktanteile der verschiedenen Wärmeversorgungssysteme. Umweltpolitisch bedeutsam ist vor allem die Frage, ob durch derartige Verschiebungen eine relative oder sogar absolute Verschlechterung der Immissionsbelastung durch die Wärmeversorgung eintreten könnte. Eine wenigstens grobe Abschätzung erlaubt die Gegenüberstellung der Marktanteile von Einsatz-Energien in der Raumheizung während der 70er Jahre und in dem auf Minimierung des Energieverbrauchs gerichteten Szenario „Minimalverbrauch Trend 200%“ der ROTH-Studie (Tab. 2.12).

Tab. 2.12

**Nutzwärmebedarf, Primärenergiebedarf und Anteile der Einsatzenergien für Raumheizung unter Status-quo-Bedingungen und im Szenario „Minimalverbrauch Trend 200%“**

	1974 TWh/a	Szenario Minimal TWh/a
Jahres-Nutzwärmebedarf	406	359
Jahres-Primärenergiebedarf . . . . .	901	431
Anteile der Einsatzenergien	1977 %	Szenario Minimal %
Heizöl . . . . .	53,1	19
Gas . . . . .	17,9	38
Fernwärme . . . . .	6,9	25
Elektrische Energie . . . . .	6,5	8
Kohle . . . . .	15,6	—
Sonstige . . . . .	—	10

Quelle: ROTH et al., 1980, Tabellen 20, 95, 115

**438.** *Die Gegenüberstellung zeigt, daß bei dem von der Studie erwarteten Verhalten der Haushalte nicht nur der Jahresprimärenergiebedarf der Haushalte halbiert wird, sondern daß auch die besonders umweltbelastende Verwendung von Kohle in Einzelfeuerungen verschwinden würde. Auch der relative Anteil von Heizöl würde (selbst bei Berücksichtigung zusätzlicher Einsatzmöglichkeiten in Blockheizkraftwerken) drastisch zurückgehen.*

*Stark zunehmen würde der Anteil der Fernwärme, die in den dicht besiedelten Regionen vor allem die bisherigen öl- und kohlebefeueten Einzel- und Sammelheizungen verdrängen könnte. Unter der Voraussetzung, daß dafür Heizkraftwerke mit Rauchgasentschwefelung oder mit Wirbelschichtfeuerung und Feinstaubfilter eingesetzt werden, ist diese Substitution als eindeutige Umweltverbesserung zu werten.*

*Ebenfalls ansteigen dürfte der Gasanteil. Soweit es dabei um Gaskesselheizungen in früheren „Heizölgebieten“ geht, bestehen dagegen keine umweltpolitischen Bedenken. Problematischer erscheint dagegen der Einsatz gasbetriebener Verbrennungsmotoren in Blockheizkraftwerken und Gaswärmepumpen (soweit diese nicht nach dem Absorptionsprinzip arbeiten). Beide zusammen sollen wegen ihrer hohen energetischen Effizienz in dem angeführten Szenario*

*fast ein Fünftel des gesamten Nutzwärmebedarfs decken. Die dabei auftretenden Abgasprobleme wären erheblich. Gewiß lassen sich beim heutigen Stand der Technik die Emissionen stationärer, gasbetriebener Verbrennungsmotoren besser begrenzen als die von Kraftfahrzeugmotoren. Trotzdem müßte bei einem so massierten Einsatz mit einer bedenklichen Immissionsbelastung in Wohngebieten insbesondere durch  $\text{NO}_x$  gerechnet werden. Dieser Mehrbelastung stünden allerdings erhebliche Emissionsminderungen durch den Wegfall ölbefuerter Einzel- und Sammelheizungen gegenüber.*

*Der Anteil von 10% „sonstiger“ Einsatzenergien ergibt sich im wesentlichen aus der Nutzung von Biogas und von Holz- und Strohabfällen in Blockheizwerken. Die dabei anfallenden Emissionen sind wegen des geringeren Schwefelanteils und bei sorgfältiger Nachverbrennung und Entstaubung weniger umweltschädlich als die der Öl- oder Kohleheizungen, die dadurch verdrängt werden.*

Diese Ergebnisse hängen selbstverständlich von den Annahmen ab. So wurde beispielsweise Kohleeinzel- und Sammelfeuerung überhaupt nicht mehr in den Kreis der untersuchten Systeme einbezogen. Zu den regionalen Auswirkungen einer Veränderung der Wärmeversorgungssysteme siehe Kap. 3.2.

Insgesamt wäre von einer auf Energieeinsparung gerichteten Veränderung der Wärmeversorgungssysteme eine wesentliche Verbesserung der Umweltqualität in der Bundesrepublik Deutschland zu erwarten.

## 2.4.5 Anpassungshindernisse

439. Man sollte erwarten, daß auf Minimierung der beim Verbraucher anfallenden Gesamtkosten der Wärmeversorgung gerichtete Konzepte sich zumindest auf mittlere Sicht von selbst durchsetzen müßten. Anders als in manchen Aufgabenbereichen der Umweltpolitik müßte also eine rein marktwirtschaftliche Verwirklichung ohne alle staatlichen Eingriffe, Regelungen oder Subventionen gerade hier im Bereich des Möglichen liegen. Die deutliche Verminderung des Heizölverbrauchs seit 1973 zeigt auch, daß bei den Haushalten ebenso wie in der Industrie (Kap. 2.3.1) die Bereitschaft zur Anpassung an veränderte Preisrelationen durchaus besteht. Dennoch gibt es gerade bei der Wärmeversorgung eine Reihe von Anpassungshindernissen auf der Angebotsseite und bei den privaten und öffentlichen Nachfragern, deren gezielter Abbau erst die marktwirtschaftliche Durchsetzung einer rationelleren Wärmeversorgung wahrscheinlich macht.

### 2.4.5.1 Anpassungshindernisse auf der Angebotsseite

440. Die technischen, wirtschaftlichen und institutionellen Probleme der Abwärmenutzung und Fernwärmeversorgung werden an anderer Stelle erörtert (Kap. 3.1.4). Hier sei daran erinnert, daß den oben zitierten Modellrechnungen die Annahme zugrunde gelegen hat, daß die für eine gegebene Siedlungs-

struktur kostengünstigste Wärmeversorgungsmöglichkeit dort auch tatsächlich zur Verfügung steht. Dies ist bei der Fern- und Nahwärmeversorgung, die zusammen nach den Modellrechnungen Marktanteile zwischen 20 und 35% des Wärmemarktes der Bundesrepublik Deutschland erreichen müßten, derzeit keineswegs der Fall. Auch dem raschen Aufbau derartiger Versorgungssysteme stehen eine Reihe von grundsätzlichen Schwierigkeiten entgegen:

- Zur Fernwärmeversorgung sind Heizkraftwerke geeignet, die der Elektrizitätsversorgung dienen und von EVUs betrieben werden. Wegen der hohen Leitungskosten kann Fernwärme nur bei an nähernder Vollversorgung größerer Siedlungsgebiete mit hoher Wärmeverbrauchsdichte wirtschaftlich angeboten werden.
- Zugleich konkurriert die Fernwärme mit der Gasversorgung, die ebenfalls wegen hoher Leitungskosten Vollversorgung anstrebt.
- Sollten sich die höheren tatsächlichen Kosten bei (noch) unvollständigen Netzen in höheren Fernwärmepreisen niederschlagen, dann würden viele Verbraucher bei anderen zunächst kostengünstigeren Wärmeversorgungssystemen verbleiben.
- Je mehr die Verbraucher in andere Wärmeversorgungssysteme investiert haben, desto schwieriger wird die rechtliche und politische Durchsetzung eines Anschluß- und Benutzungszwangs für die Fernwärme (DOOSE, 1980).

441. Die geschilderten grundsätzlichen Schwierigkeiten können offenbar noch am leichtesten von kommunalen Querverbundunternehmen überwunden werden, die in einer Hand die Stromversorgung, die Gasversorgung und die Fernwärmeversorgung vereinigen (MÜNCH, 1980). Besonders leistungsfähig sind derartige Unternehmen, wenn sie sich generell die Aufgabe stellen, Wärme — gleich welcher Herkunft — anzubieten (HEIN, 1980). Ohne diese institutionelle Voraussetzung müßte die Durchsetzung optimaler Versorgungsstrukturen über „örtliche Versorgungskonzepte“ auf erhebliche Widerstände und praktische Schwierigkeiten stoßen (DOOSE, 1980; NIEDNER, 1980).

442. Auch im Bereich der Herstellung und Installation neuer Heizungssysteme und beim Wärmeschutz könnte die optimale Wärmeversorgung derzeit noch an der mangelnden Qualität und Preiswürdigkeit der angebotenen Leistungen scheitern. Während mit der Fertigung in größeren Serien die technische Zuverlässigkeit und die Preiswürdigkeit auch der neuartigen Heizungssysteme selbst zunehmen dürfte, kann die personelle Kapazität und fachliche Qualität im Installations- und Ausbaugewerbe zum entscheidenden Engpaß für rasche Fortschritte in der rationellen Energieverwendung werden. Zumindest können die daraus resultierenden Preissteigerungen die wirtschaftlichen Vorteile energetisch besserer Wärmeversorgungssysteme zunichte machen. Das Angebot fachlich qualifizierter Arbeitskräfte und die Berufsausbildung kann hier schon heute mit der Nachfrage nicht mehr Schritt halten.



Andererseits liegen gerade hier zusätzliche Beschäftigungschancen, die bei der gegenwärtigen und absehbaren Arbeitsmarktlage hoch willkommen sein müßten (KLAUDER, 1980; GARNREITER, LEGLER, 1980). Die gezielte Förderung der innerbetrieblichen und überbetrieblichen Aus- und Weiterbildung im Installations- und Ausbaugewerbe sollte deshalb eine mit dem Ausbau der Fernwärme Kapazität mindestens gleichrangige Priorität erhalten.

#### 2.4.5.2 Anpassungshindernisse auf Seiten der privaten Nachfrager

443. Bislang wurde unterstellt, daß „die Verbraucher“ sich aus eigenem Interesse für Maßnahmen entscheiden werden, die die Gesamtkosten ihrer Wärmeversorgung optimieren. Die Bedingungen für die Verwirklichung dieses Verbraucherinteresses sind jedoch für Eigenheime, Eigentumswohnungen und Mietwohnungen höchst ungleich, und sie unterscheiden sich noch einmal für Altbauten und Neubauvorhaben.

#### Generelle Probleme

444. Bei Unterschieden im einzelnen sind alle Verbraucher zunächst auf zwei generelle Voraussetzungen angewiesen, wenn ihr Marktverhalten zu einer Annäherung an eine optimale Wärmeversorgungsstruktur führen soll:

- Die auf dem Markt geforderten Energiepreise müssen den Knappheitsgrad der verschiedenen Energieformen zutreffend abbilden.
- Die Verbraucher müssen sich bei der Planung von Wärmeversorgungssystemen hinreichend informieren und fachkundig beraten lassen können.

445. Der Verbraucher hat in vielen Fällen die Wahl zwischen höchst verschiedenen, in unterschiedlichem Maße technisch ausgereiften und marktgängigen Wärmeversorgungssystemen mit jeweils unterschiedlichen Kosten für technische Anlagen und Zuleitungen und für die laufende Energieversorgung. Andererseits erfordert die betriebswirtschaftlich notwendige Abstimmung des Aufwandes für Wärmedämmungsmaßnahmen auf das jeweilige Heizungssystem für jedes einzelne Gebäude eine Analyse der baulichen Gegebenheiten und der technischen und wirtschaftlichen Möglichkeiten des Wärmeschutzes. Mit dieser diffizilen Optimierungsaufgabe sind angesichts der raschen technischen und wirtschaftlichen Veränderung die Architekten in der Regel selbst bei Neubauvorhaben überfordert. Erst recht undurchsichtig wird für den Verbraucher die Lage bei der Entscheidung über anstehende Erneuerungen der Wärmeversorgung in Altbauten, die in der Regel nicht in der Gesamtverantwortung eines Architekten liegen. Solange es an Betrieben fehlt, die Wärmedämmung und Heizungsanlagen „aus einer Hand“ anbieten, wird hier der Verbraucher möglicherweise mit seinem Optimierungsproblem völlig allein gelassen. Der Aufbau fachkundi-

ger Energieberatungsstellen von ausreichender Kapazität sollte deshalb unter energie- wie unter umweltpolitischen Gesichtspunkten höchste Priorität erhalten.

#### Eigenheime und Eigentumswohnungen

446. Für die Neubauten von Eigenheimen und Eigentumswohnungen sollten die angeführten generellen Empfehlungen grundsätzlich ausreichen, um die Bauherren zu einer einzelwirtschaftlich optimalen Wahl der Wärmeversorgungssysteme zu veranlassen. Qualifizierte Information und Beratung und ein qualitativ und quantitativ ausreichendes Angebot vorausgesetzt, müßte dies auch für die Modernisierung der Wärmeversorgung von Altbauten gelten. Allerdings ist hier daran zu erinnern, daß die zitierten Wirtschaftlichkeitsberechnungen davon ausgehen, daß Wärmedämmungsmaßnahmen und die Veränderung der Heizungsanlagen jeweils in Verbindung mit ohnehin fälligen Ersatz- und Renovierungsinvestitionen vorgenommen werden. Dies würde bedeuten, daß der Prozeß der Modernisierung des gegenwärtigen Gebäudebestandes erst in etwa 20 Jahren abgeschlossen wäre. Wollte man ihn demgegenüber erheblich beschleunigen, dann würden die einzelwirtschaftlichen Kosten wegen der noch nicht vollständigen Abschreibung der Alt-Investitionen und wegen dann erforderlicher zusätzlicher Aufwendungen (Baugerüste) erheblich ansteigen. Eine wesentliche Beschleunigung ließe sich also wohl nur durch staatliche Subventionen erreichen. Subventionen wären im übrigen auch dann sinnvoll, wenn bei annähernd gleicher Wirtschaftlichkeit zur Wahl stehender Systeme eine deutliche Verlagerung der Investitionen hin zu besonders energiesparenden oder besonders umweltfreundlichen Wärmeversorgungsarten erreicht werden soll.

447. Die Verschärfung der Anforderungen der Wärmeschutzverordnung hätte dagegen für Eigenheime vermutlich nur insofern Bedeutung, als dadurch grobe Fehlentscheidungen infolge unzureichender Informationen verhindert werden. Etwas anderes gilt möglicherweise für Altbau-Eigentumswohnanlagen, bei denen das Erfordernis der Einstimmigkeit unter den Eigentümern die Durchführung von Modernisierungsinvestitionen, die über die bloße Instandhaltung hinausgehen, oft verhindert. Eine gesetzliche Vorschrift könnte also die Durchführung wirtschaftlich sinnvoller Maßnahmen durchaus erleichtern.

#### Mietwohnungen

448. Hier stößt die marktwirtschaftliche Durchsetzung einer optimalen Wärmeversorgung bisher auf die größten Schwierigkeiten. Da in der Regel der Vermieter die Investitionskosten und der Mieter die Heizungskosten zu tragen hat, hat jener kein wirtschaftliches Interesse an Wärmeverbrauchsminierungen, während dieser keinen Einfluß auf Maßnahmen der Wärmedämmung und die Wahl von Heizungssystemen hat. Hinzu kommt, daß bei der bis-



her üblichen Umlegung der Heizungskosten auf die Mieter nach der Wohnfläche sogar der wirtschaftliche Anreiz zum simplen Wärmesparen durch entsprechende Regulierung der Heizkörper gering bleibt. Dies ist mit der Novelle zum EnEG vom 20. Juni 1980 korrigiert worden, die eine verbrauchsabhängige Erfassung und Abrechnung der Heizungskosten vorschreibt. Allerdings sind die damit verbundenen technischen und rechtlichen Probleme noch keineswegs gelöst. Zwar dürfte die Erfassung des Wärmeübergangs zwischen den Wohnungen demnächst mit Hilfe von manipulationsfesten elektronischen Heizkostenverteilersystemen möglich sein; hinzu treten aber politische Probleme einer vollen Durchsetzung der individuellen Heizkostenabrechnung, da dann bisher bei den Heizkosten gleichbehandelte Wohnungen je nach ihrer Lage im Gebäude bevorzugt oder benachteiligt werden (KUPPLER, 1980).

449. Schwieriger ist es, die grundlegende Interessendiskrepanz zwischen Vermieter und Mieter im Bereich der Wärmeeinsparung zu überwinden. Es müßte nach Wegen gesucht werden, um das wirtschaftliche Interesse des Vermieters an einer Senkung der beim Mieter anfallenden Heizungskosten zu aktivieren. Bei einem funktionierenden Wohnungsmarkt mit einem gewissen Angebots-Überhang müßten sich grundsätzlich überhöhte Heizungskosten in niedrigeren (und besonders günstige Heizungskosten in höheren) Mietpreisen niederschlagen. Von dieser optimalen Funktionsweise sind die Wohnungsmärkte in der Bundesrepublik Deutschland jedoch weit entfernt. Es lohnt sich deshalb, den Vorschlag einer „gesplitteten Heizkostenabrechnung“ (ROTH et. al., 1980) näher zu prüfen, nach dem die Grundversorgung einer Wohnung mit Wärme zum Bestandteil der Miete gemacht und nur der Zusatzverbrauch des Mieters über eine individuelle Heizkostenabrechnung erhoben würde. Der Vermieter hätte dadurch bei gegebenem Mietpreis ein eigenes wirtschaftliches Interesse an der Senkung des Wärmeverbrauchs, und er hätte bei steigenden Heizkosten angesichts der Schwierigkeiten von Mieterhöhungen ein Interesse daran, zunächst nach Kompensationsmöglichkeiten über bessere Wärmedämmung und kostengünstigere Energieversorgung zu suchen.

450. Angesichts der gegenläufigen Interessen der Beteiligten hat im Mietwohnungsbau auch der gesetzliche Zwang zur Energieeinsparung seine Berechtigung. Eine Verschärfung der Bestimmungen der Wärmeschutzverordnung und ihre (durch die Novellierung der EnEG ermöglichte) Ausweitung auf Altbauten erscheint geboten. Dabei sollten Wärmedurchgangskoeffizienten vorgeschrieben werden, die einer betriebswirtschaftlich optimalen Wärmedämmung entsprechen. Es muß allerdings deutlich gemacht werden, daß hier Finanzierungsprobleme auftreten, die zu Zielkonflikten zwischen Energiepolitik und Wohnungsbaupolitik führen können. Die größten Probleme dürfte hier der soziale Wohnungsbau bringen.

### 2.4.5.3 Anpassungshindernisse auf Seiten öffentlicher Nachfrager

451. Innerhalb des Verbrauchssektors „Kleinverbraucher“ nehmen öffentliche Einrichtungen (Behörden, Schulen, Krankenhäuser etc.) einen wichtigen Platz ein. Technisch unterscheiden sich ihre Möglichkeiten der rationellen Energieversorgung nicht wesentlich von denen der privaten Haushalte und der privatwirtschaftlichen Kleinverbraucher, wirtschaftlich haben sie jedoch vielfach die Chance, Größendegressionen auszunutzen. Institutionell wird ihr Investitions- und Verbrauchsverhalten durch die Prinzipien des öffentlichen Haushalts und nicht durch betriebswirtschaftliche Gewinn- und Verlustkalküle bestimmt. Für die rationelle Energieverwendung ergeben sich daraus besondere Probleme, aber auch besondere Chancen.

452. Das bekannte Prinzip, daß die einmal beschlossenen Haushaltsansätze für den vorgesehenen Zweck auch ausgegeben werden, schwächt das Sparsamkeitsmotiv bei den ausführenden Stellen. Rügen der Rechnungshöfe über spektakuläre Fälle von Energievergeudung sind deshalb ebenso an der Tagesordnung wie Presseberichte über überheizte Verwaltungsgebäude, bei denen nicht einmal die Heizkörper reguliert werden können. Derartige Mißstände bei der Benutzung vorhandener Heizungsanlagen können durch eine Verschärfung bürokratischer Kontrollen immerhin gemindert werden.

453. Schwieriger erscheint im öffentlichen Sektor dagegen die betriebswirtschaftliche Optimierung der Wärmeversorgungssysteme (Heizanlagen und Wärmedämmung). Zwar hat der Bundesminister für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau am 29. Februar 1980 „Vorläufige Richtlinien (Grundsätze) für die Auswahl von baulichen Maßnahmen zur Einsparung von Energie im Gebäudebestand des Bundes“ erlassen (BMBau, 1980), aber der raschen Verwirklichung dieser Richtlinien stehen zumindest für den vorhandenen Baubestand die haushaltsrechtlichen Unterschiede zwischen laufenden Ausgaben und Investitionsausgaben entgegen. Steigende Ausgaben für Heizenergie, die im Haushaltsansatz nicht berücksichtigt sind, führen zu überplanmäßigen Ausgaben, die in der Regel nachbewilligt werden, da sie als „unvorhersehbar und unabweisbar“ akzeptiert werden. Es kann hierbei offen bleiben, an welcher Stelle die Mittel erwirtschaftet werden, entscheidend ist, daß der Ausweg über Nachbewilligungen bisher der leichtere war. Demgegenüber sind Mittel für energiesparende Investitionen ungleich schwerer zu erhalten, da sie den üblichen Restriktionen der Haushaltsplanung unterliegen und da die öffentliche Hand kaum Rentabilitätsrechnungen anstellt. Auf diese Weise wird der Anpassungsprozeß verzögert.

454. Der gemeinwirtschaftliche Charakter des öffentlichen Haushaltswesens eröffnet jedoch auch besondere Chancen für die beschleunigte Durchsetzung einer rationellen Energieversorgung. Mit einem mehr als 20 %igen Anteil an den Brutto-Anlageinvestitionen in der Bundesrepublik Deutschland hat die öffentliche Hand ein großes Nachfragepoten-

tial im Investitionsgüterbereich. Im Prinzip sollte es durch politische Entscheidungen möglich sein, dieses Potential wesentlich stärker als bisher für die Durchsetzung neuer, zukunftsweisender Technologien zu nutzen. Gerade im Bereich der Wärmeversorgung wird ja die Marktdurchsetzung einiger energetisch oder umweltpolitisch besonders vorteilhafter Lösungen (Gaswärmepumpen, Solaranlagen) derzeit durch einen *circulus vitiosus* blockiert: Solange die kleinbetriebliche Produktion vorherrscht, bleiben die Preise hoch, die Zuverlässigkeit problematisch und dementsprechend die Nachfrage gering. Solange aber die Nachfrage gering bleibt, kann sich auch eine kostengünstigere Großserienproduktion von höherer Zuverlässigkeit nicht entwickeln. Dieser Zirkel könnte durchbrochen werden, wenn die öffentliche Hand bereit wäre, Nachfrageimpulse zu geben (HUCKE et al., 1981).

455. Dazu wäre zunächst erforderlich, daß technische Mindest-Standards festgelegt (und geprüft) werden, bei deren Erfüllung auch neuartige Produkte und Verfahren von den für die öffentliche Beschaffung zuständigen Stellen ohne haftungsrechtliches Risiko gewählt werden dürfen. Schon dies könnte eine gewisse Abkehr von der eher übervorsichtigen, zum möglichst Altbewährten tendierenden Beschaffungspolitik öffentlicher Einrichtungen bewirken.

Weiterhin bedürfte es einer Klarstellung, daß der für Beschaffungsentscheidungen maßgebliche Begriff der „Preiswürdigkeit“ im Sinne von § 24 VOL (Verdingungsordnung für Leistungen) nicht allein die bloßen Beschaffungskosten, sondern auch die wahrscheinlichen Kostenersparnisse in Betrieb und Unterhalt (bei einem realistischen Ansatz der künftigen Energiepreisentwicklung) zu berücksichtigen hat.

456. Angesichts der vorläufig noch geringen Markttransparenz gerade bei neuartigen Energieversorgungssystemen wäre weiterhin an eine „Konkursausschlussgarantie“ des Bundes für Gewährleistungsansprüche gegenüber den Herstellern zu denken, die mit verhältnismäßig geringem Aufwand einen für den einzelnen Beschaffer durchaus wesentlichen Risikofaktor beseitigen könnte.

In einzelnen Bereichen mag es darüber hinaus auch weiterhin sinnvoll sein, energiepolitisch, umweltpolitisch oder technologiepolitisch motivierte Direktsubventionen für besonders innovative Modelle der Energieversorgung im öffentlichen Sektor anzubieten.

457. Im ganzen könnte durch ein derartiges Bündel von Maßnahmen, die nicht auf eine massive finanzielle Subventionierung auf breiter Front hinauslaufen müssen, die öffentliche Hand Pionierfunktionen auf der Nachfrageseite übernehmen, die den Herstellern neuartiger Energieversorgungsanlagen jene Absatzchancen eröffnen, die erst erhebliche Investitionen in die Entwicklung leistungsfähiger und kostengünstiger Produkte rechtfertigen. Auf diese Weise könnte die öffentliche Hand ihre Forschungs- und Entwicklungs-Aktivitäten sinnvoll ergänzen.

## 2.5 Energieverwendung im Verkehr

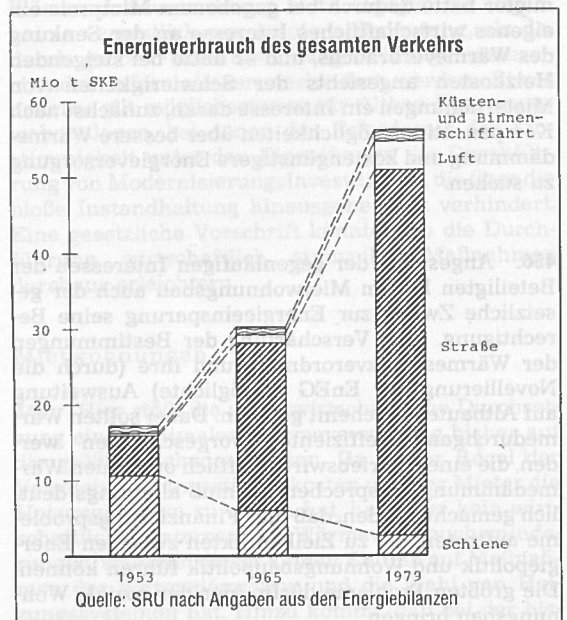
458. Bereits in seinem Gutachten „Auto und Umwelt“ sowie im „Umweltgutachten 1978“ hat sich der Rat intensiv mit den umweltpolitischen Implikationen des Verkehrssystems auseinandergesetzt. Gegenüber diesen breit angelegten Darstellungen kann das Folgende nur eine Zusammenfassung unter dem Aspekt der Energieeinsparung sein.

### 2.5.1 Endenergiestruktur

459. Zum Verkehrssektor zählen der Schienen-, Straßen- und Luftverkehr sowie die Küsten- und Binnenschifffahrt. Der Verkehr verbraucht etwa 14 % der Primärenergie und über 20 % der in der Bundesrepublik Deutschland umgesetzten Endenergie (1979). Von 1953 bis 1979 ist der Endenergieverbrauch in diesem Sektor absolut und relativ stark angestiegen. Zugleich haben sich die Anteile der Verkehrsträger an der Endenergie in dieser Zeit dramatisch verschoben (Abb. 2.7). 1953 hatte der Schienenverkehr den höchsten Endenergieverbrauch mit 61,7 %; 1979 lag er mit 4,5 % auf dem vorletzten Platz vor der Küsten- und Binnenschifffahrt. Der heute dominierende Straßenverkehr verbraucht über 86 % der in den Verkehrsbereich fließenden Energie in Form von Benzin und Dieselöl. Die höchsten Steigerungen des Energieverbrauchs weist der Flugverkehr auf.

In keinem Sektor war der Trend zum Öl so stark wie im Verkehrssektor, wo 1979 Kraftstoffe auf Mineralölbasis etwa 97 % der Leistungen erbringen, während 1953 der Hauptbeitrag von der Steinkohle mit

Abb. 2.7



## Endenergieverbrauch nach Energieträgern und Verkehrssektoren

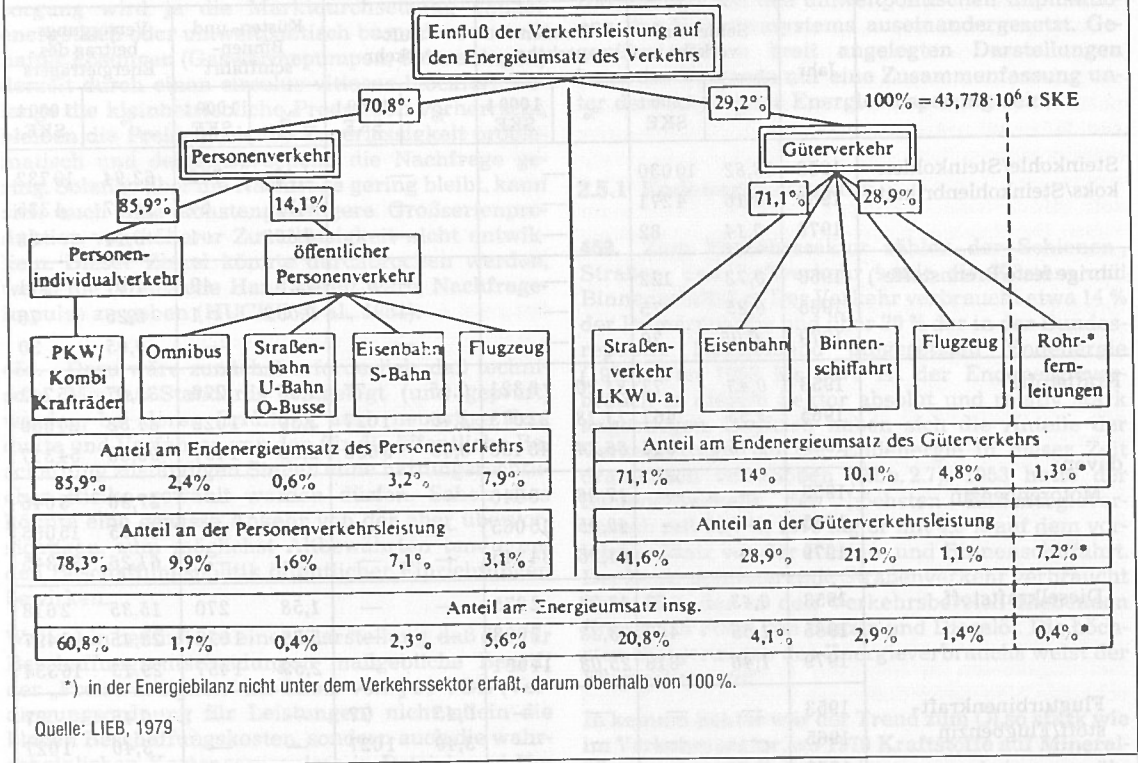
	Jahr	Schienen- verkehr		Straßen- verkehr		Luft- verkehr		Küsten- und Binnen- schifffahrt		Versorgungs- beitrag des Energieträgers	
		%	1000 t SKE	%	1000 t SKE	%	1000 t SKE	%	1000 t SKE	%	1000 t SKE
Steinkohle/Steinkohlen- koks/Steinkohlenbriketts	1953	58,82	10 030	—	—	—	—	4,12	702	62,94	10 732
	1965	14,16	4 271	—	—	—	—	0,21	64	14,37	4 335
	1979	0,14	82	—	—	—	—	0,002	1	0,14	83
übrige feste Brennstoffe <sup>1)</sup>	1953	0,72	122	—	—	—	—	0,29	49	1,0	171
	1965	0,25	75	—	—	—	—	0,003	1	0,25	76
	1979	0,05	30	—	—	—	—	—	—	0,05	30
Kraftstoffe	1953	0,43	73	31,20	5 321	0,45	77	1,58	270	33,67	5 741
	1965	1,55	467	73,18	22 073	3,40	1 027	3,39	1 022	81,52	24 589
	1979	1,45	816	86,34	48 406	6,49	3 638	2,60	1 457	96,88	54 317
davon:											
Motorenbenzin	1953	—	—	17,86	3 046	—	—	—	—	17,86	3 046
	1965	—	—	49,95	15 065	—	—	—	—	49,95	15 065
	1979	—	—	61,26	34 345	—	—	—	—	61,26	34 345
Dieselkraftstoff	1953	0,43	73	13,34	2 275	—	—	1,58	270	15,35	2 618
	1965	1,55	467	23,23	7 008	—	—	3,39	1 022	28,15	8 497
	1979	1,46	816	25,08	14 061	—	—	2,59	1 457	29,13	16 334
Flugturbinenkraft- stoff/Flugbenzin	1953	—	—	—	—	0,45	77	—	—	0,45	77
	1965	—	—	—	—	3,40	1 027	—	—	3,40	1 027
	1979	—	—	—	—	6,49	3 638	—	—	6,49	3 638
Petroleum/Heizöl	1953	0,08	14	—	—	—	—	0,04	6	0,12	20
	1965	1,46	440	—	—	—	—	0,05	14	1,51	454
	1979	0,43	240	—	—	—	—	0,02	10	0,45	250
Gase	1953	0,03	5	0,65	111	—	—	—	—	0,68	116
	1965	0,05	14	0,01	3	—	—	—	—	0,06	17
	1979	0,17	93	0,005	3	—	—	—	—	0,17	96
Strom	1953	1,60	272	—	—	—	—	—	—	1,60	272
	1965	2,29	692	—	—	—	—	—	—	2,29	692
	1979	2,30	1 290	—	—	—	—	—	—	2,30	1 290
Anteil des Verkehrs- trägers am gesamten Endenergieverbrauch im Verkehrssektor <sup>2)</sup>	1953	61,67	10 516	31,86	5 432	0,45	77	6,02	1 027	100,00	17 052
	1965	19,76	5 959	73,19	22 076	3,40	1 027	3,65	1 101	100,00	30 163
	1979	4,55	2 551	86,34	48 409	6,49	3 638	2,62	1 468	100,00	56 066

<sup>1)</sup> Rohbraunkohle/Braunkohlenbriketts/Pechkohle

Quelle: Eigene Berechnungen nach Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen



Energieumsatz und Verkehrsleistungen der einzelnen Verkehrssysteme (1974)



63 % kam. Tab.2.13 vermittelt einen detaillierten Einblick in die Entwicklung und Struktur des Energieumsatzes im Verkehrssektor. Abb. 2.8 gibt die Anteile verschiedener Verwendungsarten des Energieumsatzes im Verkehrssektor wieder und ordnet die entsprechenden Verkehrsleistungen zu.

460. Der Verkehrssektor hat in den vergangenen Jahren nicht nur eine große Energienachfrage entfaltet, er versucht auch erhebliche Umweltbelastungen, vor allem in Form von Landschaftsveränderungen, Luftverunreinigungen (Abgase) und Lärm. So sind tagsüber 45 Mio Bewohner der Bundesrepublik Deutschland Außengeräuschpegeln von mindestens 55 dB (A) und über 10 Mio Einwohner sind Pegeln von mehr als 65 dB (A) ausgesetzt, die vor allem auf Verkehrsgeräusche zurückzuführen sind. Auch die Schadstoffemissionen (Abschn. 1.2.1.2) sind beträchtlich (CO, HC, NO<sub>x</sub>, SO<sub>2</sub>, Bleiverbindungen beim Ottomotor, Ruß beim Dieselmotor), wobei erschwerend hinzukommt, daß die Kfz-Abgase den menschlichen Atembereich direkt in relativ hohen Konzentrationen erreichen. Seit 1969 gelten zwar in der Bundesrepublik Deutschland Vorschriften zur Begrenzung von Abgasemissionen aus Fahrzeugen; trotzdem kommt es bei hoher Verkehrsdichte in Straßenzügen wiederholt zu einer Überschreitung

von Immissionsgrenzwerten (MIK-Werte). Auf Initiative der Bundesregierung wird derzeit eine weitere Reduzierung der Grenzwerte diskutiert; dies ist nicht zuletzt deswegen nötig, weil zumindest bei Stickoxiden und unverbrannten Kohlenwasserstoffen die derzeit gültigen Grenzwerte keine limitierenden Effekte haben. Die weitere Verringerung der Abgasemissionen ist um so dringlicher, als auch für die kommenden Jahre ein noch steigendes Verkehrsaufkommen prognostiziert wird.

Verursacher der verkehrsbedingten Umweltbeeinträchtigungen sind in erster Linie der Pkw-Verkehr sowie der Straßengüterverkehr; daher liegen hier die strategischen Ansatzpunkte für Maßnahmen einer rationellen und weniger umweltintensiven Energienutzung im Verkehrssektor.

### 2.5.2 Strategien

#### 2.5.2.1 Verringerung von Verkehrsursachen

461. Energieumsatz und Umweltbelastung lassen sich am unmittelbarsten durch die Beseitigung von Verkehrsursachen reduzieren. Entsprechenden raumordnungspolitischen Strategien stehen jedoch



— zumindest kurz- bis mittelfristig — nicht nur Entwicklungstendenzen der Wirtschaftsprozesse sowie der Stadt- und Regionalplanung entgegen, sondern auch politische Ziele anderer Politikbereiche. Hinzu kommt, daß verschiedene Verkehrsströme unterschiedliche Ursachen haben (Berufs-, Wochenend-, Urlaubsverkehr), die mit isolierten Maßnahmen nur unvollständig zu beseitigen sind. Eine Steuerung des Verkehrsgeschehens ohne Verringerung der Verkehrsursachen gerät jedoch leicht zum „Verkehrsdigismus“, der weder durchsetzbar noch wünschenswert ist.

gerweise miteinander zu verknüpfen sind: Zum einen können die gewünschten Effekte durch Verlagerung von Verkehrsleistungen auf energetisch vergleichsweise weniger aufwendige Verkehrs- und Kommunikationssysteme erreicht werden, zum anderen kann die Energie bei gegebenen Verkehrsmitteln durch verbesserte Technik rationeller eingesetzt werden.

### 2.5.2.2 Änderung des modal-split (Verkehrsmittelwahl)

**462.** Unterliegen die Steuerungsmöglichkeiten zur Verringerung des Verkehrsaufkommens und der Verkehrsleistung den genannten Restriktionen, so bleibt der wichtigste Aktionsparameter zur Energieeinsparung und Umweltentlastung die Verringerung des energetischen Aufwandes bei der Befriedigung der Verkehrsnachfrage. Hierbei lassen sich zwei Teilstrategien unterscheiden, die zweckmäßi-

**463.** Die Strategie einer Veränderung der modal-split nutzt die Tatsache, daß verschiedene Verkehrsmittel bestimmte Verkehrsleistungen mit unterschiedlichem Energieeinsatz bereitstellen (Tab.2.14). Da bekanntlich die öffentlichen Verkehrsmittel (Massenverkehrsmittel) i.d.R. weniger energieintensiv als die privaten (Individualverkehrsmittel) sind, kommt in erster Linie eine

Tab. 2.14

Spezifische Primärenergieverbräuche der Verkehrsmittelhauptgruppen in der Bundesrepublik im Bezugsjahr 1974

Verkehrsmittelhauptgruppe	Spezifischer Primärenergieumsatz (kg SKE/Pkm bzw. tkm)		
	Bandbreiten <sup>1)</sup>	Mittelwert <sup>2)</sup>	
<b>Personenverkehr</b>			
Pkw .....	0,040–0,180	0,065	
Bus .....	0,015–0,030	0,022	
Stadtbahn (U-Bahn, Straßenbahn) .....	0,020–0,055	0,035	
Fernreisezüge (E-Traktion) .....	0,030–0,065	0,048	
Fernreisezüge (Diesel-Traktion) .....	0,030–0,044	0,037	
Nahverkehrszüge (E-Traktion) .....	0,045–0,080	0,064	
Nahverkehrszüge (Diesel-Traktion) .....	0,032–0,072	0,050	
Jet (Linienverkehr) .....	0,110–0,240	0,180	
Jet (Charterverkehr) .....	0,070–0,150	0,120	
<b>Güterverkehr</b>			
Lkw > 2 t { gewerbl. Güterfernverkehr .....	0,032–0,050	0,039	} 0,045
(Autobahn) .....			
Nutzlast und Lastzüge { Werkfernverkehr .....	0,036–0,080	0,062	}
(Autobahn) .....			
Stadtverkehr .....	0,050–0,140	0,09	
Kleintransporter .....	0,25 –0,31	—	
Bahn (E-Traktion) .....	0,017–0,032	0,020	
Bahn (Diesel-Traktion) .....	0,017–0,036	0,020	
<b>Binnenschiff (Deutsche Selbstfahrer)</b>			
Niederrhein .....	0,010–0,025	0,018	
Kanäle .....	0,005–0,025	0,015	
4-Leichter-Verband-Niederrhein .....	—	0,014	
Rohöl-Pipeline .....	0,005–0,020	0,009	

<sup>1)</sup> Aus Fahrzeugstruktur, Verkehrsverhältnissen und mittleren realen Auslastungsgraden

<sup>2)</sup> Über die Fahrzeugstruktur und die Betriebsleistung gewichtet und abgeschätzt

Quelle: NEBELUNG, GOLLING, WURM, 1976

Verlagerung von Verkehrsleistungen vom Pkw auf Bus, Stadtbahn und Eisenbahn bzw. vom Lkw auf Schiff oder Eisenbahn sowie vom Flugzeug (Kurzstrecken) auf die Eisenbahn in Betracht. Auf die positiven energie- und umweltpolitischen Effekte einer Beeinflussung des modal-split zugunsten öffentlicher Verkehrsmittel hat der Rat bereits mehrfach nachdrücklich hingewiesen. Modellrechnungen über die energiesparenden und umweltentlastenden Effekte liegen vor (Tab. 2.15). Auf die begrenzten Kapazitäten muß allerdings ausdrücklich hingewiesen werden. Der Rat betont in diesem Zusammenhang nachdrücklich auch die positiven energie- und umweltpolitischen Effekte einer verstärkten Benutzung des Fahrrads. Die politischen Instanzen sollten die Rahmenbedingungen so setzen, daß vor allem im innerstädtischen Verkehr das Fahrrad wieder zum attraktiven Fortbewegungsmittel wird. Hierzu ist es vor allem erforderlich, die Sicherheit der Fahrradfahrer zu erhöhen. Es ist erstaunlich, daß der Radwegebau so wenig Fortschritte macht.

464. Die Grenzen einer Beeinflussung des modal-split sind umweltpolitisch allerdings dann erreicht, wenn dazu die Schaffung neuer Verkehrswege mit weitreichenden Umwelteingriffen erforderlich wird. Dann werden Energieeinsparungen und Umweltentlastung inkompatible Ziele.

Tab. 2.15

**Änderungen des Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen des Berufs-Personen-Verkehrs bei 20 % Verlagerung des Pkw-Berufsverkehrs auf den ÖPNV im Basisjahr 1985**

Veränderungen des Energieumsatzes	
Otto-Kraftstoff .....	-1 105 263 t
Diesel-Kraftstoff, leichtes Heizöl ..	+ 75 773 t
Schweres Heizöl .....	+ 4 404 t
Elektrische Endenergie in MWh ...	+ 229 328
Veränderungen im Primärenergiebedarf	
Mineralöl .....	-1 087 371 t
Steinkohle .....	+ 16 381 t
Braunkohle .....	+ 4 246 t
Erdgas .....	+ 6 438 t
Uran (für Leichtwasserreaktoren) .	+ 2 t
El. Energie aus Wasserkraft in MWh	+ 8 485
Sonstige el. Energie in MWh .....	+ 13 760
Veränderungen bei den Abgasemissionen	
SO <sub>2</sub> .....	+ 721 t
NO <sub>x</sub> .....	- 141 810 t
CO .....	- 150 112 t
CH .....	- 11 151 t
Feststoffe .....	+ 379 t

Quelle: Aufbereitung SR-U aus Daten von SCHWAN-HÄUSSER, GOLLING, 1978.

Andererseits können Einsprüche einzelner Bürger oder von Bürgerinitiativen im Namen des Umweltschutzes den Planungsprozeß im Verkehrswegebau so stark behindern, daß per Saldo ein umweltfreundlicher Verkehrsausbau außerordentlich erschwert wird.

**2.5.2.3 Senkung des spezifischen Energieverbrauchs**

**2.5.2.3.1 Individualverkehr**

465. Ansätze für eine rationelle Energienutzung im Individualverkehr bei gegebenem modal-split ergeben sich durch:

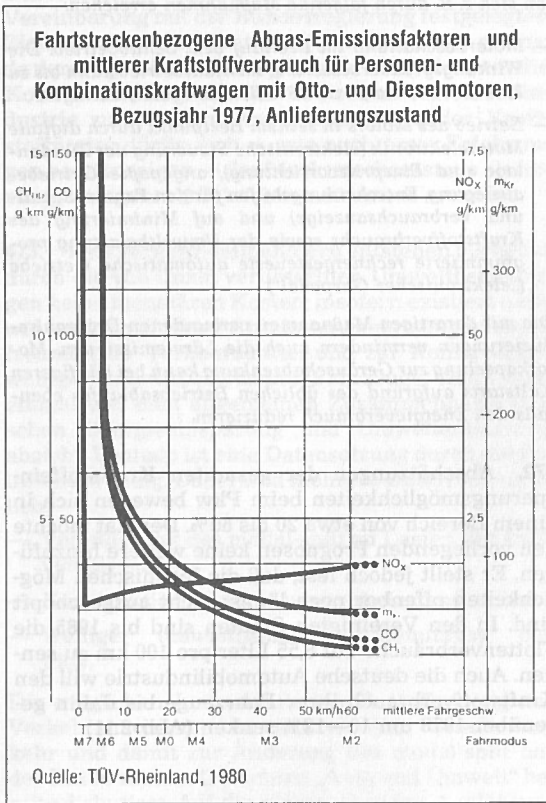
- Optimierung des Fahrverhaltens
- Optimierung verkehrsorganisatorischer Randbedingungen
- Optimierung des Wartungszustandes der Fahrzeuge
- Technische Verbesserungen am Fahrzeug.

Die Zwischenzielgrößen, deren Variation die gewünschte Optimierung bewirken soll, sind bei den vier genannten Strategien technisch bedingt und deshalb identisch. Es handelt sich um die gewichtsbezogenen Fahrwiderstände (Roll-, Steigungs-, Beschleunigungswiderstand), um den Luftwiderstand und um den Wirkungsgrad des Antriebsaggregats einschließlich der Nebenaggregate und der Kraftübertragung. Zu beachten ist dabei, daß diese Faktoren nicht konstant sind, sondern je nach Ausprägung der Elemente des Systems Straßenverkehr (Fahrer, Fahrzeug, Straße, Verkehrsorganisation) variieren. Bei geringer Fahrgeschwindigkeit in der Ebene dominiert z. B. der Rollwiderstand; schon bei leichter Steigung und/oder Beschleunigung geht der Einfluß des Rollwiderstandes auf den Energieumsatz zurück. Bei höheren Geschwindigkeiten werden die gewichtsbezogenen Fahrwiderstände durch den Luftwiderstand zurückgedrängt. Die Bestwirkungsgrade der heute verwendeten Pkw-Motoren betragen etwa 28 bis 30% (Otto-Motor) bzw. 33% (Diesel-Motor). Vor allem im Stadtverkehr, bei dem der Motor häufig bei Teillast oder im Leerlauf betrieben wird, ergeben sich jedoch vor allem beim Otto-Motor wesentlich schlechtere Wirkungsgrade (< 12%). Dem entsprechen hohe Emissionswerte für Kohlenmonoxid und unverbrannte Kohlenwasserstoffe, während die Stickoxidemissionen gegenläufig variieren (Abb. 2.9).

466. Der Energieumsatz, die Abgas- und die Geräuschemissionen werden bekanntlich stark von der individuellen Fahrweise beeinflusst. Am stärksten ist der Einfluß der Fahrweise auf die Geräuscentwicklung, die somit allein technisch nur schwierig beherrschbar ist. Der kraftstoffsparende Effekt einer energiebewußten Fahrweise ist bewiesen. Derartige Verhaltensänderungen wirken sich direkt umweltentlastend und energieeinsparend aus; dennoch dürften sie nur langsam und schrittweise zu erreichen sein.

467. Energieverschwendung und Umweltbelastung sind jedoch nicht nur auf in dieser Hinsicht unzulängliches individuelles Fahrverhalten, sondern auch auf situative Merkmale des Verkehrsgeschehens zurückzuführen. Eine bessere Verkehrsorgani-

Abb. 2.9



sation (Park- and Ride-Systeme, Parkleitsysteme, zeitliche Entzerrung im verkehrsverursachenden Bereich und Verkehrsfluß-Steuerung [Ampelregelung]) können deshalb zur rationellen und umweltfreundlichen Energieverwendung beitragen. Allerdings muß hierbei berücksichtigt werden, daß durch derartige Maßnahmen die Attraktivität des Individualverkehrs gegenüber dem energetisch günstigeren Massenverkehr erhöht werden kann und deshalb mögliche Einsparungseffekte durch Veränderungen des modal-split „in der falschen Richtung“ kompensiert werden können.

468. Eine Reduzierung des Energieumsatzes und eine z. T. beträchtliche Verringerung der Schadstoffemissionen läßt sich durch eine ordnungsgemäße Wartung der Kraftfahrzeuge erreichen. Abb. 2.10 stellt die Auswirkungen einer korrekten Einstellung des Zündzeitpunktes, des Schließwinkels sowie des CO-Gehalts im Leerlauf hinsichtlich Schadstoffemission und Kraftstoffverbrauch dar. Hier liegt ein noch nicht ausgeschöpftes Potential zur Verbesserung der Umweltsituation und zur Energieeinsparung.

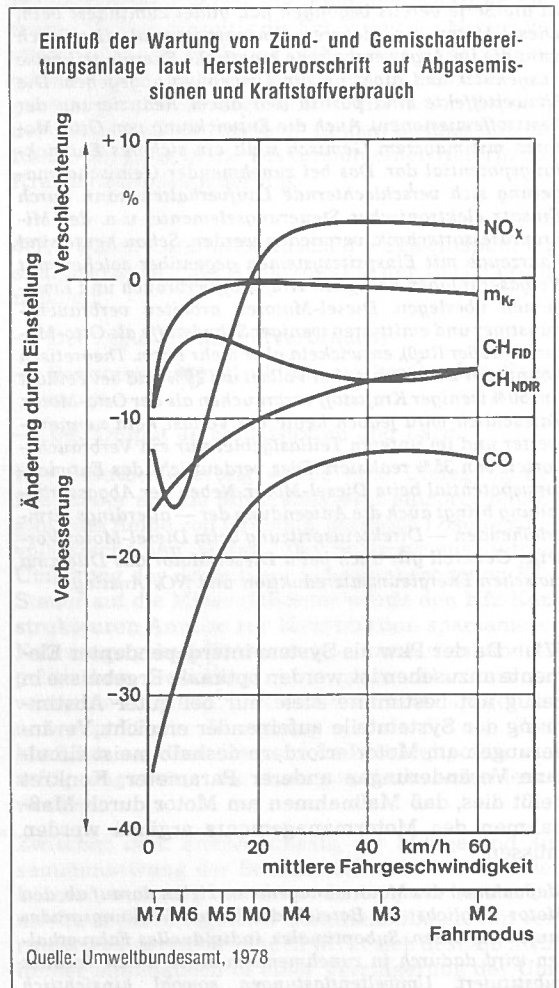
469. Ein erhebliches Einsparpotential liegt in der konstruktiven Verbesserung des Pkw. Erfolgversprechende Maßnahmen beziehen sich dabei auf die genannten Determinanten des Energieverbrauches: Antriebswirkungsgrad, Fahrzeugmasse, Luftwider-

stand. Entscheidend ist dabei, daß entsprechende Maßnahmen nur dann zu den gewünschten Energieeinsparungs- und Umweltentlastungseffekten führen, wenn das Gesamtsystem optimiert wird, d. h. die Einzelmaßnahmen aufeinander abgestimmt sind.

Gewichtsreduktionen können vor allem durch Werkstoffsubstitution am Aufbau und am Motor erreicht werden. Das Einsparpotential wächst mit der Größe des Fahrzeugs. Im Stadtverkehr wird bei einer Gewichtsreduzierung um 100 kg ein Einspareffekt von etwa 0,7 l erwartet. Für europäische Pkw der Modelljahre 1968 bis 1976 wurde ein mittlerer Luftwiderstandsbeiwert von  $c_w = 0,46$  ermittelt. Werte zwischen 0,3 und 0,35 erscheinen erreichbar. Zusätzlich muß ein Optimum zwischen Querschnittsfläche und Luftwiderstandsbeiwert unter Berücksichtigung der Sicherheits- und Komfortanforderungen gefunden werden. Alle Maßnahmen zur Verminderung des Fahrzeuggewichtes und des Luftwiderstandes verbessern unmittelbar das Emissionsverhalten und den Energieumsatz, wenn sie nicht durch eine unvernünftige Fahrweise konterkariert werden.

Die Ziele einer Verringerung der Emissionen und des Kraftstoffverbrauches können bei einzelnen konstruktiven Maßnahmen am Antriebsaggregat konfligieren, zumal mit

Abb. 2.10





der Serieneinführung neuer Motorenkonzepte (Stirlingmotor, Dampfmotor, IKV Motor, Gasturbine) mittelfristig nicht zu rechnen ist. Eine Ausnahme können elektrisch angetriebene Fahrzeuge darstellen, die sowohl den Energiebedarf des Verkehrs und vor allem die Mineralölabhängigkeit senken können als auch — vor allem in empfindlichen Innenstädten — zu einer Verbesserung der Umweltsituation beitragen können. Allerdings sind die Umwelteffekte der Stromerzeugung zu berücksichtigen. Im Mittelpunkt der Anstrengungen steht daher kurz- und mittelfristig die Optimierung des Energienutzungsgrades und die Minderung der Umweltbelastungen der Hubkolbenmotoren.

**470.** Der Verminderung des Kraftstoffverbrauches dient in erster Linie eine Verbesserung des Antriebswirkungsgrades. Dies kann konstruktiv durch eine Erhöhung des Verdichtungsverhältnisses erreicht werden. Einer beliebigen Steigerung der Verdichtung sind jedoch durch die bei Vollast auftretenden Klopferscheinungen Grenzen gesetzt. Hier zeigt sich die erwähnte Konfliktsituation. Zur Verringerung der Klopferscheinungen wird dem Kraftstoff Bleitetraäthyl zugesetzt, was zu Bleiemissionen im Abgas führt. Eine erfolgversprechende Strategie ist die Optimierung des Brennraumes zur Verhinderung der Klopferscheinungen. Allerdings ergibt sich auch hier ein Konflikt durch erhöhte NO<sub>x</sub>-Emissionen, die wiederum bei bleihaltigem Benzin noch nicht durch Katalysatoren vermindert werden können. Die Abgasturboaufladung, deren Einführung in die Serie bereits begonnen hat, bildet zumindest beim Diesel-Motor ein sicheres Einsparpotential. Hierdurch wird die im Abgas enthaltene kinetische Energie teilweise ausgenutzt und nicht an die Umgebung abgegeben. Die Umwelteffekte sind positiv (vor allem Reduzierung der Feststoffemissionen). Auch die Entwicklung von Otto-Motoren mit magerem Gemisch stellt ein sicheres Entwicklungspotential dar. Das bei zunehmender Gemischabmagerung sich verschlechternde Laufverhalten kann durch Einsatz elektronischer Steuerungselemente, u. a. der Mikroprozessortechnik, vermieden werden. Schon heute sind Fahrzeuge mit Einspritzsystemen gegenüber solchen mit Vergaseranlagen bezüglich Kraftstoffverbrauch und Emissionen überlegen. Diesel-Motoren arbeiten verbrauchsgünstiger und emittieren weniger Schadstoffe als Otto-Motoren (außer Ruß), entwickeln aber mehr Lärm. Theoretisch könnte der Dieselmotor bei Vollast um 20% und bei Teillast um 50% weniger Kraftstoff verbrauchen als der Otto-Motor. Tatsächlich wird jedoch heute bei Vollast kein nennenswerter und im unteren Teillastgebiet nur ein Verbrauchsvorteil von 35% realisiert. Dies verdeutlicht das Entwicklungspotential beim Diesel-Motor. Neben der Abgasturboaufladung bringt auch die Anwendung der — allerdings lärm-erhöhenden — Direkteinspritzung beim Diesel-Motor Vorteile. Generell gilt auch beim Diesel-Motor das Dilemma zwischen Energieumsatzreduktion und NO<sub>x</sub>-Anstieg.

**471.** Da der Pkw als System interdependenter Elemente anzusehen ist, werden optimale Ergebnisse in bezug auf bestimmte Ziele nur bei guter Abstimmung der Systemteile aufeinander erreicht. Veränderungen am Motor erfordern deshalb meist simultane Veränderungen anderer Parameter. Konkret heißt dies, daß Maßnahmen am Motor durch Maßnahmen des Motormanagements ergänzt werden müssen.

Maßnahmen des Motormanagements zielen darauf ab, den Motor möglichst im Bereich des besten Wirkungsgrades laufen zu lassen. Suboptimales, individuelles Fahrverhalten wird dadurch in zunehmendem Maße durch Technik substituiert. Umweltentlastungen sowohl hinsichtlich

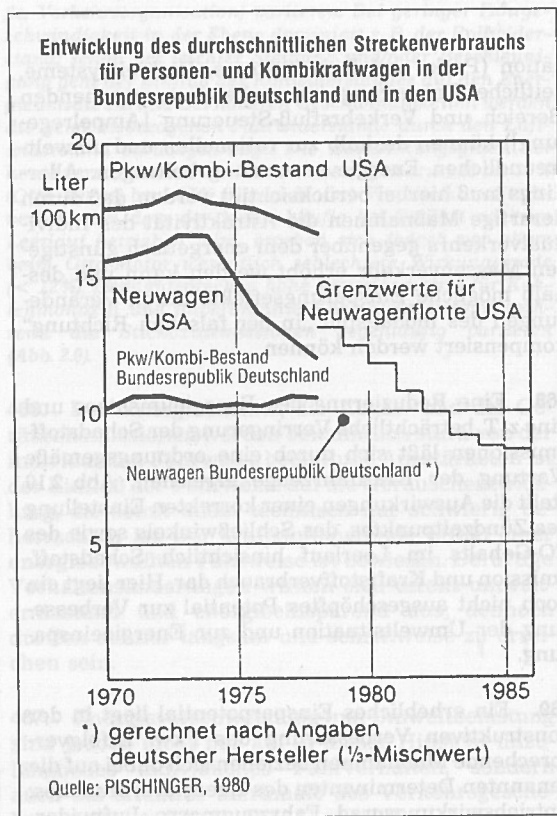
Lärm und Schadstoffen sowie Energie-Einsparungen lassen sich z. B. durch folgende Maßnahmen erreichen:

- Motorabschaltung im Leerlauf bzw. Schubetrieb. Die Wirkungsgradverbesserung im Stadtbetrieb kann bis zu 25% (Otto-Motor) bzw. 18% (Diesel-Motor) betragen.
- Betrieb des Motors in seinem Bestpunkt durch digitale Motorelektronik (elektronische Steuerung der Zündanlage und Einspritzvorrichtung), angepasste Getriebeauslegung, Entscheidungshilfen für den Fahrer (Schalt- und Verbrauchsanzeige) und auf Minimierung des Kraftstoffverbrauchs sowie der Umweltbelastung programmierte rechnergesteuerte automatische Getriebe („elektronisches Gaspedal“).

Die mit derartigen Maßnahmen verbundenen Drehzahlreduzierungen vermindern auch die Lärmemissionen. Motorkapselung zur Geräuschabsenkung kann bei häufigeren Kaltstarts aufgrund des üblichen Betriebsablaufes ebenfalls den Energieverbrauch reduzieren.

**472.** Abschätzungen der gesamten Kraftstoffeinsparungsmöglichkeiten beim Pkw bewegen sich in einem Bereich von etwa 20 bis 60%. Der Rat möchte den vorliegenden Prognosen keine weitere hinzufügen. Er stellt jedoch fest, daß die technischen Möglichkeiten offenbar noch längst nicht ausgeschöpft sind. In den Vereinigten Staaten sind bis 1985 die Flottenverbräuche auf 8,55 Liter pro 100 km zu senken. Auch die deutsche Automobilindustrie will den Kraftstoffverbrauch ihrer Fahrzeuge bis dahin gegenüber 1978 um 10—12% senken (Abb. 2.11).

Abb. 2.11





Das konstruktionslenkende Potential dieses in einer Vereinbarung mit der Bundesregierung festgelegten Zielbereiches erscheint dem Rat allerdings gering, da derartige Maßnahmen ohnehin nötig sind, um die Konkurrenzfähigkeit der deutschen Automobilindustrie zu erhalten. Angesichts steigender Kraftstoffpreise dürfte sich — wie auch erste Erfahrungen bereits zeigen — der Marktmechanismus als leistungsfähigeres Allokationsinstrument erweisen.

**473.** Den Verkehrsteilnehmern entstehen bis heute durch die von ihnen verursachten Umweltbelastungen keine monetären Kosten; insofern existiert nach wie vor kein direkter Anreiz zur Benutzung umweltfreundlicher Verkehrsmittel und zur Konstruktion weniger umweltbelastender Fahrzeuge, wenn man einmal von dem allgemeinen Zusammenhang zwischen Energieeinsparung und Umweltentlastung absieht. Deshalb ist eine Datensetzung durch die Politik notwendig. Dabei sind mehrere Unterziele möglich:

- Veränderung des modal-split zu Lasten des Individualverkehrs
- Konstruktion weniger umweltbelastender Pkw
- Weniger umweltbelastende Benutzung des Pkw.

Die möglichen Instrumente zur Beeinflussung der Verkehrsnachfrage im individuellen Straßenverkehr und damit zur Änderung des modal-split hat der Rat in seinem Gutachten „Auto und Umwelt“ bereits diskutiert. Auf die entsprechenden Ausführungen sei verwiesen.

**474.** Nach den bisher gemachten Erfahrungen ist davon auszugehen, daß die Nachfrage nach Pkw-Verkehrsleistungen — nicht zuletzt wegen fehlender oder wenig attraktiver Alternativen — nur wenig auf Preissteigerungen reagiert und deshalb nur administrative Regelungen und/oder drastische Verteuerungen der Pkw-Benutzung nennenswerte Einspareffekte hätten. Letzteres wäre sozialpolitisch bedenklich. Administrative Regelungen können auf erhebliche Widerstände treffen, wie beispielsweise die Diskussion über ein Tempolimit auf Autobahnen gezeigt hat. Angesichts dieser Restriktionen sollte der Gesetzgeber die Rahmenbedingungen zumindest so setzen, daß nicht für den einzelnen Verkehrsteilnehmer die Benutzung des eigenen Kraftfahrzeuges zusätzlich begünstigt wird. Der Rat wiederholt deshalb nachdrücklich seine Forderung, im Rahmen der steuerlichen Werbungskostenregelung die Kilometerpauschale für die Benutzung des eigenen Kfz in eine allgemeine Entfernungspauschale umzuwandeln, die unabhängig von dem benutzten Verkehrsmittel in Ansatz gebracht werden kann.

**475.** Insgesamt ist der Spielraum zur Verringerung der Verkehrsleistungsnachfrage im Individualverkehr begrenzt. Dies hat zur Folge, daß auch die umweltpolitischen Erfolge dieser Strategie nicht durchschlagend sein werden. Es handelt sich hierbei um eine Einschätzung des Rates, die nichts über die Wünschbarkeit entsprechender Veränderungen aus-

sagt, sich vielmehr auf die Effizienz der zur Verfügung stehenden Instrumente gründet.

**476.** Gegenüber einer solchen Strategie der Veränderung des modal-split erscheint dem Rat die Strategie der Senkung der spezifischen Emissionen der Fahrzeuge umweltpolitisch effizienter. Dies kann durch eine Reform der Kfz-Besteuerung erreicht werden, über die nunmehr seit zehn Jahren diskutiert wird. Bislang wird durch die Kraftfahrzeugsteuer der ruhende und durch die Mineralölsteuer der rollende Verkehr steuerlich erfaßt. Die Kraftfahrzeugbesteuerung folgt insofern dem steuerlichen Äquivalenzprinzip.

Zunächst mit dem Hinweis auf den beträchtlichen Erhebungsaufwand bei der Kraftfahrzeugsteuer wurde über weniger verwaltungskostenintensive Besteuerungsalternativen nachgedacht. Dabei rückte sowohl im politischen Raum als auch in der öffentlichen Diskussion das Modell einer aufkommensneutralen Umlegung der Kfz- auf die Mineralölsteuer in den Mittelpunkt. Zu dem Argument der Verwaltungskostenersparnis gesellte sich angesichts der zunehmenden Notwendigkeit der Energieeinsparung die Vorstellung, eine erhöhte Mineralölsteuer würde zur Energieeinsparung beitragen. Daß gleichzeitig die Erhöhung der Mineralölsteuer — wie im Frühjahr 1981 — auch fiskalisch begründet wird, steht freilich in einem gewissen Gegensatz zu diesem Argumentationsmuster. Aspekte der „ökologischen Inzidenz“ fanden bislang nur am Rande Eingang in die Diskussion einer Reform der Kraftfahrzeugbesteuerung.

**477.** Unter umweltpolitischen Gesichtspunkten sind prinzipiell drei Ansatzpunkte der Besteuerung möglich:

- Der Input (Kraftstoffverbrauch)
- Bestimmte Konstruktionsmerkmale des Fahrzeugs
- Der Output an Schadstoffen und Lärm.

Der Inputbesteuerung würde eine Umlegung der Kfz-Steuer auf die Mineralölsteuer entsprechen. Es gibt eine Reihe von Gründen, die diese Lösung sinnvoll erscheinen lassen. Die aufkommensneutrale Umlegung der derzeitigen hubraumbezogenen Kfz-Steuer auf die Mineralölsteuer würde den Kfz-Konstrukteuren Anreize zur Konstruktion sparsamerer Fahrzeuge geben. Unter energie- und außenhandelspolitischen Gesichtspunkten wäre dies eine erwünschte Reaktion; problematisch fällt dagegen die umweltpolitische Bewertung aus, da die o. g. Zielkonflikte zwischen Energie- und Umweltpolitik einseitig zugunsten der Energiepolitik entschieden werden.

Zwischen dem Energieumsatz, der Menge und Zusammensetzung der Schadstoffemissionen und der Lärmentwicklung bestehen nämlich, wie bereits bemerkt, keine stringenten Zusammenhänge. Ein verringerter Energieverbrauch wirkt sich deshalb nicht immer automatisch in einer Verringerung der Umweltbelastungen aus. Es zeigt sich wiederum, daß die

Umweltpolitik eigenständige, z.T. auch von der Energiepolitik verschiedene Ziele verfolgen muß.

Der Rat gibt darüber hinaus zu bedenken, daß die autonome Entwicklung der Kraftstoffpreise in den vergangenen Jahren für die Automobilindustrie bereits Anreize geboten hat, aus Gründen der Wettbewerbsfähigkeit sparsamere Fahrzeuge anzubieten. Diese Entwicklung wird sich in Zukunft fortsetzen.

**478.** Mögliche Bemessungsgrundlage einer umweltgerechten Kfz-Besteuerung könnten auch bestimmte Kfz-Konstruktionsmerkmale sein. Nach diesem Prinzip ist auch die derzeitige Kfz-Steuer konzipiert. Es besteht allerdings Einigkeit darüber, daß der Hubraum des Motors umweltpolitisch kein sinnvoller Ansatzpunkt der Besteuerung ist; im Gegenteil liegt die Vermutung nahe, daß hierdurch die Konstruktion besonders umweltintensiver Fahrzeuge begünstigt worden ist. Es stellt sich deshalb die Frage, ob andere Konstruktionsmerkmale eines Kraftfahrzeuges in engerer Beziehung zur Schadstoffemission und zur Lärmentwicklung stehen. Dies ist jedoch offensichtlich nicht der Fall. Die Emissionen sind vielmehr Ergebnisse eines komplexen Zusammenwirkens verschiedener Konstruktionsmerkmale. Allenfalls eine äußerst komplizierte Formel, die diesem Umstand Rechnung trägt, könnte theoretisch umweltpolitischen Anforderungen genügen. Die Konstruktion eines derart komplizierten Formeltarifs würde jedoch die Berechtigung einer „Ersatzbemessungsgrundlage“ zweifelhaft erscheinen lassen.

**479.** Als umweltgerechte Bemessungsgrundlage verbleiben somit die realen Schadstoff- und Lärmemissionen, die im Rahmen von standardisierten Testprogrammen analog der derzeit im Rahmen der Grenzwertregelung praktizierten Typprüfung erfaßt werden könnten. Hierzu fordert der Rat nachdrücklich die Verbesserung von Meßgeräten und Testprogrammen, damit derzeit noch mögliche Ungenauigkeiten im Meßergebnis vermindert werden. Eine derart umweltgerechte Kfz-Besteuerung könnte aus einem einheitlichen Grundbetrag bestehen sowie einem pro Fahrzeugtyp ermittelten emissionsabhängigen Betrag. Das Verhältnis zwischen den beiden Teilbeträgen wäre so zu bemessen, daß der emissionsabhängige Betrag für die Kfz-Besitzer zwar einerseits merklich ist und auch den Erwerb weniger umweltbelastender Fahrzeuge lohnend erscheinen läßt, andererseits jedoch die sozialpolitische Zumutbarkeitsgrenze nicht übersteigt. Der emissionsabhängige Teil der Steuer sollte sich aus den Schadstoff- und den Lärmemissionen errechnen. Die im Bereich der Schadstoffemissionen derzeit gültigen Grenzwerte müßten freilich abgeschafft werden, um der reformierten Kfz-Steuer den Charakter einer Restverschmutzungsabgabe zu nehmen. Bei den Lärmemissionen wären zur Vermeidung von Spitzenpegeln Grenzwerte beizubehalten.

**480.** Der Rat weist darauf hin, daß durch die skizzierte Veränderung der Kraftfahrzeugbesteuerung bestimmte umweltrelevante Daten von Fahrzeugtypen erfaßt werden, nicht jedoch das tatsächliche

Ausmaß der Umweltbelastung beim Betrieb der Fahrzeuge. Hier können sich abhängig von der Fahrweise und vom Wartungszustand bekanntlich erhebliche Streubreiten für denselben Fahrzeugtyp ergeben. Laufende Kontrollmessungen sind deswegen nicht überflüssig. Der Rat fordert nachdrücklich, die Voraussetzungen für die Praktikabilität der Emissionsbesteuerung zu verbessern.

#### 2.5.2.3.2. Sonstige Verkehrsträger

**481.** Generell läßt sich bei den sonstigen Verkehrsträgern durch die bereits genannte Strategie einer Lagerung von Verkehrsleistungen auf jeweils energetisch günstigere Verkehrsmittel ein umweltentlastender Effekt erzielen. Bei gegebener Verkehrsträgerstruktur kann der spezifische Energieverbrauch durch eine bessere Auslastung mit der Folge einer verringerten Fahrleistung und durch konstruktive Veränderungen gesenkt werden. Maßnahmen zur Verbesserung der Verkehrsorganisation und der Verkehrsfluß-Steuerung wirken im übrigen bei allen Verkehrsträgern ceteris paribus energieschonend und umweltentlastend.

**482.** Da beim Lkw-Verkehr der Ausnutzungsgrad der angebotenen Nutzlast im Durchschnitt unter 50 % liegt, bietet die erhöhte Auslastung noch ein Einsparpotential. Zwar steigen Energieumsatz und Schadstoffemission mit der Fahrzeugmasse, jedoch dürfte der Nettoeffekt positiv sein.

Verhältnismäßig schnell realisierbare Systemverbesserungen wie der Ausbau von Frachtzentren und Güterverteilungszentralen versprechen eine hohe Ergiebigkeit im Hinblick auf rationelle Energienutzung. Auch die Zulassung höherer Gesamtgewichte bei straßenschonender Bauweise ist energie- und umweltpolitisch wünschenswert.

*Demgegenüber sind die Möglichkeiten konstruktiver Verbesserungen am Fahrzeug bereits weitgehend ausgeschöpft. Da beim Lkw das Gewicht der dominierende Widerstandsfaktor ist, wirken sich mögliche Maßnahmen zur Verringerung des Luftwiderstandes vornehmlich im Fernverkehr auf Kraftstoffverbrauch und Umweltentlastung aus. Der Spielraum zur Verringerung des Leergewichts ist jedoch nur noch gering, vor allem wenn zusätzliche Maßnahmen zur Geräuschminderung berücksichtigt werden. Auch der bereits erreichte Stand der Motortechnik (maximale Wirkungsgrade von über 42 %) läßt nur noch geringe Verbesserungen zu. Bessere Informationssysteme für den Fahrer und automatische Getriebe wirken sich umwelt- und energiepolitisch positiv aus. Hochgezogene Auspuffrohre reduzieren die Umweltbelastungen, bringen aber keine Energiespareffekte. Umweltentlastungen könnte auch die Substitution der vor allem im Stadtverkehr eingesetzten Kleinlastwagen mit Ottomotor durch solche mit Dieselmotor bewirken.*

**483.** Bei der Binnenschifffahrt sind die konstruktiven Möglichkeiten zur Energieeinsparung nahezu ausgeschöpft.

**484.** Der Omnibus ist bereits heute ein sparsames und — bei Motorkapselung — wenig umweltbelastendes Beförderungsmittel. Busfahrspuren und

spezielle Vorfahrtsregelungen erhöhen die Attraktivität dieses Verkehrsmittels und können damit zur Änderung des modal-split beitragen.

**485.** Bei den schienengebundenen Verkehrsmitteln sind, nach der vollständigen Substitution der Dampf- durch die Elektro- und Dieseltraktion bei der Bundesbahn, die Energieeinsparungsmöglichkeiten nur noch gering. Spareffekte kann die Einführung der Nutzbremmung, die Reduzierung der Wagengewichte sowie eine, möglicherweise jedoch aufwendige und umweltintensive, Optimierung der Streckenführung bewirken. Die angestrebte Erhöhung der Höchstgeschwindigkeiten im Eisenbahnverkehr kann dagegen überproportionale Steigerungen des Energieverbrauchs zur Folge haben, sofern hierdurch nicht eine Veränderung des modal-split hervorgerufen wird.

**486.** Im Bereich des Flugverkehrs liegen dagegen noch merkliche Energiesparpotentiale in technologisch weiterentwickelten Triebwerken und verbesserten Flügelprofilen<sup>1)</sup>. Demgegenüber sind die treibstoffsparenden Effekte einer verbesserten Wartung relativ gering. Zur Verringerung des Rollverbrauchs auf den Flugplätzen wird der Einsatz ener-

getisch günstigerer Schleppfahrzeuge diskutiert. Dies hätte auch positive Auswirkungen auf die Lärm- und Schadstoffemissionen. Eine Verbesserung der Flugprofile unter energetischen Aspekten kann dagegen in Konflikt mit der Luftraumkontrolle und den Forderungen des Schallschutzes geraten.

**487.** Bereits im „Umweltgutachten 1978“ hat der Rat neue Verkehrssysteme unter energie- und umweltpolitischen Aspekten eingehend diskutiert und eher skeptisch beurteilt. Auf die entsprechenden Ausführungen sei verwiesen. Es sei an dieser Stelle nochmals darauf aufmerksam gemacht, daß der Gesamteffekt bei der Einführung neuer und bei der Verbesserung gegebener Verkehrssysteme u. a. eine Funktion der dadurch bewirkten Beeinflussung des modal-split ist. Hier kann durch Anwendung neuer Technologien zwar ein attraktives Potential verfügbar gemacht werden, die Durchsetzung erfordert jedoch politische Prioritätensetzungen.

- 
- 1) Nach Schätzungen einer von der NASA eingesetzten Arbeitsgruppe erscheint es denkbar, daß noch vor dem Jahr 2000 Flugzeuge eingesetzt werden, die gegenüber der Flugzeuggeneration Ende der siebziger Jahre um 50 % weniger Treibstoff verbrauchen.



### 3 FUNKTIONALE UND SIEDLUNGSSTRUKTURELLE ANSATZPUNKTE FÜR DIE UMWELTENTLASTUNG BEI DER WÄRME- UND STROMVERSORGUNG

#### 3.1 Umweltpolitische Bedeutung einer verstärkten Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung

##### 3.1.1 Potentiale der Kraft-Wärme-Kopplung in der industriellen Kraftwirtschaft und in der Heizwärmeversorgung

488. In der Energiepolitik ist die Forderung nach rationeller Energienutzung heute kaum noch umstritten. Der Rat hat im vorangehenden Teil darauf hingewiesen, daß auch aus der Sicht der Umweltpolitik alle Möglichkeiten der Einsparung von Primärenergie ausgeschöpft werden müssen, um die mit deren Einsatz unvermeidlich verbundenen Umweltbelastungen zu reduzieren. Erhebliche Einsparpotentiale bietet insbesondere die Kraft-Wärme-Kopplung bei der Erzeugung von Prozeßwärme und Strom in der Industrie und bei der Deckung des Heizwärmebedarfs für den gesamten privaten und öffentlichen Gebäudebestand.

In der Industrie kann mit der Erzeugung von Prozeßwärme in höherem Maße als bisher auch elektrische Energie für den Eigenbedarf und/oder das öffentliche Netz bereitgestellt werden.

Wird aus verbrauchernah gelegenen Kraftwerken Heizwärme ausgekoppelt und in Fernwärmenetze eingespeist, kann der Einsatz von Primärenergie unter außerordentlich günstigen Bedingungen erfolgen.

Danach sind in der Industrie noch Einsparpotentiale einer Wärme-Kraft-Kopplung, bei der Heizwärmeversorgung noch Einsparpotentiale einer eigentlichen Kraft-Wärme-Kopplung ausschöpfbar; beides wird heute üblicherweise unter der Bezeichnung Kraft-Wärme-Kopplung zusammengefaßt. Der Grad der Brennstoffausnutzung, der bei reinen Strom-Kraftwerken ca. 40 % beträgt, kann bei Kraft-Wärme-Kopplung bis auf rund 85 % gesteigert werden.

489. In diesem Zusammenhang muß festgestellt werden, daß eine wirtschaftliche Nutzung der bei der Stromerzeugung anfallenden Abwärme aus reinen Kondensations-Kraftwerken kaum in Betracht kommt. In der öffentlichen Diskussion wird dazu vielfach übersehen, daß die Abwärme aus Kraftwerken mit einer Temperatur von ca. 30° C anfällt, die unmittelbar weder für industrielle Produktionsprozesse noch für Fernwärmenetze nutzbar ist. In der Industrie wird vor allem Prozeßwärme zwischen 200° C und 1 700° C gebraucht (s. Tz. 21), in Fernwärmenetze wird Wasser mit einer Temperatur von 90° C bis 130° C eingespeist. Bei der Kraft-Wärme-

Kopplung mittels Auskopplung von Prozeßwärme oder Fernwärme handelt es sich nicht um die Nutzung von „Abfallwärme“, sondern um die thermodynamisch optimale Zuordnung der Primärenergie auf zwei Nutzenergien. Außerhalb der Kraft-Wärme-Kopplung liegt die Möglichkeit, Abwärme aus industriellen Prozessen unmittelbar in Fernwärmenetze einzuspeisen. Im allgemeinen kann die örtliche Fernwärmeversorgung aus Gründen der Versorgungssicherheit nicht allein auf industrielle Wärmeauskopplung gestützt werden.

##### 3.1.1.1 Wärme-Kraft-Kopplung: Erhöhung des Anteils industrieller Stromerzeugung

490. In der Industrie, wo in erster Linie Prozeßwärme benötigt wird, liegt der traditionelle Einsatz der Wärme-Kraft-Kopplung beim Betrieb von Dampfkesseln mit Gegendruckturbinen zur Stromerzeugung. Die Technologie ist hoch entwickelt. Sie erlaubt die Bereitstellung von Prozeßwärme auf den jeweils gewünschten Temperaturniveaus bei einem energetischen Wirkungsgrad der Anlagen bis zu 85 %. Der Strom wird entweder zur Deckung des Eigenbedarfs genutzt oder in das öffentliche Netz eingespeist.

Im Vergleich zu reinen Dampfkesselanlagen sind solche Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen in den Investitionskosten erheblich teurer. In den letzten Jahren haben sich die Rahmenbedingungen für die Wirtschaftlichkeit tiefgreifend geändert. Auch wenn sich unter wirtschaftlichen Gesichtspunkten Aussichten auf die Nutzung der Wärme-Kraft-Kopplung eröffnen, setzen rechtliche und organisatorische Hindernisse der Verwirklichung Grenzen.

491. Die gegenwärtige industrielle Stromerzeugung auf der Wärme-Kraft-Kopplungsbasis beläuft sich auf ca. 8 500 MW in der installierten Spitze!)\*. Ein Ausbau um weitere 8 000 bis 10 000 MW im Verlauf der nächsten 20 Jahre erscheint denkbar.

##### 3.1.1.2 Kraft-Wärme-Kopplung: Auskopplung von Heizwärme aus verbrauchernah gelegenen Kraftwerken und Einspeisung in Fernwärmenetze

492. Die Auskopplung von Heizwärme aus verbrauchernah gelegenen Kraftwerken zur Einspeisung in Fernwärmenetze stellt die energetisch ratio-

\*) Quellennachweise und sonstige Anmerkungen im Literaturverzeichnis im Anhang.



nellste Möglichkeit dar, Niedertemperaturwärme in die Haushalte zu liefern. Reine Heizwerke sind zur Versorgung größerer Fernwärmenetze unwirtschaftlich. Zwar wird der Heizwärmebedarf langfristig durch Wärmeschutzmaßnahmen fallen; angesichts eines Anteils von gegenwärtig 50 % am Endenergiebedarf — unter Einschluß des Bedarfs der Industrie an Niedertemperaturwärme — bleibt die Wärmeerzeugung dennoch auf lange Sicht der größte Energieverbraucher. Der Spareffekt der Kraft-Wärme-Kopplung liegt dabei in der optimalen Aufteilung des Exergiegehalts auf die produzierten Sekundärenergieträger.

**493.** Durch die Kraft-Wärme-Kopplung werden die Umweltbelastungen der Gewinnung, Verteilung und Umwandlung von Primärenergie proportional zur erzielten Primärenergieeinsparung reduziert. Darüber hinaus werden die Umweltbelastungen aus der Energieumwandlung beim Endverbrauch substituiert durch diejenigen des Kraft-Wärme-Kopplungsprozesses. Sofern die Kraft-Wärme-Kopplung mit konventionellen Dampfkesseln erfolgt, sind die Gesamtemissionen im allgemeinen geringer als diejenigen von Zentralheizungen und erst recht als diejenigen von Einzelöfen. Darüber hinaus ist eine andere Verteilungssituation gegeben, so daß die Emissionen noch sehr viel stärker fallen als die Emissionen. Fernwärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung entlastet daher die Umwelt, von SO<sub>2</sub> abgesehen, schon beim Einsatz konventioneller Kohlekessel. Beim Einsatz von Erdgas entfällt die SO<sub>2</sub>-Belastung; durch Rauchgasentschwefelung und Wirbelschichtfeuerung kann sie auch beim Einsatz von Kohlekesseln gemindert werden. Problematischer sind die Umwelteffekte von Kraft-Wärme-Kopplung durch Verbrennungsmotoren, da deren Emissionen erheblich über denen leistungsgleicher Heizkessel liegen. Für den stationären Einsatz können modifizierte Motoren, nachgeschaltete Abgasreinigungsanlagen und höhere Schornsteine hier Entlastung schaffen; wirklich durchschlagend wäre aber nur die Verwendung von Motoren mit äußerer Verbrennung, die sich erst in der Entwicklung befinden.

**494.** Fernwärme ist ein leitungsgebundener Sekundärenergieträger auf Niedertemperaturniveau. Als Energiequelle kommen neben reinen Heizwerken, die einen ungünstigen Wirkungsgrad aufweisen, Kraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung (Heizkraftwerke) sowie Großwärmepumpen in Frage. Für die Versorgung von Fernwärmenetzen durch Kraftwerke wählt man nach Möglichkeit Entnahme- oder Anzapf-Kondensationsturbinen, die im Vergleich zu Gegendruckturbinen eine günstigere Energieausnutzung bringen und für die gewünschten niedrigen Temperaturen ausreichen. Wird die Stromeinbuße durch erhöhten Primärenergieeinsatz kompensiert, so ergibt sich, daß die thermische Fernwärmeleistung mit nur einem Viertel des in reinen Heizwerken erforderlichen Primärenergieeinsatzes erzeugt wird.

Wegen der hohen Verteilungskosten und der Wärmeverluste in größeren Fernwärmenetzen bieten kleine Netze, die dann als Nahwärme bezeichnet

werden, gewisse wirtschaftliche Vorteile. Für die Versorgung solcher Netze kommt vor allem die Kraft-Wärme-Kopplung auf der Basis von Verbrennungsmotoren in Modulbauweise oder durch motorgetriebene Großwärmepumpen in Frage. Während bei der Verwendung von Wärmepumpen kein Strom erzeugt wird, bieten Blockheizkraftwerke die Möglichkeit, unter Ausnutzung der Speicherkapazität des Nahwärmenetzes den Motoreinsatz der Stromnachfrage anzupassen und so zur Entlastung der Nachfragespitze im Netz beizutragen.

**495.** Der Einsatz der Kraft-Wärme-Kopplung für ganze Städte oder Stadtteile setzt erstens verbrauchernahe Kraftwerke, zweitens den Aufbau von Fernwärmenetzen in Verdichtungsgebieten voraus. Während man die Wirtschaftlichkeit der Fernwärmenutzung bisher davon abhängig machte, daß der Transportweg nicht über 20 km hinausgeht, kommen inzwischen bei steigenden Energiepreisen auch längere Versorgungswege in Betracht. Das Wärmedargebot kann durch den Bau dezentraler Heizkraftwerke, aber auch durch die Auskopplung von Fernwärme aus Großkraftwerken bereitgestellt werden.

**496.** Die installierte elektrische Leistung der Heizkraftwerke der Fernwärmeunternehmen betrug 1979 ca. 6 600 MW<sup>2)</sup> bei einer Brutto-Engpaßleistung der inländischen öffentlichen Kraftwerke von ca. 71 500 MW, der gesamten inländischen Kraftwerke von ca. 87 700 MW<sup>3)</sup>. Allerdings stammt in der Bundesrepublik Deutschland nur ein Anteil von 3,2 % der tatsächlichen öffentlichen Stromerzeugung aus Heizkraftwerken. Hierbei setzen die kommunalen Energieversorgungsunternehmen die Kraft-Wärme-Kopplung in wesentlich höherem Maße ein als die überörtlichen. So stammen bereits 25 % ihrer Stromerzeugung aus Heizkraftwerken.

Die im Auftrag des Bundesministers für Forschung und Technologie erstellte „Gesamtstudie über die Möglichkeit der Fernwärmeversorgung aus Heizkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland“ kommt zu dem Ergebnis, daß bis 1990 25 % des gesamten Niedertemperaturwärmebedarfs mit einem technisch und wirtschaftlich vertretbaren Aufwand durch Fernwärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung gedeckt werden könnten<sup>4)</sup>.

Die Fernwärmestudie geht vom Stand der vorhandenen und geplanten stromwirtschaftlich notwendigen Kondensationskraftwerke aus. Ein möglichst großer Teil der Fernwärmeleistung soll durch Anzapfung dieser Kraftwerke aufgebracht werden. Deshalb muß nur ein relativ geringer Teil der Wärmeleistung durch speziell für die Wärmeversorgung errichtete Heizkraftwerke (Gegendruckturbinen und Gasturbinen) erzeugt werden. Bei der Kalkulation der zusätzlichen Engpaßleistung, die der Stromwirtschaft aus der Kraft-Wärme-Kopplung zuwächst, werden die Leistungsverluste der angezapften Kondensationskraftwerke in Abzug gebracht. Unter diesen Annahmen kommt die Fernwärmestudie zu der Schätzung eines fernwärmebedingten Zuwachses an elektrischer Engpaßleistung von lediglich 6 000 MW.

497. Der zu erwartende Zuwachs an elektrischer Engpaßleistung wird wesentlich höher, wenn man hinsichtlich des Aufbaus großer Netze, wie er für die Auskopplung von Fernwärme aus großen Kondensationskraftwerken erforderlich ist und von der Fernwärmestudie vorausgesetzt wird, mit erheblichen Schwierigkeiten rechnet und daraus die richtigen Folgerungen für die Kraftwerksplanung zieht. Dann müßte nämlich der Fernwärmebedarf durch eine große Zahl mittlerer oder kleinerer verbrauchernaher Heizkraftwerke befriedigt werden, die auch für weniger ausgedehnte Netze schon wirtschaftlich angezapft werden können. Bei einer solchen Betrachtungsweise werden im Interesse optimaler Fernwärmeversorgung Heizkraftwerke eingeplant, die rein stromwirtschaftlich gesehen nicht oder doch nicht am selben Standort gebaut werden würden. Auf diese Weise kommt man zu erheblich höheren Kraftwerkskapazitäten, die unter dem Gesichtspunkt der Fernwärmeversorgung geplant werden müssen. Aus Gründen rationeller Brennstoffnutzung sollte dabei ein möglichst großer Wärmeanteil aus Kondensationskraftwerken mittlerer Größe bezogen werden, deren elektrische Leistung dann der Enpaßleistung zuzurechnen ist. Aus dem Vorrang der Deckung des Heizwärmebedarfs folgt, daß der Zuwachs an elektrischer Leistung nach Anzapfung zu veranschlagen ist, und zwar ohne Abzug der Anzapfungsverluste.

498. Der Rat teilt die Skepsis bezüglich eines raschen Aufbaus großer Fernwärmenetze. Auch bei dieser Ausgangslage muß nach Auffassung des Rates eine möglichst weitgehende Nutzung des Potentials an Kraft-Wärme-Kopplung angestrebt werden. Wenn der Kraft-Wärme-Kopplung die Priorität eingeräumt wird, dann muß sich der Ausbau der Stromversorgung im Mittellastbereich nach Standort und Blockgröße am Fernwärmebedarf orientieren.

### 3.1.2 Fragen der Wirtschaftlichkeit von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen

499. Eine möglichst weitgehende Ausnutzung des Kraft-Wärme-Kopplungspotentials führt danach zu einer partiellen Dezentralisierung der Stromerzeugung. Das gilt für die industrielle Kraftwirtschaft ebenso wie für die verbrauchernahe Erzeugung von Strom und Heizwärme. Die Bestimmung der Grenze, von der ab Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen wirtschaftlich werden, entscheidet letztlich darüber, in welchem Ausmaß das Kraft-Wärme-Kopplungspotential ausgeschöpft werden wird. Dabei kommen vielfach traditionelle Bewertungsmaßstäbe ins Spiel, die einer umfassenden Überprüfung nicht immer voll standhalten. Im Vordergrund steht dabei, um wieviel kostengünstiger die Stromerzeugung in Großkraftwerken gegenüber der in dezentralen mittleren oder kleineren Anlagen veranschlagt wird, wie sie für die Kraft-Wärme-Kopplung gebraucht werden. Jede Überschätzung der Kostendegression, die Großkraftwerke mit sich bringen, führt notwendigerweise zu einer Unterschätzung des Potentials

an wirtschaftlich verwertbarer Kraft-Wärme-Kopplung. Selbstredend muß man sich auch vor einer Unterschätzung der Mehrkosten hüten, die mit dezentraler Stromerzeugung in mittleren oder kleineren Kraftwerken verbunden sind. Zwar lassen sich auch gewichtige umweltpolitische Gründe dafür geltend machen, die Stromversorgung notfalls auch in einem gewissen Umfang zu verteuern, um die Umweltentlastung durch verminderten Einsatz von Primärenergie zu beschleunigen; doch müssen solche Entscheidungen volkswirtschaftlich verantwortbar sein. Das setzt eine unvoreingenommene betriebswirtschaftliche Beurteilung der Stromerzeugungskosten bei zentraler und bei dezentraler Struktur voraus.

500. Bei der Stromerzeugung ist die mit der Kraftwerksgröße einhergehende Kostendegression bedeutend. Bei Kernkraftwerken haben sich daraufhin Blockgrößen mit elektrischen Leistungen von 1 200/1 300 MW, bei Kohlekraftwerken von 600/700 MW durchgesetzt. Nach Schätzungen der Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke (VDEW) verhalten sich bei einem Kohlekraftwerk (Kondensationskraftwerk zur reinen Stromerzeugung) die spezifischen Stromerzeugungskosten bei Blockgrößen von 750 MW/150 MW/30 MW wie 1 : 1,3 : 2,3<sup>5)</sup>.

Bei einem Kernkraftwerk verhalten sich die Kosten der Errichtung im Inland bei Blockgrößen von 1 300 MW/400 MW/200 MW bezogen auf die installierte Leistung wie 1 : 1,5 : 2,2. In den Strompreis gehen die Errichtungskosten mit weitaus mehr als 50 % ein.

Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen kommt es nicht nur auf den Erlös aus dem Stromverkauf an, sondern auf den Gesamterlös aus Strom- und Wärmeabsatz. Deshalb können auf dem Strommarkt ggf. auch kleinere Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen konkurrieren.

501. Im übrigen gibt es auch bei der reinen Stromerzeugung eine Reihe von Gesichtspunkten, die das Ausmaß der Wirtschaftlichkeitsvorteile der Großkraftwerke relativieren:

— Die Genehmigungsverfahren ziehen sich immer mehr in die Länge. Geht man von einem Kernkraftwerk mit Naßkühlturm von 1 300 MW aus, das 1985 in Betrieb gehen und eine Zeitausnutzung von 6 500 h/a = 74 % aufweisen soll, so belaufen sich z. B. die Mehrkosten bei einem Kapitaldienst von 13 % des Abschlußpreises für jedes Jahr verzögerter Inbetriebnahme auf etwa 1/3 der geschätzten Kosten der Errichtung eines Kernkraftwerks von 200 MW. Es ist jedenfalls nicht auszuschließen, daß ein Teil der Gründe für die Verzögerung auch darauf zurückzuführen ist, daß ein großer Block mehr technische und verfahrensmäßige Schwierigkeiten mit sich bringt als ein kleiner. Auch aus der Sicht der Akzeptanz für die Bevölkerung kann es eine Rolle spielen, ob ein verbrauchernahes Kraftwerk in erster Linie für die Bevölkerung am Standort arbeitet oder ob Stromerzeugung für andere Gebiete im Vordergrund steht.

- Auch lassen Untersuchungen über die Verfügbarkeit von Kernkraftwerken erkennen, daß ein Teil der größenspezifischen Kostendegression vielfach wegen der häufigeren und längeren Ausfallzeiten wieder verlorengeht. Ein Vergleich der Verfügbarkeiten darf allerdings nicht unkritisch erfolgen, weil ältere Anlagen mit jüngeren, ausländische mit inländischen, Siedewasserreaktoren mit Druckwasserreaktoren verglichen werden.
- Bis zu einem gewissen Grade werden beim Wirtschaftlichkeitsvergleich zwischen großen und kleinen Blöcken auch externe Kosten außer Betracht gelassen. So müssen die Vorkehrungen für die Evakuierung der Bevölkerung im Störfall bei Blockgrößen von 1 300 MW einen anderen Zugschnitt erhalten als bei einem mittleren oder kleineren Kraftwerk. Die Höchstsumme für die Haftung bei Nuklearunfällen ist im Atomgesetz nicht blockgrößenspezifisch angelegt. Dadurch werden die großen Blöcke in der Wirtschaftlichkeitsberechnung begünstigt.
- Sollte eine bessere Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung zu einem Bedarf an mittleren und kleineren Kraftwerken führen, werden sich aus der Standardisierung von Bauelementen Kostenvorteile ergeben.

**502.** Alle diese Gesichtspunkte werden auch in Zukunft nicht dazu führen, daß der Wirtschaftlichkeitsvorsprung von Großkraftwerken aufgehoben wird. Dies gilt vor allem für die Deckung des Grundlastbedarfs. Eingehendere und komplexere Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit können aber immerhin dazu beitragen, daß die herkömmlichen stromwirtschaftlichen Bewertungsmaßstäbe für das Wirtschaftlichwerden von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen den neuen Verhältnissen angepaßt werden.

### 3.1.3 Rechtliche und wirtschaftliche Hindernisse erhöhter industrieller Stromerzeugung

**503.** Einer Steigerung der industriellen Stromerzeugung unter Anwendung der Wärme-Kraft-Kopplung stehen eine Reihe von rechtlichen und wirtschaftlichen Hindernissen von unterschiedlichem Gewicht entgegen. Sie betreffen die Errichtung von Stromerzeugungsanlagen, die Gewinnung von Stromabnahmekunden, den Leitungsbau und schließlich die Durchsetzung angemessener Bedingungen für die Einspeisung des Überschußstromes in das öffentliche Netz.

#### 3.1.3.1 Hindernisse bei der Errichtung von Anlagen industrieller Wärme-Kraft-Kopplung

**504.** Die Errichtung von Anlagen industrieller Stromerzeugung kann energiewirtschaftsrechtlichen, immissionsschutzrechtlichen und bauplanungsrechtlichen Hindernissen begegnen.

**505.** Nach dem Energiewirtschaftsgesetz (EnWG)<sup>6)</sup> und den dazu ergangenen Verordnungen unterliegen Bau, Erneuerung, Erweiterung und Stilllegung von Anlagen, die der Erzeugung, Fortleitung oder Abgabe von Elektrizität dienen, einer Investitionskontrolle: Die Vorhaben sind anzeigepflichtig<sup>7)</sup>; die Energieaufsichtsbehörden der Länder können die Maßnahmen untersagen, wenn Gründe des Gemeinwohls es erfordern<sup>8)</sup>. Definiert man die Gründe des Gemeinwohls freilich unter Heranziehung der Präambel des Energiewirtschaftsgesetzes, könnten Zweifel auftreten, ob der Gesichtspunkt der Minderung der Umweltbelastungen Untersagungsverfügungen rechtfertigen würde. Die Frage kann in diesem Zusammenhang auf sich beruhen, weil auch die energiepolitischen Zielsetzungen den verstärkten Einsatz der Wärme-Kraft-Kopplung bereits abdecken. Aus der Praxis der Energiewirtschaftsbehörden der Länder sind Behinderungen des Ausbaues industrieller Stromerzeugung auch nicht erkennbar. Der Runderlaß, wonach Stromerzeugungsanlagen unter 300 MW grundsätzlich untersagt werden sollen, nimmt Anlagen mit Wärme-Kraft-Kopplung ausdrücklich aus<sup>9)</sup>.

**506.** Werden neue Produktionen aufgebaut und Anlagen der Wärme-Kraft-Kopplung damit verbunden, ergeben sich daraus kaum zusätzliche immissionsschutzrechtliche Beschränkungen, denn die produktionsbedingten Immissionen dürften dabei stets überwiegen. Sofern aber in vorhandenen Produktionsstätten die Anlagen zur Erzeugung von Prozesswärme nachträglich auf Wärme-Kraft-Kopplung umgestellt werden sollen, ist dies eine wesentliche Änderung, die Genehmigungshindernissen begegnen kann. Während nämlich bestehende Anlagen in der Regel weiterbetrieben werden, obwohl sie dem Stand der Technik oder den Immissionswerten nicht mehr entsprechen, lösen wesentliche Änderungen einen Zwang zur Modernisierung der Anlagen aus. Auch wo der Übergang zur Wärme-Kraft-Kopplung wirtschaftlich attraktiv erscheint, zögern die Betreiber deshalb oft, sich solchen Genehmigungsverfahren auszusetzen.

In Ballungsgebieten kann die Genehmigung von Stromerzeugungsanlagen daran scheitern, daß die Immissionsgrenzwerte der TA Luft<sup>10)</sup> nicht eingehalten werden können. Das gilt selbst dann, wenn diese Grenzwerte nach dem gegenwärtigen Stand überschritten sind und die neue Anlage insgesamt zur Verbesserung der bestehenden Immissionslage beiträgt. Mit dem Scheitern der Novelle zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG)<sup>11)</sup> in der vergangenen Legislaturperiode sind die Vorschläge für eine gesetzliche Sanierungs- und Luftreinhalteplanklausel<sup>12)</sup> entfallen, die auch für Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen Bedeutung gewinnen könnten. Zwar findet sich der Gedanke der Gutschrift von Schritten zur Verbesserung der Immissionslage bereits in der TA Luft<sup>13)</sup>; dort steht er aber wegen der Abwehrrechte der Nachbarn auf schwachen Füßen. Außerhalb von Ballungsgebieten können Anlagen der industriellen Stromerzeugung vor allem deshalb am Immissionsschutzrecht scheitern, weil der Schutz der Nachbarn vor schädlichen Umwelteinwirkungen zugleich an der Gesundheit, am Wachs-



tum nutzbarer Pflanzen und Tiere und unter Umständen auch an ökologischen Beständen orientiert werden könnte. Das Bestreben der zuständigen Landesbehörden, mittels des Tatbestandsmerkmals der „Erheblichkeit“ der Nachteile oder Belästigungen der Umwelteinwirkung für die Allgemeinheit oder die Nachbarschaft (§ 3 Abs. 1 BImSchG) die Schutzintensität jeweils generell oder für den Einzelfall abzustufen<sup>14)</sup>, ist berechtigt, schafft aber keine klare Rechtslage, die eine verlässliche Prognose auf die Genehmigungserteilung und die Aufrechterhaltung der Genehmigung im verwaltungsgerichtlichen Verfahren ermöglichte (s. auch Tz. 248).

**507.** Auch können bauplanungsrechtliche Hindernisse auftauchen, wenn Anlagen zur Erzeugung von Prozeßwärme nachträglich auf Wärme-Kraft-Kopplung umgestellt werden. Häufig werden in diesem Zusammenhang auch vorhandene Heizkessel ersetzt oder modernisiert. Während bestehende Anlagen weithin Bestandsschutz genießen, lösen alle wesentlichen Veränderungen eine behördliche Überprüfung aus, ob die baulichen Anlagen den jetzt geltenden Planungsgrundsätzen entsprechen.

Danach sind im sogenannten beplanten Innenbereich (§ 30 Bundesbaugesetz — BBauG<sup>15)</sup> die entsprechend den Gebietskategorien der Baunutzungsverordnung (BauNVO)<sup>16)</sup> getroffenen Festsetzungen zu beachten. Selbst wenn sich die zu ändernde Anlage in einem Gewerbe- oder Industriegebiet befindet, in die generell auch Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen gehören<sup>17)</sup>, ist in jedem Einzelfall zu prüfen, ob sie nicht nach der Änderung nach Lage, Umfang oder Zweckbestimmung der Eigenart des konkreten Baugebietes widerspricht, § 15 Abs. 2, Abs. 1 S. 1 BauNVO. Änderungen sind auch unzulässig, wenn von der (geänderten) Anlage Belästigungen oder Störungen ausgehen können, die nach der Eigenart des Baugebietes im Baugebiet selbst oder in dessen Umgebung unzumutbar sind, § 15 Abs. 2, Abs. 1 S. 2 BauNVO. Ist nach Errichtung der Altanlagen erst die Wohnbesiedlung an die Industrie- oder Gewerbetkomplexe herangerückt, kann eine Änderung der Anlagen den Anstoß dafür geben, dem Schutz der Wohnbevölkerung nunmehr Vorrang einzuräumen.

Befinden sich die Anlagen im nichtbeplanten Innenbereich (§ 34 BBauG), werden diese Grundsätze entsprechend herangezogen<sup>18)</sup>.

Im Außenbereich ist die Umstellung einer Anlage auf Wärme-Kraft-Kopplung grundsätzlich nur unter den engen Voraussetzungen von § 35 BBauG zulässig. Nur im Einzelfall wird sie auf den Gesichtspunkt des sogenannten überwirkenden Bestandsschutzes gestützt werden können<sup>19)</sup>.

In allen Fällen können aber die Maßstäbe des sogenannten Abstandserlasses<sup>20)</sup> ein wichtiges Genehmigungshindernis bilden. Einen solchen Erlaß gibt es zwar nur in Nordrhein-Westfalen; in den anderen Bundesländern werden die dortigen Bestimmungen aber vielfach als Auslegungshilfe herangezogen.

Schwierigkeiten ergeben sich ferner daraus, daß bei jeder Änderung betrieblicher Anlagen die inzwischen erlassenen Vorschriften über das Maß der baulichen Nutzung und der überbaubaren Grundstücksfläche ihre Wirkung entfalten. Aus diesem Grund zögern die Unternehmer häufig die Modernisierung ihrer Anlagen hinaus, weil die bisherige Ausnutzung der für sie verfügbaren Grundstücksflächen sonst mehr und mehr eingeschränkt werden könnte. Diese Erwägung dürfte auch eine Rolle spielen, wenn es um die Errichtung von Anlagen zur industriellen Wärme-Kraft-Kopplung geht. Der Ausweg, neue Gewerbeflächen zu erwerben, insbesondere im Umkreis der vorhandenen Industrieanlagen, kann selten beschritten werden. Solche Flächen sind in der Regel weder vorhanden noch erschließbar; oft sind sie wegen der spekulativen Entwicklung des Grundstückspreises nicht zu finanzieren.

### 3.1.3.2 Hindernisse bei der Gewinnung von Stromabnehmern

**508.** Die Wirtschaftlichkeit industrieller Stromerzeugungsanlagen hängt vielfach davon ab, daß über den Eigenbedarf hinaus Überschußstrom erzeugt und abgesetzt werden kann. Nach § 5 Abs. 1 EnWG bedürfen Unternehmen und Betriebe, die nicht Energieversorgungsunternehmen sind, einer aufsichtsbehördlichen Genehmigung, wenn sie Strom an Dritte abgeben wollen. Im Genehmigungsverfahren ist fast stets mit entschiedenem Widerstand des Energieversorgungsunternehmens zu rechnen, das jeweils das Gebietsmonopol innehat. Die Behauptung, eine Einschränkung des Versorgungsmonopols müsse zu ungerechtfertigten Mehrbelastungen der anderen Stromabnehmer führen, läßt sich oft nicht widerlegen. Die Energieaufsichtsbehörden werden die Genehmigung also unter Umständen versagen.

**509.** Außerdem verpflichten die Energieversorgungsunternehmen die Sonderabnehmer in der Regel durch Vertrag, die Weiterleitung von Strom an Dritte zu unterlassen. Schon wegen der Abhängigkeit des Unternehmens von Zusatzstrom und Reservestellung kann es sich einer solchen Klausel auch kaum entziehen. Bei der Planung von Anlagen industrieller Stromerzeugung kann daher oft nicht davon ausgegangen werden, daß der Überschußstrom an Dritte absetzbar ist.

### 3.1.3.3 Hindernisse für den Bau von Leitungen

**510.** Das entscheidende rechtliche Hindernis für eine Steigerung der industriellen Stromerzeugung mittels der Wärme-Kraft-Kopplung stellt das strassenrechtlich abgesicherte Gebietsmonopol der Energieversorgungsunternehmen dar: Der Überschußstrom kann nicht über eigene Leitungen an Dritte abgegeben werden, nicht einmal an Betriebsstätten des gleichen Unternehmens. Damit bleibt nur der Weg der Durchleitung des Überschußstroms durch das öffentliche Netz an eigene Betriebsstätten



oder Dritte oder der Einspeisung in das Netz zu Gunsten des Energieversorgungsunternehmens offen; in allen Fällen wird die Wirtschaftlichkeit der Anlage davon abhängig, welche Bedingungen das Energieversorgungsunternehmen für Durchleitung oder Einspeisung stellt.

Der Bau von Stromleitungen ist in der Regel nur unter Inanspruchnahme des Straßennetzes möglich. Die dem öffentlichen Verkehr gewidmeten Straßen unterliegen dem Straßenrecht; über den Bau von Stromleitungen entscheiden die Gebietskörperschaften in ihrer Eigenschaft als Wegeeigentümer und auf der Grundlage des bürgerlichen Rechts<sup>21)</sup>.

**511.** Durch Konzessionsvertrag zwischen dem Energieversorgungsunternehmen und der Gebietskörperschaft wird das Gebietsmonopol in der Weise abgesichert, daß diese sich verpflichtet, die Verlegung und den Betrieb von Leitungen auf oder unter ihren öffentlichen Wegen für eine unmittelbare öffentliche Versorgung von Letztverbrauchern ausschließlich dem Vertragspartner zu gestatten<sup>22)</sup>. Darüber hinaus dürfen die öffentlichen Wege auch keinem Versorger einzelner Abnehmer zur Verfügung gestellt werden<sup>23)</sup>. Dem industriellen Eigenversorger ist damit die Inanspruchnahme des Straßennetzes verwehrt.

**512.** Das Gebietsmonopol wird durch Demarkationsverträge noch verstärkt. Im Demarkationsvertrag vereinbaren zwei oder mehrere Versorgungsunternehmen, die Versorgung mit Strom im Gebiet des jeweils anderen Vertragspartners zu unterlassen<sup>24)</sup> und eine Versorgungstätigkeit durch Dritte nicht zu begünstigen. Der Betrieb von industriellen Gemeinschaftsanlagen sowie die Verlegung von industrie-eigenen Leitungen zur Stromversorgung in öffentlichen Straßen könnte noch möglich werden, wenn sich die Partner des Konzessionsvertrages im Einzelfall darüber verständigen. Die Möglichkeit der Nutzung von Anlagen, die aufgrund einer solchen Kooperation oder Sondergestattung errichtet worden sind, würde jedoch an der jeweiligen Demarkationsgrenze enden. Der Gebietsschutz kann also gewissermaßen von außen durchgesetzt werden, auch gegenüber Gebietskörperschaften, die die industrielle Wärme-Kraft-Kopplung durch Bereitstellung ihres Straßennetzes an sich fördern würden.

**513.** Die Konzessions- und Demarkationsverträge sind nach § 103 des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (Kartellgesetz, GWB)<sup>25)</sup> vom grundsätzlichen Kartellverbot ausgenommen. Das rechtfertigt sich daraus, daß das Gebietsmonopol als Kehrseite der Versorgungspflicht angesehen wird. Die Verträge sind anmeldepflichtig und unterliegen der Mißbrauchsaufsicht nach § 103 Abs. 5 und 6 GWB.

Unzulässig sind ein Mißbrauch der Marktstellung nach § 22 GWB und eine Diskriminierung nach § 26 Abs. 2 GWB. Wenn sich ein Energieversorgungsunternehmen auf sein Gebietsmonopol oder den weitergehenden Schutz durch Demarkationsverträge beruft, um den Bau eigener Leitungen durch industrielle Erzeuger zu verhindern, liegt weder das eine noch das andere vor.

### 3.1.3.4 Vergütung für die Einspeisung von Überschußstrom

**514.** In aller Regel bleibt auch der industrielle Stromerzeuger vom Energieversorgungsunternehmen abhängig. Zunächst ist er auf Zusatzstrom und Reservestellung angewiesen. Ferner werden die Anlagen nur dann wirtschaftlich zu betreiben sein, wenn Überschußstrom in das öffentliche Netz zu Bedingungen eingespeist werden kann, die den Selbstkosten Rechnung tragen. Schließlich besteht in manchen Fällen ein Interesse an Durchleitungsrechten, um Überschußstrom an rechtlich unselbständige eigene Betriebsstätten oder auch an Dritte abgeben zu können. Angesichts all dieser Abhängigkeiten haben es die Energieversorgungsunternehmen aufgrund ihrer Monopolstellung lange vermocht, industrielle Stromerzeugung in enge wirtschaftliche Grenzen zu verweisen.

Im Hinblick auf die gesetzliche Versorgungspflicht der Energieversorgungsunternehmen für ihr Versorgungsgebiet<sup>26)</sup> konnte auch nicht grundsätzlich davon ausgegangen werden, daß Restriktionen dieser Art mißbräuchlich gewesen wären. Bilden sich in einem Versorgungsgebiet Inseln von industriellen Eigenstromerzeugern, in denen das eingesetzte Kapital unter ökonomisch optimalen Bedingungen genutzt werden kann, müssen sich die Lieferbedingungen für die übrigen Stromabnehmer notwendigerweise verschlechtern. Damit nehmen die Energieversorgungsunternehmen bei der Durchsetzung ihres Monopols auch durchaus Verbraucherinteressen wahr. Daher blieben aber auch die Grenzen zwischen legitimer Inanspruchnahme des Gebietsmonopols und Mißbrauch wirtschaftlicher Macht lange fließend.

**515.** Die Vierte Novelle zum Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen vom 26. April 1980<sup>27)</sup> hat die Mißbrauchstatbestände deshalb schärfer umrissen. Nach § 103 Abs. 5 S. 2 Nr. 3 und 4 GWB liegt ein Mißbrauch des Gebietsmonopols vor, wenn ein Unternehmen in der Verwertung von in eigenen Anlagen erzeugter Energie unbillig behindert wird. Das gleiche gilt, wenn ein Unternehmen dadurch unbillig behindert wird, daß ein Energieversorgungsunternehmen sich weigert, eine Durchleitungsvereinbarung zu angemessenen Bedingungen abzuschließen; die Behinderung der Durchleitung an Dritte ist aber in der Regel nicht unbillig<sup>28)</sup>. Die Verschärfung der Mißbrauchsaufsicht diene in hohem Maße auch dem Ziel, die der Wärme-Kraft-Kopplung entgegenstehenden Hindernisse abzubauen.

**516.** Unter starker Einflußnahme des Bundeswirtschaftsministers haben die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke, der Bundesverband der Deutschen Industrie und die Vereinigung Industrielle Kraftwirtschaft am 1. August 1979 Grundsätze über die Intensivierung der stromwirtschaftlichen Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Elektrizitätsversorgung und industrieller Kraftwirtschaft vereinbart, um „die Voraussetzungen für eine sinnvolle Ausschöpfung des Eigenerzeugungspotentials der Industrie, insbesondere auf der Basis der Kraft-Wär-

me-Kopplung, zu verbessern<sup>29)</sup>). Mit dieser Vereinbarung ergeben sich völlig neue Rahmenbedingungen für die industrielle Stromerzeugung. Das gilt für alle Abhängigkeitsbeziehungen, die bisher die Wirtschaftlichkeit von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen begrenzt haben.

- Die Behinderung industrieller Stromerzeugung durch die Bedingungen für den Zusatzstrombezug und die Reservestellung ist entfallen. Für den Parallelbetrieb<sup>30)</sup> wird kein Entgelt mehr berechnet. Eine Verlagerung des bisher berechneten Entgelts für den Parallelbetrieb z. B. auf die Reservepreisstellung ist ausgeschlossen. Zusatzstrombezieher werden Vollstrombezieher gleichgestellt, wenn sie in konjunkturellen Abläufen ein synchrones Verhalten in der Eigenstromerzeugung und im Fremdstrombezug nachweisen. Beim üblichen Gegendruckbetrieb ist der Nachweis nicht einmal erforderlich. Dem industriellen Eigenerzeuger wird freigestellt, ob und in welchem Umfang er Reserve bestellen will oder nicht. Dabei wird Dauerreservequalität und Momentanreservequalität angeboten.
- Die Vergütung für die Einspeisung von Überschußstrom wird nach unten hin begrenzt. Durch eine vorgeschriebene Preisanpassung wird auch auf Dauer gewährleistet, daß die Vergütung angemessen bleibt. Sie orientiert sich an den vermiedenen beweglichen Kosten der Stromerzeugung in der öffentlichen Versorgung und berücksichtigt etwaige Einsparungen von Verlusten bei Transport und Verteilung. Erfolgt die Einspeisung mit Programmlieferungsverpflichtung des Einspeisers, ist der höheren Leistungsqualität dieser Einspeisung Rechnung zu tragen. Die Vergütung orientiert sich dann an den Kosten, die das Energieversorgungsunternehmen infolge der jeweiligen Qualität der Lieferung durch die Einspeisung im Vergleich zu einer alternativen Strombeschaffung vermeidet, u. a. beim Brennstoffeinsatz und Kraftwerksausbau sowie evtl. bei Netzverlusten und Leitungsausbau. Maßgebend ist ferner die elektrizitätswirtschaftliche Wertigkeit der Lieferung, insbesondere hinsichtlich der Verfügbarkeit und der Dauer der Zur-Verfügung-Stellung der Leistung.

Individuelle Vergütungsabreden über die Mindestvergütung hinaus haben Vorrang.

- Zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit von Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen kommen auch Durchleitungen an bestimmte Abnehmer in Betracht (Einspeisung mit Zweckbindung). Allerdings ist die Durchleitung grundsätzlich beschränkt auf den Fall, daß der Einspeiser räumlich von der Eigenerzeugungsanlage getrennte eigene, rechtlich unselbständige Betriebsstätten im Gebiet desselben Energieversorgungsunternehmens hat. Die Versorgung Dritter soll nicht angestrebt werden, also auch nicht die Versorgung eigener Betriebsstätten, die in der Form einer GmbH oder einer Aktiengesellschaft geführt werden. Soweit die Durchleitung danach zugelassen wird, soll der Einspeiser in Anerkennung des Gedankens der Selbstversorgung so gestellt wer-

den, als ob er zu den Betriebsstätten eine eigene Leitung gebaut hätte. Allerdings wird die Durchleitung nur gegen Erstattung der Gesamtjahreskosten einer fiktiven Leitungsverbindung zwischen den Betriebsstätten zugelassen. Die fiktive Leitungsverbindung zwischen den betreffenden Betriebsstätten ist im Hinblick auf die zu übertragende Leistung und unter Berücksichtigung sonstiger realistischer Annahmen zu ermitteln. Die gesamten Jahreskosten errechnen sich aus den Jahresfestkosten, den Betriebskosten und den sich aus ihrem Betrieb ergebenden fiktiven Verlusten.

**517.** Hervorhebung verdient, daß durch Änderung der Allgemeinen Versorgungsbedingungen sichergestellt worden ist, daß auch die Tarifabnehmer zur Eigenerzeugung von Elektrizität übergehen können, wenn sie sich energiesparende Verfahren, insbesondere der Kraft-Wärme-Kopplung, zunutze machen<sup>31)</sup>.

**518.** Das Bundeswirtschaftsministerium und die an der Grundsätzevereinbarung beteiligten Verbände gehen davon aus, daß die Grundsätze in der Praxis überall angewendet werden. In diesem Zusammenhang ist von besonderer Bedeutung, daß die sinnvolle Ausschöpfung des Eigenerzeugungspotentials der Industrie, insbesondere auf der Basis der Wärme-Kraft-Kopplung unmittelbar einsetzen soll, nicht erst dann, wenn bestehende Lieferverträge zeitlich auslaufen oder gekündigt werden. Dennoch ist eine Umstellung der Altverträge vielfach unerläßlich; sie ist noch nicht überall abgeschlossen. Das gilt insbesondere für die Bereinigung von komplexen Altentgelten, in denen z. B. Elemente einer Parallelfahrgebühr enthalten waren.

**519.** Vor allem durch die Regelung über die Mindestvergütung für die Einspeisung von Überschußstrom haben sich die Grenzen für das Wirtschaftlichwerden von Anlagen der industriellen Stromerzeugung verändert. Da individuelle Vergütungsabreden Vorrang haben und Verhandlungen darüber gegenwärtig vielerorts geführt werden, lassen sich die Auswirkungen der Grundsätzevereinbarung noch nicht verläßlich abschätzen. Die Prognosen darüber, ob damit wesentliche Impulse für eine verstärkte industrielle Stromerzeugung ausgelöst werden oder nicht, gehen weit auseinander. Das Bundesministerium für Forschung und Technologie hat eine Studie zu dieser Frage in Auftrag gegeben, deren Ergebnisse abgewartet werden müssen. Ein abschließendes Urteil darüber, in welchem Maße energierechtliche und energiewirtschaftliche Hindernisse des Ausbaues der industriellen Stromerzeugung noch weiter vorhanden oder bereits abgebaut sind, wird erst in einigen Jahren möglich sein.

### 3.1.3.5 Folgerungen für die Gesetzgebung

**520.** In welchem Maße die Grundsätze über die Intensivierung der stromwirtschaftlichen Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Elektrizitätsversorgung

und industrieller Kraftwirtschaft als Auslegungshilfe für die Mißbrauchstatbestände des § 103 Abs. 5 S. 2 Nr. 3 und 4 GWB herangezogen werden können, wird unterschiedlich beurteilt. Der Bundeswirtschaftsminister neigt der Auffassung zu, daß die Einhaltung der Grundsätze auch schon kartellrechtlich geboten sei. Solange die Vereinbarung aufrecht erhalten bleibt und beachtet wird, kann es letztlich dahingestellt bleiben, ob sie nur das umschreibt, was schon gesetzlich vorgeschrieben ist oder freiwillige Mehrleistungen der Energieversorgungsunternehmen enthält. Es dürfte aber kaum ein Zweifel daran möglich sein, daß die Grenzen einer kartellrechtlichen Behandlung des Problems mit § 103 Abs. 5 S. 2 Nr. 3 und 4 GWB erreicht sind. Von den Energieversorgungsunternehmen weitere Zugeständnisse zu verlangen, wäre mit dem Vorwurf der mißbräuchlichen Ausnutzung des Gebietsmonopols kaum noch zu begründen.

**521.** Sollte es sich daher als erforderlich erweisen, dem Ausbau industrieller Stromerzeugung noch stärkere Impulse zu geben als sie in der Grundsätzevereinbarung enthalten sind, müßte das Energiewirtschaftsgesetz geändert werden. Das Bundeswirtschaftsministerium hält eine solche Änderung gegenwärtig noch nicht für erforderlich. Dagegen hat die 14. Umweltministerkonferenz am 10./11. Februar 1980 beschlossen, eine Arbeitsgruppe einzusetzen, die Änderungen des Energiewirtschaftsgesetzes prüfen soll. Ein erster Problemkatalog wurde bereits vorgelegt.

In diesem Zusammenhang muß zwischen Änderungen des Energiewirtschaftsgesetzes unterschieden werden, die eher klarstellender Natur sind, und solchen, die das dirigistische Instrumentarium der Energieaufsichtsbehörden der Länder ergänzen.

Der Rat geht davon aus, daß das Energiewirtschaftsgesetz schon jetzt im Zusammenhang mit der Vierten Novelle zum Kartellgesetz ausgelegt und angewendet werden kann. Danach können die Energieaufsichtsbehörden schon jetzt Gesichtspunkte der Energieeinsparung, der Ressourcenschonung und des Umweltschutzes zur Geltung bringen.

Daraus ergibt sich, daß auch Untersagungsverfügungen nach § 4 Abs. 2 EnWG für den Bau, die Erneuerung, die Erweiterung oder die Stilllegung von Energieanlagen schon jetzt auf Gründe des Gemeinwohls gestützt werden können, die einem erweiterten Zielkatalog entsprechen. Vor allem kann danach der Bau neuer Kraftwerke zur reinen Stromerzeugung untersagt werden, wenn sich Möglichkeiten der Ausnutzung industrieller Wärme-Kraft-Kopplung geradezu wirtschaftlich anbieten und aus Gründen des Umweltschutzes eindeutig den Vorzug verdienen. Allerdings ist dabei zu berücksichtigen, daß kein Industrieunternehmen gezwungen werden kann, Stromerzeugungsanlagen zu errichten, und daß es deshalb auch dem Energieversorgungsunternehmen nicht ohne weiteres angelastet werden kann, wenn die Ausnutzung der Wärme-Kraft-Kopplung unterbleibt. Die Rechtslage ist aber anders zu beurteilen, wenn das Energieversorgungsunternehmen eine entsprechende industrielle Aus-

bauplanung dadurch zu Fall gebracht hat, daß es sich auf das Liefer- oder Gebietsmonopol berufen hat.

**522.** Eine Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes mit dem Ziel, das dirigistische Instrumentarium der Energieaufsichtsbehörden zu ergänzen, müßte energieaufsichtliche Verfügungen mit privatrechtsgestaltender Wirkung vorsehen. Die Verfügung müßte auf Antrag des beteiligten industriellen Unternehmens bestimmen, welche Anlage der Wärme-Kraft-Kopplung mit welcher Stromerzeugungskapazität zu welchen Bedingungen gebaut werden soll. Es könnte auch erwogen werden, in einem bestimmten Umfang Durchleitungen an eigene rechtlich selbstständige Betriebsstätten oder an Dritte zu ermöglichen. Mit der Bestandskraft der energieaufsichtlichen Verfügung wäre die Berufung auf vertragliche Liefer- oder Gebietsmonopole unzulässig.

**523.** Der Rat ist der Auffassung, daß Änderungen des Energiewirtschaftsgesetzes von lediglich klarstellender Natur nicht in Erwägung gezogen zu werden brauchen. Ergänzungen der Eingriffsbefugnisse der Energieaufsichtsbehörden erscheinen im gegenwärtigen Zeitpunkt nicht erforderlich. Sollte das industrielle Wärme-Kraft-Kopplungspotential aber trotz der Grundsätzevereinbarung weiterhin ungenutzt bleiben, sollten die Eingriffsbefugnisse der Energieaufsichtsbehörden erweitert werden.

### 3.1.4 Rechtliche und wirtschaftliche Hindernisse beim Ausbau der Fernwärmenetze

**524.** Der Einsatz der Wärme-Kraft-Kopplung zur Heizwärmeversorgung setzt zunächst den Ausbau von Fernwärmenetzen in Gebieten mit dichter Bebauung voraus. Dabei werden sich in der Regel zunächst Versorgungsinseln bilden, die von kleineren Heizwerken oder Blockheizwerken versorgt werden. Mit der Vernetzung solcher Versorgungsinseln entstehen Versorgungsgebiete, die durch Auskopplung von Heizwärme aus verbrauchernahen Kraftwerken beliefert werden müssen.

Rechtliche und wirtschaftliche Hindernisse hemmen sowohl einen zügigen Ausbau der Fernwärmenetze als auch die Errichtung stadtnaher Kraftwerke. Dabei verstärken sich beide Engpaßsituationen wechselseitig. Wo kein verbrauchernahes Angebot an Heizwärme in Sicht ist, sehen die Gemeinden keine Veranlassung, die außerordentlich hohen Investitionen für den Ausbau der Fernwärmenetze aufzubringen. Umgekehrt ist für die Kraftwerksbetreiber schwer voraussehbar, in welchen Zeiträumen die Kommunen nach den örtlichen Versorgungsplanungen ausreichende Fernwärmenetze fertigstellen und eine die Wirtschaftlichkeit gewährleistende Zahl von Verbrauchern anschließen werden.



### 3.1.4.1 Rechtliche und wirtschaftliche Hindernisse eines verbrauchernahen Dargebots an Heizwärme

525. Soweit die Städte über eigene Stadtwerke selbst Strom erzeugen, ergeben sich daraus im allgemeinen auch Möglichkeiten, die nach dem Ausbau entsprechender Fernwärmenetze benötigte Heizwärme aus stadtnah gelegenen Kraftwerken auszukoppeln und sie in das Netz einzuspeisen. Die Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung drängt sich aus der vorgegebenen Situation geradezu auf. Wenn in diesem Zusammenhang neue Kraftwerkskapazitäten geschaffen werden müssen, wird es an der Bereitschaft, dafür auch verbrauchernahe Standorte zu suchen, im allgemeinen nicht fehlen. Die Handlungsimpulse werden um so stärker, je vollständiger der Querverbund von Strom, Gas, Fernwärme und Wasser hergestellt ist. In solchen Fällen ist es nicht einmal unbedenklich, daß auch der leitungsgebundene Heizwärmemarkt monopolistische Züge annimmt, damit Wahlmöglichkeiten für den Verbraucher entfallen und etwaige Gewinne noch zusätzlich in defizitäre Versorgungsbereiche wie den öffentlichen Personennahverkehr überwiesen werden.

526. Werden Städte und Gemeinden dagegen von überregionalen oder regionalen Energieversorgungsunternehmen mit Strom versorgt, gestaltet sich die Bereitstellung eines Heizwärmedargebots außerordentlich schwierig. In den Ballungsräumen befinden sich zwar große Kraftwerke oft an so verbrauchernahen Standorten, daß sich die Auskoppelung von Heizwärme und die Einspeisung in ausgedehnte Fernwärmenetze anbietet; die Fernwärme-studie geht davon aus, daß 60% des wirtschaftlichen Fernwärmepotentials schon aus solchen Großkraftwerken bereitgestellt werden könnten<sup>32</sup>). Außerhalb der Ballungsräume erfolgt die Belieferung mit Strom aus Großkraftwerken, die weitab liegen. Auch Kraftwerke mittlerer Größe liegen nicht immer so nah an den Versorgungsgebieten, daß die Zuleitung bezogen auf das jeweils erschließbare Fernwärmepotential wirtschaftlich wird. Wenn ein hinreichend verbrauchernahes Kraftwerk vorhanden ist, haben die Verbundunternehmen oft wenig Interesse, daraus Heizwärme auszukoppeln, weil die volle Stromerzeugungskapazität in ihr Versorgungssystem ein-geplant ist.

Bei dieser Sachlage müßten die Verbundunternehmen an neuen verbrauchernahen Standorten oft mittlere oder kleine Kraftwerke bauen, um die erforderliche Heizwärme liefern zu können. Herkömmlich sind sie dazu kaum geneigt.

527. Die Gründe für diese Zurückhaltung sind mannigfaltig. Die Verbundunternehmen müssen zur Erfüllung ihrer Versorgungspflicht große Stromerzeugungskapazitäten bereitstellen. Großkraftwerke, für die stadtnahe Standorte oft nicht in Betracht kommen, sind bei der Stromerzeugung weitaus wirtschaftlicher als mittlere oder kleinere. Die Auskoppelung der Heizwärme bringt Leistungsverluste bei der Stromerzeugung mit sich, die anderweitig ausgeglichen werden müssen. Werden im Versorgungsge-

biet in zunehmendem Maße Versorgungsinseln geschaffen, die aus dezentral gelegenen Kraftwerken versorgt werden, können die Rentabilitätsberechnungen für die vorhandenen oder bereits fest geplanten Großkraftwerke davon berührt sein; letztlich könnten die Großkraftwerke nicht mehr voll ausgelastet sein und damit unwirtschaftlich werden. Die Verbundunternehmen sind ferner besorgt, daß die Entwicklung dezentraler Versorgungsstrukturen Interesse und Fähigkeit der größeren Städte steigert, die Strom- und Heizwärmeezeugung in eigene Regie zu übernehmen.

528. Die Bereitstellung eines ausreichenden Dargebots an Heizwärme hängt daher weitgehend davon ab, ob die am Ausbau eines Fernwärmenetzes interessierte Stadt selbst oder im Verbund mit anderen Städten ein verbrauchernahes Kraftwerk errichten kann, aus dem die Heizwärme ausgekoppelt wird. Nur wenn sie dazu in der Lage ist, wird das überörtliche Energieversorgungsunternehmen im übrigen veranlaßt sein, ein Konkurrenzangebot zu machen. Bei der Errichtung eines kommunalen Heizkraftwerkes greifen aber eine Reihe von rechtlichen und wirtschaftlichen Schwierigkeiten ein, an denen auch eine umweltpolitisch dringend erwünschte Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung scheitern kann.

529. Die Gebietskörperschaften sind zunächst durch langfristige Konzessionsverträge gebunden, die ein Ausscheren aus der Versorgungsbindung grundsätzlich ausschließen. Allerdings darf die vereinbarte Laufzeit des Vertrages künftig nach § 103 a GWB 20 Jahre nicht überschreiten. Das vereinbarte Weiterverkaufsverbot behindert die Zusammenarbeit mit anderen Gemeinden oder auch mit der Industrie. Ferner fällt ins Gewicht, daß auch beim Bau von Heizkraftwerken in aller Regel Abhängigkeiten vom überregionalen Versorgungsunternehmen bestehen bleiben, weil eine Reservestellung unerlässlich ist und oft auch Zusatzstrom gebraucht wird. Ferner kommt es auch für Stadtwerke, die Stromerzeugung betreiben, und für kommunale Verbundunternehmen darauf an, Überschußstrom in das überregionale Netz einspeisen zu können. Auch hier hängt es wieder von den Konditionen, insbesondere von der Vergütung für die Einspeisung ab, ob die kommunalen Heizkraftwerke wirtschaftlich werden können. Es liegt auf der Hand, daß die überregionalen Verbundunternehmen kein Interesse daran haben, solche Dezentralisierungstendenzen durch großzügige Vergütungsangebote zu unterstützen, weil sie auf diese Weise die Auslastung ihrer eigenen Kraftwerkskapazitäten gefährden könnten.

530. Die Vierte Novelle zum Kartellgesetz hat die Mißbrauchsaufsicht für den Versorgungsbereich in § 103 Abs. 5 S. 2 Nr. 3 mit dem Ziel verschärft, der Behinderung von Eigenanlagenbetreibern entgegenzutreten, die von der Möglichkeit der Kraft-Wärme-Kopplung Gebrauch machen wollen. Von der Vorschrift werden nicht nur industrielle Eigenanlagenbetriebe, sondern auch Versorgungsunternehmen erfaßt, die Überschußstrom erzeugen. Während aber für die industrielle Kraftwirtschaft die Grundsätze-



vereinbarung herangezogen werden kann, um die noch vertretbare von der schon unbilligen Behinderung zu unterscheiden, liegt eine entsprechende Konkretisierung für den kommunalen Versorgungsbereich nicht vor. Allerdings wird zwischen der Deutschen Verbundgesellschaft und der Vereinigung Kommunaler Unternehmen darüber verhandelt, wie die Rahmenbedingungen verbessert werden können, unter denen die Gebietskörperschaften Heizkraftwerke errichten können. Dabei geht man auch im ganzen von dem Kompromiß aus, der im Verhältnis zur Industrie gefunden worden ist. Während die Vereinigung Kommunaler Unternehmen auf die Zusammenarbeit mit den Gebietskörperschaften bezogene Grundsätze formulieren will, befürwortet die Deutsche Verbundgesellschaft Einzelverhandlungen. Grundlage der Einzelverhandlungen sollen aber Mindestvergütungen für die Einspeisung von Überschußstrom aus der Grundsätzevereinbarung mit der Industrie sein.

**531.** Der Rat ist der Auffassung, daß es mit der Verabschiedung der Vierten Novelle zum Kartellgesetz für den Fernwärmebereich nicht sein Bewenden haben kann. Auch hier erscheint eine Konkretisierung der gesetzlichen Maßstäbe in einer Grundsätzevereinbarung der beteiligten Verbände wünschenswert, die auf die spezifischen Schwierigkeiten der Errichtung von Heizkraftwerken durch kommunale Gebietskörperschaften zugeschnitten ist. In der Grundsätzevereinbarung mit der Industrie haben sich die Energieversorgungsunternehmen verpflichtet, Überschußstrom aus industriellen Eigenanlagen aufzunehmen, wenn dadurch in energiepolitisch sinnvoller Weise Primärenergie eingespart wird. Als energiepolitisch sinnvoll wird eine Reduzierung des Primärenergieverbrauchs bei der Stromerzeugung definiert, wovon man ausgeht, wenn bei vorhandenen und neuen Eigenerzeugungsanlagen die installierte Kondensationsleistung nicht mehr als 10% der installierten Gesamtleistung beträgt. Als Kondensationsleistung gilt dabei diejenige Leistung der Eigenerzeugungsanlage, die ohne Abgabe von Prozeßwärme erzeugt werden kann. Im ganzen läuft die Regelung darauf hinaus, daß Gegendruckturbinen bevorzugt werden, bei denen die Prozeßwärmeerzeugung gegenüber der Stromerzeugung deutlich im Vordergrund steht (etwa 2:1). Eine Grundsätzevereinbarung mit den Gebietskörperschaften muß von einer anderen Ausgangslage ausgehen. Die Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung erscheint auch dann energiepolitisch sinnvoll, wenn der Verbrauch an Primärenergie bei Strom- und Heizwärmeerzeugung im ganzen in Rechnung gestellt wird; dabei steht der überkommene übermäßige Verbrauch von Primärenergie in den Einzelfeuerungen der Haushalte im Vordergrund. Die Gebietskörperschaften können sich bei der Konzeption ihrer Heizkraftwerke nicht auf Gegendruckturbinen abdrängen lassen. Auch eine Beschränkung der Kondensationskraftwerke auf solche, bei denen die Kondensationsleistung nicht mehr als 10% beträgt, erscheint untragbar.

Eine Grundsätzevereinbarung mit den Gebietskörperschaften sollte auch klarstellen, in welcher Weise die Konzessions- und Demarkationsverträge umge-

stellt werden müssen, soweit sie nicht gekündigt werden können oder ihre Geltungszeit abläuft.

Kommt eine Grundsätzevereinbarung mit den Gebietskörperschaften nicht zustande, muß das Ergebnis der Einzelverhandlungen mit den Städten und Kreisen sorgfältig beobachtet und ausgewertet werden. Anders als im Bereich der industriellen Wärme-Kraft-Kopplung kommt es hier darauf an, rechtliche Hindernisse für den Ausbau der Fernwärmenetze so schnell und so eindeutig wie möglich auszuschließen; die Kommunen müssen sich jetzt zum Ausbau der Fernwärmenetze entscheiden können, wenn die letztlich angestrebte Umweltentlastung im nächsten Jahrzehnt zur Entfaltung kommen soll.

**532.** Sollte sich in den nächsten Jahren herausstellen, daß weder die überregionalen Verbundunternehmen bereit sind, mittlere oder kleinere Heizkraftwerke im Stadtumland zu errichten, noch die Konditionen ausreichen, die sie den Gebietskörperschaften einräumen, um die Errichtung für diese wirtschaftlich erscheinen zu lassen, müßten weitere gesetzgeberische Maßnahmen in Erwägung gezogen werden. Dabei geht der Rat davon aus, daß die Möglichkeiten des Kartellrechts nunmehr erschöpft sind.

Mit den Kriterien der mißbräuchlichen Ausnutzung des Gebietsmonopols oder der unbilligen Behinderung können nicht alle aus übergeordneten Gründen des Gemeinwohls wünschenswerten Dezentralisierungsvorgänge gesteuert werden.

**533.** Der Rat geht davon aus, daß die Untersagung neuer Großkraftwerke nach § 4 Abs. 2 EnWG unter Umständen auch heute schon darauf gestützt werden kann, daß im Versorgungsgebiet verbrauchernahe Mittellastkraftwerke errichtet werden müssen, die Fernwärme in vorhandene und geplante Netze einspeisen sollen. Sollte sich bei der Beobachtung und Auswertung der Einzelverhandlungen zwischen Energieversorgungsunternehmen und Gebietskörperschaften zeigen, daß die Bereitstellung eines verbrauchernahen Heizwärmedargebots auf vertragliche Hindernisse stößt, müßte das Energiewirtschaftsgesetz mit dem Ziel geändert werden, das dirigistische Instrumentarium der Energieaufsichtsbehörden zu ergänzen. Die Energieaufsichtsbehörden müßten ermächtigt werden, durch Verfügungen mit privatrechtsgestaltender Wirkung die Berufung auf bestehende Liefer- oder Gebietsmonopole für bestimmte Anlagen auszuschließen.

**534.** Außerdem sollte sichergestellt werden, daß die Entscheidungen der Energieaufsichtsbehörden und die der für den Immissionsschutz zuständigen Behörden aufeinander abgestimmt sind. Das gilt zunächst in den Fällen, in denen der Ausbau der Fernwärme überwiegend dadurch veranlaßt ist, daß Belastungsgebiete saniert werden müssen. Aber auch wenn Gesichtspunkte der Energieeinsparung den Anstoß geben, ein vorhandenes Potential an Kraft-Wärme-Kopplung auszuschöpfen, muß von vornherein geprüft werden, ob die von dem mittleren oder kleineren verbrauchernahen Kraftwerk ausgehen-

den Emissionen am vorgesehenen Standort hingenommen werden können.

**535.** Der Bereitstellung eines ausreichenden Dargebots an Heizwärme stehen an verbrauchernahen Standorten erhebliche Hindernisse nach dem geltenden Bundes-Immissionsschutzgesetz entgegen. Da es sich bei Kraftwerken, aus denen Fernwärme in das Netz eingespeist werden soll, vielfach um größere Anlagen als diejenigen handelt, die für die industrielle Kraftwirtschaft typisch sind, sind die Schwierigkeiten hier oft noch größer. In Ballungsgebieten spielt in diesem Zusammenhang das Fehlen einer rechtlich abgesicherten Sanierungs- und Luftreinhalteplanklausel eine wichtige Rolle. Außerhalb der Ballungsgebiete wirkt sich die bestehende rechtliche Ungewißheit aus, welche  $SO_2$ -Werte zum Schutz von Pflanze und Tier berücksichtigt werden müssen. Schließlich ist künftig die Verordnung über Großfeuerungsanlagen zu beachten<sup>33</sup>); die Diskussion darüber, in welchem Ausmaß Heizkraftwerke mit Rauchgasentschwefelung betrieben werden müssen, dürfte noch nicht endgültig abgeschlossen sein. Aber auch wenn danach an der Genehmigungsfähigkeit eines solchen Kraftwerkes letztlich nicht gezweifelt werden kann, bleibt offen, ob die Widerstände der Bevölkerung politisch überwunden werden können. Während die überregionalen Verbundunternehmen aus betriebswirtschaftlichen Gründen zögern, stadtnahe Kraftwerke von mittlerer Größe unter Auskopplung der Heizwärme zu errichten, lassen die Städte das Vorhaben oft schon aus kommunalpolitischen Erwägungen fallen, weil alle in Betracht kommenden Standorte leidenschaftliche Bürgerproteste hervorrufen würden.

**536.** In zunehmendem Maße stellen sich die bauplanungsrechtlichen Hindernisse für den Kraftwerksbau als diejenigen dar, über die man am schwersten hinwegkommt. Kraftwerke in der Größenordnung, wie sie für die Einspeisung von Heizwärme in Fernwärmenetze erforderlich sind, sollen ihren Standort in erster Linie in Industriegebieten (§ 9 BauNVO), eigens für das Vorhaben ausgewiesenen Sondergebieten (§ 11 BauNVO) oder auf eigens für das Vorhaben ausgewiesenen Versorgungsflächen (§ 9 Abs. 1 Nr. 12 BBauG) haben. Schon in Gewerbegebieten (§ 8 BauNVO) sind sie unzulässig, weil dort nur Anlagen errichtet werden dürfen, die keine erheblichen Nachteile oder erheblichen Belästigungen für die Umgebung zur Folge haben können. Die Ausweisung von Flächen in Bauleitplänen begegnet aber oft den größten Akzeptanzproblemen, wenn damit erkennbar der Standort für ein Kraftwerk umschrieben ist.

Im nichtbeplanten Innenbereich oder im Außenbereich können Kraftwerke aus Rechtsgründen kaum noch errichtet werden. Im nichtbeplanten Innenbereich stellt man darauf ab, ob sich das Kraftwerk „in die Eigenart der näheren Umgebung ... einfügt“ (§ 34 Abs. 1 BBauG). Demnach kommt es darauf an, ob die vorhandene Siedlungsstruktur der eines Industriegebietes im Sinne des § 9 BauNVO entspricht. Für diesen Fall ist umstritten, wieweit nicht eine förmliche Planung durchgeführt werden muß, bevor

das Kraftwerk genehmigungsfähig wird<sup>34</sup>). Welche Kraftwerksbauten nach § 35 Abs. 1 Nr. 4 und 5 BBauG für den Außenbereich privilegiert sind, wird sehr unterschiedlich beurteilt<sup>35</sup>). Zunehmend wird hier aber gefordert, daß größere Vorhaben in jedem Fall eine förmliche Planung voraussetzen<sup>36</sup>). Damit wird der jeweilige Betreiber wieder auf die kommunale Willensbildung verwiesen, die schwer kalkulierbar ist. In § 21 Abs. 2 Landesplanungsgesetz NW<sup>37</sup>) ist deshalb die Landesregierung ermächtigt, die Gemeinden zur Planung zu verpflichten. Abgesehen davon, daß eine solche Möglichkeit in anderen Ländern fehlt, kann sich die Landesregierung gegenüber den Städten oft noch weniger durchsetzen als die Städte gegenüber der betroffenen Bevölkerung.

Für die Änderung und Erweiterung vorhandener Kraftwerksanlagen gelten im übrigen die gleichen rechtlichen Einschränkungen, die schon in Zusammenhang mit der Änderung von Anlagen der industriellen Kraftwirtschaft behandelt worden sind (Tz. 507).

### 3.1.4.2 Ausbau von Fernwärmenetzen und Anschlußdichte

**537.** Eine Prognose auf die Wirtschaftlichkeit von Fernwärmeversorgungssystemen setzt voraus, daß sich mit einiger Verlässlichkeit abschätzen läßt, in welchen Zeiträumen der Ausbau abgeschlossen und in welchen Zeiträumen eine möglichst hohe Anschlußdichte der Anlieger erreicht sein wird. Die Städte sind kaum in der Lage, den Einsatz ihrer Haushaltsmittel für mehrere Haushaltsjahre im Voraus und über Wahlperioden hinweg festzulegen. Bei der Abwicklung der einzelnen Ausbauphasen muß auf viele andere Belange Rücksicht genommen werden. Auch stehen im Tiefbau nicht immer ausreichende Kapazitäten zur Verfügung.

Wenn das Fernwärmenetz fertiggestellt ist oder zumindest betriebsfähige Teile des Netzes, ist nicht gewährleistet, daß in überschaubaren Zeiträumen eine Anschlußdichte verwirklicht werden kann, die die Wirtschaftlichkeit der Heizwärmeversorgung gewährleistet oder zumindest die Verluste in der Anlaufphase spürbar senkt. Die Anlieger zögern den Anschluß hinaus, weil er mit erheblichen Kosten verbunden ist. Das gilt insbesondere, wenn die privaten Investitionen für Heizkessel, Öltanks, Gasanschluß usw. erst vor wenigen Jahren gemacht worden sind und sich ein Modernisierungsbedarf noch nicht abzeichnet. Teilweise ist auch noch Sekpsis spürbar, ob die Versorgung mit Fernwärme zuverlässig genug ist und ob die Entgelte angemessen festgesetzt und abgerechnet werden.

Allerdings steht bereits eine Reihe von rechtlichen Instrumenten zur Verfügung, um den Anschluß zu erzwingen oder zumindest die Anschlußbereitschaft zu erhöhen.

**538.** In allen Ländern sehen die Gemeindeordnungen inzwischen die Möglichkeit vor, durch Satzung

einen Anschluß- und Benutzungszwang für Fernwärme einzuführen<sup>38)</sup>). Im übrigen geht die höchstgerichtliche Rechtsprechung davon aus, daß auch die überkommenen gemeinderechtlichen Ermächtigungen die Einführung des Anschluß- und Benutzungszwanges für Fernwärme mitumfassen, weil diese als eine „der Volksgesundheit dienende Einrichtung“ zu betrachten sei<sup>39)</sup>). Die rechtlichen Kriterien für die Einführung des Anschluß- und Benutzungszwanges unterscheiden sich vor allem darin, daß in manchen Gemeindeordnungen ein „öffentliches Bedürfnis“, in anderen ein „dringendes öffentliches Bedürfnis“ gefordert wird<sup>40)</sup>). In Ballungsgebieten mit kritischen Immissionsverhältnissen reichen sicherlich beide Ermächtigungen aus. Außerhalb der Belastungsgebiete könnte aber jedenfalls aus dem Erfordernis eines „dringenden öffentlichen Bedürfnisses“ geschlossen werden, der allgemeine Gesichtspunkt, wonach jede Einsparung von Primärenergie eine Verminderung der Umweltbelastung bedeute, reiche noch nicht aus, um den Anschluß gegen den Willen des Anliegers durchzusetzen<sup>41)</sup>). Unabhängig davon besteht aber bei den Gemeinden wenig Neigung, vom Anschluß- und Benutzungszwang Gebrauch zu machen, nicht zuletzt deshalb, weil sie die damit notwendig verbundene Versorgungspflicht scheuen. In der Anlaufzeit versuchen sie eher, durch Werbung und verbrauchergünstige Heizwärmetarife auf einen freiwilligen Anschluß hinzuwirken. Erst wenn der Anschluß zum weitaus überwiegenden Teil auf freiwilliger Basis erreicht ist, zieht man in Erwägung, der Verweigerung der restlichen Eigentümer entgegenzutreten.

**539.** Soweit Eigentümer an das Fernwärmenetz angeschlossen werden, deren Heizungs- und Tankanlagen damit überflüssig werden, entstehen daraus in der Regel keine Entschädigungsansprüche nach Artikel 14 Abs. 3 Grundgesetz<sup>42)</sup>). Der Hauseigentümer hat keinen Anspruch darauf, die bisherigen Heizungs- und Tankanlagen noch für ihre gesamte Lebensdauer nutzen zu können. Da der Ausbau der Fernwärmenetze längere Zeit in Anspruch nimmt, können sich die Hauseigentümer auf die Möglichkeit der Einführung des Anschluß- und Benutzungszwanges auch frühzeitig einstellen; gegebenenfalls müssen Anpassungsfristen eingeräumt werden<sup>43)</sup>). Im übrigen verfügen die Gemeinden über tarifäre Gestaltungsmittel, um die Hauseigentümer für eine Ausmusterung der alten Anlagen zu gewinnen. Gleichwohl spielt die Besorgnis, Entschädigungsansprüche auszulösen, bei der Willensbildung in den Gemeinden oft eine große Rolle.

**540.** Nach § 9 Abs. 1 Nr. 23 BBauG können durch Bebauungsplan Gebiete festgesetzt werden, „in denen bestimmte, die Luft erheblich verunreinigende Stoffe nicht verwendet werden dürfen“. Dabei können bestimmte Brennstoffe für Feuerungsanlagen ganz ausgeschlossen werden. In der Regel geht es um den Ausschluß schwefelreicher Kohle in Einzelfeuerungsanlagen. Auf diesem Wege können die Hauseigentümer mittelbar veranlaßt werden, sich an ein vorhandenes Fernwärmenetz anzuschließen. Allerdings ist die Beheizung mit Strom oder Gas auf diesem Wege nicht auszuschließen.

**541.** Die Immissionsschutzgesetze der Länder Bayern und Nordrhein-Westfalen sowie die hessische Bauordnung enthalten Ermächtigungen an die Gemeinden, Verbrennungsverbote für bestimmte Gebiete zu erlassen<sup>44)</sup>). Auch auf diesem Wege können Voraussetzungen für eine erleichterte Einführung der Fernwärme geschaffen werden.

**542.** Die Länder verfügen kaum über ein wirksames Instrumentarium, um die Gemeinden zum zügigen Ausbau von Fernwärmenetzen und zur Einführung des Anschluß- und Benutzungszwanges zu veranlassen. Nach § 1 Abs. 6 S. 2 BBauG sind bei der Aufstellung von Bauleitplänen der Gemeinden die Belange des Umweltschutzes und der Energiewirtschaft in die planerische Abwägung einzubeziehen. Danach kann die staatliche Genehmigung für Flächennutzungspläne und Bebauungspläne also gem. §§ 6, 11 BBauG versagt werden, wenn der Ausbau eines Fernwärmenetzes sich anbietet und nicht berücksichtigt wurde. Bisher dürften die Genehmigungsbehörden allerdings nicht dazu neigen, das mit solchen Genehmigungsverweigerungen verbundene Prozeßrisiko einzugehen. Ebenso wenig besteht Aussicht, daß die Gemeinden mit Mitteln der Kommunaufsicht zur Erhebung von Beiträgen für den Ausbau von Fernwärmenetzen oder zur Einführung des Anschluß- und Benutzungszwanges veranlaßt werden.

**543.** Trotz der dargestellten rechtlichen, wirtschaftlichen und finanziellen Hemmnisse hat sich die Fernwärmeversorgung in den letzten Jahren zum Teil geradezu stürmisch entwickelt. So verfügt Schleswig-Holstein seit Ende 1979 über insgesamt 30 Netze mit einem Anschlußwert der Kunden von 1 500 MW<sub>th</sub>. Der Hauptanteil von 80 % entfällt auf die Städte Kiel, Flensburg und Neumünster. Die Wärmeabgabe hat sich innerhalb von 10 Jahren verdreifacht, die Zahl der Fernwärmeabnehmer um das Siebenfache erhöht. Daß Schleswig-Holstein heute im Bundesgebiet — neben den Städten Hamburg und Berlin — den höchsten Anschlußwert aufweist, zeigt deutlich, daß der Ausbau der Fernwärmeversorgung gerade in Mittelstädten zügig vorangetrieben werden kann. Am raschesten konnte die Umstellung auf Fernwärme in Flensburg vollzogen werden. Besonders hervorzuheben ist, daß der Ausbau der Fernwärme überwiegend unter Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung erfolgte.

Ein interessantes Beispiel ist auch Dänemark, wo gegenwärtig etwa ein Drittel aller Wohnungen an Fernwärmenetze angeschlossen ist, obwohl die Siedlungsstruktur des Landes nach den geläufigen Maßstäben hierfür keineswegs ideal ist. Der Ausbau der Fernwärme, der ebenfalls überwiegend unter Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung erfolgt, schreitet dort weiter voran.

### 3.1.4.3 Folgerungen für die Gesetzgebung

**544.** Auch soweit Fernwärmeversorgung mittels Kraft-Wärme-Kopplung bereits wirtschaftlich ist, ergreifen die Städte und Kreise oft keine Initiative.



Dies beruht entweder auf mangelhafter Information, begrenztem Finanzierungsvermögen (Verschuldungsgrenze) oder fehlender kommunalpolitischer Attraktivität solcher Projekte. Die rechtlichen Möglichkeiten der Landesregierungen, auf die Entscheidungen Einfluß zu nehmen, sind begrenzt, im übrigen politisch schwer zu handhaben. Auch eine Erweiterung des rechtlichen Instrumentariums ist nicht vielversprechend. So liegt der Gedanke nahe, vorhandene wirtschaftliche Anreize zum Ausbau von Fernwärmenetzen durch staatliche Zuschüsse zu verstärken. Je schlechter die Finanzlage der einzelnen Gemeinde ist, um so mehr muß staatliche Förderung hinzutreten, um die Entwicklung der Fernwärmeversorgung voranzutreiben.

Bund und Länder haben unter anderem mit dem ersten Zukunftsinvestitionsprogramm<sup>45)</sup> bereits eine Reihe von Ausbauvorhaben ausgelöst. Es ist zu bedauern, daß das zweite Zukunftsinvestitionsprogramm wegen des verfassungspolitischen Grundsatzstreits über die Mischfinanzierung zur Zeit blockiert ist. Der Rat ist der Überzeugung, daß es sowohl aus energiepolitischer als auch aus umweltpolitischer Sicht geboten ist, die bereits erfolgreich begonnene Zuschußpolitik fortzusetzen. Allerdings müßte geprüft werden, ob es angesichts der Überforderung auch aller staatlichen Haushalte noch vertretbar ist, verlorene Zuschüsse zu gewähren. Beim Ausbau von Fernwärmenetzen handelt es sich um eine Investition der Gemeinden, die auf langfristige Deckung des Heizwärmebedarfs angelegt ist. Danach dürfte es sinnvoll sein, die kommenden Generationen an der Finanzierung dieser Vorhaben zu beteiligen. Dem kann man durch Gewährung langfristiger zinsgünstiger Kredite und von Bürgschaften Rechnung tragen. Der Rat empfiehlt, mehrere Modelle der Finanzierung zur Auswahl zu stellen. Dabei ist auch zu prüfen, ob die Tilgungsleistungen der Entwicklung der durchschnittlichen Heizwärmepreise angepaßt werden können.

## 3.2 Umweltpolitische Bedeutung einer siedlungsstrukturell angepaßten Wärmeversorgung<sup>1)</sup>

### 3.2.1 Die siedlungsstrukturelle Ausgangssituation

#### 3.2.1.1 Das regionale Gliederungssystem

545. Wie im Rahmen dieses Gutachtens bereits mehrfach betont wurde, eröffnen sich Möglichkeiten der Umweltentlastung, wenn

- der Energieverbrauch gesenkt wird, was über eine Verminderung des Bedarfs an Nutzenergie (z. B. Wärme, Kraft oder Licht) und/oder eine

- Senkung des spezifischen Energieeinsatzes je Nutzeneinheit geschehen kann, und wenn
- stark umweltbelastende durch wenig umweltbelastende Energieträger ersetzt werden.

Der Rat hat bereits mehrfach seine Präferenz für die auf eine Verminderung des Energieverbrauchs abzielenden Strategien geäußert. Er geht dabei davon aus, daß eine rationelle Energienutzung erstrebenswerter ist als der durch Gebote und Verbote erzwungene Verzicht auf Energiedienstleistungen. Schon für sich genommen, aber auch in Verbindung mit einer auf Umwelterfordernisse Rücksicht nehmenden Energieträgersubstitution kann sie beachtliche Umweltentlastungen herbeiführen.

546. Hierbei bietet die Entwicklung von Wärmeversorgungskonzepten, die an die Siedlungsstruktur angepaßt sind, eine entscheidende Chance. Der Rat unterstellt Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur, der Umweltbelastung und bestimmten Wärmeversorgungssystemen, die es gestatten, primärenergiesparende und gleichzeitig einzelwirtschaftlich rentabel arbeitende Versorgungskonzepte zu entwickeln, die insbesondere in stark belasteten Gebieten auch zur Umweltentlastung beitragen können.

Mit dem Begriff der „Siedlungsstruktur“ umschreibt man in der Regel die räumliche Verteilung der Wohnbevölkerung sowie der Produktions- und Versorgungseinrichtungen auf Orte, Stadtbezirke, Blöcke oder Häuser unterschiedlicher Größenklassen und Lage. Angesichts der Tatsache, daß die Eignung der einzelnen Wärmeversorgungssysteme für verschiedene Siedlungstypen entscheidend von der räumlichen Verdichtung sozioökonomischer Aktivitäten und der Struktur des Gebäudebestandes abhängt, ist es zweckmäßig, die Siedlungsstruktur durch Merkmale wie Einwohner- und Gebäudedichte, Alter der Bausubstanz, Geschößzahl, Geschößflächenzahl, Geschößflächendichte und Umfang geschlossener Siedlungsflächen zu kennzeichnen.

547. Die einzelnen Elemente (z. B. Gemeinden) eines Siedlungssystems stehen nicht isoliert nebeneinander, sondern sind in ein hierarchisches Beziehungssystem eingebettet. Dies führt in der Regel zur Herausbildung von Verflechtungsgebieten (Regionen), in deren Mittelpunkt sich größere Zentren befinden, die arbeitskräfte- und kaufkraftbindende Umlandeffekte entfalten und als Pendeleinzugs- oder Dienstleistungsversorgungsbereiche ihren räumlichen Niederschlag finden.

*In Abhängigkeit von den Abgrenzungskriterien stehen für eine Beschreibung der siedlungsstrukturellen Ausgangssituation mehrere Regionkonzepte zur Verfügung, von denen die Gebietseinheiten des Bundesraumordnungsprogramms, die Planungsregionen der Länder, die Regionen der Bundesverkehrswegeplanung, die Arbeitsmarktregionen der Gemeinschaftsaufgabe „Verbesserung der regionalen Wirtschaftsstruktur“ sowie die Stadtregionen der Akademie für Raumforschung und Landesplanung die wichtigsten sind.*

*Die für die Analyse der bezeichneten Wechselwirkungen erforderliche Differenziertheit der benötigten Daten legt es*

<sup>1)</sup> Wesentliche Unterstützung für die Abfassung dieses Kapitels erhielt der Rat durch einen Beitrag von Prof. K. Ganser und Dr. W. Bahr.



Tab. 3.1

**Einwohnerdichte nach Regionstypen und Siedlungsstrukturtypen (1978)**

Regionstypen Siedlungsstrukturtypen	Einwohner pro km <sup>2</sup>	Einwohner anteil %
hochverdichtete Regionen . . . . .	507	56,7
darin:		
Großzentren . . . . .	2 739	17,3
Oberzentren . . . . .	1 644	7,9
Große Mittelzentren . . . . .	1 090	8,2
Kleine Mittelzentren . . . . .	384	11,6
Unterzentren . . . . .	264	8,9
Gemeinden ohne zentral- örtliche Bedeutung . . . . .	94	2,8
Regionen mit Verdichtungs- ansätzen . . . . .	181	27,6
darin:		
Oberzentren . . . . .	1 093	6,9
Große Mittelzentren . . . . .	587	1,4
Mittlere Mittelzentren . . . . .	287	3,5
Kleine Mittelzentren . . . . .	186	2,8
Unterzentren . . . . .	157	6,6
Gemeinden ohne zentral- örtliche Bedeutung . . . . .	86	6,4
Ländliche Regionen . . . . .	112	15,6
darin:		
Oberzentren . . . . .	782	1,9
Große Mittelzentren . . . . .	296	2,6
Kleine Mittelzentren . . . . .	192	2,1
Unterzentren . . . . .	98	6,7
Gemeinden ohne zentral- örtliche Bedeutung . . . . .	48	2,3

Quelle: Laufende Raumbearbeitung der BFLR

nahe, auf solche Regionskonzepte zurückzugreifen, die innerregionale Strukturbeschreibungen zulassen.

Exemplarisch für eine innerregionale Aufschlüsselung ist Tab. 3.1, die sich auf die Planungsregionen der Länder bezieht.

**548.** Unter wärmewirtschaftlichen Aspekten nehmen ROTH et al. (1980) eine Einteilung in 3 Regionskategorien mit insgesamt 4 siedlungsstrukturellen Raumtypen vor, die auch unter Umweltaspekten relevant erscheint:

- Stadtregionen, in deren Zentrum sich zumeist Großstädte bzw. Siedlungskerne mit hoher Einwohnerdichte und baulicher Konzentration befinden, an die sich eine komplementäre Außenzone mit dominierender Wohnfunktion, abnehmender Einwohnerdichte und sich auflösender Siedlungsfläche anschließt. Die Bevölkerungsdichte des Kernbereichs liegt stets über 500 Einwohner/km<sup>2</sup> (E/km<sup>2</sup>) und kann (bezogen auf

die Gemeindefläche) Spitzenwerte bis über 2700 E/km<sup>2</sup> erreichen.

Der Kernbereich bzw. das Kerngebiet besteht aus der Kernstadt und dem Ergänzungsgebiet. Die Kernstadt entspricht dem Verwaltungsgebiet der Stadtgemeinde mit der größten zentralen Bedeutung. Das Ergänzungsgebiet umfaßt Gemeinden, die an die Kernstadt angrenzen und ihr in struktureller und funktionaler Hinsicht ähneln. Auf relativ geschlossener Siedlungsfläche herrscht vielfach eine hohe Bebauungsdichte (1 000—2 000 Gebäude/km<sup>2</sup>) mit überdurchschnittlicher Geschosßzahl bei teilweise überalterter und sanierungsbedürftiger Bausubstanz vor.

Auf diesen 1. Raumtyp folgt die Außenzone als Typ 2. Die Bevölkerungsdichte liegt hier (bezogen auf die Gesamtfläche) zwischen 200 und 500 E/km<sup>2</sup>. Die im stärker verdichteten Bereich noch häufig anzutreffende Blockbebauung mit größeren Freiräumen weicht nach außen hin Ein- und Mehrfamilienhaussiedlungen mit niedriger Bebauungsdichte.

- Außerhalb der Stadtregionen bzw. Verdichtungs-räume liegende Verflechtungsbereiche von Mittelstädten mit mehr als 10 000 Einwohnern (3. Raumtyp), wo zwar in Abhängigkeit von der historischen Entwicklung (etwa mittelalterliche Altstadt) partiell noch hohe Bebauungsdichten auftreten, der Umfang geschlossener Siedlungsfläche jedoch zumeist relativ klein ist und sich schnell in Einfamilienhaussiedlungen auflöst.

- Ländlicher „Residualraum“ (4. Raumtyp) mit unterdurchschnittlicher Verflechtungsintensität zwischen den Siedlungselementen und einer Siedlungsstruktur von eher ländlich-dörflichem Charakter.

**549.** Die Wirtschaftlichkeit energiesparender Wärmeversorgungssysteme wird wesentlich von der räumlichen Konzentration potentieller Abnehmer bestimmt. Daher bieten sich vor allem der 1. und 3. Raumtyp (Kerngebiete der Stadtregionen sowie Mittelstädte mit mehr als 10 000 Einwohnern) sowie die stärker verdichteten Teile des 2. Raumtyps (Außenzonen der Stadtregionen) als bevorzugte Ansatzpunkte an. Da die stark immissionsbelasteten Gebiete sämtlich unter diese Raumtypen fallen, deken sich diese Ansatzpunkte mit dem umweltpolitischen Sanierungsbedarf.

**3.2.1.2 Entwicklungstendenzen der Siedlungsstruktur**

**550.** Da die Volks- und Berufszählung 1980 ausgefallen ist, liegen keine aktuellen Angaben über die quantitative Bedeutung der genannten vier Raumtypen vor. Im Jahre 1970 entfielen auf die Stadtregionen (Kerngebiet und Außenzonen) rd. 62 % (davon rd. 57 % auf den 1. Raumtyp), auf den 3. Raumtyp rd. 9 % und den ländlichen Residualraum (4. Raumtyp) rd. 29 % der Wohnbevölkerung der Bundesrepublik

Deutschland. Die Stadtregionen wuchsen im Zeitraum 1961/70 flächenmäßig um rd. 50 % und bevölkerungsmäßig um 22,3 % (Bevölkerungsentwicklung im Bundesgebiet im gleichen Zeitraum: +10,3 %), während gleichzeitig die Wohnbevölkerung in den außerhalb der Stadtregionen liegenden Gebietskategorien um 5,1 % abnahm. Die seit längerer Zeit beobachtbare Tendenz der regionalen Bevölkerungskonzentration bei gleichzeitiger Ausdehnung der Einzugsbereiche der Kerngebiete zu Lasten der beiden letzten Regionalkategorien hält noch an.

**551.** Innerhalb der Stadtregionen vollzog sich aber ein Wandel. Während die Kernstädte bis 1960 expandierten, ging ihr Anteil an der Stadtbevölkerung in den Folgejahren von 66 % auf 57 % zurück. Diese innerregionale Umschichtung zugunsten der Ergänzungsgebiete und Randzonen war und ist weiterhin die Folge eines wachsenden Flächenbedarfs der privaten Haushalte, überdurchschnittlich steigender Bodenpreise im Kernbereich sowie der aufgrund individueller Motorisierung erhöhten Mobilität.

**552.** Nach neueren Berechnungen wird die Wohnbevölkerung der Bundesrepublik Deutschland von 1975 bis zum Jahre 2000 um etwa 6,2 Mio Menschen bzw. um ca. 10 % abnehmen (BIRG, 1980). Dieser Schrumpfungsprozeß wird die einzelnen Raumtypen aber unterschiedlich treffen, da sich die Geburtenraten regional immer noch unterscheiden und die Wanderungsbewegungen sich unterschiedlich auf die einzelnen Raumtypen auswirken. Der in den Kerngebieten weiter anhaltende Entdichtungsprozeß löst nach BIRG im Zeitraum 1975/2000 einen Bevölkerungsrückgang von rd. 4,3 Mio Einwohnern, das sind rd. 17 %, aus. Die Revitalisierungsbestrebungen der hiervon betroffenen Großstädte können diesen Entdichtungsprozeß höchstens graduell ändern und beeinflussen eher die Alters- und Sozialstruktur einzelner Stadtteile. Die Außenzonen (Raumtyp 2) werden flächenmäßig noch anwachsen und die Einwohnerzahl von 1975 (rd. 18 Mio) etwa halten. Außerhalb der Stadtregionen wird die Bevölkerung voraussichtlich um knapp 10 % abnehmen.

**553.** Der Entdichtungsprozeß der Kerngebiete, der wegen des teilweise beachtlichen Sanierungsbedarfs unumgänglich erscheint, muß die Chancen umweltfreundlicher Wärmeversorgungskonzepte angesichts der immer noch verbleibenden Bevölkerungs- und Gebäudekonzentration keineswegs mindern.

Da die groß- und kleinräumige Immissionsbelastung von Wasser und Luft eng mit der Siedlungsdichte zusammenhängt und insbesondere in Wohnquartieren mit hoher Dichte, ausgeprägter Einzelfeuerung, starker Verkehrsbelastung und erheblicher Vermengung mit emittierenden Produktionsstätten kritische Werte erreicht, muß man die Kernbereiche vieler Stadtregionen (1. Raumtyp) als jene Siedlungsbereiche ansehen, in denen auch künftig der größte Umweltenlastungs- und daher ein an den Wärmeversorgungskonzepten ansetzender Handlungsbedarf besteht.

### 3.2.2 Umweltbelastung und siedlungsstrukturelle Eignung wichtiger Wärmeversorgungssysteme

#### 3.2.2.1 Beurteilung hinsichtlich der Umweltbelastung

**554.** In Anlehnung an die ROTH-Studie kann man aus einer Vielzahl von Möglichkeiten der Raumwärmeerzeugung die folgenden Wärmeversorgungssysteme als relevant und politisch durchsetzbar bezeichnen:

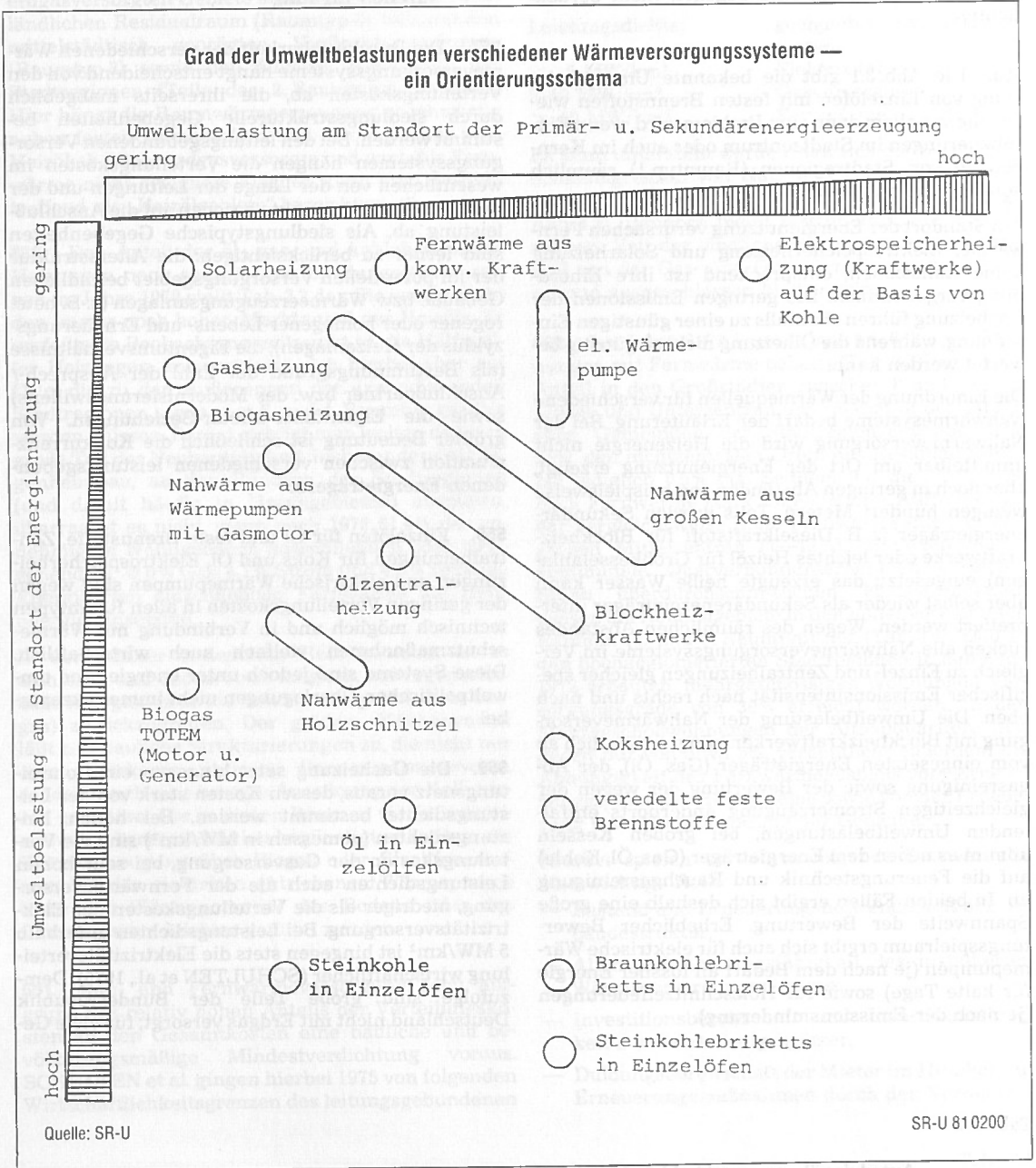
Wärmeversorgungssysteme	Wärmequellen
Einzel- und Sammelheizung:	Gasheizung Ölheizung Elektrospeicherheizung Elektromechanische Wärmepumpe (Solarheizung) Koksheizung Kohle-(Holz-)Heizung mittels Einzelöfen Biogas
Nahwärme (Blockheizung):	größere Kesselanlagen für Gas, Öl, Kohle oder Holzschnitzel Blockheizkraftwerke, große Wärmepumpen (Luft, Erdreich, Wasser oder kalte Fernwärme)
Fernwärme:	Heizkraftwerke oder Anzapfung von Kraftwerken

*In Einzelfällen können auch Geothermik, Windenergie, Solarenergie aus Großspeichern sowie Kombinationen der oben genannten Systeme von Bedeutung sein. Im folgenden wird auf solche Systeme nicht eingegangen, da für sie generalisierende Aussagen im Hinblick auf eine spezifische Siedlungsstruktur kaum möglich sind. Unberücksichtigt bleibt auch die Wärmeversorgung auf nuklearer Basis, die entweder über die Kraft-Wärme-Kopplung (nukleare Fernwärme) oder über den Wärmetransport in Form chemisch gebundener Energie (nukleare Fernenergie) erfolgt.*

**555.** Versucht man, die verschiedenen Wärmeversorgungssysteme hinsichtlich ihrer Umweltbelastungseffekte einer vergleichenden Bewertung zu unterziehen, muß man sich der damit verbundenen Probleme bewußt werden. Belastungseinstufungen setzen nicht nur eine zutreffende Erfassung aller möglichen Schadwirkungen voraus, sondern auch eine Gesamtbewertung<sup>1)</sup>. Dies ist aber nur über eine Normierung und Gewichtung der Einzeleffekte möglich, wobei aufgrund des Fehlens einer operationalisierten Umweltzielfunktion vor allem die Gewichtung gegenwärtig mehr intuitiver Art ist. Wenn im folgenden trotz aller dieser Schwierigkeiten der Versuch einer Grobeinstufung der alternativen Wärmeversorgungssysteme unter dem Aspekt der Umwelt-

<sup>1)</sup> Es müßte auch auf die gewünschte Energiedienstleistung, die gesamte Umwandlungskette (einschl. Abfälle) sowie die jeweiligen standortbezogenen Rahmenbedingungen eingegangen werden.

### Grad der Umweltbelastungen verschiedener Wärmeversorgungssysteme — ein Orientierungsschema



belastung unternommen wird, so handelt es sich nicht um das Ergebnis einer umfassenden Nutzwertanalyse, sondern um eine ordinale Reihung, die zwar möglichst alle in den vorangegangenen Abschnitten behandelten Belastungseffekte zu berücksichtigen versucht, aber letztlich auch auf nicht explizit dargelegten Einschätzungen des Rates aufbaut.

Die Ergebnisse eines solchen Bewertungsprozesses sind in der Abb. 3.1 festgehalten. Angesichts der hier interessierenden Fragestellung werden die Umwelt-

belastungen am Standort der Energienutzung jenen am Ort der zugehörigen Primär- und Sekundärenergieerzeugung gegenübergestellt, um auf diese Weise die räumlichen Verteilungseffekte besser herauszuarbeiten. Wegen der ausdrücklichen Berücksichtigung des mit der Wärmeerzeugung verbundenen Primär- und Sekundärenergiebedarfs gehen somit auch jene Belastungen in die Betrachtung ein, die bei der Förderung der Stein- oder Braunkohle oder dem Transport der Energieträger (etwa Mineralöl) auftreten. Die indirekten Umweltbelastungen aus



der Produktion der Investitionsgüter für das Wärmeversorgungssystem sind dagegen nicht berücksichtigt.

**556.** Die Abb. 3.1 gibt die bekannte Umweltbelastung von Einzelöfen mit festen Brennstoffen wieder, die vor allem dann zum Problem wird, wenn Einzelfeuerungen im Stadtzentrum oder auch im Kernbereich von Stadtregionen (Raumtyp 1) räumlich konzentriert auftreten.

Am Standort der Energienutzung verursachen Fernwärme, Elektrospeicherheizung und Solarheizung keine Emissionen; entsprechend ist ihre Einordnung vorgenommen. Die geringen Emissionen der Gasheizung führen ebenfalls zu einer günstigen Einordnung, während die Ölheizung nicht so günstig bewertet werden kann.

Die Einordnung der Wärmequellen für verschiedene Nahwärmesysteme bedarf der Erläuterung. Bei der Nahwärmeversorgung wird die Heizenergie nicht unmittelbar am Ort der Energienutzung erzeugt, aber doch in geringen Abständen von beispielsweise wenigen hundert Metern. Teils werden Sekundärenergieträger (z. B. Dieselkraftstoff für Blockheizkraftwerke oder leichtes Heizöl für Großkesselanlagen) eingesetzt; das erzeugte heiße Wasser kann aber selbst wieder als Sekundärenergieträger interpretiert werden. Wegen des räumlichen Abstandes rücken alle Nahwärmeversorgungssysteme im Vergleich zu Einzel- und Zentralheizungen gleicher spezifischer Emissionsintensität nach rechts und nach oben. Die Umweltbelastung der Nahwärmeversorgung mit Blockheizkraftwerken hängt wesentlich ab vom eingesetzten Energieträger (Gas, Öl), der Abgasreinigung sowie der Bewertung der wegen der gleichzeitigen Stromerzeugung andernorts entfallenden Umweltbelastungen; bei großen Kesseln kommt es neben dem Energieträger (Gas, Öl, Kohle) auf die Feuerungstechnik und Rauchgasreinigung an. In beiden Fällen ergibt sich deshalb eine große Spannweite der Bewertung. Erheblicher Bewertungsspielraum ergibt sich auch für elektrische Wärmepumpen (je nach dem Bedarf an fossiler Energie für kalte Tage) sowie für Holzschnitzelfeuerungen (je nach der Emissionsminderung).

### 3.2.2.2 Beurteilung hinsichtlich der siedlungsstrukturellen Eignung

**557.** Die Durchsetzbarkeit der verschiedenen Wärmeversorgungssysteme hängt entscheidend von den Verteilungskosten ab, die ihrerseits maßgeblich durch siedlungsstrukturelle Gegebenheiten bestimmt werden. Bei den leitungsgebundenen Versorgungssystemen hängen die Verteilungskosten im wesentlichen von der Länge der Leitungen und der Zahl der Übergabepunkte bezogen auf die Anschlussleistung ab. Als siedlungstypische Gegebenheiten sind ferner zu berücksichtigen: die Altersstruktur der im potentiellen Versorgungsgebiet befindlichen Gebäude bzw. Wärmeerzeugungsanlagen (z. B. heterogener oder homogener Lebens- und Erneuerungszyklus der Heizanlagen), die Eigentumsverhältnisse (als Bestimmungsgrund der Zahl der Ansprech-/Anschlußpartner bzw. des Modernisierungswillens) sowie die Eigentümer-Mieter-Beziehungen. Von größter Bedeutung ist schließlich die Konkurrenzsituation zwischen verschiedenen leistungsgebundenen Energieträgern.

**558.** Einzelöfen für Öl und feste Brennstoffe, Zentralheizungen für Koks und Öl, Elektrospeicherheizungen und elektrische Wärmepumpen sind wegen der geringen Verteilungskosten in allen Raumtypen technisch möglich und in Verbindung mit Wärmeschutzmaßnahmen vielfach auch wirtschaftlich. Diese Systeme sind jedoch unter energie- und umweltpolitischen Überlegungen nicht immer akzeptabel.

**559.** Die Gasheizung setzt hingegen ein Rohrleitungsnetz voraus, dessen Kosten stark von der Leistungsdichte bestimmt werden. Bei hohen Leistungsdichten (gemessen in MW/km<sup>2</sup>) sind die Verteilungskosten der Gasversorgung, bei sehr hohen Leistungsdichten auch die der Fernwärmeversorgung, niedriger als die Verteilungskosten der Elektrizitätsversorgung. Bei Leistungsdichten unterhalb 5 MW/km<sup>2</sup> ist hingegen stets die Elektrizitätsverteilung wirtschaftlicher (SCHULTEN et al., 1975). Demzufolge sind große Teile der Bundesrepublik Deutschland nicht mit Erdgas versorgt; für viele Ge-

Tab. 3.2

Anteil der öl-, gas- und kohlebefeuchten Heizungen nach Siedlungsstrukturtypen 1978

Siedlungsstrukturtypen	Wohnungen insgesamt	davon befeuchtet mit		
		Kohle	Öl	Gas
		%		
Großstädte (über 500 000 E) . . . . .	4 887	15,4	38,8	21,5
Oberzentren und große Mittelzentren . . . . .	7 296	13,2	39,6	25,3
Mittelzentren und Unterzentren . . . . .	9 236	13,1	61,2	11,5
Gemeinden ohne zentralörtliche Bedeutung . . . . .	2 353	18,5	66,6	2,5
Gemeinden insgesamt . . . . .	23 771	14,3	49,9	16,9

Quelle: Wohnungsstichprobe 1978; Auswertung durch die BfLR



bierte wird dies auch künftig so bleiben. Die nicht erdgasversorgten Gebiete sind weitgehend mit dem ländlichen Residualraum (Raumtyp 4), teils mit den mittelstädtisch geprägten Verflechtungsräumen (Raumtyp 3) sowie den äußeren Randzonen der Stadtregionen (Teile des 2. Raumtyps) identisch. Hier hängt die Raumwärmeerzeugung gegenwärtig neben festen Brennstoffen und Strom primär vom Heizöl ab. Nicht erdgasversorgte und auch für Fernwärme nicht geeignete Flächen kann man deshalb treffend als „Heizölgebiete“ bezeichnen.

**560.** Den Anteil der öl-, gas- und kohlebefeuerten Heizungen nach spezifischen Siedlungsstrukturtypen im Jahre 1978 stellt Tab. 3.2 dar. Sie verdeutlicht den immer noch hohen Marktanteil des Heizöls. Er umfaßte im Beobachtungszeitpunkt rd. die Hälfte aller Heizungen, konzentrierte sich hierbei aber auf Orte, die zu den Außenzonen der expandierenden Stadtregionen sowie zum 3. und 4. Raumtyp gezählt werden müssen. Berücksichtigt man weiter, daß sich große Teil der Neubautätigkeit, insbesondere der Eigenheimbau, an den Rändern der Stadtregionen (und damit häufig in Heizölgebieten) abspielen, überrascht es nicht, wenn noch 1979 61,4% der genehmigten Wohngebäude ausschließlich oder weitgehend Öl, 32,0% Gas, 4,1% Strom und 4,8% sonstige Energiearten einschließlich Fernwärme als Heizenergie einsetzen.

In den dünner besiedelten Heizölgebieten ist es technisch und ökonomisch möglich, auf regenerierbare Energien (z. B. auf Solarheizung, Holz oder Biogas) zurückzugreifen. Der größere Flächenvorrat läßt z. B. bauliche Strukturierungen zu, die nicht nur einen stärkeren passiven Sonnenwärmegewinn, sondern auch eine bessere Anordnung der Kollektoren gestatten. Die in diesen Räumen vielfach dominierende Agrarproduktion begünstigt außerdem die Wärmeerzeugung über Biogas oder Strohfeuerungen; bei der elektrisch getriebenen Wärmepumpe kann das Wärmepotential des Bodens oder des Grundwassers leichter genutzt werden.

**561.** Nah- und Fernwärmeversorgung setzt aufgrund des relativ hohen Anteils der Verteilungskosten an den Gesamtkosten eine bauliche und bevölkerungsmäßige Mindestverdichtung voraus. SCHULTEN et al. gingen hierbei 1975 von folgenden Wirtschaftlichkeitsgrenzen des leitungsgebundenen

Wärmeangebots innerhalb des Verteilungsbereichs aus:

Leistungsdichte:	geeignetes Versorgungssystem:
< 5 MW/km <sup>2</sup>	Elektrizität
5-40 MW/km <sup>2</sup>	Gasversorgung
> 40 MW/km <sup>2</sup>	Fernwärme

Es kann unterstellt werden, daß sich die Wirtschaftlichkeitsgrenzen von Nah- und Fernwärme weiter nach unten bewegen bzw. verschieben lassen (vgl. Abb. 3.2). Dennoch bleibt festzuhalten, daß auf absehbare Zeit der ländliche Residualraum (4. Raumtyp) von der Gas- und Fernwärmeversorgung weitgehend ausgeschlossen bleiben wird.

**562.** Im Jahre 1978 wurden nur rd. 6% aller Wohnungen mit Fernwärme beheizt (Tab. 3.3), wobei der Anteil in den Großstädten zwischen 8 und 13%, in Mittel- und Unterzentren um 2% und in den ländlichen Gemeinden der Stadtregionsaußenbereiche bzw. den nichtzentralen Orten des Residualraumes bei lediglich 0,5% lag. Seitdem hat die Nachfrage nach Fernwärme stark zugenommen. Auffallend ist der vergleichsweise hohe Fernwärmeanteil in den großen Mittelzentren (7—12%), in denen häufig kommunale Querverbundunternehmen bestehen. Einen überdurchschnittlichen Fernwärmeanteil weisen die Neubaugebiete in den höher verdichteten Räumen (1. und 3. Raumtyp) auf (Tab. 3.4). Daß in den hochagglomerierten Stadtregionen in den nach 1972 erbauten, mehrgeschossigen Wohnungen Versorgungsgrade von 30% erreicht werden, in den Mehrgeschoßwohnungen der Altbauquartiere hingegen nur von etwa 5%, verdeutlicht außerdem die Abhängigkeit des Fernwärmeausbaus vom Erneuerungszyklus der Heizsysteme sowie von der Erneuerung bzw. Modernisierung der Gebäude.

Hierbei spielen vor allem folgende Sachverhalte eine wichtige Rolle:

- Zustand und Erneuerungsnotwendigkeit der Gebäudestruktur,
- Alter und Leistungsfähigkeit des installierten Wärmeversorgungssystems,
- Investitionsbereitschaft und Investitionsfähigkeit der Gebäudeeigentümer,
- Duldungsbereitschaft der Mieter im Hinblick auf Erneuerungsmaßnahmen durch den Vermieter,

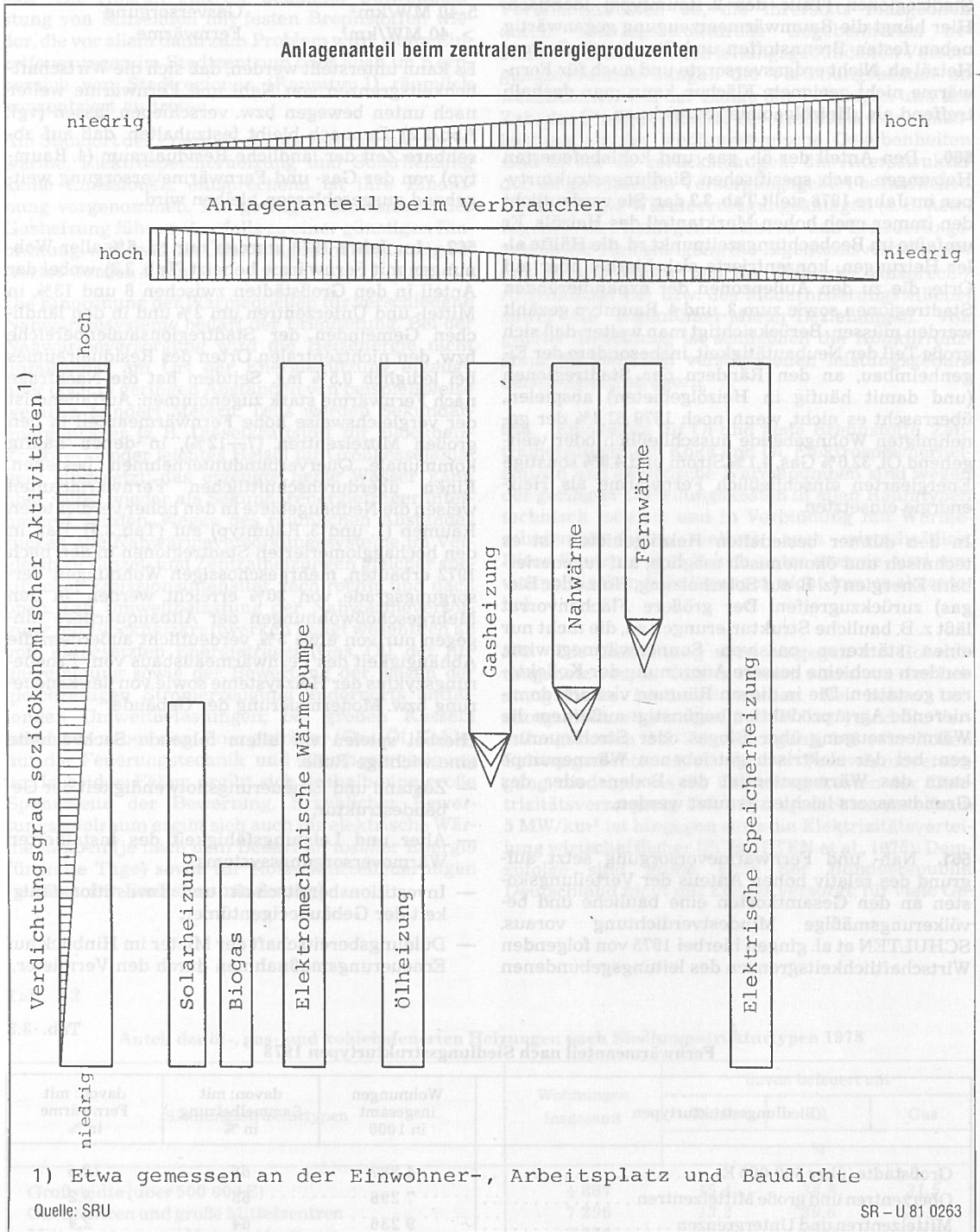
Tab. 3.3

Fernwärmeanteil nach Siedlungsstrukturtypen 1978

Siedlungsstrukturtypen	Wohnungen insgesamt in 1000	davon: mit Sammelheizung in %	davon: mit Fernwärme in %
Großstädte (über 500 000 E) . . . . .	4 887	66	12,6
Oberzentren und große Mittelzentren . . . . .	7 296	65	8,2
Mittelzentren und Untergrenzen . . . . .	9 236	64	2,4
Gemeinden ohne zentralörtliche Bedeutung . . . . .	2 353	55	0,6
alle Siedlungstypen . . . . .	23 771	64	6,1

Quelle: Wohnungsstichprobe 1978; Auswertung durch die BfLR

Abb. 3.2



Fernwärmeanteil nach Gebäudealter, Dichte und Siedlungsstrukturtyp 1978

Siedlungsstrukturtypen	Wohnungen vor 1918 Fernwärme %	Wohnungen nach 1972 Fernwärme %
Großstädte (über 500 000 E) . . . . .	4,1	29,4
Oberzentren und große Mittelzentren . . . . .	2,7	15,3
Mittelzentren und Unterzentren . . . . .	1,2	5,6
Gemeinden ohne zentralörtliche Bedeutung . . . . .	0,4	1,5
alle Siedlungstypen . . . . .	6,4	

Quelle: Wohnungsstichprobe 1978; Auswertung durch die BfLR

- Standortplanung von Heiz- und Heizkraftwerken,
- Ausbauzustand des Fernwärmenetzes,
- Vorhandensein konkurrierender leitungsgebundener Energieträger,
- Preise von Fernwärme im Vergleich zu anderen Heizenergien.

**563.** Einzelwirtschaftlich ist die Modernisierung von Gebäuden zumeist nur rentabel, wenn die allgemeinen Wohnwertverbesserungen zusammen mit der Wärmedämmung und der Umstellung des Wärmeversorgungssystems integriert vorgenommen werden, was für den Fernwärmeanschluß allerdings nur bedingt gilt. Insbesondere bedürfen die Aufwendungen für die Wärmedämmung und die Einrichtung eines rationelleren Wärmeversorgungssystems einer engen Abstimmung. Der Erneuerungszyklus der Gebäudestruktur hat jedoch hierbei zumeist einen anderen zeitlichen Verlauf als derjenige der Wärmeversorgungssysteme, außerdem wird dieses Koordinationsproblem durch die unterschiedliche Investitionsfähigkeit der Hauseigentümer und Duldungsbereitschaft der Mieter überlagert. Die Duldungsbereitschaft hängt wiederum stark von der allgemeinen Situation auf dem Wohnungsmarkt ab und sinkt mit der Wahrscheinlichkeit, daß bei umfassender Modernisierung Mietpreissteigerungen in erheblichem Umfang und Verdrängungen zu befürchten sind. Dies ist aber in attraktiven Altbauquartieren und in Regionen mit allgemein beengten Wohnungsmärkten und damit in umweltbelasteten Gebieten in besonderem Maße der Fall.

Gravierende Schwierigkeiten treten für die Fernwärme aber in jenen Siedlungsbereichen auf, in denen Gas als konkurrierender leitungsgebundener Energieträger bereits installiert ist bzw. gegenwärtig vordringt. In solchen Situationen bietet sich auch Nahwärmeversorgung durch Blockheizkraftwerke oder große Wärmepumpen mit Gas als Energieträger an.

**564.** Läßt man aber einmal diese für die Praxis bedeutsamen Durchsetzungsbarrieren und die damit verbundenen beachtlichen Anlaufkosten neuer Heizsysteme außer acht und versucht man, alle Informationen bezüglich der Eignung (gemessen an

der Wirtschaftlichkeit) der Wärmeversorgungssysteme für alternative Raumtypen in einem vereinfachten Balkendiagramm zusammenzufassen, ergibt sich das in Abb. 3.2 wiedergegebene Schema. Es illustriert recht anschaulich, daß die verdichteten Gebiete auf eine recht große Zahl wirtschaftlich vertretbarer Wärmeversorgungssysteme zurückgreifen können. Die Ölheizung sowie die elektrizitätsabhängigen Versorgungssysteme sind angesichts der räumlichen Mobilität (Transportierbarkeit in Verbindung mit Pipeline-, Schienen- und Straßensystem) des Heizöls bzw. des Ausbaus des elektrischen Netzes gegenwärtig keinen siedlungsstrukturellen Restriktionen unterworfen und darum technisch und bisher auch ökonomisch überall einsetzbar, wobei ein verstärkter Gebäude-Wärmeschutz den spezifischen Verbrauch dieser Energieträger durchaus zu senken vermag. Das räumlich begrenzt ausgebaute Gasnetz schränkt hingegen den Einsatz von Gas auf stärker verdichtete Regionen ein. Für die Residualräume kommt daher nur ein Teil der Wärmeversorgungssysteme in Frage, wobei gegenwärtig der Heizöleinsatz noch deutlich dominiert. Die Pfeile an einigen Balken weisen darauf hin, daß hier durchaus noch räumliche Erweiterungspotentiale bestehen.

### 3.2.3 Umweltentlastung durch Dezentralisierung und Substitution

#### 3.2.3.1 Umwelt- und siedlungsstrukturell angepaßte Wärmeversorgungssysteme

**565.** Angesichts des erläuterten Handlungsspielraums bei der Wahl siedlungsstrukturell und einzelwirtschaftlich geeigneter Wärmeversorgungssysteme zeigt eine umweltpolitische Überprüfung, daß sich Möglichkeiten für beachtliche Umweltentlastungen eröffnen. Dies ist vor allem dann der Fall, wenn siedlungsstrukturell angepaßte Wärmeversorgungskonzepte

- zu einer absoluten oder relativen Verminderung des Energiebedarfs führen und
- stark umweltbelastende Energieträger durch weniger belastende Energiearten ersetzen.



Besondere Bedeutung kommt diesen Möglichkeiten in stark belasteten Regionen zu. Ein umweltbedingter Sanierungsbedarf besteht vor allem in den Kerngebieten der Stadtregionen (1. Raumtyp). Die bevölkerungsmäßig expandierenden Randbereiche der Stadtregionen (2. Raumtyp) sowie viele Mittelstädte (3. Raumtyp) eröffnen demgegenüber bei zu erwartender Bautätigkeit beachtliche Gestaltungsspielräume bei der Wahl der Wärmeversorgung, während der ländliche Residualraum (4. Raumtyp) besondere Chancen für die Nutzung der meist flächenintensiven regenerativen Energiequellen bietet.

**566.** In den Stadtregionen, d. h. den Raumtypen 1, 3 und den verdichteten Teilen des Raumtyps 2, wirkt sich die Siedlungsstruktur höchstens hinsichtlich der flächenbeanspruchenden Solarheizung bzw. der Biogasnutzung limitierend aus.

**567.** Fernwärmeversorgung durch Anzapfung konventioneller Kraftwerke oder aus Heizkraftwerken führt zu Emissionen am Kraftwerksstandort und trägt zum Ferntransport von Schadstoffen bei. Untersuchungen für das Ruhrgebiet zeigen z. B., daß die Fernwärme bereits bemerkenswerte Anteile zur Gesamtemission einzelner Schadstoffe liefert (MAGS, 1980). Berücksichtigt man aber den Substitutionseffekt beim leichten Heizöl bzw. bei Kohle und Koks, ergibt sich für das Belastungsgebiet insgesamt ein Entlastungseffekt.

**568.** Umweltbezogene Entlastungseffekte ergeben sich bei den beiden ersten Raumtypen auch aus dem vermehrten Einsatz von Gas, sei es in Form von Einzelfeuerung oder in Form von Nahwärme auf der Basis großer Gaswärmepumpen. Dies gilt vor allem dann, wenn dieser Substitutionsprozeß sich mit Maßnahmen des verstärkten Gebäude-Wärmeschutzes zur Senkung des spezifischen Energieverbrauchs pro Wohneinheit verbindet. Er ist vor allem dort zu erwarten, wo angesichts einer hohen Eigentumsquote ein direktes wirtschaftliches Interesse an der Wärmedämmung besteht bzw. in Verbindung mit einer Neubautätigkeit die entsprechenden Vorkehrungen getroffen werden können. Dies dürfte besonders in den Außen- und Umlandbereichen der Stadtregionen (2. Raumtyp) der Fall sein. Auch der Einsatz von Elektrizität über Speicherheizung oder Wärmepumpen kann, da am Ort des Einsatzes keine Schadstoffe emittiert werden, eine Entlastung bewirken, zumal Fernwärme hier voraussichtlich nicht in Frage kommt.

**569.** Strategischer Hauptansatzpunkt zur Mobilisierung brachliegender Energieeinspar- und -substitutionspotentiale muß aber die Kraft-Wärme-Kopplung (s. Kap. 3.1) sein.

Angesichts des relativ hohen Gewichts der räumlichen Wärmeverteilungskosten, die bei konventionellen Fernwärmekonzepten mindestens 25—30 % der Gesamtkosten betragen, ist ein Aufbau der Fernwärmenetze „von unten nach oben“ vorteilhaft. Da sich die Anschlußwerte infolge der komplizierten Modernisierungsbedingungen im Gebäudebestand nur allmählich erhöhen, sollte ein stufenloser Ausbau der

Wärmekapazitäten möglich sein. Dafür bietet sich die Blockheizkraftwerkstechnik oder der Einsatz großer Gaswärmepumpen (gegebenenfalls als Absorptionswärmepumpen) an. Bei weiterem Fortschritt der Umstellung auf Fernwärme können die lokalen Fernwärmeinseln an überlokale Netze mit größerer Kapazität angeschlossen werden, wobei das Speisen dieser Netze über Heizkraftwerke mittlerer Kapazität zwischen 15 MW und 200 MW denkbar ist. In Gebieten mit großräumigen Verdichtungen bietet sich schließlich der regionale Verbund der örtlichen Fernwärmenetze an, wobei erst auf dieser Stufe die Nutzung der Abwärme aus Großkraftwerken in nennenswertem Umfang möglich wird.

**570.** Diese hinsichtlich der ersten drei Raumkategorien beschriebene Strategie der Bevorzugung weniger umweltbelastender Wärmeversorgungskonzepte enthält Elemente einer Zentralisierung wie auch einer Dezentralisierung. Geht man von der Wärmeerzeugung aus, dann läuft der zur Umweltentlastung in den Verdichtungsräumen erstrebenswerte Ersatz von Einzelfeuerungen auf der Basis von Steinkohle, Koks, Briketts bzw. veredelter fester Brennstoffe und Heizöl durch größere Wärmeerzeugungsanlagen auf eine Zentralisierung hinaus. Berücksichtigt man, daß die Vorteile der Kraft-Wärme-Kopplung nur dann wahrgenommen werden können, wenn man außerhalb des Grundlastbereiches die Stromerzeugung zwecks Wärmeauskopplung in kleineren und regional orientierten Einheiten betreibt, liegt eine Dezentralisierungsnotwendigkeit vor. Dies impliziert, daß man einen Teil des stromwirtschaftlichen Kapazitätswachses nicht in Großkraftwerken, sondern in kleineren dezentralen Einheiten mit kombinierter Kraft-Wärme-Nutzung produziert. Deshalb soll dieses Konzept hier als partielle Dezentralisierungsstrategie bezeichnet werden.

**571.** Anders stellt sich die Situation im 4. Raumtyp sowie in den äußersten Randbereichen der Stadtregionen dar; dort werden nämlich die Dichten für eine wirtschaftliche Auslastung der aufwendigen Fern- oder Nahwärmenetze unterschritten. Angesichts der fehlenden Gasversorgung und des hohen Heizölanteils an der Wärmeversorgung dieses Raumes, der ca. 40 % der Fläche des Bundesgebietes mit etwa 25 % des gesamten Wohnbestandes und 35 % der geheizten Wohnungen umfaßt, besteht auch hier die Notwendigkeit von Umstellungen.

**572.** In den Außenbereichen der Stadtregionen, in Einzelfällen auch bei Siedlungen des 4. Raumtyps bietet sich der Ausbau des Gasnetzes an. Mit dem „Gesetz über Finanzhilfen des Bundes zur Förderung des Baues von Erdgasleitungen“ gewährt der Bund den Ländern von 1979 — 1983 Finanzhilfen in Höhe von 170 Mio DM für den beschleunigten Ausbau des überörtlichen Erdgasnetzes in strukturschwachen Gebieten. Wegen der Mischfinanzierung entstehen den Ländern bei Ausschöpfung dieser Förderung durch geeignete Projekte Zuschußpflichten in gleicher Höhe. Es bleibt abzuwarten, ob diese staatlichen Anreize wirken.



573. Soweit der Anschluß an das Gasnetz realisiert werden kann, sollte in erster Linie der Einsatz von Absorptionswärmepumpen angestrebt werden, wobei eine Kombination mit Solarkollektoren oder Grundwasser vorteilhaft ist. Im Vergleich zur elektrischen Wärmepumpe, vor allem aber zur elektrischen Speicherheizung, ergeben sich bei der Gaswärmepumpe höhere Gesamtwirkungsgrade bzw. Heizziffern. Der technische Entwicklungsstand von Gaswärmepumpen ist noch nicht so ausgereift wie derjenige elektrischer Wärmepumpen. In dem Maße, wie sich dies ändert, wird auch die Wirtschaftlichkeit der Gaswärmepumpen verbessert. Ein Umstellungshemmnis liegt auch darin, daß die Beratungs- und Installationskapazitäten für den sachverständigen Einbau und die Wartung von Wärmepumpen und Solarkollektoren knapp sind. Daher sollten die Entwicklung der Gaswärmepumpe und der systematische Aufbau von Beratungskapazitäten vor allem im ländlichen Raum mehr als bisher gefördert werden. Dies gilt auch für den Einsatz von Biogas sowie Holz- und Strohfeuerungen.

574. Faßt man zusammen, so eröffnet die Anpassung der Wärmeversorgungskonzepte an die siedlungsstrukturellen Gegebenheiten, insbesondere aber der bevorzugte Ausbau der Nah- und Fernwärme bzw. der Kraft-Wärme-Kopplung beachtliche Energieeinsparpotentiale, auf die bereits die aus den Mitteln des Bundesministers für Forschung und Technologie geförderte „Gesamtstudie Fernwärme“ hingewiesen hat (AG Fernwärme, 1977). Die ROTH-Studie hat diese Einsparpotentiale unter explizierter Bezugnahme auf die siedlungsstrukturellen Gegebenheiten zu präzisieren versucht. Sie gelangt zu dem Ergebnis, daß unter der Bedingung, daß die Wärmedämmung in Gebäuden abgestimmt mit der

Umstellung der Wärmeversorgungssysteme erfolgt und eine wesentlich umfangreichere Nutzung von Fernwärme und regenerierbaren Energiequellen gelingt, in den nächsten 20—30 Jahren eine max. 50 %ige Primärenergieeinsparung bei der Raumheizung gegenüber dem heutigen Verbrauch zu realisieren ist und hierbei noch eine spezifische Wohnflächenerhöhung um 30 % (bei vollständiger Umstellung von Einzelöfen auf Zentralheizung) einkalkuliert werden kann.

575. Gemäß dieser Modellrechnung besteht auch ein beachtliches Substitutionspotential hinsichtlich der einzelnen Wärmeversorgungssysteme, dessen geschätzte Größenordnung in Tab. 3.5 festgehalten ist.

Selbst wenn diese Modellrechnung die auch in der ROTH-Studie gesehenen Durchsetzungsbarrieren wie Kapitalmangel, rechtliche Hemmnisse, Verhaltensträgheit usw. unterschätzt und hinsichtlich der Energiepreise von schon heute fast überholten Konstellationen ausgeht, verdeutlicht sie doch einen auch umweltpolitisch bedeutsamen Handlungsspielraum.

### 3.2.3.2 Entwicklung örtlicher und regionaler Versorgungskonzepte

576. Gegenwärtig wird der Ausbau der Kraft-Wärme-Kopplung und der Fernwärmenetze mit Mitteln des Investitionszulagengesetzes und des Programms für Zukunftsinvestitionen (ZIP) gefördert, die Modernisierung und die Energieeinsparung in Gebäuden aus Mitteln des Modernisierungs- und Energieeinsparungsgesetzes sowie durch Steuervergünstigungen nach § 82a der Einkommensteuer-

Tab. 3.5

Gegenwärtige und künftige Anteile der Wärmeversorgungssysteme 1978 und 2000

Wärmeversorgungssysteme	Anteile in % der Nutzwärme Modellrechnung		
	1978	2000 <sup>1)</sup>	
		100	200
Fernwärme .....	6	14	23
Blockheizkraftwerke .....	0	8	11
Gaskessel .....	12	26	20
Ölkessel .....	37	19	8
Kokskessel .....	3	0	0
Einzelöfen .....	36	0	0
Elektrospeicher .....	6	6	6
Gaswärmepumpe .....	0	4	4
elektrische Wärmepumpe .....	0	13	12
Biogasanlage mit „TOTEM“ .....	0	1	6
Holzschnittelfeuerung .....	0	2	2
Solarspeicher .....	0	7	8

Quelle: Nach Roth et al., 1980, und BfLR

<sup>1)</sup> Es werden zwei Varianten aufgeführt in Abhängigkeit vom Niveau der Primärenergiepreise: 100 % von 1978, 200 % von 1978. Zu den übrigen Annahmen vgl. Roth et al. (1980).

Durchführungsverordnung und die Stadterneuerung aus Mitteln des Städtebauförderungsgesetzes. Diese Fördermittel sind nach Zweckbestimmung, zeitlicher Dosierung, räumlicher Verteilung und Budget-Höhe aber nicht aufeinander abgestimmt.

*Damit besteht die Gefahr, daß die Kraft-Wärme-Kopplung in Kraftwerken und der Ausbau des Fernwärmenetzes „von oben her“ auf Vorrat und ohne ausreichende Rücksicht auf die kleinräumig und großräumig sehr unterschiedlichen Abnahmebedingungen im Gebäudebestand vorangetrieben werden. Der Abruf der Mittel für Modernisierung und Energieeinsparung in Gebäuden dagegen erfolgt völlig unkoordiniert nach den Investitionsneigungen der einzelnen Gebäudeeigentümer. Die Städtebauförderungsmittel wiederum sind in vergleichsweise wenigen Sanierungsvorhaben gebunden, wobei die Koordination mit den anderen staatlichen Fördermitteln schon deshalb nicht gegeben ist, weil die rd. 800 Vorhaben im Bundesgebiet seit langem festgelegt sind und bei beschränkten Budget-Ansätzen wenige Vorhaben neu hinzukommen.*

**577.** Für den Ausbau der Fernwärme sollte angesichts ihres Beitrags zur Sanierung von Belastungsgebieten eine entsprechende Schwerpunktbildung erfolgen. Der Begriff der Belastungsgebiete müßte hierbei aber weiter gefaßt werden als im Immissionsschutzrecht und auch Raum für die Berücksichtigung funktionaler Aspekte bieten.

Darüber hinaus müßte gewährleistet sein, daß auch alle Gebiete, die die Kriterien eines Belastungsgebietes erfüllen, von den zuständigen Landesregierungen als solche ausgewiesen werden. Innerhalb dieser Gebiete müßte erreicht werden, daß die Umweltbelastungen systematisch erfaßt werden; hierzu eignet sich vor allem das Instrument des Emissionskatasters.

**578.** Bei der hohen Komplexität und der großen Unterschiedlichkeit der lokalen Verhältnisse stößt die Koordination der staatlichen Fördermaßnahmen „von oben her“ sehr schnell auf Grenzen. Es ist daher notwendig, die Vergabe staatlicher Fördermittel an die Bedingung zu binden, daß auf örtlicher und regionaler Ebene die Koordination geleistet wird. Dazu erscheint es angebracht, daß „örtliche und regionale Versorgungskonzepte“ ausgearbeitet und zur Voraussetzung für die Gewährung staatlicher Zuschüsse aus den verschiedenen Fördermaßnahmen sowie für die Lockerung der Zweckbindungen gemacht werden. Damit würden die Gemeinden und die Gemeindeverbände einschließlich der Regionalverbände veranlaßt, die erforderlichen Planungen zu intensivieren und besser zu koordinieren.

*Örtliche Versorgungskonzepte beschränken sich in der Regel auf einzelne Baublöcke bzw. Wohnquartiere oder Stadtteile, können aber an den kommunalen Gebietsgrenzen häufig in Siedlungsgebiete benachbarter Gemeinden hineinreichen. Regionale Versorgungskonzepte wiederum liegen oberhalb gesamtstädtischer Planungen und zumeist auch oberhalb der Zuständigkeit der Landkreise und müssen deshalb auf regionaler Ebene erarbeitet werden. Es wird also ein erhebliches Maß an Stadtteilentwicklungsplanung und übergemeindlicher Zusammenarbeit (Regionalplanung) erforderlich, das dieses Anreizes bedarf.*

**579.** Eine der Aufgaben örtlicher und regionaler Versorgungskonzepte ist es, eine kleinräumige Arbeitsteilung der verschiedenen Energieträger in Ab-

stimmung mit den unterschiedlichen Siedlungsstrukturen herbeizuführen. Diese Aufgabe kann durch die Gebietsmonopole der Energieversorgungsunternehmen (s. Abschn. 3.1.3.3) und den Wettbewerb um Marktanteile am Wärmemarkt erschwert werden. Der Aufgabe förderlich erscheinen daher kommunale Querverbundunternehmen, bei denen der Wettbewerb um Marktanteile zwischen den einzelnen Energieträgern abgemildert und die Innovationsbereitschaft vor allem gegenüber dezentralen Wärmeversorgungstechnologien besser ausgeprägt scheint. Es stellt sich die ordnungspolitische Aufgabe, die kommunalen Querverbundunternehmen zu stärken. Für die technisch vielfach sich anbietende Versorgung benachbarter Gemeinden lassen sich geeignete Formen der Zusammenarbeit finden.

### 3.2.3.3 Konsequenzen für die Kraftwerksplanung

**580.** Die bisherigen Überlegungen und Handlungskonzepte konzentrieren sich vor allem auf die siedlungsstrukturelle Eignung der Wärmeversorgungssysteme am Ort der Energienutzung, einschließlich zugehöriger Umwelteffekte. Der Aufbau der Fernwärmeversorgung über Kraft-Wärme-Kopplung hat jedoch Rückwirkungen auf die Stromproduktion, wobei vor allem die Festlegung neuer Kraftwerksstandorte und die Dimensionierung der Anlagen zum entscheidenden Problem werden.

**581.** Im Jahre 1979 waren insgesamt 87 665 MW<sub>el</sub> Kraftwerksleistung installiert. Davon entfielen auf die industriellen Stromerzeuger 14 829 MW<sub>el</sub> und 1 370 MW<sub>el</sub> auf die Deutsche Bundesbahn (BMW, 1980). Der Anteil der Heizkraftwerke lag mit 6 640 MW<sub>el</sub> noch unter 10 % der Kraftwerksleistung der Versorgungswirtschaft. Von der gesamten Wärmeenergie der Fernwärmenetze lieferten die Heizkraftwerke 66 %, die reinen Heizwerke 21 % und die Industrie 13 %.

Nach Planungen der VDEW soll die Gesamtkraftwerksleistung bis zum Jahre 1990 — bei 8 000 MW<sub>el</sub> Ersatzbedarf — auf rd. 120 000 MW<sub>el</sub> ansteigen.

Unterstellt man, daß Fernwärme künftig 25 % des Niedertemperaturwärmebedarfs deckt, d. h. auf den mehr als dreifachen Wert ansteigt, so würde auch der Anteil der Heizkraftwerke an der elektrischen Engpaßleistung der Versorgungswirtschaft steigen; zur Abschätzung des absoluten Zuwachses siehe Tz. 496.

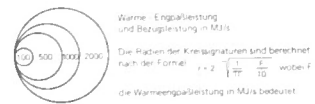
**582.** Die oben dargestellte inselartige Aufbaustrategie für die Fernwärme vorausgesetzt, kommen in Zukunft vorrangig Kraftwerke mit folgenden Eigenschaften in Frage:

- kleine bis mittlere Kapazität
- Funktionsbestimmung für Mittellast
- räumliche Nähe zu Verbrauchsgebieten
- Betrieb durch Querverbundunternehmen.

Mit der Betonung dieser Kraftwerkseigenschaften soll nicht bestritten werden, daß für die Grundlast große Braunkohlen- und Kernkraftwerke benötigt

Abb. 3.3

### Fernwärmeversorgung im Bundesgebiet



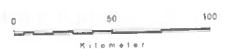
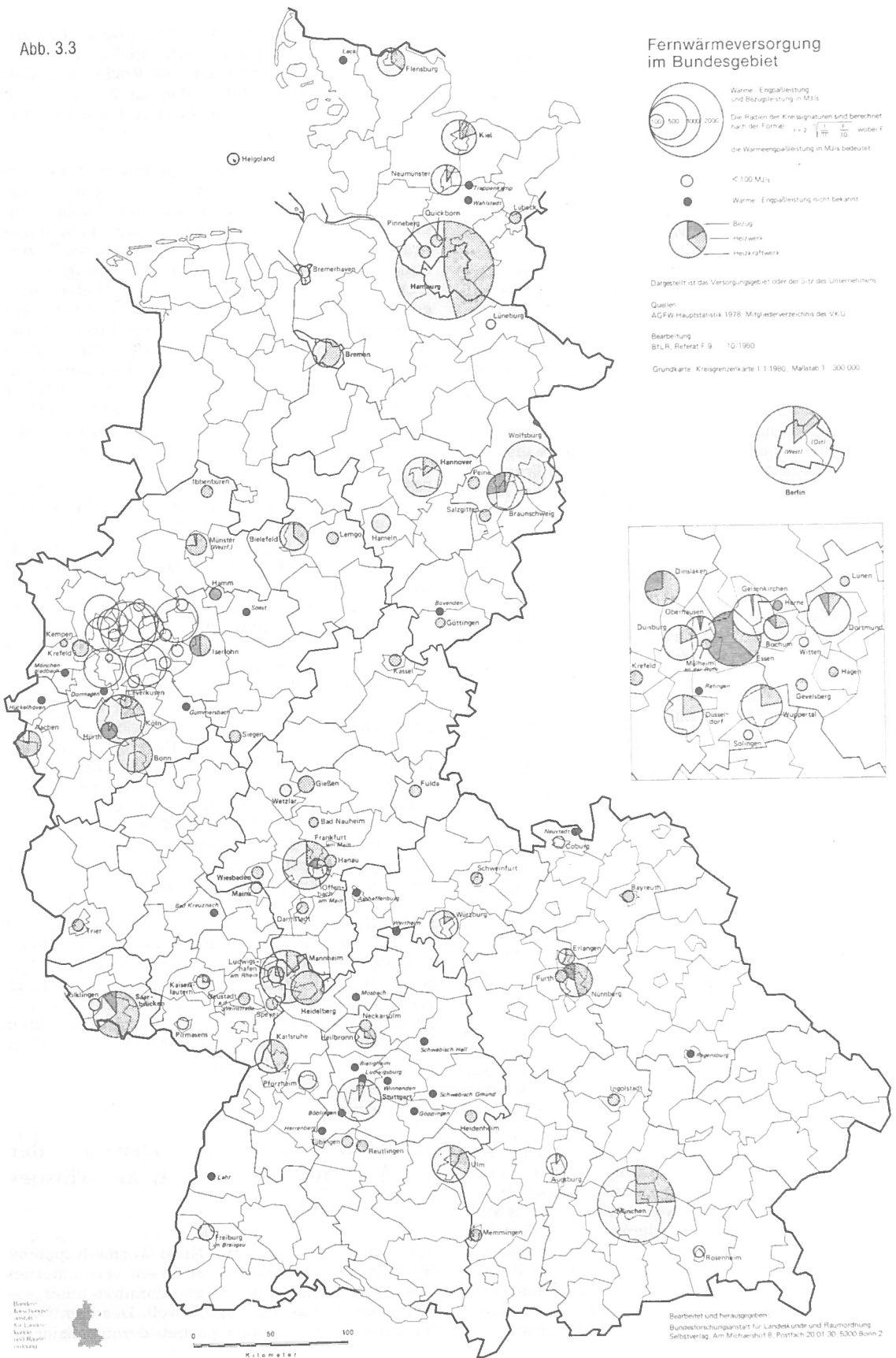
- < 100 MWh
- Wärme - Engpassleistung nicht bekannt
- Bezug
- ▨ Heizwerke
- ▩ Heizkraftwerke

Dargestellt ist das Versorgungsgebiet oder der Sitz der Unternehmenseinrichtungen

Quelle: AGFW Hauptstatistik 1976; Mitgliederverzeichnis des VKU

Bearbeitung: BTLR, Referat F 9, 10/1980

Grundkarte: Kreisgrenzkarte 1:1.1980, Maßstab 1:300.000



Bearbeitet und herausgegeben:  
 Bundesforschungsanstalt für Landes- und Raumordnung  
 Selbstverlag Am Michaelshof 8, Postfach 20 01 30, 5300 Bonn 2

werden. Der Rat stellt vielmehr fest, daß es einen beachtlichen Zubauspielraum von Kleinheizkraftwerken gibt, der aus umweltpolitischen Gründen genutzt werden sollte. In diesem Sinne schlägt der Rat eine (partielle) Dezentralisierungsstrategie vor. Damit der mit dieser Strategie verbundene Energieeinspar- und Umweltentlastungseffekt genutzt werden kann, muß verhindert werden, daß der Leistungsbedarf allein durch die Errichtung von Großkraftwerken gedeckt und so der Spielraum für die Kraft-Wärme-Kopplung blockiert wird.

**583.** Bereits heute entfallen auf kleine und mittlere Wärmekraftwerke (unter 150 MW<sub>e</sub>) nur 8,9 % der installierten Leistung der öffentlichen Wärmekraftwerke; durch Stilllegung kleinerer Altanlagen und die Fertigstellung von Großblöcken dürfte diese Quote weiter fallen. Bei Kraftwerken mit großer Kapazität ist das Potential für die Fernwärmeerzeugung so groß, daß der Aufbau von entsprechend großen Netzen und die Gewinnung entsprechend vieler Abnehmer in angemessener Zeit kaum realisierbar erscheint, zumal wenn zusätzlich längere Transportleitungen nötig werden. Es besteht somit die Gefahr, daß wichtige Fernwärmepotentiale ungenutzt bleiben.

Um die Chancen des Fernwärmeausbaus zu verbessern, ergibt sich daher die Notwendigkeit, den Zubau an Kraftwerkskapazität so weit wie möglich zu dezentralisieren. Dezentral bedeutet dabei sowohl eine stärkere großräumige als auch eine stärkere innerregionale Verteilung der Standorte mit dem Ziel, möglichst nahe an die fernwärmegeeigneten Gebiete heranzurücken. Hieraus wiederum folgt, daß ein erheblich größerer Zubau von Kraftwerken kleinerer und mittlerer Kapazität erfolgen muß. Auch ausgesprochenen Kleinheizkraftwerken kommt in diesem Konzept eine erhebliche Bedeutung zu, vor allem dann, wenn die möglichen Einsparungen im Ausbau des elektrischen Leitungsnetzes berücksichtigt werden (TRÖSCHER, 1979).

**584.** Betrachtet man die räumliche Verteilung der bestehenden Heizwerke und Heizkraftwerke (Abb. 3.3), so ergibt sich im Vergleich zur großräumigen Verteilung der fernwärmegeeigneten Siedlungsgebiete ein Defizit in den revierfernen Gebieten und in den großen und mittelgroßen Städten des ländlichen Raumes. Problematisch ist diese Situation, wenn man den Trend beim Ausbau der Stromerzeugungskapazitäten verfolgt, der gegenwärtig in die völlig entgegengesetzte Richtung abläuft. Der Zubau an Kraftwerkskapazitäten findet z. Z. nämlich fast ausschließlich in den Standardtypen 750-MW-Kohlekraftwerke und 1 300-MW-Kernkraftwerke statt, und soweit es sich dabei um Kohlekraftwerke handelt, werden reviernahe Standorte bevorzugt. Dies mindert nicht nur die Möglichkeiten der Wärme-Auskopplung, sondern verschärft die Immissions-situation bei Luft und Wasser in den bereits stark vorbelasteten Räumen. Bedenkt man, daß gegenwärtig etwa 16 % der deutschen Kraftwerkskapazitäten und mehr als 20 % der Raffinerien im Ruhrgebiet liegen, hält der Rat die These, das Ruhrgebiet müsse auch für die Stromproduktion das energie-wirtschaftliche Zentrum der Bundesrepublik

Deutschland bleiben, für bedenklich. Dies gilt insbesondere angesichts der Tatsache, daß in den nächsten zehn Jahren fast 30 % der im Revier installierten Kraftwerkskapazitäten älter als 25 Jahre sein werden und darum mit spezifischen Umweltproblemen verbunden sind.

**585.** Um die Kraft-Wärme-Kopplung und die Verstromung von Kohle in kleinen revierfernen Heizkraftwerken voranzutreiben, ist eine Kombination staatlicher Hilfen erwägenswert, wobei auf spezielle Frachthilfen verzichtet werden kann, da bei Entfernungen über 250/300 km hinaus der Stromtransport teurer ist als der Transport von Vollwertkohle; dagegen erscheint eine Förderung des revierfernen Fernwärmeausbaus die erstrebenswertere Strategie. Die Bundesregierung hat in Fortsetzung der auslaufenden ZIP-Mittel für den Ausbau der Fernwärme ein 1,2-Mrd-DM-Programm für den Bau fortschrittlicher Kohleheizkraftwerke und den Fernwärmeausbau beschlossen, welches aber durch die Diskussion um die Mischfinanzierung noch blockiert wird.

**586.** Die Energieprogramme und die Standortvorsorgepläne sichern schließlich gegenwärtig ausschließlich Standorte für Großkraftwerke. Dies mag darin begründet sein, daß die benötigten Großflächen vorsorglich freigehalten werden müssen und für Teile der Industrie die Nähe zu leistungsstarken Kraftwerken ein beachtlicher Standortfaktor ist. Im Rahmen der vom Rat betonten Dezentralisierungsstrategie muß aber flächernmäßiger Spielraum für die Ansiedlung kleinerer Kraftwerkstypen zwecks Wärme-Auskopplung geschaffen werden. Hier erscheint vor allem eine Integration der Kraftwerksplanungen mit den örtlichen und regionalen Versorgungskonzepten notwendig. Bislang tragen die Pläne und Programme von Bund und Ländern den vom Rat dargestellten Gesichtspunkten der Modernisierung bestehender Kraftwerke und der Umorientierung des Neubaus von Kraftwerken auf dezentrale Heizkraftwerke kaum Rechnung; im Gegenteil, sie dürften diese Umorientierung sogar hemmen und sind daher zu revidieren.

**587.** Hier ergibt sich eine enge Verknüpfung mit der Erneuerung alter Kraftwerke in verdichteten Gebieten. Die aus Umweltgründen ohnehin fällige Sanierung sollte zum Anlaß genommen werden, im Rahmen des Neu- und Umbaus der Kraftwerke in großem Maße Kraft-Wärme-Kopplung einzuführen bzw. zumindest die dafür erforderlichen technischen Einrichtungen einzubauen.

### 3.3 Umweltpolitische Grenzen der Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung

**588.** Die Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung führt im ganzen gesehen zu einem verminderten Einsatz von Primärenergie und damit zu einer wesentlichen Entlastung der Umwelt. Der damit verbundene Zwang zu einer partiell dezentralisierten



Stromerzeugung kann aber zu lokalen Mehrbelastungen von Luft, Wasser, Boden, Pflanzen, Tieren und ganzen Ökosystemen führen, die in bestimmten Fällen umweltpolitisch nicht hingenommen werden können. Die Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung stößt dort an Grenzen, wo schutzwürdige Bestände von Pflanzen und Tieren gefährdet werden (vgl. Kap. 1.3.2). Eine Vergleichmäßigung der Immissionsbelastung kann keine sinnvolle umweltpolitische Zielsetzung sein. Die Verschlechterung der Luftqualität in bisher kaum belasteten Gebieten wird auch nicht dadurch ausgeschlossen, daß bei der Emissionsminderung alle Vermeidungstechnologien nach dem Stand der Technik eingesetzt werden.

Die voraussichtlichen Entwicklungen in der Belastung der einzelnen Regionen beim Übergang zu einer partiell dezentralisierten Stromerzeugungsstruktur müssen für Belastungsgebiete, „Normalgebiete“ und Reinluftgebiete verschieden beurteilt werden.

**589.** Belastungsgebiete sind Gebiete, in denen Luftverunreinigungen auftreten oder zu erwarten sind, die wegen der Häufigkeit und der Dauer ihres Auftretens, ihrer hohen Konzentration oder der Gefahr des Zusammenwirkens verschiedener Luftverunreinigungen in besonderem Maße schädliche Umwelteinwirkungen hervorrufen können (§ 44 Abs. 2 S. 1 BImSchG). Die Belastungsgebiete werden durch Rechtsverordnung der Landesregierung festgesetzt; teilweise ist die Festsetzung allerdings nicht erfolgt, obwohl die vorgenannten Kriterien erfüllt sind. In den Belastungsgebieten ist die Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung als wirksame emissionsmindernde Maßnahme in hohem Maße geboten. Insbesondere kann durch die Auskopplung von Fernwärme aus Kraftwerken und die Einspeisung in Fernwärmenetze eine Heizwärmeversorgung dargeboten werden, die die besonders umweltbelastenden Einzelfeuerungen ersetzt.

In den Belastungsgebieten finden sich viele überkommene Standorte für solche Großkraftwerke, die in den nächsten Jahren und Jahrzehnten durch neue Anlagen ersetzt werden müssen. Im allgemeinen ist dort auch die Bereitschaft der Bevölkerung noch am ehesten vorhanden, mit vergleichsweise hohen Immissionsbelastungen zu leben. Dennoch muß eine Sanierung angestrebt werden; die Funktion der Luftreinhaltepläne nach § 47 BImSchG ist darin zu sehen, die Lebensverhältnisse zu verbessern, nicht darin, neue Belastungskapazitäten zu erschließen. Daher ist nicht die Ansiedlung neuer Kraftwerke, sondern die Sanierung bzw. Erneuerung der vorhandenen anzustreben.

**590.** Reinluftgebiete sind solche, die aus Gründen des Natur- und Landschaftsschutzes, des Denkmalschutzes oder wegen ihres besonderen Kur- oder Erholungswertes vor Luftverunreinigungen weitgehend bewahrt bleiben müssen. Vor allem zum Schutz solcher Gebiete räumt § 49 Abs. 1 BImSchG den Landesregierungen die Möglichkeit ein, durch Rechtsverordnung bestimmte umweltbelastende Anlagen zu verbieten oder erhöhte Anforderungen

an den Betrieb zu stellen. Die Landesregierungen haben allerdings von der Ermächtigung, solche Reinluftgebiete festzusetzen und zu ihrem Schutz besondere Anforderungen zu stellen, bisher keinen Gebrauch gemacht. Von den Zielvorstellungen des Gesetzes her sind sicherlich alle Naturschutzgebiete entsprechend schutzwürdig, aber weit darüber hinaus auch andere Gebiete, deren natürliche Lebenszusammenhänge noch nicht wesentlich gestört sind und die in diesem Zustand erhalten werden sollen. Die Ansiedlung von mittleren und kleineren Kohlekraftwerken in diesen Gebieten kann aus Gründen des Immissionsschutzes, aber auch wegen der sonst unvermeidlichen Beeinträchtigung des Landschaftsbildes grundsätzlich nicht in Erwägung gezogen werden. Da es sich durchweg um dünnbesiedelte und kaum industrialisierte Gebiete handelt, fallen die dort erschließbaren Kraft-Wärme-Kopplungspotentiale auch nicht ernstlich ins Gewicht.

**591.** In den Gebieten, die weder Belastungs- noch Reinluftgebiete sind und die flächenmäßig den größten Teil des Bundesgebietes umfassen („Normalgebiete“), kommen für die Fernwärmeversorgung auf der Grundlage der Kraft-Wärme-Kopplung nahezu alle Ober- und Mittelzentren in Betracht; generelle umweltpolitische Bedenken gegen die Errichtung der dafür erforderlichen Heizkraftwerke bestehen dort nicht. Für die Stromerzeugung in mittleren und kleineren Kraftwerken, aus denen Heizwärme ausgekoppelt wird, bieten sich mannigfaltige technische Lösungen an. Neben Kohlekraftwerken könnten künftig neuere Kernkraftwerksvarianten (kleine Leichtwasserreaktoren und kleine Hochtemperaturreaktoren) in Frage kommen (s. Abschn. 1.2.2.4). Der Gesichtspunkt, daß diese Anlagen der örtlichen Versorgung dienen, dürfte die Akzeptanz solcher technischen Lösungen für die Bevölkerung erhöhen.

Allerdings kann die Ausnutzung von Kraft-Wärme-Kopplung auf der Basis von Kohle auch in den „Normalgebieten“ nicht uneingeschränkt empfohlen werden. Bei der Ansiedlung von Kohlekraftwerken mittlerer Größe in der Nähe von Ober- und Mittelzentren dürfen bisher unbeeinträchtigte Forstbestände nicht in Gefahr geraten. Es wird von Fall zu Fall darauf ankommen, ob die vorgegebene Situation im ganzen erhalten oder verbessert wird oder ob die ökologischen Verhältnisse sich wesentlich verschlechtern. Dabei sind die von Kohlekraftwerken verursachten Immissionen gegen die Gesamtbelastung aufzurechnen, die bisher von der Vielzahl von Einzelfeuerungen mit Kohle oder Heizöl ausging.

**592.** Der Rat sieht sich gegenwärtig nicht in der Lage abzuschätzen, in welchen Gebietsteilen das Kraft-Wärme-Kopplungspotential voll ausgeschöpft werden kann und wo und in welchem Umfang Gesichtspunkte des Immissionsschutzes, des Gewässerschutzes und des Landschaftsschutzes dem Grenzen setzen. Den Landesregierungen könnte empfohlen werden, im Rahmen der Landesplanung konkrete Vorgaben für die Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung auf dem industriellen wie auf dem Fernwärmesektor zu entwickeln.

## 4 SCHLUSSFOLGERUNGEN UND EMPFEHLUNGEN

**593.** Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen stellt abschließend Schlußfolgerungen vor, die sich aus den vorangehenden Teilen des Gutachtens „Energie und Umwelt“ ergeben; er spricht Empfehlungen für betroffene Politikbereiche, für die Wirtschaft sowie für Forschung und Entwicklung aus. Der Aufbau folgt weitgehend der Gliederung des Gesamtgutachtens.

### 4.1 Umweltbelastung durch Energienutzung

**594.** Jede Energienutzung ist umweltintensiv; von ihr gehen die verschiedenartigsten Belastungen aus; diese reichen von der Landschaftszerstörung durch Braunkohlentagebau über die Belastung der Luft mit  $\text{SO}_2$  bis zur Inkaufnahme unterschiedlichster langfristiger Risiken. Der Zusammenhang gilt auch mittelbar: Großtechnische Energienutzung stellt die Energiemengen bereit, die zu einer nachhaltigen Umgestaltung der Umwelt nötig sind. Energiepolitik ist damit immer aufs engste mit Umweltpolitik verflochten.

**595.** Angesichts des raschen Wandels der Energiepreise verschiedener Energieträger und ihrer ungewissen künftigen Verfügbarkeit sowie der dadurch ausgelösten Wirkungen auf das Wirtschaftsleben erweisen sich quantitative Vorhersagen über Niveau und Struktur des künftigen Energieverbrauchs als äußerst unsicher. Diese Unsicherheit spiegelt sich in den großen Unterschieden zwischen verschiedenen Prognosen und Projektionen über den künftigen Energieverbrauch. Dennoch zeichnen sich einige Entwicklungslinien ab, die für den Umweltschutz bedeutsam sind: In der Bundesrepublik Deutschland wird das Wachstum des primären Energieverbrauchs künftig wesentlich geringer ausfallen als in den 60er Jahren und Anfang der 70er Jahre. Das gegenüber den älteren Prognosen seit 1973 zu beobachtende Zurückbleiben des Verbrauchsanstiegs erklärt sich etwa zur Hälfte aus der Abnahme der wirtschaftlichen Wachstumsraten und zur Hälfte aus echten Energieeinsparungen bzw. sektoralen Umschichtungsprozessen. Sollte diese Entwicklung anhalten, so würde der prognostizierte Energiebedarfszuwachs nur ein Viertel von dem ausmachen, was den Prognosen vor der Ölkrise zugrunde gelegt wurde. Selbst ein absoluter Rückgang des Energieverbrauchs erscheint nicht ausgeschlossen.

Diese Niveaueverschiebungen des Energieverbrauchs sind auf folgende Änderungen zurückzuführen, die sich fortsetzen werden:

- Im häuslichen Wärmebereich und im Verkehrsbereich wird gespart.
- Auf dem Wärmemarkt werden Mineralölprodukte teils durch Erdgas, teils durch Kohle auch in der Form von Strom und Fernwärme substituiert.
- Regenerierbare Energiequellen werden in Teilen des Wärmemarktes allmählich einen fühlbaren Beitrag leisten.
- Es ist zu erwarten, daß der relative Anteil des industriellen Verbrauchs am Endenergieverbrauch wieder steigen wird, da die Sparpotentiale im industriellen Bereich bereits stärker genutzt worden sind als in den anderen Sektoren.
- Bei der Nutzung von Primärenergiequellen und der Bereitstellung von Nutzenergie werden vielfältige neue Techniken eingeführt werden.

**596.** Diese Struktur- und Niveaueveränderungen haben für sich allein Umwelteffekte entlastender und belastender Art. Die Umweltbelastungen sind dabei traditioneller Art: Wird die Kohle verstärkt genutzt, so ergibt sich die Notwendigkeit zur stärkeren Emissionsminderung. Insofern bleiben die herkömmlichen Aufgabengebiete der Umweltpolitik auch für die Zukunft dringlich. Dies gilt insbesondere für die Umweltbelastungen durch konventionelle Kohlefeuerungen und die zu erwartenden Kohleveredelungsanlagen. Aber auch der Energieeinsatz im Straßenverkehr erzeugt nach wie vor Emissionen und Immissionen, deren Verminderung eine Aufgabe ersten Ranges bleibt.

**597.** Der zu erwartende verstärkte Kohleeinsatz in Industrief Feuerungen, in großen und kleinen Kraft- und Heizkraftwerken sowie in Gebäudeheizungen muß mit kritischer Aufmerksamkeit betrachtet werden. Auch wenn die Entwicklung „weg vom Öl“ aus Gründen der Versorgungssicherheit und wegen zunehmender Wirtschaftlichkeit notwendig ist, so dürfen Umweltgesichtspunkte bei der Brennstoffwahl, den technischen Anforderungen und der Standortbestimmung nicht in den Hintergrund treten. Nach Ansicht des Rates stehen für bestimmte Schadstoffkomponenten geeignete und wirtschaftlich tragbare Techniken zur Emissionsminderung zur Verfügung.

Kohleveredelungsprodukte sind bei den heutigen Öl- und Kohlepreisen immer noch nicht wirtschaftlich; der Bau von Kohleveredelungsanlagen wird jedoch wegen der Erwartung steigender Ölpreise und vor allem zur Erhöhung der Versorgungssicherheit geplant und gefördert. Der Rat weist nachdrücklich auf die zu erwartenden Umweltbelastungen solcher Anlagen hin. Er fordert, bei der technischen Entwicklung solcher Anlagen der Emissionsminderung

das gleiche Gewicht zuzumessen wie der Verfahrensoptimierung. Er empfiehlt auch, die materiellen und verfahrensmäßigen umweltrechtlichen Anforderungen frühzeitig und sorgfältig zu planen.

**598.** Gerade für den Immissionsschutz ist die Senkung der Emissionen von Kraftfahrzeugen von großer Bedeutung. Wegen der besonders hohen Umweltbelastungen durch unverbrannte Kohlenwasserstoffe und Stickoxide sollten sich die Bemühungen auf eine Reduzierung dieser Komponenten konzentrieren. Unabhängig davon, welcher Instrumente sich die Umweltpolitik dabei bedient (vgl. hierzu Kap. 2.5), fordert der Rat eine umfassendere Überprüfung der Emissionswerte sowohl fabrikneuer Fahrzeuge (Stichproben der laufenden Produktion) als auch im Verkehr befindlicher Fahrzeuge. Der Rat empfiehlt deshalb die Entwicklung leicht handhabbarer und zugleich zuverlässiger Meßgeräte.

**599.** Die Einführung neuer Techniken bei der Gewinnung und Umwandlung von Energieträgern stellt den Umweltschutz vor neue Aufgaben. Dies gilt sowohl für die Kohleveredelung als auch für die Erschließung regenerierbarer Energiequellen und für bestimmte Verfahren der rationellen Energienutzung. Dabei tritt die Umweltpolitik zunehmend aus ihrer passiven Rolle heraus, d. h. sie begnügt sich nicht mehr mit nachträglichen Auflagen; vielmehr versucht sie selbst Ziele vorzugeben und dabei umweltfreundliche Techniken der Energienutzung bis zur betrieblichen Reife zu fördern. Umgekehrt können auch energiepolitische Vorhaben an schärferen Restriktionen des Umweltschutzes scheitern, wenn sie sich nicht rechtzeitig anpassen.

**600.** Neben Wechselwirkungen im technischen Bereich ist das Zusammenwirken von Umwelt- und Energiepolitik im eigentlichen politischen Feld besonders bedeutsam: Energiepolitische Strategien können nicht ohne umweltpolitische Überlegungen entworfen werden. Die Abwägung zwischen den expansiven Optionen, d. h. dem vermehrten Einsatz von Kohle, der Kernenergie und regenerativer Quellen und den auf Einsparung zielenden Strategien ist ohne Analyse der Umwelteffekte weder sachlich noch politisch möglich. Freilich gilt auch umgekehrt, daß Umweltziele für die Energieversorgung nicht ohne Berücksichtigung der energiewirtschaftlichen Folgen angestrebt werden können. Gerade die Energieverteuerung zwingt auch die Umweltpolitik zu ökonomisch-rationalem Einsatz ihrer Mittel.

**601.** Für die Entwicklung energiepolitischer Strategien unter umweltpolischem Aspekt wäre es am einfachsten, hätte man die Möglichkeit, die Energieträger und -systeme an einer Skala der Umweltfreundlichkeit zu messen. Dies ist leider nur sehr begrenzt möglich; selbst Energiequellen, deren Umweltfreundlichkeit gemeinhin unterstellt wird, haben bei genauer Betrachtung Probleme, die zumindest noch einer sorgfältigen technischen Behandlung bedürfen. Dies gilt beispielsweise für die Mehrzahl der regenerativen Energiequellen.

**602.** Gerade im Bereich der regenerativen Energiequellen ist angesichts der vielfältigen Möglichkeiten und der noch bescheidenen praktischen Erfahrungen die Einschätzung des energiepolitischen Nutzens und der umweltpolitischen Verträglichkeit besonders kontrovers. Der Energiepolitiker neigt dazu, die regenerierbaren Quellen zu unterschätzen, weil sie in der Tat nur begrenzte Beiträge zum Energieangebot zu liefern vermögen; der engagierte Umweltschützer nimmt oft schon die Eigenschaft der Regenerierbarkeit als Synonym für Umweltfreundlichkeit. Kap. 1.2.3 zeigt in Verbindung mit 2.2.2, daß zwischen diesen Extremen ein dritter Weg gefunden werden muß, der sich an den spezifischen Gegebenheiten orientiert und in einer Fülle wohl abgestimmter Einzellösungen einen insgesamt beachtlichen Beitrag dieser Energiequellen erschließt.

#### Kohle und Kernenergie

**603.** Am bedeutsamsten ist die umweltpolitische Abwägung zwischen Kohle und Kernkraft, zumal gerade hier vielfältige Vorurteile die Diskussion belasten.

Hinsichtlich der Kohle wird in der öffentlichen Meinung vielfach die Ansicht vertreten, ihr verstärkter Einsatz zur Energienutzung bringe nur kurzfristige Emissionsprobleme, berge jedoch kaum längerfristige Gefahren. Der „Weg in die Kohle“ sei daher unter umweltpolitischen Aspekten nicht problematisch.

Der Rat widerspricht dieser Ansicht. Bei mit Kohle (oder Erdöl) betriebenen Kraftwerken ist nämlich eine große Zahl sehr unterschiedlicher chemischer Stoffe in die Beurteilung der Emissionen einzubeziehen. Ihre toxischen Wirkungen sind nur z. T. erforscht. Das Bekannte weist auf extrem unterschiedliche Wirkungen auf die menschliche Gesundheit hin, von der einfachen lokalen und reversiblen Reizwirkung des SO<sub>2</sub> bis zur Krebsentstehung durch polycyclische aromatische Verbindungen. Insbesondere letztere Gruppe tritt immer stärker ins Blickfeld der Forschung, allerdings gibt es große Wissenslücken.

**604.** Das Urteil über die Gesundheitsgefährdung durch die Kohlenutzung wird hierdurch erschwert; die Unsicherheit des Urteils wird noch wesentlich durch die Tatsache erhöht, daß zahlreiche erbgutändernde und krebserzeugende Stoffe auftreten, die in der Risikobetrachtung einen besonderen Stellenwert beanspruchen müssen. Die Risiken aus Kohleverbrennungsprodukten sind insgesamt nur unvollständig bekannt, die bekannten sind bei erbgutschädigenden und krebserzeugenden Wirkprinzipien nicht verlässlich quantifizierbar, die Meßbarkeit solcher Schadstoffe ist nicht sehr weit entwickelt. Auch die bekannten Methoden der Abgasreinigung sind praktisch nicht auf diese Schadstoffe hin konzipiert und auch nicht hinsichtlich ihrer Wirksamkeit zur Minderung dieses Schadpotentials untersucht.

**605.** Daher kann der Rat keinesfalls der These zustimmen, daß mit der verstärkten Nutzung der

Kohle vom Menschen nur gewisse akute und vorübergehende Schädwirkungen in Kauf genommen werden können und müssen. Das Gegenteil ist richtig: es sind langfristige, schwer abschätzbare, auch in künftige Generationen wirkende Beeinträchtigungen zu berücksichtigen. Der Rat empfiehlt deshalb nachdrücklich systematische Untersuchungen zur analytischen Bestandsaufnahme aller emittierten Schadstoffe, zu deren Wirkungen und gegenseitigen Wechselwirkungen. Dabei sollte man sich von einfachen Konzepten der „Leitsubstanzen“ lösen und ein möglichst breites Spektrum moderner Methoden der Wirkungsanalyse einbeziehen.

**606.** Zu diesen schwer abschätzbaren Wirkungen langfristiger Art auf den Menschen treten die ökologischen Wirkungen. Wichtigste ökologische Effekte sind die Folgen der  $\text{SO}_2$ -Emissionen, sei es als direkt wirkende Immission, sei es als saurer Regen, der auf Mikroorganismen, Kleintiere, Pflanzen und den Chemismus des Bodens einwirkt. Durch den Ferntransport von  $\text{SO}_2$  und durch saure Niederschläge werden auch weit von den Emissionsquellen entfernt liegende Ökosysteme in Mitleidenschaft gezogen,  $\text{SO}_2$  wird somit zu einem grenzüberschreitenden Umweltproblem.

**607.** Die umweltpolitische Bewertung des Einsatzes von Kernenergie muß zwischen Belastungen durch den Normalbetrieb, Belastungen bei Störfällen oder Unfällen und Belastungen durch Wiederaufarbeitung sowie Endlagerung unterscheiden.

Die Umweltbelastungen durch den Normalbetrieb sind gering, insbesondere im Verhältnis zum Einsatz von Kohle und schwerem Heizöl. Die regelmäßigen Überwachungsmessungen belegen, daß die vorgeschriebenen Grenzwerte eingehalten und in der Regel wesentlich unterschritten werden. Bei der Bewertung ist sich der Rat bewußt, daß auch kleinste Dosiswerte einen Rest von Risiko in sich bergen. Daher kann es für den Rat keineswegs mit der Feststellung sein Bewenden haben, daß die geltenden Grenzwerte von Sachverständigenkommissionen vorgeschlagen worden sind, daß sie mindestens den international vereinbarten Grenzwerten entsprechen und daß die Einhaltung der Werte von den Fachbehörden streng überwacht wird. Der Rat orientiert sich vielmehr an den im Vergleich zum natürlichen Niveau der Strahlenbelastung geringen absoluten Werten.

Der Grundsatz „so wenig wie möglich“ ist Bestandteil des geltenden Rechts, er ist auch künftig weiter zu verfolgen. Dies sollte auch in Gebieten gelten, die an die Bundesrepublik Deutschland grenzen; grenznahe Standorte sind nur akzeptabel, wenn höchsten Schutzanforderungen genügt wird.

**608.** Umweltbelastungen bei Störfällen und Unfällen sind für verschiedene Reaktortypen unterschiedlich zu beurteilen. Dabei mißt der Rat den Ereignissen, deren Auswirkungen mit den im täglichen Leben vorkommenden Unfällen dem Umfang nach vergleichbar sind, eine weniger bedeutsame Rolle zu, auch wenn sie den Hauptbeitrag zum abge-

schätzten Risiko liefern. Der Rat sieht daher die bloße Möglichkeit großer Unfälle zwar als Beitrag zum Risiko an, er betrachtet sie aber auch als eigenständiges Phänomen. Diese Einstellung, Unfälle katastrophalen Ausmaßes nicht nur als Teil des Risikos, sondern auch als eigenständiges Phänomen zu begreifen, wirkt auf die Bewertung unterschiedlicher Reaktortypen und Blockgrößen.

**609.** Bei einem Leichtwasserreaktor wäre ein Unfall schwerster Art für Mensch und Umwelt eine extreme Belastung. Das gilt für die voraussehbare Zahl von Todesfällen, für genetische Spätfolgen und Siechtum, aber auch für die Zerstörung über Hunderte und die Beeinträchtigung über Tausende von Quadratkilometern hinweg durch die langfristige Belastung der Region mit radioaktiven Nukliden. Zwar ist die kalkulierbare Eintrittswahrscheinlichkeit eines solchen Unfalls extrem gering; die grundsätzliche Möglichkeit hat jedoch auch ihr Eigengewicht, zumal auslösende Faktoren wie Krieg und Terror ebenso wie bei anderen gefährlichen Technologien in keiner Weise kalkulierbar sind.

Es verdient hohe Anerkennung, daß die Sicherheitstechnik erhebliche Fortschritte gemacht hat und immer weiter entwickelt wird, wobei der Nachrüstung bestehender Anlagen allerdings Grenzen gesetzt sind. Gleichwohl bleibt ein Risiko. In ihm stecken auch unvermeidliche Wissenslücken, die zum Teil künftig ausgefüllt werden können, zum Teil immer bestehen werden. Dieses Risiko muß politisch verantwortet werden, auch gegenüber künftigen Generationen.

**610.** Für die Schnellen Brüter gelten ähnliche Überlegungen wie für Leichtwasserreaktoren, da die maximalen Unfallfolgen bei gleicher Leistung nicht geringer sind. Zudem sind die Kenntnisse über die Eintrittswahrscheinlichkeit schwerer Unfälle und über die Wirksamkeit der sicherheitstechnischen Vorkehrungen geringer. Auch liegen nur begrenzte betriebliche Erfahrungen vor.

**611.** Beim Hochtemperaturreaktor (HTR) zeichnet sich die Möglichkeit ab, durch Begrenzung der Leistungsdichte und der Gesamtleistung (bis zu etwa  $200 \text{ MW}_{\text{th}}$ ) zu Reaktorformen zu kommen, bei denen die Freisetzung des gesamten Spaltinventars selbst bei einem Unfall schwerster Art nahezu auszuschließen ist. Vor allem bestünde bei einem solchen Reaktortyp mehr Zeit für Gegenmaßnahmen und Evakuierung; dies hätte auch den Vorteil, daß bei Bewahrung Standorte in größerer Nähe zu Städten in Erwägung gezogen werden könnten. Gegen diese Überlegungen ist mit Recht eingewandt worden, es lägen unzureichende Erfahrungen mit Reaktoren vom HTR-Typ vor, um die weiteren Entwicklungs- und Einsatzmöglichkeiten verläßlich abzuschätzen. Auch ist die Problematik der Wiederaufarbeitung nicht gelöst.

Daraus ist jedoch nach Auffassung des Rates nicht der Schluß zu ziehen, diese Reaktorentwicklung nicht weiter zu verfolgen, zumal sich ohnehin der Leichtwasserreaktor durchgesetzt habe. Angesichts der politischen Bedeutung einer Vermeidung des ge-



fürchteten Großunfalls empfiehlt der Rat vielmehr nachdrücklich, diese spezifische Variante des HTR in einer Demonstrationsanlage möglichst rasch zu realisieren, da nur so das Erfahrungsdefizit abgebaut werden kann.

**612.** Die Umweltauswirkungen durch Wiederaufarbeitung und Endlagerung sind der dritte Streitpunkt in der Kernenergiedebatte.

Zur Beurteilung der Wiederaufarbeitungsprobleme gibt es zwar noch keine Erfahrungen aus großtechnischen Anlagen für Leichtwasserreaktor-Brennelemente; die Ergebnisse der Pilotanlagen lassen jedoch in Verbindung mit neuen Rückhaltetechniken erwarten, daß sich die Belastungen im vertretbaren Rahmen der Strahlenschutzverordnung halten.

Auch hier legt der Rat besonderen Wert auf den Grundsatz „so wenig wie möglich“, der auch international durchgesetzt werden sollte. Die günstigste Form der Endlagerung hochradioaktiver Abfälle muß unter dem Aspekt eines über Jahrtausende zu gewährleistenden Schutzes der Biosphäre unter den diskutierten Alternativen sorgfältig ausgewählt werden. Dies gilt um so mehr, als der Stand der Wissenschaft Aussichten eröffnet, durch Nachbestrahlung die besonders langlebigen radiotoxischen Transurane in Stoffe von kürzerer Halbwertszeit umzuwandeln und so die Zeitspanne der Gefährdung drastisch zu kürzen.

**613.** Für eine vergleichende Würdigung von Kohle und Kernkraft unter umweltpolitischen Aspekten sind bereits genannt:

- In ihrer Bewertung noch weitgehend ungeklärten Schädigungspotentialen aus Emissionen von Feuerungsanlagen stehen Emissionen aus Kernkraftwerken im Normalbetrieb gegenüber, deren Konsequenzen deutlich besser überschaubar sind und von denen nur äußerst geringe Belastungen ausgehen.
- Hinsichtlich außergewöhnlicher Vorkommnisse verhält es sich genau umgekehrt: Zum großen Unfall der Kernkraftwerke gibt es bei der Kohle keine Parallele. Auch die Wiederaufarbeitung und sichere Endlagerung sind spezielle Probleme der Kernkraftwerke, deren großtechnische Lösung noch aussteht.

**614.** Hinzu treten die folgenden Gesichtspunkte:

- Zu Lasten der fossilen Brennstoffe wird die Gefahr klimatischer Änderungen durch CO<sub>2</sub>-Emissionen diskutiert. Unzweifelhaft handelt es sich dabei um einen tiefen Eingriff in die Zusammensetzung der Luft. Nach sorgfältiger Abwägung hat der Rat die Überzeugung gewonnen, daß die gegenwärtig verfügbaren Klimamodelle noch keine ausreichend zuverlässigen Aussagen über das quantitative Ausmaß der Klimaänderung, insbesondere der Temperaturerhöhung, erlauben. Es kommt hinzu, daß die bis Mitte der siebziger Jahre unterstellten Wachstumsraten der Nutzung fossiler Energieträger mit Sicherheit

nach unten korrigiert werden müssen. Der Zeithorizont erweitert sich dadurch beträchtlich.

- Es ist zu berücksichtigen, daß auch bei der Verfeuerung von Braun- und Steinkohle natürliche radioaktive Stoffe emittiert werden. Über die Höhe der Emissionen natürlich-radioaktiver Stoffe aus konventionellen Kraftwerken gibt es unterschiedliche Angaben. Die vorliegenden Abschätzungen der Strahlenexposition zeigen, daß diese vornehmlich über Aufnahme kontaminierter Nahrungsmittel erfolgt und in der Umgebung konventioneller Kraftwerke in der gleichen Größenordnung liegt wie die Strahlenexposition in der Umgebung von Kernkraftwerken.
- Die Umweltbelastungen landschaftlicher Art sind für alle thermischen Kraftwerke qualitativ vergleichbar. Bei der Kohle kommen bergbauspezifische Landschaftsbelastungen und immissionsbedingte Standortprobleme hinzu; Kernkraftwerke haben demgegenüber zusätzliche Kühlturmprobleme und sicherheitsbedingte Standortanforderungen.

**615.** Aus diesen umweltrelevanten Befunden zieht der Rat folgende Schlüsse:

- Unter umweltpolitischen Gesichtspunkten kann weder der Nutzung der Kohle noch der Kernenergie eine eindeutige Präferenz eingeräumt werden.
- Da jede der beiden Energiequellen Umweltbelastungen oder -gefährdungen mit sich bringen kann, eignet sich keine von ihnen zur massiven Ausdehnung des Energieangebots.
- Auch die regenerativen Energiequellen sind nach dem derzeitigen Stand des Wissens ohne große Umweltbelastungen nicht in der Lage, Träger einer expansiven Angebotsstrategie zu werden.

**616.** Wenn somit Umweltaspekte eine expansive Strategie bei allen Energieträgern ausschließen, ergibt sich die Frage, wo umweltpolitische Grenzen des Energieangebots liegen und wie mögliche Energielücken geschlossen werden können. Beim Einsatz von Kohle darf der durch Fördermengen und Importmöglichkeiten begrenzte Rahmen nur ausgeschöpft werden, wenn die Möglichkeiten der Emissionsminderung durch verfügbare und die Einführung neuerer, in der Entwicklung befindlichen Techniken (z. B. Wirbelschichtfeuerung, Tuchfilter) erweitert werden.

Erhebliche Sorgen macht dem Rat die mögliche Umweltbelastung durch die geplanten Großanlagen zur Kohleveredelung.

**617.** Bei der Kernkraft dürften die umweltpolitisch verantwortbaren Standorte der limitierende Faktor sein. Der Rat geht davon aus, daß sich bei den derzeitigen Technologien die Zahl der Standorte über die bisher in einer ernsthaften Planung befindlichen hinaus nicht nennenswert vergrößern läßt. Er hat dargelegt, daß neue Reaktor-Technologien hier neue Perspektiven eröffnen könnten.

**618.** Angesichts der Umweltbelastungen sowohl durch die herkömmliche Energienutzung als auch durch die diskutierten energiewirtschaftlichen Umstellungsprozesse kommt der Rat zu dem Schluß, daß der Energieeinsparung nicht nur energiepolitisch, sondern vor allem unter Umweltgesichtspunkten hohe Priorität zukommt. Neben den Einsparungen bieten jedoch auch die energiewirtschaftlich erzwungenen Substitutionsprozesse Chancen und Risiken hinsichtlich der Umweltqualität. Gerade bei der Bewertung der Substitutionsmöglichkeiten sind die dargelegten Überlegungen zur Umweltverträglichkeit der verschiedenen Energieträger zu beachten. Der Trend „weg vom Öl“ und „hin zur Kohle und Kernenergie“ ist umweltpolitisch problematisch und zwingt zu weiteren Überlegungen.

## 4.2 Zur Einsparung und Substitution von Energie

**619.** Energieeinsparung mindert bei Nutzung gleicher Techniken Umweltbelastungen auf allen Stufen des Energieflusses. Umweltpolitisch besitzt deshalb die Energieeinsparung Priorität, gleichgültig wie die weitere energiepolitische Entwicklung verlaufen mag. Diese generell gültige Beziehung bedarf jedoch der Ergänzung:

- Umweltargumente verstärken die übrigen Argumente für die Einsparung von Energie nur dann, wenn nicht durch Substitutionsprozesse die spezifischen Emissionen stärker steigen als der Energieverbrauch sinkt.
- Bei bestehenden Anlagen erfordert der technische Umweltschutz im Energiebereich aufwendige Eingriffe; die dadurch ausgelösten umweltinduzierten Kosten lassen sich am ehesten niedrig halten, wenn sich der technische Wandel aus anderen Gründen ohnehin vollzieht.
- Standortfragen sind für eine Politik des Energieeinsparens nur im Zusammenhang mit der Kraft-Wärme-Kopplung und für die Entwicklung der Siedlungsstruktur bedeutsam. Für den Umweltschutz ist jedoch die räumliche Verteilung von Energieerzeugung und Energieverbrauch generell wichtig.

**620.** Energieeinsparungen sind auch durch Verzicht auf Energiedienstleistungen möglich. Der Rat spricht sich jedoch nicht generell für eine solche Politik der sinkenden Ansprüche aus; gewisse Verzicht sind jedoch aus energie- wie umweltpolitischen Gründen sinnvoll, z. B. der Verzicht auf Kurzstreckenflüge oder das Absenken der Temperatur in Wohn- und Arbeitsräumen. Der Rat plädiert in erster Linie für eine rationelle Energienutzung und für die Substitution umweltbelastender Energieträger durch weniger umweltbelastende bei gleichbleibender Energiedienstleistung. Der Motor des technischen Wandels im Energiebereich sind die steigen-

den Preise, wobei der Ölpreis die bekannte Vorreiterrolle übernommen hat. Darüber hinaus ist sowohl bei der Industrie als auch in den Haushalten zu beobachten, daß es Anpassungstendenzen gibt, die nicht aus den gegenwärtigen oder zu erwartenden Preissteigerungen begründet sind, sondern der Vorsorge gegen politisch verursachte plötzliche Knappheiten dienen.

**621.** Bei einer Bewertung der Substitutionsvorgänge unter Umweltgesichtspunkten ist die Substitution von Heizölen durch Gas positiv zu beurteilen. Dies gilt bei einer Substitution von Heizölen durch Kohle allenfalls beim Einsatz modernster Technologien. Die umweltpolitische Beurteilung des vermehrten Einsatzes von Elektrizität ist besonders schwierig. Strom ist auf der Verwendungsseite unter Umweltgesichtspunkten der ideale Energieträger; seine Umweltprobleme entstehen nicht beim Endenergieverbraucher, sondern auf den vorgelagerten Stufen des Energieflusses. Daher ist auch die Bewertung der Stromerzeugung durch Kernenergie von wesentlicher Bedeutung für die Beurteilung von Energieeinsparung und Substitution.

### Energiegewinnung und -umwandlung

**622.** Gewinnung und Umwandlung fossiler Energieträger eröffnen keine großen Einsparmöglichkeiten mehr. Sowohl in Kraftwerken, in Raffinerien und in Kokereien hat in den letzten Jahrzehnten eine ständige Verbesserung des Wirkungsgrades stattgefunden. Umweltentlastungen können daher nur noch von technischen Maßnahmen zur weiteren Emissionsminderung ausgehen. Erhebliche Einsparmöglichkeiten eröffnet nur noch die Kraft-Wärme-Kopplung. Bei ihr kommt der Wahl der Energieträger die entscheidende Bedeutung für die Umweltbelastung zu.

**623.** Der Einsatz regenerativer Energiequellen eröffnet Einsparmöglichkeiten wie auch Substitutionschancen. Die Nutzung von Umgebungswärme durch Wärmepumpen unterschiedlicher Technik und Größe kann bei der Versorgung mit Niedertemperaturwärme erhebliche Einsparungen bringen. Der Beitrag der anderen regenerativen Energiequellen ist umstritten. Die Abschätzungen zeigen jedoch, daß die Möglichkeiten der Nutzung von Sonnenstrahlung, von Biomasse, insbesondere Holz und Stroh, von Biogas, von Windkraft und den verbleibenden Wasserkraftpotentialen weitere Aufmerksamkeit und Förderung verdienen. Der Rat empfiehlt auch scheinbar geringfügigen Möglichkeiten zur Nutzung regenerativer Energiequellen nachzugehen, da die Addition von kleinen Potentialen sowie die vielfältigen Einsparmöglichkeiten beträchtliche Entlastungen bringen.

**624.** Die Einführung der regenerativen Energiequellen steht vor besonderen Informationsproblemen. Daher ist es gerechtfertigt, ihre technische Erprobung und die Aufklärung der Bevölkerung über Möglichkeiten und Grenzen ihrer Anwendung durch die öffentliche Hand zu unterstützen.

## Industrie und Gewerbe

**625.** Die Umweltbelastungen durch Industrie und Gewerbe stammen nur zum Teil aus dem Einsatz von Energie; ein Großteil der Emissionen der Industrie ist nicht energieabhängig. Entsprechend unscharf sind daher die Schätzungen der Umwelteffekte von Energieeinsparungen im gewerblichen Bereich.

**626.** Der Energieverbrauch der Industrie ist in den vergangenen Jahrzehnten bei weitem nicht so schnell gestiegen wie der Wert der produzierten Güter. Seit Anfang der 70er Jahre läßt sich in der Industrie ein deutlicher Trend zu rationeller Energienutzung erkennen. Dieser Prozeß wird begleitet von erheblichen Verschiebungen in der Energieträgerstruktur, wobei sich besonders in den letzten Jahren eine „Flucht aus dem Öl“ zeigt. Die große Anpassungsfähigkeit der Industrie an sich wandelnde Preissignale erübrigt zusätzliche energiepolitische Anreize durch den Staat.

**627.** Aus Umweltgründen kommt der Substitution und der Emissionsminderungstechnik im gewerblichen Bereich die höchste Bedeutung zu. Bei der Substitution fossiler Energieträger durch Strom stellt sich wiederum die Frage der umweltpolitischen Bewertung einer vermehrten Elektrizitätsproduktion.

Eine Resubstitution von Öl und Erdgas durch Kohle bedeutet keine Energieeinsparung, aber eine vermehrte Umweltbelastung. Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit und Versorgungssicherheit ist dieser Prozeß zu begrüßen; der Rat ist allerdings der Auffassung, daß die Umweltschutzanforderungen durch eine flankierende Politik von Auflagen und technologischer Förderung gesichert werden müssen.

**628.** Aus der Sicht der Umweltpolitik muß beachtet werden, daß der technische Fortschritt neue Anlagen entstehen läßt, die dann den entsprechenden Anforderungen der Umweltgesetze unterliegen. Die Zahl der sanierungsbedürftigen Altanlagen verringert sich dadurch. Freilich kann der an sich erwünschte Strukturwandel in hoch belasteten Regionen durch die Umweltgesetze auch erschwert werden, solange Altanlagen nicht dem Zugriff von Emissionsnormen unterliegen.

## Landwirtschaft und Ernährungswirtschaft

**629.** Die Umweltbelastungen durch die Landwirtschaft begegnen kritischem Interesse; allerdings muß festgestellt werden, daß die meisten Belastungen nicht primär durch den Energieeinsatz entstehen; z. B. spielen die gesundheitlich und ökologisch besonders bedenklichen Pflanzenbehandlungsmittel energetisch kaum eine Rolle.

Landwirtschaft und Ernährungswirtschaft müssen im übrigen zusammen gesehen werden. Letztere hat einen Anteil von etwa 60% am Endenergieverbrauch in diesem Bereich.

**630.** Der rapide Anstieg der energieintensiven Mechanisierung in der Landwirtschaft in den letzten Jahrzehnten kann aus wirtschaftlichen Gründen nicht rückgängig gemacht werden. Jedoch sind Einsparungen durch Verbesserungen an Traktoren und anderen Maschinen möglich. Darüber hinaus sind Einsparungen durch neue Techniken der Bodenbearbeitung zu erwarten.

**631.** Erhebliche Einsparungen sind beim Anbau von Pflanzen in Gewächshäusern möglich. Die Rationalisierungsmaßnahmen sind schon jetzt merklich. Darüber hinaus sind Standortverlagerungen in die Nähe von Kraftwerken zum Zwecke der Abwärmenutzung sinnvoll.

**632.** In der Ernährungswirtschaft verbrauchen die Zuckerfabriken, die Brauereien und Brennereien sowie die Molkereien die meiste Energie. Einsparungen in diesen Branchen sind in noch stärkerem Maße möglich als in anderen Industriezweigen, weil die großen Mengen benötigter Niedertemperaturwärme den Einsatz der Wärmerückgewinnung und von Wärmepumpen begünstigen.

**633.** In der Land- und Forstwirtschaft können regenerative Energiequellen für Substitutionsprozesse eine gewisse Rolle spielen. Der Einsatz von Holz für die Heizung wird mit Sicherheit zunehmen; er trifft in dünn besiedelten Gebieten auch auf keine gravierenden Umweltbedenken. Aus der Sicht des Umweltschutzes verdient die Entwicklung der Biogasnutzung besondere Aufmerksamkeit, da hier neben der Energieeinsparung auch die Möglichkeit besteht, die äußerst problematischen Abfälle der Mastentierhaltung umweltschonend und nutzbringend zu verwerten. Der Einsatz von Stroh zu Heizzwecken bedarf noch der Entwicklung verbesserter Kesselanlagen, nicht zuletzt um Umweltbelastungen zu vermindern.

## Haushalt und Gebäude

**634.** Haushalte und Kleinverbraucher verbrauchen nahezu die Hälfte der Energie in der Bundesrepublik Deutschland und über die Hälfte des Mineralöls. Der überwiegende Anteil davon dient der Raumheizung. Einsparungen und Substitution bei der Raumheizung sind vordringlich, weil die Minderung der Emissionen durch technische Maßnahmen besonders schwierig und zudem der Beitrag zur Immissionsbelastung hoch ist.

**635.** Durch Absenkung der Raumtemperatur, verbesserte Heizungsanlagen und -regelung sowie durch Maßnahmen der Wärmedämmung hat inzwischen die Energieeinsparung begonnen. Besondere Bedeutung kommt dabei dem Wärmeschutz zu, weil er entscheidenden Einfluß auf die potentiell einsetzbaren Energieträger und Heizungsanlagen hat. Es kann sinnvoll sein, die wärmetechnische Sanierung

von Gebäuden durch rechtliche Vorschriften und öffentliche Mittel zu beschleunigen.

Bei gegebenen Heizsystemen sind Einsparungen bei der Energieumwandlung durch einen verbesserten Wirkungsgrad und durch Einsatz verbesserter Steuerungssysteme möglich.

**636.** Der sparsamen und umweltschonenden Fernwärme gibt der Rat eine Vorzugsstellung unter den Einsparstrategien (s. hierzu Teil 3). Ein Anteil von 20—30% an der für Raumheizung benötigten Wärme erscheint durchaus möglich. Der Einsatz von Fernwärme sollte durch den Aufbau von „Versorgungsin-seln“, die später zu vernetzen sind, forciert werden.

**637.** Die Speicherung von Wärme über einen längeren Zeitraum — insbesondere bei der Nutzung von Sonnen- und Umgebungswärme — ist ein grundsätzlicher technologischer Engpaß. Der Rat empfiehlt eine Konzentration der öffentlichen Mittel für Forschung und Entwicklung auf dieses Problem.

**638.** Die technisch möglichen und wirtschaftlich sinnvollen Verschiebungen zwischen den eingesetzten Energieträgern sind: Minderung des Öleinsatzes, weitgehende Eliminierung der Kohle aus Einzel- und kleinen Sammelheizungen, Steigerung der Gasverwendung, Einsatz von Fernwärme und Wärmepumpen, sowie die Nutzung regenerativer Quellen: Dies würde erhebliche Einsparungen bringen und die Emissionen (auch und gerade in hochbelasteten Gebieten) mindern. Voraussetzung ist allerdings eine umweltorientierte Auswahl der Wärmeversorgungssysteme entsprechend den siedlungsstrukturellen Gegebenheiten („regionale und örtliche Versorgungskonzepte“).

Bei einzelwirtschaftlicher Betrachtung können die genannten Veränderungen unter der Annahme einer Verdopplung der realen Primärenergiepreise von 1978 den Primärenergieeinsatz für die Heizung in den nächsten 20—30 Jahren halbieren. Im Jahr 1981 zeigt sich, daß dieser Prozeß noch rascher als erwartet in Gang gekommen ist.

**639.** Die wünschenswerten Umstellungen in den privaten Haushalten und den Gebäuden (nichtgewerblich) werden sich nicht allein durch preisliche Anreize durchsetzen. In den privaten Haushalten überblickt man im allgemeinen auch das Angebot an Maßnahmen weniger gut. Hier ist eine Entlastung durch seriöse Informationspolitik notwendig.

Die öffentlichen Haushalte werden wegen der unterschiedlichen Behandlung von Betriebskosten und Investitionen nicht zu energetischer und ökonomischer Rationalität angehalten.

Hemmnisse für eine Senkung des Energieverbrauchs liegen auch in der beschränkten Kapazität des Baugewerbes (für den Wärmeschutz) und des Installationsgewerbes (für neuartige Heizungssysteme).

**640.** Der Stromverbrauch der Haushalte und Kleinverbraucher läßt sich erheblich reduzieren. Allerdings können die Einsparanstrengungen beim Stromverbrauch durch die Verbreitung von Haushaltsgeräten mit hohem Wärmebedarf teilweise kompensiert werden. Die umweltpolitische Beurteilung des Stromverbrauchs hängt wiederum nicht zuletzt vom Urteil über die Kernenergie ab.

## Verkehr

**641.** Die verschiedenartigen Umweltbelastungen, die von Kraftfahrzeugen ausgehen, und die Belastung durch den Straßenbau machen den Straßenverkehr zu einem der gravierendsten Umweltprobleme. Zur Verkehrswegeplanung hat sich der Rat in seinem Umweltgutachten 1978 ausführlich geäußert. Die Energieeinsparmöglichkeiten im Kfz-Verkehr sind vielfältig und technisch komplex. Die steigenden Kraftstoffpreise üben einen Anreiz zur Ausschöpfung der technischen Möglichkeiten aus. Diese von Preisen bestimmte Entwicklung muß durch Maßnahmen der Umweltpolitik flankiert werden.

**642.** Die Ziele der Energieeinsparung und der Umweltentlastung gehen in der Kraftfahrzeugentwicklung und im Betrieb oft Hand in Hand: Je weniger Kraftstoff verbraucht und je besser er verbrannt wird, desto geringer sind im allgemeinen die Abgas-mengen und deren Schädlichkeit. Eine gegenläufige Beziehung besteht hauptsächlich in bezug auf Stickoxide, die bei energetisch optimierten Verbrennungsvorgängen vermehrt auftreten. Die Parallelität der Ziele besteht in vollem Umfang bei Maßnahmen, die den Kraftaufwand für den Betrieb des Fahrzeugs reduzieren, wie Gewichtsminderung, Aerodynamik usw. Die auf breiter Front angelaufenen Bemühungen der Automobilindustrie zum Bau sparsamerer Motoren bieten einen günstigen Ansatz zur Einführung verschärfter Grenzwerte bei den Abgasen. Eine EG-einheitliche Absenkung der Abgasgrenzwerte erscheint gegenwärtig nicht durchsetzbar. Eine Verbesserung erfordert hier also einen Alleingang der Bundesrepublik Deutschland (allerdings im Einklang mit dem Vorgehen in Ländern wie Schweden und der Schweiz).

**643.** Eine Begrenzung der Drehzahl bei neuentwickelten Hubkolbenmotoren trägt zur Sparsamkeit bei, da die schlecht steuerbaren Verbrennungsvorgänge im höchsten Drehzahlbereich entfallen. Eine Absenkung der Drehzahl ist bei Pkw- wie bei Lkw-Motoren auch die Grundvoraussetzung für eine Senkung der Lärmemissionen. Daher kann hier wiederum der energiewirtschaftlich induzierte technische Wandel genutzt werden. Die Geräuschgrenzwerte für Kraftfahrzeuge sollten entsprechend dem „Aktionsprogramm Lärmschutz“ der Bundesregierung vom 13. 6. 1979 ab 1986 auf maximal 80 dB(A) begrenzt werden. Insbesondere kommt es darauf an, die Grenzwerte für die lautereren Fahrzeuge wie



Krafträder (insbesondere Kleinkrafträder), Lkw und Busse zu senken. Diese Strategie der Beschränkung der Spitzenbelastungen hat der Rat in seinem Umweltgutachten 1978 begründet.

**644.** Der Rat wiederholt seine mittlerweile unbestrittene Aussage, daß die gegenwärtige hubraumbezogene Kraftfahrzeugsteuer im Hinblick auf Energieeinsparung und Umweltentlastung negativ zu bewerten ist. Jedoch bleibt auch eine aufkommensneutrale Umlegung der Kfz- auf die Mineralölsteuer umweltpolitisch unbefriedigend. Eine solche Maßnahme führt nämlich allenfalls — d. h. Preisreagibilität vorausgesetzt — zu verringerten Verbrauchsmengen und den damit verbundenen Emissionsminderungen. Wo allerdings Energieeinsparung und Umweltentlastung nicht miteinander korrelieren, sind zusätzliche Instrumente erforderlich. Zu diesen könnte eine umgestaltete Kfz-Steuer gehören, sie sollte nicht in die Mineralölsteuer eingehen. Der Rat sieht in einer auf die Geräusch- und Abgasemissionen ausgerichtete Kfz-Besteuerung eine umweltpolitisch sinnvolle Lösung. Gegenüber der bisher praktizierten Grenzwertregelung, die im wesentlichen nur limitierende Effekte auf die Kohlenmonoxidemissionen ausgeübt hat, wäre damit ein permanenter wirtschaftlicher Anreiz im Sinne des Umweltschutzes gegeben. Der Rat verkennt freilich nicht, daß die technischen Voraussetzungen für eine derart veränderte Kfz-Besteuerung noch verbessert werden müssen, ohne daß man perfekte Lösungen abzuwarten brauchte.

Der Rat weiß, daß diese Überlegungen der derzeitigen Regierungspolitik zuwiderlaufen. Er empfiehlt trotzdem eine umweltpolitische Überprüfung, zumal die aus der Energieeinsparung resultierenden Effekte ohnehin aufgrund von Preissteigerungen eintreten werden.

**645.** Eine vermehrte Nutzung der öffentlichen Nahverkehrsmittel würde sich sowohl energiesparend wie umweltentlastend auswirken. Da eine solche Verschiebung in der Verkehrsmittelwahl nicht zu erzwingen ist, hatte der Rat bereits in seinem Gutachten „Auto und Umwelt“ im Jahre 1973 empfohlen, eine verkehrsmittelunabhängige Entfernungspauschale einzuführen. Angesichts der Schlechterstellung von Fußgängern, Fahrradfahrern und Benutzern der öffentlichen Verkehrsmittel sowie der Mitglieder von Fahrgemeinschaften unter der gegenwärtigen Regelung ist zu erwarten, daß sich ein erhebliches Energieeinspar- und Umweltentlastungspotential realisieren ließe.

**646.** Im Bahn-, Schiffs- und Flugverkehr bestehen nur noch vergleichsweise geringe Möglichkeiten zur rationelleren Energienutzung. Da zudem der Anteil des Energieverbrauchs dieser Verkehrsträger am Gesamtenergieverbrauch des Verkehrssektors gering ist, schlagen Einsparungen nur verhältnismäßig wenig zu Buche. Die größten Aufgaben sowohl für die Umweltentlastung als auch für die rationelle Energieverwendung stellt der Kfz-Verkehr.

### 4.3 Funktionale und siedlungsstrukturelle Ansatzpunkte für die Umweltentlastung bei der Wärme- und Stromversorgung

Umweltpolitische Bedeutung der Kraft-Wärme-Kopplung

**647.** Die Kraft-Wärme-Kopplung bei der Erzeugung von Prozesswärme und Strom in der Industrie und bei der Deckung des Heizwärmebedarfs für den gesamten privaten und öffentlichen Gebäudebestand bietet erhebliche Einsparpotentiale an Primärenergie. Damit kann ein wichtiger Beitrag zur Reduzierung von Umweltbelastungen geleistet werden. Der Grad der Brennstoffausnutzung, der bei reinen Stromkraftwerken bis zu 40% beträgt, kann bei Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung bis auf rd. 85% gesteigert werden. Darüber hinaus werden durch die Versorgung mit Fernwärme Zentralheizungen und Öfen ersetzt, was insbesondere in Verdichtungsgebieten zumeist zu einer erheblichen Senkung der Gesamtemissionen beiträgt.

Die gegenwärtige industrielle Stromerzeugung auf Kraft-Wärme-Kopplungsbasis von ca. 8 500 MW kann im Verlauf der nächsten 20 Jahre verdoppelt werden.

**648.** Nach der Fernwärmestudie des Bundesministers für Forschung und Technologie könnten bis 1990 25% des gesamten Niedertemperaturwärmebedarfs durch Fernwärme aus der Kraft-Wärme-Kopplung gedeckt werden. Auf dieser Grundlage schätzt die Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke den fernwärmebedingten Zuwachs an elektrischer Engpaßleistung auf lediglich 6 000 MW. Werden jedoch in Zukunft mittlere oder kleinere verbrauchernahe Heizkraftwerke geplant, die primär dazu dienen sollen, auch weniger ausgedehnte Netze schon zu wirtschaftlichen Bedingungen mit Heizwärme zu versorgen, dürfte der Zuwachs an elektrischer Engpaßleistung wesentlich höher sein. Der Rat ist daher der Auffassung, daß sich von jetzt an der Ausbau der Stromversorgung im Mittellastbereich nach Standort und Blockgröße am Fernwärmebedarf orientieren sollte.

**649.** In welchem Ausmaß das Kraft-Wärme-Kopplungspotential ausgeschöpft wird, hängt weitgehend von der Wirtschaftlichkeit der Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen ab. Bei der Berechnung der Wirtschaftlichkeit von Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen kommt es nicht nur auf den Erlös aus dem Stromverkauf an, sondern auf den Gesamterlös aus Strom- und Wärmeabsatz. Darüber hinaus wird das Ausmaß der Wirtschaftlichkeitsvorteile der reinen Stromerzeugung in Großkraftwerken teilweise überschätzt.

Der Rat empfiehlt daher, betriebswirtschaftliche Modellstudien zur Bestimmung der Wirtschaftlichkeitsgrenze bei mittleren und kleineren Heizkraftwerken zu fördern.

## Rechtliche und wirtschaftliche Hindernisse

650. Einer Steigerung der industriellen Stromerzeugung unter Anwendung der Kraft-Wärme-Kopplung steht eine Reihe von rechtlichen und wirtschaftlichen Hindernissen von unterschiedlichem Gewicht entgegen.

Sofern in vorhandenen Produktionsstätten die Anlagen zur Erzeugung von Prozeßwärme nachträglich auf Kraft-Wärme-Kopplung umgestellt werden könnten, zögern die Betreiber oft, sich den Immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahren auszusetzen. Sie befürchten, daß dadurch ein umfassender Modernisierungszwang ausgelöst werden könnte. Genehmigungshindernisse können sich daraus ergeben, daß der Schutz der Nachbarn vor schädlichen Umwelteinwirkungen zugleich an der Gesundheit, am Wachstum nutzbarer Pflanzen und Tiere, unter Umständen aber auch an ökologischen Beständen orientiert werden könnte. Sollte sich zeigen, daß die Abwägungsmöglichkeiten auch einer neuen TA Luft nicht ausreichen, um diese Hemmnisse auszuräumen, müßte die Frage einer Novellierung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes erneut geprüft werden. Vor allem könnte eine Sanierungs- und eine Luftreinhalteplanklausel im Gesetz verankert, im übrigen das Ausmaß des Sachgüterschutzes näher bestimmt werden.

Auch bauplanungsrechtliche Hindernisse spielen eine Rolle, wenn Anlagen zur Erzeugung von Prozeßwärme nachträglich auf Kraft-Wärme-Kopplung umgestellt werden. Sollte die Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung in der Industrie dadurch erheblich gehemmt werden, müßte man nach Auffassung des Rates auch die Frage prüfen, ob Ausnahmen oder Befreiungen erteilt werden können.

651. Die Vierte Novelle zum Gesetz gegen Wettbewerbsbeschränkungen vom 26. April 1980 und die unter starker Einflußnahme des Bundeswirtschaftsministers vereinbarten „Grundsätze über die Zusammenarbeit zwischen öffentlicher Elektrizitätsversorgung und industrieller Kraftwirtschaft“ haben die Voraussetzungen für eine sinnvolle Ausschöpfung des Eigenstromerzeugungspotentials der Industrie, insbesondere auf der Basis der Kraft-Wärme-Kopplung, verbessert. Vor allem durch die Regelung über die Mindestvergütung für die Einspeisung von Überschußstrom haben sich die Grenzen der Wirtschaftlichkeit von Anlagen der industriellen Stromerzeugung erweitert. Ein abschließendes Urteil darüber, in welchem Maße energierechtliche und energiewirtschaftliche Hindernisse für den Ausbau der industriellen Stromerzeugung noch weiter vorhanden oder bereits abgebaut sind, wird es erst in einigen Jahren möglich sein.

652. Sollte es sich künftig als erforderlich erweisen, dem Ausbau industrieller Stromerzeugung unter Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung noch stärkere Impulse zu geben, als sie in der Grundsatzvereinbarung enthalten sind, müßten zusätzlich gesetzliche Maßnahmen getroffen werden. Der Rat ist der Auffassung, daß die Möglichkeiten des Kartellrechts auf diesem Feld erschöpft sind. Vielmehr

müßte gegebenenfalls das Energiewirtschaftsgesetz geändert werden.

In diesem Zusammenhang muß zwischen Änderungen des Energiewirtschaftsgesetzes unterschieden werden, die eher klarstellender Natur sind, und solchen, die das dirigistische Instrumentarium der Energieaufsichtsbehörden der Länder ergänzen. Der Rat geht davon aus, daß das Energiewirtschaftsgesetz schon jetzt im Zusammenhang mit der Vierten Novelle zum Kartellgesetz ausgelegt und im Sinne einer besseren Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung angewendet werden kann. Die Energieaufsichtsbehörden können schon jetzt Gesichtspunkte der Energieeinsparung, der Ressourcenschonung und des Umweltschutzes gleichermaßen zur Geltung bringen. Eine Änderung des Energiewirtschaftsgesetzes mit dem Ziel, das dirigistische Instrumentarium der Energieaufsichtsbehörden zu ergänzen, müßte energieaufsichtliche Verfügungen mit privatrechtsgestaltender Wirkung vorsehen. Mit der Bestandskraft der energieaufsichtlichen Verfügung wäre die Berufung auf vertragliche Liefer- oder Gebietsmonopole unzulässig.

Der Rat ist der Auffassung, daß Änderungen des Energiewirtschaftsgesetzes von lediglich klarstellender Natur nicht in Erwägung gezogen zu werden brauchen. Substantielle Änderungen erscheinen im gegenwärtigen Zeitpunkt ebenfalls nicht erforderlich.

653. Rechtliche und wirtschaftliche Hindernisse stehen sowohl einem zügigen Ausbau der Fernwärmenetze als auch der Errichtung stadtnaher Kraftwerke entgegen. Dabei verstärken sich beide Engpaßsituationen wechselseitig. Wo kein verbraucher-nahes Angebot an Heizwärme in Sicht ist, sehen die Gemeinden keine Veranlassung, die außerordentlich hohen Investitionen für den Ausbau der Fernwärmenetze aufzubringen. Umgekehrt zögern die Kraftwerksbetreiber oft, Heizkraftwerke stadtnah zu errichten, weil sie schwer voraussehen können, in welchen Zeiträumen die Kommunen nach den örtlichen Versorgungsplanungen ausreichende Fernwärmenetze fertigstellen und eine die Wirtschaftlichkeit gewährleistende Zahl von Verbrauchern anschließen werden.

Die Bereitstellung eines ausreichenden Dargebots an Heizwärme hängt weitgehend davon ab, ob die am Ausbau eines Fernwärmenetzes interessierte Stadt selbst oder im Verbund mit anderen Städten ein verbraucher-nahes Kraftwerk errichten kann, aus dem die Heizwärme ausgekoppelt wird.

Die Gebietskörperschaften sind zumeist durch langfristige Konzessionsverträge gebunden, die ein Ausschließen aus der Versorgungsbindung grundsätzlich ausschließen. Die Verschärfung der Mißbrauchsaufsicht für den Versorgungsbereich in der Vierten Novelle zum Kartellgesetz erweitert allerdings den Handlungsspielraum der Städte und Kreise erheblich. Im Gegensatz zum industriellen Bereich gibt es jedoch keine Grundsatzvereinbarung zwischen den Verbänden der Energieversorgungsunternehmen und denen der Kommunen oder kommunalen Unternehmen.

**654.** Der Rat ist der Auffassung, daß gerade in der Fernwärmewirtschaft eine Konkretisierung der kartellgesetzlichen Maßstäbe für die Mißbrauchsaufsicht durch eine Grundsätzevereinbarung der beteiligten Verbände wünschenswert ist. Die Vereinbarung müßte auf die spezifischen Schwierigkeiten der Errichtung von Heizkraftwerken durch kommunale Gebietskörperschaften zugeschnitten sein. Vor allem sollte klargestellt werden, daß auch die Kraft-Wärme-Kopplung, bei der Kondensationskraftwerke angezapft werden, nicht behindert werden darf. Eine Grundsätzevereinbarung mit den Gebietskörperschaften sollte auch verdeutlichen, in welcher Weise die bestehenden Liefer-, Konzessions- und Demarkationsverträge umgestellt werden müssen, soweit sie nicht gekündigt werden können oder ihre Geltungszeit abläuft.

Kommt eine Grundsätzevereinbarung mit den Gebietskörperschaften nicht zustande, muß das Ergebnis der Einzelverhandlungen mit den Städten und Kreisen sorgfältig beobachtet und ausgewertet werden. Anders als im Bereich der industriellen Kraft-Wärme-Kopplung kommt es hier darauf an, rechtliche Hindernisse für den Ausbau der Fernwärmenetze so schnell und so eindeutig wie möglich auszuschließen; die Kommunen müssen sich jetzt zum Ausbau der Fernwärmenetze entscheiden können, wenn die letztlich angestrebte Umweltentlastung im nächsten Jahrzehnt zur Entfaltung kommen soll.

**655.** Sollte sich zeigen, daß die Gebietskörperschaften auch künftig Schwierigkeiten bei der Errichtung von Heizkraftwerken begegnen, müßte das Energiewirtschaftsgesetz geändert werden. Der Rat geht davon aus, daß die Untersagung neuer Großkraftwerke nach § 4 Abs. 2 EnWG unter Umständen auch heute schon darauf gestützt werden kann, daß im Versorgungsgebiet verbrauchernahe Mittellastkraftwerke errichtet werden müssen, die Fernwärme in vorhandene und geplante Netze einspeisen sollen. Eine wesentliche Erweiterung der bisherigen Eingriffsbefugnisse der Energieaufsichtsbehörden könnte darin bestehen, daß Verfügungen mit privatrechtsgestaltender Wirkung die Berufung auf bestehende Liefer- oder Gebietsmonopole für bestimmte Anlagen der Kraft-Wärme-Kopplung ausschließen.

**656.** Der Bau verbrauchernaher Heizkraftwerke begegnet auch immissionsschutzrechtlichen und bauplanungsrechtlichen Hindernissen. Daher kann es sich auch im Interesse eines zügigen Ausbaus der Fernwärmeversorgung letztlich als notwendig erweisen, eine Novellierung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes erneut in Erwägung zu ziehen. Wo bauplanungsrechtliche Vorschriften ein Genehmigungshindernis bilden, sollte die Erteilung von Ausnahmen und Befreiungen geprüft werden.

#### Förderung der Fernwärme

**657.** Soweit Fernwärmenetze ausgebaut sind, verfügen die Gemeinden über rechtliche Möglichkeiten, den Anschluß einer ausreichend großen Zahl von Gebäuden durchzusetzen, um die Wirtschaftlichkeit

zu gewährleisten. Im allgemeinen sehen die Gemeinden aber davon ab, vom Anschluß- und Benutzungszwang Gebrauch zu machen. Die Möglichkeiten der Landesregierungen, die Gemeinden zum zügigen Ausbau von Fernwärmenetzen und zur Einführung des Anschluß- und Benutzungszwanges zu veranlassen, sind begrenzt. Eine Erweiterung dieses rechtlichen Instrumentariums ist nicht vielversprechend. So liegt der Gedanke nahe, wirtschaftliche Anreize zum Ausbau von Fernwärmenetzen und zur Erhöhung der Anschlußdichte durch staatliche Zuschüsse zu verstärken. Je schlechter die Finanzlage der einzelnen Gemeinden ist, um so mehr muß staatliche Förderung hinzutreten, um die Entwicklung der Fernwärmeversorgung voranzutreiben.

Der Rat ist der Überzeugung, daß es sowohl aus energiepolitischer als auch aus umweltpolitischer Sicht geboten ist, ein Fernwärme-Förderungsprogramm, z. B. im Rahmen des zweiten Zukunftsinvestitionsprogramms, so schnell wie möglich zu verabschieden. Allerdings sollte geprüft werden, ob es angesichts der Überforderung auch aller staatlichen Haushalte noch vertretbar ist, verlorene Zuschüsse zu gewähren. Vielmehr ist der Gewährung langfristiger zinsgünstiger Kredite oder von Bürgschaften der Vorzug zu geben. Der Rat empfiehlt, mehrere Modelle der Finanzierung zur Auswahl zu stellen. Dabei ist auch zu prüfen, ob die Tilgungsleistungen der Entwicklung der durchschnittlichen Heizwärmepreise angepaßt werden können.

#### Umweltpolitische Bedeutung einer siedlungsstrukturell angepaßten Wärmeversorgung

**658.** Zur Entlastung der Umwelt müssen die vorhandenen Potentiale zur Energieeinsparung so weit wie möglich genutzt werden. Daher sollte die Wärmeversorgungsstruktur der Siedlungsstruktur angepaßt werden. Der Rat fordert, daß die Energieversorgungskonzepte der Länder und Gebietskörperschaften den siedlungsstrukturellen Gegebenheiten stärker Rechnung tragen.

**659.** Die Träger der Landes- und Regionalplanung können je nach dem Ausmaß der Immissionsbelastung die Dringlichkeit einer umweltentlastenden Änderung der vorhandenen Wärmeversorgungsstruktur hervorheben und ggf. mit Maßnahmen der Negativplanung eingreifen; der entscheidende Anstoß zum Ausbau neuer Systeme muß aber von kommunaler Seite kommen. Daher begrüßt der Rat die Bestrebungen der kommunalen Spitzenverbände, die Städte, Kreise und Gemeinden zur Entwicklung örtlicher Versorgungskonzepte zu veranlassen. Allerdings muß davor gewarnt werden, einem Planungspersonalismus zu huldigen, der die sofortige Inangriffnahme von solchen Lösungen, die sich jetzt schon offensichtlich aufdrängen, hinauschiebt.

Vor allem für den Ausbau der Fernwärmeversorgung kommt der raschen Aufstellung und Verwirklichung örtlicher Versorgungskonzepte entscheidende Bedeutung zu. Die aufwendigste Komponente einer Fernwärmeversorgung ist das Leitungsnetz;

solche Netze können nur „von unten nach oben“ gebildet werden. Vielfach beginnt der Ausbau mit der Entwicklung inselartiger Nahwärmenetze, die nach und nach zu einer Stadtteilversorgung zusammengeschlossen werden. Daraus bilden sich ganze Städtetnetze oder sogar regionale Verbundsysteme. Es kommt darauf an, daß der Ausbau kleinerer Netze nicht so lange aufgeschoben wird, bis sich perfekte Großlösungen in allen Einzelheiten abzeichnen.

**660.** Der Inhalt der örtlichen Versorgungskonzepte muß auch dem Raumtyp angemessen Rechnung tragen, in dem die Gemeinde und die einzelnen Siedlungsgebiete liegen.

In den Zentren der Verdichtungsräume muß dem Ausbau der Fernwärmenetze höchste Priorität eingeräumt werden. Das gilt in besonderem Maße für Belastungsgebiete, weil die Ersetzung der zahlreichen Zentralheizungen und Einzelöfen einen entscheidenden Beitrag zur Sanierung leistet.

Die Randzonen der Städte und Verdichtungsräume sollten durch kleinräumige Nahwärmesysteme oder die Gasversorgung mit Vorrang erschlossen werden.

Außerhalb der Verdichtungsräume liegende Mittelstädte bieten sich in der Regel ebenfalls für Fernwärmenetze an. Soweit diese Mittelstädte noch nicht erdgasversorgt sind, sollte daher eine Erschließung für Erdgasheizung grundsätzlich nicht mehr in Betracht gezogen werden.

Die dünnbesiedelten ländlichen Räume hängen gegenwärtig fast ausschließlich vom Heizöl ab. Hier ist es technisch und wirtschaftlich möglich, verstärkt auf regenerierbare Energien zurückzugreifen. Elektrisch betriebene Wärmepumpen, die das Wärmepotential des Bodens oder des Grundwassers ausnutzen, bringen in diesen Gebieten keine wesentlichen Umweltbelastungen mit sich. Beim Einsatz von Holz- und Strohfeuerungen treten Umweltbelastungen auf, die aber wegen der geringen Dichte der Emissionsquellen kein bedenkliches Ausmaß erreichen, zumal die ökologisch belastenden Schwefeldioxidemissionen weitgehend entfallen.

**661.** Die Entscheidung der Städte, Kreise und Gemeinden für die umweltpolitisch wünschenswerten Wärmeversorgungssysteme sollte durch laufende und in Aussicht genommene Förderprogramme erleichtert werden. Im Hinblick darauf hält es der Rat für dringend erforderlich, die Vielzahl der vorhandenen Förderungen der Gemeinden sowie die Zuschüsse und Steuererleichterungen für private Investoren besser aufeinander abzustimmen. Ein solcher Abstimmungsbedarf besteht vor allem für die Mittel aus dem Investitionszulagengesetz, dem Zukunftsinvestitionsprogramm und dem Städtebauförderungsgesetz sowie für die Subventionen nach dem Modernisierungs- und Energieeinsparungsgesetz und den Steuerbegünstigungen nach § 82 a Einkommensteuer-Durchführungsverordnung.

Der Rat empfiehlt, die Fördermittel gezielt zur Sanierung der Belastungsgebiete einzusetzen. Dabei sollte sich die Förderung aber nicht ausschließlich

an den Grenzen der Belastungsgebiete orientieren, die bisher durch Verordnungen der Landesregierungen ausgewiesen sind. Auch die Randzonen der Verdichtungsräume sind teilweise mit einzubeziehen.

Die Gewährung von Fördermitteln an kommunale Gebietskörperschaften sollte davon abhängig gemacht werden, daß in den örtlichen Versorgungskonzepten Lösungen für die künftige Wärmeversorgung gewählt werden, die zur Energieeinsparung und Umweltentlastung beitragen. Unter dieser Voraussetzung sollte allerdings auch der gebündelte Einsatz verschiedener Fördermittel möglich sein.

**662.** In den Belastungsgebieten sollten die Luftreinhaltepläne ausdrücklich Hinweise darauf enthalten, welche Wärmeversorgungssysteme die Städte, Kreise und Gemeinden künftig zur Verbesserung der Immissionssituation in erster Linie in Betracht zu ziehen haben.

Soweit die Luftreinhaltepläne die Erneuerung überalterter Kraftwerke vorsehen, ist im Einzelfall zu prüfen, wieweit an diesen Standorten nunmehr Kraftwerke errichtet werden müssen, die zugleich Fernwärmenetze versorgen.

#### Umweltpolitische Grenzen der Kraft-Wärme-Kopplung

**663.** Die Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung führt im ganzen gesehen zu einem verminderten Einsatz von Primärenergie und damit zu einer wesentlichen Entlastung der Umwelt. Der damit verbundene Zwang zu einer partiell dezentralisierten Stromerzeugung kann aber zu lokalen Mehrbelastungen von Luft, Wasser, Boden, Pflanzen, Tieren und ganzen Ökosystemen führen.

**664.** Der Ansiedlung zusätzlicher Kohlekraftwerke in Belastungsgebieten sind auch bei vollständiger Ausnutzung der verfügbaren Vermeidungstechnologien Grenzen gesetzt. Auch wenn dort die Bereitschaft der Bevölkerung noch am ehesten vorhanden ist, mit vergleichsweise hohen Schadstoffgehalten in der Luft zu leben, sollten die Kohlekraftwerkskapazitäten nicht erhöht werden, damit die eingeleitete Sanierung nicht gefährdet wird.

In Reinluftgebieten kommt die Errichtung auch von mittleren und kleineren Kohlekraftwerken grundsätzlich nicht in Betracht. Dem stehen Gründe des Immissionsschutzes ebenso entgegen wie die Sorge um die Erhaltung des Landschaftsbildes.

In Gebieten, die weder Belastungs- noch Reinluftgebiete sind, bestehen keine generellen Bedenken gegen die Errichtung von Heizkraftwerken für die Fernwärmeversorgung von Ober- und Mittelzentren. Als Heizwärmequelle kommen Kohlekraftwerke, möglicherweise aber auch neuere Varianten von Leichtwasserreaktoren oder noch zu entwickelnde kleinere Hochtemperaturreaktoren in Betracht. Werden Kohlekraftwerke gewählt, sollte vermieden werden, daß es zu einer Verschlechterung der bishe-



rigen Immissionsverhältnisse kommt. Sie sollten deshalb nur dann errichtet werden, wenn die verbleibende Immissionsbelastung hinter derjenigen zurückbleibt, die sich bisher aus der Vielzahl von Zentralheizungen und Einzelöfen ergab. Darüber hinaus sind die nach dem Stand der Technik verfügbaren Technologien zur Verminderung der Schadstoffemissionen einzusetzen.

**665.** Der Rat empfiehlt, daß die Landesplanungsbehörden der Länder unter Berücksichtigung der skizzierten Erwägungen Kriterien dafür entwickeln, wo die Ausnutzung der Kraft-Wärme-Kopplung auf dem industriellen wie auf dem Fernwärmesektor unbedenklich ist und wo ihr Grenzen gezogen sind.

#### **4.4 Energiebedarf, Umweltbelastung und Kraftwerksplanung**

**666.** Eine realistische Einschätzung des künftigen Energieverbrauchs setzt voraus, daß die Potentiale der Energieeinsparung und insbesondere der Kraft-Wärme-Kopplung von vorneherein mit in die Rechnung einbezogen werden. Die Kraftwerksplanung ist auf besonders lange Zeiträume angelegt; die Weichen für eine möglichst weitgehende Ausschöpfung dieser Potentiale rationeller Energienutzung müssen daher heute richtig gestellt werden. Denn ein energiewirtschaftlicher Umbruch ist ohnehin im Gange.

**667.** Im vergangenen Jahrzehnt ist der tatsächliche Energieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland hinter den meisten Prognosen zurückgeblieben. Für die kommenden Jahrzehnte reicht die Bandbreite der Projektionen von der Erwartung eines deutlich zurückgehenden Energieverbrauchs bis zur Erwartung erheblicher Steigerungsraten. Der Rat nimmt zu diesen Kontroversen nicht Stellung. Vielmehr zieht er daraus den Schluß, daß der künftige Energieverbrauch nicht eine gewissermaßen „natürliche“ und deshalb vorhersehbare Entwicklung ist, sondern daß Angebot und Nachfrage bei der Energie durch Maßnahmen, Entscheidungen und Verhaltensweisen von Staat, Unternehmen und Haushalten wesentlich beeinflußt werden können.

**668.** Bei der Nutzung energiepolitischer Handlungsspielräume müssen umweltpolitische Anforderungen deshalb ein hohes Gewicht erhalten, weil die Gewinnung, Umwandlung und Verwendung von Energie direkt und indirekt den entscheidenden Beitrag zur Gesamtbelastung der Umwelt mit Schadstoffen, Lärm und Abwärme leistet.

**669.** In der Bundesrepublik Deutschland werden als energiepolitische Optionen zur Ausweitung des Energieangebots und zur Substitution von Öl vor allem der verstärkte Einsatz von Kohle und der Ausbau der Kernenergie verfolgt. Der Rat weist mit Nachdruck darauf hin, daß beide Optionen aus umweltpolitischer Sicht problematisch sind. Dies gilt auch für die Kohle, deren Einsatz beim gegenwärtigen Stand der Technik Umweltschäden zur Folge hat und Gesundheitsschäden befürchten läßt, die noch wenig erforscht sind und in der energiepolitischen Diskussion erheblich unterschätzt werden. Weder Kohle noch Kernenergie eignen sich deshalb für eine auf massive Ausweitung des Energie-Angebots gerichtete Strategie.

**670.** Demgegenüber sieht der Rat noch erhebliche Handlungsspielräume für eine Verminderung der Energienachfrage durch Maßnahmen der rationellen Energienutzung und Energieeinsparung in allen Sektoren des Energieverbrauchs. Diese Möglichkeiten sind auch aus umweltpolitischer Sicht mit Vorrang zu nutzen.

**671.** Über die großen Möglichkeiten der rationellen Nutzung der Endenergie hinaus können bedeutende zusätzliche Einsparpotentiale durch den Ausbau der Fernwärmeversorgung gewonnen werden. Siedlungsnahe kleinere Kraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung würden ein besonders hohes Potential bieten. Die Folge wäre eine erhebliche Immissionsentlastung der Ballungsregionen und dicht bebauter Gebiete sowie eine partielle Dezentralisierung der Stromerzeugung. Der Rat sieht darin die umweltpolitisch attraktivste Option der Energiepolitik in den kommenden Jahrzehnten.

**672.** Die Chancen der rationellen Energienutzung einschließlich der Kraft-Wärme-Kopplung wären jedoch durch einen forcierten Zubau großer Kohle- und Kernkraftwerke gefährdet. Dadurch würde einerseits der Bau von Kraftwerken zur Bereitstellung eines ausreichenden Fernwärmeangebots behindert, andererseits würden die privaten Haushalte dazu veranlaßt, ihren Heizwärmebedarf in zunehmendem Maße durch den Einsatz elektrischer Energie zu decken.

**673.** Schließlich hat der Rat Anlaß, an die bestehenden gravierenden Umweltprobleme in allen Sektoren der Energieerzeugung, -umwandlung und -verwendung zu erinnern. Die rasche Erneuerung und Ersetzung veralteter Anlagen bleibt deshalb dringlich; bei der Neuerrichtung von Anlagen — gerade auch der Kraft-Wärme-Kopplung — sind Emissionen von vorneherein zu minimieren. Auch im Straßenverkehr ist die Minderung der Emissionen eine bleibende Aufgabe.



## **ANHANG**

### **Tabellenanhang zu Kap. 1.2.**

Von Dr. Chr. Heger und Dr. L. Kacsóh erarbeitet bzw. zusammengestellt.

Tab. 1: CO<sub>2</sub>-Emission in der Bundesrepublik Deutschland aufgeschlüsselt nach Brennstoffen und Einsatzbereichen

Brennstoff-Einsatzbereich	CO <sub>2</sub> -Emission in Mio t			
	durch Verfeuerung von			Summe
	Kohle	Mineralöl	Gas	
Großfeuerungen (Kraftwerke und Fernheizwerke)	250	27	27	304
Industriefeuerungen	69	83	50	202
Haushalt u. Kleingewerbe	44	142	20	206
Verkehr	-	94	-	94
Summe	363	346	97	806

Tab. 2: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene CO-Emissionen (Emissionsfaktoren) in kg/TJ für Großfeuerungen

Brennstoff	UBA, 1977		WELZEL, DAVIDS, 78	TÜV Rheinland
	1975	'65-'74 <sup>1)</sup>	65-'74	
Steinkohle	10-100	17	15	15
Braunkohle	10-100	3,4	15	17
Heizöl EL	1- 10		3,6	
Heizöl S	1- 10	3,6	3,6	2,8
Gas	1- 5	1	1	1
Müll <sup>2)</sup>	10-500	220-310 <sup>3)</sup>	110-310 <sup>3)</sup>	

1) Anhaltswerte nach Angaben der Landesanstalt für Immissionsschutz Nordrhein-Westfalen

2) Anlagen über 1 t/h Leistung

3) Bezugsperiode 1971-1976, angenommener Heizwert 6,5-9,0 MJ/kg, angenommener Emissionsfaktor 1-2 g/kg.



Tab. 3: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Emissionen an organischen Gasen und Dämpfen (Emissionsfaktoren) in kg/TJ für Großfeuerungen

Brennstoff	UBA, 1977 '65 - '75	MAGS-NW 1978a '74-'77 <sup>1)</sup>
Steinkohle	3,4	3,1
Braunkohle	3,4	
Heizöl EL		
Heizöl S	6,8	3,2
Gas	0,45	
Müll	170 - 230 <sup>2)</sup>	

1) für Nordrhein-Westfalen

2) Errechnet aus einem Emissionsfaktor von 1,5 g/kg Müll und einem Heizwert von 6,5 - 9,0 MJ/kg Müll

Tab. 4: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Schwefeldioxidemissionen (Emissionsfaktoren) in kg/TJ für Großfeuerungen

Brennstoff	UBA, 1977		MAGS-NW 1978a	Rhein-Ruhr-Stiftung		TÜV Rheinland
	1975 <sup>1)</sup>	'64-'74 <sup>2)</sup>	'74-'77	'65-'75	3)	
Steinkohle	700-1500	890	680	890	290	605·S (Schwefelgehalt S = 0,7...1,5%)
Braunkohle	200-1500 <sup>4)</sup>	785		785		1190·S (Schwefelgehalt S = 0,1...0,5%) etwa 50 % Einbindung
	2000-5000 <sup>5)</sup>					
Heizöl S	200-1500	910	700	910		490·S (Schwefelgehalt S = 1,0...1,8%)
Heizöl EL						470·S (Schwefelgehalt S = 0,3%)
Erdgas	20	10	1,3	10		7 (deutsches Erdgas)
Müll	200-700	370-510				

1) Anhaltswerte.- 2) mittlere Emissionsfaktoren.- 3) neue Kraftwerke. - 4) Revier Rheinland.- 5) Revier Helmstedt

Tab. 5: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Emission von Halogenwasserstoffen (Emissionsfaktoren) in kg/TJ für Großfeuerungen

Brennstoff	UBA, 1977		MAGS-NW, 1978a	TÜV-Rheinland-Schätzwerte	
	HF	HCl	HF	Fluoride <sup>1)</sup>	Chloride <sup>2)</sup>
Steinkohle	4,0	30	6	1...10	20...50
Braunkohle	0,4	20		0,02...1,0	10...50
Hausmüll	0,04	4,4			

1) Berechnet als F<sup>-</sup>, abhängig von Einbindegrad (Steinkohle: 15 %, Braunkohle: 70 %)

2) Berechnet als Cl<sup>-</sup>

Tab. 6: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Gesamtstaubemissionen in kg/TJ für Großfeuerungen

Brennstoff	UBA, 1977					MAGS-NW 1978a	Rhein-Ruhr Stiftung <sup>1)</sup>	SCHADE, GLIWA, 1978				TÜV Rheinland <sup>2)</sup>
	1965	1970	1973	1975	1980	'74-'75	1978	1965	1970	1973	1974	
Steinkohle	400	200	140	110	75	68	35	420	210	140	110	25...55
Braunkohle	270	100	80	80	65			280	210	80	80	20...65
Heizöl S	34	34	34	34	28	14		70	70	70	70	10...30
Heizöl EL	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7			0,7	0,7	0,7	0,7	0,03...0,16
Gas	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2	0,1-0,2			0,1	0,1	0,1	0,1	0,24

1) Für neue Kraftwerke. - 2) Anhaltswerte

Tab. 7: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Feinstaub- und Schwermetallemissionen (Emissionsfaktoren) in kg/TJ für Großfeuerungen

Quelle	Bezugs- jahr	Schadstoff	Steinkohle	Braunkohle	Heizöl S	Heizöl EL	Gas	Müll
SCHADE, GLIWA, 1978	1965	Feinstaub	378	140	63	63	0,1	59
		Pb	0,253	0,056				0,092
		Zn	0,308	0,067				1,092
		Cd	0,0037	0,0008				
		Hg						
	1970	Feinstaub	189	60	63	0,7	0,1	50
		Pb	0,253	0,024				0,065
		Zn	0,308	0,029				0,792
		Cd	0,0037	0,0004				
		Hg						
	1974	Feinstaub	105	40	63	0,7	0,1	34
		Pb	0,253	0,016				0,029
		Zn	0,308	0,019				0,336
		Cd	0,0037	0,0002				
		Hg						
UBA, 1977	1975	Pb	0,2	0,01				
		Zn	0,3	0,015				
		Cd	0,004	0,008				
		Hg	0,01	0,01				
Rhein-Ruhr <sup>3)</sup> Stiftung		Pb	0,06					
		Cd	0,0012					
BRÖKER, GLIWA 1978		Pb	0,25	0,16	0,007 <sup>1)</sup>		1,6-E5 <sup>2)</sup>	
		Zn	0,31	0,16	0,007 <sup>1)</sup>		2 -E6 <sup>2)</sup>	
		Cd	0,0037	0,004	0,002 <sup>1)</sup>		2,2-E5 <sup>2)</sup>	
		Hg	0,01	0,01			9,4-E5 <sup>2)</sup>	

1) Angabe bei BRÖKER und GLIWA (1978) für Öl.- 2) 1,6-E5 =  $1,6 \cdot 10^{-5}$  usw. - 3) Für neue Anlagen

Tab. 8: Emissionen von Spurenelementverbindungen aus Steinkohlen-Kraftwerksfeuerungen

Abgasstrom: 2 340 000 m<sup>3</sup> (i.N.)/h,

Gesamtstaub-Konzentration: 150 mg/m<sup>3</sup>,  $\eta = 0,378$

Element	mittlere Emissionen			maximale Emissionen		
	mg/MWh	g/TJ	µg/m <sup>3</sup>	mg/MWh	g/TJ	µg/m <sup>3</sup>
Silber Ag	9	0,9	3	33	3,4	10
Arsen As	246	25,8	74	501	52,7	150
Bor B	176	18,4	53	426	44,8	128
Barium Ba	903	94,8	270	1860	195	555
Beryllium Be	16	1,6	5	60	6,3	18
Wismut Bi	10	1,1	3	26	2,7	8
Cadmium Cd	17	1,7	5	55	5,8	17
Kobalt Co	65	6,8	20	108	11,3	32
Chrom Cr	301	31,6	90	802	84,2	240
Kupfer Cu	150	15,8	45	266	27,9	80
Fluor F	1100	116	330	3160	332	945
Quecksilber Hg	3	0,3	1	25	2,6	8
Jod J	5	0,5	2	25	2,6	8
Molybdän Mo	110	11,6	33	301	31,6	90
Nickel Ni	251	26,3	75	602	63,2	180
Phosphor P	2510	263	750	4010	421	1200
Blei Pb	1100	116	330	3260	342	975
Antimon Sb	50	5,3	15	266	27,9	80
Selen Se	60	6,3	18	331	34,7	99
Strontium Sr	903	94,8	270	1910	200	570
Tellur Te	9	0,9	3	28	2,9	8
Thallium Tl	9	0,9	3	31	3,2	9
Uran U	15	1,6	5	27	2,8	8
Vanadium V	401	42,1	120	602	63,2	180
Wolfram W	2	0,2	1	5	0,5	2
Zink Zn	876	92,1	263	2810	295	840

Quelle: Nach KAUTZ, K.; KIRSCH, H.; LAUFHÜTTE, D.W. (1975)



Tab. 9: Spurenelemente in Verbrennungsrückständen aus Braunkohlenfeuerungen des Rheinischen Reviers

	in Gew.-%													Y	quantitativ nachgewiesen	Hg (ppm = 10 <sup>-4</sup> Gew.-%)		
	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Zr	Sr	Ba	Rb	Br	Tl	Ca	Fe				Mn	
<b>KW Niedersaßem</b>																		
<b>Block A</b>																		
Reingas 1 (RF 3901)	0,006	0,02	0,11	0,001	<0,001	0,005	0,038	0,08	0,002	0,01	0,083	H	X	X	X	—	Sn, U	2,4
Reingas 1 (RF 3902)	0,005	0,008	0,009	—	<0,001	<0,005	0,024	0,026	—	0,002	0,038	H	X	X	—	—	<0,05	
Reingas 2 (RF 3903)	0,006	0,004	0,006	<0,001	<0,001	†	0,025	0,025	<0,001	—	0,04	H	X	X	—	—	<0,05	
<b>Block C 1</b>																		
Reingas 1 (RF 3904)	0,006	0,008	0,00	<0,001	0,001	0,013	0,075	0,11	0,003	0,012	0,079	H	X	X	—	—	0,48	
Reingas 2 (RF 3905)	0,01	0,010	0,053	<0,001	<0,001	0,011	0,076	0,08	0,002	0,006	0,065	H	X	X	—	—	0,31	
Reingas 1 (RF 3906)	0,006	0,008	0,04	<0,001	<0,001	0,000	0,055	0,055	0,001	0,007	0,065	H	X	X	—	—	<0,05	
Reingas 2 (RF 3907)	0,007	—	0,025	<0,001	0,001	0,012	0,05	0,052	0,002	0,002	0,068	H	X	X	0,002	—	<0,05	
<b>Block D</b>																		
Reingas 7 (RF 3908)	0,008	0,02	0,008	†	<0,001	†	0,06	0,080	0,002	0,003	0,056	H	X	X	—	—	1,0	
Reingas 3 (RF 3909)	0,006	0,007	0,01	<0,001	<0,001	0,01	0,07	0,07	0,002	0,002	0,075	H	X	X	0,002	—	0,21	
<b>KW Weisweiler I</b>																		
<b>Filter B 2</b>																		
Reingas (RF 4000)	0,007	0,007	0,0075	—	<0,001	0,004	0,04	0,045	<0,001	0,002	0,085	H	X	X	0,001	—	0,90	
Reingas (RF 4001)	0,004	0,007	0,0035	<0,001	<0,001	0,015	0,045	0,048	0,001	0,002	0,07	H	X	X	0,003	—	0,03	
<b>Filter D</b>																		
Reingas (RF 4002)	0,01	0,009	0,0045	0,001	0,001	0,009	0,05	0,052	0,004	—	0,145	H	X	X	0,003	—	1,5	
Reingas (RF 4003)	0,006	0,006	0,009	0,001	0,001	0,018	0,047	0,005	0,006	—	0,15	H	X	X	0,003	—	0,07	
<b>Filter F 1</b>																		
Reingas (RF 4004)	0,01	0,015	0,0045	—	0,002	0,01	0,045	0,08	—	—	0,07	H	X	X	—	—	1,2	
Reingas (RF 4005)	0,006	0,008	0,004	—	0,002	0,015	0,042	0,047	—	—	0,002	H	X	X	0,001	—	0,16	
<b>KW Frimmersdorf</b>																		
<b>Block C</b>																		
Reingas (RF 4006)	0,008	0,007	0,0005	—	<0,001	—	0,105	0,215	0,003	0,008	0,042	H	X	X	—	—	1,7	
Reingas (RF 4007)	0,0035	—	0,0045	—	<0,001	<0,001	0,005	0,07	0,001	—	0,033	H	X	X	—	—	0,29	
<b>Block N</b>																		
Reingas (RF 4008)	0,008	0,0005	0,0075	<0,001	<0,001	—	0,145	0,27	0,002	0,005	0,043	H	X	X	—	—	0,63	
Reingas (RF 4009)	0,003	†	0,0055	0,001	<0,001	—	0,125	0,12	0,001	†	0,04	H	X	X	—	—	0,11	
<b>Block P</b>																		
Reingas (RF 4010)	0,01	0,015	0,009	—	0,001	—	0,155	0,275	0,005	0,021	0,04	H	X	X	—	—	2,3	
Reingas (RF 4011)	0,005	0,0005	0,007	†	<0,001	—	0,16	0,195	<0,001	0,0035	0,04	H	X	X	—	—	1,2	

— = nicht nachgewiesen; † = Nachweis unsicher; X = quantitativ nachgewiesen; H = Hauptbestandteil (> 1 Gew.-%)

Quelle: SCHIFFERS u. PIETZNER, 1976

Tab. 10: Mittlere jährliche auf die elektrische Leistung bezogene Emissionsfaktoren der an feste Partikel gebundenen Nuklide für ein (neues) Kohlekraftwerk (Lastfaktor: 1; Leistungszeit: 8760 h/a) (BMI-Forschungsvorhaben St.Sch: 695)

	Steinkohle	Braunkohle
Staubkonzentration	59 mg/m <sup>3</sup>	27 mg/m <sup>3</sup>
Mittl. Staub-Emissionsfaktor	1,667 t/MWa	1,082 t/MWa
U - 234	16 µCi/MWa	2 µCi/MWa
U - 238	15 µCi/MWa	2 µCi/MWa
Th - 228	4 µCi/MWa	0,7 µCi/MWa
Th - 230	10 µCi/MWa	1 µCi/MWa
Th - 232	4 µCi/MWa	0,5 µCi/MWa
Ra - 226	13 µCi/MWa	2 µCi/MWa
Ra - 228	5 µCi/MWa	0,7 µCi/MWa
Pb - 210	110 µCi/MWa	6 µCi/MWa
Po - 210	207 µCi/MWa	9 µCi/MWa
K - 40	43 µCi/MWa	11 µCi/MWa

Tab. 11: Mittlere jährliche auf die elektrische Leistung bezogene Emissionsfaktoren gasförmig entweichender Rn-Nuklide für kohle- und ölgefeuerte Kraftwerke (Lastfaktor: 1; Leistungszeit: 8760 h/a)

	Steinkohle	Braunkohle	Heizöl
Rn - 220	850 µCi/MWa	1450 µCi/MWa	0,35 µCi/MWa
Rn - 222	1450 µCi/MWa	1600 µCi/MWa	0,15 µCi/MWa

Quelle: HORN, BONKA, SCHMIDTLEIN, 1978

Tab. 12: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Stickstoffoxidemissionen (berechnet als NO<sub>2</sub>-Emissionen) in kg/TJ für Großfeuerungen

Brennstoff	UBA, 1977		DAVIDS, 1976		Rhein-Ruhr-Stiftung			TÜV-Rheinland	IF, 1978	
	1975	'65-'80	'73-'74	Optim.	'65-'75	neue Kraftwerke <sup>3)</sup>		287/478 <sup>4)</sup>	1978 <sup>1)</sup>	Mitte 80er <sup>3)</sup>
Steinkohle	145-800	240			240	500/750 <sup>4)</sup>	260/500 <sup>4)</sup>	287/478 <sup>4)</sup>	468-912 <sup>5)</sup>	206-692 <sup>5)</sup>
Braunkohle	100-500	290			290			177 <sup>5)</sup>	334	240
Heizöl EL	50-100	240	50	50						
Heizöl S	50-500	240			240			240	220	130
Gas	30-500	170			170			190	143	86
Müll	70-500	140-180								

1) Anhaltzahlen nach LIS-NW (1975). - 2) Mittlere Emissionsfaktoren. - 3) Bei neuen Feuerungstechnologien zu erwarten. - 4) Trockener Schlackenabzug/flüssiger Schlackenabzug. - 5) Mit trockenem Schlackenabzug

Tab. 13: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene CO-Emissionen (Emissionsfaktoren) in kg/TJ für den Bereich Industriefeuerungen

Brennstoff	UBA, 1977	WELZEL, DAVIDS, 1978		MAGS-NW, 1978			DAVIDS, 1976		TÜV Rhein-land
	1965-1975 <sup>1)</sup>	1965 - 1974		1975	1981	1985	1973/1974	Optim.	
Steinkohle u. Steinkohlenbriketts	170	150							60
Steinkohlenkoks	170	150							115
Braunkohle	170	150							80
Heizöl EL	10	12		72	51	40	70	40	16
Heizöl S	10	12							16
Gas	2	2		95	44	15	70	15	4
Müll		220 - 310 <sup>3)</sup>							

1) Mittlere Emissionsfaktoren. - 2) Nur kleinere Anlagen (Zentralheizungen) berücksichtigt. - 3) Unter folgenden Annahmen: Heizwert des Mülls 6,5 - 9,0 MJ/kg, CO-Emissionsfaktor 2 g/kg Müll.

Tab. 14: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Emissionen an organischen Gasen und Dämpfen (Emissionsfaktoren) in kg/TJ für den Bereich Industriefeuerungen

Brennstoff	UBA, 1977	MAGS-NW, 1978			MAGS-NW, 1978a	TÜV-Rheinland
	1965-1975 <sup>1)</sup>	1975	1981	1986	1974 - 1977 <sup>1)</sup>	
Steinkohle	13,6				63	50
Steinkohlenbriketts	10	10	12	12	78	50
Braunkohle	3,4				8,4	50
Heizöl S	27				7,8	16
Heizöl EL	17	16	13	12	0,3 <sup>2)</sup>	16
Erdgas	1,4	12	8	6		2,9

1) Für das Land Nordrhein-Westfalen. - 2) Koksofengas

Tab. 15: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Schwefeldioxidemissionen (Emissionsfaktoren in kg/TJ für den Bereich Industriefeuerungen

Brennstoff	UBA, 1977	MAGS-NW, 1978a	TÜV- Rheinland, 1978
	1965-1975 <sup>1)</sup>	1974-1977 <sup>2)</sup>	1978 <sup>3)</sup>
Steinkohle u. Steinkohlenbriketts	890	720	605.S (Schwefelgehalt S = 0,7...1,5 %, 5 % Einbindung)
Steinkohlenkoks	500	670	
Rohbraunkohle	785 - 790		1190.S (Schwefelgehalt S = 0,1...0,5 %, etwa 50 % Einbindung)
Heizöl S	910	744 - 765	490.S (Schwefelgehalt S = 1,0...1,8 %)
Heizöl EL	210	256	470.S (Schwefelgehalt S 0,3 %)
Erdgas	10	0,6	7 (deutsches Erdgas)
Industriegas		60 <sup>4)</sup> /44 <sup>5)</sup>	2 <sup>6)</sup> /12 <sup>4)</sup>

1) Mittlere Emissionsfaktoren. - 2) Nur für Nordrhein-Westfalen. - 3) Anhaltswerte. - 4) Koksofengas. - 5) Mischgas. - 6) Gichtgas



Tab. 16: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Emission von Halogenwasserstoffen (Emissionsfaktoren) in kg/TJ für Industriefeuerungen

Brennstoff	UBA, 1977		TÜV-Rheinland-Schätzwerte	
	HF	HCl	Fluoride <sup>1)</sup>	Chloride <sup>2)</sup>
Steinkohle	4,0	30	1...10	20...50
Braunkohle	0,4	20	0,02...1,0	10...50

- 1) Berechnet als F<sup>-</sup>, abhängig vom Einbindegrad (Steinkohle: ~15 %, Braunkohle: ~70 %)  
 2) Berechnet als Cl<sup>-</sup>

Tab. 17: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Gesamtstaubemission (Emissionsfaktoren) in kg/TJ für Industriefeuerungen

Brennstoff	UBA, 1977					MAGS-NW, 1978a	SCHADE, GLIWA, 1978				TÜV-Rheinl. 1978
	1965	1970	1973	1975	1980	1974-1977 <sup>1)</sup>	1965	1970	1973	1974	
Steinkohle	800	400	330	250	200		870	430	330	250	50
Steinkohlenkoks	50	50	50	50	50						50
Braunkohle	800	400	330	250	200		870	430	330	250	50
Braunkohlebriketts			80		80				350		
Heizöl S			34		28	18 - 25			70		23
Heizöl EL			0,7		0,7	2,3			0,7		2,4
Gas		0,1	- 0,2		0,1	- 0,2			0,1		0,24

1) Für Nordrhein-Westfalen

Tab. 18: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Feinstaub- und Schwermetallemissionen (Emissionsfaktoren) in kg/TJ für Industriefeuerungen

Quelle	Bezugs-jahr	Schadstoff	Steinkohle-(briketts)	Rohbraunkohle	Braunkohle-briketts	Heizöl S	Heizöl EL	Gas	Müll <sup>1)</sup>
SCHADE und GLIWA;	1965	Feinstaub	260	170		63	0,7	0,1	
		Pb	0,40	0,17	0,07				0,371
		Zn	0,49	0,21	0,08				4,43
1978	1970	Feinstaub	130	86		63	0,7	0,1	
		Pb	0,20	0,09	0,07				0,371
		Zn	0,24	0,10	0,08				4,43
1974	1974	Feinstaub	75	50		63	0,7	0,1	
		Pb	0,12	0,05	0,07				0,371
		Zn	0,14	0,06	0,08				4,43
UBA, 1977	1975	Pb	0,5	0,03					
		Zn	0,7	0,05					
		Cd	0,01	0,025					
		Hg	0,01	0,01					

1) Kleinanlagen, Annahme: Emissionsfaktoren: 0,0024 bis 0,031 g/kg Müll, Heizwert  $H_u = 7 \text{ MJ/kg}$

Tab. 19: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Stickstoffoxidemissionen (berechnet als  $\text{NO}_2$ -Emissionen) (Emissionsfaktoren) in kg/TJ für Industriefeuerungen

Brennstoff	UBA, 1977	MAGS-NW, 1978			DAVIDS, 1976		TUV-Rheinland, 1978
	1965-1980 <sup>1)</sup>	1975	1981	1985	1973/1974	Optim.	1978
Steinkohle und Briketts	220	48	48	48			105
Steinkohlenkoks	220	61	61	61			96
Braunkohle u. -briketts	240	12	12	12			105
Heizöl EL	170	70	70	70	50	50	150
Heizöl S	170						150
Gas	170	51	39	30	30	30	80

1) Mittlere Emissionsfaktoren. - 2) Nur Kleinanlagen (Zentralheizungen) berücksichtigt.

Tab. 20: CO-Emissionsfaktoren für Kokereien und Ölraffinerien

Anlage	Emissionsquelle	Emissionsfaktor		Bezugsjahr
		Zahlenwert	Einheit	
Kokereien, Orts- gaswerke	Chargieren	470	g CO/t Koks	1965
		190	g CO/t Koks	1974
	Drücken, Löschen	8	g CO/t Koks	1965-1974
	Leckagen	333	g CO/t Koks	1965-1974
	Unterfeuerungen	400	kg CO/TJ	1965-1974
	Fackeln	35	g CO/m <sup>3</sup>	1965-1974
Ölraffinerien	Röhrenofen	12	kg CO/TJ	1965-1974
		0,4	g CO/kg Öl	
	katal. Cracking			
	FCC ohne	40	kg CO/t Einsatz	1965
	TCC Nachverbr.	10	kg CO/t Einsatz	1965
mit Nachverbr.	1	kg CO/t Einsatz	1974	

Quelle: WELZEL, DAVIDS (1978)

Tab. 21: Emissionsfaktoren der Staubentwicklung bei verschiedenen Kohleprozessen

Prozeß	Emittierter Stoff	Einheit	UBA-Mat. 1977				SRU 1978b			DAVIDS u. GÜNTHER 1979 1979
			1965	1970	1975	1980	1965	1970	1974	
SK-Aufbereitung, Transport, Lagerung	Gesamtstaub	kg Staub/t Kohle	0,2	0,2	0,2	0,2	0,10	0,08	0,06	1,3 - 1,5 <sup>2)</sup>
	Feinstaub		-	-	-	-	0,07	0,06	0,054	
SK-Brikettie- rung	Gesamtstaub	kg Staub/t Brikett	0,35	0,33	0,26	0,25	0,43	0,33	0,26	
	Feinstaub		-	-	-	-	0,30	0,26	0,23	
BK-Brikettie- rung	Gesamtstaub	kg Staub/t Brikett	0,4	0,4	0,4	0,4	0,9	0,6	0,6	
	Feinstaub		-	-	-	-	0,7	0,5	0,5	
Kokereien	Gesamtstaub	kg Staub/t Koks	1,0	0,5	0,5	0,4	0,85	0,56	0,5	2,5 - 3,0 <sup>2)</sup>
	Feinstaub		-	-	-	-	0,17	0,112	0,1	
	PAH	g BaP/t Koks	-	-	-	-	-	-	1,8 <sup>1)</sup>	

1) Zu 75 % diffuse Emissionen. - 2) Für 1975 1,5 kg/t angenommen

Tab. 22: Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen (Hausbrand und Kleingewerbe); emittierte Luftverunreinigungen in kg je TJ eingesetzte Brennstoffwärmemenge

Brennstoffart	Steinkohle <sup>1)</sup>	Steinkohlen- brikett	Koks	Braunkohle- brikett	Heizöl EL	Gas
Schwefeldioxid	500	500 <sup>2)</sup>	500	130	140 <sup>2)</sup>	0,2
Stickoxide (als NO <sub>2</sub> )	50	50	70	12	50	35
Kohlenmonoxid	5400	5400	6700	4700	120	95
Gas- u. dampfförmige organische Verbindungen	200	450	10	300	15	12
Flur- und gasförmige anorga- nische Verbindungen (als F)	1,5	1,5	1,5	0,7	0	0
Staub	150 <sup>3)</sup>	250 <sup>3)</sup>	50	80	5	0,2

1) Z.B. Anthrazit, Magerkohle, ERKohle, Fettkohle. - 2) Massegehalt an Schwefel 0,3 %. - 3) Einschließlich Schwermetalle ca. 1 kg Pb/TJ, 1,5 kg Zn/TJ, 0,07 kg Cd/TJ

Quelle: 5. Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 30.01.1979

Tab. 23: Kohlenoxidemissionen verschiedener Feuerstätten bei Nennlast

Art des Brennstoffs	Art der Feuerstätte	CO-Emission in kg/TJ bei Nennleistung	
		von — bis	Mittelwert
Braunkohlenbrikett	Durchbrandofen	1000 - 2000	1400
	Unterbrandofen	2000 - 4000	2500
Steinkohle	Durchbrandofen	4000 - 8000	5700
	Unterbrandofen	8000 - 15000	11000
	Unterschub- und Wurffeuerung	50 - 500	250
Steinkohlenkoks	Koksheizung	3000 - 6000	4500
Heizöl EL	Verdampfungs- und Zerstäuberbrenner	2 - 1000	70
	Zerstäubungs- brenner	2 - 10	6
Heizöl S	Atmosphärischer Brenner	2 - 200	40
Stadtgas/Erdgas	Gebläsebrenner	2 - 600	120

Quelle: PLASSMANN, ZÜNDORF, 1977, dort jeweils weitere Literaturhinweise

Tab. 24: Stickoxidemissionen für verschiedene Brennstoffe bei unterschiedlicher Brenner- und Ofenbauart

Art des Brennstoffs	Art der Feuerung	NO <sub>2</sub> -Emission in kg/TJ		
		von — bis	Mittelwert	Berechnet nach
Braunkohlenbrikett	Durchbrand	5 - 16	12	40
	Unterbrand			
Steinkohle	Durchbrand	4 - 40	30	40
	Unterbrand			
Steinkohlenkoks	Durchbrand- feuerung	-	-	60
	Unterbrand- feuerung	-	-	80
	Verdampfungs- brenner	-	-	32
Heizöl EL	Zerstäubungs- brenner	25 - 58	50	60
	Zerstäubungs- brenner	80 - 200	140	150
Heizöl S (bis 40 GJ/h)	Diffusions- brenner	5 - 50	20	18
	Injektions- brenner	5 - 50	20	25
	Gebläse- brenner	5 - 80	50	40

Quelle: PLASSMANN, ZÜNDORF, 1977



Tab. 25: Schwefelgehalte, Schwefelbindung und Schwefeldioxidemissionen verschiedener Brennstoffe

Art des Brennstoffs	Schwefelgehalt in Massen-%	Einbindegrad in Asche und Schlacke in%	SO <sub>2</sub> -Emission in kg/TJ	
			von - bis	in Mittel
<b>Feste Brennstoffe</b>				
Anthrazitkohle	0,62-0,66	10-50	200- 380	300
Anthrazitbriketts	0,77-0,78	20-50	240- 400	300
Braunkohlenbriketts	0,24-0,87	50-80	90- 270	120
Eßkohle	0,59-0,62	10-40	220- 350	270
Fet-, Gas-, Gasflammkohle	0,78-0,86	20-40	300- 440	370
Heizbriketts (z.B. Ancit)	0,75-0,85	10-50	240- 500	360
Holz	0	-	0	0
Koks	0,8-1,0	10-25	400- 600	560
Laugenbriketts (z.B. Extrazit)	0,9-1,1	10-50	300- 830	460
Magerkohle	1,14-1,21	10-30	500- 700	600
Steinkohle (Sammelbegriff)	0,59-1,21	10-50	200- 700	360
<b>Flüssige Brennstoffe</b>				
Heizöl EL	0,1-0,5	0	50- 280	200
Heizöl S	0,8-2,8	0	400-1200	800

Quelle: PLASSMANN, ZÜNDORF, 1977

Tab. 26: Emissionen von Feststoffen sowie von organischen Gasen und Dämpfen verschiedener Feuerstätten bei Nennleistung

Art des Brennstoffs	Art der Feuerung	Emission in kg/TJ					
		Staubpartikel und Aerosole				Niedrig siedende organische Stoffe	
		Asche, Ruß und Koks		Teernebel		von - bis	Mittel
		von - bis	Mittel	von - bis	Mittel	von - bis	Mittel
Braunkohlenbrikett	Durchbrandofen	30- 50	40	10- 30	20	50- 500	420
	Universaldauerbrenner	50-100	70	20- 40	30	50- 200	120
Steinkohle	Durchbrandofen	20-400	130	40-600	250	50-1600	280
	Unterbrandofen	10-300	100	40-300	150	20-1200	290
	Universaldauerbrenner	10-300	100	20-200	50	20- 500	60
	Wurf- u. Unterschubfeuerung	50-500	200	5- 50	20	10- 140	20
Steinkohlenkoks	Durchbrandfeuerung	2- 10	3	2- 20	10	2- 20	10
	Unterbrandfeuerung	10-400	70	1- 30	8	1- 30	10
Heizöl EL	Verdampfungsbrenner	5- 20	8	-	-	5- 30	15 <sup>1)</sup>
	Zerstäubungsbrenner	1- 10	3	-	-	10- 30	15 <sup>1)</sup>
Heizöl S	Zerstäubungsbrenner	10- 40	20	-	-	1- 10	3
Stadtgas/Erdgas	Atmosphär. Brenner	0- 2	0,2	-	-	1-1000 <sup>2)</sup>	20 <sup>2)</sup>
	Gebälsebrenner	0- 1	0,1	-	-	1- 150 <sup>2)</sup>	12 <sup>2)</sup>

1) Davon 7 kg/TJ Formaldehyd.- 2) Davon ca. 75 % Methan

Quelle: PLASSMANN, ZÜNDORF, 1977

Tab. 27: Übersicht über die Emissionen eines Öl- und eines Gasofens

		Ölofen			Gasofen
Heizleistung	kW	1,9	4,2	7,7	9 : 8,4
Ruß	g/GJ	1,6	0,65	1,8	0,015
KW	g/GJ	240	30	23	21
Benzol	g/GJ	14,2	1,41	0,14	0,86
Toluol	g/GJ	5 <sup>1)</sup>	nicht untersucht		0,05
Polycyclen	g/GJ	0,43	0,02	0,52	0,0005
NO <sub>2</sub>	g/GJ	6,4	8	24	28
gasförmige KW	% KWS	99	99,5	96,1	99,9
Extrakte	% KWS	1	0,5	3,9	0,1 <sup>2)</sup>
Benzol	% KWS	5,9	3,8	0,6	4,1
Polycyclen	% KWS	0,2	0,07	2,2	0,002
Emission in % Einsatz:					
Benzol		entfällt			5 - 9
Toluol		entfällt			3
Polycyclen		0,03	0,002	0,04	entfällt

1) Näherungswert

2) ohne Phthalate

Quelle: HERLAN, MAYER, 1979

Tab. 28: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Gesamtstaubemission (Emissionsfaktoren) in kg/TJ für den Bereich Haushalte und Kleingewerbe

Brennstoff							MAGS-NW, 1977 und '78			MAGS-NW, 1978a <sup>1)</sup>		SCHADE, GLIWA, 1978			
	1965	1970	1973	1975	1977	1980	1974/75	1980/81	1985/80	1974	1977	1965	1979	1973	1974
Steinkohle		250			200	140	400	400	400	360					500
SK-Briketts		600					480	400	400	360					-
SK-Koks		50					48	48	48	41					106
BK-Briketts				80			240	240	240						350
Heizöl EL				5			3,6	2,2	1	3,8-6,4		5,5	5,5/ 4,0 <sup>1)</sup>	4,5/ 3,0 <sup>1)</sup>	4,5/ 2,5 <sup>1)</sup>
Gas				0,2			0,24			0,24	1,2				0,1

1) Nur für Nordrhein-Westfalen

Tab. 29: Auf die Feuerungswärmeleistung bezogene Feinstaub- und Schwermetallemissionen (Emissionsfaktoren) in kg/TJ für den Bereich Haushalt und Kleingewerbe

Bezugs-jahr	Schadstoff	Steinkohle (briketts)	Steinkohle-koks	Braunkohle-briketts	Heizöl	Gas	Holz
1965	Feinstaub	300	63,6	240	5,5	0,1	293
	Pb	1,9		0,07			
	Zn	2,0		0,08			
	Cd	0,05		0,001			
1970	Feinstaub	300	63,6	245	5,4/4,0 <sup>1)</sup>	0,1	293
	Pb	1,9		0,07			
	Zn	2,0		0,08			
	Cd	0,05		0,001			
1974	Feinstaub	300	63,6	245	4,5/2,5 <sup>1)</sup>	0,1	293
	Pb	1,9		0,07			
	Zn	2,0		0,08			
	Cd	0,05		0,001			

1) Nur für Nordrhein-Westfalen

Quelle: SCHADE u. GLIWA, 1978

Tab. 30: Emission polycyclischer Kohlenwasserstoffe in kg/TJ bei Öl und Kohlefeuerungen

Art des Brennstoffs	Heizöl EL <sup>1)</sup>		Braunkohlenbrikett	Anthrazitnußbrikett	Steinkohlebrikett <sup>2)</sup>	Anthrazit	Anclt	Extrazit	Steinkohlenkoks
	Zerstäubungs-brenner	Verdampfungs-brenner							
Fluoranthren	0,000012	0,0008	0,18	0,48	(0,022)	0,00013	0,00489	0,000068	n.n.
Pyren	n.n.	0,0006	0,04	0,11	(0,009)	0,00014	0,00018	0,000010	0,000004
Benz(a)-anthracen	n.n.	0,0006	0,05	0,20	(0,0036)	0,00011	0,00228	0,000010	0,000018
Chrysen	n.n.	0,0006	0,04	0,21	(0,0062)	0,00017	0,00437	0,000039	0,000038
Benzo(b)fluoranthren	0,000004	0,0014	0,04	0,26	(0,0067)	0,00025	0,00234	0,000035	0,000148
Benzo(k)fluoranthren	n.n.	0,0004	0,01	0,08		0,00004	0,00003	0,000001	0,000014
Benzo(e)-pyren	n.n.	0,0087	0,09	0,25	(0,0023)	0,00029	0,00085	0,000071	0,002400
Benzo(a)-pyren	n.n.	0,0007	0,01	0,08	(0,0015)	0,00002	0,00000	0,000001	0,000021
Perylen	n.n.	0,0015	0,03	0,18	(0,0002)	0,00004	0,00017	n.n.	0,000036
Dibenz(a,h)-anthracen	n.n.	n.n.	0,03	0,03	(0,0025)	0,00002	0,00007	n.n.	n.n.
Benzo(g,h,i)-pyren	n.n.	0,0032	0,05	0,12	(0,0006)	0,00004	0,00009	0,000011	0,000251
Coronen	n.n.	0,0004	0,02	0,05		0,00001	0,00001	0,000004	0,000012
Polycyclische Kohlenwasserstoffe (Summe)	0,000016	0,0189	0,59	2,05		0,00016	0,01528	0,000250	0,002942

1) Bei Normalbetrieb. - 2) Nach AHLAND u. MERTENS (1979)

Quelle: PLASSMANN, ZÜNDORF, 1977 nach BROCKHAUS, TOMINGAS, 1976

Tab. 31: Emissionsfaktoren für kleingewerbliche Anlagen

Emittierte Luftverunreinigung	Befüllte Tankart <sup>1)</sup>	Kesselwagen	Tankschiff	Straßentankwagen	Unterflurtank	PKW-Tank
	Gas- und dampfförmige organische Verbindungen		0,4	0,4	0,6	1,4

1) ohne Einrichtungen zur Emissionsverminderung

Quelle: Fünfte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz vom 30. Jan. 1979



Tab. 32: Abgasgesetzgebung und Testbeschreibung

### ECE/EG - ABGASGESETZGEBUNG (Europa)

Fahrzeuge mit Ottomotor (bis 3500 kg zul. Ges.-Gewicht) 1)																									
Einsatz <sup>2)</sup>	Schadst.	Dim.	Type		≤ 750		≤ 850		≤ 1020		≤ 1250		≤ 1470		≤ 1700		≤ 1930		≤ 2150		> 2150				
			g/Test	g/Test	T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.	T.	S.	
	Bezugsgew. kg		≤ 750	≤ 850	≤ 1020	≤ 1250	≤ 1470	≤ 1700	≤ 1930	≤ 2150	> 2150														
	Schwgm.Kl. kg		680	800	910	1130	1360	1590	1810	2040	2270														
	(Schwgm.Kl. lbs)		(1500)	(1750)	(2000)	(2500)	(3000)	(3500)	(4000)	(4500)	(5000)														
Prüfung Typ I	1. 10.71	HC	g/Test	8,0	10,4	8,4	10,9	8,7	11,3	9,4	12,2	10,1	13,1	10,8	14,0	11,4	14,8	12,1	15,7	12,8	16,6				
		CO	g/Test	100	120	109	131	117	140	134	161	152	182	169	203	186	223	203	244	220	264				
	Ab 1975: Absenkung der Standards bezogen auf 1971 um: HC = 15%, CO = 20%																								
	1. 1.0.75	HC	g/Test	6,8	8,8	7,1	9,3	7,4	9,6	8,0	10,4	8,6	11,1	9,2	11,9	9,7	12,6	10,3	13,3	10,9	14,1				
		CO	g/Test	80	96	87	105	94	112	107	129	122	146	135	162	149	178	162	195	178	211				
	1. 3.77	NO <sub>x</sub>	g/Test	10,0	12,0	10,0	12,0	10,0	12,0	12,0	14,4	14,0	16,8	14,5	17,4	15,0	18,0	15,5	18,6	15,0	19,2				
NO <sub>x-3)</sub>		g/Test	12,5	15,0	12,5	15,0	12,5	15,0	15,0	18,0	17,5	21,0	18,1	21,7	18,7	22,5	19,3	23,2	20,0	24,0					
Ab 1979: Absenkung der Standards bezogen auf 1971 um: HC = 25%, CO = 35% bezogen auf 1977 um: NO <sub>x</sub> = 15%																									
Prüfung Typ I	1. 1.0.79	HC	g/Test	6,0	7,8	6,3	8,2	6,5	8,5	7,1	9,2	7,8	9,9	8,1	10,5	8,6	11,2	9,1	11,8	9,6	12,5				
		CO	g/Test	65	78	71	85	78	91	87	104	99	119	110	132	121	145	132	158	143	172				
		NO <sub>x</sub>	g/Test	8,5	10,2	8,5	10,2	8,5	10,2	10,2	12,2	11,9	14,3	12,3	14,8	12,8	15,4	13,2	15,8	13,6	16,3				
		NO <sub>x-4)</sub>	g/Test	10,6	12,7	10,6	12,7	10,6	12,7	12,7	15,2	14,8	17,8	15,3	18,5	16,0	19,2	16,5	19,7	17,0	20,3				
Prüfung Typ II	1. 7.69	LL-CO	Vol.-%	4,5 (für alle Gew.-Klassen)																					
	1. 10.76	LL-CO	Vol.-%	4,5 (für alle Gew.-Klassen) im gesamten frei zugänglichen LL-Einstellbereich																					
	1. 10.79	LL-CO	Vol.-%	3,5 (für alle Gew.-Klassen) bei Einstellung gemäß Herstellerempfehlung; bei Prüfung außerhalb Seeerhörsnorm 4,5																					
Prüfung Typ III	1. 1.69	KGH-Em.	—	Emiss. < 0,15% des verbrauchten Kraftstoffs (für alle Gew.-Klassen).																					

Fahrzeuge mit Dieselmotor (ohne Gewichtsbegrenzung) 4)																						
	1. 10.74	Rauch	m <sup>-1</sup>	Prüfung 1: In 6 verschiedenen konstanten Drehzahlen werden (schichtweise) Kraftstoffverbrauch des Abgases und der Verlust gemessen und der zugeordnete Schweregrad verglichen. Feststoffgehalt wird mit Methylen-Blau. Bei den geringsten Abgasen zum Vergleich das Gewicht (S <sub>1</sub> ) aufweist. Prüfung 2: Freie Motorbeschleunigung von Leerlauf auf Hochdrehzahl wird so lange unterbrochen, bis 8 aufeinanderfolgende Messwerte mit akzeptablem Mittelwert (K <sub>1</sub> ) innerhalb des Bereichs 0,23 m <sup>-1</sup> liegen. Grenzwertvergleich für K <sub>1</sub> nur bei Motoren mit Abgasrückfluss. Aus Prüfung 1 und 2 werden berechnet: $X_1 = (S_1/S_2) \cdot K_1$ und $X_2 = K_2 \cdot 0,3$ Das Ausweichkriterium (Ersatz $X_1$ ) ist bei allen Fahrzeugen anzugeben und wird bei Serienanfertigung an die Zulassung herangezogen.																		
Prüfung Typ I	geplant	HC CO NO <sub>x</sub>	g/Test g/Test g/Test	Es ist vorgesehen, ab Einsatz der nächsten Verschleißstufe der gasförmigen Emissionsgrenzwerte (HC, CO, NO <sub>x</sub> ) PKW mit Dieselmotoren ebenfalls (zusätzlich zur Rauchprüfung) der Prüfung Typ I zu unterziehen.																		

### ECE/EG - Testbeschreibungen und Fahrzyklus

1. Testbeschreibungen

Die ECE/EG-Abgaszulassung besteht aus 3 Prüfungen: Prfg. Typ I: Fahrttest; Prfg. Typ II: Leerlauf-CO; Prfg. Typ III: HC-Kurbelgehäuse-Emission  
Prüfung Typ I: Fahrttest – beginnt nach Kaltstart und 40 s Vorlauf, umfasst 4 Zyklen. Abgasanalyse mit NDIR-Absorptionsgeräten (für HC und CO), bzw. mit Chemolumineszenzgerät (für NO<sub>x</sub>). Prüfung Typ II: Leerlauf-CO-Messung unmittelbar nach Fahrttest. Prüfung Typ III: KGH-Emiss. (folgt auf Prüfung Typ II).

2. Abgaszulassung nach Prüfung Typ I

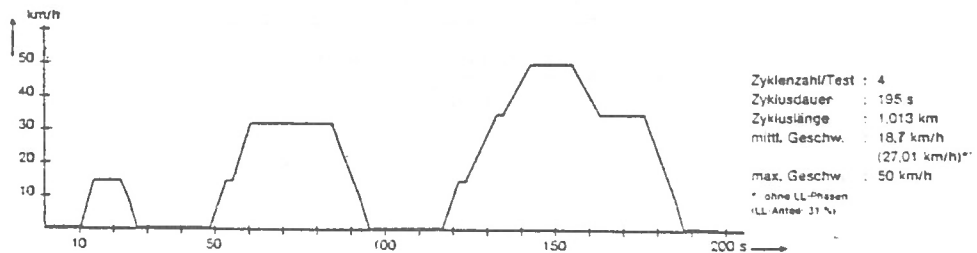
Mit V = Versuchsergebnis und L = Grenzwert wird erford. Testanzahl bestimmt. Wenn:  $V_1 \leq 0,70 L - 1$  Messung; Wenn:  $0,70 L < V_1 \leq 0,85 L$  - mindestens 2 Messungen. Prüfen: wenn  $V_2 \leq L$  und  $V_1 + V_2 \leq 1,70 L$  - nur 2 Messungen; wenn  $V_1 > 0,85 L$  oder  $V_2 > L$  (max. 1,1 · L) oder  $V_1 + V_2 > 1,70 L$  - 3 Messungen. Einlaufzustand des Fahrzeugs: mindestens 3000 km.

3. Serienkontrolle nach Prüfung Typ I

Wenn  $V_1 > L$  - Stichprobenmessung an mindestens 2 Fahrzeugen (Probenumfang wird vom Hersteller bestimmt). Stichprobe muß 1. Fahrzeug enthalten, das 3mal getestet wird. Forderung:  $\sqrt{V} + K \cdot S \leq L$ , wobei  $V = \frac{1}{n} (V_1 + V_2 + \dots + V_n)$  und S = Standardabweichung aus  $S^2 = \frac{1}{n-1} \cdot (V_n - \bar{V})^2$ , sowie  $V_1 =$  arithm. Mittel aus den 3 Tests des 1. Fahrzeugs. Faktor K für  $n \geq 20$ :  $K = \frac{1}{\sqrt{n}} \cdot 0,860$ , für  $n < 20$ : aus Tabelle. Einlaufzustand des Fahrzeugs: mindestens 3000 km, mit Einverständnis des Herstellers aber auch geringerer km-Stand zulässig.

4. Fahrzyklus

Der ECE-Fahrzyklus besteht aus 15 Prüfungsabschnitten (Leerlauf, Beschleunigungen, Konstantfahrt, Verzögerungen), 4mal zu fahren und ergibt damit eine Gesamtprüfungsdauer von 13 Minuten.



Quelle: DAIMLER-BENZ (1980)

Tab. 33: Im Entwurf zur Änderung 04 der ECE-Regelung Nr. 15 vorgeschlagene Grenzwerte für Schadstoffe in Kraftfahrzeugen

Grenzwerte der Schadstoffe		
Bezugsmasse P, kg	Kohlenmonoxid CO g/Test	Summe Kohlenwasserstoffe u. Stickoxide CH <sub>FID</sub> + NO <sub>x</sub> g/Test x
P, ≤1020	58	19,0
>1020 P, ≤1250	67	20,5
>1250 P, ≤1470	78	22,0
>1470 P, ≤1700	86	23,5
>1700 P, ≤1930	93	25,0
>1930 P, ≤2150	101	26,5
>2150 P,	110	28,0

Bezugsmasse des Fahrzeugs = Leermasse + 100 kg

Quelle: ECE (1979)

Tab. 34: Emissionsfaktoren für OGD für verschiedene Bezugsgrößen (gemessen als "CH" mit NDIR, berechnet als C<sub>6</sub>H<sub>14</sub>); PKW mit Ottomotor

Einheit	g/km			g/l	kg/TJ	g/kg	g/l	
	Quelle	MAGS 1978	MAGS 1977					Gabriel u. Zimmermann 1978
Bezugsjahr	1)	1)	1)	3)	1)			
1965/70						880	40,5 <sup>2)</sup>	29,1 <sup>2)</sup>
1972/74				2-8 <sup>4)</sup> 10 <sup>5)</sup> 2,1 <sup>6)</sup>			26 <sup>7)</sup>	
1975	0,36 - 1,43 3,50 - 5,25 <sup>8)</sup>	1,43 <sup>8)</sup> 5,25 <sup>8)</sup>	0,3 - 11 1,1		7,5 - 12,4 10,8 8,829 <sup>9)</sup>	830 <sup>2)</sup> 266 <sup>2)</sup>	38,2 <sup>2)</sup> 12,3 <sup>2)</sup>	27,4 <sup>2)</sup>
1977/79				0,93 <sup>6)</sup> 0,25 <sup>6)</sup>				
1980/81	0,35 - 1,29 3,61 - 5,14 <sup>8)</sup>	1,29 4,84 <sup>8)</sup>	0,3 - 2,5 1,1			780	35,9 <sup>2)</sup>	25,8 <sup>2)</sup>
1985/86	0,34 - 1,23 <sup>8)</sup> 3,04 - 4,38 <sup>8)</sup>	1,23 <sup>8)</sup> 4,33 <sup>8)</sup>	0,2 - 1,7 0,9					

- 1) Fahrmodus 0 (19 km/h)
- 2) Errechnet aus anderen Emissionsfaktoren ( = 0,720 kg/dm<sup>3</sup>, H = 46 MJ/kg) zum Vergleich
- 3) USA
- 4) Kontrollierter Auspuff
- 5) Unkontrollierter Auspuff
- 6) Norm
- 7) Fahrmodus 4 (22-30 km/h)
- 8) CH<sub>FID</sub> + NO<sub>x</sub>
- 9) Durchschnittwert

Tab. 35: Emissionsfaktoren für OGD für verschiedene Bezugsgrößen; Fahrzeuge mit Dieselmotor

Fahrzeug	Einheit	g/km		g/l		kg/TJ	g/kg	g/l
	Quelle	MAGS 1977	MAGS 1978	MAGS 1977a		UBA-Materialien 1977		
	Bezugs-jahr	1)	1)	1)		2)		
LKW	1970-85	0,39 - 1,2	0,58	1,6 - 2,6		2,2		
	1975-86		0,39 - 0,58	0,58	1,81			
	1975-57					100	4,6	3,9
	1980					50	2,3	1,95
Diesel-lok	Kleinrangier-221 kW		g/kg	2,1 - 3,4				
	Rangier-221 kW		5,2					
	Strecken-810 kW		14	7,32 <sup>5)</sup>				
Schiffe	1975 - 1985		3,8 - 6,5 <sup>4)</sup>					

1) Fahrmodus "O" (19 km/h)

2) Errechnet aus anderen Emissionsfaktoren ( $\varphi = 0,85 \text{ kg/dm}^3$ ,  $\Delta H_u = 45,8 \text{ MJ/kg}$ ) zum Vergleich

3) Durchschnittwert

4) Je nach Schifffahrt

5) Vergleichswert (USA, EPA 1972)

Tab. 36: Emissionsfaktoren für Ruß aus Dieselfahrzeugen in verschiedenen Einheiten (1965 - 1980)

Fahrzeug	UBA-Mat. 1977		SRU 1978b		EPA 1978		MAGS 1979 <sup>1)</sup>			
	g/kg	kg/TJ	g/kg	kg/TJ	g/km	g/l	kg/TJ	g/km	g/kg	kg/TJ
LKW und Bus	2,29	50	2,7	59	1,56	40,1	0,38 - 0,59 <sup>2)</sup>			
Nutzfahrzeuge in der Landwirtschaft	-	-	2,3	50,2	-	-	-			
Lokomotive	-	-	8	175	3,0	77,1	-	2,1 <sup>3)</sup>	0,2 <sup>4)</sup>	46
Schiffe (Binnenschifffahrt)	0,15	3,3			460					

1) Gültig bis 1987.- 2) Bei Fahrmodus 1.- 3) <220 kW Leistung (Kleinrangierloks).- 4) Größere Rangierloks (> 220 kW) und Streckenloks (> 800 kW)

Tab. 37: Fahrtstreckenbezogene PAH-Emissionsfaktoren im Europatest in  $\mu\text{g}/\text{km}$  (Mittelwerte einer Fahrzeugauswahl von 100 PKW mit Ottomotor, die nach dem 1.10.1971 zugelassen wurden)

	$\mu\text{g}/\text{km}$
Phenanthren	297,7
Anthracen	82,1
3-Methylphenanthren	134,5
2-Methylphenanthren	143,7
Fluoranthren	147,8
Pyren	187,9
Chrysen	49,3
Benzofluoranthene	12,3
Benzo(e)pyren	10,3
Benzo(a)pyren	10,3
Ideno (1,2,3-cd)pyren	8,2
Benzo(ghi)perylen	33,9
Anthanthren	5,1
Coronen	20,5
PAH	1 143,7

Quelle: GRIMMER, HILDEBRAND, 1975

Tab. 38: Summe der PAH-Emissionen für verschiedene Motorkonzepte von Otto-PKW im Europatest und im US-Stadtfahrzyklus

	Vergaser n = 20/21	Einspritzer n = 6	Schicht- ladung	Katalysator	
				ohne	mit
PAH ECE $\mu\text{g}/\text{km}$	384,1	254,1	547,9	215,3	111,9
PAH US-FTP 75 $\mu\text{g}/\text{km}$	395,9	248,5	445,9	222,6	71,8

Quelle: MEYER, BEHN, 1978

**Erlaß über die Einrichtung eines Rates von Sachverständigen für  
Umweltfragen bei dem Bundesminister des Innern  
Vom 28. Dezember 1971  
(GMBL. 1972, Nr. 3, Seite 27)**

§ 1

Zur periodischen Begutachtung der Umweltsituation und der Umweltbedingungen in der Bundesrepublik Deutschland und zur Erleichterung der Urteilsbildung bei allen umweltpolitisch verantwortlichen Instanzen sowie in der Öffentlichkeit wird im Einvernehmen mit den im Kabinettausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesministern ein Rat von Sachverständigen für Umweltfragen gebildet.

§ 2

(1) Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen soll die jeweilige Situation der Umwelt und deren Entwicklungstendenzen darstellen sowie Fehlentwicklungen und Möglichkeiten zu deren Vermeidung oder zu deren Beseitigung aufzeigen.

(2) Der Bundesminister des Innern kann im Einvernehmen mit den im Kabinettausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesministern Gutachten zu bestimmten Themen erbitten.

§ 3

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen ist nur an den durch diesen Erlaß begründeten Auftrag gebunden und in seiner Tätigkeit unabhängig.

§ 4

(1) Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen besteht aus 12 Mitgliedern.

(2) Die Mitglieder sollen die Hauptgebiete des Umweltschutzes repräsentieren.

(3) Die Mitglieder des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen dürfen weder der Regierung oder einer gesetzgebenden Körperschaft des Bundes oder eines Landes noch dem öffentlichen Dienst des Bundes, eines Landes oder einer sonstigen juristischen Person des öffentlichen Rechts, es sei denn als Hochschullehrer oder als Mitarbeiter eines wissenschaftlichen Instituts angehören. Sie dürfen ferner nicht Repräsentant eines Wirtschaftsverbandes oder einer Organisation der Arbeitgeber oder Arbeitnehmer sein oder zu diesen in einem ständigen Dienst- oder Geschäftsbesorgungsverhältnis stehen; sie dürfen auch nicht während des letzten Jahres vor der Berufung zum Mitglied des Rates von Sachver-

ständigen für Umweltfragen eine derartige Stellung innegehabt haben.

§ 5

Die Mitglieder des Rates werden vom Bundesminister des Innern im Einvernehmen mit den im Kabinettausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesministern für die Dauer von drei Jahren berufen. Die Mitgliedschaft ist auf die Person bezogen. Wiederberufung ist höchstens zweimal möglich. Die Mitglieder können jederzeit schriftlich dem Bundesminister des Innern gegenüber ihr Ausscheiden aus dem Rat erklären.

§ 6

(1) Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen wählt in geheimer Wahl aus seiner Mitte für die Dauer von drei Jahren einen Vorsitzenden und einen stellvertretenden Vorsitzenden mit der Mehrheit der Mitglieder. Einmalige Wiederwahl ist möglich.

(2) Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen gibt sich eine Geschäftsordnung. Sie bedarf der Genehmigung des Bundesministers des Innern im Einvernehmen mit den im Kabinettausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesministern.

§ 7

(1) Der Vorsitzende beruft schriftlich den Rat zu Sitzungen ein; er teilt dabei die Tagesordnung mit. Den Wünschen der im Kabinettausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesminister auf Beratung bestimmter Themen ist Rechnung zu tragen.

(2) Auf Wunsch des Bundesministers des Innern hat der Vorsitzende den Rat einzuberufen.

(3) Die Beratungen sind nicht öffentlich.

§ 8

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen kann im Einvernehmen mit dem Bundesminister des Innern zu einzelnen Beratungsthemen andere Sachverständige hinzuziehen.



#### § 9

Die im Kabinettsausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesminister sind von den Sitzungen des Rates und den Tagesordnungen zu unterrichten; sie und ihre Beauftragten können jederzeit an den Sitzungen des Rates teilnehmen. Auf Verlangen ist ihnen das Wort zu erteilen.

#### § 10

(1) Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen legt die Ergebnisse seiner Beratungen in schriftlichen Berichten nieder, die er über den Bundesminister des Innern den im Kabinettsausschuß für Umweltfragen vertretenen Bundesministern zuleitet.

(2) Wird eine einheitliche Auffassung nicht erzielt, so sollen in dem schriftlichen Bericht die unterschiedlichen Meinungen dargelegt werden.

(3) Die schriftlichen Berichte werden grundsätzlich veröffentlicht. Den Zeitpunkt der Veröffentlichung bestimmt der Bundesminister des Innern.

#### § 11

Die Mitglieder des Rates und die von ihm nach § 8 hinzugezogenen Sachverständigen sind verpflichtet,

über die Beratungen und über den Inhalt der dem Rat gegebenen Informationen, soweit diese ihrer Natur und Bedeutung nach geheimzuhalten, sind, Verschwiegenheit zu bewahren.

#### § 12

Die Mitglieder des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen erhalten pauschale Entschädigungen sowie Ersatz ihrer Reisekosten. Diese werden vom Bundesminister des Innern im Einvernehmen mit dem Bundesminister für Wirtschaft und Finanzen festgesetzt.

#### § 13

Das Statistische Bundesamt nimmt die Aufgaben einer Geschäftsstelle des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen wahr.

Bonn, den 28. Dezember 1971

Der Bundesminister des Innern  
Genscher

## Verzeichnis der Abkürzungen

a	Jahr	GWB	Gesetz gegen Wettbewerbs- beschränkungen
AVR	Reaktor der Arbeitsgemeinschaft Versuchsreaktor in Jülich	HC	Kohlenwasserstoffe
BauNVO	Baunutzungsverordnung	Heizöl EL	extraleichtes Heizöl
BBauG	Bundesbaugesetz	Heizöl S	schweres Heizöl
BEF	Bundesamt für Ernährung und Forstwirtschaft	H <sub>2</sub> S	Schwefelwasserstoff
BfLR	Bundesforschungsanstalt für Landeskunde und Raumordnung	HT	Hochtemperatur-(Verfahren)
BImSchG	Bundes-Immissionsschutzgesetz	HTR	Hochtemperaturreaktor
BImSchV	Verordnung zur Durchführung des Bundes-Immissionsschutzgesetz- es	ICRP	International Commission for Ra- diological Protection
BMFT	Bundesminister(ium) für For- schung und Technologie	IKV-Motor	Motor mit innerer kontinuier- licher Verbrennung
BMI	Bundesminister(ium) des Innern	IW <sub>1</sub>	Immissionswert der TA Luft für Dauerbelastung
BMWi	Bundesminister(ium) für Wirt- schaft	IW <sub>2</sub>	Immissionswert der TA Luft für Kurzzeitbelastung
BMBau	Bundesminister(ium) für Raum- ordnung, Bauwesen und Städte- bau	J	Joule = Watt · Sekunde = Ws
BSP	Bruttosozialprodukt	K	Zeichen für Grad Kelvin
BSB <sub>5</sub>	Biologischer Sauerstoffbedarf in 5 Tagen.	KTBL	Kuratorium für Technik und Bau- wesen in der Landwirtschaft
Ci	Curie = 37 · 10 <sup>9</sup> Zerfall je Sekun- de; Einheit der Aktivität	LWR	Leichtwasserreaktor
Cl	Chlor	MAGS	Minister(ium) für Arbeit, Gesund- heit und Soziales des Landes Nord- rhein-Westfalen
CO	Kohlenmonoxid	MIK-Wert	Maximale Immissionskonzentra- tion
CO <sub>2</sub>	Kohlendioxid	mrem	10 <sup>-3</sup> rem; rem Einheit für die Strah- lendosis (roentgen equivalent man)
COS	Carbonylsulfid, Kohlenoxysulfid	MW	Leistungseinheit, eine Million Watt
DFG	Deutsche Forschungsgemein- schaft	MW <sub>el</sub> , MW <sub>e</sub>	elektrische Leistung in MW
DWR	Druckwasserreaktor	MW <sub>th</sub>	thermische Leistung in MW
EBM	Eisen-, Blech- und Metallwaren	NASA	National Aeronautics and Space Administration
EnWG	Energiewirtschaftsgesetz	NE	Nichteisen (-Metalle)
EVU	Elektrizitätsversorgungsunter- nehmen	NO <sub>x</sub>	Bezeichnung für Mischungen ver- schiedener Stickstoffoxide, insb. NO NO <sub>2</sub>
F	Fluor	ÖPNV	öffentlicher Personennahverkehr
FAL	Forschungsanstalt für Landwirt- schaft	PAH	polycyclic aromatic hydrocarbons = polycyclische aromatische Koh- lenwasserstoffe
GE	Getreideeinheiten — Meßzahl für den Netto-Energiewert von Nah- rungs- und Futtermitteln	PE	Primärenergie
Growian	„Große Windenergie-Anlage“ (BMFT-Projekt, 3 MW <sub>el</sub> )	Pkm	Einheit für Personenverkehrs- leistungen in Personen · km
GVE	Großvieheinheit = 500 kg Lebend- gewicht	ppm	parts per million = 10 <sup>-6</sup>
		S	Schwefel

SO <sub>2</sub>	Schwefeldioxid	VDEW	Vereinigung Deutscher Elektrizitätswerke
SNG	künstliches Erdgas (Synthetic Natural Gas)		
SKE	Steinkohleneinheit; 1 kg SKE = 7 000 kcal = 29,31 MJ 1 t SKE = 29,31 GJ ≈ 30 GJ 1 Mio t SKE ≈ 30 PJ	VIK	Vereinigung industrieller Kraftwirtschaft
SR-U	Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen	W	Leistungseinheit Watt
StrlSchV	Strahlenschutzverordnung		Zehnerpotenzen im internationalen Einheitensystem
SWR	Siedewasserreaktor		
TA Luft	Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft	E = Exa-	= 10 <sup>18</sup>
TCDD	2, 3, 7, 8-Tetrachlor-dibenzo-paradioxin	P = Peta-	= 10 <sup>15</sup>
tkm	Einheit für Güterverkehrsleistung in Tonnen · km	T = Tera-	= 10 <sup>12</sup>
TWh	Tetrawattstunden = 10 <sup>12</sup> Wh = 10 <sup>9</sup> kWh	G = Giga-	= 10 <sup>9</sup>
Tz	Textziffer	M = Mega-	= 10 <sup>6</sup>
UBA	Umweltbundesamt	k = Kilo	= 10 <sup>3</sup>
		m = Milli	= 10 <sup>-3</sup>
		μ = Mikro	= 10 <sup>-10</sup>
		n = Nano	= 10 <sup>-9</sup>
		P = Pico	= 10 <sup>-12</sup>
		f = Femto	= 10 <sup>-15</sup>
		a = Atto	= 10 <sup>-18</sup>

## Bisher veröffentlichte Gutachten des Sachverständigenrates

1. Sondergutachten „Auto und Umwelt“  
104 Seiten, DIN A 5, kartoniert, erschienen im Oktober 1973, Preis: DM 9,—  
Verlag W. Kohlhammer GmbH, Postfach 42 11 20, 6500 Mainz 42  
vergriffen
2. Sondergutachten „Die Abwasserabgabe“  
90 Seiten, DIN A 4, kartoniert, erschienen im Februar 1974, Preis: DM 6,—  
Verlag W. Kohlhammer GmbH, Postfach 42 11 20, 6500 Mainz 42  
vergriffen
- Hauptgutachten „Umweltgutachten 1974“  
320 Seiten, Format 18,4 × 26,4 cm, Plastikeinband, erschienen im Juni 1974,  
Preis: DM 28,—  
Verlag W. Kohlhammer GmbH, Postfach 42 11 20, 6500 Mainz 42  
vergriffen  
als Bundestagsdrucksache 7/2802  
320 Seiten, DIN A 4, geheftet, Preis: DM 8,60  
Verlag Dr. Hans Heger, Postfach 821, 5300 Bonn-Bad Godesberg 1
3. Sondergutachten „Umweltprobleme des Rheins“  
258 Seiten, 9 mehrfarbige Karten, Format 18,4 × 26,4 cm, Plastikeinband, erschienen  
im Mai 1976, Preis: DM 20,—  
Verlag W. Kohlhammer GmbH, Postfach 42 11 20, 6500 Mainz 42  
als Bundestagsdrucksache 7/5014  
258 Seiten, 9 mehrfarbige Karten, DIN A 4, kartoniert, Preis: DM 11,20  
Verlag Dr. Hans Heger, Postfach 821, 5300 Bonn-Bad Godesberg 1
- Hauptgutachten „Umweltgutachten 1978“  
638 Seiten, Format 18,4 × 26,4 cm, Plastikeinband, erschienen im August 1978,  
Preis: DM 33,—  
Verlag W. Kohlhammer GmbH, Postfach 42 11 20, 6500 Mainz 42  
als Bundestagsdrucksache 8/1938  
638 Seiten, DIN A 4, geheftet, Preis: DM 12,60  
Verlag Dr. Hans Heger, Postfach 821, 5300 Bonn-Bad Godesberg 1
- Stellungnahme „Umweltchemikalien“  
Entwurf eines Gesetzes zum Schutz vor gefährlichen Stoffen, mit Stellungnahme des  
Rates, 74 Seiten, erschienen im September 1979,  
Herausgeber: Bundesministerium des Innern, Referat Öffentlichkeitsarbeit, Grau-  
rheindorfer Str. 198, 5300 Bonn
- Sondergutachten „Umweltprobleme der Nordsee“  
508 Seiten, Format 18,4 × 26,4 cm Plastikeinband, erschienen im Oktober 1980,  
Preis: DM 23,—  
Verlag W. Kohlhammer GmbH, Postfach 41 11 20, 6500 Mainz 42

## Literaturverzeichnis und Anmerkungen

### Literatur zu Teil 1

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (div. Jahrgänge): Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland.

atw 24 (1979): Abgabe radioaktiver Stoffe aus Wiederaufarbeitungsanlagen in der EG 1972—1976. — atw 24 (12), 612—613.

BMI (1975): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung. — Jahresbericht 1975; Herausgeber: Der Bundesminister des Innern.

BMI (1975a): Richtlinie zur Überwachung der Abgabe radioaktiver Stoffe mit der Kaminabluft von Kernkraftwerken mit leichtwassergekühltem Reaktor (Stand: September 1975). — Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz Nr. 3.21. Herausgeber: Der Bundesminister des Innern.

BMI (1976): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung. — Jahresbericht 1976; Herausgeber: Der Bundesminister des Innern.

BMI (1976a): Vergleichbarkeit der natürlichen Strahlenexposition mit der Strahlenexposition durch kerntechnische Anlagen. — Stellungnahme der Strahlenschutzkommission vom 16. Dezember 1976; Herausgeber: Der Bundesminister des Innern.

BMI (1976b): Zur Toxizität inhalierter heißer Partikel insbesondere von Plutonium. — Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom 19. Februar 1976. Herausgeber: Der Bundesminister des Innern.

BMI (1977): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung. — Jahresbericht 1977; Herausgeber: Der Bundesminister des Innern.

BMI (1978): Kontrolle der Eigenüberwachung radioaktiver Emissionen aus Kernkraftwerken vom 10. Mai 1978. — Handbuch Reaktorsicherheit und Strahlenschutz Nr. 3.44. Herausgeber: Der Bundesminister des Innern. — Köln (Ges. f. Reaktorsicherheit).

Bundesministerium für Wirtschaft (1977): Energieprogramm der Bundesregierung, zweite Fortschreibung vom 14. 12. 1977.

CECH, F., KÖGL, B., FRITZ, W. (1980): Energieeinsparung in Großraffinerien — Wege zur Realisierung. — Vortrag auf der ÖGEW/DGMK-Gemeinschaftstagung vom 22.—24. Oktober 1980 in München.

CHRISP, C. E., FISLER, G. L., LAMMERT, J. E. (1978): Mutagenicity of filtrates from respirable coal fly ash. — Science 199, 73.

CLARK, C. R., HOBBS, C. H. (1980): Mutagenicity of effluents from an experimental fluidized bed coal combustor. — Environm. Mutagen. 2, 101—109.

CONCAWE (1977): Survey on Quality of Refinery Effluents in Europe. — CONCAWE Report-Nr. 4 (1977).

DAVIDS, D., GLIWA, H. (1977): Emissionsfaktoren für Feuerungsanlagen für feste Brennstoffe. — Gesundheitsingenieur 98, 50.

DEUTSCHER BUNDESTAG (1977): Entsorgungsbericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag. — Bundestagsdrucksache 8/1281.

DEUTSCHER BUNDESTAG (1979): Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahre 1977“. — Bundestagsdrucksache 8/3119.

DEUTSCHER BUNDESTAG (1980): Bericht der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag über „Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahre 1978“. — Bundestagsdrucksache 8/4101.

DRS, Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke (1979): Eine Untersuchung zu dem durch Störfälle in Kernkraftwerken verursachten Risiko. — Köln (TÜV Rheinland).

ECKE, H. O. G., DREYHAUPT, F. J. (1977): Environmental Protection Policy and Measures to Reduce Hydrocarbon Emissions from Oil Refineries. — Welt-Erdöl-Konferenz Panel Discussion 24 (2), 229—241.

EISENHUT, W. (1979): Diffuse Quellen in übertägigen Anlagen des Bergbaus und in Kokereien. — VDI-Berichte Nr. 339.

ENERGIEDISKUSSION (1978): Betriebserfahrungen in der Wiederaufarbeitungsanlage Karlsruhe (WAK). — Energiediskussion (1978), 27—30; Herausgeber: Der Bundesminister für Forschung und Technologie.

Enquête-Kommission Zukünftige Kernenergiepolitik (1980): Bericht über den Stand der Arbeit und die Ergebnisse der Enquête-Kommission Zukünftige Kernenergie-Politik des 8. Deutschen Bundestages. — Bundestagsdrucksache 8/4341.

EURATOM (1980): Richtlinie des Rates vom 15. Juli 1980 zur Änderung der Richtlinien, mit denen die Grundnormen für den Gesundheitsschutz der Bevölkerung und der Arbeitskräfte gegen die Gefahren ionisierender Strahlung festgelegt wurden. — ABJ. L 246/1 vom 17. 9. 1980.

FASSBENDER, J., KRÖGER, W., WOLTERS, J. (1981): Zur Störfalltopologie des Hochtemperaturreaktors. — Atomkernenergie/Kerntechnik 37, 81.

FRANCK, H.-G., KNOP, A. (1979): Kohleveredelung — Chemie und Technologie. — Berlin, Heidelberg, New York (Springer).



- GARNREITER, F., LEGLER, H. (1980): Gesamtwirtschaftliche Aspekte des Energieverbrauchs. — Berichte der Fraunhofer-Gesellschaft 4/80.
- GATES, W. (1980): Modeling the surface temperature changes due to increased atmospheric CO<sub>2</sub>, in: Bach, W., Pankrath, J. u. Williams, J. (Eds.): Interactions of energy and climate, 169—190.
- GOEDECKE, H., KÖNIGS, H.-B. (1979): Die Entwicklung der technischen und wirtschaftlichen Nutzung einer kalorienarmen Braunkohlenlagestätte am Beispiel des Rheinischen Reviers. — Vortrag auf dem Weltbergbaukongreß Istanbul 1979.
- HÄFELE, W., SCHRATTENHOLZER, L. (1979): Modelle für Energiebedarf und -verbrauch im weltweiten Rahmen, in: Energiemodell für die Bundesrepublik Deutschland (Voß, A. und Schmitz, K., Eds.).
- HÖTTEMANN, K.H. (1980): ENCON-Maßnahmen am Beispiel einer Raffinerie — Maßstab (POG), Erfolgsbilanz, Verfahren. — Vortrag auf der ÖGEW/DGMK-Gemeinschaftstagung vom 22.—24. 10. 1980 in München.
- ICRP (1977): Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission. — Veröffentlichungen der Internationalen Strahlenschutzkommission, H. 26 Stuttgart, New York.
- IDSÖ, S. B. (1980): The climatological significance of a doubling of Earth's atmospheric carbon dioxide concentration. — Science 207, 1462—1463.
- Ifo-Institut für Wirtschaftsforschung (1980): Probleme der Energieversorgung in den 80er Jahren. — ifo-Schnelldienst 33 (17/18), 1—17.
- Ifo-Institut für Wirtschaftsforschung (1981): Weltrohstoffpreise bis zuletzt gesunken. — ifo-Schnelldienst 34 (7), 3—7.
- KARTE, W., PILTZ, H. (1981): Wettbewerb und Wärmemarkt. — Energiewirtschaftliche Tagesfragen 31, 127—130.
- KRAUSE, F., BOSSEL, H., MÜLLER-REISSMANN, K.-F. (1980): Energiewende, Wachstum und Wohlstand ohne Erdöl und Uran. — Frankfurt/Main (Fischer).
- LEUSCHNER, H.-J. (1980): Braunkohlengewinnung im rheinischen Revier in Einklang mit Umwelt und Gesellschaft. — Brennst.-Wärme-Kraft 32 (9), 427—433.
- LEUSCHNER, H.-J. (1980a): Sichere Energie aus dem rheinischen Braunkohlenrevier. — Manuskript vom 4. 11. 1980 für die Handelsblatt-Sonderausgabe „Köln“ vom 10. 11. 1980.
- LINDACKERS, K. H. (1980): Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen. — Technische Mitteilungen 73 (6/7).
- LINDACKERS, K. H. (1980a): Risiken aus der Energiebedarfsdeckung. — Vortrag auf der Jahrestagung des Deutschen Atomforums, Mainz 22. 1. 1980.
- LUFTREINHALTEPLAN Rheinschiene Süd (Köln) 1977—1981 (1977): Der Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen.
- LUFTREINHALTEPLAN Ruhrgebiet West (Duisburg, Oberhausen, Mülheim) 1978—1982 (1978): Der Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen.
- LUFTREINHALTEPLAN Ruhrgebiet Ost (Dortmund) 1979—1983 (1979): Der Minister für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes Nordrhein-Westfalen.
- MAGS (1978): Sicherheit von Hochtemperaturreaktoren. — Ein Beitrag zur Diskussion über die friedliche Nutzung der Kernenergie. — Ergebnis eines vom Ministerium für Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NW (Hrsg.) veranstaltenden Kolloquiums am 4. Juli 1977 in der KFA Jülich, Düsseldorf.
- NEWELL, R. E., DOPPLICK, I. G. (1979): Questions concerning the possible influence of anthropogenic CO<sub>2</sub> on atmospheric temperature. — Journ. Appl. Met. 18, 822—825.
- PESTEL, E. (1980): Vortrag vor dem Landesparteitag der CDU Hessens 1980. atom-information 9/80.
- PRINZ, B. (1980): Wirkungen von Luftverunreinigungen auf Pflanzen und Möglichkeiten zum verbesserten Schutz der Vegetation in der Bundesrepublik Deutschland. — Gutachten für den Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (unveröffentlicht).
- RASMUSSEN, N. C. (1975): An Assessment of Accident Risks in US Commercial Power Plants. — United States Nuclear Regulatory Commission, WASH-1400 (NUREG-75/014), October 1975.
- Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1976): Umweltprobleme des Rheins. — Mainz (Kohlhammer).
- Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (1978): Umweltgutachten 1978. — Mainz (Kohlhammer).
- Rhein-Ruhr-Stiftung (P. Davids, L. Düwel, K. H. Krieb) (1978): Luftverbesserung durch Neubau von Steinkohlekraftwerken — Möglichkeiten und Grenzen. — Essen.
- RICHTLINIE zu § 45 StrlSchV (1979): Allgemeine Berechnungsgrundlagen für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit Abluft oder in Oberflächengewässer (Richtlinie zu § 45 StrlSchV) vom 15. August 1979; GMBL 1979, 371—435.
- RICK, K. (1974): Feste Abfallstoffe des Steinkohlenbergbaus im Ruhrgebiet und ihre Bewirtschaftung. — Technische Mitteilungen 67 (1), 44—46.
- SCHADE, H., GLIWA, H. (1978): Die Feststoffemissionen in der Bundesrepublik Deutschland und im Lande Nordrhein-Westfalen in den Jahren 1965, 1970, 1973, 1974. — Materialien zur Umweltforschung, 4 herausgegeben vom Rat von Sachverständigen für Umweltfragen, Mainz (Kohlhammer).
- SCHÄFER, H. (1980): Struktur und Analyse des Energieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschland. — München.

STATISTISCHES BUNDESAMT: Statistisches Jahrbuch für die Bundesrepublik Deutschland, div. Jahrgänge.

STRAHLENSCHUTZVERORDNUNG (1976): Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung-StrlSchV) vom 13. Oktober 1976; BGBl. I 1976, 2905 und BGBl. I 1977, 184 und 269.

UBA, (Umweltbundesamt) (1981): Cadmium-Bericht-UBA: Texte 1/81.

ULRICH, B., MAYER, R., KHANNA, P. K. (1979): Deposition von Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in Waldökosystemen im Solling. — Schriften aus der Forstlichen Fakultät der Universität Göttingen und der Niedersächs. Forstlichen Versuchsanstalt 58, 1—291. — Frankfurt/Main (Sauerländer).

WENTZEL, F. K. (1980): Ausführungen anlässlich einer „Anhörung über Erkenntnisse und Forderungen zu Fragen des Natur- und Artenschutzes und Schadstoffbelastung, Belastungsgebiete“ 20./21. 3. 1980. Wortprotokoll. — Bonn (Steuerungsgruppe der Projektgruppe Erarbeitung von Grundlagen für ein Aktionsprogramm Ökologie).

ZELENSKI, S. G., PANGACO, N., HALL-ENOS, J. H. (1980): Inventory of organic emissions from fuel combustion for power generation. — Electric Power Research Institute, EA — 1394, Technical Planning Study TPS 78—820. — Palo Alto.

DWK (Deutsche Gesellschaft für Wiederaufarbeitung von Kernbrennstoffen) (1980): Die Entsorgung der deutschen Kernkraftwerke. — Hamburg.

## Literatur zu Teil 2

Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen (Hrsg.) (lfd. Jahrgänge): Energiebilanzen der Bundesrepublik Deutschland, Bd. II.

ATTLMAYR, E. (1979): Die neuen Wärmeschutzbestimmungen in Schweden. — Heizung, Lüftung, Haustechnik 30, 37.

BMBau (1980): Geschäftszeichen: B I 3 E/B 1407. — 4/80.

BMFT (Hrsg.) (um 1976): Energiequellen für morgen?, Teil III: Nutzung der Windenergie. — Frankfurt a. M.

BMFT (Hrsg.) (um 1976): Energiequellen für morgen?, Teil VI: Nutzung der Wasserenergien. — Frankfurt a. M.

BRUNNER, C. U. (1977): Fenster — Wärmeloch oder Sonnenkollektor? — Schweizer Bauzeitung (45).

DÖLLEKES, H. P. (1976): Planung der Energie- und Umweltpolitik. — Beitrag zum Siedlungs- und Wohnungswesen und zur Raumplanung Bd. 29. — Münster (Westf.).

DOLINSKI, V., LABAHN, K.-d. (1980): Zum Problem der Substitutionsmöglichkeit von Mineralölproduk-

ten durch andere Energieträger — dargestellt am Beispiel eines Bundeslandes. — DIW, Sonderh. 132. — Berlin.

DOOSE, U. (1980): Zur Problematik des Anschluß- und Benutzungszwangs, in: Institut für Städtebau Berlin (Hrsg.): Rationelle Energieverwendung und Siedlungsplanung, 123 ff. — Berlin.

EBERSBACH, K. F. (1980): Schwerpunkte der Energieeinsparung in der Industrie. — Rationalisierung 31.

GARNREITER, F., LEGLER, H. (1980): Hypothesen über den Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Wirtschaftswachstum und -struktur, Beschäftigung und internationale Wettbewerbsfähigkeit. — Arbeitspapier, ISI — A — 1. 80. — Karlsruhe.

HAMPICKE, U. (1979): Wirtschaftspolitische Maßnahmen zur Einsparung von Energie in der Industrie, in: Meyer-Abich, K. M. (Hrsg.): Energieeinsparung als neue Energiequelle, Wirtschaftspolitische Möglichkeiten und alternative Technologien, 101 ff. — München, Wien.

HEIN, K. (1980): Konzepte für die Abstimmung von Wärmeversorgungssystemen und Siedlungsplanung im ländlichen Raum, in: Institut für Städtebau Berlin (Hrsg.): Rationelle Energieverwendung und Siedlungsplanung, 87 ff. — Berlin.

HÖRSTER, H. u. a. (Hrsg.) (1980): Wege zum energiesparenden Wohnhaus. — Hamburg.

HUCKE, J. et al. (1981): Umweltschutz in der öffentlichen Vergabepolitik. — Berlin.

INDEN, P. P. (1977): Mikrobielle Methanerzeugung aus Biomasse durch anaerobe Fermentation im technischen Maßstab, Systemanalyse u. Wirtschaftlichkeitsbetrachtung. — KFA Jülich, Berichte 1463.

JARASS, L., OBERMAIR, G. (1980): Windenergie — Potential und Wirtschaftlichkeit. — Energiewirtschaftliche Tagesfragen 30 (9), 672—675.

KARL, H.-D. (1980): Die Entwicklung des spezifischen Energieverbrauchs der Industrie, in: Probleme der Energieversorgung in den 80er Jahren. — Ifo-Schnelldienst, 33 (17/18), 47 ff.

KLAUDER, W. (1980): Zu den Arbeitsmarktauswirkungen unterschiedlicher Energiestrukturen. — Mitteilung aus der Arbeitsmarkt- und Berufsforschung (13), 1 ff.

KRIEGSMANN, K.-P., NEU, A. D. (1980): Sektoraler Strukturwandel und Energieverbrauch. — Zeitschrift für Energiewirtschaft (3).

KUPPLER, F. H. (1980): Heizkostenverteilung — technische Grundlagen und praktische Anwendung. — Karlsruhe.

LAMBERTS, W., LÖBBE, E. et al. (1979): Analyse der strukturellen Entwicklung der deutschen Wirtschaft, Strukturberichterstattung. — Essen.

LAMMERS, B., MIEBACH, P., RECKER, M. (1978): Energienachfrage im Lichte wirtschaftlichen Ge-

- schehens in der Bundesrepublik Deutschland, Teil I: Entwicklung des Energiemarktes. Interner Bericht, RWE-AG. — Essen.
- LEUSCHNER, H.-J. (1980): Sichere Energie aus dem rheinischen Braunkohlenrevier. — Mskpt. vom 4. 11. 1980 für die Handelsblatt-Sonderausg. „Köln“ vom 10. 11. 1980.
- LIEB, W. (1979): Wirtschaftliche Maßnahmen zur Einsparung von Energie im Verkehr, in: Meyer-Abich, K. M. (Hrsg.): Energieeinsparung als neue Energiequelle, Wirtschaftspolitische Möglichkeiten und alternative Technologien. — München, Wien.
- LUHMANN, H.-J. (1979): Wirtschaftspolitische Maßnahmen zur Einsparung von Energie im Sektor „Haushalte und Kleinverbraucher“, in: Meyer-Abich, K. M. (Hrsg.): Energieeinsparung als neue Energiequelle, Wirtschaftspolitische Möglichkeiten und alternative Technologien, 201 ff. — München, Wien.
- MEINHOLD, K. (1981): Produktion nachwachsender Rohstoffe — Eine Chance für Landwirte in Deutschland? — Ein Bericht über Aktivitäten der Bundesforschungsanstalt für Landwirtschaft, Mskpt. der DLG. — Braunschweig.
- MEIXNER, H. (1980): Technologische Entwicklung und natürliche Reproduktionsgrundlagen. — Frankfurt a. M.
- MEYER-ABICH, K. M., MEIXNER, H. (1979): Energieeinsparung, ein neues Ziel der Energiepolitik, in: Meyer-Abich, K. M. (Hrsg.): Energieeinsparung als neue Energiequelle, Wirtschaftspolitische Möglichkeiten und alternative Technologien, 25 ff. — München, Wien.
- MÜLLER, R. (1980): Die Kohleveredelung in der Bundesrepublik Deutschland aus der Sicht der KWU. — Chemie-Technik 9, 411—415.
- MÜNCH, P. (1980): Funktionen der Querverbund-Unternehmen, in: Institut für Städtebau Berlin (Hrsg.): Rationelle Energieverwendung und Siedlungsplanung, 1099 ff. — Berlin.
- NEBELUNG, H., GOLLING, B., WURM, A. (1976): Spezifischer Energieeinsatz im Verkehr. Ermittlung und Vergleich spezifischer Energieverbräuche. — Studie im Auftrag des Bundesministers für Verkehr.
- NIEDNER, G. (1980): Zur verbesserten organisatorischen Zusammenarbeit zwischen Bauleitplanung und kommunaler Energieversorgungsplanung, in: Institut für Städtebau Berlin (Hrsg.): Rationelle Energieverwendung und Siedlungsplanung, 131 ff. — Berlin.
- PISCHINGER, F. (1980): Energiesparende und umweltfreundliche Kraftfahrzeuge. — Umschau 80 (9), 259—264.
- RAMMER, P. (1980): Weg vom Öl durch Substitution und neue Technologien, in: Probleme der Energieversorgung in den 80er Jahren. — Ifo-Schnelldienst (17/18), 35 ff.
- Rhein-Ruhr-Stiftung (1978): Luftverbesserung durch Neubau von Steinkohlenkraftwerken — Möglichkeiten und Grenzen. — Essen.
- ROTH, U. et al. (1980): Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen — Bonn. — Schriftenreihe Raumordnung des BMBau, Nr. 06.044.
- SCHÄFER, H. (1980): Struktur und Analyse des Energieverbrauchs der Bundesrepublik Deutschland. — München.
- SCHMITZ, K. (1980): Entwicklung des künftigen Energiebedarfs nach Struktur und Menge bei Berücksichtigung der verschiedenen Einsparmöglichkeiten, in: Institut für Städtebau Berlin (Hrsg.): Rationelle Energieverwendung und Siedlungsplanung, 31 ff. — Berlin.
- SCHWANHÄUSSER, W., GOLLING, B. (1978): Ermittlung des Energieverbrauchs und der Schadstoffemissionen im bodengebundenen Personenverkehr bei alternativen Verkehrssystemstrukturen im Jahr 1985. — Studie im Auftrag des Bundesministers für Verkehr.
- SIEVERTS, H. W., VOLWAHSEN, A., ROTH U. (1980): Rationelle Energieverwendung im Rahmen der kommunalen Entwicklungsplanung. — Schriftenreihe Städtebauliche Forschung des BMBau, Nr. 03.083,147.
- STAEGE, H. (1980): Energiesysteme bei der Anwendung der Flugstromvergasung von Kohle. — Chemie-Technik 9, 129—134.
- STREHLER, A. (1979): Energie aus der Verbrennung land- und forstwirtschaftlicher Rohstoffe. — Berichte über Landwirtschaft, 195. Sonderh.: Agrarwirtschaft und Energie, 224—236.
- TÜV-Rheinland (1980): Das Abgas-Emissionsverhalten von Personenkraftwagen in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1977.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (1980): Emissionsfaktoren für Luftverunreinigung. — Berlin. — Materialien 2/80.
- Umweltbundesamt (Hrsg.) (1978): Das Emissionsverhalten von Personenkraftwagen in der Bundesrepublik Deutschland im Bezugsjahr 1975. — Bearb. vom TÜV Rheinland e. V. — UBA-Berichte 3/78.

### Anmerkungen zu Kapitel 3.1

- 1) Schätzung der VIK, Essen, für 1980; installiert 1979: 8 191 MW, VIK-Tätigkeitsbericht 1979/80, S. 33.
- 2) Die Elektrizitätswirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1979 — Statistischer Jahresbericht des Referates Elektrizitätswirtschaft im BMWi, in: Elektrizitätswirtschaft 1980, S. 898.
- 3) Wie Anm. 2), S. 879.
- 4) Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e. V., Gesamtstudie über die Möglichkeiten der Fernwärmeverversorgung aus Heizkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland, Bonn 1977, Bd. B 7, S. 11.

- 5) VDEW, Kohlegefeuerte Kleinkraftwerke — eine Alternative zu großen Kraftwerkseinheiten?, Frankfurt 1980.
- 6) Gesetz zur Förderung der Energiewirtschaft v. 13. 12. 1935 (RGBl. I S. 1451), zuletzt geänd. d. Gesetz v. 19. 12. 1977 (BGBl. I S. 2750).
- 7) § 4 Abs. 1 EnWG u. 3. Durchführungsverordnung z. EnWG v. 8. 11. 1938 (RGBl. I S. 1612), zuletzt geänd. d. Verordnung v. 7. 10. 1970 (BGBl. I S. 1370).
- 8) § 4 Abs. 2 EnWG.
- 9) Beschluß des von den Wirtschaftsministern des Bundes und der Länder gebildeten Ausschusses Elektrizität v. 21. 7. 1964 zu § 4 EnWG, abgedr. in: Obernolte-Danner, Energiewirtschaftsrecht, Loseblatt-Kommentar, München, Stand 20. 4. 1980, Bd. I, S. 108 f.
- 10) Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft) v. 28. 8. 1974 (GMBl. S. 426, 525); zu den Immissionsgrenzwerten s. dort Nr. 2.4.
- 11) Entwurf eines Zweiten Gesetzes zur Änderung des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BT-Drs. 8/2751); dieses v. 15. 3. 1974 (BGBl. I S. 721, 1193), zuletzt geänd. d. Gesetz v. 13. 8. 1980 (BGBl. I S. 1310).
- 12) Ebenda, Art. 1 Nr. 3 b u. Nr. 3 c (vorgesehen als §§ 6 b und 6 c).
- 13) Nrn. 2.2.1.3 u. 2.2.1.4.
- 14) So der Interpretationsvorschlag des Länderausschusses für Immissionsschutz, in: Niederschrift über die 34. Sitzung am 18./19. 6. 1979, unter B zu Punkt 2 der Tagesordnung.
- 15) In der Fassung der Bekanntmachung v. 18. 8. 1976 (BGBl. I S. 2257, 3617), zuletzt geändert d. Gesetz v. 6. 7. 1979 (BGBl. I S. 949).
- 16) Verordnung über die bauliche Nutzung der Grundstücke, in der Fassung der Bekanntmachung v. 15. 9. 1977 (BGBl. I S. 1763).
- 17) S. §§ 8, 9 BauNVO. In Gewerbegebieten dürften allerdings nur sehr kleine Wärme-Kraft-Kopplungsanlagen Platz haben.
- 18) Zur (mittelbaren) Anwendbarkeit von § 15 BauNVO auch im Anwendungsbereich v. § 34 BBauG s. Fickert-Fieseler, BauNVO, Kommentar, 4. Aufl., Köln 1979, § 15 Anm. 4 a. E.
- 19) S. etwa BVerwG, Urt. v. 12. 12. 1975, E 50, 49.
- 20) Runderlaß d. Min. f. Arbeit, Gesundheit und Soziales des Landes NW v. 25. 7. 1974 (MinBl. S. 992), geänd. d. Runderlaß v. 2. 11. 1977 (MinBl. S. 1688).
- 21) Gem. § 8 Abs. 10 Bundesfernstraßengesetz in der Fassung der Bekanntmachung v. 1. 10. 1974 (BGBl. I S. 2413, 2908), zuletzt geänd. d. Gesetz v. 18. 8. 1976 (BGBl. I S. 2221) — bzw. entsprechender Vorschriften in den Straßengesetzen der Länder — i. V. m. § 903 des Bürgerlichen Gesetzbuches v. 18. 8. 1896 (RGBl. S. 195), zuletzt geänd. d. Gesetz v. 13. 8. 1980 (BGBl. I S. 1308).
- 22) Statthaft nach § 103 Abs. 1 Nr. 2 des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen (GWB) in der Fassung der Bekanntmachung v. 24. 9. 1980 (BGBl. I S. 1761).
- 23) Statthaft, da die Träger der Straßenbaulast nicht als Unternehmen im Sinne des § 1 GWB gelten; anderer Auffassung: Biedenkopf-Kellmann, Die wege- und kartellrechtliche Problematik der Verlegung von Energieversorgungsleitungen für den Eigenbedarf, Essen 1970, S. 19.
- 24) Statthaft nach § 103 Abs. 1 Nr. 1 GWB.
- 25) S. Anm. 22).
- 26) § 6 Abs. 1 EnWG.
- 27) Viertes Gesetz zur Änderung des Gesetzes gegen Wettbewerbsbeschränkungen v. 26. 4. 1980 (BGBl. I S. 458).
- 28) § 103 Abs. 5 S. 4 GWB.
- 29) Abgedr. in: VIK-Mitteilungen 1979, S. 71 ff.
- 30) Gleichzeitiger Bezug von Strom aus Eigenanlagen und aus dem Netz der Elektrizitätsversorgungsunternehmen.
- 31) § 6 Abs. 1 Nr. 6 der 5. Durchführungsverordnung z. EnWG v. 21. 10. 1940 (RGBl. I S. 1391), geänd. d. Verordnung v. 21. 6. 1979 (BGBl. I S. 684).
- 32) A. a. O. (Anm. 4), S. 13.
- 33) Ein erster Entwurf einer solchen auf § 7 BImSchG zu stützenden Rechtsverordnung wird z. Z. vom BMI erarbeitet.
- 34) Ausführlich hierzu: Bosch, BauR 1978, 268 (274 f.); Weyreuther, BauR 1981, 1 (10 ff.); beide mit weiteren Nachweisen, auch aus der Rspr.
- 35) S. etwa einerseits Dyong: in; Ernst-Zinkahn-Bielenberg, BBauG, Loseblatt-Kommentar, München, Stand Juni 1980, § 35 Rdnrn. 43 u. 48, andererseits Hoppe, NJW 1978, 1229, sowie BVerwG, Urt. v. 21. 7. 1977, DVBl. 1977, 526; jeweils mit weiteren Nachweisen.
- 36) So insbesondere Hoppe, NJW 1978, 1229 und Bosch, BauR 1978, 268 (275). Das BVerwG hat diese Frage für nach § 35 Abs. 1 BBauG privilegierte Vorhaben allerdings noch nicht entschieden.
- 37) In der Fassung der Bekanntmachung v. 28. 11. 1979 (GVBl. S. 878).
- 38) Die einzelnen landesrechtlichen Ermächtigungsnormen sind zusammengestellt in: Gesamtstudie Fernwärme (s. Anm. 4), Bd. 6 B, Anlage 6.3, 6. Spalte.
- 39) So zuletzt: BGH, Urt. v. 22. 5. 1980, NJW 1980, 2705 (2706).
- 40) Eine Gesamtübersicht über die unterschiedlichen Voraussetzungen der Ermächtigungsnormen findet sich in: Gesamtstudie Fernwärme (s. Anm. 4), Bd. 6 B, Anlage 6.3, 3. Spalte.
- 41) Ausführlich zu dieser Frage: Heigl, Fernwärmeversorgung in der Bundesrepublik Deutschland, in: Heft 36 der Schriftenreihe d. Instituts f. Kommunalwissenschaften und Umweltschutz, Linz 1977, S. 59 (73 ff.).
- 42) Grundgesetz für die Bundesrepublik Deutschland v. 23. 5. 1949 (BGBl. S. 1), zuletzt geänd. d. Gesetz v. 23. 8. 1976 (BGBl. I S. 2383).
- 43) Einen Überblick über die Rspr. zu enteignungsrechtlichen Fragen des Anschluß- und Benutzungszwanges gibt Heigl, a. a. O. (Anm. 4), S. 71 ff. Vgl. ferner: BGH, Urt. v. 22. 5. 1980, NJW 1980, 2705.
- 44) S. § 5 Landes-Immissionsschutzgesetz NW v. 18. 3. 1975 (GVBl. S. 232), geänd. d. Gesetz v. 18. 9. 1979 (GVBl. S. 552), Art. 10 Bay. Immissionsschutzgesetz v. 8. 10. 1974 (GVBl. S. 499), geänd. d. Gesetz v. 23. 7. 1976 (GVBl. I S. 294), § 118 Abs. 2 Nr. 4 Hess. Bauordnung in der Fassung der Bekanntmachung v. 16. 12. 1977 (GVBl. 1978 I S. 1).
- 45) Programmbereich „Ausbau der Fernwärmeversorgung in städtischen Schwerpunktbereichen“ (dotiert mit 680 Mio DM) gem. Art. 3 der Verwaltungsvereinbarung zwischen dem Bund und den Ländern v. 3. 5. 1977, MinBl. d. BMF u. d. BMWi 1977, S. 338.

### Literatur zu Kapitel 3.2

AG Fernwärme (Arbeitsgemeinschaft Fernwärme e. V.) (1977): Gesamtstudie über die Möglichkeiten der Fernwärmeversorgung aus Heizkraftwerken in der Bundesrepublik Deutschland. Kurzfassung. — Bonn. 240 ff.

BIRG, H. (1980): Berechnungen zur langfristigen Bevölkerungsentwicklung in den 343 Städten und Landkreisen der Bundesrepublik Deutschland. — DIW Wochenbericht 25, 274.

BMWi (1980): Die Elektrizitätswirtschaft in der Bundesrepublik Deutschland im Jahre 1979. — Elektrizitätswirtschaft 79 (Heft 23), 875—913.

- GANSER, K., BAHR, W. (1980): Ein raumbezogenes Konzept für die Energieversorgung der Bundesrepublik Deutschland. Gutachten für den Rat von Sachverständigen für Umweltfragen. Okt. 1980. Unveröffentlichtes Manuskript.
- MAGS (Min. f. Arbeit, Gesundheit u. Soziales des Landes NW) (1980): Luftreinhalteplan Ruhrgebiet Mitte 1980—1984. — Düsseldorf. 290 f.
- ROTH, U. et al. (1980): Wechselwirkungen zwischen der Siedlungsstruktur und Wärmeversorgungssystemen. — Bonn. — Schriftenreihe Raumordnung des BMBau, Nr. 06.044.
- SCHULTEN, R. et al. (1975): Einsatzmöglichkeiten der Kernenergie zur Deckung des Wärmebedarfs einer hochindustrialisierten Region und die sich hieraus ergebenden Strukturänderungen. — Opladen. — Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Nr. 2493, 2—125.
- TRÖSCHER, H. (1979): Systemtechnische Methoden zur Untersuchung der Möglichkeiten zentraler und dezentraler Stromerzeugung u. bes. Berücks. der Energiespeicherung und der Kraft-Wärme-Kopplung. Diss. — Essen. 285 f.
- EPA (1978): Mobile Source Emission Factors. — EPA-400/9-78-005, März 1978.
- Fünfte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Emissionskataster in Belastungsgebieten) — 5. BImSchVwV — vom 30. 1. 1979 (GMBI. 1979, S. 42).
- GABRIEL, H.; ZIMMERMANN, K. (1978): Strategien zur Regulierung von Automobilemissionen. Ökonomische und technische Auswirkungen der Clean Air Act Amendments und des Benzinbleigesetzes. — Schriften des Wissenschaftszentrums Berlin, 1. — Meisenheim am Glan (A. Hain).
- GRIMMER, G.; HILDEBRANDT, A. (1975): Untersuchungen über die karzinogene Belastung des Menschen durch Luftverunreinigung — Abschätzung von Art und Menge krebserregender polycyclischer Kohlenwasserstoffe im Abgas von Personenkraftwagen. — Biochem. Institut für Umweltcarcinogene, Ahrensburg/Hamburg (Hrsg.). — FE-Vorhaben im Auftrag des BMI, Mai 1975.
- HERLAN, A.; MAYER, J. (1978): Polycyclische Aromaten und Benzol in den Abgasen von Haushaltsfeuerungen. I. Ölöfen. — Staub-Reinhaltung der Luft 38 (4), 134—140.
- HERLAN, A.; MAYER, J. (1979): Polycyclische Aromaten in Verbrennungsgasen aus Öl- und Gasfeuerungen. — *gwf-gas/erdgas* 120 (2), 82—88.
- HORN, H. G.; BONKA, H.; SCHMIDTLEIN, P. (1978): Vortrag auf der 12. Jahrestagung des Fachverbandes Strahlenschutz e. V., Norderney, 2.—6. Oktober 1978.
- IF (1978): Die Industriefeuerung. Schriftenreihe für die Anwendung flüssiger, fester und gasförmiger Brennstoffe in der Industrie, (13), 15—31. — Essen (Vulkan-Verlag).

## Literatur zum Anhang (1.2)

- BMI-Forschungsvorhaben St. Sch. (Strahlenschutz): s. JOCKEL, W. (1980).
- BRÖKER, G.; GLIWA, H. (1978): Emissionsfaktoren für die Emission von Blei, Zink, Cadmium und Quecksilber bei Kraftwerken. — Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissionsschutz (43), 7—11.
- BROCKHAUS, A.; TOMINGAS, R. (1976): Emission polycyclischer Kohlenwasserstoffe bei Verbrennungsprozessen in kleinen Heizungsanlagen und ihre Konzentration in der Atmosphäre. — Staub-Reinhaltung der Luft 36 (3), 96—102.
- DAIMLER-BENZ (1980): Abgasgesetzgebung in Europa. — Informations-Material V-1-MA-9 der Daimler-Benz AG vom Januar 1980.
- DAVIDS, P. (1976): Emissionsfaktoren für Öl- und Gasfeuerungen. — Staub-Reinhaltung der Luft 36 (3), 91—95.
- DAVIDS, P.; GÜTHNER, G. (1979): Die Bedeutung diffuser Emissionen für die Luftreinhaltung. — Düsseldorf (VDI-Verl.). — VDI-Berichte Nr. 339, 9—12.
- ECE (1979): Economic Commission for Europe. Document ECE/TRANS/SC 1/WP 29/GRPA/11 vom 18. 10. 1979/30. 11. 1979.
- EPA (1972): Compilation of Air Pollution Emission Factors (Rev.). U. S. EPA, Office of Air Programs. Research Triangle Park, N. C., Februar 1972, Publ. No. AP-42.
- JOCKEL, W. (1980): Radioaktive Emissionen aus konventionellen Kraftwerken. Abschlußbericht. — BMI-Forschungsvorhaben St. Sch. (Strahlenschutz) 695. — Köln (TÜV Rheinland).
- KAUTZ, K.; KIRSCH, H.; LAUFHÜTTE, D. W. (1975): Über Spurenelementgehalte in Steinkohlen und den daraus entstehenden Reingasstäuben. — VGB-Kraftwerkstechnik 55, 672.
- LEPPERHOFF, G. (1980): Einflüsse auf die PAH-Emissionen bei Ottomotoren. — Dissertation, RWTH-Aachen.
- MAGS-NW (1977): Luftreinhalteplan Rheinschiene Süd (Köln) 1977—1982. — Düsseldorf.
- MAGS-NW (1977 a): Luftverunreinigungen im Raum Duisburg—Oberhausen—Mühlheim—Düsseldorf.
- MAGS-NW (1978): Luftreinhalteplan Ruhrgebiet West (Duisburg, Oberhausen, Mühlheim) 1978—1982. — Düsseldorf.
- MAGS-NW (1978 a): s. SCHADE, H.
- MAGS-NW (1979): Luftreinhalteplan Ruhrgebiet-Ost 1979—1983. — Düsseldorf.



- MEYER, H. P.; BEHN, U. (1979): Gegenüberstellung der nach dem ECE- und dem USA-CVS-Verfahren bestimmten Abgasemissionen von im Verkehr befindlichen PKW-Typen unter zusätzlicher Berücksichtigung der Emission an polycyclischen aromatischen Kohlenwasserstoffen. — FE-Vorhaben im Auftrag des Umweltbundesamtes.
- PLASSMANN, E.; ZÜNDORF, O.-J. (1977): Emissionen luftfremder Stoffe aus Hausbrandfeuerstätten und Kleingewerbebetrieben. — Köln (TÜV Rheinland). — Schriftenreihe Umweltschutz, 5.
- RHEIN-RUHR-STIFTUNG (1978): Davids, P.; Düwel, L.; Krieb, K. H.: Luftverbesserung durch Neubau von Steinkohlekraftwerken — Möglichkeiten und Grenzen. — Essen.
- SCHADE, H. (1978): Auswertung des Datenmaterials über Feuerungsanlagen im Emissionskataster Ruhrgebiet-West. — Schriftenreihe der Landesanstalt für Immissionsschutz des Landes NW (44), 64—73.
- SCHADE, H.; GLIWA, H. (1978): Die Feststoffemissionen in der Bundesrepublik Deutschland und im Lande Nordrhein-Westfalen in den Jahren 1965, 1970, 1973 und 1974. — Materialien zur Umweltforschung, 3. — Stuttgart, Mainz (Kohlhammer).
- SCHIFFENS, A.; PIETZNER, H. (1976): Chemische und physikalische Untersuchungen an Rauchgasrückständen aus braunkohlengefeuerten Kesselanlagen im Rheinischen Revier. — BRAUNKOHLE (1/2), 3—11.
- SRU (1978 a): s. WELZEL und DAVIDS (1978).
- SRU (1978 b): s. SCHADE und GLIWA (1978).
- TÜV Rheinland (1978—1980): Anhaltswerte aus der Meß- und Gutachterpraxis des TÜV Rheinland, z. T. veröffentlicht in: UBA (Hrsg.): Emissionsfaktoren für Luftverunreinigungen, S. 105—163. — Berlin (E. Schmidt). — Materialien, 2/80.
- UBA (1977): Materialien zum Immissionsschutzbericht 1977 der Bundesregierung an den Deutschen Bundestag. — Berlin (E. Schmidt).
- WELZEL, K.; DAVIDS, P. (1978): Die Kohlenmonoxidemission in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1965, 1970, 1973 und 1974 und im Lande Nordrhein-Westfalen in den Jahren 1965, 1970, 1973 und 1974. — Materialien zur Umweltforschung, 2. — Stuttgart, Mainz (Kohlhammer).