

KfK 3526
November 1984

Folgen eines verstärkten Kohleeinsatzes in der Bundesrepublik Deutschland

Studienleiter: R. Coenen
Abteilung für Angewandte Systemanalyse

Teilbericht:
Umweltfolgenanalysen für
Abwasseremissionen und feste
Rückstände aus der
Kohlegewinnung und -nutzung

Autoren:
D. Brune, H. Stehfest

Kernforschungszentrum Karlsruhe



K E R N F O R S C H U N G S Z E N T R Ü M K A R L S R U H E

Abteilung für Angewandte Systemanalyse

KfK 3526

FOLGEN EINES VERSTÄRKTEN KOHLEEINSATZES IN DER
BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

Studienleiter: R. Coenen

Teilbericht: Umweltfolgenanalysen für Abwasser-
emissionen und feste Rückstände
aus der Kohlegewinnung und -nutzung

Autoren:

D. Brune
H. Stehfest

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

Umweltfolgenanalysen für Abwasseremissionen und feste Rückstände aus der Kohlegewinnung und -nutzung

Zusammenfassung

Dieser Bericht ist Teil des Schlußberichtes einer umfassenden Technikfolgenabschätzung zum verstärkten Steinkohleeinsatz zur Ölsubstitution in der Bundesrepublik Deutschland. Diskutiert wird der Anfall von Abwässern und festen Rückständen bei der Kohlegewinnung und verschiedenen Kohleumwandlungstechniken und die daraus resultierenden Gefährdungen für Gewässer. Die Analysen kommen zu dem Ergebnis, daß der Steinkohleeinsatz zur Ölsubstitution mit höheren Mengen von Abwässern und festen Rückständen als im Ölfall verbunden wäre, daß diese höheren Mengen im Hinblick auf die Folgen für die Umwelt im allgemeinen aber beherrschbar erscheinen, wenn auch lokale Probleme (Bereitstellung der notwendigen Wassermengen für Kühlzwecke, Salzbelastung bei Vorflutern mit bereits hoher Vorbelastung, Bereitstellung ausreichender Deponieflächen) nicht auszuschließen sind.

Consequences of an Expanded Use of Coal in the Federal Republic of Germany

Analyses of the environmental impacts of wastewater and solid wastes from coal mining and utilization

Abstract

This report is part of the final report of a comprehensive Technology Assessment study on the consequences of an increased use of hard coal for substituting mineral oil in the Federal Republic of Germany. The amounts of wastewater and solid residues from coal mining and different coal conversion technologies are analysed and the ensuing pollution of surface and ground water is discussed. The analyses show that hard coal utilization for oil substitution would produce larger quantities of wastewater and solid residues than would be incurred in the oil case. But in general these larger amounts appear to be manageable as far as their impacts on the environment are concerned, though problems on a local scale (supply of the necessary amounts of water for cooling purposes; salt level of the receiving stream, the salinity of which is already rather high; area requirements for waste disposal) cannot be excluded.

Vorwort

Dieser KfK-Bericht enthält einen Teil des Schlußberichtes der im Auftrag des Bundesministeriums für Forschung und Technologie erstellten Studie "Folgen eines verstärkten Kohleeinsatzes in der Bundesrepublik Deutschland". In dieser Studie, die die bisher umfassendste Technikfolgenabschätzung in der Bundesrepublik Deutschland darstellt, werden die technischen Möglichkeiten, die ökonomischen Realisierungsbedingungen und Auswirkungen, die Umweltfolgen und die gesellschaftlichen Akzeptanzbedingungen eines verstärkten Steinkohleeinsatzes zur Ölsubstitution analysiert. Betrachtet werden die Möglichkeiten der Ölsubstitution durch Kohlestrom, durch Nutzwärme (Fern- und Prozeßwärme) auf Kohlebasis sowie durch gasförmige und flüssige Kohleveredlungsprodukte.

Aus Platzgründen konnte der Schlußbericht nicht in voller Länge in die Buchpublikation über die Studie - R. Coenen (Hrsg.): "Steinkohle - Technikfolgenabschätzung ihres verstärkten Einsatzes in der Bundesrepublik Deutschland", BMFT-Reihe Risiko- und Sicherheitsforschung, Springer-Verlag Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo, Dezember 1984 - aufgenommen werden. Die Herausnahme der in diesem Bericht enthaltenen Umweltfolgenanalysen zu den Abwässern und festen Rückständen aus der Kohlegewinnung und -nutzung aus dieser Buchpublikation erfolgte nicht, weil diese Aspekte als weniger relevant angesehen werden als andere, sondern weil diese in sich geschlossene Darstellung ohne größere Ergänzungen und Änderungen als eigenständiger Bericht veröffentlicht werden kann. Auch die Teile des Schlußberichtes zu den Unfall- und Gesundheitsrisiken im Bergbau und zur Analyse der CO₂-Problematik werden als KfK-Berichte (KfK 3525 bzw. 3527) getrennt veröffentlicht. Als KfK-Bericht liegt weiterhin die Kurzfassung der Gesamtstudie vor (KfK 3521).

Bei den Umweltfolgenanalysen zu den Abwässern aus der Kohlegewinnung und -nutzung wurde in Form eines Unterauftrages mit dem Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Universität Karlsruhe kooperiert. Gemeinsam mit den Autoren dieses Berichtes möchte ich hiermit Herrn Dipl.-Ing. H.J. Schneider von diesem Institut für die gute Zusammenarbeit danken.

<u>Inhaltsverzeichnis</u>	<u>Seite</u>
Umweltfolgenanalysen für Abwasseremissionen und feste Rückstände aus der Kohlegewinnung und -nutzung	1
1. Technische Analysen zu Abwasseranfall, -rückhaltung und -reinigung bei Gewinnung, Verbrennung und Veredlung von Steinkohle	3
1.1 Gewinnung und Aufbereitung von Steinkohle	3
1.1.1 Gewinnung von Steinkohle	3
1.1.2 Aufbereitung von Steinkohle	4
1.2 Verstromung von Steinkohle	6
1.2.1 Anfall von Abwässern und festen Rückständen aus der Abwasserbehandlung	6
1.2.2 Rechtliche Vorschriften zur Abwassereinleitung	8
1.2.3 Behandlung der Abwässer und der Rückstände aus der Abwasserbehandlung	9
1.3 Veredlung	12
1.3.1 Abwassermengen und -zusammensetzung bei Kohlevergasung und -hydrierung	13
1.3.2 Rechtliche Vorschriften zur Abwassereinleitung	15
1.3.3 Abwasserbehandlung	16
1.3.4 Kosten der Abwasserbehandlung	19
2. Hochrechnungen für den Anfall von Abwasser und von festen Rückständen aus dem Steinkohleeinsatz für 1980, für die Referenzschätzung 2000 und die Kohleeinsatzstrategien	22
2.1 Skizzierung der Kohleeinsatzstrategien	22
2.2 Abwasseranfall	24
2.3 Feste Rückstände	27
3. Probleme der Verwertung bzw. Verbringung von festen Rückständen	30

	<u>Seite</u>
4. Kenntnisstandsanalysen zu Gewässergefährdungen durch feste Rückstände und Abwässer aus der Kohlenutzung	42
4.1 Gefährdung von Grundwasser und Oberflächenwasser durch feste Rückstände	42
4.2 Gefährdung von Oberflächengewässern durch Abwässer	47
5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen	56
Bibliographie	59

Umweltfolgenanalysen für Abwasseremissionen und feste Rückstände aus der Kohlegewinnung und -nutzung

Im Zentrum der Umweltfolgenanalysen im Rahmen der Studie "Folgen eines verstärkten Steinkohleeinsatzes in der Bundesrepublik Deutschland" stand die Frage, ob bei einem verstärkten Steinkohleeinsatz zur Ölsubstitution mit zusätzlichen Beeinträchtigungen der Umwelt gerechnet werden muß. Betrachtet werden dabei alternative Kohleeinsatzstrategien zur Ölsubstitution durch Steinkohle: die Ölsubstitution durch Kohlestrom (Verstromungsstrategie), durch Fern- und Prozeßwärme auf Kohlebasis (Verheizungsstrategie) sowie durch flüssige und gasförmige Kohleveredlungsprodukte (Veredlungsstrategie).

Die Umweltfolgenanalysen für Abwässer und feste Rückstände aus der Kohlenutzung bestehen aus den Einzelschritten Emissionsanalyse, Immissionsanalyse und Schadensanalyse. Die quantitative Durchführung der einzelnen Analyseschritte wirft erhebliche Probleme auf. Bei der Kohleaufbereitung und -umwandlung wird eine Vielzahl von chemischen Verbindungen erzeugt oder aus Rohstoffen sowie Rohprodukten abgetrennt, die in Gewässern - aber auch als Feststoffe - Schäden hervorrufen können. Sie im einzelnen zu identifizieren und quantitativ zu bestimmen, ist praktisch unmöglich.

Bei den Emissionsanalysen für Abwässer, die auf den verschiedenen Ebenen der Kohlenutzung - Kohlegewinnung, -aufbereitung und -umwandlung - durchgeführt wurden, muß man sich in der Regel damit begnügen, die Schadstoffe mit Hilfe sogenannter Summenparameter zu erfassen. Mit diesen relativ leicht zu messenden Parametern werden entweder ganze Gruppen von Verbindungen oder bestimmte schädliche Wirkungen von Abwässern unter genau definierten Bedingungen erfaßt. Nur bei Emissionen von Abwässern aus Wasserkreisläufen mit bestimmten Sollqualitäten für das umlaufende Wasser können die Schadstoffe leichter bestimmt werden (z.B. Abschlämmwässer aus Kühlkreisläufen).

Feste Rückstände geben die in ihnen enthaltenen Verbindungen erst im Laufe der Zeit in unterschiedlichen Raten an die Umgebung ab. Auslaugversuche können Hinweise auf Menge und Art der abgegebenen Stoffe geben. Zusätzlich können durch die Aktivität von Mikroorganismen neue Stoffe erzeugt werden, die möglicherweise leichter in die Biosphäre gelangen können.

Eine detaillierte Immissionsanalyse für die Vielzahl von Schadstoffen mit ihren Umwandlungen sowie für die jeweils spezifischen örtlichen Gegebenheiten konnte hier nicht durchgeführt werden. Es wurden lediglich pauschale Konzentrationserhöhungen von Schadstoffen durch Abwässereinleitungen in ausgewählten Gewässern bei besonders ungünstigen Vorbelastungssituationen abgeschätzt. Trotzdem wurde versucht, an dem Schema "Emission-Immission-(möglicher) Schaden" weitgehend festzuhalten. In Kapitel 1 werden zunächst die verschiedenartigen Abwässer aus der Kohlegewinnung, den Kohleaufbereitungsanlagen und -umwandlungsanlagen dargestellt. Dort finden sich auch Angaben über die rechtlichen Vorschriften, die bei der Einleitung von Abwässern in Vorfluter zu beachten sind, sowie eine Darstellung der Technologien, mit denen eine diesen Vorschriften genügende Qualität der Abwässer vor der Einleitung erreicht wird. In Kapitel 2 werden die anfallenden Abwassermengen und Rückstandsmengen für die in dieser Studie betrachteten Kohleeinsatzstrategien zur Ölsubstitution und den Referenzfall hochgerechnet und mögliche Konsequenzen diskutiert. Kapitel 3 enthält eine Darstellung der anfallenden Rückstände sowie eine Analyse ihrer Verwertungsbedingungen.

Die möglichen Gewässergefährdungen durch die Ablagerung von festen Rückständen werden in Abschnitt 4.1 diskutiert. Im Abschnitt 4.2 wird schließlich auf die Gefährdung der Oberflächengewässer durch Abwässer eingegangen. Dabei wird generell unterstellt, daß die Abwässer die in den rechtlichen Vorschriften bzw. Genehmigungsbescheiden geforderte Qualität besitzen. Als Beurteilungsgrundlage werden die mögliche Gefährdung aquatischer Lebensformen sowie die mögliche Einschränkung von Wassernutzungsformen herangezogen.

1. Technische Analysen zu Abwasseranfall, -rückhaltung und -reinigung bei Gewinnung, Verbrennung und Veredlung von Steinkohle

1.1 Gewinnung und Aufbereitung von Steinkohle

1.1.1 Gewinnung von Steinkohle

Mengen und Beschaffenheit von Grubenwässern

Im Bergwerksbetrieb unter Tage tritt an vielen Stellen Grundwasser aus, das gesammelt und zu Tage gepumpt wird. Die anfallenden Mengen sind erheblich (im Ruhrrevier circa 130 Mio m³/a). Ihre Beseitigung ist mit hohen Kosten verbunden. Allerdings sind die Verhältnisse in den einzelnen Bergbaugebieten unterschiedlich. Beispielhaft werden im folgenden die Grubenwässer des rheinisch-westfälischen Steinkohlenreviers betrachtet.

Grubenwässer sind - im Ruhrrevier - den Niederschlägen entstammendes Grundwasser und in größeren Teufen ursprüngliches, bei der Sedimentation mitabgelagertes Meerwasser /Hahne, Schmidt 1982; Puchelt 1964; Engelhardt 1960/. Ihre Zusammensetzung ist sehr unterschiedlich und hängt ab vom Verhältnis Niederschlagswasser/Grundwasser sowie vom chemischen Aufbau der Grundwasserleiter und der darüberliegenden Gesteinsschichten, die bei der Versickerung von Niederschlägen passiert werden müssen. Mit zunehmender Teufe ist allgemein eine Zunahme der gelösten Stoffe im Grundwasser festzustellen. Vereinfachend können drei Gruppen von Grundwässern (und dementsprechend auch von Grubenwässern) unterschieden werden:

- Hydrogenkarbonatwasser mit einem Gesamtgehalt an gelösten Stoffen von unter 1000 mg/l in geringen Teufen, die stark durch Niederschläge beeinflusst werden.
- Sulfatwasser im deckgebirgsfreien Raum in Teufen bis zu 500 m und mit Konzentrationen von gelösten Stoffen von einigen 1000 mg/l. Der Sulfatgehalt ist dabei durch Oxidation von Pyrit aus dem Nebengestein entstanden, wobei die Bildung von Standwasser in Grubenbetrieben diesen Vorgang beschleunigt.

- Chloridwässer als das normale tiefe Grundwasser oder Porenwasser im Bereich des von Deckschichten überlagerten Karbons im Ruhrrevier. Die Konzentrationen der gelösten Stoffe liegen meist über 5000 mg/l und erreichen Extremwerte von über 200 000 mg/l. Neben Kochsalz werden Magnesium und Kalzium, häufig auch Barium und Strontium gefunden.

Behandlung und Reinigung von Grubenwässern

Einheitliche rechtliche Vorschriften über die Beschaffenheit von Grubenwässern vor Einleitung in einen Vorfluter existieren nicht. Die Einleitungsbedingungen sind in wasserrechtlichen Erlaubnisbescheiden geregelt.

Eine Behandlung bzw. Reinigung der Grubenwässer wird bisher lediglich dann durchgeführt, wenn sie

- größere Mengen an Schwebstoffen (Eisenhydroxidflocken, Kohleteilchen) enthalten,
- neutralisiert werden müssen
- oder hohe Sulfatgehalte aufweisen, die eventuell Schäden an Betonbauwerken hervorrufen können.

In diesen Fällen werden Schwebstoffe in Absetzteichen weitgehend entfernt, Sulfat (und Sulfit) durch Kalkzugabe als schwerlösliche Salze ausgefällt. Maßnahmen zur Verringerung der Chloridfracht werden bisher nicht getroffen, obwohl die deutschen Grubenwässer zu immerhin 15 % ($\approx 2,1$ Mio t/a) zur Chloridfracht des Rheins beitragen /Hotzel 1974/ bzw. die Ruhr als Vorratsspeicher zur Trinkwassergewinnung kritisch belasten /Ruhrverband 1976/.

1.1.2 Aufbereitung von Steinkohle

Die aus den Gruben geförderte Steinkohle, die sogenannte Rohförderkohle, ist für den Verkauf noch ungeeignet, da sie aus unterschiedlich großen Stücken mit wechselndem Gehalt an Bergematerialien besteht. Mit Hilfe von Aufbereitungsverfahren wird die Rohkohle nach Grobkorn (> 10 mm), Feinkorn (0,5 -10 mm) und Feinstkorn ($< 0,5$ mm) klassiert und anschließend in Berge, Mittelgut und Kohle sortiert. Die Sortierung erfolgt heute in der Bundesrepublik Deutschland fast ausschließlich mit Hilfe von

naßtechnischen Verfahren (Ausnutzung von Dichteunterschieden) in Setzmaschinen und Schwertrübeabscheidern. Je nach Beschaffenheit der Rohkohle und Maschinentyp kann der Wasserumlauf bis zu $6 \text{ m}^3/\text{t}$ Rohförderkohle betragen /Winnacker, Küchler 1981/. Während des Aufbereitungsprozesses nimmt das im Kreislauf gefahrene Kohlewaschwasser feinste Kohle- und Bergeteilchen sowie in gelöster Form Salze und organische Stoffe auf. Die Salzkonzentration und der Gehalt an Feststoffen sollen dabei bestimmte Betriebsrichtwerte (z.B. 60 g/l Feststoffkonzentration) nicht überschreiten. Regelmäßig muß daher ein bestimmter Prozentsatz Frischwasser dem Kreislauf zugeführt und ein entsprechender Teilstrom als Abwasser abgezogen werden. Abhängig von den Inhaltsstoffen der Rohkohle kann der Wasserverbrauch zwischen $0,2$ und $1 \text{ m}^3/\text{t}$ Aufgabe betragen.

Für die Einleitung der Waschwässer in Vorfluter legen die Mindestanforderungen nach § 7a Wasserhaushaltsgesetz (WHG) Konzentrationsobergrenzen für folgende Parameter fest:

- absetzbare Stoffe (DIN 38409-H9-2): $0,5 \text{ ml/l}$,
- abfiltrierbare Stoffe (DIN 38409-H2-2/3): 100 mg/l ,
- chemischer Sauerstoffbedarf/CSB (von der abgesetzten Probe, DIN 38409-H41): 100 mg/l .

Der letztere Wert ist doppelt so hoch, wenn die Aufbereitung mit einer Brikettierung verbunden ist.

Eine Klärung der fast schwarz aussehenden Abwässer ist daher erforderlich. Sie erfolgt in Absetzteichen und Rundeindickern, wobei die Abtrennung der Lettenanteile, die in ihren Eigenschaften von Zeche zu Zeche sehr verschieden sein können, Schwierigkeiten bereiten kann. Durch Zugabe von (heute meist organischen) Flockungsmitteln kann die Sedimentationsgeschwindigkeit der Feststoffe vergrößert werden, wobei die Wahl des geeigneten Mittels und der Dosierung durch eine Reihe von Vorversuchen, dem sogenannten Jar-Test /Klute et al. 1978; Neis 1979/, getroffen werden muß.

1.2 Verstromung von Steinkohle

Wärme­kraftwerke mit Kohle als Primäre­ner­gie­träger benötigen Wasser im wesentlichen

- zur Dampferzeugung,
- zur Kühlung in Naßkühltürmen,
- bei der Rauchgasentschwefelung
- und bei der Aschespülung (-kühlung).

In der Regel wird das benötigte Wasser einem Vorfluter (Fluß) oder - in geringeren Mengen - dem Grundwasser entnommen. Für die Dampferzeugung und für die Kühlung mit Naßkühltürmen ist das Rohwasser aus einem Vorfluter (und meist auch das Grundwasser) nicht direkt verwendbar, da seine Inhaltsstoffe den Betrieb eines Kraftwerks stören würden (z.B. durch Bildung von Ablagerungen in Rohr­systemen, korrodierende Wirkung an metallischen Anlageteilen). Eine Aufbereitung des Rohwassers ist daher erforderlich. Sie erfolgt in der Regel in zwei Schritten. Zunächst werden in Filteranlagen (Kiesfilter) und Entkarbonisierungsanlagen diejenigen Stoffe entfernt, die den Kühlturbetrieb beeinträchtigen. Dazu gehören im wesentlichen suspendierte Schwebstoffe und (Hydrogen-) Karbonat-Ionen /Andres u.a. 1976/. Für die Nutzung als Kesselspeisewasser ist anschließend noch eine Vollentsalzung erforderlich /Bursik, Bucher 1981/.

Um den Wasserverbrauch und den Aufbereitungsaufwand möglichst gering zu halten, wird das Wasser in Kreisläufen gefahren (Kühlkreislauf, Wasser-Dampfkreislauf). Durch verschiedene Prozesse wird das Kreislaufwasser mit der Zeit erheblich verschmutzt. Zur Aufrechterhaltung der in den Kreisläufen geforderten Wasserqualitäten werden Konditionierungsmittel zugegeben sowie laufend bestimmte Mengen dem Kreislauf entzogen (sogenannte Abschlämmwässer) und durch frisch aufbereitetes Wasser ersetzt.

1.2.1 Anfall von Abwässern und festen Rückständen aus der Abwasserbehandlung

Den Hauptabwasserstrom bilden die Abschlämmwässer aus dem Kühlkreislauf. Sie enthalten die durch die Verdunstung aufkonzentrierten Salze aus dem

Rohwasser (Gesamtsalzgehalt ca. 3 g/l), Schwebstoffe und Korrosionsprodukte sowie die zur Aufrechterhaltung von bestimmten Wasserqualitäten eingesetzten Konditionierungsmittel und Biocide. Die Konzentrationen für die Härtestabilisatoren und Dispergiemittel betragen dabei circa 10 - 50 mg/kg bei gleichzeitiger Anwesenheit von 3-4 mg/kg Zink /Wunderlich 1978/. Biocide werden stoßweise zugesetzt in Maximalkonzentrationen im Kühlwasser von bis zu 40 mg/kg, Chlor und Acrolein eine Größenordnung darunter /Held 1977/.

Ein weiterer Abwasserstrom entsteht bei der Neutralisation von Regeneraten aus Ionenaustauscher-Anlagen, die bei der Wasseraufbereitung (Vollentsalzung) und bei der Kondensatreinigung verwendet werden /VGB 1971, 1979/. Neben Konditionierungsstoffen für den Wasser-Dampf-Kreislauf und Korrosionsprodukten enthalten die Abwässer Salze mit einer Konzentration von circa 6 g/l. Werden Umkehrosmoseanlagen eingesetzt, können die Salzgehalte der abzuleitenden Konzentrate bis zu 55 g/l betragen.

Abwässer von der Aschekühlung/-spülung enthalten absetzbare Schweb- und Schwimmstoffe (Feinstasche) in Konzentrationen von 100 - 1000 mg/l. Außerdem treten Inhaltsstoffe der Aschen auf, im wesentlichen Salze, deren Art und Menge naturgemäß von der Einsatzkohle abhängen.

Als vierter größerer Abwasserstrom sind die Abwässer aus der Rauchgasentschwefelung zu nennen. Bei den in der Bundesrepublik Deutschland vorwiegend angewendeten nassen Kalkwäschen mit dem Endprodukt Gips /siehe z.B. Forck 1981/ fallen im wesentlichen

- die Abwässer aus der Vorwäsche an, in denen die leichtlöslichen Bestandteile des Rauchgases (HF, HCl in Konzentrationen bis zu 30 g/l) und Teile des Reststaubes enthalten sind und die einen pH-Wert von kleiner als 1 besitzen /Roosendahl, Stibbe 1981/, sowie
- die Abflutungen aus der Oxidationsstufe (pH \approx 3 - 6) und die Spülwässer der Gipsanlage. Letztere enthalten die Restchloride, Verunreinigungen aus dem zugegebenen Kalk und Gipskristalle unterschiedlicher Größe. Ihr pH-Wert liegt im sauren Bereich, wo eine Entwässerung des Gipses am ehesten gelingt /Igelbüscher 1982/.

Kleinere Abwasserströme treten bei der Rückspülung von Filteranlagen (hohe Feststoffgehalte) und bei Schlammwässerungsanlagen auf. Zu berücksichtigen ist ebenfalls der Oberflächenablauf des Kraftwerksgeländes, der im wesentlichen durch Regenwasser hervorgerufen wird.

Fast alle Aufbereitungs- und Reinigungsmaßnahmen der Kraftwerkswässer hinterlassen feste Rückstände. Sie bestehen aus den Wasserinhaltsstoffen, die im Rohwasser enthalten sind oder während der Nutzung im Kraftwerk in das Wasser eingetragen werden, sowie den zugesetzten Hilfsstoffen.

Stark salzhaltige Lösungen, wie sie bei Abschlammwässern und Spülwässern bei der Rauchgasentschwefelung anfallen, können in Verdampferstufen entsorgt werden. Als Rückstand verbleibt ein zu stabilisierender Schlamm, der einer Deponie zugeführt werden kann.

1.2.2 Rechtliche Vorschriften zur Abwassereinleitung

Für Abwässer aus Wasseraufbereitungsanlagen und Kühlsystemen liegen die Mindestanforderungen nach § 7a WHG vor. Die Vorschrift enthält Werte für die in Tabelle 1 aufgeführten Parameter.

Für Abwässer aus der Rauchgasentschwefelung sind noch keine Mindestanforderungen aufgestellt worden. Nach den bisherigen Kenntnissen ist bei diesen Abwässern u.a. mit hohen Salzkonzentrationen zu rechnen. In den bisher erlassenen Mindestanforderungen ist der Salzgehalt allerdings noch nicht als Schadensparameter herangezogen worden.

Tab. 1: Mindestanforderungen nach § 7a WHG

	Kreislaufsysteme von Kraft- werken	industriellen Prozessen	Sonstige Anfallstel- len bei der Dampferzeu- gung
Stichprobe			
Absetzbare Stoffe ml/l	0,3	0,3	0,3
Wirksames Chlor mg/l	-	0,3	-
Hydrazin mg/l	-	-	5
2-Std.-Mischprobe			
Chemischer Sauerstoff- bedarf (CSB) mg/l	30	40	-
Phosphor mg/l	3	5	8 1)
Vanadium mg/l	-	-	3 2)
Eisen mg/l	-	-	7 3)
Zink mg/l	-	4	-

- 1) Diese Mindestanforderung gilt nur für Abwasser aus der Abflutung von Dampfkesseln
- 2) Diese Mindestanforderung gilt nur für Abwasser aus der rauchgasseitigen Reinigung ölbefuerter Dampfkessel
- 3) Diese Mindestanforderung gilt nur für Abwasser aus der rauchgasseitigen Reinigung von kohlebefeuerten Dampfkesseln und von Luftvorwärmern

1.2.3 Behandlung der Abwässer und der Rückstände aus der Abwasserbe- handlung

Die Einhaltung der Mindestanforderungen ist nur möglich, wenn für die einzelnen Abwässer Reinigungsmaßnahmen erfolgen.

Spülwässer von Kiesfiltern werden in Klär- und Absetzbecken aufbereitet. Der anfallende Schlamm kann in Kammerfilterpressen oder Siebbandpressen bis zu einem Feststoffgehalt von 35 - 40 Gewichtsprozenten entwässert werden. Anschließend muß er einer Deponie zugeführt werden.

Schlämme aus den Entkarbonisierungsanlagen müssen in der Regel deponiert werden. Möglichkeiten der Wiederverwendung in anderen Industriezweigen werden diskutiert /Andres et al. 1976/ bzw. befinden sich im Erprobungsstadium /Wollny 1983/.

Das Abschlammwasser wird in der Regel direkt an den Vorfluter abgegeben. Eine Behandlung ist nach dem derzeitigen Stand des Wissens nicht erforderlich, da auch die Konzentration der eingesetzten Konditionierungsstoffe und Biocide vernachlässigbar gering ist. Allerdings wird diskutiert, ob nicht die Abwassermenge reduziert bzw. der Abwasseranfall überhaupt vermieden werden kann. Ein entsprechender Vorschlag stammt von Marquardt /Marquardt 1980/. Abbildung 1 zeigt die Verfahrenskombination. Diese sieht vor, daß sowohl für die Aufbereitung des Kühlturmsatzwassers als auch für die Reinigung des Abschlammwassers Umkehrosmoseanlagen (UO) eingesetzt werden und das verbleibende Konzentrat einer Verdampfungsstufe zugeführt wird.

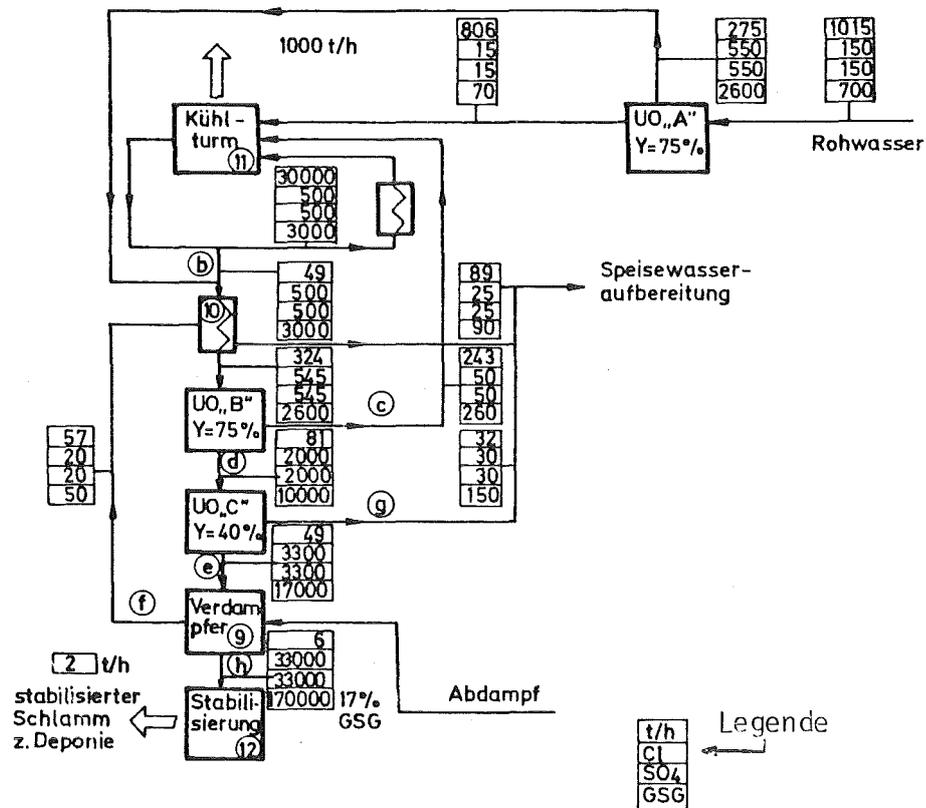


Abb. 1: Entsorgung von Kühlturmabschlammwasser
Quelle: /Marquardt 1980, S. 500/

Saure und basische Abwässer aus Ionenaustauscheranlagen müssen vor ihrer Abgabe an einen Vorfluter neutralisiert werden. Dies geschieht in Neutralisationsbecken, die ausreichend bemessen sein müssen, um die Abwässer mehrerer Regenerationsperioden speichern zu können und um die Abgabe der Abwässer an den Vorfluter möglichst gleichmäßig vornehmen zu können. Letzteres ist notwendig, um die Belastung des Vorfluters möglichst gering zu halten. Zur Neutralisation überschüssiger Lauge wird Salz- oder Schwefelsäure benutzt. Bei Säureüberschuß setzt man gebrannten oder gelöschten Kalk, Marmor oder Natronlauge ein /Resch, Kretzer 1973/.

Abwässer von der Kondensatreinigung (Rückspülwasser, Regenerationsabwässer, Abschlammungen) müssen von den festen Inhaltsstoffen in Absetzbecken befreit werden und können dann in Neutralisationsbecken aufbereitet werden. Für eine möglichst geringe Belastung des Vorfluters ist es zweckmäßig, noch Reinigungsstufen für Ammoniak (Stripper unter Rückgewinnung), für Hydrazin (Oxidation), für Inhaltsstoffe, die bei alkalischer Fahrweise auftreten, sowie für Schwermetalle (Selektiv-Ionenaustauscher) vorzusehen.

Über die Behandlung von Abwässern aus der Rauchgasentschwefelung liegen nur geringe Erfahrungen vor /Bursik, Resch 1981; Forck 1981/. Die folgenden Ausführungen können daher nur vorläufigen Charakter haben. Wird das Abwasser nicht eingedampft, wie dies in einer Versuchsanlage schon erprobt worden ist /Igelbüscher et al. 1982/, so muß es zunächst neutralisiert werden. Dies kann durch Zugabe von Kalziumhydroxid geschehen, was auch den Vorteil hat, daß ein großer Teil unerwünschter Lösungsbestandteile (z.B. Schwermetalle) als Hydroxide gefällt werden kann. In einer nachfolgenden Stufe könnten die absetzbaren Stoffe entfernt werden. Versuche haben ergeben, daß die Filtrate dieser Stufe zwar noch hohe Gehalte an Chlorid und Sulfat besitzen, bei anderen Stoffen aber die in der Trinkwasserverordnung festgelegten Werte schon fast erreichen. Inwieweit noch weitere Reinigungsschritte erforderlich sind, ist zur Zeit noch ungeklärt. Denkbar wäre z.B. die Nachschaltung einer Umkehrosmoseanlage, bei der das Permeat (das gereinigte Wasser) wieder als Waschlösung verwendet und das Konzentrat einer Verdampfungsstufe zugeführt werden könnte.

Das Abwasser von der Aschepülung/-kühlung muß von den festen Inhaltsstoffen befreit werden. Dies geschieht durch eine Kombination von Absetzstufe und Flockungsstufe. Der anfallende Schlamm wird in Eindickern entwässert und einer Deponie zugeführt.

1.3 Veredlung

Während bei der Verstromung die Abwasserprobleme hinter den Luftreinhalteproblemen zurücktreten, gilt für die Veredlungsverfahren eher das Umgekehrte. Dies rührt daher, daß bei der Veredlung die Abfallstoffe zum großen Teil erst bei der Produktaufarbeitung anfallen, d.h. in Verbindung mit Kondensaten und Waschwässern.

Die Zahl der bekannten Veredlungsverfahren ist inzwischen so groß /vgl. z.B. Schilling et al. 1979/, daß nur einige typische Verfahren hinsichtlich ihrer Abwasserprobleme behandelt werden können. Es wurden die Lurgi-Druckvergasung, die Texaco-Vergasung und die Hydrierung nach dem weiterentwickelten IG-Verfahren ausgewählt. Für alle drei Verfahren existieren relativ detaillierte Projektstudien für Großanlagen in der Bundesrepublik Deutschland /Abel und Oelert 1981, Kapitel 3/. Eine Vergasungsanlage nach dem Texaco-Verfahren befindet sich im Bau (Synthesegasanlage Ruhr).

Im Hinblick auf das Abwasserproblem markieren die ausgewählten Vergasungsverfahren die Extreme: Die Lurgi-Druckvergasung mit ihrer relativ niedrigen Reaktionstemperatur und der durch das Gegenstromprinzip bedingten Schwelzone in der Nähe des Gasaustritts liefert ein sehr stark organisch belastetes Gaskondensat, das dem Kokereiabwasser vergleichbar ist. Das Texaco-Verfahren liefert ein Abwasser, das wegen der hohen Reaktionstemperatur und wegen des Flugstromprinzips kaum organisch unreinigt ist.

Geplante (oder projektierte) Kohleverflüssigungsanlagen werden heute üblicherweise kombiniert mit einem Vergasungsverfahren zur Erzeugung des Hydrierwasserstoffs aus dem Hydrierrückstand. Als Vergasungsverfahren wurde hier das Texaco-Verfahren ausgewählt.

1.3.1 Abwassermengen und -zusammensetzung bei Kohlevergasung und -hydrierung

Der Hauptabwasserstrom der Lurgi-Druckvergasung stellt ein Gaskondensat dar, das aus der Kohlefeuchtigkeit und dem unzersetzten Vergasungsdampf bei der Gaskühlung entsteht. Es ist hochgradig organisch verunreinigt und muß einer aufwendigen Reinigung unterzogen werden. Dabei können Phenole, H_2S und NH_3 als Wertstoffe einzeln abgetrennt werden. Die ungefähre Zusammensetzung dieses Gaskondensats unter den bei der Analyse gewählten Randbedingungen zeigt Tabelle 2, sie kann je nach Prozeßvariante und Einsatzkohle in recht weiten Grenzen schwanken.

Tab. 2: Zusammensetzung des Gaskondensats bei der Lurgi-Druckvergasung (nach der Teer- und Ölabscheidung)

Stoffe	Konzentration
CSB	15 000 g/m ³
Phenole	4 000 g/m ³
Sulfidschwefel	1 000 g/m ³
Ammoniak	7 000 g/m ³
Cyanid	10 g/m ³
Rhodanid	200 g/m ³
Chlorid	280 g/m ³
Fluorid	200 g/m ³
Absetzbare Stoffe	100 g/m ³
Abwassermenge pro t SKE Einsatzkohle: 0,75 m ³	

Ein weiterer Abwasserstrom ergibt sich aus dem Oberflächenabfluß des Werksgeländes. Dieses Abwasser ist jedoch wesentlich geringer verschmutzt und braucht daher (wie auch eine Reihe weiterer, kleiner Abwasserströme), nur einen Teil der Abwasserbehandlungsschritte zu durchlaufen.

Ebenso ist das Aschepülwasser, der dritte bedeutende Abwasserstrom, wenig problematisch; es muß lediglich neutralisiert und von den Feststoff-

fen befreit werden. Allerdings ist die Auslaugung von Schwermetallen aus der Vergasungsasche noch nicht hinreichend geklärt, so daß sich nach weiteren Untersuchungen durchaus die Notwendigkeit ergeben könnte, wegen zu hoher Schwermetallgehalte das Aschespülwasser noch zusätzlichen Behandlungsschritten zu unterziehen.

Bei der Texaco-Vergasung ist die Hauptabwasserquelle ebenfalls die Gaswäsche! wegen der hohen Reaktionstemperatur ist das Abwasser jedoch kaum organisch verschmutzt. Es hat etwa die in Tabelle 3 angegebene Zusammensetzung.

Tab. 3: Zusammensetzung des Prozeßabwassers bei der Texaco-Vergasung

Stoffe	Konzentration		
CSB	100	g/m^3	Abwasser
Sulfidschwefel	30	g/m^3	"
Ammoniak	500	g/m^3	"
Cyanid	15	g/m^3	"
Chlorid	1 000	g/m^3	"
Fluorid	500	g/m^3	"
Feststoffe	20 000	g/m^3	"
Abwassermenge pro t SKE Einsatzkohle: $1,1 \text{ m}^3$			

Bei der analysierten Kohleverflüssigungsanlage liefert der Hydrierteil ein Prozeßabwasser, das dem aus der Lurgi-Vergasung sehr ähnlich ist; lediglich die Sulfid- und die Ammoniakkonzentrationen sind deutlich höher. Die Abwassermenge ist bei gleicher Kohleeinsatzmenge nur etwa halb so groß wie bei der Lurgi-Vergasung. Aus der Rückstandsvergasung kommt andererseits ein Abwasser, das dem in Tabelle 3 spezifizierten Abwasser der Texaco-Vergasung sehr ähnlich ist; die Menge ist wiederum nur etwa halb so groß wie bei der Lurgi-Vergasung.

1.3.2 Rechtliche Vorschriften zur Abwassereinleitung

Mindestanforderungen nach § 7a des Wasserhaushaltsgesetzes existieren für Kohleveredlungsanlagen bisher nicht. Für einige Industrien mit ähnlichen Abwässern liegen jedoch Mindestanforderungen im Entwurf vor, und zwar für Kokereien, Raffinerien und Betriebe zur Erzeugung von Kohlenwasserstoffen. Von der Abwasserqualität her besteht die größte Ähnlichkeit mit den Kokereien, vor allem was die Abwässer der Lurgi-Vergasung und der Hydrierung betrifft. Die für Kokereien in der Diskussion befindlichen Werte werden sich jedoch wahrscheinlich nicht ohne weiteres auf Kohleveredlungsanlagen übertragen lassen. Bei den Kokereianforderungen wird sich die Ermittlung der "anerkannten Regeln der Technik" der Abwasserreinigung, die die Grundlage für die Mindestanforderungen darstellen, an dem derzeitigen Anlagenbestand mit seiner Abwasserbehandlung orientieren. Bei den neu zu errichtenden Veredlungsanlagen besteht diese Möglichkeit der Orientierung an bestehenden Anlagen noch nicht; hier kann man versuchen, Hinweise auf eine mögliche Ausgestaltung der Mindestanforderungen aus der bisherigen behördlichen Praxis der Genehmigung von Abwassereinleitungen aus Kohleveredlungsanlagen, aus Erfahrungen fortschrittlicher Betriebe des Auslands oder aus einschlägigen Forschungsergebnissen zu gewinnen /Salzwedel, Preusker 1981/. Aus den bisher durchgeführten Genehmigungsverfahren für Veredlungsverfahren in der Bundesrepublik Deutschland (Stand: Januar 1984) lassen sich allerdings keine Schlüsse ziehen, da die Abwässer nicht direkt in öffentliche Gewässer eingeleitet, sondern an bereits bestehende Reinigungsanlagen abgegeben werden. Forschungsergebnisse zu Reinigungsverfahren (s. z.B. /Jüntgen et al. 1983/) lassen vermuten, daß die Mindestanforderungen für Veredlungsanlagen sich voraussichtlich auf dieselben Parameter wie im Fall der Kokereien beziehen, aber strengere Werte ausweisen werden. Demnach könnten die künftigen Mindestanforderungen für Veredlungsanlagen etwa so lauten wie in Tabelle 4 angegeben.

Tab. 4: Mögliche zukünftige Mindestanforderungen nach § 7a des WHG an das Abwasser von Kohleveredlungsanlagen (die Werte beziehen sich auf die eingesetzte Menge wasser- und asche-freie Kohle)

Absetzbare Stoffe	100 ml/t
Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB)	100 g/t
Biologischer Sauerstoffbedarf (BSB ₅)	50 g/t
Cyanid	0,2 g/t
Phenole insgesamt	1 g/t
Stickstoff aus Ammoniumverbindungen	50 g/t
Fischgiftigkeit als Verdünnungsfaktor	3

1.3.3 Abwasserbehandlung

Da die Lurgi-Vergasung das am stärksten verunreinigte Prozeßabwasser liefert, soll anhand dieses Veredlungsverfahrens die Lösung des Abwasserproblems exemplarisch dargestellt werden. Eine Verfahrenskette, die beim Lurgi-Gaskondensat zu einer Qualität führt, bei der die Werte der Tabelle 4 eingehalten werden, und die eine weitgehende Wertstoffrückgewinnung vorsieht, zeigt Abbildung 2. Sie wird im Detail in Brune et al. begründet /Brune et al. 1983/.

Der erste Behandlungsschritt, die Filtration, bedarf wegen seiner Einfachheit keiner näheren Erläuterung. Er dient dazu, für die nachfolgende Phenolgewinnung den Feststoffgehalt auf unter 10 mg/l zu bringen (vgl. Tab. 2). Üblicherweise nimmt man hier einen Mehrschichtfilter. Für die Phenolentfernung wurde das sogenannte Phenosolvanverfahren unterstellt, bei dem das Phenol mittels Diisopropyläther extrahiert wird. Bei diesem Schritt wird auch ein Teil der übrigen organischen Abwasserinhaltsstoffe entfernt. Die H₂S-, CO₂- und Ammoniakentfernung geschieht nach dem von Chemie Linz und Lurgi entwickelten CLL-Verfahren, das hauptsächlich auf dem unterschiedlichen Verhalten dieser Gase beim Abtreiben beruht. Ein wichtiger Nebeneffekt dieser Behandlung ist die weitgehende Elimination von Cyanid und Rhodanid. Die biologische Behandlung ist mehrstufig ausgelegt, um den nach der CLL-Anlage immer noch erheblichen anorgani-

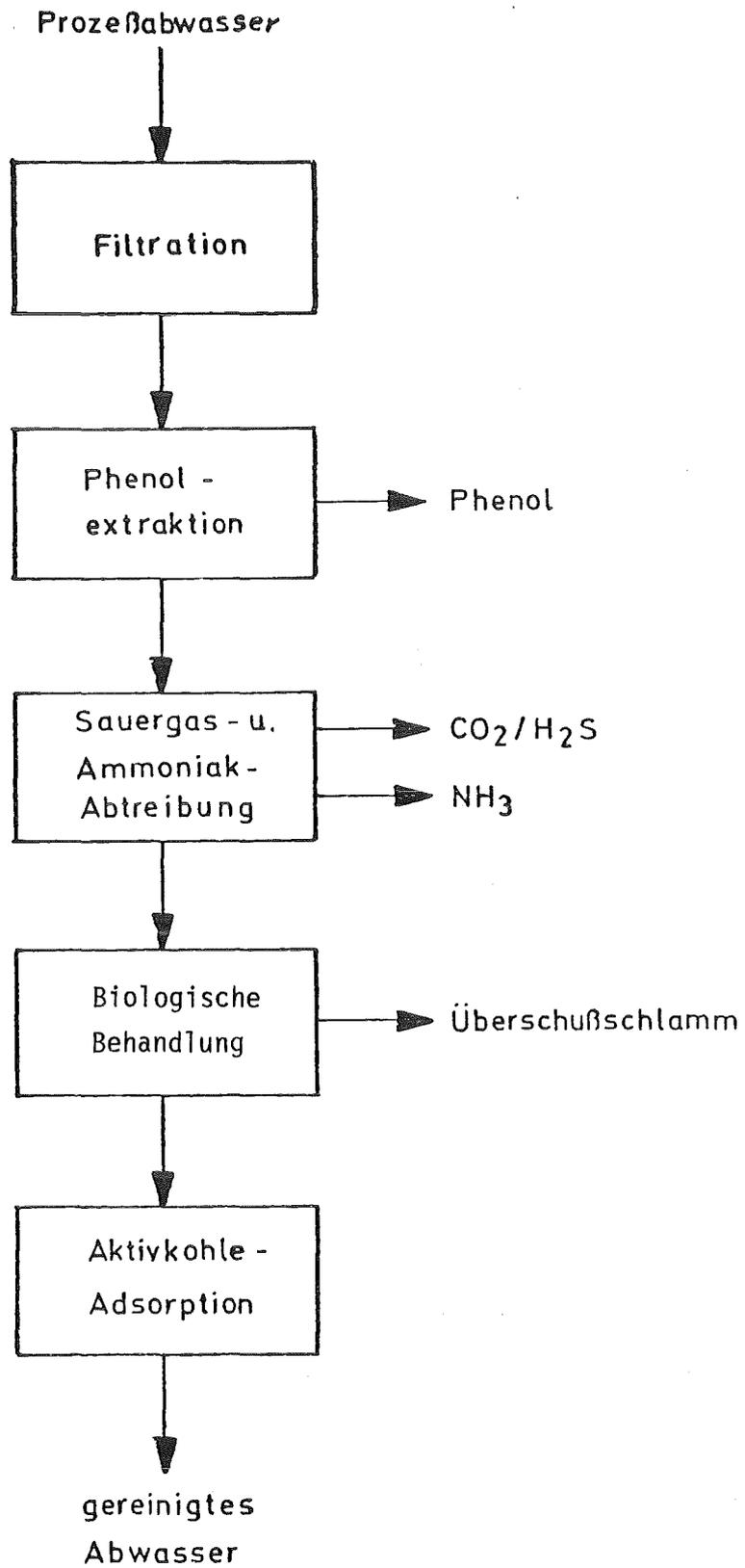


Abb. 2: Verfahrenskombination zur Prozeßabwasserbehandlung bei der Lurgi-Druckvergasung

schen Stickstoffgehalt zu reduzieren: Nach einer konventionellen ersten Stufe wird zunächst das Ammonium biochemisch zu Nitrat oxidiert, in der folgenden Denitrifikationsstufe wird das Nitrat unter anaeroben Bedingungen zu N_2 reduziert. Die Restverschmutzung nach der biologischen Reinigung besteht hauptsächlich aus schwer abbaubaren Verbindungen. Neben harmlosen Verbindungen, z.B. Huminsäuren, befinden sich darunter gesundheitlich bedenkliche Stoffe wie mehrwertige Phenole und polycyclische Aromaten /Bogan et al. 1982; Stamoudis und Luthy 1980; Nowacki 1980/. Daher ist der biologischen Behandlung noch eine Aktivkohleadsorption nachzuschalten. Dieser wird man zweckmäßigerweise eine Flockung und Filtration vorschalten, um die Standzeit des Aktivkohlefilters zu verlängern.

Nach diesem Behandlungsschritt dürften die in Tabelle 4 antizipierten Qualitätsstandards erreicht sein. Problematisch könnten allenfalls noch Schwermetalle sein, die wegen ihrer Flüchtigkeit von der Kohle ins Prozeßwasser übergehen können (z.B. Hg). Derartige Probleme, deren Auftreten sehr stark von der Einsatzkohle abhängt, lassen sich durch spezifische Fällungsverfahren am Ende der Abwasserbehandlung lösen.

Während man für die Prozeßabwässer einer Hydrieranlage ein ähnliches Behandlungsschema vorsehen wird, ergeben sich wesentliche Vereinfachungen bei den Vergasungsverfahren, die mit hoher Temperatur arbeiten, z.B. bei der Texaco-Vergasung. Aufgrund der geringen organischen Verschmutzung erübrigt sich die Phenolentfernung und unter Umständen auch die biologische Behandlung.

Das gereinigte Prozeßabwasser kann auch als Kühlturm-Zusatzwasser verwendet werden /Rolke 1980/. Unter Umständen muß dann zur Vermeidung von Korrosion ein Anionenaustauscher eingeschaltet werden. Inwieweit man bei dieser Rezyklierung auf manche der Abwasserbehandlungsschritte verzichten kann, ist noch unklar. Zu beachten sind dabei Bioaktivität im Kühlsystem, Korrosion, Übertritt bedenklicher Stoffe in die Atmosphäre und die Frage, was mit dem Abschlämmwasser geschieht. Milios berichtet von erfolgreichen Versuchen an der Sasol-Anlage in Südafrika (Lurgi-Druckvergasung), das Prozeßwasser nach dem Ammoniakabtreiber (siehe

Abb. 2) direkt dem Kühlturm zuzuführen /Milios 1975/. In Mitteleuropa dürfte eine solche Betriebsweise kaum genehmigt werden.

Eine noch weitergehende Schonung der Vorfluter läßt sich erzielen, wenn man die Abwässer, die nach der Rezirkulation des Prozeßwassers immer noch anfallen, zu einem deponiefähigem Schlamm aufkonzentriert und das entzogene Wasser ebenfalls wiederverwendet (Nullemission). Im wesentlichen betrifft dies die Abschlammwässer aus dem Kühlkreislauf und die Spülwässer aus der Asche-Kühlung. Nach Abtrennung der Feststoffe können sie mit Hilfe von Umkehrosmoseanlagen in Konzentrate und Reinwasser getrennt werden. In einer nachgeschalteten Verdampfungsanlage werden die Konzentrate zu einem deponiefähigen Schlamm weiterverarbeitet.

1.3.4 Kosten der Abwasserbehandlung

Als Beispiel wird wieder die Lurgi-Druckvergasung herangezogen. Es werden einmal die Kosten des Behandlungsschemas der Abbildung 2, aufgeschlüsselt nach den dort genannten Teilanlagen, zusammengestellt. Außerdem werden die Mehrkosten ermittelt, die sich bei Wiederverwendung des gereinigten Prozeßwassers als Kühlturmzusatzwasser und Eindampfung der Abschlammwässer und des Aschespülwassers ergeben. Tabelle 5 zeigt diese Kosten und zum Vergleich auch die Kosten der Gesamtanlage. Angegeben sind die Investitionskosten bei Inbetriebnahme 1980. Die jährlichen Betriebskosten für die Abwasserreinigung betragen ca. 15 % der Anlagekosten der Abwasserbehandlung; dabei wurde unterstellt, daß die benötigte Energie von außerhalb der Anlage bezogen werden muß. Man sieht, daß bei den Investitionskosten die "konventionelle" Abwasserbehandlung 6-7 % der gesamten Investitionen beansprucht. Überraschend wenig erhöht sich dieser Anteil, wenn man den Fall der Nullemission realisiert, nämlich nur auf 7-8 %. Bei den Betriebskosten ist zu bedenken, daß sie in der Realität wegen der Möglichkeit der Verwendung billiger Abfallwärme unter Umständen deutlich niedriger ausfallen. Auch bei den Investitionskosten der weitergehenden Abwasserbehandlung ist eine weitere Reduktion wahrscheinlich, da in der Kostenrechnung von einem unveränderten konven-

Tab. 5: Investitionskosten (bei Inbetriebnahme 1980) der Abwasserbehandlung bei der Lurgi-Druckvergasung (Durchsatz: $2,5 \cdot 10^6$ t SKE/a)

	Investitionskosten 10^6 DM
Puffertanks und Filtration	10
Phenosolvananlage	40
CLL-Anlage	50
Biologie und Aktivkohleadsorption	40
Schlammbehandlung	15
Summe konventionelle Abwasserbehandlung	155
Umkehrosmose	15
Verdampfer	20
Schlammstabilisierung	1
Summe weitergehende Abwasserbehandlung	36
Summe Abwasserbehandlung	191
Kosten der Gesamtanlage	2500

Die wesentlichen Quellen für die Kostendaten sind: /VEBA ÖL AG 1981 (Investitionskosten für die Teilanlagen der Abwasserreinigung); Klein und Patalas 1978 (Kosten der Aktivkohlefiltration); Ciesiolka und Schmitt 1982 (Kosten der Gesamtanlage); Mothadi et al. 1980 (Kosten der Aktivkohlefiltration); Hager und Elsässer GmbH 1982 (Kosten der Umkehrosmose und der Eindampfung); Köhlhoff und Weiling 1980 (Kosten der Umkehrosmose); Damiecki 1980 (Kosten der Eindampfung); Hoffmann 1979 (Kosten der biologischen Abwasserbehandlung); Abel und Oelert 1981 (Investitionskosten der Gesamtanlage)/.

tionellen Teil ausgegangen wurde. Im Falle einer weitergehenden Abwasserreinigung können aber unter Umständen einzelne Behandlungsschritte des konventionellen Teils in ihrem Wirkungsgrad etwas herabgesetzt und damit kostengünstiger gestaltet werden. Die Abwasserabgabe, die bei einem Vergleich zwischen den Kosten der konventionellen Reinigung und den Kosten des Falls der Nullemission im Prinzip zu berücksichtigen ist, ist klein im Vergleich zu den Kosten der Abwasserbehandlung.

Bei der Einschätzung der Abwasserbehandlungskosten sind auch die Erlöse für die Wertstoffe Phenol und Ammoniak zu berücksichtigen. Übersichtliche Rechnungen zeigen, daß die Phenolerlöse die Kosten der Phenolextraktion voll decken, während die Ammoniakgewinnung sich nicht selbst trägt.

Beim Texaco-Verfahren sind die Abwasserbehandlungskosten erheblich niedriger. Bei der Hydrierung dürften sie (bei gleicher Kohleeinsatzmenge) absolut etwa gleich hoch sein wie bei der Lurgi-Druckvergasung, was bedeutet, daß der Anteil an den Gesamtkosten niedriger ist.

2. Hochrechnungen für den Anfall von Abwasser und von festen Rückständen aus dem Steinkohleeinsatz für 1980, für die Referenzschätzung 2000 und die Kohleeinsatzstrategien

2.1 Skizzierung der Kohleeinsatzstrategien

Wesentliche Bestandteile der Umweltfolgenanalysen eines verstärkten Steinkohleeinsatzes zur Ölsubstitution sind quantitative Abschätzungen der damit verbundenen Emissionen. Solche Abschätzungen wurden auch für Abwässer und feste Rückstände vorgenommen; verglichen werden dazu jeweils der Anfall von Abwässern bzw. festen Rückständen aus der Steinkohlenutzung im Jahre 1980 (77 Mio t SKE Steinkohleeinsatz), aus der gemäß Referenzannahmen der Studie erwarteten Steinkohlenutzung im Jahre 2000 (Referenzschätzung: 90 Mio t SKE Steinkohleeinsatz) sowie für die im Rahmen der Studie betrachteten Kohleeinsatzstrategien zur Ölsubstitution - Verstromungsstrategie, Verheizungsstrategie, Veredlungsstrategie Varianten A und B.

Zum Verständnis der folgenden Abschätzungen ist eine kurze Skizzierung der Strategien erforderlich; bezüglich einer detaillierten Beschreibung wird auf das beim Springer-Verlag erschienene Buch verwiesen /Coenen 1984/.

Der Substitutionsumfang ist für alle drei Strategien gleich hoch festgelegt; es sollen 20 Mio t SKE Rohöl bzw. 17,6 Mio t SKE Mineralölprodukte durch Steinkohle ersetzt werden.

Bei der Verstromungsstrategie sollen Ölprodukte durch Kohlestrom substituiert werden; die Substitution erfolgt 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 sollen Ölprodukte durch Nutzwärme auf Kohlebasis (Fernwärme, Prozeßwärme) ersetzt werden; der Substitutionsumfang verteilt sich 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 Veredlungsstrategie sollen Ölprodukte durch Produkte der Kohleverflüssigung und -vergasung ersetzt werden; es 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.

Der zur Substitution von 20 Mio t SKE Rohöl bzw. 17,6 Mio t SKE Öl (Endenergie) erforderliche Steinkohleeinsatz (strategischer Kohleeinsatz) ist wegen des unterschiedlichen energetischen Substitutions-Wirkungsgrades (Steinkohleeinsatz pro t SKE Ölsubstitution) von Strategie zu Strategie verschieden. Bei der Verheizungsstrategie werden aufgrund des ho-

hen 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.

Den nachfolgenden Vergleichen der Abwasser- und Rückstandsmengen für die verschiedenen betrachteten Fälle liegen also folgende Steinkohleeinsatzmengen zugrunde:

Istzustand 1980:	77 Mio t SKE
Referenzschätzung 2000:	90 Mio t SKE
Verstromungsstrategie:	115 Mio t SKE
Verheizungsstrategie:	102 Mio t SKE
Veredlungsstrategie	
- Variante A:	119 Mio t SKE
- Variante B:	118 Mio t SKE

2.2 Abwasseranfall

Die Ergebnisse der Vergleichsrechnungen für die Abwässer aus der Kohlenutzung zeigt Abbildung 3. Erfasst werden der Wassereinsatz, die verdunstete Wassermenge und die einzelnen Abwässer der Kohleumwandlungsanlagen für das Bezugsjahr 1980, die Referenzschätzung 2000 sowie für die Kohleeinsatzstrategien. Zur Berechnungsmethode und Darstellung der Ergebnisse sind folgende Anmerkungen zu machen:

- Grubenwässer und Abwässer aus der Kohleaufbereitung werden nicht ausgewiesen; sie liegen zur Zeit in der Größenordnung von 150 Mio m³/a. Eine Abschätzung des Anfalls dieser Abwässer für den strategischen Kohlemehreinsatz hängt von der Annahme über das Einsatzverhältnis inländische Kohle/Importkohle ab; die Mengen an Abwasser wären mit dem Kohleeinsatz korreliert, d.h. die Kohleveredlungsstrategie und die Verstromungsstrategie würden höhere Abwassermengen aufweisen als die Verheizungsstrategie.

- Für das Bezugsjahr 1980 sind der Wassereinsatz, die verdunstete Wassermenge und die verschiedenen Abwässer bei den Kraftwerken nur für Steinkohlekraftwerke mit Kühltürmen ausgewiesen. Dabei wurde unterstellt, daß der Anteil der Kraftwerksleistung, der mit Kühltürmen ausgerüstet ist, ca. 1/3 der gesamten Kraftwerksleistung auf Steinkohlebasis beträgt. (Laut VDEW-Statistik ist 1/3 der installierten Kraftwerksleistung - Bruttoengpaßleistung - auf Steinkohle- bzw. Steinkohle/Öl-Basis mit Kühltürmen ausgerüstet.) Entsprechend wurde angenommen, daß 1/3 der eingesetzten Kohle in diesen Kraftwerken verbrannt wurde. Als Kühlverfahren wurde für diese Kraftwerke einheitlich die Kreislaufkühlung mit Naturzugkühlturm, wie sie auch im "Modellkraftwerk" vorgesehen ist, angenommen.

Der gesamte Wasserverbrauch aller Steinkohlekraftwerke liegt sehr viel höher als in der Abbildung ausgewiesen, da überwiegend die Durchlauf- und Ablaufkühlung eingesetzt wird. (Nach dem Wasserversorgungsbericht der Bundesregierung /BMI 1982/ ist der Kühlwasserbedarf bei diesen Kühlverfahren ca. 100 mal größer als bei der Kreislaufkühlung. 1977 betrug der Wasserverbrauch aller Wärmekraftwerke 23 Mrd m³/a, woraus sich - unter der Annahme, daß der Anteil der Steinkohlekraftwerke am Gesamtwasserverbrauch ihrem Anteil an der Gesamtstromerzeugung entspricht - ein Wasserverbrauch der Steinkohlekraftwerke von ca. 8 Mrd m³/a abschätzen läßt.) Für die Zukunft wird allerdings angenommen, daß der Anteil dieser beiden Kühlverfahren nicht mehr ausgeweitet werden kann und daß deshalb die referenzmäßig und strategiemäßig zusätzlich in Kraftwerken eingesetzte Kohle ausschließlich in "Modellkraftwerken" mit Kreislaufkühlung und Naturzugkühltürmen eingesetzt wird. Deshalb wurde der Wasserverbrauch für die Durchlauf- und Ablaufkühlung in der Abbildung nicht ausgewiesen, da er für alle betrachteten Fälle einen gleich hohen Sockelbetrag darstellt.

- Die Höhe der Balken stellt jeweils die gesamte eingesetzte Wassermenge dar (Wasser in der eingesetzten Kohle ist nicht berücksichtigt).

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen, daß die Jahresmengen für den Wasserverbrauch überwiegend durch den Bedarf an Kühlwasser bedingt sind. Dementsprechend unterschiedlich ist der Bedarf bei den einzelnen Strategien. Die Verheizungsstrategie zeigt erwartungsgemäß den geringsten Wasserverbrauch.

Die Verdunstungsverluste erscheinen gering, wenn man sie in Relation zur natürlichen Verdunstung setzt (ca. 1 - 2 % der natürlichen Verdunstung /BMI 1982/). Sie können aber für die Standortfindung neuer Kraftwerke oder Veredlungsanlagen Bedeutung erlangen. An den Flüssen Ruhr, Erft und Rur ist ein Zubau weiterer Kraftwerke eher unwahrscheinlich, da hier schon jetzt bei Niedrigwasser theoretisch die gesamte

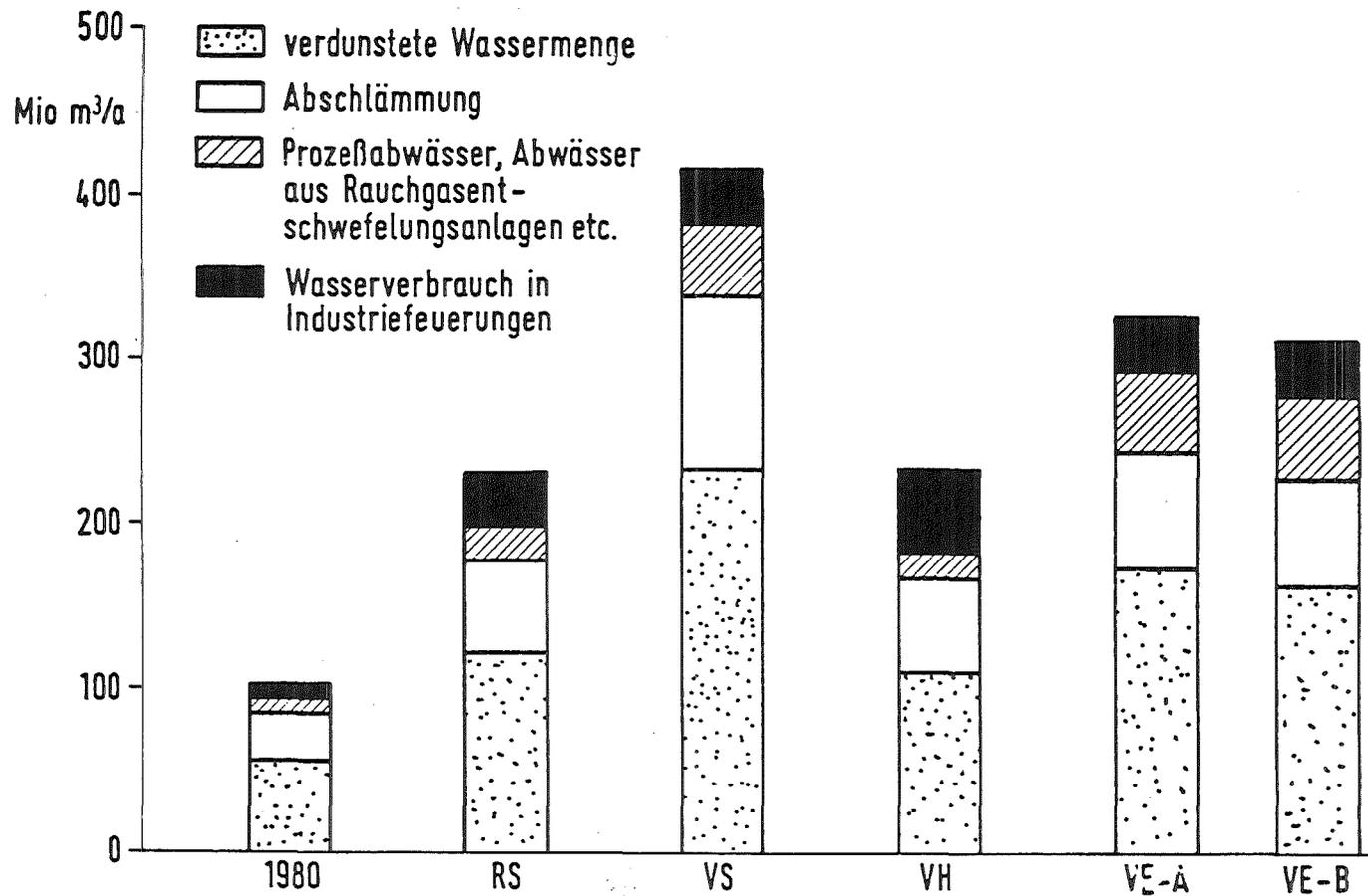


Abb. 3: Wassereinsatz, verdunstete Wassermenge und Abwässer beim Steinkohleeinsatz für 1980, Referenzschätzung 2000 (RS), Verstromungs(VS)*-, Verheizungs(VH)*- sowie Veredlungsstrategie* Variante A (VE-A) und Variante B (VE-B)

* ohne Saldierung mit den durch die Ölsubstitution entfallenden Wassermengen in der Rohölverarbeitung, die aufgrund gleichen Substitutionsumfangs für alle Strategien gleich hoch sind und ca. 14 Mio m³/a betragen

Flußwassermenge für die Verdunstung bereitgestellt werden muß /Döring 1982/. Nur durch ein System von Talsperren und Vorratsbecken kann bei diesen Flüssen eine ausreichende Wasserführung aufrecht erhalten werden. Schwierigkeiten, ein ausreichendes Kühlwasserdargebot bereitzustellen zu können, werden auch für die Flüsse Lippe, Ems und Saar erwartet.

In der Gruppe Prozeßabwässer sind alle Abwässer aus der Wasseraufbereitung, Kondensatreinigung, Aschekühlung/-spülung sowie der Produktaufbereitung und -reinigung bei den Veredlungsanlagen zusammengefaßt. Die jeweiligen Anteile sind bei den einzelnen Strategien naturgemäß unterschiedlich. Bei der Referenzschätzung sowie bei der Verstromungs- und der Verheizungsstrategie handelt es sich überwiegend um Abwässer aus der Rauchgasentschwefelung und sonstige Kraftwerksabwässer, während bei der Veredlungsstrategie die Reinigung der Umwandlungsprodukte das meiste Abwasser liefert.

2.3 Feste Rückstände

Abbildung 4 zeigt den Vergleich des Anfalls an festen Rückständen (Asche, Gips und Schlamm) für das Bezugsjahr 1980, die Referenzschätzung 2000 sowie für die Kohleeinsatzstrategien. Zur Berechnung sind folgende Anmerkungen zu machen:

- Bei der Berechnung des Ascheanfalls in Steinkohlekraftwerken 1980 wurde angenommen, daß 23 Mio t SKE Vollwertkohle und 15,4 Mio t SKE Ballastkohle verfeuert wurden. Bei dieser Annahme ergeben die Berechnungen einen Ascheanfall von 6,65 Mio t. Dies entspricht ungefähr dem Wert, den die Technische Vereinigung der Großkraftwerksbetreiber (VGB) in einer Umfrage ermittelt hat (6,2 Mio t) /Böhm, Kunz 1983a/.
- Bei Steinkohle, die 1980 in Industriefeuerungen und im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher eingesetzt wurde, wurde im Mittel ein Ascheanteil von 10 % angenommen.
- Zur Berechnung des zusätzlichen Ascheanfalls in Steinkohlekraftwerken im Fall der Referenzschätzung wurde ein mittlerer Aschegehalt der zusätzlich eingesetzten Kohle von 15 % angenommen.
- Bei denjenigen Kohlemengen, die in der Verstromungsstrategie und in der Verheizungsstrategie über die referenzmäßig eingesetzten Kohlemengen hinausgehen - also die zur strategiespezifischen Ölsubstitution eingesetzte Kohle -, wurde ein Aschegehalt von 10 %

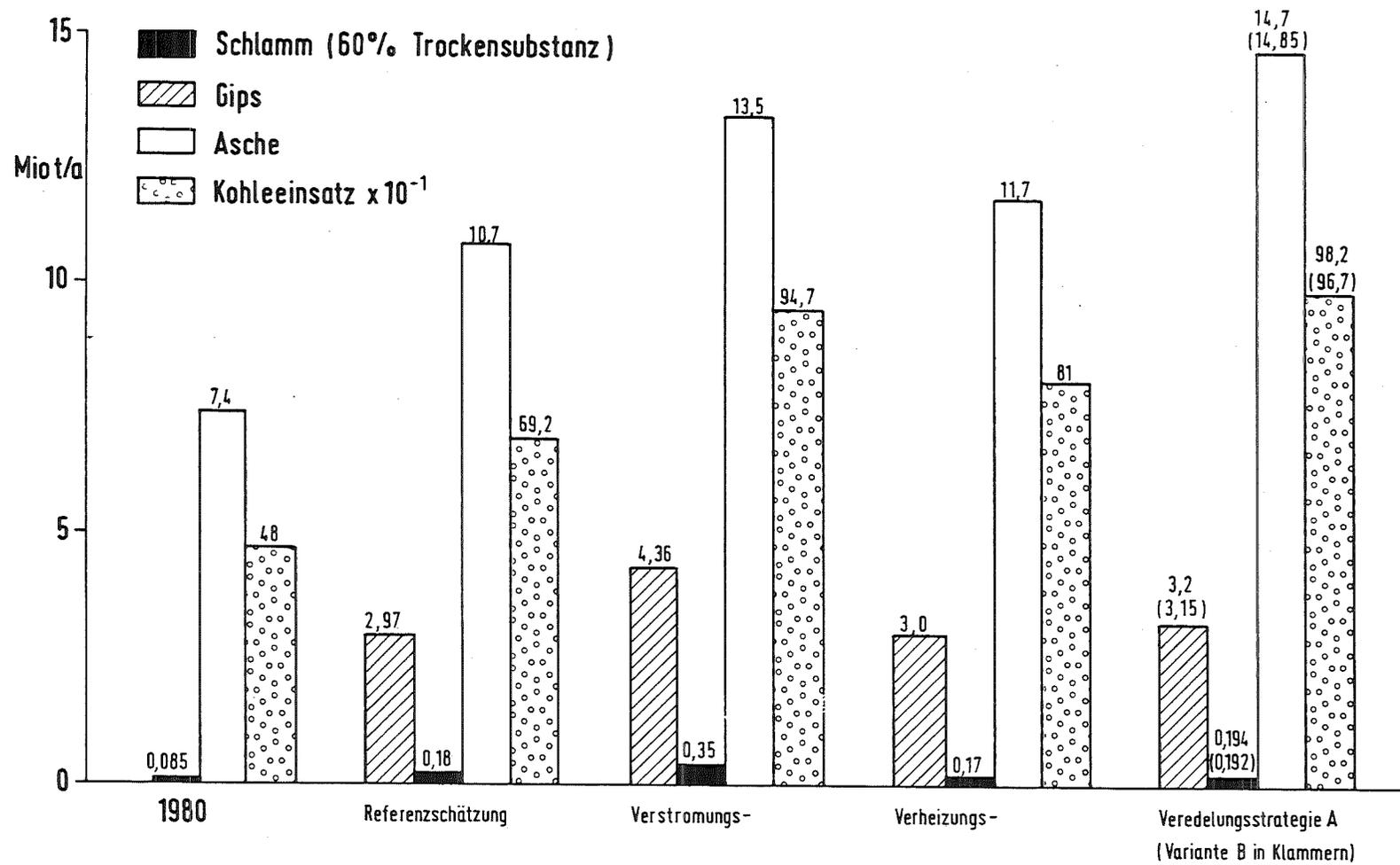


Abb. 4: Anfall an festen Rückständen beim Kohleeinsatz in Kraftwerken, Industriefeuerungen, Kohleveredlungsanlagen und im Sektor HuK für 1980, Referenzschätzung 2000, Verstromungs-, Verheizungs- und Veredelungsstrategie

angenommen, da davon ausgegangen wird, daß der strategiespezifische Kohlebedarf zu zwei Dritteln durch Importkohle mit geringen Aschegehalten gedeckt wird. Bei der Veredlungsstrategie wurden je nach Umwandlungsprozeß unterschiedliche Aschegehalte der Einsatzkohle angenommen, die Prozeßerfordernissen oder ökonomischen Aspekten Rechnung tragen.

Die Ergebnisse der Berechnungen zeigen, daß der Ascheanfall im wesentlichen von den eingesetzten Kohlemengen und den unterschiedlichen Aschegehalten abhängt. Erwartungsgemäß fallen bei der Verheizungsstrategie aufgrund des niedrigsten Kohlebedarfs die geringsten Aschemengen beim Vergleich der Strategien an. Die leichte Zunahme des Ascheanfalls in der Variante B der Veredlungsstrategie, die trotz eines (allerdings geringfügigen) Mindereinsatzes an Kohle im Vergleich zur Variante A berechnet wird, ergibt sich aus der höheren Zahl von Kohlestaubvergasungsanlagen, in denen annahmegemäß eine ballastreiche Kohle eingesetzt wird.

Bei der Berechnung des Schlammanfalls wurden nur die Schlämme aus der Wasseraufbereitung berücksichtigt, wobei für alle Anlagen eine einheitliche Rohwasserqualität unterstellt wurde. Der Schlammanfall läuft damit parallel zum Wassereinsatz und ist bei der Verstromungsstrategie am größten.

Der über den Referenzanteil hinausgehende Gipsanfall ist bei der Verheizungsstrategie besonders klein, da bei industriellen Kohlefeuerungen und den strategiegemäß vorgesehenen Klein-Heizkraftwerken gemäß GFAVO keine Entschwefelung erforderlich ist. Bei der Veredlungsstrategie ist die Zunahme des Gipsanfalls gegenüber der Referenzschätzung deswegen sehr gering, weil nur Gips aus der Rauchgasentschwefelung des Kraftwerksteils der Veredlungsanlage anfällt. Der überwiegende Teil des Schwefels, der mit der zur Veredlung eingesetzten Kohle eingebracht wird, wird in unterschiedlichen Produktreinigungsschritten aus den Rohprodukten abgetrennt und nachfolgend zu einem Nebenprodukt (z.B. elementarer Schwefel) aufgearbeitet.

3. Probleme der Verwertung bzw. Verbringung von festen Rückständen

Bei den verschiedenen Verfahrensschritten der Kohleaufbereitung und Kohlenutzung fallen Rückstände an, die beseitigt werden müssen. Dies kann dadurch geschehen, daß sie auf eine Deponie verbracht werden oder einer neuerlichen Verwertung zugeführt werden. In Sonderfällen kann auch eine Verbrennung der Rückstände, also eine Überführung in die Gasphase, vorgesehen werden.

Aus grundsätzlichen ökologischen und ökonomischen Erwägungen heraus wird in der Bundesrepublik Deutschland von öffentlicher Seite her versucht, die Verwertung der Rückstände zu fördern. Dies kommt schon in den Zielen des Abfallwirtschaftsprogramms der Bundesregierung zum Ausdruck /Bundesregierung 1975/. Danach

- sollen die Abfälle auf Produktions- und Verbraucherebene reduziert werden unter Berücksichtigung von umweltfreundlichen Produktionsverfahren und durch Überprüfung des Materialeinsatzes hinsichtlich der Zweckbestimmung von Erzeugnissen;
- und es soll die Nutzbarmachung der Abfälle durch eine Verwertung als Rohstoff im Produktionsprozeß, durch eine Ausnutzung des Energiegehalts und durch eine Rückführung in biologische Kreisläufe gesteigert werden.

Zusätzlich ist im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) von 1974, dem ein Großteil der Anlagen zur Kohlenutzung unterliegt, der Grundsatz verankert, daß "genehmigungsbedürftige Anlagen so zu errichten und betreiben (sind), daß die beim Betrieb der Anlagen entstehenden Reststoffe ordnungsgemäß und schadlos verwertet oder, soweit dies technisch nicht möglich oder wirtschaftlich nicht vertretbar ist, die Abfälle ordnungsgemäß beseitigt werden". Eine subjektive Entscheidung, ob ein Reststoff gemäß § 1 des Abfallbeseitigungsgesetzes als Abfall zu behandeln ist, soll nach Schenkel für den Bereich der Betreiber genehmigungsbedürftiger Anlagen nicht statthaft sein /Schenkel 1982/. Auch die neueren Überlegungen zur Einführung eines Verwertungsgebots zielen darauf ab, der Rückstandsverwertung den Vorrang vor der Abfallbeseitigung einzuräumen /Hartkopf 1982/.

Die Unternehmen der Kohlegewinnung und -nutzung stehen ebenfalls dem Verwertungsgedanken positiv gegenüber, nicht zuletzt unter dem Eindruck der

Schwierigkeiten, geeignetes Deponiegelände zu finden, und der gestiegenen Deponiekosten /Schmidt 1981; Täubert 1982/. Zudem fallen bei der Größe moderner Kohleumwandlungsanlagen lokal große Mengen von Rückständen an, so daß bei einer Deponierung, die heutzutage oft nicht mehr in der Nähe der Anlagen erfolgen kann, erhebliche Transportprobleme mit den entsprechenden Umweltbelästigungen entstehen können. Generell wird allerdings nicht damit gerechnet, daß alle Rückstände einer Verwertung zugeführt werden können /Brautlecht 1982; Böhm et al. 1983b/. Die derzeitigen Möglichkeiten für die Verwertung der einzelnen Rückstandsarten werden im folgenden dargestellt.

Beim Aufschließen einer Lagerstätte und bei Abbau der Kohle fällt taubes Gestein, Berge genannt, an. Gemessen an der Rohförderung beträgt der Bergeanteil zwischen 35 - 47 % /Bischoff, Gocht 1981; Rick 1974; Umweltbundesamt 1979; Deutscher Bundestag 1981/, mit zunehmender Tendenz in den letzten Jahren; d.h. pro Tonne verwertbarer Förderung wird knapp 0,9 t Gestein gefördert. Bestandteile der Berge sind die Materialien des Deckgebirges, die Nebengesteine des flözführenden Karbons sowie die Verunreinigungen der Kohle, meist Sandsteine und Schiefersteine /Ruhrkohle AG 1981/. Dazu kommen Pyrit und ein bestimmter Gehalt an Kohle.

Die beim Kohleabbau anfallenden Grobberge und die Waschberge, die bei der Aufbereitung der Kohle abgetrennt werden, können nur zum Teil einer Verwertung zugeführt werden. In Frage kommen der Versatz in Hohlräume unter Tage (ausgediente Stollen und Schachtanlagen) und die Verwendung als Füllmaterial im Tiefbau, z.B.

- für Unterbauten im Straßenbau und Lärmschutzwälle,
- für Deiche und Dämme,
- für die Auffüllung von Senkungsgebieten, Kies- und Baggerlöchern sowie für die Baugrundvorbereitung von Industrieflächen /Ruhrkohle AG 1981/.

Der nicht verwertete Anteil der Berge wird aufgehaldet. 1980 betrug der Bergeanfall 12 Mio t; davon wurden 7 % als Versatzmaterial genutzt, 25 % als Fremdadatz im Tiefbau und der überwiegende Anteil (67 %) auf Halden verbracht /Deutscher Bundestag 1981/. Eine Steigerung der bisherigen

Absatzmöglichkeiten erscheint in der Zukunft wenig wahrscheinlich, da Straßen- und Deichbau nicht mehr wie bisher zunehmen werden und das Auffüllen von in Bergsenkungsbereichen gebildeten Feuchtgebieten ökologisch bedenklich erscheint /Ruhrkohle AG 1981/. Die Verfüllungen in Baggerlöcher und Kiesgruben können noch ausgeweitet werden. Dem steht ein Minderverbrauch durch Auslaufen der holländischen Eindeichungsmaßnahmen gegenüber. Neue Absatzmöglichkeiten sollen dadurch erschlossen werden, daß die Berge mechanisch oder thermisch zu Baurohstoffen veredelt werden. Versuche zur Herstellung von Ziegeln und keramisierten Rohstoffen laufen erfolgversprechend /Umweltbundesamt 1979; Ruhrkohle AG 1981/. Eine Zunahme der Bergeverwertung kann auch durch eine Steigerung des Vollversatzes erwartet werden /Bischoff, Gocht 1981; Ruhrkohle 1981/. Dieser kann notwendig werden zur

- Verringerung von inneren und äußeren Bergschäden,
- zur Verbesserung der Grubenbewetterung,
- aber auch als Folge der gestiegenen Kosten bei der Bergeaufhaltung.

Neue Techniken des Blasversatzes /Sielauff 1982/ können dazu beitragen, den Versatzbau kostengünstiger werden zu lassen.

Flotationsberge, die bei der Aufbereitung von Feinstkohle anfallen, weisen brennbare Bestandteile von 25 - 30 % auf. Sie werden zur Zeit noch häufig der Waschberge beigemischt, könnten aber auch in Wirbelschichtöfen eingesetzt werden; entsprechende Versuche hierzu laufen bereits, die Wirtschaftlichkeit muß aber noch überprüft werden /Umweltbundesamt 1979; Bonn, Schilling 1983/.

Die Rückstände bei der Kohleverbrennung werden als Aschen bezeichnet. Flugaschen verlassen den Feuerungsraum im Abgas, Grobaschen werden am unteren Ende des Verbrennungskessels abgezogen. Bei trockener Entaschung liegen die Temperaturen der Feuerraumwände unterhalb des Ascheerweichungspunktes, und die Asche fällt in Form fester Teilchen oder Schlackebrocken im Bodentrichter des Kessels an. Bei der Naßentaschung wird ein Schmelzfluß der Asche herbeigeführt. In einem Wasserbad wird geschmolzene Asche abgeschreckt und als glasiges, tropfenartiges Granulat ausgetragen.

Bei Kohlevergasungsanlagen fallen ebenfalls Grobaschen an, Flugaschen dagegen nur bei den Flugstaubvergasungsverfahren und im Kraftwerksteil der Vergasungsanlage. Ascheteilchen im Produktgasstrom werden durch nachgeschaltete Wäscher ausgewaschen. Kohleverflüssigungsanlagen werden heutzutage mit Vergasungsanlagen für die Hydrierrückstände konzipiert /VEBA Öl AG 1981/. Die ohnehin geringe Asche in der Hydrierkohle fällt damit zusammen mit dem eingesetzten Katalysator als Vergaserschlacke an.

Flugaschen haben die Gestalt von hellgrauem bis schwarz gefärbtem, leicht rieselndem Grieß, wobei die dunkleren Farbtöne durch höhere Restkohlenstoffgehalte hervorgerufen werden. Enthalten die Flugaschen noch Eisen, so kommen auch gelblich-braune Farbtöne vor. Die Flugaschenteilchen bestehen zu ca. 90 % aus kugeligen Teilchen mit einer mittleren Korngröße von 0,05 mm. Zu einem geringen (ca. 5 %) Anteil werden auch Hohlkugeln, sogenannte Cenosphären, gebildet, die wegen ihres hohen Wärmewiderstands als Bestandteile von Isolierbaustoffen verwendet werden und nach denen eine große Nachfrage besteht /Erythropel 1972; Böhm et al. 1983a/.

Wichtig im Hinblick auf die Verwendung ist die puzzolane Eigenschaft der Flugasche. Darunter versteht man die Fähigkeit der aus den Kaoliniten in der Kohle bei der Verbrennung entstandenen Mulliten /Pollmann 1980/ (Kaolinit und Mullit sind sogenannte Tonminerale), mit Kalk in Gegenwart von Wasser neue stabile, zementartige Verbindungen zu bilden /Neumüller 1975/. Bei niedrigen Feuerungstemperaturen (1000 - 1200°C) besitzen die Aschen diese Eigenschaft allerdings nicht /Scholz 1980/. Manche Flugaschen enthalten genügend freien Kalk, so daß sie bei Zugabe von Wasser schon abbinden können /EPRI 1979/.

Die Verwertung der Flugasche findet zum überwiegenden Teil im Bausektor statt. Als Betonzusatzstoff nach DIN 1045 (Betonzusatzstoff, weil die Flugasche am Erhärtungsprozeß teilnimmt im Gegensatz zum Betonzuschlagstoff) wird der größte Anteil genutzt. Voraussetzung für diese Verwendung ist allerdings, daß die Flugasche ein Prüfzeichen des Instituts für Bautechnik in Berlin besitzt. Sinn der Prüfungen für die Erteilung des Prüfzeichens ist die Sicherstellung der Gleichmäßigkeit der Produktion und der Unschädlichkeit der Flugasche. Weiterhin wird Flugasche verwendet

- im Straßenbau zur Verbesserung des Untergrundes und des Unterbaues (Dammschüttungen);

- zur Herstellung von Mauersteinen und Gasbeton;
- als Leichtzuschlag in Form gesinterter Pellets zur Herstellung von Leichtbetonbauteilen;
- als Bodenabdichtungsmaterial aufgrund ihres Abbindevermögens mit Kalk und Wasser im Tiefbau und bei Deponien;
- als Gießpulver in der Stahlindustrie, wenn die Glühverlustanteile über 10 % liegen;
- als Blasversatz zusammen mit Waschbergen und für Staubsperren unter Tage.

Nach einer VGB-Umfrage betrug das Flugaschenaufkommen in den Jahren 1979 und 1980:

aus Schmelzfeuerungen:	0,599 Mio t	bzw.	0,634 Mio t
mit einem verwerteten Anteil von	0,509 Mio t	bzw.	0,533 Mio t;
aus Trockenfeuerungen:	1,231 Mio t	bzw.	1,336 Mio t
mit einem verwerteten Anteil von	0,671 Mio t	bzw.	0,716 Mio t

/Böhm et al. 1983a/. Die Entwicklung der einzelnen Verwertungsarten zeigt Abbildung 5.

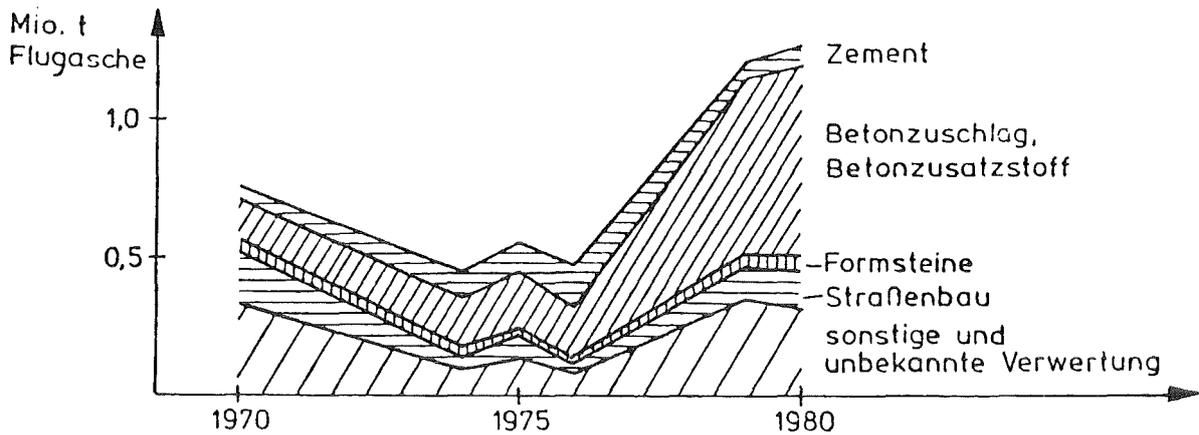


Abb. 5: Entwicklung der Verwertung von Flugasche nach Verwertungsarten

Quelle: /Böhm et al. 1983b, S. 25/

Aus den vorstehenden Zahlen ergibt sich, daß Flugasche z.Zt. zu ca. 65 % verwertet wird. Die in den letzten Jahren beobachtete Steigerung der Verwertung ist hauptsächlich auf den steigenden Einsatz als Betonzusatz- bzw. -zuschlagstoff zurückzuführen; die anderen Verwertungsarten sind nahezu konstant geblieben.

Für die Beurteilung von zukünftigen Verwertungschancen von Flugaschen müssen folgende Gesichtspunkte beachtet werden:

- (1) Ein zunehmender Kohleeinsatz hat den Anfall großer Aschemengen (Grob- und Flugasche) zur Folge. Wegen des sich abzeichnenden Übergangs von der Schmelzfeuerung zur Trockenfeuerung wird der Flugascheanteil dabei besonders stark zunehmen (Anmerkung: Bei der Trockenfeuerung fällt 75 - 85 % der Asche als Flugasche an, bei der Schmelzfeuerung zwischen 0 - 20 %). Große Mengen Asche lassen sich auch in Zukunft nur im Bausektor unterbringen /Böhm et al. 1983b/.
- (2) Bei Kraftwerken mit großer Blockleistung fällt die Asche lokal in großen Mengen an. Muß die Flugasche mit Massenrohstoffen von geringem Warenwert (z.B. Sand, Naturstein, Berge) konkurrieren, so sind die Transportkosten von erheblicher Bedeutung.
- (3) Ein höherer Warenwert der Flugasche, wie z.B. bei der Prüfzeichenflugasche, wird nur erreicht, wenn eine gleichmäßige Qualität garantiert werden kann. Schwierigkeiten bereitet dabei die Herstellung eines gleichmäßigen Ausbrandes mit einem Restgehalt von 5 % an Verbrennbarem /Erythropel 1972; Berg 1982/, da die Kraftwerkskessel in unterschiedlichen Lastbereichen gefahren werden. Auch der unterschiedliche Gehalt an nichtbrennbaren Stoffen in der Einsatzkohle führt zu Inhomogenitäten in der Flugasche. Neben Homogenisierungsverfahren müssen gegebenenfalls Änderungen in der Konstruktion und im Betrieb der Kraftwerke in Betracht gezogen werden /Schenkel 1982/.
- (4) Der Deutsche Ausschuß für Stahlbeton hat eine Empfehlung vorgelegt, wonach der Mindestgehalt an Zement von 240 kg/m^3 auf 300 kg/m^3 heraufgesetzt werden soll, ohne daß die Flugasche auf den Bindemittelanteil angerechnet wird /DAfStB 1982/. Eine Zunahme der Flugascheverwertung als Betonzusatz ist daher wenig wahrscheinlich

/Krolewski 1982/; es wird im Gegenteil mit einem Rückgang um 40 - 50 % gerechnet /Pietrzeniuk 1982/. Diese Empfehlung ist allerdings nicht unumstritten /Jacobs 1982; Böhm et al. 1983a/.

(5) Als neue Möglichkeit der Flugascheverwertung in der Bundesrepublik Deutschland wird die Herstellung von Flugaschezement angesehen /Jacobs 1978/. Von den Herstellungsvarianten

- Flugasche als Rohmaterial zur Gewinnung von Zementklinkern,
- gemeinsames Aufmahlen von Flugasche und Zementklinkern,
- Mischung des feinen Flugascheanteils mit Zementmehl gleicher Feinheit (grobe Flugascheteilchen werden den Mühlen zugesetzt),

wird der letzteren Möglichkeit die größte Verwirklichungschance eingeräumt /Nagel 1983; Jacobs 1982/, zumal auch noch geringere Mahlkosten anfallen als bei den ersten beiden Verfahren. Die Anteile der Flugasche werden in Zulassungsbescheiden des Instituts für Bautechnik festgelegt.

Nach ausländischen Normierungen sind Gehalte von 7,5 - 40 % vorgesehen. Als Vorteil dieser Verwendungsart wird dabei angesehen, daß ein Bindemittel mit gleichmäßigen Eigenschaften zur Verfügung gestellt wird und Dosierfehler damit ausgeschlossen werden. Nachteilig könnten sich allerdings die wahrscheinlich hohen Transportaufwendungen zum Zementwerk und dann zum Verbraucher bemerkbar machen /Berg 1982; Böhm 1983a/.

(6) Eine andere neue Verwendungsart für die Flugasche kann ihr Einsatz zur Bodenverfüllung sein. Bei der Auffüllung von Steinbrüchen und Tagebauen lassen sich große Mengen unterbringen. Voraussetzung ist allerdings, daß Pflanzen nicht die in der Flugasche enthaltenen Bestandteile an phytotoxischen Elementen wie Bor, Molybden und Selen aufnehmen können /Adriano et al. 1980/ und daß keine Grundwasserbeeinträchtigung eintritt. Die Untersuchungen zur Frage einer möglichen Grundwasserbeeinträchtigung sind noch nicht abgeschlossen. Erste Ergebnisse lassen jedoch vermuten, daß eine Auslaugung der Flugasche nur geringfügig erfolgt /EPRI 1979; Maury 1983/. Zwar zeigen Rührauslaugversuche, daß manche Substanzen (z.B. Chalkogene, Halogene) in kurzer Zeit vollständig aus den Ascheteilchen ausgelaugt

werden können, jedoch nur dann, wenn auslaugendes Wasser im Überschuß vorhanden ist /van der Sloot et al. 1982/. In mehr den realen Verhältnissen entsprechenden Versuchen, bei denen Wasser langsam durch eine mit Flugasche gefüllte Säule strömt, wird dagegen festgestellt, daß eine alkalireiche Asche innerhalb eines halben Jahres erst 10 % ihres Sulfatgehaltes abgibt. Die Anfangskonzentrationen der Sulfat-Ionen im Eluat können allerdings erheblich sein /Resch, Burgmann 1981/, sinken aber innerhalb von Tagen um zwei Größenordnungen /van der Sloot 1982/.

Die vorstehenden Überlegungen zeigen, daß auch in Zukunft das Hauptabsatzgebiet der Flugasche im Bausektor liegen wird. Eine Ausweitung der Flugasche-Verwertung in diesem Sektor ist allerdings eher unwahrscheinlich, da

- der bisherige Hauptverwendungszweck als Betonzuschlagstoff stagnieren wird,
- manche Verwendungsmöglichkeiten noch nicht die Marktreife erreicht haben und
- generell eine Steigerung der Bautätigkeit nicht zu erwarten ist.

Ein großer Anteil der zusätzlich anfallenden Flugasche wird daher deponiert werden müssen.

Grobasche aus Trockenfeuerungen hat in der Vergangenheit nur eine geringe Rolle gespielt, da ihr Mengenanfall verhältnismäßig gering war (1980: rd. 180 000 t gegenüber rd. 4 Mio t Trockenasche aus Schmelzfeuerungen /Böhm et al. 1983a/). Sie wurde hauptsächlich im Straßenbau und zur Herstellung von Formsteinen genutzt /Jacobs 1978/. Auch bei der erwarteten Zunahme der Trockenfeuerungen in der Zukunft dürften diese Verwertungsmöglichkeiten ausreichen, da der weitaus überwiegende Teil der Asche als Flugasche ausgetragen wird.

Grobaschen aus Schmelzfeuerungen sind 1980 zu rd. 2/3 verwertet worden /Böhm et al. 1983a/. Sie wurden - soweit bekannt - hauptsächlich im Straßenbau eingesetzt zur Verbesserung der Tragfähigkeit von Böden, für Straßendämme und für alle bituminösen Schichten des Oberbaus, weiterhin bei der Betonherstellung als Ersatzstoff für Sand und Feinkies-

anteile sowie zur Herstellung von Bimshohlblocksteinen und Betonfertigteilen und als Strahlmittel, das gegenüber Quarzsand den Vorteil hat, fast keinen lungengängigen, gesundheitsgefährdenden Feinstaub zu erzeugen /Böhm et al. 1983b/. Nach Jacobs dürfte die Verwendung als Strahlmittel noch weitere Nachfragen im Ausland nach sich ziehen, da Schmelzgranulate mit Ausnahme einiger Kraftwerke in den USA nur in der Bundesrepublik Deutschland anfallen /Jacobs 1978/.

Ein weiterer Vorteil der Grobaschen aus der Schmelzfeuererung besteht in ihrer geringen Auslaugbarkeit /Resch, Burgmann 1981/. Sie können daher für die Umwelt ohne Beeinträchtigung zwischengelagert oder deponiert werden.

Grobaschen aus Vergasungsanlagen werden überwiegend flüssig abgezogen und sind damit den Schmelzgranulaten aus Kraftwerksfeuerungen hinsichtlich Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten vergleichbar. Bei der Lurgi-Vergasung dagegen fällt die Grobasche in stückiger, gesinterter Form mit einem Restkohlenstoffgehalt von bis zu 3 % an /Lee, Boegly 1981/; Diese Grobasche wird bevorzugt im Straßenbau eingesetzt /Schulze, Weiser 1982/. Bei der Rückstandsvergasung von Kohleverflüssigungsanlagen enthält das Schmelzgranulat noch den eingesetzten Katalysator.

Flugaschen aus Vergasungsanlagen haben, soweit sie nicht wieder in den Vergasungsreaktor zurückgeführt werden, ähnliche Verwertungsmöglichkeiten wie Flugaschen aus Kraftwerken, wenn sie eine vergleichbare Zusammensetzung haben. Maßgebend ist hier der Restkohlenstoffgehalt, der einen Anteil von 5 % (Glühverlust) nicht übersteigen darf, wenn die Flugasche noch ein Prüfzeichen erhalten soll /Jacobs 1978/. Je nach Kohlenstoffumsetzungsgrad in der Vergasungsanlage kann der Kohlenstoffanteil in der Flugasche bis zu 40 % betragen /Wetzel 1981/. Durch eine Aufteilung dieser Flugaschen in Fraktionen mit unterschiedlichem Kohlenstoffanteil kann das Verwertungsspektrum erweitert werden /Schulze, Weiser 1982/. So könnten z.B. Flugaschen mit einem Kohlenstoffanteil von 85 % als Reduktionsmittel für die Herstellung von Eisenlegierungen und Carbid, bei einem Asche-Anteil von weniger als 1 % zur Herstellung von Elektroden, synthetischem Graphit oder Aktivkohle verwendet werden /Darey, Engelbrecht (o.J.)/. Ohne Aufteilung könnten hochkohlenstoffhaltige Flugaschen in Wirbelschichtöfen zur Energieerzeugung eingesetzt werden /Bonn, Schilling 1983/.

Rückstände aus Wirbelschichtfeuerungen fallen als Flugaschen (staubförmig bis feinkörnig) und als Grobaschen an, die aus überschüssigem Schichtmaterial bestehen. Beide Aschearten enthalten noch die Reaktionsprodukte des eingesetzten Zuschlagsmaterials (Kalkstein oder Dolomit). Dabei ist der Gehalt an Reaktionsprodukten in der Flugasche um so größer, je kleiner die Körnung des Zuschlagsmaterials gewählt wurde. Zusätzlich befindet sich in dem Teil der Flugasche, der im Grobentstaubungszyklon anfällt, noch ein Anteil von 10-20 % an unverbranntem Flugkoks. Zur Verbesserung des Ausbrands wird dieser Anteil in die Brennkammer zurückgeführt.

Verwendungsmöglichkeiten für die Aschen aus Wirbelschichtfeuerungen werden vor allem im Bausektor gesehen. Darüber hinaus sind Versuche angestellt worden, die Aschen zur Neutralisation von sauren Deponiemassen und als Kalklieferanten für die Landwirtschaft zu verwenden. Eine Beurteilung der Verwertungschancen ist allerdings zur Zeit noch nicht möglich. Nach dem jetzigen Stand der Kenntnis müssen die Rückstände deponiert werden. Ob dies ohne eine Beeinträchtigung des Grundwassers möglich ist, ist auch noch nicht abschließend zu beurteilen. Erste Versuche zur Auslaugung dieser Rückstände haben gezeigt, daß zwar anfänglich hohe Konzentrationen von gelösten Salzen im Eluat zu finden waren, mit zunehmender Eluierung diese Konzentrationen aber zurückgingen und nur noch von der Wasserdurchlässigkeit der Probe abhingen. Die Wasserdurchlässigkeit einer Deponie läßt sich aber durch unterschiedliche Maßnahmen beeinflussen (vgl. den folgenden Abschnitt). Darüber hinaus haben diese Rückstände durch den hohen Gehalt an gebranntem Kalk die Fähigkeit, unter Wasserzugabe zu rekristallisieren, was zu einer Verfestigung des Materials und zu einer Abnahme der Wasserdurchlässigkeit führt. Durch weitere mechanische Verdichtungsmaßnahmen kann man schließlich zu einem weitgehend wasserdichten Deponiekörper kommen (s. /Bonn, Schilling 1983/).

Die Verwertung von Gips aus der Rauchgasentschwefelung (Entschwefelungsverfahren mit anderen Endprodukten werden hier nicht weiter betrachtet) wurde vor einiger Zeit wegen Befürchtungen über dessen Qualität noch als problematisch angesehen. In der Zwischenzeit scheint man aber zu der Meinung gekommen zu sein, daß auch große Mengen von REA-Gips von der Gipsindustrie als Substitutionsrohstoff aufgenommen werden können. Dabei muß

der REA-Gips hohen Reinheitsforderungen genügen /Wirsching, Hamm, Hüller 1981/, was nur durch Anwendung von Waschverfahren und anschließender Trocknung zu erreichen ist /Gutberlet, Stappert 1981/. Eingesetzt werden kann der REA-Gips in der Zementindustrie als Erstarrungsregler, wobei etwas geringere Reinheitsanforderungen zu erfüllen sind /Pietrzeniuk 1980/, und als Baugips zur Herstellung von Putzgips, Gipskartonplatten, Gipswandbauplatten und Estrichgipsen /Lange, Haug 1981/. Wirtschaftlich ist der Einsatz von REA-Gips allerdings nur dann, wenn er keine höheren Einstandskosten als Naturgips aufweist. Wesentlichen Einfluß können schon die Transportkosten haben, da Gipswerke meist in der Nähe von Naturgipsvorkommen liegen. Dies hat zu Überlegungen geführt, die kostentreibenden Veredlungsschritte Gipswäsche und -trocknung zu umgehen und den ungereinigten REA-Gips direkt zu Sonderbaustoffen zu verarbeiten /Bloss 1981/. Eine Möglichkeit, gereinigten Gips zu veredeln, wird bei Gutberlet aufgezeigt: durch Erhitzen kann der Gips in sogenanntes α - Halbhydrat umgewandelt werden, das wegen seiner erhöhten Druckfestigkeit für spezielle Anwendungen wie Formengips, Dentalgips oder Gipsbauteile in Frage kommt /Gutberlet 1983/.

Insgesamt ist die Verwertungsmöglichkeit für REA-Gips eher als günstig zu beurteilen. Schwierigkeiten können allerdings nicht ausgeschlossen werden, wenn die Gipsnachfrage als Folge einer zurückgehenden Bautätigkeit stagniert oder die anfallenden Mengen - insbesondere bei der Verstromungsstrategie - die Größenordnung des derzeitigen gesamten Gipsmarktes in der Bundesrepublik Deutschland (ca. 5 Mio t in 1983 /DIW 1984/) erreichen.

Schlämme aus Ascheabsetzbecken, biologischen Kläranlagen, Kiesfiltern, Flockungsanlagen, Entkarbonisierungsanlagen und aus der Abwasserbehandlung bei der Rauchgasentschwefelung müssen in der Regel deponiert bzw. verbrannt werden /Bloss 1981; Kutsch 1981/. Nur bei den Rückständen aus der Wasseraufbereitung (Entkarbonisierung) werden neuerdings Verwertungsmöglichkeiten in der Kalksteinindustrie /Andres et al. 1976/ oder als Material für Deponie-Basisabdichtungen diskutiert. Bei der zuletzt genannten Anwendung können zusammen mit Flugasche in Sandwich-Bauweise Durchlässigkeitswerte erreicht werden, die denjenigen von gewachsenen Tonschichten entsprechen /Wollny 1983/.

Für eine Verwertung im Bausektor müssen die Nebenprodukte der Kohlenutzung einer Reihe von Regeln und technischen Normen genügen, die bei der Erstellung genehmigungsfähiger Bauunterlagen und bei der Sicherung von Gewährleistungsansprüchen wichtige Funktionen haben. Verwertungshemmend wirkt sich aus, wenn die unter Verwendung von Nebenprodukten hergestellten neuen Baustoffe keiner existierenden Norm genügen. Die Rückstände sind dann nur nach

- behördlicher Einzelgenehmigung,
- allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung oder
- Erteilung eines Prüfzeichens des Instituts für Bautechnik, Berlin

zu verwenden, wobei diese Genehmigungsformen nur die Sammlung von Erfahrungen mit neuen Baustoffen ermöglichen sollen und dementsprechend nur begrenzt bzw. mit detaillierten Kontrollauflagen erteilt werden /Jacobs 1978/. Fehlende bzw. eine nicht die spezifischen Vorteile der Verwendung von Rückständen berücksichtigende Normung behindert auch die Verwertung bei Baumaßnahmen der öffentlichen Hand. Nach den Verdingungsordnungen für Bauleistungen (VOB) sind die einschlägigen Normen zu beachten (siehe § 9 Nr. 7 Abs. 1 VOB/A). Neue Produkte, die den existierenden Normen nicht entsprechen, können dementsprechend nicht oder nur durch Erteilung amtlicher Weisungen berücksichtigt werden /Schenkel 1982; Hucke et al. 1981/.

4. Kenntnisstandsanalysen zu Gewässergefährdungen durch feste Rückstände und Abwässer aus der Kohlenutzung

4.1 Gefährdung von Grundwasser und Oberflächenwasser durch feste Rückstände

Rückstände, die bei der Kohlegewinnung und -nutzung anfallen und nicht einer Verwertung zugeführt werden können, müssen in der Regel deponiert werden. Andere denkbare Beseitigungsmöglichkeiten, wie z.B. Verklappung auf hoher See oder Verbringung ins Ausland, dürften kaum in Frage kommen /Franzius 1979/. Allenfalls durch Verbrennung kann zusätzlich ein Teil der Rückstände beseitigt werden /Rat von Sachverständigen für Umweltfragen 1974 und 1978; Kutsch 1981/.

Die Ablagerung von Rückständen ist durch Gesetze und Vorschriften geregelt. Fallen die Rückstände bei der Kohlegewinnung und Kohleaufbereitung an, so gelten die Bestimmungen des Bundesberggesetzes /BBergG 1980/; einen ausführlichen Überblick über die gesetzlichen Regelungen gibt /Jörissen 1982/. Hauptinstrument zur Kontrolle von Betrieben, die der Bergaufsicht unterliegen, ist der von der Bergbehörde zugelassene Betriebsplan (§ 51 BBergG). Nach § 2, Abs. 1, Satz 1 BBergG ist auch das Ablagern von Nebengestein und sonstiger Massen Gegenstand des Betriebes und unterliegt somit der Betriebsplanpflicht. Werden im Betriebsplan auch Nutzungsrechte an Grundstücken zugestanden (z.B. Einrichtung einer Bergehalde), so muß eine Abstimmung mit Ausweisungen vorgeordneter Planungen (Landesentwicklungsplan, Gebietsentwicklungsplan, Bestimmung von Landschaftsschutz- und Wasserschutzgebieten etc.) erfolgen (§ 48 Abs. 1 BBergG). Die Ausgestaltung von Betriebsplänen ist in den einzelnen Bundesländern unterschiedlich geregelt. Beispielhaft soll hier die Regelung in Nordrhein-Westfalen dargestellt werden. In den Richtlinien für die Zulassung von Bergehalden /NRW - Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr 1967/ muß der Betriebsplan folgende Angaben enthalten:

- "Berechnung der Bergwirtschaft und Darlegung der Notwendigkeit der Aufhaltung;
- Beschaffenheit des Schüttguts, insbesondere Anteil der brennbaren Bestandteile und Gehalt an wassergefährdenden und pflanzenschädlichen Stoffen;

- Darlegung, in welcher Weise auf das Grund- und Oberflächenwasser eingewirkt wird;
- Angaben über Art und Ausmaß der voraussichtlich zu erwartenden Emissionen sowie über die Einrichtungen zur Bekämpfung der Emissionen; soweit bekannt, soll auch die Grundbelastung in dem durch die Emissionen betroffenen Gebiet angegeben werden;
- Planungsunterlagen, aus denen das Wachsen der Halde in räumlicher und zeitlicher Hinsicht sowie die Ableitung des Oberflächenwassers - auch während der einzelnen Schüttphasen - ersichtlich sind. Die vorgesehene Gestaltung und Nutzbarmachung der Halde nach der Fertigstellung sind in einem gesonderten Plan (Landschaftsplan) darzustellen."

Hinsichtlich des Gewässerschutzes geht dieser Erlaß davon aus, daß eine Grundwasserbeeinträchtigung durch Aufhaltung der Rückstände eintreten kann. Dies stellt eine Benutzung im Sinne des § 3, Abs. 2, Satz 2 WHG dar, die einer wasserrechtlichen Erlaubnis bedarf. Welche Auflagen zum Schutz des Grundwassers erforderlich sind, sind demnach im Einzelfall festzulegen.

Eine Gefährdung des Grundwassers geht im wesentlichen von den Inhaltsstoffen der Sickerwässer aus Aufhaltungen aus bzw. von der direkten Auslaugung von Schadstoffen aus Haldenkörpern, die mit dem Grundwasser direkte Verbindung haben. Bei Bergehalden können Sulfate, die durch Oxidation von Pyrit (FeS_2) entstanden sind, und Chloride ausgewaschen werden, aber auch Kalzium und Magnesium. Schwermetalle werden nur geringfügig freigesetzt, da sie bei den vorherrschenden pH-Bedingungen meist als schwerlösliche Verbindungen gefällt werden. Eine ausführliche Darstellung der möglichen Grundwassergefährdungen findet sich bei Schneider et al. /Schneider et al. 1982; siehe auch Libicki 1977; Schulz 1979; Ötting 1979/. Werden andere Rückstände abgelagert - bei den der Bergaufsicht unterliegenden Betrieben können dies u.a. noch Gasreinigungsmasse, Kalkschlamm und Aschen von Kraftwerken sein /Umweltbundesamt 1979/ -, so können ebenfalls durch unterschiedliche Auslaugprozesse Schadstoffe mobilisiert und schließlich in Grund- oder Oberflächengewässer eingetragen werden.

Eine Gefährdung der Gewässer kann dann vermieden werden, wenn Deponien bzw. Halden gegen Grundwasserleiter abgedichtet werden und das Sickerwasser erst nach Entfernung von Schadstoffen an Vorfluter abgegeben wird. Eine Verunreinigung von Oberflächenabläufen kann durch eine Ab-

deckung der Deponie verhindert werden. Während des Betriebes der Deponie ist das Oberflächenwasser zu reinigen.

Die Ablagerung von Rückständen, die bei der Kohlenutzung bzw. -veredlung anfallen und deren Verbringung nicht nach dem Bundesberggesetz geregelt ist, erfolgt nach den Vorschriften des Abfallbeseitigungsgesetzes (AbfG). Danach werden als Abfälle diejenigen Stoffe bzw. Rückstände bezeichnet, deren sich der Besitzer entledigen will oder deren Beseitigung zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit geboten ist (§ 1 AbfG). Ihre Beseitigung hat so zu erfolgen, daß eine Gefährdung von Menschen und eine Beeinträchtigung ihres Wohlbefindens sowie eine Gefährdung von Nutztieren, Vögeln und Fischen ausgeschlossen wird und die Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege gewahrt bleiben (§ 2 AbfG). Zusätzliche Anforderungen sind an die Beseitigung von in besonderem Maße gesundheits-, luft- oder wassergefährdenden Stoffen zu stellen (§ 2, Abs. 2 AbfG). Gleiches gilt für Abfälle, die brennbar oder explosibel sind oder Krankheitserreger übertragen oder hervorbringen können. Eine abschließende Liste derartiger Stoffe ist in einer Verordnung der Bundesregierung veröffentlicht /Bundesregierung 1977/.

Die Beseitigung von Abfällen darf gemäß § 4, Abs. 1 AbfG nur in dafür zugelassenen Anlagen erfolgen. Die Ausweisung von Standorten für Abfallbeseitigungsanlagen sowie die Festlegung der Art der abzulagernden Abfälle erfolgt in Abfallbeseitigungsplänen der Länder (§ 6 AbfG). Errichtung und Betrieb einer Abfallbeseitigungsanlage - im folgenden ist damit immer eine Deponie gemeint - bedürfen der Planfeststellung (§ 7 AbfG).

Die Ausgestaltung der Abfallbeseitigungspläne ist naturgemäß unterschiedlich in den einzelnen Bundesländern. Beispielhaft sind hier die Regelungen von Nordrhein-Westfalen aufgeführt. In Teilplänen gemäß § 6, Abs. 2, Satz 2 LAbfG werden regional und für unterschiedliche Abfallarten Standorte ausgewiesen. Speziell für "Sonderabfälle", d.h. Abfälle im Sinne von § 2, Abs. 2 AbfG und Stoffe, die aufgrund ihrer Art und gegebenenfalls auch ihrer Menge von der Beseitigung mit Abfällen aus Haushaltungen ausgeschlossen sind, liegt ein "vorläufiger Plan Sonderabfälle" vor /Merkel 1982/. Um eine einheitliche Beurteilung der Anforderungen an Abfälle und Deponieausgestaltungen durch die bei Planfest-

stellungs- bzw. Genehmigungsverfahren zuständigen Behörden zu gewährleisten, wurde eine Arbeitsgruppe aus Vertretern von Behörden und dem gewerblichen Bereich gebildet. Gemäß den Vorgaben dieser Arbeitsgruppe werden nach wasserwirtschaftlichen Gesichtspunkten - im wesentlichen Durchlässigkeit des Untergrundes und Lage zu einem wasserwirtschaftlich genutzten Bereich (z.B. Trinkwasserversorgung) - fünf Deponieklassen gebildet. Ihnen zugeordnet werden Grenz- bzw. Richtwerte für Abfallinhaltsstoffe im Eluat einer wässrigen Auslaugung als Maßgabe für die Zulässigkeit der Ablagerung /Merkel 1982/.

Für Rückstände aus der Kohlenutzung, soweit sie nicht den verschärften Bedingungen nach § 2, Abs. 2 AbfG unterliegen - wie z.B. phenol-, mercaptan- oder cyanidhaltige Schlämme aus Kokereien o.ä. - oder wie Schmelzgranulate völlig gefahrlos abgelagert werden können, kommen die Deponiekategorien 3, 4 und 5 in Frage.

Hierfür sind folgende Einschränkungen vorgesehen:

- Der Untergrund darf nur sehr gering durchlässig bis undurchlässig sein ($k < 10^{-9}$ m/s);
- das Sickerwasser muß aufgefangen und behandelt werden;
- die Deponie darf nur außerhalb eines wasserwirtschaftlich zu schützenden Gebietes liegen.

Die drei Kategorien unterscheiden sich dabei nur in den Anforderungen an die Untergrunddichtigkeit und die Leistungsfähigkeit der Sickerwasserbehandlungsanlagen.

Detaillierte Hinweise für die Durchführung des Planfeststellungsverfahrens und die Ausgestaltung der Deponie enthält ein Merkblatt, das von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) erstellt worden ist und von den meisten Bundesländern als verbindliche Richtlinie eingeführt wurde /siehe z.B. Baden-Württemberg 1981/. Gegenstand dieses Merkblatts sind zwar Deponien für Hausmüll und hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (sogenannte Hausmülldeponien), doch dürften Deponien für Industrieabfälle kaum geringeren Ansprüchen genügen müssen. Im einzelnen werden Vorschläge für Basisabdichtungen, Sammlungs- und Reinigungsanlagen des Sickerwassers, Einbautechniken, Möglichkeiten zur Verhinderung von Schäden durch Deponiegas, Kontrolle des Grund-

wassers durch Beobachtungsbrunnen o.ä. gemacht. Diese Empfehlungen sind nicht bindend, stellen aber aufgrund ihres Charakters einer technischen Rahmenvorschrift eine Art "bundeseinheitlichen Mindeststandard" dar, wobei im Einzelfall genügend Spielraum bleibt, um die notwendigen Ergänzungsregelungen den jeweiligen Bedingungen des Standorts und des Abfallaufkommens anzupassen /Fehlau 1980/.

Eine Gefährdung von Grundwasser und Oberflächengewässern durch die Ablagerung von Rückständen der Kohlenutzung ist nicht zu befürchten, wenn die Vorschriften der Länder und die Anregungen des LAGA-Merkblattes befolgt werden. Allenfalls durch ein Undichtwerden der Basisabdichtung und durch eine Fehlfunktion der Sickerwasserbehandlungsanlage könnte eine Gewässerbeeinträchtigung eintreten. Die erste Möglichkeit ist für Dichtungen aus Naturstoffen, wie sie in Baden-Württemberg vorgeschrieben sind /Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten, Baden-Württemberg 1981/, auszuschließen /s.a. Simons und Hänzel 1982/. Bei Dichtungen aus Kunststoffbahnen kann eine Permeation von organischen Flüssigkeiten auftreten, die aber bei Kenntnis des Deponiegutes durch die Wahl eines geeigneten Dichtungstoffes unterbunden werden kann /Patuska et al. 1982/. Im übrigen gehen dem Einbau von Kunststoffdichtungen gemäß dem Entwurf einer Richtlinie in Nordrhein-Westfalen /Landesamt für Wasser und Abfall NW 1981/ umfangreiche Eignungsprüfungen voraus, wie auch der Einbau selbst behördlich kontrolliert wird.

Die ausreichende Bemessung und eine den Anforderungen entsprechende Betriebsführung der Sickerwasserbehandlungsanlage setzen voraus, daß die mutmaßliche Zusammensetzung der Sickerwässer vor einer Ablagerung durch Auslaugversuche bestimmt werden kann /s.a. Merkel 1982/. Daß diese Voraussetzung nicht unmittelbar gegeben ist, ist das Ergebnis einer Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes /Stegmann 1979/, in der gezeigt wurde, daß Sickerwässer andere Auslaugeigenschaften besitzen als Reinwasser und daß bei Auslaugversuchen synergistische Effekte nicht miterfaßt werden und biologische Prozesse unberücksichtigt bleiben. Wasserlösliche Verbindungen, die erst bei längeren Lagerzeiten in der Deponie aus aeroben oder anaeroben Prozessen entstehen, können durch Auslaugversuche nicht erfaßt werden /Dittrich, Klein 1979; Hoffmann 1980/. Darüber hinaus muß berücksichtigt werden, daß auch die Art und Weise der Ablagerung unterschiedlicher Abfallstoffe einen bestimmten Einfluß auf die Zusammensetzung des Sickerwassers hat /Schmidt 1982/.

Bei Deponien von Rückständen der Kohlenutzung dürften die Inhaltsstoffe von Sickerwässern aber relativ einfach bestimmbar sein, da aufgrund der großen Mengen die Ablagerung in Einstoffdeponien (oder Teildeponien) erfolgen wird. Darüber hinaus sollen Versuchsdeponien zur Erweiterung der Kenntnisse über Sickerwässer und zur Erprobung umweltfreundlicher Einlagerungstechniken beitragen /Brautlecht 1982/.

4.2 Gefährdung von Oberflächengewässern durch Abwässer

Das Einleiten von Abwässern in Oberflächengewässer (und auch Grundwässer) stellt nach den Bestimmungen des Wasserhaushaltsgesetzes /Roth 1977/ eine Benutzung dieser Gewässer dar, wozu eine wasserrechtliche Erlaubnis erforderlich ist. Voraussetzung für die Erteilung dieser Erlaubnis ist der Nachweis, daß die Qualität des Abwassers den entsprechenden Mindestanforderungen entspricht. Darüber hinaus können die Bescheide noch Auflagen enthalten, die besonderen örtlichen Verhältnissen Rechnung tragen können.

Im Bereich der Kohlegewinnung und Kohlenutzung sind Mindestanforderungen (das sind allgemeine Verwaltungsvorschriften) erlassen worden für Abwässer

- aus der Steinkohleaufbereitung und Steinkohle-Brikettfabrikation
- aus der Wasseraufbereitung und aus Kühlsystemen.

Für die Bereiche Mineralölraffination, Herstellung von Kohlenwasserstoffen und Steinkohleverkokung liegen sie im Entwurf vor. Im einzelnen enthalten die Anforderungen Grenzwerte und Analyseverfahren für unterschiedliche Inhaltsstoffe und Summenparameter (s. Kapitel 1). Keine Angaben werden in allen Anforderungen zu dem Parameter Salzgehalt gemacht.

Die Beurteilung einer möglichen Beeinträchtigung von Oberflächengewässern erfolgt in zwei Schritten. Im ersten Schritt wird gefragt, ob die Einleitung von Abwässern die Ausbildung und das Gedeihen von Lebensformen in den Gewässern behindert oder unmöglich macht. Dabei wird unterstellt, daß keine wesentlichen Gefährdungen von solchen Verschmutzungen

zu erwarten sind, die in den Parametern der jeweiligen Mindestanforderungen miteinfaßt werden und deren Werte die in den Mindestanforderungen geforderten Werte nicht übersteigen.

In einem zweiten Schritt wird dann untersucht, inwieweit durch das Einleiten von Abwässern - auch solcher, die den Mindestanforderungen entsprechen - Gewässerbelastungen hervorgerufen werden können, die ganz bestimmte Nutzungsmöglichkeiten von Gewässern einschränken - z.B. die Trinkwassergewinnung - oder andere wasserwirtschaftliche Zielsetzungen verletzen. Maßgebend ist hierbei nicht nur die Zusatzverschmutzung durch die Abwässer, sondern auch die Vorbelastung der Gewässer.

Für den ersten Untersuchungsschritt kann festgestellt werden, daß die organischen Verunreinigungen, die Feststoffe und die zur Wasseraufbereitung und Stabilisierung der Wasserqualitäten benötigten Hilfsstoffe von den Parametern in den Mindestanforderungen erfaßt werden. Von diesen Stoffen ist nach dem oben Gesagten ex definitione keine Gefährdung zu erwarten. Die anorganischen gelösten Stoffe (Salze) werden von den Mindestanforderungen nicht erfaßt. Sie können demnach - wenn nicht andere Regelungen dies ausschließen - in jeder Konzentration an die Gewässer abgegeben werden.

Eine Schädigung von aquatischen Lebensformen kann dabei nicht ausgeschlossen werden. Nach Liebmann und Grahl wirken Kochsalzgehalte von 7-14 g/l akut toxisch auf verschiedene Süßwasserfischarten /Grahl 1983/. Konzentrationen an Kochsalz von 4 -5 g/l wirken schädlich auf Futtertiere der Fische wie Wasserflöhe und Bachflohkrebse. Kaliumchlorid ist etwa 10 mal giftiger als Natriumchlorid. Bei Gesamtsalzgehalten von mehr als 4 g/l vermindert sich ein Teil der Lebensformen. Biologische Störungen können schon bei Chloridkonzentrationen über 500 mg/l auftreten /Niedersächsischer Landtag 1982a/.

Werden salzhaltige Abwässer in Seen eingeleitet, so können diese Abwässer aufgrund ihres größeren spezifischen Gewichtes in die Tiefe absinken und dort leicht eine sauerstofffreie Schicht bilden, die mit den anderen Wasserschichten nicht mehr vermischt wird (meromiktischer Seetyp) /Liebmann 1960/.

Nicht nur die Versalzung selbst, sondern auch starke Schwankungen des Salzgehaltes können Fischsterben verursachen, wobei - jahreszeitlich bedingt - die unmittelbare Schädigung von einer durch den Wechsel der Salzbelastung hervorgerufenen Unterkühlung, einem zeitweisen Sauerstoffdefizit, einer Veränderung des Zelldrucks (sog. Osmosefischsterben) o.ä. verursacht wird /Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung der Weser 1982/.

Eine Gefährdung von Lebensformen durch die stark salzhaltigen Grubenwässer ist in einzelnen Oberflächengewässern gegeben. In der Lippe betrug 1982 der Jahresmittelwert der Chloridkonzentration über den gesamten Fluß 783 mg/l, wobei an einzelnen Meßstellen die Werte - je nach Jahreszeit - im Bereich von 335 mg/l bis 1350 mg/l lagen /Lippeverband 1983/. In der Emscher, die allerdings als Abwasserfluß einen Sonderfall darstellt, wurden 1982 Werte zwischen 940 mg/l und 1990 mg/l für die Konzentration an Chlorid gemessen /Deutsche Kommission zur Reinhaltung des Rheins 1983/. In der Speller Aa bei Hesselte ergab sich für 1982 sogar ein Wert von 5770 mg Cl^- /l /Niedersächsischer Landtag 1982b/. Auch für die Ems, für die 1982 noch 310 mg Cl^- /l gemessen wurden, wird ein Ansteigen des Cl-Gehaltes aufgrund von Grubenwassereinleitungen auf über 500 mg/l befürchtet.

Die inländische Steinkohlenförderung, die 1980 88 Mio t SKE betrug, wird voraussichtlich bis 2000 zurückgehen und in einem Bereich von 80 Mio t SKE \pm 5 Mio t liegen. Demnach dürfte die Gewässerbelastung durch Grubenwässer zurückgehen, zumal sich auch die Bemühungen des Bergbaus um Vergleichmäßigung der Einleitungen auswirken werden /Lippeverband 1983/. Allenfalls durch ein Vordringen der Abbautätigkeit nach Norden könnte eine Verschlechterung der Situation eintreten, da dann die Kohle aus größeren Teufen gefördert werden muß. Das dort anfallende Grubenwasser ist besonders salzhaltig. Möglicherweise ergibt sich aber auch eine Verringerung der Belastung, da die abzupumpenden Mengen wahrscheinlich geringer sind (siehe auch Abschnitt 1.1).

Abwässer aus Rauchgasentschwefelungsanlagen sind auch stark salzhaltig. In der Tabelle 6 sind die Zunahmen der Chlorid-Konzentration, die sich durch das Einleiten der REA-Abwässer eines 700 MWel-Kraftwerkes mit einer Chloridfracht von 0,2 kg/s oberhalb der angegebenen Meßstelle ergeben würden, für einzelne Flüsse aufgeführt. Den Berechnungen wurden

jeweils die ungünstigsten Verhältnisse (geringe Wasserführung, hohe Vorbelastung) von 1982 zugrunde gelegt. Die Konzentrationsangaben der Vorbelastungen beziehen sich auf Zwei-Wochen-Mischproben. Die Zahlenangaben wurden den Zahlentafeln der Deutschen Kommission zur Reinhaltung des Rheins entnommen /Deutsche Kommission zur Reinhaltung des Rheins 1983/. Zusätzlich wurde für den Rhein die fiktive Zunahme der Chlorid-Konzentration für das Jahr 1980 unter der Annahme berechnet, daß die Rauchgase aller Steinkohlekraftwerke und Fernheizwerke, deren Abwässer letztlich in den Rhein gelangen, entschwefelt sind und der Chlorid-Gehalt der Kohle sich vollständig im Abwasser befindet. (Chloridgehalt der Kohle: 0,3 %; eingesetzte Steinkohlemenge in Kraftwerken, deren Abwässer letztlich in den Rhein gelangen: rd. 30 Mio t SKE; Lastfaktor 5000 h/a; Gesamtsteinkohleneinsatz in Steinkohlekraftwerken und Fernheizwerken 1980: knapp 40 Mio t SKE). Wie man der Tabelle entnehmen kann, ist die Zusatzbelastung als gering einzustufen.

Tab. 6: Fiktive Zunahme der Chlorid-Belastung durch Abwässer der Rauchgasentschwefelung (1980)

Fluß (Meßstelle)	Abfluß (m ³ /s)	Chlorid-Konzentration (mg/l)	Zunahme der Cl ⁻ -Konzentration (mg/l)
Neckar (Mannheim)	67,2	153	2,9
Main (Kostheim)	84,4	86	2,3
Saar (Kanzem)	21,6	240	9
Mosel (Koblenz)	176,6	251	1,1
			} durch Abwässer eines 700 MWel-Kraftwerkes
Rhein (Weisweil)	850	174	5,8 *)

*) durch Abwässer aller Kraftwerke und Fernheizwerke, die zum Rhein hin entwässern

Auch für den zweiten Untersuchungsschritt soll zunächst das Einleiten salzhaltiger Abwässer beurteilt werden. Hohe Salzgehalte beeinträchtigen die Nutzungsmöglichkeit von Oberflächengewässern zu Kühlzwecken, da Korrosionsschäden in Leitungen und Bauteilen befürchtet werden müssen. Dies

hat zum Beispiel dazu geführt, daß die französischen Behörden die Solvay-Sodafabriken in Lothringen angewiesen haben, ihre Salzeinleitungen in die Mosel von 38 kg Cl⁻/s um 14 kg Cl⁻/s zu verringern, um Schäden an den im Bau befindlichen Kernkraftwerken in Cattenom zu verhindern /RIWA 1982/.

Auch starke Schwankungen im Salzgehalt können die Korrosion in Wasserverteilungsanlagen begünstigen, da sie Veränderungen in der Deckschicht in Rohrleitungen hervorrufen /IAWR 1980/.

Einleitungen von salzhaltigen Abwässern in den Rhein beeinträchtigen auch die Verfolgung des erklärten umweltpolitischen Ziels, die Salzbelastung in diesem Fluß zu verringern. Im Chloridabkommen der Rheinanliegerstaaten /Bundesregierung 1978/ werden den einzelnen Ländern bestimmte Frachten aus Chlorid-Ionen-Ableitungen zugestanden. Einen Vergleich der 1982 tatsächlich gemessenen Werte mit den erlaubten Größen zeigt die nachfolgende Tabelle 7.

Tab. 7: Zielwerte nach dem Chloridabkommen und gemessene Chloridfrachten im Rhein 1982

Stromabschnitt	Chlorid-Fracht Mittelwert (kg/s)	Chlorid-Fracht Maximalwert (kg/s)	Chlorid-Fracht Meßwert (Mittelwert) 1982 (kg/s)
Seltz/Maxau - Mainz	15,8	17,5	43,5 +)
Mainz - Koblenz	9,9	10,0	6,2 +)
Koblenz - Bimmen/ Lobith	105	123,6	104 +)
G e s a m t	130,7	151,1	153,7 +)

+) Berechnet nach Angaben in den Zahlentafeln der /Deutschen Kommission zur Reinhaltung des Rheins 1983/

Der Tabelle kann entnommen werden, daß die angestrebten Einleitungsfrachten 1982 deutlich überschritten wurden. Dabei rühren etwa 15 % der Fracht

vom deutschen Kohlebergbau her /Rat von Sachverständigen für Umweltfragen 1976/. Eine zusätzliche Ableitung der Abwässer der Rauchgasentschwefelung nach dem Beispiel der Tabelle 6 würde die Chloridfracht um rund 3,1 kg/s erhöhen. Gemessen an der Vorbelastung erscheint diese Erhöhung sehr gering; das Ziel, die Salzbelastung des Rheins zu verringern, würde dagegen noch schwieriger zu erreichen sein.

Die weitestgehenden Qualitätsanforderungen werden an solche Oberflächengewässer gestellt, die der Trinkwasserversorgung dienen. Eine Beeinträchtigung solcher Gewässer durch Abwassereinleitungen ist danach zu beurteilen, inwieweit diese Form der Gewässernutzung beibehalten werden kann. Beispielhaft sollen hier die Verhältnisse am Rhein herangezogen werden, da der Rhein einerseits in großem Umfang der Trinkwassergewinnung dient und zum anderen an vielen Stellen die Abwässer von Kohlenutzungsanlagen aufnehmen muß.

Als Anhaltspunkt für eine mögliche Beeinträchtigung dient die von der EG erlassene Richtlinie 75/440 für die Qualität von Oberflächenwässern, die der Trinkwassergewinnung dienen /siehe zum Beispiel IKSR 1978; EUREAU 1981/. Die Einhaltung der in dieser Richtlinie genannten Grenzwerte soll garantieren, daß die herkömmlichen Wasseraufbereitungsverfahren nicht beeinträchtigt werden und ein einwandfreies Trinkwasser liefern. Die Richtlinie ist von den Bundesländern für verbindlich erklärt worden, soweit das Trinkwasser direkt entnommen wird. In den Fällen der Uferfiltration und der Grundwasseranreicherung, die am Rhein ausschließlich vorliegen /siehe zum Beispiel ARW 1982/, hat diese Richtlinie nur den Charakter von Empfehlungen. Die Richtlinien unterscheiden drei Anforderungskategorien A1, A2, A3, je nach angewendetem Aufbereitungsverfahren. Die Anforderungen A3, die für die aufwendigste Verfahrenskette angegeben werden, sollen ausdrücklich nur vorübergehend anwendbar sein. Daher werden die Anforderungen der Kategorie A2 zugrundegelegt. Innerhalb der einzelnen Kategorien wird wiederum zwischen unbedingt einzuhaltenden Werten I (= imperative) und anzustrebenden Werten G (= guide) unterschieden. Da häufig nur der I-Wert genannt wird, sollen im folgenden die zusätzlichen Immissionen durch Abwässer an den A₂/I-Werten gemessen werden.

Empfehlungen für die Qualität von Oberflächenwässern, aus denen Trinkwasser gewonnen wird, wurden auch vom Europarat und der Internationalen Arbeitsgemeinschaft der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet (IAWR) ausgesprochen. Sie liegen in denselben Größenordnungen wie die EG-Richtlinien, so daß auf sie im Rahmen dieser groben Abschätzungen nicht eingegangen werden soll. Es wurde lediglich der Wert für den gelösten organischen Kohlenstoff den IAWR-Empfehlungen entnommen, weil die EG-Richtlinien keinen entsprechenden Wert enthalten.

Die Verschmutzungsparameter, die für die Beurteilung von Gewässerbeeinträchtigungen durch Abwässer von Kohlenutzungsanlagen eine Rolle spielen, sind neben Summenparametern wie "Gelöster organischer Kohlenstoff" (DOC) oder "Chemischer Sauerstoffbedarf" (CSB) die Gruppenparameter Phenolgehalt und Gehalt von polyzyklischen Aromaten sowie als Einzelwerte die Konzentrationen von Chlorid, Sulfat, Cyamid, Ammonium und einzelnen Schwermetallen. In der Tabelle 8 sind für diese Parameter die A2/I-Standards der EG-Richtlinie (für DOC der IAWR-Wert) sowie die im Niederrhein tatsächlich gemessenen Mittelwerte und Maximalwerte zusammengestellt. Ferner ist angegeben, zu welcher Erhöhung die Summe aller Abwässer gemäß den Hochrechnungen für die einzelnen Kohleeinsatzstrategien⁺⁾ beitragen würde unter der Annahme, daß der Abfluß des Niederrheins nur $Q = 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ beträgt (dieser Wert entspricht dem 5-Perzentil, d.h. 5 Prozent der gleichmäßig über das Jahr verteilten Abflußmessungen ergaben Werte bis zu $1000 \text{ m}^3/\text{s}$) und im Fluß kein Abbau stattfindet. Für die Berechnung der Zusatzbelastung im Falle der Referenzschätzung und der Verstromungsstrategie wurden - sieht man von den Abwässern der gemäß Referenzschätzung vorgesehenen Demonstrationsanlagen zur Kohleveredlung ab - nur die Abwässer aus der Rauchgasentschwefelung herangezogen. Dies wird dadurch gerechtfertigt, daß man annehmen kann, daß die Kühlwässer für zukünftige Kraftwerke im wesentlichen eine ausgeglichene Salzbilanz aufweisen (d.h. die mit dem Rohwasser dem Fluß entnommene Salzfracht ist gleich der mit den Abschlämmwässern abgegebenen Salzfracht) und Kühlwasserkonditionierungsmittel sowie Korrosionsprodukte

+) Auf Berechnungen für die Verheizungsstrategie wurde verzichtet, da die entsprechenden Werte ungefähr in der Mitte zwischen den Werten für die Referenzschätzung und den Werten für die Verstromungsstrategie liegen.

Tab. 8: Veränderung der Rheinwasserqualität durch Abwässer aus Kohlenutzungsanlagen

Ver- schmut- zungs- Parameter	A ₂ /I-Wert der EG-Richtlinie	Meßwerte 1982		Erhöhung gegenüber dem Stand von 1980 durch Abwässer bei Q ₅ % gemäß den Annahmen der		
		Mittelwert	Maximalwert	Referenz- schätzung	Verstromungs- strategie	Veredlungs- strategie
DOC	4 mg/l (IAWR-Empfehlung)	3,6 mg/l	6,3 mg/l	0,0067 mg/l	0,0067 mg/l	0,05 mg/l
Phenole	5 µg/l	10 µg/l	26 µg/l	0,027 µg/l	0,027 µg/l	0,2 µg/l
Polyzyklische Aromaten	0,2 µg/l	0,25 µg/l ^{+))}	0,45 µg/l ^{+))}	0,004 µg/l	0,004 µg/l	(0,03 µg/l)
Ammonium	1,5 mg/l	0,31 mg/l	0,93 mg/l	0,0026 mg/l	0,0026 mg/l	0,02 mg/l
Chlorid	200 mg/l	136 mg/l	231 mg/l	2,31 mg/l	4,2 mg/l	2,7 mg/l
Sulfat	250 mg/l	65 mg/l	79 mg/l	0,22 mg/l	0,4 mg/l	0,26 mg/l
Cyanid	50 µg/l	<1 µg/l	1 µg/l	-	-	0,1 µg/l
Blei	50 µg/l	11,6 µg/l	15,0 µg/l	0,003 µg/l	0,005 µg/l	(0,2 µg/l)
Cadmium	5 µg/l	0,6 µg/l	1,1 µg/l	0,004 µg/l	0,08 µg/l	(0,5 µg/l)
Chrom	50 µg/l	7,9 µg/l	11 µg/l	0,007 µg/l	0,013 µg/l	(0,07 µg/l)
Quecksilber	1 µg/l	<0,2 µg/l	0,5 µg/l	0,006 µg/l	0,011 µg/l	(0,1 µg/l)

+) In unfiltrierter Probe

Anmerkung: Die Meßwerte für 1982 entstammen den Zahlentafeln der /Deutschen Kommission zur Reinhaltung des Rheins 1983/ (Meßstelle Kleve-Bimmen) und der /RIWA 1983/ (Meßstelle Tiel). Werte in Klammern sind Schätzwerte.

keine nennenswerten Gewässerbeeinträchtigungen hervorrufen werden. Die Abschlammwässer aus den Kohleumwandlungsanlagen, die den Hauptteil der Abwässer bei der Referenzschätzung und der Verstromungsstrategie darstellen, fallen damit als zusätzliche Belastung heraus. Die Konzentrationen von Inhaltsstoffen in den gereinigten Abwässern von Kraftwerken und Veredlungsanlagen wurden so angesetzt, daß sie die Mindestanforderungen erfüllen bzw. derzeit schon genehmigten Ablaufkonzentrationen von Abwässern aus Veredlungsanlagen entsprechen.

Die DOC-Werte wurden aus den CSB-Werten auf der Basis eines DOC/CSB-Verhältnisses von 1:3 berechnet. Bei den polyzyklischen Aromaten (PAH) wurden die Meßwerte für die unfiltrierte Probe angegeben. Zu beachten ist ferner, daß die Meßwerte die Summe aus nur 6 polyzyklischen aromatischen Verbindungen darstellen (vgl. zum Beispiel /Grimmer et al. 1981/) und daß selbst diese Verbindungen unter Umständen nur unvollständig erfaßt wurden (vgl. /Gjessing, Berglind 1981/). Die in der Tabelle 8 angegebenen Werte für die Zusatzbelastung an PAH bei der Veredlungsstrategie stellen nur eine Abschätzung der Größenordnung dar, die auf den von Stamoudis und Luthy gemessenen Werten basiert /Stamoudis und Luthy 1980/. Eine genauere Analyse müßte ohnehin die sehr unterschiedliche Wirksamkeit der verschiedenen PAH in Rechnung stellen. Bei den Schwermetallen ist die Abschätzung der Konzentrationen in den Veredlungsabwässern ähnlich ungenau. Die Tabellenwerte orientieren sich an den Werten in /Jüntgen et al. 1983; Cornils et al. 1982; Cornils et al. 1980/. Sie wurden, wie auch die Werte für die PAH, eher konservativ geschätzt.

Vergleicht man die möglichen Zunahmen der Werte für die Verschmutzungsparameter, die sich durch den zusätzlichen Kohleeinsatz im Rahmen der Referenzschätzung und der Kohleeinsatzstrategien ergeben könnten, mit den Meßwerten von 1982, so ergibt sich, daß die mögliche zusätzliche Beeinträchtigung der Rheinwasserqualität trotz Vernachlässigung der Selbstreinigung im großen und ganzen gering ist. Sie ist relativ am stärksten bei den Chloriden, den Phenolen, den PAH und den (leichtflüchtigen) Schwermetallen Cadmium und Quecksilber. Bei den Phenolen, den PAH und teilweise auch den Chloriden werden die A_2/I -Werte der EG-Richtlinie heute schon deutlich überschritten. Daher ist diesen Parametern bei einem verstärkten Kohleeinsatz besondere Aufmerksamkeit zu schenken, auch im Hinblick auf die in vorangegangenen Abschnitten diskutierten Möglich-

keiten der Emissionsverringerung. Bei den Phenolen ist insbesondere auch auf die mehrwertigen (nicht wasserdampfvlüchtigen) Phenole zu achten, denen gegenüber die in Abschnitt 1.3.3 (Abwasserbehandlung bei Kohleveredlungsanlagen) genannten Reinigungsschritte nicht sehr wirksam sind.

Eine viel höhere Zusatzbelastung kann sich allerdings dann ergeben, wenn kleinere Oberflächengewässer als Vorfluter für Kohleumwandlungsanlagen herangezogen werden müssen. Unterstellt man, daß zusätzliche Anlagen in der Nähe von Kohleabbaugebieten errichtet werden, so kommen vor allem Lippe und Saar als zusätzliche Vorfluter in Betracht. (Von der Emscher kann man absehen, da sie kaum noch als natürliches Gewässer anzusehen ist.) Ihr 5-Perzentilwert für den Abfluß ist in der Größenordnung von 20 m³/s. Je nach Art der Anlage kann die Verdünnung der Abwässer einer Anlage bis zu einem Faktor 10 geringer sein als bei Einleitung aller Anlagenabwässer in den Rhein. Entsprechend würde sich die Zusatzbelastung erhöhen. Diese Flüsse dienen zwar nicht zur Trinkwassergewinnung; im Interesse einer Gewässersanierung ist allerdings zu überlegen, ob nicht auch dort weitere Schritte bei der Abwasserreinigung gerechtfertigt sind.

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, daß der Mehrverbrauch an Wasser bei der Referenzschätzung und den einzelnen Strategien gegenüber dem Bezugsjahr 1980 nur einen Bruchteil (max. 1,5 %) der derzeit von allen Wärmekraftwerken benötigten Wassermenge beträgt. Dies ist darauf zurückzuführen, daß der Bedarf an Kühlwasser den größten Anteil des Wasserverbrauchs darstellt und in der Studie unterstellt wurde, daß in Zukunft nur noch die wassersparende Kreislaufkühlung mit Naturzug-Naßkühltürmen angewendet werden wird. Trotzdem kann nicht ausgeschlossen werden, daß bei einzelnen vorgesehenen Standorten die Bereitstellung der benötigten Wassermenge mit Schwierigkeiten verbunden sein wird.

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 zu einem großen Prozentsatz (ca. 15 %) zur Aufsalzung des Rheins dar. 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 zur Zeit 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.

Im großen und ganzen ist die mögliche zusätzliche Schädigung von Vorflutern durch Abwässer aus Kohleaufbereitungs- und Kohleumwandlungsanlagen als gering anzusehen. Allerdings kann nicht ausgeschlossen werden, daß solche Abwässer dazu beitragen können, daß einzelne Gewässer nicht mehr zu Trinkwassergewinnung herangezogen werden können, weil ihre Vorbelastung und die Zusatzbelastung durch weitere Abwässer die im Hinblick auf die Nutzung für die Trinkwasserversorgung maximal zulässige Verschmutzung von Gewässern übersteigen.

Bei der Entsorgung der festen Rückstände steht inzwischen der Gedanke der Wiederverwendung im Vordergrund, insbesondere auch wegen des Mangels an geeigneten Deponieflächen und gestiegener Entsorgungskosten. Die Möglichkeiten der Wiederverwendung sind für die einzelnen Rückstände allerdings unterschiedlich. Für 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 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 kg/m^3 auf 300 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. Für die Zusatzmengen, die sich aufgrund der Referenzschätzung (Zuwachs ca. 50 % gegenüber 1980) und der Strategien (im Mittel Verdoppelung 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 sind aber wegen der hohen anfallenden Mengen - insbesondere bei der Verstromungsstrategie - nicht auszuschließen.

Eine gefahrlose Deponierung der Rückstände ist möglich, wenn die behördlich vorgeschriebenen Einbau- und Betriebsvorschriften von Deponien angewendet werden. Die Bereitstellung der erforderlichen Flächen wird allerdings mit Schwierigkeiten verbunden sein.

Bibliographie

- Abel, O., Oelert, H.H.: Erfassung und Abschätzung der Emissionen aus Anlagen zur Kohleverflüssigung und Kohlevergasung in der Bundesrepublik Deutschland. Studie im Auftrag des Ministers für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr des Landes Nordrhein-Westfalen, Clausthal 1981
- Adriano, D.C., Page, A.L., Elseewi, A.A., Chang, A.C., Stangham, I.: Utilization and Disposal of Fly Ash and other Coal Residues in Terrestrial Ecosystems: A Review. J. Environ. Qual. 9 (1980), S. 333-343
- Andres, O., Ortner, G., Pauls, B.: Schlammanfall und Schlammbehandlung bei der Kühlwasseraufbereitung in Kernkraftwerken. Energie 28 (1976) Heft 12, S. 353-356
- Arbeitsgemeinschaft der Länder zur Reinhaltung der Weser (Hrsg.): Weserlastplan 1982. Bremen 1982
- ARW (Arbeitsgemeinschaft der Rheinwasserwerke): Jahresbericht 1981. ARW, Düsseldorf 1982
- Baden-Württembergisches Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten: Verwaltungsvorschrift des Ministeriums für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten über das Merkblatt der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) "Die geordnete Ablagerung von Abfällen", GABl 1981, S. 258-272
- BergG: Bundesberggesetz vom 13. August 1980, BGBI. I, S. 1310ff.
- Vom Berg, W.: Flugasche als Betonzusatzstoff nach DIN 1045-Anforderungen, Eigenschaften und Auswirkungen auf den Beton. VGB-Kraftwerkstechnik 62 (1982), S. 967-988
- Bischoff, G., Gocht, W., (Hrsg.): Energiehandbuch. Friedr. Vieweg und Sohn, Braunschweig/Wiesbaden 1981
- Bloss, W.: Entsorgung von Rauchgasentschwefelungsanlagen. VGB-Tagungsbericht "Kraftwerk und Umwelt 1981" (VGB-TB 305), S. 101-107, VGB-Kraftwerkstechnik GmbH, Essen
- BMI: Wasserversorgungsbericht - Bericht über die Wasserversorgung in der Bundesrepublik Deutschland. Erich Schmidt Verlag, Berlin 1982
- Böhm, E., Kunz, P.: Möglichkeiten der verstärkten Verwertung von Rückständen aus Kraftwerksfeuerungen. VGB-Technisch-wissenschaftliche Berichte (VGB-TW 205), VGB Kraftwerkstechnik GmbH, Essen, 1983a
- Böhm, E., Jacobs, J., Kunz, P., Pietrzeniuk, H.J.: Stand der Verwertung von Rückständen aus Kohlekraftwerken. VGB-Kraftwerkstechnik 63 (1983), S. 344-350, 1983b
- Bogan, R.H., Skrinde, R.T., Jech, D.D.: Liquid and Solid Waste Management for Coal-Conversion Processes. Bericht EPRI-AP--2245, Electric Power Research Institute, Palo Alto, Cal. 1982
- Bonn, B., Schilling, H.D.: Folgen eines verstärkten Kohleeinsatzes in der Bundesrepublik Deutschland; Materialienband II: Technische Konzepte, Emissionsaspekte und mittelfristige Einsatzmöglichkeiten der Wirbelschichtfeuerung, Bericht des Kernforschungszentrums Karlsruhe, KfK 3524, März 1983

- Brautlecht, F.-J.: Anforderungen an die Ablagerung von Abfällen aus der Rauchgasreinigung konventioneller Kraftwerke. Vortrag auf der Tagung "Fortschritte der Deponietechnik 1982", Haus der Technik e.V., Essen 1982
- Brune, D., Schneider, H.-J., Stehfest, H.: Unveröffentlichter Bericht, Abteilung für Angewandte Systemanalyse, Kernforschungszentrum Karlsruhe 1983
- Bundesregierung: Abfallwirtschaftsprogramm. BT Drucksache 7/4826, 1975
- Bundesregierung: Verordnung zur Bestimmung von Abfällen nach § 2, Abs. 2 des Abfallbeseitigungsgesetzes vom 24.5.1977, BGBl. I, S. 773ff, 1977
- Bundesregierung: Übereinkommen zum Schutz des Rheins gegen chemische Verunreinigung. BGBl. II, S. 1053-1072, 1978
- Bursik, A., Bucher, H.: Umgekehrte Osmose als Bestandteil der Zusatzwasseraufbereitung. VGB-Tagungsbericht "Kraftwerk und Umwelt 1981", S. 144-150, Essen 1981
- Bursik, A., Resch, G.: Kraftwerkschemie - heutiger Stand und Entwicklung in den 80er Jahren. VGB-Kraftwerkstechnik 61 (1981), Heft 4, S. 285-293
- Ciesiolka, J.F., Schmitt, D.: Wirtschaftlichkeitsanalyse fortgeschrittener Verfahren der Kohleveredlung. Energiewirtschaftliches Institut an der Universität Köln 1982
- Coenen, R. (Hrsg.): Steinkohle - Technikfolgenabschätzung ihres verstärkten Einsatzes in der Bundesrepublik Deutschland. BMFT-Reihe Risiko- und Sicherheitsforschung, Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York - Tokyo 1984
- Cornils, B., Hibbel, J., Langhoff, J., Ruprecht, P.: Stand der Texaco-Kohlevergasung in der Ruhrchemie/Ruhrkohle-Variante. Chem.-Ing.-Techn. 52 (1980), S. 12-19
- Cornils, B., Konkol, W., Ruprecht, P., Langhoff, J., Dürrfeld, R.: Kohlevergasungsverfahren der "zweiten Generation". Erdöl und Kohle - Erdgas - Petrochemie vereinigt mit Brennstoff-Chemie 35 (1982), S. 304-309
- DAfStB: Deutscher Ausschuß für Stahlbeton: Empfehlungen zur Verbesserung der Dauerhaftigkeit des Betons. Beton 32 (1982), S. 58
- Damiecki, R.: Verdampfung. In: Literaturstudie zur weitergehenden Abwasserreinigung. Gewässerschutz - Wasser - Abwasser, Bd. 43, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen, 1980
- Darey, W.L.E., Engelbrecht, A.D.: Recovery of useful products from Koppers-Totzek Gesifier Flyash Combustion to Raise Steam. Chemical Engineering Conference, 2 A-1, o.J., o.O.
- Deutsche Kommission zur Reinhaltung des Rheins: Zahlentafeln der physikalisch-chemischen Untersuchungen 1982. Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten, Baden-Württemberg 1983
- Deutscher Bundestag: Drucksache 9/754, 1981
- Dittrich, V., Klein, T.: Untersuchung von Bauschuttdeponien. Studie im Auftrag des Ministers für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten NRW und des Landesamtes für Wasser und Abfall NRW, Düsseldorf 1979 (2 Bd.)

- Engelhardt, W.v.: Der Porenraum der Sedimente. Springer-Verlag, Berlin - Göttingen - Heidelberg 1960
- EPRI: Coal Ash Disposal Manual, FP-1257, Research Project 1404-1, Final Report, Palo Alto, Calif., Dez. 1979
- Erythropel, H.: Ascheverwertung. In VGB-FDBR (Hrsg.): Jahrbuch der Dampferzeugungstechnik, 2. Ausgabe 1972/73, Vulkan-Verlag, Essen
- EUREAU: Erfahrungen mit der EG-Richtlinie 75/440 über die Qualität von Oberflächenwasser für die Trinkwassergewinnung in den Mitgliedsstaaten. gwf - Wasser/Abwasser 122 (1981), S. 556-560
- Fehlau, K.-P.: Anmerkungen zum Deponiemerkblatt der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik '80, Berlin 1980
- Forck, B.: Stand der Rauchgasentschwefelung - Trend der Entwicklung. VGB-Tagungsbericht "Kraftwerk und Umwelt 1981", S. 75-81, Essen 1981
- Franzius, V.: Schadloze Ablagerung. Materialien zu Stand und Entwicklungstendenzen der Abfallwirtschaft und Beseitigung in der Bundesrepublik Deutschland, Teil 8. Umweltbundesamt Berlin 1979
- Gjessing, E.T., Berglind, L.: Adsorption of PAH to aquatic humus. Arch. Hydrobiol. 92 (1981), S. 24-30
- Grahl, K.: Die Klassifizierung von Wasserinhaltsstoffen nach purem Toxizitätspotential gegenüber Wasserorganismen. Acta hydrochim. et hydrobiol. 11 (1983), S. 137-143
- Grimmer, G., Schneider, D., Dettbarn, G.: Die Belastung verschiedener Flüsse in der Bundesrepublik Deutschland durch polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe. Vom Wasser 56 (1981), S. 131-144
- Gutberlet, H., Stappert, S.: Chemische Probleme und Erfahrungen mit der Rauchgasentschwefelungsanlage Scholven. VGB-Kraftwerkstechnik 61 (1981), S. 849-856
- Gutberlet, H.: Gips aus der Rauchgasentschwefelung. VGB-Kraftwerkstechnik 63 (1983), S. 335-344
- Hager und Elsässer GmbH: Kostenschätzung für eine Verdampfungsanlage von 100 m³/h Durchsatz. Pers. Mitt., Hager und Elsässer GmbH, Stuttgart 1982
- Hahne, C., Schmidt, R.: Die Geologie des Niederrheinisch-Westfälischen Steinkohlegebietes. Verlag Glückauf, Essen 1982
- Hartkopf, G.: Stand und Perspektiven der Abfallwirtschaftspolitik der Bundesregierung. Rede vor dem Verband der kunststoffherzeugenden Industrie am 03.12.1981, abgedruckt in: Umwelt 87 (1982), S. 14-19
- Held, H.-D.: Kühlwasser. Vulkan-Verlag, Essen 1977
- Hoffmann, J.: Sammlung, Organisation und Nutzung von Daten über Stand der Klärtechnik, Bemessung und Kosten. Gewässerschutz - Wasser - Abwasser, Bd. 33, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen 1979
- Hoffmann, H.: Anforderungen an Deponien für Bauschutt oder ähnliche Abfälle - Folgerungen aus Untersuchungen an vorhandenen Deponien. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik '80, Berlin 1980

- Hotzel, E.: Steinkohlenbergbau und Umweltschutz. Glückauf 110 (1974), S. 67-70
- Hucke, J., Döbritz, W., Feick, J., Neitzel, H., Schäfer, K.: Umweltschutz in der öffentlichen Vergabepolitik. Texte 3/81, Umweltbundesamt Berlin 1981
- IAWR: Internationale Arbeitsgemeinschaften der Wasserwerke im Rheineinzugsgebiet. Jahresbericht 1979/80, Amsterdam 1980
- Igelbüscher, H., Gresch, H., Fischer, W., Miersch, S., Hofmann, I.: Umbau und Versuchsbetrieb der Rauchgasentschwefelungsanlage Weiher II. Forschungsbericht T82 - 108, BMFT, Bonn 1982
- IKSR (Internationale Kommission zum Schutze des Rheins gegen Verunreinigung): Langfristiges Arbeitsprogramm - Gesamtfassung -. Bd. 1, IKSR, Koblenz 1978
- Jacobs, J.: Verwertung von Verbrennungsrückständen aus Kraftwerksfeuerungen. VGB-Kraftwerkstechnik 58 (1978), S. 342-353
- Jacobs, J.: Einsatz von Flugstaub aus Steinkohlenfeuerungen im Betonbau. VGB-Kraftwerkstechnik 62 (1982), S. 1099-1106
- Jörissen, J.: Unveröffentlichter Bericht, Abteilung für Angewandte Systemanalyse, Kernforschungszentrum Karlsruhe 1982
- Jüntgen, H., van Heek, K.-H., Hewing, G., Klein, J., Peters, U., Schröter, H.-J.: Schadstoffemissionen bei der Kohleveredlung. Bericht des Kernforschungszentrums Karlsruhe, KfK 3523, 1983
- Klein, J., Patalas, N.: Abscheidung gelöster und suspendierter organischer Stoffe aus Abwässern mit Hilfe von regenerierbarer Aktivkohle; Teil 2: Prototypanlage. Abschlußbericht zum BMFT-Vorhaben 02WA 702, Bergbau-Forschung GmbH, Essen 1978
- Klute, R., Bernhardt, H., Hahn, H.H., Schell, H.: Standardisierung einer Flockungstestapparatur. Z.f. Wasser- und Abwasser-Forschung 11 (1978), S. 193-204
- Köhlhoff, D., Weiling, R.: Membranverfahren. In: Literaturstudie zur weitergehenden Abwasserreinigung. Gewässerschutz - Wasser - Abwasser, Bd. 43, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen 1980
- Krolewski, H.: Bauwesen in der Kraftwerkstechnik 1982. VGB-Kraftwerkstechnik 62 (1982), S. 1092-1099
- Kutsch, K.: Gesichtspunkte für die Auswahl von Deponien zur Ablagerung von Rückständen aus konventionellen Kraftwerken. VGB-Kraftwerkstechnik 61 (1981), S. 120-123
- Lange, M., Haug, N.: Die Erzeugung und Verwertung von Produkten aus der Abgasentschwefelung. Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin 1981
- Lee, S.Y., Boegly, W.J.: Coal Conversion - Solid Waste Characterisation for Environmental Assessment. Report ORNL-TM/7533 1981
- Libicki, J.: Determination of feasibility and conditions for storage of coal-fired power-plants ashes and coal mining wastes in old open-pits with considerations for groundwater protection against pollution. Wroclaw (Poltegor) 1977

- Liebmann, H.: Handbuch der Frischwasser- und Abwasser-Biologie. R. Oldenbourg Verlag, München 1960
- Lippeverband: Gewässergütebericht 1982, Essen 1983
- Marquardt, K.: Umweltfreundliche Verfahren für die Frisch- und Abwasseraufbereitung in Kraftwerken. 3 R international 9 (1980), S. 492-502
- Maury, H.-D.: Zur Mobilisierung von Haupt- und Spurenelementen durch Oberflächen- und Grundwasser von Flugaschedeponien aus steinkohlenbefeuerten Kraftwerken. VGB-Kraftwerkstechnik 63 (1983), S. 606-613
- Merkel, E.: Kriterien für die Zulassung von Abfällen zu Ablagerungen auf Hausmülldeponien. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik '82, Texte 29/82, Berlin 1982
- Milios, P.: Water Reuse at a Coal Gasification Plant. Chem. Engng. Progr. 71 (1975), No. 6, S. 99-104
- Mothadie, M., Roderigo, P., Wöffen, B.: Adsorption. In: Literaturstudie zur weitergehenden Abwasserreinigung. Gewässerschutz - Wasser - Abwasser, Bd. 43, Institut für Siedlungswasserwirtschaft, RWTH Aachen 1980
- Magd, P.: Entsorgungsmöglichkeiten von Flugasche durch die Zementindustrie. Verwertung von Verbrennungsrückständen (VGB-TB 202), VGB-Kraftwerkstechnik GmbH 1983
- Neis, U.: Leistungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit von Flockungsverfahren. In: Fortschritte bei der Anwendung von Flockungsverfahren in der Abwassertechnologie. 2. Verfahrenstechnisches Seminar. Berichte des ISWW Karlsruhe, Bd. 20, 4.1-4.44, 1979
- Neumüller, Otto Albrecht: Römpps Chemie-Lexikon. Frankh'sche Verlags-handlung W. Keller u. Co., Stuttgart 1975
- Niedersächsischer Landtag: Antwort der Landesregierung auf die Anfrage der Abg. Frau Lemmermann betr. Chlorid-Konzentration der Ems einschließlich ihrer Zuflüsse. Drucksache 10/366, 1982a
- Niedersächsischer Landtag: Antwort der Landesregierung auf die Anfrage des Abg. Meinsen betr. Verschmutzung der Ems und der Ibbenbürener Zuflüsse durch Salze und andere Verunreinigungen. Drucksache 10/546, 1982b
- Nowacki, P. (ed.): Health Hazards and Pollution Control in Synthetic Liquid Fuel Conversion. Noyes Data Corporation, Park Ridge, N.J. 1980
- NRW-Ministerium für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr: Gem. RdErl. des Ministers für Wirtschaft, Mittelstand und Verkehr 1967
- Oetting, R.: Hydrogeochemische Laboruntersuchungen zum Auslaugverhalten verschiedener Bergematerialien des nordrheinwestfälischen Steinkohlegebietes und einer Hochofenschlacke. Schriftenreihe des Vereins für Wasser-, Boden- und Lufthygiene, Bd. 50, 1980
- Patuska, G., August, H., Tatzky, R.: Eignungen von Dichtungen aus Kunststoffen für Sonderabfalldeponien. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik '82, Texte 29/82, Berlin 1982

- Pietrzeniuk, H.-J.: Beispiele für die stoffliche Verwertung einzelner Abfallarten, Materialien zu Stand und Entwicklungstendenzen der Abfallwirtschaft und -beseitigung in der Bundesrepublik Deutschland, Teil 7. Umweltbundesamt Berlin 1980
- Pietrzeniuk, H.-J.: Prognose über Anfall und Verwertungsmöglichkeiten von Rückständen aus der Rauchgasreinigung konventioneller Kraftwerke. Vortrag auf der Tagung "Fortschritte der Deponietechnik 1982", Haus der Technik e.V., Essen 1982
- Pollmann, S.: Einfluß der mineralischen Bestandteile von Steinkohlen auf die Verschlackung und Verschmutzung von Feuerräumen und Heizflächen in Dampferzeugern. In VGB-FDBR (Hrsg.): Jahrbuch der Dampferzeugertechnik, 4. Ausgabe, Vulkan-Verlag, Essen 1980
- Puchelt, H.: Zur Geochemie des Grubenwassers im Ruhrgebiet. Zeitschrift der Deutschen Geologischen Gesellschaft 116 (1964), S. 167-203
- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: Umweltgutachten. Verlag W. Kohlhammer GmbH, Stuttgart 1974 und 1978
- Rat von Sachverständigen für Umweltfragen: 3. Sondergutachten: Umweltprobleme des Rheins. BMI, Bonn 1976
- Resch, G., Burgmann, F.: Untersuchungen zur Eluierbarkeit von Flug- und Feuerraumaschen unter besonderer Berücksichtigung einiger Metalle und Halbmetalle. VGB-Tagungsbericht "Kraftwerk und Umwelt 1981" (VGB-TB 305), S. 131-135, Essen 1981
- Resch, G., Kreker, R.: Behandlung der Abwässer aus dem Kraftwerksbetrieb. VGB-Tagungsbericht "Kraftwerk und Umwelt 1973", S. 146-152, 1973
- Rick, K.: Feste Abfallstoffe des Steinkohlebergbaus im Ruhrgebiet und ihre Bewirtschaftung. Techn. Mitteilungen 67 (1974), S. 44-46
- RIWA (Rijncommissie Waterleiding bedrijven): Jahresbericht 1981. Amsterdam 1982
- RIWA (Rijncommissie Waterleiding bedrijven): Jahresbericht 1982. Amsterdam 1983
- Rolke, D.E.: Treatment of Waste Water from a Lurgi Gasification Plant. Proceedings of the 3rd International Coal Utilization Exhibition and Conference, Houston, Tx, Vol. 5: Synthetic Fuel from Coal, 1980
- Roosendahl, G., Stibbe, F.: Der neue 600-MW-Block mit Kohle/Ölfeuerung im Kraftwerk Gelderland. VGB-Kraftwerkstechnik 61 (1981), Heft 12, S. 986-1001
- Roth, H.: Wasserhaushaltsgesetz, Abwasserabgabegesetz, Wasserrecht und Wasserwirtschaft, Band 17. Erich Schmidt Verlag, Berlin 1977
- Ruhrkohle AG: Fragen zur Bergewirtschaft. Ruhrkohle AG, Essen 1981
- Ruhrverband: Dokumentation über die Salzbelastung der Ruhr. Chemisches und Biologisches Laboratorium des Ruhrverbandes, Essen 1976
- Salzwedel, J., Preusker, W.: Die Verwirklichung der "Allgemein anerkannten Regeln der Technik" zu den Mindestanforderungen der Verwaltungsvorschriften nach §7a WHG, Korrespondenz Abwasser 7 (1981), S. 470-474, 1981
- Schenkel, W.: Recycling statt Deponie - eine öffentliche Aufgabe. VGB-Kraftwerkstechnik 62 (1982), S. 963-962

- Schilling, H.D., Bonn, B., Krauss, U.: Kohlevergasung. Rohstoffwirtschaft International, Bd. 4. Verlag Glückauf, Essen 1979
- Schmidt, W.: Aufbereitung und Weiterverwertung von Flugasche einschließlich Sinterung zu Leichtbauzuschlagstoffen. VGB-Tagungsbericht "Kraftwerk und Umwelt 1981", Essen 1981
- Schmidt, W.: Praxisbeispiele und -probleme der Sickerwasserbeseitigung bei Sonderabfalldeponien. In: Umweltbundesamt (Hrsg.): Fortschritte der Deponietechnik '82, Texte 29/82, Berlin 1982
- Schneider, H.-J., Brune, D., Stehfest, H.: Unveröffentlichter Bericht, Abteilung für Angewandte Systemanalyse, Kernforschungszentrum Karlsruhe 1982
- Scholz, W.: Baustoffkenntnis. Werner-Verlag GmbH, Düsseldorf 1980 (9. Aufl.)
- Schulz, M.: Hydromechanische Felduntersuchungen zum Auslaugverhalten verschiedener Bergematerialien des nordrheinwestfälischen Steinkohlegebietes und einer Hochofenschlacke. Diss. Univer. Kiel, 1979
- Schulze, J., Weiser, M.: Vermeidungs- und Verwertungsmöglichkeiten von flüssigen und festen Abfallstoffen bei der Kohleveredlung. Umweltbundesamt (Hrsg.), Texte 3/83, Berlin 1982
- Sielaff, H.D.: Blasversatz mit Seitenausträgen bei großer Flözmächtigkeit mit Blasböcken. Bundesministerium für Forschung und Technologie (Hrsg.), BMFT-FB-T82-075, Bonn 1982
- Van der Sloot, H.A., Wijkstra, J., van Dalen, A., Das, H.A., Slanina, J., Dekkers, J.J., Wals, G.D.: Leaching of Trace Elements from coal solid waste. Netherland Energy Research Foundation, Report Nr. ECN-120, 1982
- Stamoudis, V.C., Luthy, R.G.: Determination of Biological Removal of Organic Constituents in Quench Waters From High-BTU Coal-Gasification Pilot Plants. Water Res. 14 (1980), S. 1143-1156, 1980
- Stegmann, R.: Dokumentation und kritische Bewertung von Auslaugtests. Studie im Auftrag des Umweltbundesamtes, UFOPLAN-Nr. 10303504/02, Berlin 1979
- Täubert, U.: Reststoffe aus Kohlekraftwerken für die Bautechnik - Verwendung von Flugstaub im Straßenbau. VGB-Kraftwerkstechnik 62 (1982), S. 977-988
- Umweltbundesamt (Hrsg.): Materialien zum Abfallwirtschaftsprogramm. Texte 2/76, Berlin 1979
- VEBA-Öl AG: Vorstudie zum Bau einer großtechnischen Kohlehydrieranlage. (Kurzfassung) Bundesministerium für Forschung und Technologie, BMFT-FB ET 1242 A, Bonn 1981
- VGB: VGB-Merkblatt Nr. 18, Aufgaben und Methoden der Kondensataufbereitung. VGB-Kraftwerkstechnik GmbH, Essen 1971
- VGB: Merkblatt Wasserentsalzung mit Ionenaustauschern (VGB-M 405 G). VGB-Kraftwerkstechnik GmbH, Essen 1979
- Wetzel, R.E.: Environmental aspects of the GKT Coal gasification process. Symposium on environmental aspects of fuel conversion technology, Denver, Colorado, 1981

- Winnacker, K., Küchler, L.: Organische Technologie I, Bd. 5. Carl-Hanser-Verlag, München 1981
- Wirsching, F., Hamm, H., Hüller, R.: Technische und wirtschaftliche Möglichkeiten bei der Verwertung von Gips aus der Rauchgasentschwefelung. VGB-Tagungsbericht "Kraftwerk und Umwelt 1981" (VGB-TB 305), VGB-Kraftwerkstechnik GmbH, Essen
- Wollny, S.: Deponiebasisabdichtungen aus Kraftwerksreststoffen. Vortrag auf der VGB-Konferenz "Kraftwerk und Umwelt 1983" am 27./28. April 1983 in Essen
- Wunderlich, M.: Studie über den Einfluß von Kühlwasserbehandlungsmitteln auf die Gewässer. Texte-Reihe (o.Nr.), Umweltbundesamt (Hrsg.), Berlin 1978