

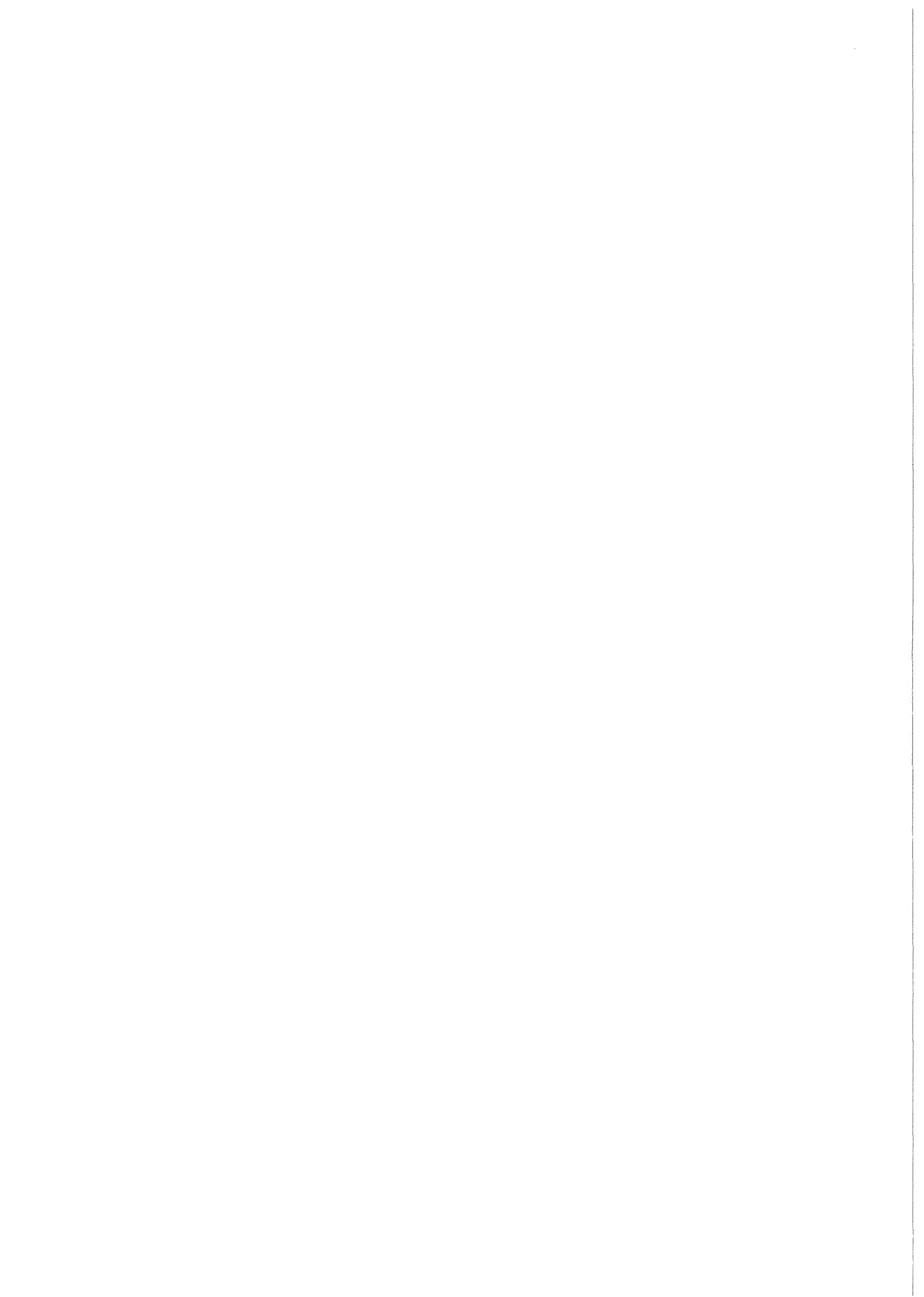
**KfK 3521**  
**Oktober 1984**

# **Folgen eines verstärkten Kohleeinsatzes in der Bundesrepublik Deutschland**

**Kurzfassung**

**R. Coenen**  
**Abteilung für Angewandte Systemanalyse**

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

Abteilung für Angewandte Systemanalyse

KfK 3521

FOLGEN EINES VERSTÄRKTEN KOHLEEINSATZES IN DER  
BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

- Kurzfassung -

R. Coenen

1. Diese Studie wurde im Auftrag des BMFT erstellt.
2. Die Aufgabenstellung wurde vom BMFT vorgegeben.
3. Der BMFT hat das Ergebnis der Studie nicht beeinflusst: Der Auftragnehmer trägt allein die Verantwortung.

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

Als Manuskript vervielfältigt  
Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
ISSN 0303-4003

## Folgen eines verstärkten Kohleeinsatzes in der Bundesrepublik Deutschland

### Zusammenfassung

Dieser Bericht enthält als Kurzfassung die Ergebnisse einer im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie durchgeführten Technikfolgenabschätzung zum verstärkten Kohleeinsatz in der Bundesrepublik Deutschland. Die Studie kommt zu dem Ergebnis, daß die Ölsubstitution durch Steinkohle ohne zusätzliche Umweltbelastungen möglich ist. Aus ökonomischer Sicht ergeben sich allerdings nur für die Verheizung von Kohle zur Fernwärme- und Prozeßwärmeversorgung günstige wirtschaftliche Perspektiven. Die gesellschaftliche Akzeptanz einer verstärkten Kohlenutzung dürfte dann gegeben sein, wenn der verstärkte Steinkohleeinsatz nach dem neuesten Stand der Umwelttechnik erfolgt und keine zusätzlichen Belastungen der Umwelt mit sich bringt.

## Consequences of an Increased Use of Coal in the Federal Republic of Germany

### Abstract

This report contains the summary version of the results of a Technology Assessment Study on the consequences of an increased use of coal in the Federal Republic of Germany which was performed within the framework of a contract by the Federal Ministry for Research and Technology. According to the analyses of this study, oil substitution by hard coal can be attained without additional detrimental impacts on the environment. However, from an economic point of view, only the production of district heat and process heat from coal has favourable economic prospects. The public acceptability of an increased coal utilization should be given if the latest state-of-the-art of environmental technology is implemented and no additional contamination of the environment will be incurred.

## Vorwort

Dieser KfK-Bericht enthält die Kurzfassung einer im Auftrag des BMFT durchgeführten Technikfolgenabschätzung zum verstärkten Steinkohleeinsatz zur Ölsubstitution in der Bundesrepublik Deutschland. Der Schlußbericht wird im Dezember 1984 beim Springer Verlag Berlin-Heidelberg-New York-Tokyo unter dem Titel "Steinkohle - Technikfolgenabschätzung ihres verstärkten Einsatzes in der Bundesrepublik Deutschland" (Herausgeber: R. Coenen) in der BMFT-Reihe "Risiko- und Sicherheitsforschung" erscheinen. Aus Platzgründen konnten drei in sich abgeschlossene Teile des Schlußberichts nicht in das Buch übernommen werden; sie werden deshalb als KfK-Berichte veröffentlicht:

- KfK 3525; G. Schufmann, M. Windieck  
Unfall- und Berufskrankheitsrisiken im Steinkohlenbergbau der Bundesrepublik Deutschland, Januar 1984
- KfK 3526: D. Brune, H. Stehfest  
Umweltfolgenanalysen für Abwasseremissionen und feste Rückstände aus der Kohlegewinnung und -nutzung, erscheint November 1984
- KfK 3527: J. Jäger, G. Halbritter, Ch. Kupsch  
Potentielle Klimaauswirkungen durch den Einsatz fossiler Energieträger (CO<sub>2</sub>-Problem), erscheint Dezember 1984

Weitere Ergebnisse der Studie werden als Materialienbände in Form von KfK-Berichten veröffentlicht; zwei Materialienbände zu den Schadstoffemissionen der Kohleveredlung (KfK 3523, Jüntgen, H. et al.) und zu den technischen Konzeptionen, Emissionsaspekten und mittelfristigen Einsatzmöglichkeiten der Wirbelschichtfeuerung (KfK 3524, Bonn, B.; Schilling, H.D.) liegen bereits vor.

An der Studie haben folgende Mitarbeiter der AFAS mitgewirkt:

G. Bechmann, I. von Berg, H. Blume, K.R. Bräutigam, D. Brune, P.M. Fischer, F. Fluck, G. Frederichs, B. Fürniß, F. Gloede-Amft, G. Halbritter, J. Jäger (als freie Mitarbeiterin), J. Jörissen, H. Katzer, S. Klein-Vielhauer, Ch. Kupsch, E. Leßmann, M. Mäule, E. Nieke, H. Paschen, F.K. Pickert, G. Sardemann, G. Schufmann, V. Schulz, H. Stehfest, M. Tampe-Oloff (als freier Mitarbeiter), H. Tangen (von IT zu AFAS delegiert), D. Wintzer.

Ihnen sei hiermit herzlich gedankt, ebenso den Sekretariatsmitarbeiterinnen G. Kaufmann, M. Kinsch, W. Laier, Ch. Neu und G. Rastätter.

Weiterhin haben folgende Institutionen und externe Fachleute, denen ich hiermit für die fruchtbare Zusammenarbeit danken möchte, Beiträge zu dieser Studie geleistet: ABAS GmbH, Karlsruhe; Bergbau-Forschung GmbH, Essen; Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung Berlin; Eproplan GmbH, Ostfildern; Fraunhofer-Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung (ISI), Karlsruhe; Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS), Köln; Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe; Rheinisch-Westfälischer Technischer Überwachungsverein e.V., Essen; Zentrum für Umfragen, Methoden und Analysen (ZUMA), Mannheim; Herr Dr. Dlugi und Herr Dr. Güsten von anderen Instituten bzw. Abteilungen des Kernforschungszentrums Karlsruhe; Prof. Dr. G. Hoffmann (Staatliche Landwirtschaftliche Untersuchungs- und Forschungsanstalt, Augustenberg); Dipl.-Chemikerin M. Wüstefeld. Gedankt sei ebenfalls J. Cofala (Polish Academy of Sciences, Warschau) und B. Dykes (Radian Corporation, North Carolina), die als ausländische Gastwissenschaftler zeitweilig an der Studie mitgearbeitet haben.

R. Coenen (Studienleiter)

September 1984

## Technikfolgenabschätzung zum verstärkten Steinkohleeinsatz zur Ölsubstitution in der Bundesrepublik Deutschland

### A. Fragestellung, Konzept, Substitutionsumfang und Kohleeinsatzstrategien

Die Abteilung für Angewandte Systemanalyse des Kernforschungszentrums Karlsruhe hat im Auftrage des Bundesministers für Forschung und Technologie eine umfassende Analyse zu den technischen Möglichkeiten, den ökonomischen Realisierungsbedingungen und Auswirkungen, den Umweltfolgen und den gesellschaftlichen Akzeptanzbedingungen eines verstärkten Steinkohleeinsatzes zur Ölsubstitution durchgeführt. Ausgangsfrage der Untersuchung war, wie durch verstärkten Steinkohleeinsatz ein Beitrag zur Reduzierung der Ölabhängigkeit und damit zur Erhöhung der langfristigen Energieversorgungssicherheit geleistet werden könnte und welche Realisierungsprobleme und Folgen damit verbunden sein würden.

Die Untersuchung wurde als Technikfolgenabschätzung konzipiert mit den Hauptarbeitsschritten:

- Analyse von Ölsubstitutionspotentialen und Festlegung des Substitutionsumfangs
- Entwicklung alternativer technischer Lösungswege in Form von drei Kohleeinsatzstrategien
- Analyse der Folgen und Realisierungsbedingungen der Kohleeinsatzstrategien in den Bereichen Wirtschaft, Umwelt und Gesellschaft
- Bewertung der Kohleeinsatzstrategien anhand ihres Folgenspektrums und ihrer Realisierungsbedingungen und Entwicklung von Vorschlägen zur Ölsubstitution durch verstärkten Steinkohleeinsatz.

### Substitutionsumfang und Substitutionspotentiale

Der Umfang der im Rahmen dieser Studie analysierten jährlichen Ölsubstitution durch Steinkohle beläuft sich auf 20 Mio t SKE (586 PJ) Rohöl bzw. 17,6 Mio t SKE (516 PJ) Mineralölprodukte. Dieser Festlegung liegen - in Teil A des Schlußberichtes der Studie näher ausgeführte - Über-

legungen zu einer ausgewogenen Primärenergieträgerstruktur sowie Abschätzungen zu den Ölsubstitutionspotentialen zugrunde, die unter Berücksichtigung trendmäßig zu erwartender Öleinsparungen und Ölsubstitutionsprozesse bis zum Jahr 2000 noch für die Substitution von Öl durch Steinkohle verbleiben. Zu betonen ist, daß es sich hier um eine über die trendmäßig zu erwartende Ölsubstitution hinausgehende zusätzliche Ölsubstitution durch Steinkohle - im folgenden "strategische" Ölsubstitution genannt - handelt, von der a priori angenommen wird, daß sie bis zum Jahr 2000 bei der Konstellation der zugrundegelegten ökonomischen und energiewirtschaftlichen Rahmenannahmen nicht ohne energiepolitische Unterstützung möglich sein wird.

Tabelle 1 gibt in den beiden ersten Spalten einen Überblick über den Mineralöleinsatz 1980 und die Referenzannahmen zum Mineralöleinsatz im Jahr 2000 (Referenzschätzung 2000). Die wesentlichen noch verbleibenden Potentiale zur weitergehenden Ölsubstitution sind demnach in erster Linie der Verkehr und der Raumwärmemarkt des Sektors Haushalte und Kleinverbraucher, in zweiter Linie der Prozeßwärmemarkt des Sektors Industrie.

#### Kohleeinsatzstrategien zur Ölsubstitution

Bei der Substitution von 20 Mio t SKE Rohöl werden drei alternative Kohleeinsatzstrategien betrachtet, die sich primär durch die Art der Kohleumwandlung unterscheiden:

- die Kohleverstromung, bei der Ölprodukte durch Kohlestrom substituiert werden sollen (Verstromungsstrategie);
- die Kohleverheizung, bei der Ölprodukte durch Fernwärme und Prozeßwärme aus Kohleheizkraftwerken bzw. industriellen Kohlefeuerungen ersetzt werden sollen;
- die Kohleveredlung, bei der Ölprodukte durch Produkte der Kohleverflüssigung und -vergasung substituiert werden sollen.

Beim Entwurf der drei Strategien wurde so vorgegangen, daß die Ölsubstitution von 20 Mio t SKE Rohöl in vollem Umfang durch Umwandlungsprodukte der jeweiligen strategiespezifischen Kohleumwandlungsform erfolgt. Auf Basis der Bewertung dieser Strategien werden abschließend auch Mischungen

Tab. 1: Ölsubstitution durch die Kohleeinsatzstrategien (Mio t SKE Endenergie)  
 - Öleinsatz 1980; Referenzschätzung 2000; Ölmindereinsatz und Steinkohlemeinsatz bei Kohleeinsatzstrategien;  
 Strategietechnologien zur Ölsubstitution im Endnutzungsbereich -

	Öleinsatz <sup>3)</sup> 1980	Öleinsatz 2000 (Referenz- schätzung)	Verstromungsstrategie			Verheizungsstrategie			Veredlungsstrategie		
			Δ Öl	Δ Stein- <sup>2)</sup> kohle	Strategie- technologien im Endnut- zungsbereich	Δ Öl	Δ Stein- <sup>2)</sup> kohle	Strategie- technologien im Endnut- zungsbereich	Δ Öl Varianten A B	Δ Stein- <sup>2)</sup> kohle Varianten A B	Strategie- technologien im Endnut- zungsbereich
<u>Haushalte und Kleinverbraucher<sup>1)</sup></u>											
- Raumwärme	48,2	23,5	-11,6	+18,0	bivalente el. Wärmepumpen, el. Nacht- und Teilspeicher- heizungen und Direktheizun- gen	-10,1	+ 4,4	Fernwärme- Übergabe- und Hausstationen	- 2,2 - 6,8	+ 3,6 +10,8	Gaszentral- heizungen
- Warmwasser/ Prozeßwärme	8,2	2,9	-	-		- 1,0	+ 0,4		- -	- -	
<u>Industrie</u>											
- Raumwärme	4,8	3,0	- 1,0	+ 0,8	Elektrodampf- kessel, mono- valente el. Wärmepumpen, Induktions- öfen, el. Glasschmelz- öfen	-	-	Kohlekessel mit und ohne Kraft-Wärme- Kopplung	- -	- -	Industrie- kessel für mittelkalo- riges Gas
- Prozeßwärme	19,0	11,0	- 5,0	+ 6,7		- 6,5	+ 6,9		- - 4,2	- + 5,9	
<u>Verkehr</u>											
- (Kraftstoffe)	59,4	51,0	-	-		-	-		-15,4 - 6,6	+25,4 +10,9	Methanol-, Diesel-, Benzin- und LPG-Pkw
<b>T o t a l</b>	<b>139,6</b>	<b>91,4</b>	<b>-17,6</b>	<b>+25,5</b>		<b>-17,6</b>	<b>+11,7</b>		<b>-17,6 -17,6</b>	<b>+29,0 +27,6</b>	

- 1) Ohne Kraftstoffe in der Landwirtschaft und beim Militär, die beim Sektor "Verkehr" ausgewiesen sind  
 2) In Mio t SKE Primärenergie  
 3) Ohne Nichtenergetischer Verbrauch

dieser Kohleumwandlungsformen diskutiert (siehe Teil E dieser Kurzfassung).

Bei der Verstromungsstrategie erfolgt die Substitution in erster Linie im Raumwärmemarkt, wo 65 % des vorgegebenen Substitutionsumfangs durch den Ersatz bzw. die Ergänzung von Ölheizungen durch elektrische Heizsysteme erbracht werden; der Rest von 35 % resultiert aus der Substitution von leichtem und schwerem Heizöl durch Strom im industriellen Sektor. Als strategiespezifische Modelltechnologien (im folgenden Strategietechnologien genannt) im Umwandlungsbereich werden moderne Steinkohlekraftwerke der Größenklasse 700 MWe betrachtet.

Bei der Verheizungsstrategie verteilt sich der Substitutionsumfang in ähnlicher Weise auf die beiden Sektoren "Haushalte und Kleinverbraucher" und "Industrie". Wiederum etwa 65 % des vorgegebenen Substitutionsumfangs erbringt die Substitution von Heizöl im Raumwärmesektor durch in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugte Fernwärme auf Kohlebasis; der Rest entfällt auf den Ersatz von Ölkesseln durch Kohlekessel bei der Prozeßwärmeerzeugung in der Industrie. Als Modellfälle für die Fernwärmeversorgung werden vier Versorgungsfälle untersucht: Städte mit mehr als 350 Tsd. Einwohnern mit Versorgung aus Kohleheizkraftwerken der Größenordnung 500 MWe/375 MWth - Städte mit 150 bis 350 Tsd. Einwohnern mit Versorgung aus Kohleheizkraftwerken der Größenordnung 120 MWe/200 MWth - Städte mit 50 bis 150 Tsd. Einwohnern mit Versorgung aus Kohleheizkraftwerken der Größenordnung 42 MWe/85 MWth - Gemeinden mit 20 bis 50 Tsd. Einwohnern und Versorgung aus Kohleheizkraftwerken der Größenordnung 12 MWe/30 MWth (MWth jeweils Fernwärmeleistung). Die beiden größeren Anlagen sind als Entnahme-Kondensationsanlagen ausgelegt, die beiden kleineren als Gegendruckanlagen.

Bei der Kohleveredlungsstrategie werden zwei Varianten betrachtet: Variante A setzt den Schwerpunkt auf die Ölsubstitution im Verkehrssektor; hier werden 87 % des vorgegebenen Substitutionsumfangs durch Ersatz von Mineralöl-Kraftstoffen durch Kraftstoffe auf Kohlebasis (Benzin, Diesel, LPG und Methanol) erbracht; im Vordergrund stehen also flüssige Kohleveredlungsprodukte. Bei Variante B - mit dem Schwerpunkt auf gasförmigen Veredlungsprodukten - werden 62,5 % der Substitutionsaufgabe im Wärmemarkt durch SNG (Substitute Natural Gas) und andere Produkte der Kohlevergasung

(mittelkaloriges Industriegas) geleistet. Als Strategietechnologien im Umwandlungsbereich werden die Direkte Kohlehydrierung, die Kohle-Festbettvergasung sowie die Kohlestaubvergasung - letztere in verschiedenen Varianten - betrachtet.

Tabelle 1 gibt einen etwas detaillierteren Überblick über die quantitative Struktur der Strategien und die zum Einsatz kommenden Strategietechnologien auf der Endenergienutzungsebene.

Der zur Substitution von 20 Mio t SKE Rohöl bzw. 17,6 Mio t SKE Öl (Endenergie) erforderliche Steinkohleeinsatz ist wegen des unterschiedlichen energetischen Substitutions-Wirkungsgrades (Steinkohleeinsatz pro t SKE Ölsubstitution) von Strategie zu Strategie verschieden. Bei der Verheizungsstrategie werden aufgrund des hohen Anteils der Fernwärme auf Basis von Kraft-Wärme-Kopplung nur ca. 12 Mio t SKE Steinkohle benötigt. Energetisch ungünstiger sind die Verstromungsstrategie und die Veredlungsstrategie. Die Verstromungsstrategie benötigt 25,5 Mio t und die Varianten der Veredlungsstrategie 29 Mio t SKE (Variante A) bzw. 27,6 Mio t SKE (Variante B) Steinkohle, um 20 Mio t SKE Rohöl zu substituieren.

B. Analysen der ökonomischen Bedingungen und Folgen eines verstärkten Kohleeinsatzes (ökonomische Folgenanalysen)

Im Zentrum der ökonomischen Folgenanalysen stehen Nutzenergiekostenvergleiche zwischen den strategiegemäß für die Ölsubstitution vorgesehenen Kohletechnologien (Strategietechnologien) und den zu ersetzenden Öltechnologien. Darüber hinaus werden gesamtwirtschaftliche Indikatoren zum Vergleich der Strategien ermittelt: monetärer Substitutionsaufwand (Substitutionskosten), Investitionsbedarf und Arbeitskräftebedarf. Weiterhin werden die Realisierungsbedingungen bei der Implementation der Strategietechnologien diskutiert, zu denen u.a. rechtliche und institutionelle Probleme, die Konkurrenzsituation zu dritten Energieträgern, z.B. Erdgas, und infrastrukturelle Anforderungen zählen.

Den ökonomischen Folgenanalysen liegt als Basisfall ein Energiepreisszenario zugrunde, das sich durch jährliche reale Preissteigerungsraten für

Mineralölprodukte von 2 %, für Importkohle von 2 % und für inländische Steinkohle von 1 % charakterisieren läßt. Für den strategiebedingten Steinkohleeinsatz wird ein Einsatzverhältnis inländische Steinkohle/Importkohle von 1:2 unterstellt. Zu diesen - in Teil B des Schlußberichtes der Studie näher erläuterten - Annahmen werden jedoch auch Sensitivitätsbetrachtungen durchgeführt, deren Ergebnisse unter Punkt 4 dieses Teils der Kurzfassung erläutert werden. Es werden zwei Betrachtungszeiträume (jeweils 20 Jahre) für die Nutzenergiekostenvergleiche zugrundegelegt: 1982 - 2001 und 1992 - 2011.

### 1. Kostenanalysen für die Verstromungsstrategie

Als Strategietechnologien zur Substitution von Öl im Haushaltssektor werden in der Verstromungsstrategie betrachtet:

- Elektro-Nachtspeicherheizungen;
- bivalent betriebene elektrische Wärmepumpen mit einer Ölzusatzheizung;
- elektrische Teilspeicherheizungen, d.h. Speicherheizungen mit geringerem Speichervermögen, die auch tagsüber aufgeladen werden.
- ein elektrisches Heizsystem, bei dem der Wärmebedarf eines Haushalts teils durch ein Nachtspeichergerät und teils durch elektrische Direktheizgeräte gedeckt wird (Elektro-Direktheizung-Nachtspeicher-Kombination).

Die Nutzenergiekostenvergleiche mit den Ölvergleichstechnologien (Ölzentralheizungen) kommen zu folgenden Ergebnissen: Bei einer realen jährlichen Preissteigerungsrate für Öl von 2 % ergeben sich für alle Strategietechnologien bei Inbetriebnahme 1992 und einem 20-jährigen Betrachtungszeitraum Kostenvorteile gegenüber den Ölvergleichstechnologien mit Ausnahme der bivalenten Wärmepumpe, die sich nur im Falle eines Zweifamilienhauses als günstiger erweist, nicht aber in einem Einfamilienhaus. Am günstigsten ist mit Kostenvorteilen von ca. 10 % gegenüber dem Ölvergleichsfall die Elektro-Nachtspeicherheizung, soweit sie keine zusätzliche Kraftwerkskapazität erfordert. Die relativ geringen Kostenvorteile für die Elektro-Direktheizung-Nachtspeicher-Kombination, die Elektro-Teilspeicherheizung und die bivalenten Wärmepumpen im Zweifamilienhaus ergeben

sich auch nur dann, wenn ihnen verursachungsgemäß jeweils lediglich ein Teil der Kraftwerksfixkosten zugerechnet wird. Eine derartige Verteilung der Kraftwerksfixkosten ist strategiegemäß gerechtfertigt, da die Strategie so ausgelegt ist, daß sich die Elektroheizsysteme bei der Inanspruchnahme von Kraftwerksleistung ergänzen. Wenn man von einer realen Preissteigerungsrate für Öl von nur 1 % pro Jahr oder vom Inbetriebnahmejahr 1982 und einem 20-jährigen Betrachtungszeitraum ausgeht, ergeben sich nur noch für die elektrische Nachtspeicherheizung geringe Kostenvorteile.

Aufgrund der technologischen Flexibilität von Strom als Endenergieträger ließe sich vom technischen Standpunkt her in der Industrie so ziemlich jedes Wärmeverfahren auf Ölbasis durch Elektro-Wärmeverfahren ersetzen. Der Kostenvorsprung der Öltechnologien bei den Energiekosten ist aber gegenwärtig so groß, daß die Kostenvorteile der Elektro-Wärmeverfahren bei den Investitions- und sonstigen Betriebskosten in den meisten Fällen nicht zum Tragen kommen. Allein unter Wirtschaftlichkeitsaspekten wird sich deshalb die Ölsubstitution durch Elektro-Wärme in erster Linie auf solche Bereiche beschränken, in denen qualitative Vorteile der Elektro-Wärme deutlicher ausgeprägt sind als beim relativ einfachen Verfahren der Dampferzeugung, bei der der Schwerpunkt des Öleinsatzes in der Industrie liegt. Beispiele hierfür sind: Elektro-Wärmepumpe, dielektrische Trocknungs- und Erwärmungsverfahren, Induktionsöfen. Diese Bereiche machen jedoch nicht die Masse der Prozeßwärmeerzeugung aus Öl aus.

Die durchgeführten Kostenvergleiche bestätigen diese Überlegungen: Beim Vergleich von einfachen Öl- und Elektrokesseln errechnen sich deutliche Vorteile für die Öltechnologie; bei monovalent betriebenen Wärmepumpen, die allerdings nur im Niedertemperaturwärmebereich für die Substitution in Frage kommen, dagegen ergeben sich Vorteile gegenüber Ölkesseln bei großen Anlagen mit hoher Auslastungsdauer. Kostenvorteile weisen auch Induktionsöfen und die vollelektrische Glasschmelze gegenüber den entsprechenden Öltechnologien auf; da die Auslastungszahl aber deutlich im Grundlastbereich der Stromerzeugung liegt, wären die Kostenvorteile bei Versorgung aus Grundlastkraftwerken (Kernenergie, Braunkohle) noch deutlicher.

Obwohl sich also sowohl im Haushaltssektor als auch in der Industrie in einigen Fällen Kostenvorteile für die Strategietechnologien im Vergleich zu den Öltechnologien ergeben, ist im Hinblick auf die Realisierung der Strategie nicht damit zu rechnen, daß Substitutionsprozesse von Öl durch Strom in den hier betrachteten Fällen in größerem Umfang "von selbst" in Gang kommen. Im Haushaltsbereich sind z.B. die Kostenvorteile der Elektroheizungen so gering, daß nachträgliche Umstellungen von Ölheizungen auf Widerstandsheizungen wirtschaftlich wenig attraktiv sind. Dies gilt lediglich nicht für die als Ergänzung zu einer vorhandenen Ölheizung vorgesehenen bivalenten Wärmepumpe; deren Wirtschaftlichkeit ist jedoch angesichts der Unsicherheiten der Ölpreisentwicklung schwer einzuschätzen.

Tarifseitig wären zur Realisierung der Strategie möglicherweise Sonderregelungen für die Elektrowärme erforderlich, die auf energiepolitische und kartellrechtliche Bedenken stoßen würden.

## 2. Kostenanalysen für die Verheizungsstrategie

Die Nutzenergiekostenanalysen zur Ölsubstitution durch Fernwärme auf Kohlebasis im Raumwärmemarkt des Sektors Haushalte und Kleinverbraucher zeigen eine ausgeprägte Abhängigkeit der Nutzwärmekosten von der Größe der Kohleheizkraftwerke, in denen die Fernwärme erzeugt wird. Bei Inbetriebnahme 1992 und einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren sind die Nutzwärmekosten bei Fernwärme-Auskopplung aus großen Entnahme-Kondensationsanlagen um etwa 30 % geringer als bei Auskopplung aus der kleinsten betrachteten Gegendruckanlage (12 MWe/30 MWth). Dementsprechend errechnen sich für die großen Versorgungsgebiete mit großen Anlagen deutlichere Kostenvorteile bei Vergleichen mit den Nutzwärmekosten für Ölzentralheizungen in Mehrfamilienhäusern: Bei realen Heizölpreissteigerungsraten von jährlich 2 % ergeben sich für große Anlagen Kostenvorteile von 33 % gegenüber Ölheizungen, bei der kleinsten Anlage dagegen nur von 6 %. Bei einer Heizölpreissteigerung von nur 1 % pro Jahr ergäben sich für das kleinste Kohleheizkraftwerk bereits Kostennachteile gegenüber der Ölheizung, während für die größeren Anlagen weiterhin Kostenvorteile beständen. Das gleiche gilt für den Betrachtungszeitraum 1982 - 2001 bei einer 2 %igen Steigerungsrate für Heizöl. Noch ungünstiger würde die kleinste

Anlage, die gemäß Großfeuerungsanlagenverordnung nicht entschwefelt werden muß, abschneiden, wenn man sie mit Rauchgasentschwefelung (REA) oder einer emissionsarmen Wirbelschichtfeuerung ausrüsten würde; auf der Endenergieebene würden sich die Kosten um 10 % erhöhen; die Kostenunterschiede zwischen den Alternativen konventionelle Feuerung mit REA und Wirbelschichtfeuerung sind dabei fast zu vernachlässigen.

Die Hauptursachen für die Unterschiede in den Fernwärmeerzeugungskosten sind Größendegressionseffekte bei spezifischen Personal- und Betriebskosten sowie Unterschiede im exergetischen Nutzungsgrad der Heizkraftwerke, die bei Kleinanlagen zu geringeren "Stromgutschriften" als bei Großanlagen führen. Deutlich weniger als die Fernwärmeerzeugungskosten unterscheiden sich die anteilig verrechneten Kosten für die Fernwärmeverteilung für die den HKW-Größenklassen zugeordneten Modell-Fernwärmenetze. Dies liegt daran, daß gemäß Referenzannahmen in Großstädten die Gebiete mit hoher Bebauungsdichte zumeist bereits mit Fernwärme versorgt werden und deshalb die siedlungsstrukturellen Gegebenheiten für die Erschließung neuer zusätzlicher Fernwärme-Versorgungsgebiete in Großstädten nicht wesentlich günstiger sind als in Mittelstädten.

Trotz der für Fernwärme aus Kohle-Heizkraftwerken im Vergleich zur Ölheizung in einer 20-Jahresbilanz günstig ausfallenden Nutzwärmekosten bestehen aus wirtschaftlichen Gründen Realisierungsprobleme: Die bei den Kostenanalysen auf 20 Jahre umgelegten "Anlaufkosten" der Fernwärme aufgrund einer viele Jahre dauernden Unterauslastung der Heizkraftwerke und Verteilungsnetze führen zu Kostenunterdeckungen und erheblichen Finanzierungsproblemen während der Anlaufzeit.

Unter Realisierungsgesichtspunkten ist außerdem von Bedeutung, daß nicht Öl, sondern Erdgas gegenwärtig der Hauptkonkurrent der Fernwärme ist. Die Berechnungen ergeben bei einem 20-jährigen Betrachtungszeitraum Kostenvorteile für die Fernwärmeversorgung aus großen und mittleren Kohleheizkraftwerken gegenüber dem Erdgas. Bei kleineren Gemeindegrößen, die aus kleineren Anlagen versorgt würden, sind die ökonomischen Perspektiven zur Zeit etwas günstiger für das Erdgas; sie verschieben sich aber wegen des höheren Energiekostenanteils beim Erdgas zugunsten der Fernwärme, wenn man für das Erdgas ähnliche reale Preissteigerungen unterstellt wie für Heizöl und Kohle.

Neben diesen wirtschaftlichen Realisierungsproblemen ist darauf hinzuweisen, daß die Realisierung der Verheizungsstrategie auf eine teilweise Dezentralisierung der Stromerzeugungsstruktur hinausliefe, die nicht mit der bisherigen Standortvorsorgeplanung der Länder und mit den Kraftwerksausbauprogrammen der EVU in Einklang stünde. Sofern die Kommunen selbst Heizkraftwerke errichten wollen, hängt die Wirtschaftlichkeit stark von den erzielbaren Konditionen für die Reservestellung und den Bezug von Zusatzstrom sowie von der Vergütung für die Einspeisung von Überschußstrom ab. In den Berechnungen der Studie werden Stromgutschriften entsprechend den vermiedenen Kosten der alternativen Erzeugung von Mittellaststrom in neuen Steinkohlenkraftwerken der 700 MWe-Klasse angesetzt, weil gemäß Referenzannahmen davon ausgegangen wird, daß ohnehin bis zum Jahr 2000 ein Zubau von Mittellaststromkapazitäten erforderlich ist. Inwieweit mit solchen Gutschriften im konkreten Versorgungsfall gerechnet werden kann, hängt von den jeweiligen elektrizitätswirtschaftlichen Randbedingungen ab.

Eine Diskussion der energierechtlichen Gegebenheiten kommt zu dem Schluß, daß einerseits für einen Fernwärmeausbau im vorgesehenen Umfang die Kooperationsbereitschaft der Elektrizitätswirtschaft nicht vorausgesetzt werden kann und daß andererseits das geltende Energiewirtschaftsrecht keine ausreichende Handhabe bietet, eine solche Fernwärmestrategie gegen die Elektrizitätswirtschaft durchzusetzen.

Bei der Ölsubstitution im Sektor Industrie sollen ölbefeuerte Dampferzeuger durch Kohlekessel ersetzt werden. Betrachtet werden Kessel für Dampfleistungen von 2, 8, 15 und 60 MWth, wobei kleinere Anlagen (2 und 8 MWth) mit leichtölbefeuerten und die größeren Anlagen mit schwerölbefeuerten verglichen werden. Bei Ölpreissteigerungsraten von 2 % pro Jahr ergeben sich für den Betrachtungszeitraum 1992 - 2011 Kostenvorteile für konventionelle Kohleanlagen (ohne Rauchgasentschwefelung) zwischen 15 und 45 %; teilweise errechnen sich auch Kostenvorteile für Kessel mit Wirbelschichtfeuerung, vor allem dann, wenn die Anlagen gut ausgelastet sind. Die ökonomischen Perspektiven werden etwas ungünstiger, wenn man von geringeren Ölpreissteigerungen oder vom Betrachtungszeitraum 1982 - 2001 ausgeht; dies gilt insbesondere für die Wirbelschichtfeuerung.

Für die Investitionsbereitschaft von Industriebetrieben ist oft auch die Frage entscheidend, ob sich Mehrinvestitionen für Kohlekessel gegenüber

Ölkesseln hinreichend rasch amortisieren. Entsprechende Rechnungen zeigen für 1982 bei statischer Betrachtung Amortisationszeiten von ca. 5 Jahren oder darunter für kleinere konventionelle Kohlefeuerungen (bei 2 MWth Anlage nur bei guter Auslastung) sowie für große Anlagen (60 MWth); für andere Fälle, insbesondere auch für die Wirbelschichtfeuerung, liegen sie über 5 Jahren, so daß hier Probleme bei der Investitionsbereitschaft zu erwarten sind.

Neben zu langen Amortisationszeiten können sich Realisierungsprobleme daraus ergeben, daß Umstellungen in vielen Fällen durch den gegenüber Ölkesseln größeren Platzbedarf für Kessel, Kohle- und Aschebehandlung und Bunker erschwert werden und daß Umstellungen ein umfangreiches Genehmigungsverfahren mit sich bringen können.

### 3. Kostenanalysen für die Kohleveredlungsstrategie

In beiden Varianten der Veredlungsstrategie sind flüssige und gasförmige Kohleveredlungsprodukte - allerdings in unterschiedlichem Umfang - zur Substitution von Mineralölprodukten vorgesehen.

#### Flüssige Kohleveredlungsprodukte

Kostenanalysen für die Erzeugung, Verteilung und Nutzung flüssiger Kohleveredlungsprodukte zur Substitution von Benzin im Straßenverkehr ergeben für den Inbetriebnahmezeitpunkt 1992 bei einem 20-jährigen Betrachtungszeitraum folgende Ergebnisse:

- Die Benzinpreise ab Raffinerie müßten von 1982 bis 2000 um über 80 % steigen, um für die Hydrierprodukte (Kohlebenzin, -diesel und -LPG) Kostengleichheit zu erreichen. Bei Benzinpreissteigerungsraten von 2 % jährlich sind für 1992 in Betrieb gehende Anlagen Dauersubventionen während ihrer Lebensdauer (20 Jahre) erforderlich.
- Etwas günstiger fällt der Kostenvergleich bei der Benzinsubstitution durch Methanol aus Steinkohle (über Kohlenstaubvergasungsanlagen) aus. Jedoch reichen auch in diesem Falle Benzinpreissteigerungsraten von 2 % nicht aus, um bei Inbetriebnahme in 1992 in der Bilanz über 20 Jahre Kostenvorteile für Methanol aus Steinkohle zu erreichen.

Für die Benzinsubstitution durch Methanol im hier diskutierten Umfang (etwa 5 Mio Methanol-PKW) müßte ein flächendeckendes Tankstellennetz im

Inland geschaffen werden, und auch im europäischen Ausland müßten Methanoltankmöglichkeiten in ausreichender Dichte bestehen. Vorausgehen müßte eine entsprechende verkehrspolitische Konsensbildung auf europäischer Ebene. Dies rechtzeitig zu erreichen, dürfte neben der fehlenden Wirtschaftlichkeit eines der zentralen Realisierungsprobleme für die diskutierten Methanolbeiträge zur Benzinsubstitution sein.

#### Gasförmige Kohleveredlungsprodukte

Für die SNG-Erzeugung aus Festbett-Vergasungsanlagen ergeben sich bei Inbetriebnahme 1992 relativ günstige Perspektiven beim Vergleich mit leichtem Heizöl für die Heizung von Mehrfamilienhäusern. Unter Berücksichtigung von Gas-Verteilungskosten und der beim Endverbraucher anfallenden Kosten für Anschaffung und Wartung der Heizanlage ergeben sich insgesamt Nutzwärmekosten, die sich bei jährlichen realen Ölpreissteigerungen von 2 % nur unwesentlich von den Nutzwärmekosten für eine Ölzentralheizung unterscheiden. Erhebliche Nachteile, die die Realisierungsprobleme verdeutlichen, ergeben sich aber beim Vergleich mit Erdgas. Die Erzeugungskosten liegen bei 1992 in Betrieb gehenden Anlagen um 100 % über Erdgas-Importpreisen von 1982.

Mittelkaloriges Industriegas kann mit geringerem technischen Aufwand und besserem Wirkungsgrad aus Kohle erzeugt werden als SNG. Die Erzeugungskosten für mittelkaloriges Industriegas liegen für Vergasungsanlagen mit einem Jahresdurchsatz von 1 Mio t Kohle aber sowohl bei 1 % als auch bei 2 % realer Ölpreissteigerung bereits über den Dampferzeugungskosten bei schwerölbefeuerten Dampfkesseln, so daß für Industriegaskessel keine Konkurrenzfähigkeit mit schwerölbefeuerten Kesseln gegeben ist. Die Industriegaserzeugungskosten liegen aber unter vergleichbaren Preisen für leichtes Heizöl. Ergebnisse von Kostenvergleichen zwischen Industriegas- und Öldampfkesseln hängen in diesem Fall stark davon ab, wieviel km Rohrlänge je MW Anschlußleistung erforderlich sind und welche Vor- und Anlaufkosten bei der Verteilung des Industriegases anfallen. Um mit leichtölbefeuerten Dampferzeugern bei jährlichen Ölpreissteigerungen von 2 % konkurrieren zu können, müssen sehr optimistische Annahmen hinsichtlich der Verteilungskosten getroffen werden. Den günstigeren Substitutionsweg dürfte in den ganz überwiegenden Fällen die Dampferzeugung mit konventionellen Kohlekesseln darstellen, wie sie in der Verheizungsstrategie vorgesehen sind.

#### 4. Sensitivitätsbetrachtungen zu den Kostenanalysen

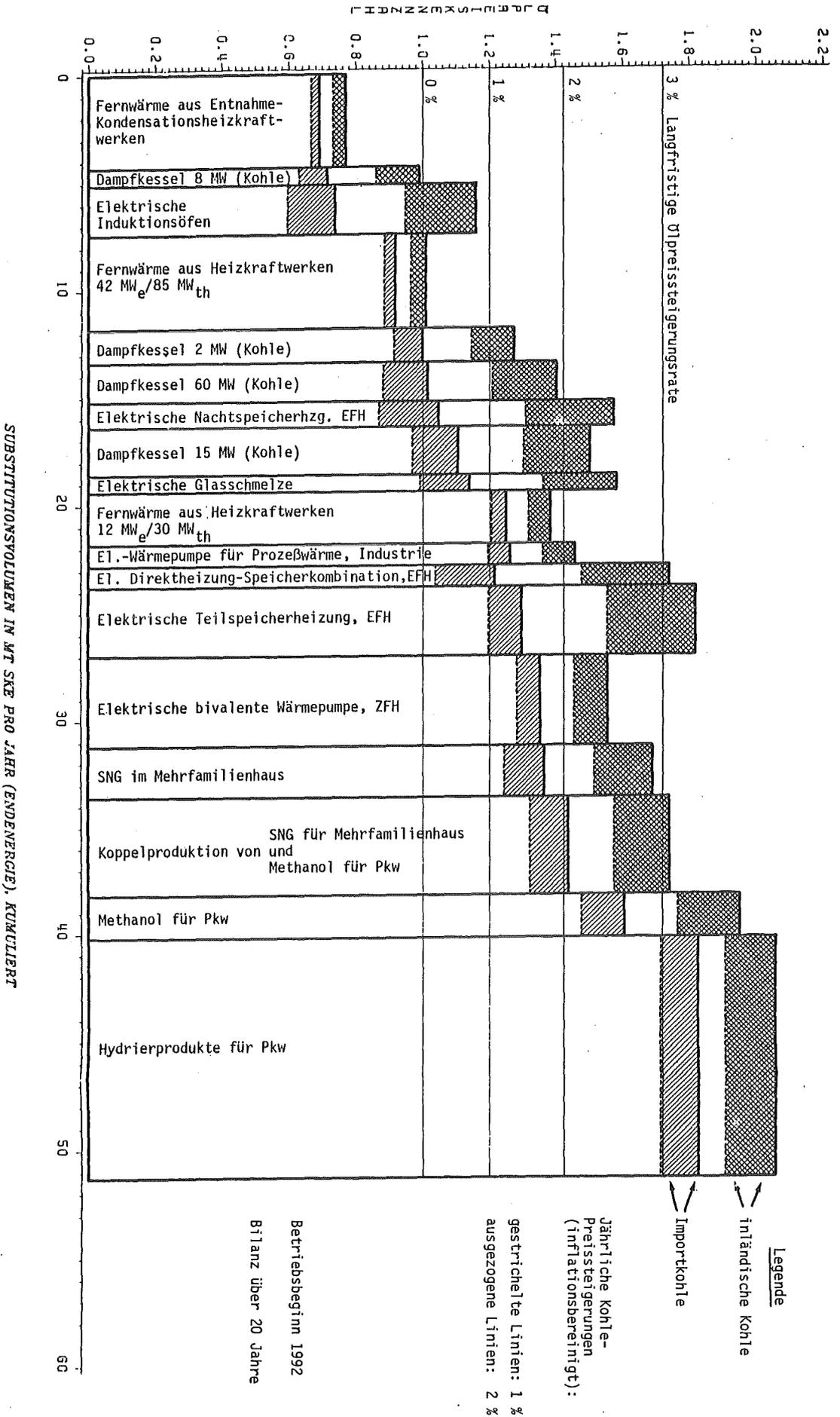
Einen Vergleich der verschiedenen Strategietechnologien über die Strategiegrenzen hinweg und Betrachtungen zur Sensitivität bezüglich der Entwicklung von Öl- und Kohlepreisen sowie der Einsatzverhältnisse inländische Kohle/Importkohle erlaubt Abbildung 1. In dieser Abbildung ist für die verschiedenen Strategietechnologien jeweils der Faktor (Ölpreiskennzahl) dargestellt, um den die Preise der Mineralölprodukte (ab Raffinerie) um 2000 über denen von 1982 liegen müßten, um Nutzenergiekostengleichheit zwischen Kohle- und Mineralöltechnologien zu erreichen. Die den langfristigen realen jährlichen Ölpreissteigerungsraten von 0 %, 1 %, 2 % und 3 % entsprechenden Ölpreiskennzahlen sind als Parallelen zur Abszisse eingezeichnet. .

Die Strategietechnologien sind in der Abbildung nach steigenden Ölpreiskennzahlen gemäß Basisfall (inländische Kohle 1 %/a; Importkohle 2 %/a; Einsatzverhältnis 1:2) geordnet; die Balkenbreite gibt jeweils das veranschlagte Substitutionsvolumen an. Die oberen und unteren schraffierten Bereiche innerhalb der Balken gelten für inländische Kohle bzw. Importkohle bei jährlichen Preissteigerungsraten zwischen 1 % und 2 %. Der Basisfall liegt zwischen den schraffierten Bereichen.

Aus der Rangfolge im Basisfall zeigt sich ein eindeutiger Vorteil für die Strategietechnologien der Verheizungsstrategie; die Strategietechnologien der Verstromungsstrategie nehmen - bis auf einige relativ günstige Technologien und einige sehr ungünstige (hier nicht ausgewiesene) Technologien (Elektrodampfkessel) mit jeweils geringen Substitutionsbeiträgen - mittlere Positionen ein, während die Veredlungstechnologien die Schlußplätze einnehmen. Diese Konstellation ist im wesentlichen stabil gegenüber Kohlepreisentwicklungsannahmen und dem Einsatzverhältnis inländische Kohle/Importkohle; die Vorteile der Verheizungsstrategie verstärken sich noch bei höheren Wachstumsraten für Kohlepreise und/oder höheren Anteilen inländischer Kohle.

Weiterhin ist aus der Abbildung abzulesen, daß bei mäßig steigenden Ölpreisen (real 0 bis 1 %) nur Fernwärme aus größeren Heizkraftwerken, Prozeßwärme aus Kohlekesseln und einige Strategietechnologien der Verstro-

Abb. 1: ÖLPREISKENNZAHLEN FÜR STRATEGIETECHNOLOGIEN



mungsstrategie mit allerdings geringen Substitutionsbeiträgen Kostenvorteile gegenüber den jeweiligen Öltechnologien aufweisen; für die großen und mittleren Heizkraftwerke sowie für 8 MW- und 2 MW-Dampfkessel und elektrische Induktionsöfen gilt dies auch noch bei ausschließlichem Einsatz von inländischer Kohle. Bei bis zu 2 %igen langfristigen realen Ölpreissteigerungsraten haben alle Strategietechnologien der Verheizungsstrategie auch bei ausschließlichem Einsatz von inländischer Kohle Kostenvorteile; für Strategietechnologien der Verstromungsstrategie ergeben sich Kostenvorteile in diesem Fall im wesentlichen nur bei größeren Anteilen von Importkohle.

Die Sensitivitätsbetrachtungen lassen darüber hinaus folgende generelle Tendenzen erkennen:

- Die Kosten der Fernwärme aus Kohleheizkraftwerken werden relativ wenig durch Variationen von Kohlepreisen und durch unterschiedliche Annahmen zum Einsatzverhältnis inländische Kohle/Importkohle tangiert.
- Die Position der energieeffizienten Strategietechnologien - Fernwärme aus Kohle-HKW, Wärmepumpen - verbessert sich relativ bei höheren Kohlepreisen bzw. höheren Anteilen inländischer Kohle.
- Die ökonomische Präferenz für den Wärmemarkt gegenüber dem Kraftstoffbereich ist stabil in bezug auf Variationen von Kohlepreisen und des Einsatzverhältnisses inländische Kohle/Importkohle.

##### 5. Indikatoren zur ökonomischen Bewertung der Kohleeinsatzstrategien

Zur ökonomischen Gesamtbewertung der Kohleeinsatzstrategien wurden drei Indikatoren ermittelt: der Investitionsbedarf, der Arbeitskräftebedarf und der monetäre Substitutionsaufwand.

Der Investitionsbedarf für die Realisierung der Strategien im vollen Substitutionsumfang (20 Mio t SKE Rohöl) bewegt sich in einer Spanne von 40 Mrd DM bis 100 Mrd DM; die Verstromungsstrategie markiert die obere Grenze dieser Spanne, die Verheizungsstrategie das untere Ende. Bei Umliegung der Investitionen auf einen 20-jährigen Aufbauzeitraum für die Strategien ergeben sich aber bei allen Strategien jährliche Investitionsbeträge, deren Finanzierung keine Belastung des volkswirtschaftlichen Kapitalmarktes darstellen dürfte.

Beim Arbeitskräftebedarf, der im Rahmen der Studie nur überschlägig abgeschätzt werden konnte, ergibt sich bei Berücksichtigung des Bedarfs zum Betrieb der Strategien, zur Förderung eines Drittels der strategiegemäß benötigten Kohle (Einsatzverhältnis inländische Kohle/Importkohle 1:2) sowie des investitionsbedingten Bedarfs eine Spanne zwischen 40 000 und 80 000 Mannjahren pro Jahr. Der Arbeitskräftebedarf der Verheizungsstrategie liegt am unteren Ende und der der Veredlungsstrategie/Variante A am oberen Ende dieser Spanne. Die Unterschiede zwischen den Strategien von maximal 40 000 Mannjahren pro Jahr sind zwar unter globalen arbeitsmarktpolitischen Aspekten nicht unerheblich; ob diese Unterschiede zwischen den Strategien in voller Höhe arbeitsmarkt relevant würden, hängt aber von verschiedenen hier nicht im einzelnen darstellbaren Voraussetzungen ab. Von größerer Bedeutung ist deshalb die regionale Konzentration des Arbeitskräftebedarfs, die insbesondere bei der Kohleveredlungsstrategie sehr hoch ist und unter regionalen arbeitsmarktpolitischen Erwägungen ein wichtiger Bewertungsaspekt sein kann.

Beim monetären Substitutionsaufwand (Differenz der jährlichen Kosten von Kohle- und Öltechnologien summiert über die Substitutionsbeiträge aller Strategietechnologien einer Strategie) zeigt sich die bereits aufgrund der Kostenvergleichsanalysen zu erwartende deutliche Rangordnung der Strategien: Verheizungsstrategie - Verstromungsstrategie - Veredlungsstrategie Variante B - Veredlungsstrategie Variante A. Die Spanne reicht im Falle des Betrachtungszeitraums 1992 - 2011 von einem Substitutionsgewinn von 3,8 Mrd DM pro Jahr (bei Vollausbau der Strategien) im Falle der Verheizungsstrategie bis zu einem Substitutionsverlust bzw. -mehraufwand von ca. 3,4 Mrd DM im Falle der Veredlungsstrategie Variante A. Bei der Interpretation dieses Indikators ist darauf zu verweisen, daß er im Sinne eines Mindestmehraufwandes bzw. eines maximalen Minderaufwandes (im Falle eines Substitutionsgewinns) zu interpretieren ist, weil bei den Rechnungen für die Kohletechnologien nur eine Mindestverzinsung des eingesetzten Kapitals unterstellt wurde und in betriebswirtschaftlichen Rechnungen übliche Risiko- und Gewinnzuschläge bzw. Rücklagenbildungen nicht berücksichtigt werden; er zeichnet somit ein günstiges Bild für die Kohletechnologien. In diesem Sinn stellt ein ausgewiesener Substitutionsmehraufwand den Mindestbedarf an Subventionen dar; bei Verzicht auf dirigistische Maßnahmen müßten noch darüber hinausgehende finanzielle Anreize geboten werden. Schließlich ist darauf hinzuweisen, daß der Subventionsbedarf als Mehraufwand gegenüber dem günstigsten Anbieter auf einem Markt zu ermitteln wäre; auf den hier

betrachteten Energiemärkten sind aber teilweise andere Energieträger (z.B. Erdgas) günstiger als die hier als Vergleichsfall betrachteten Mineralölprodukte, so daß sich in solchen Fällen höhere Subventionsbeträge ergäben.

#### 6. Zusammenfassende ökonomische Bewertung der Kohleeinsatzstrategien

Der Verheizungsstrategie ist bei einer zusammenfassenden ökonomischen Bewertung (ohne Berücksichtigung von Realisierungsbedingungen) die günstigste Position zuzuteilen, weil sie insbesondere bei dem aus der Sicht der Bearbeiter wichtigsten ökonomischen Bewertungsaspekt - dem Substitutionsaufwand - einen Substitutionsgewinn aufweist, das heißt Minderkosten gegenüber dem Ölvergleichsfall. Dieses günstige Bild ist allerdings etwas zu relativieren, weil trotz dieses gesamtwirtschaftlichen Substitutionsgewinns erhebliche staatliche Finanzierungshilfen während der langen Anlaufphase der Fernwärmeversorgung erforderlich sind, die aber auf längere Sicht aus den Erlösen rückzahlbar sein müßten, wenn sich die hier unterstellten Energiepreisentwicklungsannahmen in etwa als zutreffend erweisen würden. Die Verstromungsstrategie nimmt eine mittlere Position ein. Sie weist einen Mehraufwand gegenüber dem Ölvergleichsfall auf; die ökonomischen Perspektiven dieser Strategie verbessern sich allerdings, wenn man das Substitutionsziel etwas reduziert, da einige Strategietechnologien mit relativ geringen Substitutionsbeiträgen sehr hohe Substitutionskosten verursachen (z.B. Elektrodampfkessel, monovalente Wärmepumpen zur Raumwärmeerzeugung in der Industrie). Die beiden Varianten der Veredlungsstrategie weisen ein ungünstiges ökonomisches Folgenspektrum auf; für Substitutionsbeiträge, die über das hinausgehen, was zur großtechnischen Demonstration der Technik erforderlich ist, wären aus volkswirtschaftlicher Sicht nur regionale arbeitsmarktpolitische Gründe ins Spiel zu bringen.

Die ökonomisch günstigste Strategie, die Verheizungsstrategie, dürfte aber vergleichsweise mit den größten Realisierungsproblemen zu kämpfen haben. Sie betreffen im wesentlichen die Fernwärme, die erstens einer harten Konkurrenz durch das Erdgas ausgesetzt ist, die zweitens Veränderungen elektrizitätswirtschaftlicher Planungen und Strukturen erfordern würde und die drittens auch mit erheblichen Finanzierungsproblemen

zu rechnen hätte. Ungünstig sehen auch die Realisierungsbedingungen für die Vergasungsvariante der Veredlungsstrategie aus, solange ausreichende Mengen an Erdgas zu günstigen Preisen verfügbar sind. Die Verstromungsstrategie weist in dieser Hinsicht die relativ günstigsten Bedingungen auf; Probleme wären bei gegebener Wirtschaftlichkeit nur bei den Wärmepumpen zu sehen, für die ein großer Substitutionsbeitrag vorgesehen ist. Hier sind wegen der für Haushalte relativ hohen Investitionsbeträge Zweifel bezüglich der Finanzierbarkeit und Finanzierungsbereitschaft anzumelden. Die Verflüssigungsvariante der Veredlungsstrategie hätte ebenfalls günstige Realisierungsbedingungen, da flüssige Kohleveredlungsprodukte auf absehbare Zeit die einzige Alternative zu Kraftstoffen auf Mineralölbasis darstellen; dafür stehen aber ihrer Realisierung die höchsten Substitutionskosten entgegen.

### C. Analysen zu den Umweltfolgen eines verstärkten Kohleeinsatzes

Im Rahmen der Umweltfolgenanalysen wird untersucht, ob bei einem verstärkten Einsatz von Steinkohle mit zusätzlichen Beeinträchtigungen der Umwelt durch Emissionen luftverunreinigender Stoffe, durch Abwasseremissionen sowie durch Anfall fester Rückstände gerechnet werden muß. Auch das mit einem verstärkten Kohleeinsatz verbundene Unfallrisiko wird abgeschätzt.

#### 1. Umweltfolgen durch Emissionen luftverunreinigender Stoffe

Untersucht werden - mit unterschiedlicher Intensität - Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ), Stickoxide ( $\text{NO}_x$ ), Schwebstaub und ausgewählte Staubinhaltsstoffe, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAH) und Kohlendioxid ( $\text{CO}_2$ ). Schwerpunkte der Folgenanalysen sind neben den Strategievergleichen die Gegenüberstellung von Emissionen bzw. Immissionen im Bezugsjahr 1980 und im Jahre 2000 sowie eine Abschätzung der Auswirkungen der 1983 in Kraft getretenen Großfeuerungsanlagenverordnung (GFAVO). Um die Veränderungen der Umweltbedingungen durch den verstärkten Steinkohleeinsatz im Zusammenhang mit der Entwicklung der Gesamtsituation der Belastung durch die wichtigsten Schadstoffe interpretieren zu können, werden bei der Analyse

der Emissionsentwicklung für  $\text{SO}_2$ ,  $\text{NO}_x$  und Staub nicht nur die Emissionen aus Steinkohleumwandlungs- und -nutzungsanlagen erfaßt, sondern auch diejenigen aus anderen Energieanlagen, die maßgeblich an der Freisetzung dieser Stoffe beteiligt sind.

## Schwefeldioxid

### Emissionsentwicklung

Tabelle 2 zeigt in Spalte 2 die Emissionsentwicklung beim Schwefeldioxid ( $\text{SO}_2$ ) für die verschiedenen betrachteten Fälle. Das ins Auge fallende Ergebnis ist der beträchtliche Rückgang der Schwefeldioxidemissionen bis zum Jahre 2000 (Referenzschätzung) gegenüber dem Istzustand 1980 (vgl. Zeilen 1 und 2). Bei einem gegenüber 1980 nur um ca. 10 % geringeren Einsatz fossiler Brennstoffe gehen die  $\text{SO}_2$ -Emissionen im Falle der Referenzschätzung auf etwas mehr als ein Drittel der Emissionen von 1980 zurück, nämlich von rund 3,2 auf rund 1,1 Mio t. Dies ist hauptsächlich auf die Anwendung der neuen Großfeuerungsanlagenverordnung zurückzuführen, wie ein Vergleich mit Zeile 6 zeigt, in der die Emissionen ausgewiesen werden, die sich ergeben, wenn man die Vorschriften der GFAVO auf den Istzustand 1980 anwendet. Das so ermittelte "Emissionsreduktionspotential" der GFAVO beträgt etwa 1,75 Mio t pro Jahr. Der darüber hinausgehende Rückgang im Falle der Referenzschätzung 2000 ist auf einen geringeren Einsatz fossiler Energieträger gegenüber 1980 und auf Strukturverschiebungen im Endenergieeinsatz (Verschiebungen zu leitungsgebundenen Endenergieträgern - Gas, Fernwärme, Strom) zurückzuführen.

Auch die  $\text{SO}_2$ -Emissionen aus dem Steinkohleeinsatz gehen erheblich zurück, obwohl der Steinkohleeinsatz annahmegemäß bei Referenzschätzung und Strategien gegenüber 1980 noch erheblich steigt. Deutlich wird beim Vergleich der Ergebnisse für die Referenzschätzung einerseits und die Strategien andererseits, daß der strategische Kohlemehreinsatz zur Ölsubstitution im Saldo keine oder nur geringe zusätzliche Emissionen bringt, weil die aus dem Mehreinsatz resultierenden Emissionen durch Wegfall von Emissionen aus dem Öleinsatz kompensiert werden. Die relativ ungünstige Position der Verheizungsstrategie würde sich verbessern, wenn man die strategiegemäß vorgesehenen kleinen Heizkraftwerke und industriellen Kohlefeuerungen,

Tab. 2: Primärenergieeinsatz fossiler Energieträger und SO<sub>2</sub>-, NO<sub>x</sub>- und Staub-Emissionen aus dem Energieeinsatz in den Sektoren "Kraftwerke und Fernheizwerke", "Industrie", "Haushalte und Kleinverbraucher", "Verkehr", "Raffinerien und Kohleveredlungsanlagen" in der Bundesrepublik Deutschland 1)

	(1) Primärenergieeinsatz fossiler Energieträger Mio t SKE		(2) SO <sub>2</sub> Emissionen (tsd t)			(3) NO <sub>x</sub> <sup>2)</sup> Emissionen (tsd t)			(4) Staub Emissionen (tsd t)			
	insgesamt	davon Steinkohle	insgesamt	davon Steinkohle und Stein- kohlepro- dukten	aus Mineralöl und Mine- ralölpro- dukten	insgesamt	davon Steinkohle und Stein- kohlepro- dukten	aus Mineralöl und Mine- ralölpro- dukten <sup>4)</sup>	insgesamt	davon Steinkohle und Stein- kohlepro- dukten	aus Mineralöl und Mine- ralölpro- dukten <sup>5)</sup>	
(1) Istzustand 1980	366	77	3200	1190	1200	3280	760	1870	310	140	110	
(2) Referenzschätzung 2000	325	90	1130	440	470	2470 (1720)	700 (220)	1290 (1280)	150	50	70	
(3) Verstromungs- strategie 2000	330	115	1110	530	360	2640 (1740)	910 (270)	1250 (1240)	160	70	70	
(4) Verheizungs- strategie 2000	317	102	1280 <sup>6)</sup>	710	350	2510 (1780)	790 (320)	1250 (1230)	170	70	70	
(5) Veredlungs- strategie 2000	(A)	334	119	1140	480	450	2390 (1620)	960 (450)	960 (940)	160	70	70
	(B)	333	118	1100	490	390	2410 (1650)	840 (340)	1100 (1090)	150	60	70
(6) Istzustand 1980 <sup>3)</sup> entsprechend GFAVO	366	77	1440	380	860	2820 (2240)	480 (150)	1830 (1820)	180	50	100	

- 1) Ohne Emissionen aus industriellen Prozessen
- 2) Werte in Klammern bei Anwendung von Minderungsmaßnahmen für NO<sub>x</sub> nach dem Stand der Technik entsprechend dem Beschluß der Umweltministerkonferenz vom 05.04.1984
- 3) Anwendung der GFAVO auf den Energieeinsatz des Jahres 1980 (Werte in Klammern bei NO<sub>x</sub>: Anwendung des Beschlusses der Umweltministerkonferenz vom 05.04.1984 auf den Energieeinsatz des Jahres 1980)
- 4) Bei den NO<sub>x</sub>-Emissionen aus dem Einsatz von Mineralöl und Mineralölprodukten sind die geplanten gesetzlichen Maßnahmen zur Emissionsreduzierung im Straßenverkehr, auf den fast 90 % der gesamten NO<sub>x</sub>-Emissionen aus dem Öleinsatz entfallen, nicht berücksichtigt; bei deren Berücksichtigung würden sich noch weitere erhebliche Reduzierungen der NO<sub>x</sub>-Emissionen aus dem Öleinsatz für die Referenzschätzung 2000 und die Kohleeinsatzstrategien ergeben
- 5) Aufgrund von Rundungen ergeben sich keine Unterschiede für die Fälle 2 bis 5; die Strategien weisen aber bis zu 10 % günstigere Werte als die Referenzschätzung auf
- 6) Bei Einsatz der Wirbelschichtfeuerung bei Feuerungen mit Feuerungswärmeleistung ≤ 300 MW<sub>th</sub> ergäbe sich ein Wert 1090 tsd t SO<sub>2</sub>

die nach der GFAVO nicht oder nur in geringerem Umfang entschwefelt werden müssen, mit Wirbelschichtfeuerungen ausrüsten würde. Es ergäben sich dann etwa gleich hohe  $\text{SO}_2$ -Emissionen wie bei der Vergasungsvariante der Veredlungsstrategie (Variante B), die am günstigsten abschneidet.

#### Immissionsbelastung durch $\text{SO}_2$ in Ballungsgebieten

Die Frage, ob durch den zusätzlichen Steinkohleeinsatz mit Gesundheitsgefährdungen durch  $\text{SO}_2$  für die Menschen zu rechnen ist, die in ohnehin bereits stark vorbelasteten Gebieten (vornehmlich Ballungsgebieten) der Bundesrepublik Deutschland leben, wird anhand einer Analyse zweier Typen von "Modellballungsräumen" durchgeführt; einer dieser Typen von Räumen repräsentiert die Bedingungen des Ruhrgebiets, der andere die der revierfernen Ballungsgebiete.

Die schon bei der Diskussion der Gesamtemissionen von  $\text{SO}_2$  aufgezeigte Entwicklung spiegelt sich auch in der Emissionsentwicklung in den Ballungsgebieten wider; in den Ballungsgebieten an der Ruhr wirkt sich die GFAVO wegen der Massierung von großen Kohlekraftwerken sogar besonders stark aus. Die Unterschiede zwischen der Referenzschätzung 2000 und den Kohleeinsatzstrategien sind emissionsseitig relativ gering. Am ungünstigsten ist wieder die Position der Verheizungsstrategie, es sei denn, es würde der Einsatz von Wirbelschichtfeuerungen vorgesehen.

Erwartungsgemäß ergibt sich für das Jahr 2000 auch eine Verringerung der Immissionsbelastung in den Ballungsgebieten. Es werden sowohl für die Ballungsgebiete des Ruhrgebiets als auch für die revierfernen Ballungsgebiete Langzeit-Immissionswerte für  $\text{SO}_2$  ermittelt, die deutlich unterhalb des in der TA Luft '83 vorgeschriebenen Immissionsgrenzwertes für Jahresmittel (IW 1) von  $140 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$  liegen. Dies gilt selbst für einen Vergleich der Halbjahreswerte der Immissionen während der Zeit der Heizperiode mit dem jahresbezogenen IW 1-Wert. Wird der von der Weltgesundheitsorganisation (WHO) empfohlene obere Richtwert von  $60 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$  Luft als Vergleichsmaßstab herangezogen, so ergeben sich allerdings vor allem im "Modellballungsraum Ruhr" während der Heizperiode sowohl für den Istzustand 1980 als auch für die Referenzschätzung 2000 und die Kohleeinsatzstrategien Überschreitungen dieses Wertes für erhebliche Bevölkerungsan-

teile (zwischen 5 und 43 % für Referenzschätzung und Strategien), wobei natürlich zu beachten ist, daß die Richtwerte der WHO für die Jahresmittelwerte der  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen gelten. Nur die Version der Verheizungsstrategie, die den Einsatz von Wirbelschichtfeuerungen vorsieht, führt auch im "Modellballungsraum-Ruhr" während der Heizperiode zu einem sehr geringen Wert für den von  $\text{SO}_2$ -Immissionen oberhalb des WHO-Richtwertes betroffenen Bevölkerungsanteil (5 %).

Gesundheitliche Auswirkungen für den Menschen wurden aufgrund vorliegender epidemiologischer und experimenteller Untersuchungen von der überwiegenden Zahl von Sachverständigen bei diesen Konzentrationen bisher nicht angenommen. Einer neueren, noch nicht abgeschlossenen epidemiologischen Studie in den Niederlanden zufolge sind jedoch Beeinträchtigungen bestimmter Lungenfunktionen bei Konzentrationen von  $\text{SO}_2$  und Staub auch deutlich unterhalb der IW 1-Werte der TA Luft nicht auszuschließen. Die Herabsetzung der untersuchten Lungenfunktionen allein kann jedoch noch nicht als Beeinträchtigung der Gesundheit im Sinne einer Krankheit aufgefaßt werden.

Die Reduktion der  $\text{SO}_2$ -Emissionen im "Modellballungsraum Ruhr" auf etwa ein Drittel des Volumens von 1980 bewirkt nur eine Verminderung der Immissionen in diesem Ballungsraum (während der Heizperiode) auf ca. 60 %. Dies ist im wesentlichen darauf zurückzuführen, daß im Ruhrgebiet die Emissionsreduktion zu einem beträchtlichen Teil Großkraftwerke betrifft, die bereits heute die Emissionen aus hohen Kaminen abgeben und deren Emissionen deshalb nur in begrenztem Maße auf die lokale Immissionsituation wirken. Generell werden die Immissionen in den "Modellballungsräumen" wesentlich bestimmt durch die Emissionen aus niedrigen Freisetzungshöhen. Hauptverursacher der Immissionen sind somit die Emissionen des Sektors HuK, obwohl diese im Fall des "revierfernen Modellballungsraums" nur etwa 10 % und im Fall des "Modellballungsraums Ruhr" sogar nur etwa 5 % der Gesamtemissionen ausmachen.

Auffallend sind die erheblich höheren Immissionen für den "revierfernen Ballungsraum" mit süddeutschen Ausbreitungsbedingungen im Vergleich zum gleichen "Modellballungsraum" mit norddeutschen Ausbreitungsbedingungen (bei Annahme gleich hoher Emissionen). Verursacht werden diese Unterschiede durch die ungünstigeren Ausbreitungsbedingungen in Süddeutschland mit

geringeren Windgeschwindigkeiten und häufigerem Auftreten von sogenannten stabilen und damit austauschärmeren Wetterlagen, die die Bedeutung der Emissionen aus niedrigen Freisetzungshöhen für die lokale Immissionssituation noch erhöhen.

#### Immissionsbelastung durch weiträumige Ausbreitung von Schwefelverbindungen

Ziel der Immissionsanalysen im weiträumigen Bereich ist die Ermittlung von atmosphärischen Konzentrationen und Bodenablagerungen von Schwefel in den chemischen Formen Schwefeldioxid ( $S-SO_2$ ) und Sulfat ( $S-SO_4^{--}$ ). Als Modell für die weiträumige Ausbreitung und die Umwandlung und Ablagerung der Schwefelemissionen wird das am Imperial College London entwickelte und im Rahmen dieser Studie erweiterte Modell MESOS angewandt. Die Ergebnisse der Analysen bilden eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der möglichen Auswirkungen eines verstärkten Steinkohleeinsatzes auf ökologische Systeme, z.B. Wälder. Allerdings sind beim jetzigen Stand der Modellentwicklung und der verfügbaren Datenbasis die Analyseergebnisse eher geeignet für vergleichende Aussagen (z.B. über die Belastung durch die Verstromungsstrategie im Vergleich zur Referenzschätzung) als für Aussagen über die absolute Höhe der Schwefelimmisionen in einem gegebenen Fall. Weiterhin ist hervorzuheben, daß sich die Aussagen der Analysen in erster Linie auf die weiträumige (> 100 km) Ausbreitung beziehen; der Einfluß der Emissionen in Quellnähe wird nur näherungsweise abgeschätzt.

Die MESOS-Rechnungen zur Gesamtschwefelablagerung über der Bundesrepublik Deutschland ergeben insgesamt etwas niedrigere Ablagerungsanteile aus inländischen Emissionsquellen als frühere Untersuchungen (47 % gegenüber 50-54 %). Es ist zu vermuten, daß diese Unterschiede unter anderem das Ergebnis der freisetzungshöhenabhängigen Differenzierung der Emissionen in dieser Studie sind.

Eine "Verursacheranalyse" für die Schwefeldepositionen in ausgewählten Waldschadensgebieten ergibt eine dominante Beeinflussung durch ausländische Quellen. So wurde der Schwefeleintrag des Oberpfälzer Waldes nach diesen Rechnungen im Jahre 1980 zu 75 % von ausländischen und nur zu 25 % von inländischen Quellen bestimmt; den größten Anteil hatten dabei die Emissionen der CSSR mit etwa 36 %.

Die vor allem aufgrund des Vollzugs der GFAVO zu erwartende erhebliche Reduktion der  $\text{SO}_2$ -Emissionen im Vergleich zu 1980 wirkt sich im Falle gleichbleibender Emissionen im benachbarten Ausland keineswegs in gleichem Umfang auf die Immissionssituation im Inland aus; vielmehr ergibt sich im Mittel über der Fläche der Bundesrepublik Deutschland sowohl für die  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen als auch für die Gesamtschwefelablagerungen nur eine Immissionsreduktion um etwa 30 % im Vergleich zu 1980. Den Einfluß von Emissionsreduktionsmaßnahmen im Ausland auf die Immissionssituation in der Bundesrepublik Deutschland verdeutlicht die folgende Abschätzung: Wären 1980 in der Bundesrepublik Deutschland die Regelungen der GFAVO bezüglich der Begrenzung der Schwefelemissionen bereits in vollem Umfang angewandt worden, ohne daß die  $\text{SO}_2$ -Emissionen aus ausländischen Quellen reduziert worden wären, so wären die  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen in der bodennahen Atmosphäre und die Gesamtschwefelablagerungen im Mittel um etwa 25 % niedriger gewesen, als dies 1980 tatsächlich der Fall war (während die Schwefelemissionen um über 50 % niedriger gelegen hätten). Die gleichzeitige Reduzierung der Emissionen im westlichen Ausland um 30 % hätte zu einer Verringerung um rund 30 % geführt; eine entsprechende Reduzierung im gesamten benachbarten Ausland, d.h. also auch in der DDR und CSSR mit zur Zeit sehr hohen Emissionen, hätte sogar eine Entlastung von 40 % gebracht.

Ein beträchtlicher immissionsseitiger Unterschied zwischen dem Istzustand 1980 und der Referenzschätzung 2000 sowie den Kohleeinsatzstrategien zeigt sich beim Vergleich der Flächenanteile, auf denen der IUFRO-Grenzwert (IUFRO = International Union of Forest Research Organizations) für  $\text{SO}_2$ -Konzentrationen ( $25 \mu\text{g SO}_2/\text{m}^3$ ) überschritten wird. Während dieser Flächenanteil für 1980 noch mit 20 % berechnet wurde, ergeben sich für alle anderen betrachteten Fälle Werte von unter 5 %. Bei der Bewertung dieser Ergebnisse ist allerdings zu berücksichtigen, daß für das Entstehen von Waldschäden auch kurzfristige Spitzenbelastungen, die bei bestimmten meteorologischen Konstellationen auch in emissionsfernen Gebieten auftreten können, verantwortlich gemacht werden. Solche Episodenbetrachtungen werden in der Studie nicht durchgeführt.

Zu den Ursachen der Walderkrankungen ist im übrigen anzumerken, daß sie nach dem jetzigen Wissensstand in einem komplexen Faktorengefüge liegen, wobei allerdings den Einflüssen der Luftverunreinigungen der entschei-

dende Anteil beigemessen wird. Als Hauptschadstoffe werden  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  genannt, die vor allem in Form der aus ihnen während des Transports in der Atmosphäre entstehenden Säuren und Photooxidantien pflanzenschädigend wirken. Natürlichen Streßfaktoren (Klima und Witterung, Schadorganismen) und Waldbaumaßnahmen wird nur eine untergeordnete, allenfalls eine verstärkende Wirkung im Ursachengefüge zugeschrieben.

### Stickoxide

Die Bedeutung der Stickoxide ergibt sich aus den potentiellen Auswirkungen dieser Gase auf die menschliche Gesundheit und auf Ökosysteme. Bei den Auswirkungen auf Ökosysteme sind zwei Aspekte zu unterscheiden: die Beiträge von  $\text{NO}_x$  als Säurebildner und als Reaktionspartner für die Bildung von Oxidantien, die als Mitverursacher der Schäden in Ökosystemen diskutiert werden.

Die Analysen zu den Stickoxiden konnten nicht in dem Umfang quantitativ durchgeführt werden, wie dies bei  $\text{SO}_2$  möglich ist, weil die Kenntnisse bezüglich der Ausbreitung, chemischen Umwandlung und Ablagerung der Stickoxide und der sekundär gebildeten Stoffe noch nicht ausreichen, um definitive Aussagen über Immissionsstrukturen in Abhängigkeit von eventuellen Änderungen auf der Emissionsseite machen zu können.

Nach dem heutigen Wissensstand werden Stickoxide zum allergrößten Teil als Stickstoffmonoxid ( $\text{NO}$ ) emittiert, welches in der Atmosphäre zu Stickstoffdioxid ( $\text{NO}_2$ ) oxidiert wird. Im Zuge der dabei auftretenden Reaktionen werden - vor allem in der Atmosphäre von Ballungsgebieten - sekundäre Schadstoffe wie Ozon oder Peroxyacetylnitrat (PAN) gebildet, die als Indikatoren des Photosmog gelten.  $\text{NO}_2$  kann durch trockene Deposition aus der Atmosphäre entfernt werden. Bei Reaktionen des  $\text{NO}_2$  mit OH-Radikalen entsteht Salpetersäure, die über trockene und feuchte Deposition zum Boden bzw. in die Biosphäre gelangt.

Schon die Abschätzung der Gesamtemissionen ist bei den Stickoxiden mit größeren Unsicherheiten verbunden als beim Schwefeldioxid. Während beim  $\text{SO}_2$  die Emissionen im wesentlichen durch den Schwefelgehalt des Brenn-

stoffs bestimmt werden, entstehen Stickoxide hauptsächlich während der Verbrennung durch Reaktionen zwischen dem Stickstoff und dem Sauerstoff der Verbrennungsluft und hängen damit von den Verbrennungsbedingungen, insbesondere von den Verbrennungstemperaturen, ab, wobei hohe Temperaturen die Stickoxidbildung begünstigen. Daneben wandelt sich auch der im Brennstoff gebundene Stickstoff zu Stickoxiden um.

Tabelle 2 weist für 1980 NO<sub>x</sub>-Emissionen von rund 3,3 Mio t SKE und bis 2000 einen Rückgang auf ca. 75 % dieses Emissionsvolumens aus. Dieser Wert stellt jedoch eine erhebliche Unterschätzung des zu erwartenden Rückgangs dar. Einerseits sind nämlich die geplanten gesetzlichen Maßnahmen zur Emissionsreduzierung im Verkehrssektor, der Hauptemissionsquelle für NO<sub>x</sub>, bei den Rechnungen nicht berücksichtigt. Zum anderen liegen den Rechnungen bei den Emissionen von Großfeuerungen noch die Grenzwerte der GFAVO vom Juni 1983 zugrunde, die aufgrund eines Beschlusses der Umweltministerkonferenz (UMK) vom 5. April 1984 als überholt zu gelten haben. Die UMK hat den Stand der Technik, der gemäß GFAVO bei der NO<sub>x</sub>-Rückhaltung anzuwenden ist, durch erheblich reduzierte Grenzwerte, die auch Altanlagen betreffen, neu festgelegt. Wendet man diese Grenzwerte an (siehe eingeklammerte Werte in Spalte 3, Tab. 2), ergibt sich für das Jahr 2000 ein NO<sub>x</sub>-Emissionsvolumen von ca. 1,7 Mio t. Dies entspricht einem Rückgang auf etwa die Hälfte des Emissionsvolumens von 1980. Das "Emissionsreduktionspotential" des UMK-Beschlusses beläuft sich auf rund 1 Mio t (siehe eingeklammerten Wert, Zeile 6, Tab. 2).

In Kombination mit den geplanten Maßnahmen zur Verminderung der Verkehrsemissionen dürften sich somit auch für NO<sub>x</sub> bis zum Jahr 2000 zumindest ähnlich hohe Emissionsreduzierungen wie beim SO<sub>2</sub> ergeben.

Die Unterschiede zwischen der Referenzschätzung und den Kohleeinsatzstrategien sind hinsichtlich der NO<sub>x</sub>-Emissionen gering. Die relativ ungünstige Position der Verstromungsstrategie hat keinen Bestand mehr, wenn man die Grenzwerte des UMK-Beschlusses zugrundelegt. Die relativ günstigsten Werte weisen in jedem Fall die beiden Varianten der Veredlungsstrategie auf.

Quantitative Immissionsanalysen wurden aus den oben genannten Gründen nicht durchgeführt. Die an Reinluftstationen gemessenen Konzentrationswerte (Jahresmittelwerte) liegen zwischen 3 und 14  $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$ , zeigen aber langfristig eine steigende Tendenz. In belasteten Gebieten werden Jahresmittelwerte der  $\text{NO}_2$ -Luftkonzentrationen zwischen 30 und 70  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  gemessen, also auch Konzentrationen, die nur wenig unter dem in der TA Luft festgelegten Langzeitwert von 80  $\mu\text{g NO}_2/\text{m}^3$  liegen. Solche Konzentrationen werden von den meisten Sachverständigen als nicht schädlich für die menschliche Gesundheit eingeschätzt.

Die Ablagerungswerte für Stickstoff sind dadurch gekennzeichnet, daß in Quellnähe bedeutend mehr trocken abgelagert wird, als durch nasse Deposition den Boden erreicht. In Reinluftgebieten hat die nasse Nitrat-Ablagerung mindestens die gleiche Bedeutung wie die gesamte trockene Deposition von  $\text{NO}_2$  und Nitrat. Eine grobe Abschätzung der Gesamtablagerung ergibt für die Bundesrepublik Deutschland etwa 260 000 bis 700 000 t Stickstoff pro Jahr in Form von Nitratverbindungen und in Form von  $\text{NO}_2$ .

#### Staub und Staubinhaltsstoffe

Die Durchführung umfassender Analysen zum Schwebstaub wird erschwert durch die Heterogenität dieses Stoffes, der aus einer Vielzahl natürlicher und anthropogener Emissionsquellen freigesetzt wird und daher in ganz unterschiedlichen Formen mit unterschiedlichem chemischen und physikalischen Aufbau auftritt.

Die besondere Problematik der Staubemissionen aus der Verbrennung fossiler Energieträger besteht in den Staubinhaltsstoffen (Spurenelemente). Von einigen dieser Stoffe ist bekannt, daß sie toxische Wirkungen sowohl für den Menschen als auch für Pflanzen haben können. Der Stand der Kenntnisse ist bei den Staubinhaltsstoffen allerdings erheblich schlechter als beim Schwefel, so daß auf tiefere quantitative Analysen, wie sie für Schwefel durchgeführt wurden, verzichtet werden mußte.

Nach den hier vorgenommenen Abschätzungen (siehe Tab. 2, Spalte 4) ergeben sich für 1980 Staubemissionen aus dem Einsatz fossiler Brennstoffe von rund 0,3 Mio t. Sie entsprechen etwa 40 % der gesamten anthropogen bedingten (und erfaßten) Staubemissionen. Gegenüber 1980 errechnet sich für die Referenzschätzung 2000 eine Reduzierung der Staubemissionen um über 50 %, vornehmlich zurückzuführen auf den Vollzug der GFAVO. Referenzschätzung und Kohleeinsatzstrategien unterscheiden sich dagegen kaum hinsichtlich der Staubemissionen.

Die erhebliche Reduktion der Gesamtstaubemissionen infolge der verschärften Regelungen der GFAVO wirkt sich auch auf das Emissionsvolumen der Staubinhaltsstoffe aus. Es kann jedoch nicht davon ausgegangen werden, daß sich die Emissionen der Staubinhaltsstoffe proportional zu den Gesamtstaubemissionen verringern, da sich die Verringerung der Gesamtstaubemissionen nur unterproportional auf die Feinstaubemissionen auswirkt und von letzteren angenommen wird, daß sie in erhöhtem Maße Träger der Staubinhaltsstoffe sind.

Insgesamt ist bei Spurenelementen - jedenfalls bei den in dieser Studie untersuchten Stoffen Arsen, Cadmium, Quecksilber und Blei - die Belastungssituation in Ballungsgebieten keineswegs unproblematisch. Dies gilt sowohl für die Luftkonzentrationen als auch für die Bodenkonzentrationen, da die gemessenen Werte - mit Ausnahme der Quecksilber-Luftkonzentration - im Größenordnungsbereich von Grenzwerten bzw. von empfohlenen Richtwerten oder "tolerierbaren" Werten liegen. Eine Strategie zur Verringerung dieser Werte muß an den Hauptquellen ansetzen und dort Emissionsreduktionen durchsetzen. Nach den Abschätzungen dieser Studie dürfte dabei Energieumwandlungsanlagen, die Steinkohle einsetzen, im allgemeinen keine größere Bedeutung zukommen.

Nennenswerte Beiträge der Emissionen von Staubinhaltsstoffen aus dem Steinkohleneinsatz zur Luftkonzentration werden in dieser Studie nur für Arsen errechnet. Abschätzungen zur langfristigen Anreicherung der hier betrachteten Spurenelemente im Boden innerhalb von Ballungsgebieten oder größeren Regionen ergeben nur sehr geringe Beiträge durch Emissionen dieser Staubinhaltsstoffe aus dem Steinkohleneinsatz in Anlagen der Energieumwandlung. Dies gilt auch für Arsen.

Es muß bei der Beurteilung dieser Ergebnisse beachtet werden, daß verschiedene Spurenelemente, z.B. Quecksilber, zu großen Teilen auch gasförmig freigesetzt werden. Bei einigen Elementen, z.B. dem Cadmium, besteht noch Unklarheit bezüglich der Höhe des gasförmig emittierten Anteils; hier muß der Kenntnisstand durch entsprechende Meßprogramme verbessert werden. Beim Quecksilber ergeben pauschale Abschätzungen, bei denen der gasförmig emittierte Anteil berücksichtigt wurde, ebenfalls keine kritischen Werte für die Luftkonzentration.

Derzeit sind Belastungen durch Schwermetallemissionen hinsichtlich gesundheitlicher Gefährdungen weniger ein "flächendeckendes" Problem als vielmehr ein Problem lokal hoher Emissionen und entsprechender Immissionen in der Nähe von z.B. Hütten und Metallschmelzen.

#### Polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe

Im Brennpunkt der Diskussion um kanzerogene Verbindungen in Emissionen aus der Kohleverbrennung stehen die polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe (PAH), z.B. das Benzo(a)pyren (BaP). Die kanzerogene Wirkung einer Reihe dieser Verbindungen ist in unterschiedlichen Experimenten an mehreren Tierarten nachgewiesen worden.

Die aus großen kohlebefeuernten Kraft- und Fernheizwerken emittierten Mengen an PAH sind sehr gering. Erheblich höher sind die PAH-Emissionen aus dem Kohleeinsatz in den Sektoren "Haushalte und Kleinverbraucher" und "Kokereien".

Für die Referenzschätzung 2000 ergeben sich im Sektor Kraft- und Fernheizwerke auf Grund des zunehmenden Steinkohleeinsatzes geringfügig höhere BaP-Emissionen, während in den Sektoren "Haushalte und Kleinverbraucher" und "Kokereien" die BaP-Emissionen wegen der erheblichen Reduktion des Steinkohleeinsatzes in diesen Bereichen stark absinken werden. Die zuletzt genannten Sektoren werden aber auch im Jahre 2000 noch mit Abstand größere PAH-Emissionen sein als die Kraft- und Fernheizwerke.

Die Unterschiede zwischen der Referenzschätzung 2000 und den Kohleeinsatzstrategien hinsichtlich der PAH-Emissionen dürften gering sein.

## Kohlendioxid

Die zunehmenden Kohlendioxidemissionen aus dem Einsatz fossiler Energieträger werden in einer Reihe neuerer Untersuchungen als Ursache potentieller globaler und regionaler Temperaturerhöhungen genannt. Als kritisch wird dabei eine Verdopplung der CO<sub>2</sub>-Konzentration auf den Wert von 600 ppm angesehen; für diese Konzentration wird eine mittlere globale Temperaturerhöhung zwischen 1,5 und 4,5 K abgeschätzt. Im Rahmen der vorliegenden Studie wurde die Aussagekraft von Rechnungen zum Eintrittszeitpunkt einer Verdopplung der CO<sub>2</sub>-Konzentrationen und zur Steigerung der Temperaturen untersucht mit folgendem Ergebnis:

Im Augenblick sind sowohl die Aussagen über die Entwicklung der atmosphärischen CO<sub>2</sub>-Konzentrationen aufgrund des Einsatzes fossiler Energieträger als auch die Aussagen über die Auswirkungen erhöhter CO<sub>2</sub>-Konzentrationen auf das Klima mit großen Unsicherheiten behaftet. Bei der Durchführung von Analysen über die Folgen von Klimaveränderungen auf die Land- und Forstwirtschaft, auf die Gesamtwirtschaft und auf die allgemeinen Lebensbedingungen und bei der Interpretation der Ergebnisse solcher Analysen muß der Unsicherheit der Ausgangsposition Rechnung getragen werden. Da die potentiellen langfristigen Auswirkungen von Klimaveränderungen jedoch erheblich sein können, stellen verstärkte Forschungen sowohl zum Kohlenstoffkreislauf als auch zu den Klimamodellen eine vordringliche Aufgabe dar.

## 2. Umweltfolgen durch Abwasseremissionen

Die Umweltfolgenanalysen für Abwasseremissionen aus der Kohlegewinnung und -nutzung zeigen, daß der referenz- und strategiegemäß angenommene Kohleeinsatz keine generellen "Wassermengen-Probleme" mit sich bringt; andererseits kann nicht ausgeschlossen werden, daß bei einzelnen vorgesehenen Standorten für Kraftwerke die Bereitstellung der benötigten Wassermenge mit Schwierigkeiten verbunden sein kann.

Als Problem muß die Entsorgung der bei der Kohlegewinnung anfallenden Grubenwässer gesehen werden. Durch ihren hohen Salzgehalt von 200 g/l

und mehr tragen sie in hohem Maße zur Aufsalzung des Rheins bei. In anderen Flüssen verhindern sie die Möglichkeit der Trinkwasser- und Brauchwassergewinnung bzw. beeinträchtigen die Lebensmöglichkeiten von Fischen und anderen aquatischen Lebensformen. Für die Einleitung salzhaltiger Abwässer sind bisher keine Grenzwerte vorgesehen.

Abwässer aus Kohleaufbereitungsanlagen und Kohlekraftwerken lassen sich relativ problemlos reinigen, so daß von ihnen keine Gewässergefährdung auszugehen braucht. Allerdings ist auch hier eine Beeinträchtigung von Vorflutern möglich, wenn die Abwässer - insbesondere bei Rauchgasentschwefelungsanlagen - hohe Salzkonzentrationen aufweisen. Es ist daher zu erwägen, ob nicht grundsätzlich solchen Aufbereitungs- und Reinigungsverfahren, die zur Verringerung der Salzbelastung beitragen können, der Vorrang zu geben ist, auch wenn dies mit Mehrkosten verbunden ist.

Abwässer aus Kohleveredlungsanlagen sind trotz ihres teilweise sehr hohen Gehaltes an krankheitserregenden und giftigen organischen Substanzen gut zu reinigen. Die in ihnen enthaltenen Wertstoffe können wirtschaftlich zurückgewonnen werden. Der Reinigungsaufwand sollte allerdings über den derzeitigen Stand der Technik (vollbiologische Kläranlage) hinausgehen und zur Elimination von schwer abbaubaren Substanzen noch eine physikalisch-chemische Reinigungsstufe enthalten.

### 3. Umweltfolgen durch Anfall fester Rückstände

Der Anfall fester Rückstände aus dem Steinkohleeinsatz wird sich gegenüber heute für die Referenzschätzung erhöhen; für die Strategien sind noch größere Mengen zu erwarten.

Bei der Entsorgung der festen Rückstände steht inzwischen der Gedanke der Wiederverwendung im Vordergrund. Die Möglichkeiten der Wiederverwendung sind für die verschiedenen Rückstände allerdings unterschiedlich. Für die sog. Berge, die bei der Kohlegewinnung anfallen und in der Vergangenheit u.a. im Straßen- und Deichbau verwendet wurden, werden die bisherigen Verwendungsmöglichkeiten stagnieren bzw. zurückgehen. Durch Maßnahmen zur Veredlung der Berge zu Baurohstoffen könnte ein neuer Absatzbereich erschlossen werden. Ein Teil der kohlenstoffreichen Wasch-

und Flotationsberge könnte auch in weiterer Zukunft in Wirbelschichtöfen zur Energiegewinnung verwendet werden. Für Rückstände aus der Wasseraufbereitung und -reinigung befinden sich die Verwertungsmöglichkeiten noch im Erprobungsstadium. Grobaschen aus Kraftwerken und Veredlungsanlagen werden zu über 65 % verwertet (u.a. im Straßenbau) und dürften auch in Zukunft leicht untergebracht werden können.

Bei den Flugaschen wird die Empfehlung des Deutschen Ausschusses für Stahlbeton, wonach der Mindestgehalt an Zement im Beton von  $240 \text{ kg/m}^3$  auf  $300 \text{ kg/m}^3$  heraufgesetzt werden soll, erhebliche Absatzschwierigkeiten nach sich ziehen. Nur wenn es gelingt, neue Verwendungsmöglichkeiten wie Flugaschezement oder als Bodenverfüllungsmaterial zu finden, bestehen Chancen für die Beibehaltung des derzeitigen Verwertungsanteils (ca. 75 %). Für die Zusatzmengen, die sich aufgrund der Referenzschätzung und der Strategien (im Mittel Verdopplung gegenüber 1980) ergeben, wird sich das Problem der Verwertung noch erheblich verschärfen. Der überwiegende Anteil wird wahrscheinlich in Deponien abgelagert werden müssen.

Der Gips aus den Rauchgasentschwefelungsanlagen ist vielseitig verwendbar. Absatzschwierigkeiten werden für Mengen, wie sie referenzmäßig und bei der Verheizungs- und Veredlungsstrategie anfallen, bisher nicht erwartet. Beim deutlich höheren Gipsanfall der Verstromungsstrategie sind Schwierigkeiten jedoch nicht auszuschließen.

Eine Deponierung der verschiedenen Rückstände ist möglich, wenn die behördlich vorgeschriebenen Einbau- und Betriebsvorschriften für Deponien angewandt werden. Die Bereitstellung der erforderlichen Flächen wird allerdings - insbesondere lokal - zunehmend Schwierigkeiten mit sich bringen, so daß der Verwertung höchste Priorität einzuräumen ist.

#### 4. Unfallrisiken bei der Förderung, dem Transport, der Aufbereitung und der Umwandlung von Steinkohle

Der in der Vergangenheit im deutschen Steinkohlebergbau zu verzeichnende Rückgang der Zahl der Unfälle unter Tage pro 1 Million t geförderter verwertbarer Steinkohle dürfte sich mit leicht abgeschwächter Tendenz in der Zukunft fortsetzen. Die in der Studie durchgeführten Abschätzungen zeigen, daß selbst bei einer Erhöhung der Förderung auf 100 Mio t

SKE - was einen sehr hohen Anteil inländischer Kohle zur Deckung des strategiebedingten Mehreinsatzes bedeuten würde - die Zahl der Unfälle unter Tage des Jahres 1981 nicht mehr erreicht werden dürfte.

Die Unfallrisiken bei Steinkohletransport-, -aufbereitung und -umwandlung sind im Vergleich zu den emissionsbedingten Umweltrisiken von untergeordneter Bedeutung. Nennenswerte Unterschiede zwischen den Kohleeinsatzstrategien und dem jeweiligen Ölvergleichsfall hinsichtlich der Unfallrisiken sind nicht zu erwarten. Bei der Kohleaufbereitung und -umwandlung sind Unfallrisiken für die Bevölkerung nahezu auszuschließen; das Beschäftigten-Risiko liegt im Rahmen ähnlicher industrieller Anlagen.

#### 5. Zusammenfassung der Ergebnisse der Umweltfolgenanalysen

Unter Umweltgesichtspunkten bringt die Substitution von 20 Mio t SKE Rohöl durch Steinkohle keine wesentlichen Mehrbelastungen mit sich; den Emissionen luftverunreinigender Stoffe aus dem zusätzlichen Kohleeinsatz stehen Verringerungen der Emissionen aus dem Öleinsatz in etwa gleicher Höhe gegenüber. Abwasser- und Rückstandsmengen sind weitgehend mit dem Kohleeinsatz korreliert, so daß die Verheizungsstrategie hier Vorteile aufweist; die höheren Mengen an Abwässern und Rückständen der anderen Strategien erscheinen aber im Hinblick auf die Folgen für die Umwelt beherrschbar, wenn auch lokale Probleme (Bereitstellung der notwendigen Wassermengen, Salzbelastung bei Vorflutern mit hoher Vorbelastung, Bereitstellung ausreichender Deponieflächen) nicht auszuschließen sind. Wie bzw. mit welchen Kohletechnologien Öl substituiert wird, ist deshalb unter Umweltgesichtspunkten bei globaler Bilanzierung kaum von Belang. Es ergäben sich zwar Vorteile für die Verheizungsstrategie, allerdings nur, wenn auch die kleinen Steinkohlenfeuerungen im Leistungsbereich unter 300 MWth, die im Rahmen dieser Strategie implementiert werden sollten, mit Wirbelschichtfeuerungen ausgerüstet würden; die Unterschiede gegenüber den anderen Strategien sind aber bei dem hier betrachteten Substitutionsumfang nicht gravierend.

Bei einem Vergleich mit der heutigen Situation wird sich bis zum Jahre 2000 die Umweltbelastung durch Luftverunreinigungen aus dem Steinkohleeinsatz durch den Vollzug der neuen Großfeuerungsanlagenverordnung (GFAVO)

erheblich verringern. Dies gilt insbesondere für Schwefeldioxid. Die  $\text{SO}_2$ -Emissionen aus dem Steinkohleeinsatz reduzieren sich trotz einer erheblichen Zunahme des Steinkohleeinsatzes (13 bis 42 Mio t SKE mehr je nach Annahme) auf etwa 40 - 60 % der derzeitigen  $\text{SO}_2$ -Emissionen aus dem Steinkohleeinsatz. Angesichts der stark zunehmenden Waldschäden, an deren Mitverursachung durch  $\text{SO}_2$  kaum Zweifel bestehen, sollte das Emissionsreduktionspotential der GFAVO von 1750 kt/a (bezogen auf den derzeitigen Einsatz fossiler Energieträger) aber möglichst schnell realisiert werden. Die Situation bei den Schwefelimmisionen wird sich bis zum Jahre 2000 ebenfalls beträchtlich verbessern, allerdings nicht proportional zur Emissionsentwicklung, solange im Ausland nicht entsprechende Maßnahmen zur Rückhaltung eingeleitet werden.

Die  $\text{NO}_x$ -Emissionen aus dem Steinkohleeinsatz werden, wenn man die durch den Beschluß der Umweltministerkonferenz vom April 1984 gegenüber der GFAVO vom Juni 1983 verschärften Grenzwerte bereits berücksichtigt, bis zum Jahre 2000 auf 30 - 60 % des derzeitigen Standes zurückgehen. Die Emissionen anderer Schadstoffe - wie Schwermetalle, polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, radioaktive Substanzen - aus dem Steinkohleeinsatz in Großfeuerungen bringen keinen nennenswerten Beitrag zur Immissionsbelastung durch diese Schadstoffe in der Bundesrepublik Deutschland.

#### D. Analysen zu den gesellschaftlichen Bedingungen eines verstärkten Kohleeinsatzes

Ausgangsfrage dieser Analysen war, ob aus Anlaß einer verstärkten Kohlenutzung mit ähnlichen Protesten und Widerständen gerechnet werden muß wie bei der Kernenergie.

Es wurden zwei repräsentative Bevölkerungsbefragungen im Dezember 1980 und im Mai 1982 durchgeführt. Diese Befragungen wurden im September 1983 durch eine Kurzumfrage hinsichtlich der Resonanz auf die neueste Entwicklung des "Waldsterbens" ergänzt. Parallel zu den Umfragen wurde die Kohleberichterstattung von 3 Tageszeitungen und 2 Wochenperiodika analysiert.

Zunächst läßt sich feststellen, daß die Kohlenutzung in der Bevölkerung überwiegend positiv beurteilt wird. Differenziert man nach den Verwendungsweisen der Kohle, so zeigt sich, daß die Verheizung mehrheitlich positiver in der Bevölkerung bewertet wird als die Verstromung. Die Veredlung ist in der Urteilsbildung dagegen wenig präsent, wird aber - soweit sie bekannt ist - mehrheitlich bejaht.

Insgesamt lassen sich zwei voneinander divergierende Meinungsbilder unterscheiden: Ein "traditionelles" Meinungsbild, das sich an den Themen orientiert, die die im Grunde seit Ende der 50er Jahre anhaltende Kohlekrise hervorgebracht hat: Arbeitsplatzproblematik, Rentabilität, Subventionen, Abhängigkeit der Energieversorgung vom Ausland u.ä., und ein "neues" Meinungsbild, das durch die Themen des Kernenergiekonflikts und der seit den 70er Jahren intensiv geführten Umweltdiskussion geprägt ist: Umweltverträglichkeit, Risiko u.ä..

Sowohl in der "traditionellen" als auch in der "neuen" Meinungsbildung zur Kohle bestehen jeweils kohlebefürwortende und kohlekritische Positionen. Kennzeichnend für die "neue" Meinungsbildung ist dabei, daß die Beurteilung von Kohle und Kernenergie parallel verläuft: Entweder werden beide befürwortet, oder es werden beide abgelehnt - die Kernenergie allerdings entschiedener. Es handelt sich hier tendenziell um den Gegensatz zwischen einer die industrielle Entwicklung befürwortenden Haltung einerseits und einer industrialismuskritischen Haltung auf der anderen Seite.

Bei der 1982er Befragung entfielen auf die zuvor charakterisierten vier Gruppen folgende Anteile der Gesamtstichprobe:

1. Uneingeschränkte Kohlebefürwortung in Verbindung mit entschiedener Befürwortung der Kernenergie: 13,8 % der Befragten
2. Uneingeschränkte Kohlebefürwortung in Verbindung mit vorsichtiger Befürwortung der Kernenergie: 23,5 % der Befragten
3. Uneingeschränkte Kohleablehnung in Verbindung mit einer eher kernenergiebefürwortenden Haltung: 14,6 % der Befragten
4. Eingeschränkte bis uneingeschränkte Kohleablehnung in Verbindung mit einer entsprechenden Ablehnung der Kernenergie: 6,9 % der Befragten.

Dabei entspricht der Gegensatz der Positionen 2 und 3 dem Dissens im "traditionellen" Meinungsbild, der Gegensatz der Positionen 1 und 4 dem Dissens im "neuen" Meinungsbild zur Kohlenutzung. Die hier nicht dargestellten "mittleren" Meinungsgruppen nehmen eine eher abwägende und wenig ausgeprägte Kohlebeurteilung vor.

Gemessen an dem entsprechenden Verhältnis in den Bevölkerungseinstellungen ist die Position einer Problematisierung der Kohle aus industrialismuskritischer Sicht (Position 4) in der Presseberichterstattung deutlich unterrepräsentiert. Die Presseberichterstattung ist primär durch energiewirtschaftliche und technische Aspekte geprägt, die eher im Zusammenhang mit dem "traditionellen" Meinungsbild zur Kohlenutzung stehen.

Es hat sich auch gezeigt, daß die Impulse für eine industrialismuskritische Problematisierung der Kohle nicht primär von den Redaktionen, sondern von einem generellen gesellschaftlichen Konfliktpotential ausgehen, das sich im Zuge des Kernenergiekonflikts herausgebildet hat und inzwischen über eine gewisse politische und wissenschaftliche Infrastruktur verfügt.

Im Hinblick auf einen potentiellen Konflikt um eine verstärkte Kohlenutzung sind daher die "traditionellen" und "neuen Kohlekritiker" in der Bevölkerung von besonderem Interesse. Entsprechend ihrer negativen Beurteilung einer verstärkten Kohlenutzung erwartet ein überdurchschnittlich hoher Prozentsatz beider Gruppen ähnliche Proteste beim Bau von Kohlekraftwerken wie beim Bau von Kernkraftwerken (jeweils knapp 40 % gegenüber knapp 30 % in der Gesamtstichprobe). Dagegen unterscheiden sich die beiden Gruppen deutlich hinsichtlich ihrer Konfliktbereitschaft: In der 1982er Befragung wurde sowohl nach der allgemeinen Befürwortung bestimmter Formen unkonventionellen politischen Verhaltens als auch nach der eigenen Beteiligung an solchen Aktionen gefragt; dabei ergab sich, daß die "neuen Kohlekritiker" diese unkonventionellen Formen

- überdurchschnittlich befürworten,
- mit größerer Entschiedenheit befürworten
- und sich ihrer überdurchschnittlich bedienen haben.

Demgegenüber liegen die "traditionellen Kohlekritiker" in diesem Punkt durchweg eher unter dem Bevölkerungsdurchschnitt.

Es kann also das Fazit gezogen werden, daß es in erster Linie die "neuen Kohlekritiker" sind, von denen ähnliche Proteste gegen die verstärkte Kohlenutzung wie bei der Kernenergie ausgehen könnten bzw. die sich Protestaktionen anschließen würden.

Eine andere Frage ist, inwieweit von einer Bevölkerungsgruppe von nur etwa 7 %, selbst wenn es zu Protesten kommt, ein politischer und gesellschaftlicher Konflikt ausgehen kann, d.h. wie hoch die Konfliktfähigkeit dieser Kritikströmung einzuschätzen ist. Bei der Beurteilung dieser Frage müssen unter anderem zwei Faktoren beachtet werden, die sicherlich zur Konfliktfähigkeit der "neuen Kohlekritiker" beitragen: ihr überdurchschnittliches Niveau an Schulbildung, das ihre Argumentations- und Artikulationsfähigkeit begünstigt, und ihr gegenüber der Gesamtbevölkerung geringeres Durchschnittsalter, das auf eine generationsspezifische Mobilität und Ungebundenheit verweist, die als günstige Dispositionen für die Teilnahme an unkonventionellen politischen Protestformen gelten können. Darüber hinaus gibt es in den Befragungsergebnissen Anhaltspunkte dafür, daß die industrialismuskritische Bewegung tatsächlich Meinungsführerfunktionen in Konflikten wie den hier diskutierten übernommen hat.

Die Auswertungen der 1983 durchgeführten Bevölkerungsbefragung und Medienanalyse lassen jedoch erkennen, daß sich trotz der stark intensivierten öffentlichen Diskussion zur Problematik "Saurer Regen und Waldsterben" kein allgemeiner Einstellungswandel zuungunsten der Kohle ergeben hat. Eine verstärkte Resonanz der Kohlekritik wäre aber eine wesentliche Bedingung für die Realisierung des diagnostizierten Konfliktpotentials. Zwar haben sich eine Reihe mehrheitlich geteilter umweltpolitischer Erwartungen und Forderungen bezüglich der Rückhaltung von Schadstoffen bei der Kohlenutzung ergeben, die gegenwärtig jedoch in den Medien wie in der Bevölkerung noch kaum in Verbindung mit der energiepolitischen Urteilsbildung zur Kohle gebracht werden. Die gegenwärtig weitgehend konfliktfreie energiepolitische Bejahung der Kohle wird angesichts der allgemeinen gesellschaftlichen Rahmenbedingungen und des generellen Konfliktpotentials der "neuen Kohlekritik" allerdings nur Bestand haben, wenn

- die umweltpolitischen Erwartungen an Politik und Wirtschaft erfüllt werden, also der neueste Stand der Rückhaltetechnik im geforderten Umfang und Zeitraum zum Einsatz kommt, und
- die aufgrund immissionsschutzrechtlicher Maßnahmen zu erwartenden Emissions- und Immissionsentlastungen nicht wieder durch einen verstärkten Kohleeinsatz aufgehoben werden, was, wie die Ergebnisse der Umweltanalysen dieser Studie zeigen, nicht zu befürchten ist.

#### E. Zusammenfassende Bewertung der Kohleeinsatzstrategien und Empfehlungen zum verstärkten Steinkohleeinsatz zur Ölsubstitution

Unter ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Gesichtspunkten ergeben sich folgende Bewertungen der Kohleeinsatzstrategien:

Gegen größere Beiträge der Veredlungsstrategie, d.h. der Kohlevergasung und -verflüssigung, zur Ölsubstitution sprechen die hohen Substitutionskosten, die eine massive Subventionierung erforderlich machen würden.

Unter Umweltgesichtspunkten beständen dagegen keine Bedenken, da keine oder keine nennenswerten Mehrbelastungen gegenüber dem Ölvergleichsfall auftreten dürften. Die Akzeptanzproblematik einer umfangreichen Kohleveredlung ist schwierig zu beurteilen, da die Technologie im Bewußtsein der Bevölkerung bisher wenig präsent ist.

Die Verstromungsstrategie könnte bezüglich der Substitutionskosten günstiger werden, wenn man den Substitutionsumfang etwas reduzieren würde. Einer der wesentlichen Vorteile ist darin zu sehen, daß man mit Kohlestrom die Ölabhängigkeit der Raumwärmeversorgung in dünner besiedelten Gebieten reduzieren könnte. Unter Umweltgesichtspunkten ist die Verstromungsstrategie auch vertretbar; gewisse zusätzliche Belastungen gegenüber dem Ölvergleichsfall könnten durch zunehmende Rückstandsmengen entstehen, deren Verwertung problematisch wird. Bei einem verstärkten Einsatz der Steinkohle in Großkraftwerken zur Erzeugung von Strom für die Raumwärmeversorgung sind aber Akzeptanzprobleme nicht auszuschließen, da diese Kohlenutzungsoption in der Bevölkerung sehr umstritten ist.

Die Verheizungsstrategie weist die günstigsten ökonomischen Perspektiven auf; sie verliert diese Spitzenposition im ökonomischen Strategievergleich auch nicht, wenn Wirbelschichtfeuerungen für die kleineren Anlagen vorgesehen werden. Beim Einsatz der WSF würde die Verheizungsstrategie unter Umweltgesichtspunkten am besten abschneiden. Die Verheizung der Kohle in dezentraler Form ist zugleich die von der Bevölkerung favorisierte Option der Kohlenutzung. Unter ökonomischen, ökologischen und gesellschaftlichen Gesichtspunkten wäre demnach eine Realisierung der Verheizungsstrategie in vollem Substitutionsumfang am ehesten vertretbar, doch stehen dem schwerwiegende Realisierungsprobleme entgegen, die auch bei der Verheizungsstrategie eine Reduzierung des Substitutionsumfangs nahelegen. Die Ausweitung der Fernwärme in strategiemäßig vorgesehenem Umfang würde einerseits eine im Vergleich zu heute im Niveau höhere Subventionierung der Fernwärme (Finanzierungshilfen für die lange Anlaufphase) erfordern, andererseits energiepolitische Maßnahmen zur Verhinderung einer weiteren starken Ausweitung des Erdgaseinsatzes in für die Fernwärme geeigneten Gebieten bedingen. Maßnahmen gegen ein zu starkes Vordringen des Erdgases wären vor dem Hintergrund zu diskutieren, ob es unter dem Aspekt der langfristigen Versorgungssicherheit sinnvoll ist, dem Erdgas mit seiner günstigeren ökonomischen Startposition den größten Teil des Raumwärmemarktes in dicht besiedelten Gebieten zu überlassen. Die Ergebnisse der Studie würden folgende Politik nahelegen: für die Fernwärme die größeren und mittleren Städte vorzusehen, in denen sich auch langfristige ökonomische Vorteile der Fernwärme gegenüber dem Erdgas - also nicht nur gegenüber Heizöl - errechnen, und das Erdgas in die kleineren Städte bzw. in Gebiete mit ungünstigeren siedlungsstrukturellen Voraussetzungen zu leiten, d.h. in Gebiete, in denen Gas auch langfristig konkurrenzfähig gegenüber Fernwärme aus Kohle ist. Eine solche Politik könnte auch die Probleme mildern, die unter elektrizitätswirtschaftlichen Gesichtspunkten bei einer starken Ausdehnung der Fernwärme auf Basis der Kraft-Wärme-Kopplung bestehen.

Die zusammenfassende Bewertung läßt erkennen, daß bei allen Strategien Abstriche am Substitutionsvolumen zweckmäßig erscheinen, so daß eine Mischung der Strategietechnologien der verschiedenen Strategien zu erwägen ist. Die Bearbeiter der Studie haben zur Auswahl der Strategietechnologien für eine solche Mischstrategie als Bewertungsaspekte die Substitutionskosten, die Emissionen von  $\text{SO}_2$  und  $\text{NO}_x$  und die energetische

Effizienz, mit der verschiedene positive Umwelteffekte (geringere Emissionen anderer Stoffe, geringere Abwasser- und Rückstandsmengen, Ressourcenschonung) verbunden sind, in den Vordergrund gestellt. Unter der Voraussetzung, daß eine energiepolitisch unterstützte Ölsubstitution durch verstärkten Steinkohleeinsatz als vertretbar angesehen wird, kommen demnach folgende Strategietechnologien in dieser Reihenfolge für eine Mischstrategie in Betracht:

- Fernwärme aus Kohleheizkraftwerken für Städte über 50 000 Einwohner;
- Prozeßwärme aus Kohledampfkesseln und Fernwärme in Gemeinden unter 50 000 Einwohnern aus kleinen Kohleheizkraftwerken (jeweils möglichst mit Wirbelschichtfeuerungen);
- ausgewählte Elektroheizsysteme (möglicherweise versorgt mit Strom aus Kohleheizkraftwerken) und monovalente elektrische Wärmepumpen.

Trotz günstiger Umweltaspekte würden somit keine größeren Substitutionsbeiträge der Veredlungstechnologien berücksichtigt; die Notwendigkeit der großtechnischen Demonstration zur ökonomischen und ökologischen Optimierung dieser Technologien sowie regionale arbeitsmarktpolitische Aspekte sprechen aber für den Bau einiger weniger großtechnischer Kohleveredlungsanlagen.