

KfK 5094

September 1992

# Studie zur untertägigen Entsorgung und Verwertung bergbaufremder Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland

U. Kelm, H. Möller  
im Auftrag der  
Projekträgerschaft Entsorgung

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Zentralbibliothek

10. DEZ. 1992

**Kernforschungszentrum Karlsruhe**

KfK  
5094



KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE  
Projektträgerschaft Entsorgung

KfK 5094

Studie zur untertägigen Entsorgung  
und Verwertung bergbaufremder Stoffe in  
der Bundesrepublik Deutschland

Ulrich Kelm  
Helmut Möller

SCIENTIFIC CONSULTING,  
Dr. Schulte-Hillen BDÜ, Köln

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Zentralbibliothek

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

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

Kernforschungszentrum Karlsruhe GmbH  
Postfach 3640, 7500 Karlsruhe 1

ISSN 0303-4003

Die diesem Bericht zugrundeliegenden Untersuchungen wurden im Auftrag des Kernforschungszentrums Karlsruhe, Projektträgerschaft Entsorgung (PTE), durchgeführt. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt allein bei den Autoren.

## Kurzfassung

Die Studie gibt einen umfassenden Überblick über den aktuellen Stand und über die Entwicklungstendenzen der untertägigen Entsorgung bergbaufremder Stoffe in der Bundesrepublik Deutschland nach der Wiedervereinigung. Die möglichen Auswirkungen der zunehmenden untertägigen Verwertung von sogenannten Reststoffen auf die Entsorgungsstrukturen sind dabei besonders berücksichtigt.

Zunächst werden die rechtlich möglichen Auslegungsspielräume dargestellt und diskutiert, die aus Überschneidungen von untertägiger Entsorgung und Verwertung resultieren. Anschließend sind die bisherigen Verbringungsmaßnahmen - geordnet nach Grubenstandorten - hinsichtlich der Stoffarten, Stoffmengen, Verbringungstechniken und Genehmigungsgrundlagen im einzelnen beschrieben.

Zu den Verbringungsmaßnahmen werden grundsätzliche Überlegungen zur Umweltverträglichkeit angestellt.

Für ausgewählte Stoffarten wird das derzeitige Mengenaufkommen ermittelt und die Entwicklung bis zum Jahr 2000 abgeschätzt. Dabei sind insbesondere die zur Untertage-Deponierung vorgesehenen überwachungsbedürftigen Abfälle berücksichtigt.

Anschließend werden die Ergebnisse der bundesweit durchgeführten Erhebung über untertägige Hohlraumpotentiale sowie die Nutzbarkeit für Entsorgungszwecke dargestellt. Dabei werden auftragsgemäß Hohlräume in Salz-, Kohle-, Erz-, Gips-, Kalk- und Granitformationen untersucht.

Auf der Grundlage dieser Informationsbasis wird ein Szenario der zukünftigen Entwicklung der untertägigen Entsorgung aufgezeigt und der Bedarf an Untertage-Deponien ermittelt.

Abschließend wird auf Bereiche hingewiesen, die einer weiteren Klärung bedürfen.

# **Underground disposal and utilization of waste and residual materials in Germany**

## **Abstract**

This study gives a comprehensive survey of the current state and the tendencies for future development of the deep underground disposal of waste in Germany after reunification. In particular, the possible effects of the increasing underground utilization of residual materials on the structures of underground disposal are considered.

First of all, the room for interpretation, which results from the legal overlap of underground disposal and utilization, is presented and discussed. Moreover, the existing measures of filling and storage regarding kind and amount of materials, techniques, and permits on legal authority are discussed in order of mining sites.

The environmental compatibility of the various measures of filling and storage is carefully considered.

Present quantities of chosen materials are determined and future quantities are estimated until 2000. Those wastes which require inspection and underground disposal receive special attention.

Furthermore, the results of a nation-wide inquiry of underground excavations and their utilization for filling and storage are presented. According to instructions, salt, coal, ore, gypsum, limestone, and granite formations are investigated.

On the basis of the given information, a scenario for the future development of underground disposal of waste is pointed out and the need for disposal sites is established.

Finally, those areas are indicated which require further clarification.

Gliederung	Seite
0.	<b>Zusammenfassung</b> . . . . . 1
1.	<b>Vorbemerkungen, Aufgabenstellung und Vorgehensweise</b> . . . . . 9
1.1	Vorbemerkungen . . . . . 9
1.2	Aufgabenstellung und Vorgehensweise . . . . . 10
2.	<b>Definitionen und Auslegungsspielräume</b> . . . . . 12
2.1	Definitionen . . . . . 12
2.2	Dualismus Reststoff/Abfall . . . . . 12
2.3	Auslegungsspielräume . . . . . 13
2.3.1	Stoffezeuger . . . . . 13
2.3.2	Bergwerksunternehmen . . . . . 15
2.3.3	Zulassungsbehörden . . . . . 17
3.	<b>Bestandsaufnahme: bisher unter Tage verbrachte Stoffarten und ihre Verbringungsstandorte</b> . . . . . 20
3.1	Abfallarten gemäß TA-Abfall (Anhang C) . . . . . 22
3.2	Verbrennungsrückstände . . . . . 26
3.2.1	Steinkohle . . . . . 26
3.2.2	Braunkohle . . . . . 38
3.2.3	Hausmüll . . . . . 40
3.3	Produktionsrückstände . . . . . 43
3.4	Stoffmischungen . . . . . 46
4.	<b>Umweltverträglichkeit der bisherigen Verbringungsmaßnahmen</b> . . 48
5.	<b>Abschätzung: Mengenaufkommen ausgewählter Stoffarten</b> . . . . . 54
5.1	Abfallarten gemäß TA-Abfall (Anhang C) . . . . . 55
5.1.1	Stoffkatalog und Auswahlkriterien . . . . . 55
5.1.2	Gipsabfälle mit schädlichen Verunreinigungen . . . . . 57
5.1.3	Rückstände aus der Hausmüllverbrennung . . . . . 57
5.1.4	Rückstände aus der Sonderabfallverbrennung . . . . . 58
5.1.5	Bariumsulfatschlamm . . . . . 59
5.1.6	Rückstände aus der Steinsalzaufbereitung . . . . . 60
5.1.7	Strahlmittelrückstände mit schädlichen Verunreinigungen . . . . . 61
5.1.8	Produktionsabfälle von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln . . . . . 61
5.1.9	Anorganische Destillationsrückstände . . . . . 62



5.1.10	Anorganische Farbstoffe	62
5.1.11	PCB-haltige Abfälle	62
5.1.12	Feste Pyrolyseabfälle	63
5.1.13	Vorgemischte Abfälle	64
5.2	Rückstände aus der Verbrennung fossiler Energieträger	64
5.2.1	Rückstände aus der Steinkohlenverbrennung	65
5.2.2	Rückstände aus der Braunkohlenverbrennung	68
5.3	Rückstände aus dem produzierenden Gewerbe und Altlasten	69
5.3.1	Gießereialtsande	69
5.3.2	Asbest	70
5.3.3	Kontaminierter Bodenaushub und Bauschutt	72
6.	<b>Bestandsaufnahme: untertägliches Hohlräumpotential nutzbar für Entsorgungsaufgaben</b>	<b>73</b>
6.1	Salzbergwerke	74
6.1.1	Kalialzbergwerke	74
6.1.2	Steinsalzbergwerke	77
6.2	Kohlebergwerke	78
6.2.1	Steinkohlenbergwerke	78
6.2.2	Braunkohlenbergwerke	79
6.3	Erzbergwerke	81
6.3.1	Eisenerzbergwerke	81
6.3.2	NE-Erzbergwerke	82
6.4	Gipsbergwerke	84
6.5	Kalkbergwerke	86
6.6	Granitbergwerke	87
6.7	Bergwerke in sonstigen Formationen	87
6.8	Übersicht über die regionale Verteilung der untertägigen Hohlräume sowie über den Hohlraumzuwachs	88
7.	<b>Abschätzung: Zukünftige Entwicklung der untertägigen Entsorgung</b>	<b>92</b>
7.1	Untertägige Verwertung	93
7.2	Kapazitäten und Planungen für untertägige Verbringung	96
7.3	Bedarf an Untertagedeponien	98
8.	<b>Zukünftige Deponiestandorte</b>	<b>100</b>
9.	<b>Schlußfolgerungen und Handlungsbedarf</b>	<b>103</b>
10.	<b>Quellenverzeichnis</b>	<b>105</b>

## Anhang

- Anhang 1: Arten und Aufkommen von Abfällen, die nach der TA Abfall für die Ablagerung in Untertagedeponien vorgesehen sind (aus /1/)
- Anhang 2: Übersicht über die bisher in Bergwerke verbrachten Stoffmengen sowie ihre Zuordnung zu den festgestellten Grundtypen gem. Kap. 4
- Anhang 3: Besonders überwachungsbedürftige Abfälle zur Untertagedeponierung geordnet nach Mengenaufkommen 1987 /1/
- Anhang 4: Anfall von Rückständen bei Hausmüllverbrennungsanlagen
- Anhang 5: Übersicht über die deutschen Grubenstandorte mit untertäglichem Verbringungspotential
- Anhang 6: Deponierte Mengen in Heilbronn und Herfa-Neurode

## 0. Zusammenfassung

### \* Vorbemerkungen

Die Bundesrepublik Deutschland weist ein beträchtliches Potential an bergmännisch hergestellten unterirdischen Hohlräumen auf. Zunehmend sind Aktivitäten zu verzeichnen, diese Hohlräume für unterschiedlichste Entsorgungszwecke zu nutzen.

Ein wesentlicher Grund dafür liegt in der Verknappung übertägiger Entsorgungsmöglichkeiten für Abfälle. Zudem sieht die aktuelle deutsche Umweltgesetzgebung für über 60 Stoffe aus dem Katalog der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle eine Priorität der untertägigen Deponierung gegenüber der übertägigen Ablagerung vor.

Faktisch hat die Untertagedeponie (UTD) seit 1972 mit der Einrichtung der UTD Herfa-Neurode einen festen Platz in der deutschen Entsorgungsinfrastruktur. Für bestimmte Stoffarten ist sie z.Z. das unersetzbare Endglied ihrer Entsorgungskette.

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen hat 1990 ein Sondergutachten zur Abfallwirtschaft vorgelegt. Darin wird u.a. auf die zunehmende Bedeutung der untertägigen Deponierung hingewiesen und der Bedarf an zusätzlichen Untertagedeponien begründet.

Die vorliegende Studie hat das Ziel, den aktuellen Stand der untertägigen Entsorgung und ihre voraussichtliche Entwicklung genauer zu untersuchen.

Dabei gibt es im Untersuchungsansatz zwei wesentliche Unterschiede zu allen anderen vergleichbaren Arbeiten: Erstmals werden auch die neuen Bundesländer systematisch untersucht. Zudem wird in besonderer Weise berücksichtigt, daß - je nach zugrunde gelegter Rechtsnorm - in Deutschland ein Reihe von Stoffen sowohl als Reststoff verwertet als auch als Abfall entsorgt werden können (Dualismus Reststoff/Abfall). Die Auswirkungen dieser Dualität auf die aktuelle Situation der untertägigen Entsorgung sowie mögliche Konsequenzen für die zukünftige Entwicklung untertägiger Entsorgungsstrukturen ist ein zentrales Thema der Studie.

\* **Verbrachte Stoffarten und -mengen**

In Deutschland wurden bisher insgesamt rund 15 Mio t bergbaufremder Stoffe nach unter Tage verbracht. Den größten Anteil daran haben mit etwa 12 Mio t Rückstände aus der Braunkohlenverbrennung. Sie wurden praktisch ausschließlich in Uranerzbergwerken sowie im sogenannten Altbergbau der neuen Bundesländer als Füll- oder Versatzstoff eingebracht.

In den alten Bundesländern werden zunehmend Rückstände aus der Steinkohlenverbrennung für Füll- und Versatzzwecke genutzt - bisher über 1 Mio t an 16 Standorten. In letzter Zeit werden bevorzugt hydromechanische Einbringverfahren eingesetzt. Damit sind auch bereits verbrochene Hohlräume mit gutem Erfolg nachversetzbar. Allerdings steigen dabei auch die Anforderungen an das Versatzmaterial.

Früher bestanden die Mischungen überwiegend aus Rückständen aus der Kohlenverbrennung sowie aus Wasser und Zement. Heute werden zunehmend andere Stoffe wie z.B. Rückstände aus der Müllverbrennung beigemischt.

Sofern Bergwerke bergbaufremde Stoffe unmittelbar vom Erzeuger annehmen und die Versatzmischungen selbst herstellen, geschieht dies i.d.R. auf der Grundlage des deutschen Bergrechts. Dabei wird ein Verwertungscharakter unterstellt. Es handelt sich somit formal um eine Umsetzung des in der Umweltgesetzgebung verankerten Verwertungsgebotes.

Auf den Bergwerken der Ruhrkohle AG und der Wismut GmbH sind bisher auf dieser Grundlage rund 100.000 t Müllverbrennungsrückstände direkt nach unter Tage verbracht worden. Die Tendenz ist stark zunehmend.

Rückstände aus der Müllverbrennung werden auch bei der Herstellung von sogenanntem Bergbaumörtel eingesetzt. Dabei handelt es sich um Stoffmischungen, die wegen ihrer speziellen Baustoffeigenschaften nur ausschließlich unter Tage verarbeitet werden dürfen. Der Anteil an Müllverbrennungsrückständen kann dabei bis zu 30% betragen.

In Deutschland werden jährlich schätzungsweise 1 bis 2 Mio t dieser Spezialprodukte hergestellt. Hauptabnehmer dürften z.Z. die stillgelegten Uranerzbergwerke der Wismut GmbH sein.

Sandstrahlmittel, Gießereialtsande, aber auch kontaminierte Steinsalzlückstände werden als Versatzmaterial im Eisenerz- und Steinsalzbergbau untertägig verwertet. Die Verbringung von kontaminiertem Bodenaushub in ein Kalibergwerk wurde erprobt.

Auf der Grundlage des Abfallgesetzes wurden bisher insgesamt 1 bis 1,3 Mio t bergbau-fremder Stoffe untertägig deponiert. Dabei handelt es sich überwiegend um die dafür vorgesehenen Stoffe aus dem Katalog der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle.

Mit rund 1 Mio t hat die UTD Herfa-Neurode daran den größten Anteil. Sie wurde 1972 eingerichtet und ist die einzige Vielstoffdeponie dieser Art in Deutschland. Abgelagert werden überwiegend Abfälle aus dem Bundesgebiet, aber auch Problemstoffe aus dem europäischen Ausland. 1991 wurden insgesamt 148.000 t deponiert, rund 40.000 t davon stammten aus Hausmüllverbrennungsanlagen.

In der Bergwerksdeponie Heilbronn, einer untertägigen Monodeponie für Müllverbrennungsrückstände, wurden seit 1987 insgesamt rund 80.000 t Abfälle eingelagert.

#### \* **Zukünftiges Abfallaufkommen**

In der deutschen Abfallgesetzgebung ist die untertägige Deponierung für insgesamt 63 Stoffarten (TA-Abfall, Anhang C) vorgesehen. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen hat im Jahre 1990 für diese Stoffarten ein Mengenaufkommen von insgesamt 900.000 t/a ermittelt. Dabei wurden Daten aus dem Jahr 1987 zugrunde gelegt.

Auf 10 Stoffarten entfallen insgesamt über 90% des prognostizierten Mengenaufkommens. Diese sowie weitere als wichtig eingestufte Stoffarten wurden im Rahmen der Studie hinsichtlich ihres aktuellen und zukünftigen Aufkommens näher untersucht.

Bei den meisten Stoffarten ist bereits heute ein deutlich geringeres Mengenaufkommen als Folge verstärkter Anstrengungen zur Abfallvermeidung bzw. -verwertung festzustellen. Z.B. wurde die in der chemischen Industrie anfallende Menge an verunreinigten Gipsabfällen drastisch reduziert. 1987 fielen im Bundesgebiet noch rund 320.000 t an, zukünftig werden es nur 50.000 t/a sein.

Ähnliche Tendenzen sind bei anderen Abfallarten zu verzeichnen, z.B. bei Bariumsulfatschlamm und kontaminierten Steinsalzlückständen.

Signifikante Abfallmengenerhöhungen in vergleichbaren Größenordnungen sind nur bei Rückständen aus der Verbrennung von Haus- und Sondermüll zu erwarten. Bis zum Jahr 2000 dürften die in der TA-Abfall zur Untertagedeponierung aufgeführten Verbrennungsrückstände auf rund 400.000 t/a (Hausmüllverbrennung) und etwa 120.000 t/a (Sonderabfallverbrennung) anwachsen.

Im Saldo würde sich damit die Gesamtmenge an Abfällen mit Priorität für eine untertägige Deponierung von 900.000 t/a (1987) bis zum Ende des Jahrzehnts auf schätzungsweise 740.000 t/a reduzieren. Das aktuelle Aufkommen dürfte z.Z. rund 580.000 t/a betragen.

#### \* **Hohlraumpotentiale**

Im Rahmen der Studie wurden die vorhandenen, offenen Hohlraumvolumina aller deutschen Bergwerke in Salz-, Kohle-, Erz-, Gips-, Kalk- und Granitformationen untersucht. Dabei wurden erstmals auch die neuen Bundesländer berücksichtigt.

Insgesamt stehen rund 300 Mio m<sup>3</sup> Hohlräume offen. Deutliche Schwerpunkte liegen in Thüringen, Sachsen-Anhalt und Hessen.

Kurz- bis mittelfristig dürften davon etwa 140 Mio. m<sup>3</sup> für untertägige Verbringungs-zwecke nutzbar sein. Rund 75% stehen in Salzformationen, der Rest im Erz (15%) sowie

in Gips und Kalk (zusammen 10%) an. In Kohlen- und Granitformationen gibt es in Deutschland praktisch keine offenen Hohlräume in vergleichbaren Größenordnungen.

Durch bergbaulichen Gewinnungsbetrieb entstehen ständig neue Hohlräume. Der nutzbare Hohlraumzuwachs dürfte in Deutschland - konservativ geschätzt - bei etwa 25 Mio m<sup>3</sup>/a liegen. Rund 80% (20 Mio m<sup>3</sup>/a) davon entfallen auf Salzformationen, 4 Mio m<sup>3</sup> auf den Steinkohlenbergbau und knapp 1 Mio m<sup>3</sup>/a auf Kalk- und Gipsstein.

#### \* Verbringungskapazitäten

Z.Z. werden in Deutschland auf 16 Bergwerken bergbaufremde Stoffe nach unter Tage verbracht, entweder bereits im Regelbetrieb oder im Endstadium der Erprobungsphase. Technisch könnten auf diesen Bergwerken kurzfristig Verbringungskapazitäten von insgesamt 1,75 Mio t/a realisiert werden. Darauf bezogen beträgt die derzeitige durchschnittliche Auslastung nur 50%. Dies deutet auf einen aktuellen Mangel an geeigneten Stoffen hin.

Auch die UTD Herfa-Neurode sowie die Bergwerksdeponie Heilbronn sind nur teilausgelastet, obwohl das ermittelte Aufkommen der dort deponierbaren Abfallarten (rund 580.000 t/a) die verfügbaren Deponiekapazitäten von insgesamt 400.000 t/a deutlich übersteigt.

Der Hauptgrund dafür liegt in einer zunehmenden untertägigen Verwertung von Stoffen mit ausgeprägtem dualen Charakter wie z.B. den Rückständen aus der Müllverbrennung. Hinsichtlich dieser speziellen Stoffarten besteht aus Sicht eines Betreibers einer UTD eine Konkurrenz der untertägigen Verwertung. Unmittelbare Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit des Deponiebetriebes sind zu erkennen.

In Herfa-Neurode wird für das laufende Jahr 1992 mit einem vollständigen Wegfall der bisher deponierten Mengen an Müllverbrennungsrückständen (40.000 t/a) gerechnet. Heilbronn versucht zunehmend Müllverbrennungsrückstände aus dem europäischen Ausland zu akquirieren.

### \* UTD-Bedarf

Der zunehmende Trend zur untertägigen Verwertung insbesondere von Rückständen aus der Müllverbrennung hat unmittelbare Auswirkungen auf die Entwicklung untertägiger Entsorgungsstrukturen.

Für das Jahr 2000 wird ein Aufkommen von 740.000 t/a an besonders überwachungsbedürftigen Abfällen mit Priorität zur Untertage-Deponierung prognostiziert. Darin sind rund 400.000 t/a Hausmüllverbrennungsrückstände enthalten. Sie könnten nach den z.Z. praktizierten Rechtsauslegungen grundsätzlich als Reststoff untertägig verwertet werden.

Es verblieben dann nur noch etwa 340.000 t/a, die untertägig zu deponieren wären. Rein rechnerisch würde sich daraus kein zusätzlicher Bedarf an neuen Untertage-Deponien ergeben.

Auf dem Entsorgungssektor entstünde damit eine zunehmende Abhängigkeit der deutschen Industrie- und Konsumgesellschaft von der UTD Herfa-Neurode. Aus Gründen der nationalen Entsorgungssicherheit muß daher die Einrichtung einer weiteren Untertage-Deponie (UTD Typ 1) empfohlen werden.

### \* Standortvorauswahl

Für die Einrichtung einer UTD eignen sich nur wenige der untersuchten Grubenstandorte.

Trockene, standfeste und in vergleichsweise großer Teufe liegende Hohlräume gibt es in Deutschland praktisch nur im Salzgestein. Die Eignung eines Standortes muß in einem aufwendigen Genehmigungsverfahren nach Abfallrecht eingehend geprüft werden.

Nach der Wiedervereinigung waren entsprechende Aktivitäten auf nahezu allen Salzbergwerken der ehemaligen DDR zu verzeichnen. Mittlerweile macht sich eine weitgehende Ernüchterung breit. Genehmigungsverfahren werden ausgesetzt, Anträge zurückgezogen.



Von den verbliebenen Standorten scheint das Kalisalzbergwerk Zielitz in Sachsen-Anhalt das höchste Deponiepotential aufzuweisen. Ob dort eine leistungsfähige Untertage-Deponie zur Stützung der nationalen Entsorgungssicherheit tatsächlich eingerichtet werden kann, bleibt abzuwarten.

#### \* **Schlußfolgerungen**

In Deutschland werden zunehmend Stoffe auf der Grundlage des Bergrechts unter Tage verbracht, die dem Katalog der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle mit Priorität zur Untertage-Deponierung angehören.

Besonders trifft dies auf die Rückstände aus der Hausmüllverbrennung zu, für die am Entsorgungsmarkt vergleichsweise hohe Preise gezahlt werden.

Die Genehmigungsverfahren nach Bergrecht und Abfallrecht unterscheiden sich in wesentlichen Punkten, z.B. in der Öffentlichkeitsbeteiligung. Einer Maßnahme der untertägigen Verwertung nach Bergrecht kann dennoch nicht a priori die Umweltverträglichkeit abgesprochen werden.

Allerdings scheint es wegen der sich deutlich abzeichnenden Entwicklung dringend geboten, zukünftig stärker das tatsächliche Gefahrenpotential der nach unter Tage verbrachten Stoffe zu berücksichtigen. Die Einschätzung des Gefährdungspotentials von Stoffarten mit ausgeprägtem Dualismus wie z.B. Rückständen aus der Müllverbrennung darf nicht von den jeweils angewandten Rechtsnormen abhängen.

Der bereits im Abfallgesetz enthaltene objektive Abfallbegriff sollte zumindestens für den Katalog der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle konkretisiert werden.

Darüberhinaus stellt sich die grundsätzliche Frage, ob mit der derzeitigen Länderzuständigkeit und einem über das gesamte Bundesgebiet ungleich verteilten Deponiepotential die aus nationaler Sicht erforderliche untertägige Entsorgungsstruktur aufgebaut werden kann.

Dieser Problemkreis sollte näher untersucht werden. Dabei müßte auch geprüft werden, ob die Länder ihre Zuständigkeit für die untertägige Deponierung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle ganz oder teilweise an den Bund abtreten sollten.

## **1. Vorbemerkungen, Aufgabenstellung und Vorgehensweise**

### **1.1 Vorbemerkungen**

In Deutschland wird der untertägigen Entsorgung von Abfällen in Fachkreisen allgemein eine zunehmende Bedeutung zugesprochen.

Diese Einschätzung basiert einerseits auf der Erwartung eines steigenden Aufkommens an besonders überwachungsbedürftigen Abfällen. Abgelagert werden können sie grundsätzlich nur in speziellen oberirdischen (SAD) oder untertägigen Deponien (UTD).

Andererseits ist für die Zukunft eine deutliche Verknappung des oberirdischen Deponievolumens abzusehen. Dem steht in den alten und insbesondere auch in den neuen Bundesländern ein vielfältiges Angebot an untertägigen Hohlräumen gegenüber.

Damit besteht grundsätzlich die Möglichkeit, bestimmte Stoffe nach unter Tage zu verbringen und dort auf Dauer abzulagern. Die allgemein erwartete Verschärfung der Entsorgungssituation für einige Problemstoffe könnte dadurch abgeschwächt werden.

Untertägige Hohlräume können auch durch Versatz- oder Verfüllung mit bergbaufremden Stoffen genutzt werden. Entsprechende Aktivitäten von Bergbauunternehmen bzw. Hohlraumbesitzern werden auch zunehmend bekannt.

Auswirkungen dieser Konkurrenzsituation auf die zukünftige Entwicklung untertägiger Entsorgungsstrukturen sind zu erwarten. Außerdem stellen sich grundsätzliche Fragen zur Umweltverträglichkeit der unterschiedlichen Verbringungsmöglichkeiten.

Vor diesem Hintergrund erscheint es dringend erforderlich, am Wohl der Allgemeinheit ausgerichtete Leitlinien und Kriterien für die untertägige Entsorgung und Verwertung zu entwickeln.

Eine wichtige Voraussetzung dazu ist die genaue Kenntnis der aktuellen Situation sowie der gegenwärtig absehbaren Entwicklungstendenzen hinsichtlich der untertägigen Entsorgung und Verwertung im wiedervereinigten Deutschland.

## 1.2 Aufgabenstellung und Vorgehensweise

Das Ziel der Studie besteht darin, die aktuelle Situation hinsichtlich der untertägigen Entsorgung und Verwertung bergbaufremder Stoffe in Deutschland möglichst vollständig zu erfassen und darzustellen sowie Entwicklungstrends und -möglichkeiten aufzuzeigen. Dazu sind die z.Z. untertägig verbrachten Stoffe sowie die dafür genutzten untertägigen Hohlräume zu untersuchen.

Die Studie soll auch auf Bereiche hinweisen, die einer weitergehenden Klärung bedürfen.

Im Gegensatz zu anderen Untersuchungen, wie z.B. der des Rates von Sachverständigen für Umweltfragen /1/, berücksichtigt die vorliegende Studie in besonderer Weise den Dualismus von Reststoff und Abfall.

Die möglichen Auswirkungen dieser Doppelnatur auf die untertägige Entsorgungslandschaft wird zunächst anhand der rechtlich zulässigen Gestaltungsspielräume der beteiligten Kreise dargestellt und diskutiert.

Danach wird der Frage nachgegangen, inwieweit diese potentiellen Spielräume von Stoffherzeugern, Bergwerksunternehmen und Zulassungsbehörden in der Praxis konkret ausgeschöpft werden. Unter diesem Blickwinkel werden praktisch alle wichtigen Grubenstandorte, an denen Reststoffe oder Abfälle nach unter Tage verbracht werden, untersucht und dargestellt.

Die dazu erforderlichen Informationen wurden zunächst bei den zuständigen Behörden der jeweiligen Bundesländer recherchiert. Anschließend wurden weitere Informationen bei den wichtigsten Bergwerksunternehmen eingeholt. Neben Informationen über Stoff-

arten, Genehmigungssituation, etc. standen dabei die jeweils eingesetzte Verbringungs-technik sowie die standortspezifischen Gegebenheiten im Vordergrund der Recherchen.

Sowohl die Behörden als auch die Betreiber bzw. Entsorger zeigten sich überwiegend auskunftsbereit. Die verfügbaren Informationen wurden bei Bedarf gezielt durch Literaturrecherchen ergänzt.

Als Ergebnis dieser umfangreichen Erhebungsarbeiten ergibt sich u.a. ein differenziertes Bild über die bisher unter Tage verbrachte Stoffarten sowie die zur Ablagerung genutzten untertägigen Hohlräume. Auf dieser Informationsbasis wird dann die Umweltverträglichkeit der bisherigen Verbringungsmaßnahmen diskutiert.

Zur Abschätzung der zukünftigen Entwicklung der untertägigen Entsorgungslandschaft war es u.a. notwendig, die Entwicklung des Mengenaufkommens der wichtigsten Abfälle hinreichend genau abzuschätzen. Im Rahmen der Studie werden dazu rund 30 verschiedene Stoffarten im Detail untersucht.

Parallel dazu wird das für Entsorgungszwecke nutzbare Hohlraumpotential ermittelt. Dazu wurden bei Behörden und Bergwerksunternehmen Angaben zur vorhandenen Hohlraumsituation erhoben und auf bergwirtschaftliche Rahmendaten zur Abschätzung des voraussichtlichen Hohlraumzuwachses zurückgegriffen. Auftragsgemäß werden die Formationen Salz, Kohle, Erz, Gips, Kalk und Granit untersucht.

Auf der Grundlage dieser Ergebnisse wird dann der zukünftige Bedarf an untertägigen Entsorgungseinrichtungen abgeschätzt und ein Szenario zur Bedarfsdeckung skizziert. Standorte, die sich dazu aufgrund ihres spezifischen Deponiepotentials besonders anbieten, werden benannt.

Abschließend werden Hemmnisse aufgeführt, die einer Realisierung entgegenstehen könnten und daraus entsprechender Handlungsbedarf abgeleitet.

## 2. Definitionen und Auslegungsspielräume

### 2.1 Definitionen

Zentrales Thema der Studie ist die Verbringung von Abfall- und Reststoffen in Bergwerke unter Tage.

In diesem Zusammenhang umfaßt der gewählte Begriff Verbringung sowohl die Entsorgung (Deponierung) als auch die Verwertung. Gemäß der deutschen Umweltgesetzgebung werden im folgenden verbrachte Stoffe im Verwertungsfall als Reststoffe und im Falle der Deponierung als Abfälle bezeichnet.

Verbringbare Stoffe im Sinne der Studie sind feste Stoffe, die den Geltungsbereichen des Bundes-Immissionsschutzgesetzes (BImSchG) und des Abfallgesetzes (AbfG) unterliegen. Flüssige und radioaktiv belastete Stoffe werden nicht untersucht.

Bergwerke unter Tage im Sinne der Studie sind Tiefbaubetriebe oder unterirdische Hohlräume, die durch bergmännische Gewinnung von mineralischen Rohstoffen hergestellt worden sind bzw. werden. Nicht untersucht werden Tagebaue und Bohrlochbergbau.

Bergwerke, die als Endlager für radioaktiv belastete Stoffe in Erkundung oder Betrieb stehen, sind ebenfalls von der Untersuchung ausgenommen.

### 2.2 Dualismus Reststoff/Abfall

In der deutschen Umweltgesetzgebung gibt es den Dualismus von **Reststoff** und **Abfall**.

**Reststoffe** sind entweder Rückstände aus Anlagen, die nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) betrieben werden, oder Stoffe, die aus dem Regelungsbereich des Abfallgesetzes (AbfG) ganz oder teilweise entlassen sind /2, 3/. Dies ist regelmäßig der Fall, wenn sie erneut verwendet oder verwertet werden können.

Eine Besonderheit stellt dabei die untertägige Verwertung in Bergwerken dar. Dort können Reststoffe z.B. als Versatz- und Füllmaterial verwendet werden.

Für **Abfälle** gilt ausschließlich das AbfG und damit die Verpflichtung zur vorrangigen Verwertung. Dabei kann dann ein Stoff seine Abfalleigenschaft verlieren und zum Reststoff werden.

Andernfalls stellt das AbfG an die Entsorgung und insbesondere an die Deponierung besondere Anforderungen. Innerhalb der verschiedenen Deponiearten, die in der aktuellen Abfallgesetzgebung vorgesehen sind, hat die Untertagedeponie eine besondere Stellung.

Als Hochsicherheitsdeponie dient sie der Ablagerung bestimmter Abfälle, die auf Dauer dem Biozyklus des Menschen entzogen werden sollen. Diese Abfälle sind deshalb von einer oberirdischen Ablagerung ausgeschlossen.

Die Dualität Reststoff/Abfall führt dazu, daß ein und derselbe Stoff sowohl als Reststoff als auch als Abfall nach unter Tage verbracht werden kann. Die beteiligten Kreise, d.h. Stofferzeuger, Bergwerksunternehmen und Zulassungsbehörden, haben dabei Auslegungsspielräume.

### **2.3 Auslegungsspielräume**

Im folgenden werden diese Auslegungsspielräume jeweils aus Sicht der Beteiligten aufgezeigt und erläutert.

#### **2.3.1 Stofferzeuger**

Stofferzeuger im Sinne der Studie sind Betreiber von BImSchG-Anlagen sowie Stoffbesitzer mit Entledigungswillen.

Nach BImSchG genehmigungspflichtige Anlagen sollen möglichst immissionsneutral betrieben werden. Per Legaldefinition fallen dabei grundsätzlich nur Reststoffe an. Sie sind zu vermeiden oder ordnungsgemäß und schadlos zu verwerten /3/.

Demnach ist der Anlagenbetreiber per Gesetz verpflichtet, bestehende Verwertungsmöglichkeiten zu nutzen oder - falls zumutbar - zu schaffen.

Ein Verwertungspfad ist grundsätzlich nutzbar, wenn der Verwertungscharakter von den zuständigen Behörden anerkannt wird. Für einen Stoffherzeuger ist bei mehreren möglichen Verwertungspfaden der am interessantesten, der zu einer möglichst geringen Kostenbelastung des Betriebes führt.

Gemäß BImSchG wird ein Reststoff nur dann Abfall im Sinne des AbfG, wenn es für ihn kein technisch und wirtschaftlich zumutbares Verwertungsverfahren gibt.

Das AbfG verpflichtet den Stoffherzeuger ebenfalls zu Vermeidungs- und Verwertungsmaßnahmen mit oder ohne Behandlung der Stoffe bzw. zur stofflichen oder energetischen Teilnutzung /2/. Damit verliert dann der Stoff als Ganzes oder Teile von ihm bzw. deren Energieinhalt die Abfalleigenschaft und wird zum Reststoff (Wirtschaftsgut).

Der Betreiber einer Hausmüllverbrennungsanlage ist z.B. deshalb gehalten, die bei der Reinigung der Rauchgase anfallenden Rückstände einer weiteren Verwertung zuzuführen.

Nur wenn es keine zumutbare Verwertungsmöglichkeit gibt, schreibt das AbfG eine geordnete Entsorgung vor. Dabei werden insbesondere an die Deponierung besondere Anforderungen gestellt. In der Regel liegt es nicht im Ermessen des Erzeugers (Abfallbesitzers), welche Deponieart für die Entsorgung seiner Abfälle geeignet ist. Dies gilt vor allem für die besonders überwachungsbedürftigen Stoffe, die früher als Sonderabfall bezeichnet wurden.

Zusammenfassend ist also festzustellen, daß Abfall- bzw. Reststoffherzeuger faktisch einen nur geringen Auslegungsspielraum haben.



Sofern die Entstehung dieser Stoffe nicht vermieden werden kann, sind diese vorrangig einer Verwertung zuzuführen. Nur im Ausnahmefall, d.h., wenn eine Verwertung nicht möglich oder nicht zumutbar ist, darf deponiert werden. Dabei liegt es praktisch nicht im Ermessen des Stofferzeugers, über den tatsächlichen Verwertungscharakter einer am Markt angebotenen Verwertungsmöglichkeit zu entscheiden.

### 2.3.2 Bergwerksunternehmen

Bergwerksunternehmen gewinnen Bodenschätze i.a. auf der Grundlage des Bundesberggesetzes (BBergG) /4/. Es verpflichtet sie zum sparsamen und schonendem Umgang mit Grund und Boden sowie zum Schutz der Lagerstätte selbst. Darüberhinaus ist die innere Sicherheit des Bergbaubetriebes zu gewährleisten und u.a. Vorsorge gegen Gefahren für Leben, Gesundheit und Sachgüter Dritter zu treffen.

Der bergmännische Abbau von Lagerstätten ist ein massiver Eingriff in die Natur, der untertage Hohlräume entstehen läßt. Diese Hohlräume sind je nach Lagerstätte, Nebengesteinsschichten, Teufe und Abbauverfahren von unterschiedlicher Lebensdauer.

Generell kann von dem Bestreben der Natur ausgegangen werden, den ursprünglichen Gleichgewichtszustand wieder herzustellen, d.h. die Hohlräume wieder zu schließen. Im Einzelfall kann dies allerdings mehrere hundert oder tausend Jahre dauern. Häufig gibt es Gründe, die hergestellten Hohlräume möglichst schnell wieder zu verfüllen. Diese Verfüllung wird als bergmännischer Versatz bezeichnet. Die häufigsten Versatzgründe sind möglichst vollständige Ausbeutung des Lagerstätteninhaltes sowie die Verhütung von Bergschäden.

Als Versatzmaterialien bieten sich in der Regel die Rückstände aus der Aufbereitung des jeweiligen Bodenschatzes an. Diese Rückstände fallen explizit nicht in den Geltungsbereich des AbfG.

Für Versatzmaßnahmen sieht das BBergG mindestens die Betriebsplanpflicht vor, d.h., eine entsprechende Anzeige seitens des Bergwerksunternehmens sowie die Zulassung der zuständigen Bergbehörde.

In der Regel eignen sich die bergbaueigenen Aufbereitungsrückstände nicht in idealer Weise für Versatzzwecke. Meistens müssen sie durch weiteres Aufbereiten an die jeweilige Verbringungsstechnik angepaßt und mit Bindemitteln und anderen Zuschlagstoffen vermischt werden.

Bergwerke, die nicht über geeignete, bergbaueigene Rückstände verfügen, sind auf die Hereinnahme ausschließlich bergbaufremder Stoffe angewiesen. Dazu besonders geeignet sind Stoffe, die in großen Mengen, feinkörnig und in relativ gleichbleibender Qualität angeboten werden. Idealerweise weisen sie zusätzlich Baustoffeigenschaften auf.

Für Stoffe, die im Bergwerksbetrieb für Versatzmaßnahmen geeignet sind, wird i.a. der Verwertungscharakter der untertägigen Verbringungsmaßnahmen anerkannt. Ein Bergwerksunternehmen muß dann lediglich eine Genehmigung im Rahmen des Betriebsplanverfahrens betreiben. Dieses Genehmigungsverfahren kann mit der zuständigen Bergbehörde ohne Beteiligung der Öffentlichkeit abgewickelt werden.

Bergbaufremde Stoffe können vom Bergwerksunternehmen auch auf der Grundlage des AbfG nach untertage verbracht werden. Die abzulagernden Stoffe sind dann eindeutig Abfälle. Der Entledigungswille steht im Vordergrund. Ein Bergwerk wird dadurch ganz oder in Teilen zur untertägigen Entsorgungsanlage und muß den Anforderungen des Abfallgesetzes für Deponien genügen.

Grundsätzlich kann auf diese Weise jeder bergbaufremde Stoff untertage entsorgt werden, sofern er nicht selbstentzündlich, brennbar oder explosibel ist, penetrant riecht und toxische oder explosive Gas-Luftgemische bildet.

Der Bergwerksbetreiber muß die geplante Einrichtung einer untertägigen Abfallentsorgungsanlage im Planfeststellungsverfahren nach AbfG der zuständigen Behörde anzeigen.

Einrichtung und Betrieb kann dann nur auf der Grundlage eines Planfeststellungsbeschlusses erfolgen.

Darüber hinaus ist für ein derartiges Vorhaben in der Regel ein Raumordnungsverfahren unerlässlich. Beide Verfahren beinhalten die Beteiligung der Öffentlichkeit und die Prüfung der Umweltverträglichkeit.

Die TA-Abfall als technische Verwaltungsvorschrift zum AbfG ordnet aus dem Katalog der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle über 60 Abfallarten mit erster oder zweiter Priorität den Untertagedeponien (UTD) zu /5/. Eine derartige Vielstoffdeponie wurde bisher nur als Hochsicherheitsdeponie in Salzgestein realisiert.

Sollte sich ein Bergwerksunternehmen für die Einrichtung einer Hochsicherheitsdeponie entscheiden, sind zwangsweise alle diesbezüglichen Anforderungen der TA-Abfall zu erfüllen.

Zusammengefaßt hat ein Bergwerksunternehmen einen vergleichsweise großen Gestaltungsspielraum, bergbaufremde Stoffe untertägig zu verbringen. Auf der Grundlage des BBergG lassen sich Stoffe untertägig verwerten. Nach AbfG kann eine untertägige Entsorgungsanlage eingerichtet werden. Grundsätzlich kann darin jeder Stoff deponiert werden, sofern er die im AbfG aufgeführten Minimalforderungen erfüllt.

Stark eingeschränkt ist der Gestaltungsspielraum des Bergwerksunternehmens bei der Einrichtung einer Hochsicherheitsdeponie in Salzgestein, da die TA-Abfall hierfür umfangreiche Regelungen vorschreibt.

### 2.3.3 Zulassungsbehörden

Die Umsetzung des AbfG und des BBergG fallen in die Zuständigkeit der Länder. Zuständig für die Verbringung bergbaufremder Stoffe in untertägige Hohlräume ist i.a. die Bergbehörde. Betriebsplanverfahren müssen durch das für das Bergwerk jeweils zuständige Bergamt, im Einzelfall auch durch das Oberbergamt, genehmigt werden.

Zuständig für Planfeststellungsverfahren sind grundsätzlich die Oberbergämter.

Beantragt ein Bergwerksunternehmen die Hereinnahme von bergbaufremden Stoffen z.B. als Versatzmaterial, hat die Bergbehörde zu prüfen, ob der Verwertungscharakter oder der Entledigungswille im Vordergrund steht. Im letzten Fall darf der Betriebsplan nicht zugelassen werden.

Der Betriebsplan ist zuzulassen, sofern die erforderlichen Vorsorgemaßnahmen getroffen und die geltenden Vorschriften sowie die sonstigen Arbeitsschutzvorschriften eingehalten werden.

Wenn die im Betriebsplan vorgesehenen Maßnahmen die Zuständigkeitsbereiche anderer Behörden oder der Gemeinden als Planungsträger berühren, ist die Bergbehörde zur Beteiligung dieser Behörden verpflichtet.

Unter bestimmten Voraussetzungen kann ein zugelassener Betriebsplan auch nachträglich geändert oder durch Auflagen ergänzt werden. Bergwerksunternehmen können zum Einreichen von Sonderbetriebsplänen aufgefordert werden.

Planfeststellungsverfahren und Umweltverträglichkeitsprüfungen kann die Bergbehörde nur unter ganz bestimmten Voraussetzungen verlangen /4, 6, 7/. Versatzmaßnahmen allein erfüllen i.a. diese Voraussetzungen nicht, auch wenn ausschließlich bergbaufremde Stoffe verbracht werden sollen. Insofern hat die Bergbehörde hier praktisch keinen Ermessensspielraum.

Zur Gefahrenabwehr oder zum Schutz der Erdoberfläche kann die Bergbehörde ihrerseits tätig werden und eine Versatzpflicht aussprechen. Dabei können auch bergbaufremde Stoffe als Versatzmaterial vorgeschrieben werden. Theoretisch könnte sich hieraus bei der Beurteilung der Umweltverträglichkeit ein Zielkonflikt ergeben, der notfalls nur unter Beteiligung anderer Stellen auf Landesebene gelöst werden kann.

Ergeht ein Antrag auf Einrichtung einer untertägigen Entsorgungsanlage nach AbfG, ist das Planfeststellungsverfahren gemäß AbfG zu eröffnen. Sofern eine Hochsicherheits-

deponie eingerichtet werden soll, sind für die Bergbehörde die Vorschriften der TA-Abfall bindend. Kernstücke hierbei sind der geotechnische Sicherheitsnachweis, der Sicherheitsnachweis für die Betriebsphase sowie der Langzeitsicherheitsnachweis /5/.

Für andere untertägige Entsorgungsanlagen, die nicht Hochsicherheitsdeponie im o.a. Sinn sind, gibt es bislang keine verbindlichen, gesetzlichen Regelungen. In der Praxis legen die Bergbehörden jedoch die hohen Anforderungen für die Hochsicherheitsdeponie zugrunde.

Theoretisch könnte die Behörde ein Bergwerksunternehmen verpflichten, in seinem Grubengebäude die Abfallentsorgung zu dulden und ggf. dafür notwendige Maßnahmen durchzuführen /2/. Von dieser Möglichkeit wurde bisher noch kein Gebrauch gemacht. Denkbar wäre eine solche politische Maßnahme dann, wenn die Wahrung des Wohls der Allgemeinheit dazu zwingen und andere Deponiemöglichkeiten nicht zur Verfügung stehen würden. Dazu müßte zunächst ein interministerieller Konsenz auf Landesebene herbeigeführt werden.

Zusammenfassend ist festzustellen, daß der Ermessensspielraum der Bergbehörden besonders groß ist, da sie sowohl Ordnungs- als auch Fachbehörden sind.

Im Genehmigungsverfahren haben sie u.a. über den Verwertungscharakter der beantragten Verbringungsmaßnahmen zu urteilen. Andererseits können sie Bergwerksunternehmen zur Hereinnahme von bergbaufremden Stoffen sowohl als Reststoff, aber auch als Abfall verpflichten.

**3. Bestandsaufnahme: bisher unter Tage verbrachte Stoffarten und ihre Verbringungsstandorte**

In Deutschland wurde bisher insgesamt eine Stoffmenge von schätzungsweise 15 Mio t zu Entsorgungs- oder Verwertungszwecken nach unter Tage verbracht. Im wesentlichen handelte es sich dabei um

- \* **besonders überwachungsbedürftige Abfälle**  
gemäß TA-Abfall (Anhang C)
- \* **Rückstände aus der Verbrennung von**
  - o Steinkohle
  - o Braunkohle und
  - o Hausmüll
- \* **Sonstige Produktionsrückstände und Stoffmischungen**

Ganz überwiegend wurden diese Stoffe in Hohlräume verbracht, die durch die Gewinnung von

- |                    |                |
|--------------------|----------------|
| * <b>Kohle</b>     | * <b>Kalk</b>  |
| o Steinkohle       | * <b>Gips</b>  |
| o Braunkohle       |                |
| * <b>Salz</b>      | * <b>Spate</b> |
| o Steinsalz        | o Schwerspat   |
| o Kalisalz         | o Flußspat     |
| * <b>Erze</b>      |                |
| o Eisenerz         |                |
| o Uranerz          |                |
| o sonstige NE-Erze |                |

hergestellt worden sind.

Tab. 1 gibt einen Überblick über die Mengen der bisher in die einzelnen Formationen verbrachten Stoffmengen. Es handelt sich dabei sowohl um Entsorgungs- als auch um Verwertungsmaßnahmen.

Von den o.a. Stoffarten wurden etwa 12 bis 12,5 Mio t in Formationen der aufgeführten Wertminerale verbracht. Der Rest (rund 2,5 bis 3 Mio t) wurde als Bergbaumörtel untertage verbaut oder in Hohlräumen des Altbergbaus verwertet.

Stoffart	Stoffmenge in 1.000 t					
	Kohle	Salz	Erze	Evaporite	Spate	Summe
Abfälle gemäß TA-Abfall (Anhang C) *		840				840
Verbrennungsrückstände						
* Steinkohle	380		540	130	30	1.080
* Braunkohle	10		10.000			10.010
* Hausmüll	50	200	40			290
Sonstiges	10	60	20			90
Summe	450	1.100	10.600	130	30	12.310
* ohne Rückstände aus der Verbrennung von Hausmüll						
<b>Tab. 1: Überblick über die in der Vergangenheit untertägig abgelagerten Stoffmengen, differenziert nach den wichtigsten Stoffarten und Wertmineralformationen</b>						

Eine detaillierte Bestandsaufnahme sowohl der verbrachten Stoffarten als auch ihrer jeweiligen Verbringungsorte ergibt das im folgenden ausführlich dargestellte Bild.

### 3.1 Abfallarten gemäß TA-Abfall (Anhang C)

In Deutschland gibt es nur eine zugelassene **untertägige Hochsicherheitsdeponie**, in der das gesamte Spektrum der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle (TA-Abfall, Anhang C) abgelagert werden kann. Es handelt sich dabei um die Untertagedeponie (UTD) Herfa-Neurode (Hessen). Sie wird von der Kali und Salz AG seit 1972 auf der Grundlage des damals geltenden Abfallrechtes betrieben. Damit ist sie die älteste untertägige Abfallentsorgungsanlage in Deutschland.

Die Deponie wurde in einem stillliegenden Teil des Grubengebäudes des Kalisalzbergwerkes Wintershall eingerichtet. Betrieben wird sie im Verbund mit dem weiterhin bestehenden Gewinnungsbergwerk, in dem Zechsteinsalze in einer Teufe von rd. 700 m abgebaut werden.

Das Deponiefeld besteht aus sich kreuzenden Strecken des Pfeilerörterbaus bzw. aus Kammern des ehemaligen Kammerfestenbaus. Die offenen Hohlräume haben eine durchschnittliche Breite von etwa 15 m und eine lagerstättenbedingte Höhe von 2,5-3 m.

Abb. 1 zeigt die Stratigraphie der Werra-Lagerstätte.

Die Deponieräume befinden sich innerhalb einer rd. 300 m mächtigen Salzformation des Zechstein. Diese Formation besteht im Werragebiet aus Steinsalz, in das in der Mitte und im unteren Drittel zwei Kaliflöze eingebettet sind. Die Ablagerungsräume sind damit in jeder Richtung von Salz mit einer Mächtigkeit von mindestens 100 m umgeben.

Die Salzsichten in Herfa-Neurode gelten als flüssigkeits- und gasdicht /8/. Das Salzlager wird von Ton und Dolomit im Wechsel überdeckt. Vier Tonschichten in einer Mächtigkeit von insgesamt rund 100 m sorgen für die Abdichtung gegenüber dem wasserführenden Buntsandstein.



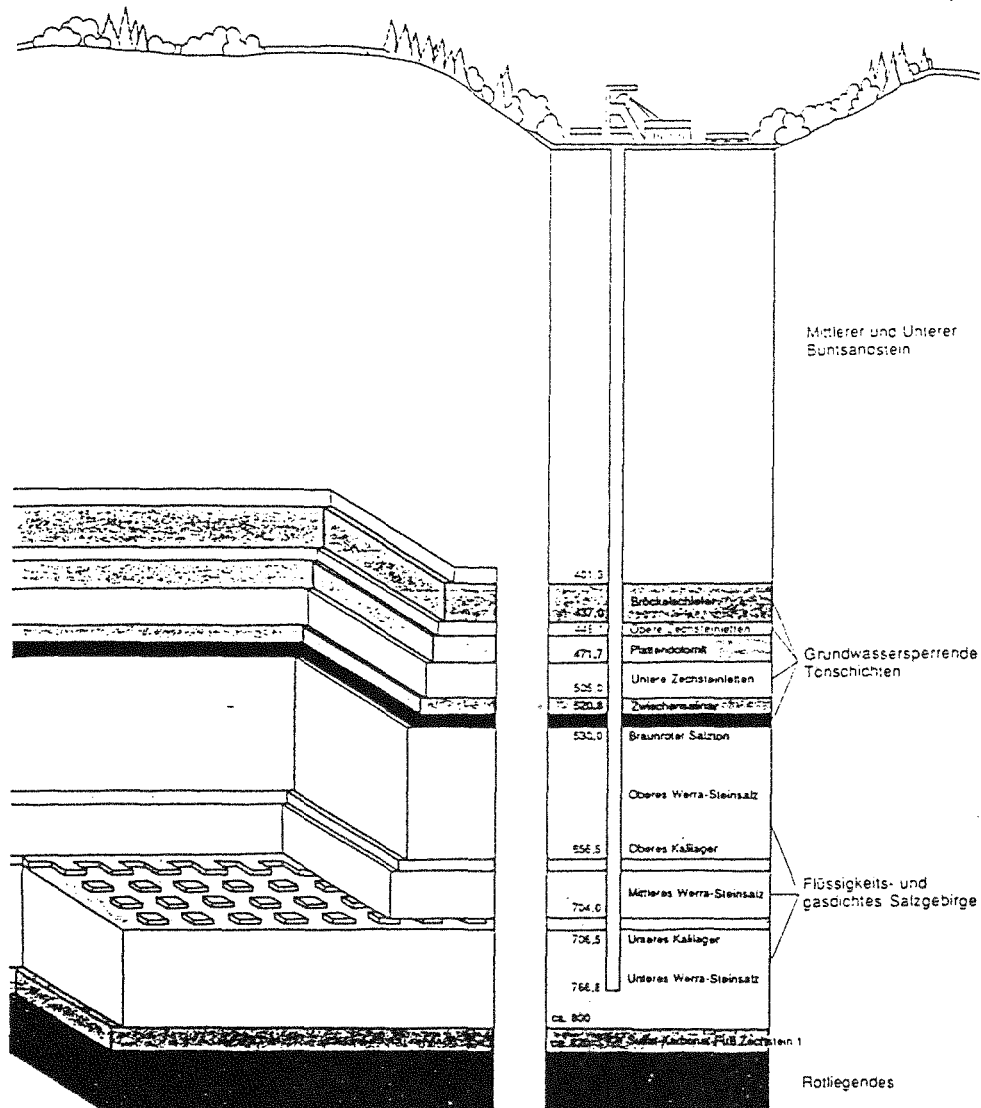


Abb. 1: Stratigraphie der Werra-Lagerstätte /8/

Aus gebirgsmechanischer Sicht sind die Ablagerungsräume in Herfa-Neurode als weitgehend standfest zu bezeichnen. Dazu tragen neben dem Schichtenaufbau die relativ geringen Abbauhöhen, die ausreichende Bemessung der Salzfesten (Abbauverlust rd. 50%) sowie der übliche Ankerabau bei. Langfristig ist allerdings mit einem allmählichen Einschluß der Abfälle durch das Salz zu rechnen.

Die Untertagedeponie ist über den Schacht Herfa zugänglich. Durch ihn erfolgt der Abfalltransport, die Personenbeförderung sowie die Bewetterung.

In der UTD Herfa-Neurode werden ausschließlich verpackte Abfälle auf Holzpaletten abgelagert. Als Standardverpackung sind 200 l Stahlblechfässer mit Polyethyleninnensack vorgeschrieben. Rauchgasreinigungsrückstände aus der Müllverbrennung können in Stahlblechbehältnissen von 1m<sup>3</sup> Volumen (ebenfalls auf Holzpaletten) abgelagert werden.

Die Fässer werden üblicherweise in Gebinden mit LKW oder mit Bundesbahnwaggons angeliefert. Umschlag und Transport erfolgt mit Gabelstaplern. Von jeder Lieferung wird mindestens eine Rückstellprobe gezogen.

Der Transport nach unter Tage erfolgt mit zweitrümmiger Gestellförderung. Jedes Gestell hat vier Etagen.

Unter Tage wird mit Gabelstaplern auf spezielle Transportfahrzeuge umgeschlagen, die dann bis zum Ablagerungsort fahren. In begrenztem Umfang kann im Füllortbereich zwischengelagert werden.

In den Ablagerungsräumen können die Gebinde mit Holzpaletten höchstens dreifach übereinander gestellt werden. Grundsätzlich könnten die Abfälle auch wieder ausgelagert werden, sofern die Räumlichkeiten zugänglich und die Verpackungen intakt sind.

Die in Herfa-Neurode deponierten Abfallarten waren ursprünglich 16 Stoffgruppen zugeordnet. Heutzutage wird eine Unterteilung in Anlehnung an die TA-Abfall, Anhang C (siehe Anhang 1) vorgenommen. Demnach sind insgesamt über 60 Abfallarten in 17 Untergruppen dem UTD-Typ Herfa-Neurode zuzuordnen.

Die Art der Verpackung der Abfälle wird im Rahmen einer Einzelfallprüfung durch die zuständige Bergbehörde - ggfs. in Abstimmung mit anderen Stellen - festgelegt. Dabei sind Toxizität, pH-Wert, Restfeuchte sowie der Feinstaubanteil die wesentlichen Einflußgrößen.

Im Zeitraum von 1972 bis Ende 1991 wurden in Herfa-Neurode insgesamt rund 1.000.000 t Abfälle abgelagert. Etwa 148.000 t davon fielen 1991 an (Anhang 6). Darunter waren rund 40.000 t Rauchgasreinigungsrückstände aus Müllverbrennungsanlagen.

Die UTD Herfa-Neurode ist mit natürlichen und künstlichen Barrieren zum nachhaltigen Einschluß der eingelagerten Abfälle ausgestattet. Betreiberseitig werden diese Schutzmaßnahmen als Mehrbarrieresystem bezeichnet.

Die Stahlblechfässer bzw. Stahlblechcontainer (vorgeschriebene Verpackungsart) sind die erste Barriere. Es handelt sich dabei in erster Linie um einen Transportschutz.

Die zweite Barriere sind Ziegelsteinmauern, die einzelne Stoffgruppen voneinander trennen. Die Mauerdicke beträgt 24 cm. Sie dienen i.w. dem Brandschutz und bieten Vorteile bei der Wetterführung.

Als dritte Barriere fungieren in Herfa-Neurode Anhydritdämme, die sich jeweils zwischen zwei Teilfeldern befinden. Sie sollen gas- bzw. wetterdicht und gegen Explosionsdruck ausgelegt sein.

Bisher wurden in Herfa-Neurode 4 Teilfelder gefüllt und auf diese Weise abgeworfen. Es gibt Überlegungen, in Zukunft auf die Bildung von Teilfeldern zu verzichten und ein Deponiefeld durchgängig mit Abfällen zu beaufschlagen.

Die vierte Barriere bilden Betondammbauwerke zur Abschottung des Deponiefeldes gegenüber dem noch in Betrieb befindlichen Kalisalzbergwerk Wintershall. Auf der Hauptfördersohle existieren drei Verbindungsstrecken mit jeweils 40 bis 50 m<sup>2</sup> Querschnitt. Zwei davon sind bereits geschlossen.

Die Dämme sind konisch und in Dreikammerbauweise ausgelegt. An der Trennfläche zum Salzgestein enden Verpressrohre. Bei Bedarf können niederviskose Kunststoffe als Dichtmaterial in die Trennfuge eingebracht werden.

Die noch offene Verbindungsstrecke ist für den schnellen Aufbau des Dammes vorbereitet. Nach Angaben des Deponiebetreibers läßt sich damit der Betondamm in knapp zwei Wochen errichten.

Die fünfte Barriere ist der Schachtverschluß nach Einstellung des Deponiebetriebes. Dafür gibt es z.Z. noch keine endgültige Auslegungsvariante.

### **3.2           Verbrennungsrückstände**

Im folgenden werden Rückstände aus der Verbrennung von Steinkohle, Braunkohle und Hausmüll detailliert betrachtet.

#### **3.2.1         Steinkohle**

Für Rückstände aus der Steinkohlenverbrennung gibt es in Deutschland eine Vielzahl von untertägigen Verbringungsstandorten. Sie sind im folgenden beschrieben.

##### **\*             Steinkohlenbergwerk Haus Aden**

Auf dem Steinkohlenbergwerk Haus Aden (Ruhrkohle AG) werden zur Streckensaumhinterfüllung im Flöz Sonnenschein hauptsächlich Wirbelschichtaschen und Elektrofilterstäube aus der Steinkohlenverbrennung verwandt.

Die Stoffe behalten dabei ihre staubförmige Konsistenz. Sie werden von der Abbau-  
strecke aus durch Aufgaberohre des Streckenbegleitdammes pneumatisch hinter diesem  
eingebracht (Abb. 2).

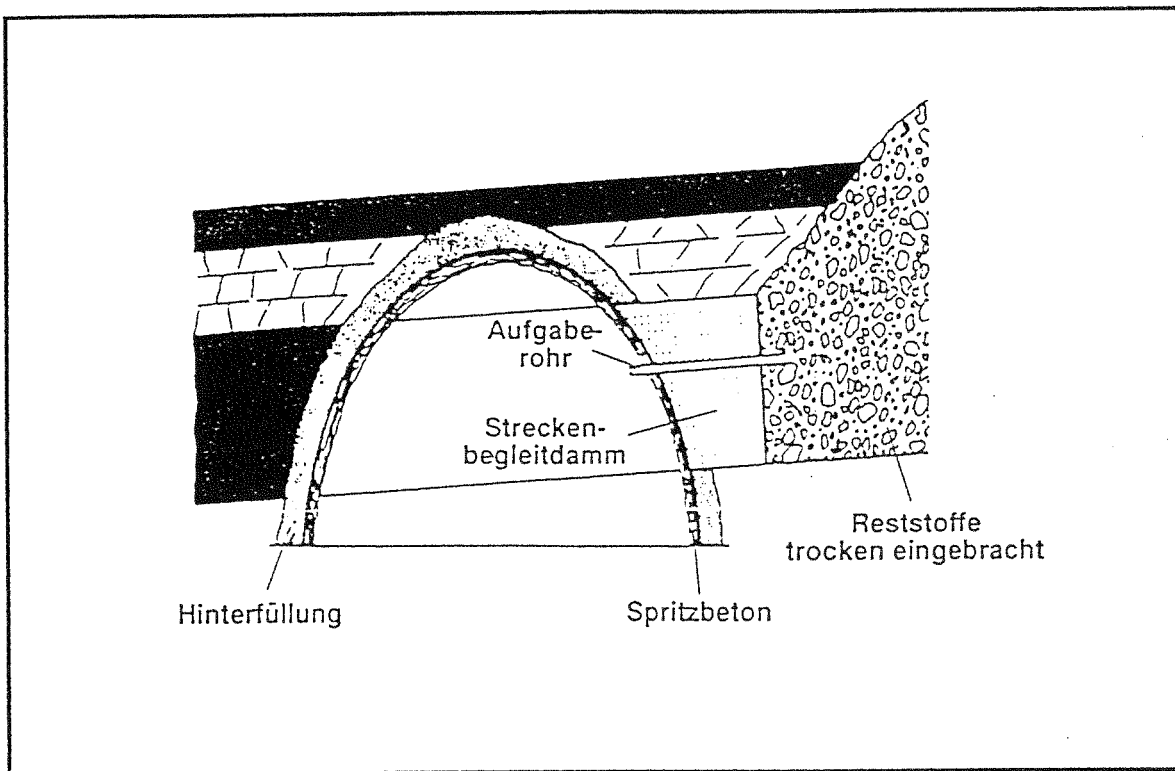


Abb. 2: Trockenhinterfüllung im Streckensaumbereich /9/

Durch diese Maßnahme soll hauptsächlich das Freiwerden von Kohlenmonoxyd im Flöz Sonnenschein verhindert werden.

Bis Ende 1991 sind rund 100.000 t bergbaufremder Stoffe auf diese Weise verbracht worden. Der Abbau in diesem Flözhorizont wird voraussichtlich Ende 1993 eingestellt. Danach soll die pneumatische Verbringung bergbaufremder Stoffe nicht mehr angewandt werden.

#### \* Steinkohlenbergwerk Consolidation

Auf dem Steinkohlenbergwerk Consolidation (Ruhrkohle AG) wird seit 1989 das hydraulische Nachversatzverfahren im Großversuch betrieben /10/.

Es handelt sich dabei um ein hydraulisches Feinförderverfahren, mit dem feinkörnige Stoffe über vergleichsweise große Entfernungen gefördert werden können. Schematisch ist das Verfahren im Abb. 3 dargestellt.

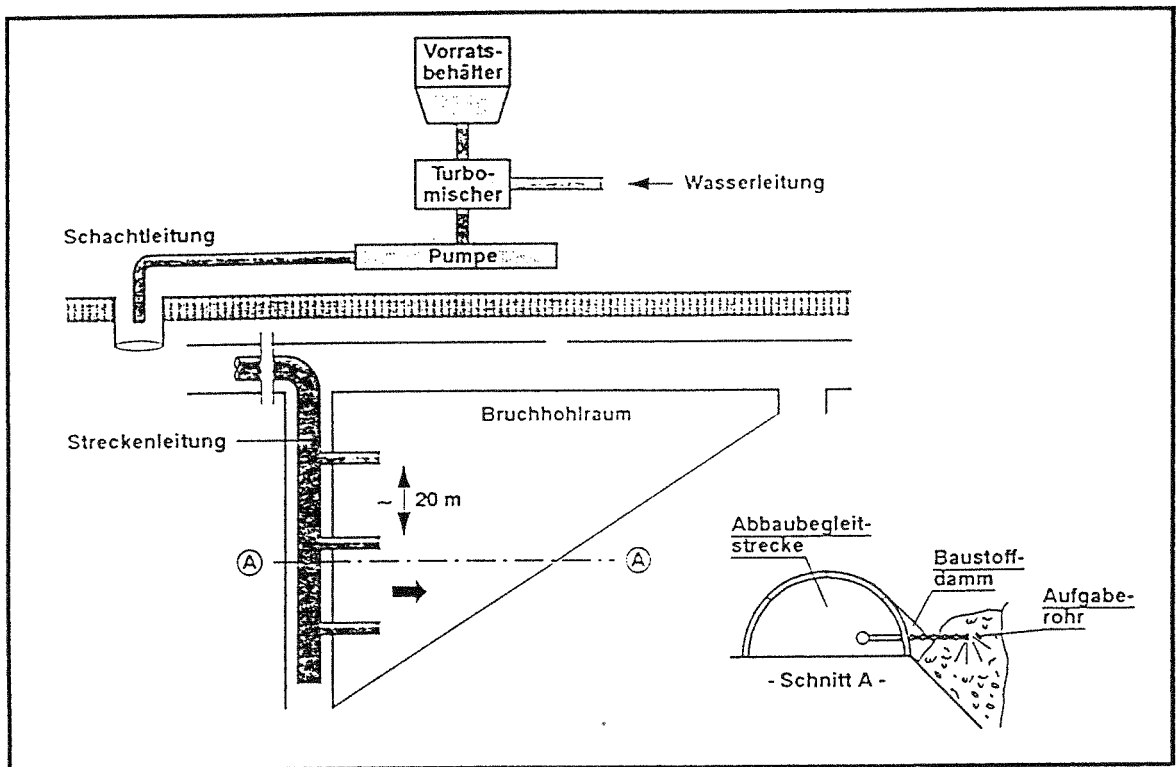


Abb. 3:       Hydraulisches Nachversatzverfahren (Aufgaberohre) /9/

Über Tage wird aus Feststoff und Wasser (Mischungsverhältnis etwa 1:1) eine Suspension hergestellt und zum Schacht gepumpt. Als Antriebskraft dient der hydrostatische Druck (Teufenunterschied von rund 1.000 m).

Unter Tage wird die Rohrleitung bis zur Abbaustrecke geführt. Von dort gehen dann Aufgaberohre direkt in den Bruchhohlraum des Strebs. Damit läßt sich der Bruchhohlraum entkoppelt vom Strebbetrieb nachträglich verfüllen.

Als Füllstoffe werden überwiegend Reststoffe aus der Steinkohlenverbrennung, aber auch Rückstände aus der Hausmüllverbrennung eingesetzt. Bis zum Ende 1991 sind nach Angaben des Betreibers rund 300.000 t bergbaufremder Stoffe untertägig verbraucht worden.

Zur Zeit läuft die Erprobung auf der Grundlage eines zeitlich befristeten Betriebsplanes bzw. Sonderbetriebsplanes. Ab 1993 rechnet der Betreiber mit einer unbefristeten Genehmigung.

\* Steinkohlenbergwerke Walsum und Monopol

Anfang der achtziger Jahre wurde das Verfahren zur Bruchhohlraumverfüllung von der heutigen Deutschen Montantechnologie (DMT) entwickelt /11/.

Das Verfahren hat zum Ziel, den beim Strebbruchbau entstehenden Hohlraum unmittelbar hinter dem Streb mit Aufbereitungsrückständen und Reststoffen aus der Steinkohlenverbrennung zu verfüllen. Damit sollen übertägige Aufhaltungs- und Verkippungsmaßnahmen reduziert und Bergschäden verringert werden.

Im Gegensatz zum hydraulischen Nachversatzverfahren wird der Bruchhohlraum dabei vom Streb aus über sogenannte Schlepprohre mit den Füllstoffen beaufschlagt (Abb. 4). Es sollen auch größere Körnungen verpumpt und der Bruchraum bis zur Höhe der zwei- und dreifachen Flözmächtigkeit verfüllt werden können.

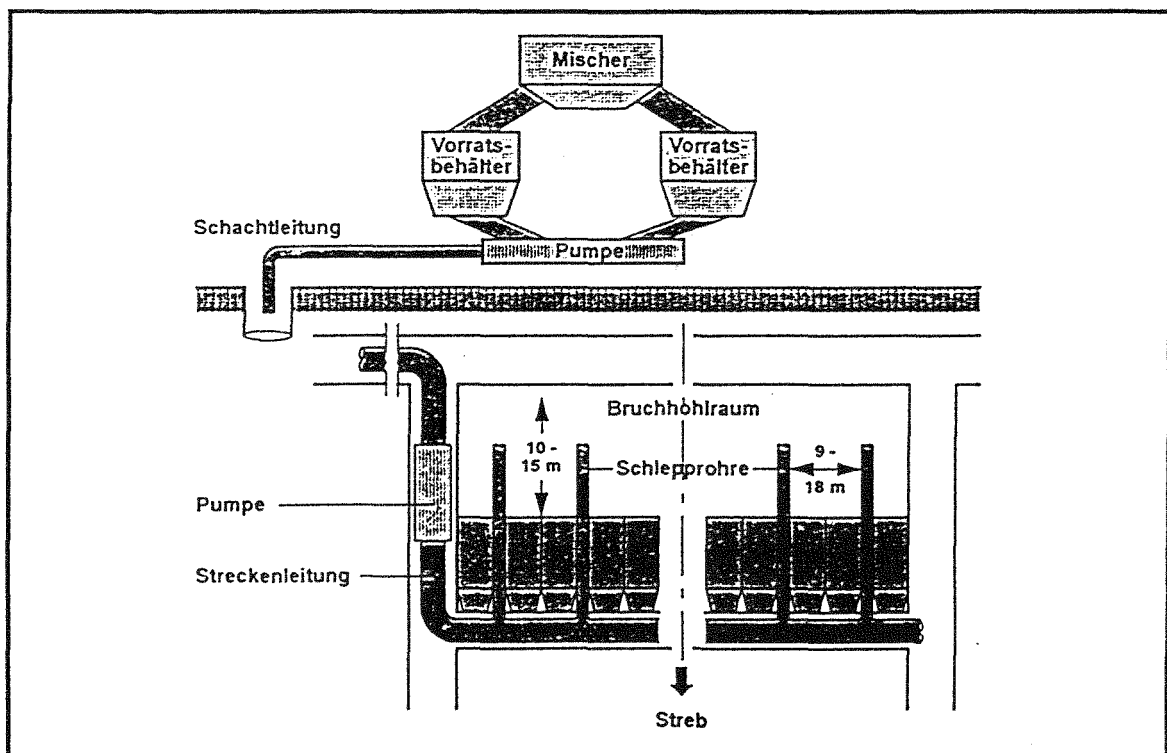


Abb. 4: Hydraulisches Nachversatzverfahren (Schlepprohre) /9/

Seit einigen Jahren werden mit öffentlichen Mitteln geförderte Entwicklungsarbeiten auf den Steinkohlenbergwerken Walsum und Monopol der Ruhrkohle AG durchgeführt. Dabei liegt der Schwerpunkt der Arbeiten auf Walsum auf der Verfüllung von Bruchhöhlräumen unter Tage. Auf Monopol steht die übertägige Verfahrenstechnik sowie der hydraulische Rohrleitungstransport im Vordergrund.

Die Versuche wurden auf der Grundlage von Sonderbetriebsplänen durchgeführt. Erste Ergebnisse lassen das hydraulische Dickstromverfahren geeignet erscheinen, Flotationsberge, Feinberge und Elektrofilterasche bis zu einer Korngröße von 5 mm hydraulisch in den Bruchhohlraum zu verpressen /12/.

Bisher wurden auf dem Bergwerk Walsum rund 30.000 m<sup>3</sup> Suspension verpumpt. Der Anteil der Feststoffe aus der Steinkohlenverbrennung war dabei mit insgesamt 500 t sehr gering. Nach Angaben des Betreibers kann der Feststoffanteil jedoch bis zu 50% betragen.

Auf dem Bergwerk Monopol sind die fördertechnischen Versuche bisher ausschließlich mit Flotationsbergen durchgeführt worden. Bergbaufremde Stoffe wurden noch nicht verbracht /13/.

#### \* **Steinkohlenbergwerk Zollverein**

Das Steinkohlenbergwerk Zollverein (Ruhrkohle AG) war der erste Versuch in den alten Bundesländern, in einem stillgelegten Steinkohlenbergwerk eine untertägige Deponie auf der Grundlage des AbfG einzurichten /14/ .

Das Bergwerk wurde Ende 1986 stillgelegt und bis zur Erteilung der Plangenehmigung ein Jahr lang offen gehalten.

Ein Bergwerk ohne Abbaubetrieb weist in der Regel nur in den Grubenbauen der Aus- und Vorrichtung nutzbare Hohlräume auf. Auf Zollverein betrug das insgesamt nutzbare Deponievolumen rund 150.000 m<sup>3</sup> in Teufen zwischen 400 und 1.000 m.



Insgesamt wurden aber nur rund 25.000 t Kraftwerksreststoffe (Sprühabsorptionsrückstände und Elektrofilterstäube) hydromechanisch verbracht. Ende 1989 wurde der Deponiebetrieb wegen mangelnder Wirtschaftlichkeit eingestellt.

\* **Steinkohlenbergwerk Minister Stein**

Als zweite untertägige Abfallentsorgungsanlage im Steinkohlenbergbau war das 1987 stillgelegte Bergwerk Minister Stein (Ruhrkohle AG) vorgesehen /14/.

Nach den Erfahrungen aus dem Deponiebetrieb auf Zollverein erschien das Vorhaben der Ruhrkohle AG wirtschaftlich nicht tragfähig und wurde deshalb eingestellt. Die Einlagerung bergbaufremder Stoffe wurde gar nicht aufgenommen.

\* **Steinkohlenaltbergbau**

In Deutschland gibt es an verschiedenen Stellen stillgelegte Steinkohlenbergwerke mit einer Vielzahl alter Schächte.

Im Rahmen der Verwahrungsmaßnahmen sind u.a. die Schächte zu verfüllen. Neben speziellen Baustoffen werden als Verfüllmaterialien z.T. auch aufgehaldete Berge sowie Filteraschen aus Steinkohlekraftwerken und Kokereien verwendet.

\* **Kalkbergwerk Gersheim**

Seit rund 100 Jahren wird in Gersheim Kalk und Dolomit abgebaut. Die 6 bis 7 m mächtige, flözartig ausgebildete Lagerstätte liegt über dem Grundwasserhorizont und wird im Kammerfesten- bzw. Pfeilerörterbau hereingewonnen.

Das Grubengebäude ist mit nur 30 bis 40 m Hangendschichten überdeckt und vom Tage durch einen Stollen zu erreichen.

Im Liegenden des Muschelkalks, der bis zur Tagesoberfläche ansteht, befindet sich eine 2 bis 3 cm mächtige Letteschicht. Sie war bis vor wenigen Jahren unbekannt. Durch den Abbau von Dolomit im Liegenden wurde den Festen unbeabsichtigt der seitliche Halt genommen. Sie begannen auf der Letteschicht aufzuschwimmen. Aus diesem Grund werden die Hohlräume heute versetzt.

Als Versatzmaterial werden Wirbelschichtaschen, REA-Gipse und Filterstäube aus der Steinkohlenverbrennung eingesetzt. Das Material wird durch den Stollen mit LKW zum Versatzort transportiert, dort mit Schiebekästen abgeladen und durch Planiergeräte verdichtet.

Die Versatzwirkung ergibt sich i.w. aus der seitlichen Abstützung der Festen, die dadurch ihre Tragfähigkeit behalten sollen.

Seit 1988 sind auf diese Weise rund 120.000 t Steinkohlenverbrennungsrückstände in Gersheim verbracht worden, davon allein 1991 knapp 68.000 t.

#### \* **Gipsbergwerk Obrigheim**

Die Heidelberger Zement AG betreibt in Baden-Württemberg das Bergwerk Obrigheim. Im Pfeilerörter- bzw. Kammerfestenbau wird Gips gewonnen. Die Pfeiler messen 10 m x 15 m und sind je nach Lagerstättenmächtigkeit 5 - 10 m hoch.

Im Hangenden stehen 3 bis 4 m Gips, im Liegenden der sog. Grenzdolomit an. Das Grubengebäude befindet sich oberhalb des Grundwasserhorizontes und ist durch einen Schrägstollen erschlossen. Das Bergwerk gilt als nicht wasserfrei. Die Überdeckung am Hang beträgt maximal 170 m.

Die Heidelberger Zement AG entsorgt Filterstäube der Steinkohlenkraftwerke in Baden-Württemberg. Etwa 90% der anfallenden Filterstäube werden in den Zementwerken zu Zementprodukten verarbeitet. Die restlichen 10% sind dazu ungeeignet.

Zur Erfüllung der Entsorgungsverträge hat das Unternehmen im Gipsbergwerk Obrigheim eine untertägige Entsorgungsanlage auf der Grundlage des AbfG zur Deponierung der nicht verwertbaren Filterstäube eingerichtet.

Die Stäube werden am Grubenstandort mit Wasser gemischt und im erdfeuchten Zustand in die untertägigen Kammern mit Radladern eingebracht. Mit der Zeit härtet das Material aus und kann dadurch auch gewisse Stützwirkungen übernehmen. Da jedoch die Entledigungsabsicht vor dem Verwertungsgedanken dominiert, mußte eine Genehmigung nach dem AbfG erfolgen.

Insgesamt sollen auf diese Weise bisher einige zehntausend Tonnen Rückstände aus der Steinkohlenverbrennung unter Tage verbracht worden sein.

Außerdem werden REA-Gipse aus der Steinkohlenverbrennung zwischengelagert. Diese Gipse fallen in der Kraftwerkswirtschaft antizyklisch zum Verbrauch in der Bauindustrie an. Nach Bedarf werden diese Gipse wieder ausgelagert und einer übertägigen Verwertung zugeführt.

#### \* **Uranerzbergwerke der Wismut GmbH**

In den Uranerzbergwerken der Wismut GmbH (Thüringen) werden auch Filterstäube aus der Steinkohlenverbrennung als Versatzmaterial hydromechanisch nach unter Tage verbracht. Der Anteil gegenüber anderen Versatzstoffen z.B. aus der Braunkohlenverbrennung ist allerdings gering.

Die Versatzaktivitäten der Wismut GmbH werden ausführlich in Kapitel 3.2.2 (Verbrennungsrückstände/Braunkohle) dargestellt.

\* **Eisenerzbergwerk Wohlverwahrt-Nammen**

In der Grube Wohlverwahrt-Nammen der Barbara Rohstoffbetriebe GmbH wird seit über einhundert Jahren Eisenerz und Kalkstein abgebaut /15/.

Der Tiefbau ist aus dem ursprünglichen Tagebau entstanden und über einen Schrägstollen zugänglich. Das Grubengebäude liegt über dem Grundwasserhorizont. Es wird durch Tonschichten im Hangenden und Liegenden geschützt. Von einigen kluftgebundenen Wasserzuflüssen abgesehen soll die Grube trockenliegen.

Die 3 bis 25 m mächtige, flözartige Lagerstätte wird im sogenannten Kammerfestenbau gewonnen. Dabei entstehen Abbaukammern mit bis zu 200 m Länge, 9 m Breite und 22 m Höhe.

Früher wurde Pfeilerörterbau mit einem verhältnismäßig geringem Stützflächenanteil von nur 13% betrieben. Nach heutigen gebirgsmechanischen Erkenntnissen sollten die Stützflächenanteile jedoch etwa drei- bis vierfach höher liegen. Deshalb werden die alten Abbauhohlräume seit 1987 versetzt.

In Wohlverwahrt-Nammen gibt es keine bergbaueigenen Verfüllmaterialien. Deshalb ist man auf die Hereinnahme von Fremdstoffen angewiesen.

Bisher wurden knapp 400.000 t bergbaufremde Stoffe nach unter Tage verbracht. Den Hauptanteil bilden Gipse (210.000 t) und Flugstäube aus der Steinkohlenverbrennung (140.000 t).

Die Stoffe werden trocken, teilweise auch feucht angeliefert. Über Tage wird unter Zugabe von Wasser und hydraulischen Bindemitteln eine Versatzmischung hergestellt. Das erdfeuchte Gemisch wird mit Schwerlastkraftwagen durch den Schrägstollen zum Versatzort gefahren, dort abgekippt und mit Planiergeräten bis unter die Kammerfirste geschoben. Die Kammern können so fast vollständig gefüllt werden.

Die Versatzwirkung besteht u.a. darin, daß das Versatzgut mit der Zeit aushärtet und Abschaltungen der verhältnismäßig schlanken Pfeiler verhindert.

\* **Metall- und Schwefelkiesbergwerk Meggen**

Auf dem Bergwerk Meggen werden u.a. Wirbelschichtaschen und Flugstäube aus der Steinkohlenverbrennung als Versatz eingebracht. Das Bergwerk wird von der Sachtleben Bergbau GmbH betrieben.

Die Sulfidierzlagerstätte ist gangartig ausgebildet. Sie erstreckt sich über rund 3,5 km stark gestört in einem Teufenbereich von +300 m bis -400 m. Die Lagerstätte ist durch mehrere Sohlen und Teilsohlen erschlossen. Der Abbau erfolgt - abhängig von der jeweiligen lokalen Lagerstättensituation - entweder versatzlos oder mit Teil- bzw. mit Vollversatz /14/.

Versetzt wird eine Mischung von feinkörnigen Rückständen aus der Erzaufbereitung (<50 mm) und einem Bindemittel (rund 80% Zement, 20% Wirbelschichtaschen).

Die Einbringung des Versatzmaterials erfolgt im sog. Schleuderversatz. Dabei werden Aufbereitungsabgänge über offene Fördersysteme zum Versatzbetrieb geführt und dort mit Wasser berieselt. Das Bindemittel wird separat pneumatisch zugeführt. Die Grobberge, an denen das angemachte Bindemittel haftet, werden mit speziellen Fahrzeugen zum Versatzort transportiert. Dort wird das Versatzmaterial durch ein schnell umlaufendes Gummigurtband bis zu 14 m weit und 8 m hoch in den Versatzraum geschleudert.

Nach diesem Verfahren wurden bisher insgesamt rund 50.000 t Versatzmaterial nach unter Tage verbracht.

Neuerdings werden Reststoffe aus der Steinkohlenverbrennung auch direkt von über Tage als Spül- oder Pumpversatz nach unter Tage gebracht.

\* **Schwefelkiesbergwerk Elbingerode**

Für Teile des stillgelegten Bergwerks Elbingerode der Harzbergbau GmbH hat die Bergbehörde eine Versatzpflicht angeordnet.

Z.Z. werden im Probebetrieb Reststoffe aus der Steinkohlenverbrennung im Pump- und Spülversatz unter Tage eingebracht.

\* **Schwer- und Flußspatgrube Wolfach**

In Wolfach baut die Sachtleben Bergbau GmbH ein Gangvorkommen von Schwer- und Flußspaten im Teilsohlenweitungsbau mit Versatz ab. Die Teufe liegt im Bereich von 30 bis 200 m bei Überdeckungen bis zu 400 m.

Jährlich werden rund 160.000 t gefördert. Dadurch entstehen Hohlraumvolumina von 70 bis 80.000 m<sup>3</sup>, die mit Bergen aus Nebengesteinsauffahrungen verfüllt werden. Die Berge werden im Schüttnbetrieb mit Radladern eingebracht.

Die Versatzwirkung wird durch Zugabe von Bindemitteln erhöht. In der Vergangenheit wurde dazu hauptsächlich Zement verwendet. Z.Z. werden versuchsweise Filterstäube aus der Steinkohlenverbrennung als Zementersatz eingesetzt.

Der Bedarf an Bindemitteln liegt unter 10.000 t/a. Die versetzte Menge an bergbau-fremden Stoffen ist deshalb auf wenige tausend Tonnen im Jahr begrenzt.

\* **Schwerspatgrube Dreislar**

Die Schwerspatgrube Dreislar der Sachtleben Bergbau GmbH baut auf einer stark einfallenden Lagerstätte im Teilsohlenpfeilerbau. Zur Verringerung der Abbauverluste wird seit rund 15 Jahren ein Vollversatz mit Beton betrieben.

Analog zur Verbringungstechnik in Meggen und Wolfach werden i.w. Wirbelsschichtaschen und Filterstäube aus der Steinkohlenverbrennung als Bindemittlersatz unter Tage verbracht.

Durch die geringe Betriebsgröße ist die Hereinnahme von bergbaufremden Stoffen auch in Dreislar auf wenige tausend Tonnen jährlich begrenzt.

\* **Flußspatgrube Käfersteige**

Die Flußspatgrube Käfersteige der Fluß- und Schwerspatwerke Pforzheim GmbH baut auf einer Ganglagerstätte im mittleren Buntsandstein, der eine starke Klüftigkeit mit entsprechenden Wasserzuflüssen aufweist.

Der heutige Tiefbau ist aus einem früheren Tagebau entstanden. Bei einer Teufe von bis zu 300 m werden i.w. zwei Spatlinsen auf mehreren Sohlen im Firstenstoßbau mit Bergeversatz hereingewonnen.

Aus altem Abbau gibt es trotz damaliger Versatzmaßnahmen noch Resthohlräume. Durch ihre Oberflächennähe können sie zu großflächigen Senkungen und zu vereinzelt Tagesbrüchen führen. Seitens der Bergbaubehörde wurde für diese Bereiche Versatzpflicht angeordnet.

Als Versatzmaterial sind betriebsplanmäßig u.a. Flugaschen aus der Schmelzkammerverbrennung von Steinkohle (Kraftwerk Karlsruhe) zugelassen. Die Einbringtechnik ist mit dem hydraulischen Verfahren der Ruhrkohle AG vergleichbar. Es wird allerdings zusätzlich Zement als Bindemittel zugemischt.

Die zweite Spatlinse steht seit 1983 in Verhieb. Sie wird von unten nach oben im sog. Teilsohlenpfeilerbau hereingewonnen. Die dabei entstehenden Hohlräume sollen ebenfalls mit einem Gemisch aus Bergematerial und Reststoffen aus der Steinkohlenverbrennung versetzt werden.

Bisher wurden in der Grube Käfersteige nur wenige tausend Tonnen Kraftwerksreststoffe aus Karlsruhe untertägig verbracht.

### **3.2.2 Braunkohle**

Die bei der Verbrennung von Braunkohle anfallenden Reststoffe werden überwiegend in ausgekohlten Tagebauen deponiert. An einigen Standorten werden die Rückstände auch nach unter Tage verbracht.

#### **\* Braunkohlenbergwerk Hirschberg**

Der letzte in Betrieb befindliche Braunkohlentiefbau in der Bundesrepublik ist die Zeche Hirschberg der Hirschberg GmbH. In einer Teufe bis 150 m wird die Braunkohle im Bruchbau hereingewonnen.

Hauptabnehmer der rund 200.000 t/a Braunkohle sind Privatkunden. Die meisten haben das Bergbauunternehmen zur Zurücknahme der Verbrennungsrückstände verpflichtet.

Der größte Teil der Rückstände wird im ehemaligen Tagebau abgelagert. Nur eine verhältnismäßig kleine Menge wird untertägig zum Fahrbahnbau oder als Versatz eingebracht.

#### **\* Braunkohlenaltbergbau**

Insbesondere in den neuen Bundesländern gab es vor 1945 in den bekannten Braunkohlenrevieren eine Vielzahl von Braunkohlentiefbaubetrieben. Dieser Braunkohlentiefbau wurde i.a. in einer geringen Teufenlage (zwischen 20 und 80 m) betrieben und lag ausschließlich im Grundwasserhorizont.



Im Rahmen von Verwahrungsmaßnahmen werden offene Grubenräume und Schächte auch heute noch mit Reststoffen aus der Braunkohlenverbrennung verfüllt. Die Rückstände werden entweder als Suspension über Bohrlöcher oder in Mischung mit Sand und Kies in untertägige Strecken und in die Schächte verbracht.

Die Tagebaue in der ehemaligen DDR wurden durch Feld- und Randentwässerungsstrecken trockengelegt. Dazu wurden damals mehrere hundert Kilometer untertägiger Strecken angelegt. Teilweise stehen sie auch heute noch offen. Zur Gefahrenabwehr werden diese unter Aufsicht der Bergbehörde bei Bedarf mit Suspensionen aus Braunkohlenfilteraschen und Wasser beaufschlagt.

Mehrere hunderttausend Tonnen Braunkohlenfilteraschen und Stäube werden auf diese Weise insbesondere in den Ländern Brandenburg, Sachsen und Sachsen-Anhalt jährlich unter Tage verbracht.

**\* Uranerzbergwerke Schmierchau/Paitzdorf, Drosen/Beerwalde**

Die frühere deutsch-sowjetische Aktiengesellschaft (SDAG) Wismut hat in Thüringen und Sachsen mehrere Uranerzbergwerke betrieben. In Thüringen wurde Uranerz seit 1966 im Teilsohlenbau mit selbsthärtendem Versatz von oben nach unten hereingewonnen. In der Anfangszeit wurde als Versatzmaterial Beton verwendet. Mit der Zeit wurde dann der Zement- und Sandanteil sukzessive durch Braunkohlenfilterasche ersetzt. Nach Angaben des Betreibers wurden dadurch jährlich rund 2.000.000 t Braunkohlenfilteraschen nach unter Tage verbracht.

Mittlerweile wurden die Uranerzbergwerke in bundesdeutsches Eigentum überführt und stillgelegt. In Teufen zwischen 360 m und 800 m stehen noch Strecken auf einer Länge von 600 bis 1.000 km offen.

Sowohl aus gebirgsmechanischen als auch hydrologischen Gründen soll dieses weitläufige Hohlraumsystem nachträglich verfüllt werden. Als Versatzmaterial sollen hauptsächlich Rückstände aus der Braunkohlenverbrennung verwertet werden. Sie werden in Silo-

waggons trocken angeliefert und u.a. mit Spezielsanden und Wasser gemischt. Unter Ausnutzung des hydrostatischen Druckes wird die Suspension über verrohrte Bohrlöcher in die untertägigen Hohlräume verbracht. Die jährlichen Förderleistungen dürften dabei in der Größenordnung von mehreren hunderttausend Tonnen liegen.

Neben Rückständen aus der Braunkohlenverbrennung werden auch Reststoffe aus der Steinkohlenverbrennung, aus der Müllverbrennung und andere Stoffmischungen auf den Versatzbergwerken der Wismut GmbH angenommen (siehe dazu auch Kap. 3.4).

### **3.2.3 Hausmüll**

Rückstände aus der Müllverbrennung wurden bisher auf fünf Bergwerken untertägig verbracht.

#### **\* Kalisalzbergwerk Herfa-Neurode**

In der UTD Herfa-Neurode wurden bisher rund 140.000 t Rauchgasreinigungsrückstände aus der Hausmüllverbrennung abgelagert. Die Rückstände werden grundsätzlich trocken in geschlossenen Stahlblechbehältnissen von 1 m<sup>3</sup> Inhalt auf Holzpaletten angeliefert (vgl. auch Kap. 3.1).

#### **\* Steinsalzbergwerk Heilbronn**

In Heilbronn wird seit über 100 Jahren Steinsalz im Tiefbau hereingewonnen. Abgebaut wird Salz der Muschelkalkformation des Trias, das im Bereich der Heilbronner Mulde in einer Teufe von rund 200 m in einer Mächtigkeit von bis zu 40 m ansteht. Aus Qualitätsgründen wird jedoch nur die untere Hälfte des Salzflözes hereingewonnen.

Das Schichtenprofil (Abb. 5) zeigt, daß das Grubengebäude nicht von allen Seiten mit Salz umgeben ist. Im Hangenden stehen rund 20 m Steinsalz an. Die Sohle besteht aus

Anhydrit. Gegen die wasserführenden Schichten der höheren Gebirgsstockwerke wird das Salzvorkommen durch eine etwa 60 m mächtige Anhydritbank abgeschirmt.

Aufgrund der geringen Teufenlage und der ausreichenden Festenbemessung gelten die Hohlräume als standfest. Im Regelfall gibt es keinen zusätzlichen Ausbau.

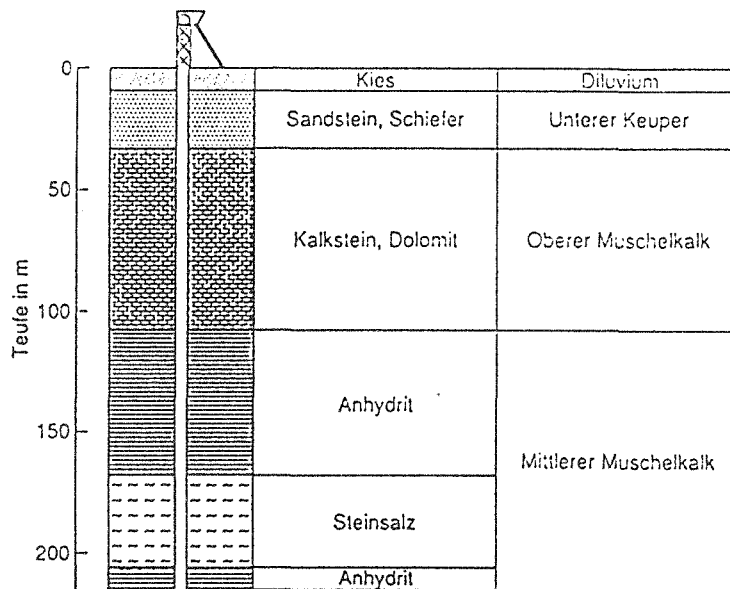


Abb. 5: Schnitt durch die Lagerstätte des Steinsalzbergwerkes Heilbronn /16/

Seit Inbetriebnahme des Bergwerkes wurde der Kammerfestenbau angewendet. Es werden dabei großvolumige Kammern bis zu 200 m Länge, 15 m Breite und 20 m Höhe hergestellt. Die Festen sind im Verhältnis 1:1 dimensioniert. Es ergibt sich damit ein durchschnittlicher Abbauverlust von 50%.

Seit 1987 betreibt die Südwestdeutsche Salzwerke AG im Grubengebäude die Bergwerksdeponie Heilbronn auf der Grundlage eines abfallrechtlichen Planfeststellungsbeschlusses.

Die Deponie ist räumlich und organisatorisch vom übrigen Grubenbetrieb getrennt und mit einer eigens für den untertägigen Abfalltransport hergestellten Strecke mit dem Schacht verbunden.

Die räumliche Trennung von der parallel betriebenen Steinsalzgewinnung ergibt sich i.w. durch die Randlage des Deponiebereiches im Grubengebäude sowie durch eine Schutzzone (ein ehemaliges Abbaurevier). Die Deponie ist mit einem eigenen Wetterkreislauf ausgestattet und an den Hauptwetterstrom angeschlossen.

Wie in Herfa-Neurode werden Abfälle nur verpackt angenommen. Dazu können wahlweise Stahlblechbehälter oder sog. Big-bags zu je 1,5 t verwendet werden.

Zusätzlich müssen die Abfälle angefeuchtet sein. Damit soll bei schadhafter Verpackung oder im Störfall flugfähiger Staub verhindert werden.

Der Feuchtegehalt liegt zwischen 15 und maximal 30%. Die Rückstände härten unter Tage aus und erreichen ihre Endfestigkeit nach wenigen Wochen.

Umschlag und Transport erfolgt analog zum Deponiebetrieb Herfa-Neurode. Aufgrund der wesentlichen höheren Kammern werden die Behälter jedoch bis zu siebenfach übereinander gestapelt (Stapelhöhe 11 m).

In der Bergwerksdeponie Heilbronn können ausschließlich Rückstände aus der Rauchgasreinigung von Müllverbrennungsanlagen abgelagert werden. Es handelt sich um eine untertägige Monodeponie.

In Heilbronn sind von 1986 bis Ende 1991 rund 55.000 t Rauchgasreinigungsrückstände unter Tage deponiert worden. Davon entfielen rund 25.000 t auf das Jahr 1991 (Anhang 6).

Ein mit der Hochsicherheitsdeponie Herfa-Neurode vergleichbares Barriersystem gibt es in Heilbronn nicht.

Nachdem eine Kammer mit Abfällen gefüllt ist, wird sie nach allen Seiten mit 0,5 Meter mächtigen Kalksandsteinmauern verschlossen. Wie in Herfa-Neurode dienen diese Mauern vornehmlich dem Brandschutz und der Wetterführung.

**\* Steinkohlenbergwerk Consolidation**

Wie bereits in Kap. 3.2.1 ausgeführt, wurden auf dem Bergwerk Consolidation bisher rund 300.000 t bergbaufremder Stoffe nach untertage verbracht. Nach betreiberseitigen Angaben waren davon etwa 40.000 t Rückstände aus der Verbrennung von Hausmüll.

Parallel dazu wurde im Baufeld Pluto im Rahmen eines großtechnischen Versuchs die Verbringung von reinen Filterstäuben aus der Hausmüllverbrennung erprobt /14/.

Im hydraulischen Nachversatz sollte dazu ein steilstehender Bereich in Flöz Röttgersbank/Wilhelm nachversetzt werden. Die realisierbare Aufnahmekapazität des Nachversatzhohlraumes war mit rund 1.200 t wesentlich geringer als erwartet. Das Vorhaben wurde deshalb nicht weiter verfolgt.

**\* Uranerzbergwerke Schmierchau/Paitzdorf und Drosen/Beerwalde**

Im Zusammenhang mit den bereits in Kap. 3.2.2 beschriebenen Versatzmaßnahmen der Wismut GmbH werden auch Rückstände aus der Rauchgasreinigung von Hausmüllverbrennungsanlagen nach unter Tage verbracht.

Die Rückstände werden trocken angeliefert, mit Braunkohlen- und Steinkohlenverbrennungsrückständen sowie mit Sand gemischt und als Suspension verpumpt.

Auf diese Weise werden jährlich etwa 20.000 bis 40.000 t Müllverbrennungsrückstände nach unter Tage verbracht.

**3.3 Sonstige Produktionsrückstände**

An sonstigen Produktionsrückständen werden in Deutschland folgende Stoffarten untertägig verbracht:

\* **Sandstrahlmittel**

Auf dem Eisenerzbergwerk Wohlverwahrt-Nammen werden seit 1990 Sandstrahlmittel aus der Gebäude- bzw. Brückensanierung als Versatzmaterial hereingenommen. Im Vergleich zu den dort ebenfalls eingelagerten Reststoffmengen aus der Steinkohlenverbrennung (vgl. Kap. 3.2.1) ist der Anteil der Sandstrahlmittel mit wenigen tausend Tonnen sehr gering.

\* **Gießereialtsande**

Noch geringer dürften die Mengen an Gießereialtsanden sein, die seit 1991 sowohl auf dem Eisenerzbergwerk Wohlverwahrt-Nammen als auch auf dem Kalkbergwerk Gersheim als Versatzmaterial angenommen werden können.

\* **Asbest**

Asbesthaltige Abfälle können z.Z. nur noch in der UTD Herfa-Neurode abgelagert werden.

1989 konnten diese Stoffe auch noch im Steinkohlenbergwerk Zollverein (Ruhrkohle AG) deponiert werden. Im Gegensatz zu der hydromechanischen Verbringung der Steinkohlenverbrennungsrückstände (vgl. Kap. 3.2.1) wurde der Asbest in Big-bags verpackt.

Auf diese Weise können nur relativ geringe Mengen - nicht mehr als einige hundert Tonnen nach unter Tage verbracht worden sein, da der Deponiebetrieb noch im selben Jahr eingestellt wurde.

\* **Schwermetallbelastete Steinsalzurückstände**

Sowohl im Steinsalzbergwerk Heilbronn der Südwestdeutschen Salzwerke AG als auch im Steinsalzbergwerk Stetten der Wacker Chemie GmbH werden mit Schwermetallen behaftete Steinsalzurückstände als Versatzmaterial eingesetzt. Dabei handelt es sich um ehemaliges Lagerstättensalz, das bei Weiterverarbeitern im Zuge der Salzaufbereitung durch Prozeßwässer verunreinigt wurde, z.B. mit Quecksilber oder Brom.

In Heilbronn werden diese Rückstände im Schüttgutbetrieb über Rohrleitungen zusammen mit den Aufbereitungsrückständen des Tagesbetriebes nach unter Tage verbracht. Über Bandförderanlagen werden die Rückstände dem Versatzbetrieb zugeführt, mit Radladern in die ehemaligen Abbaukammern gefahren und dort verstürzt.

Auf dem Bergwerk Stetten werden die kontaminierten Salzurückstände in Big-bags verpackt angeliefert und mit LKWs über einen Schrägstollen in die untertägigen Kammern gefahren. Dort werden die Big-bags in mehreren Lagen übereinander gestapelt. Zur Erhöhung der Stützwirkung wird zusätzlich zwischen den Lagen und zur Firste hin Anhydrid eingebracht.

In Heilbronn wurden bisher nur wenige tausend Tonnen Löserückstände verbracht, auf dem Bergwerk Stetten rund 30.000 bis 40.000 t. Dort läuft der Versatzbetrieb seit 1990.

\* **Belastete Wässer und Schlämme**

Flüssige Abfälle sind nicht Gegenstand dieser Studie. Dennoch sei der Vollständigkeit halber an dieser Stelle auf das Kalisalzbergwerk Thiederhall hingewiesen. Dort leitet die Volkswagen AG mit Farbpigmenten und Lackresten aus der Automobilproduktion belastete Wässer und Schlämme ein.

Nach Angaben der Bergbehörde wurde das Bergwerk in den zwanziger Jahren stillgelegt. Seit den siebziger Jahren wird es auf der Grundlage eines Planfeststellungsbeschlusses durch den Automobilkonzern genutzt. Insgesamt sollen rund 5.000.000 m<sup>3</sup> Wasser in

Teufen zwischen 180 und 200 Metern verbracht worden sein. Mittlerweile wurde der Deponiebetrieb eingestellt.

#### \* **Kontaminierter Bodenaushub**

In das stillgelegte Kalisalzbergwerk Teutschenthal der Hallsafe GmbH wurden versuchsweise einige hundert Tonnen kontaminierter Bodenaushub als Versatzmaterial eingebracht. Derzeit ruht der Probetrieb, da die Eigentumsverhältnisse noch nicht abschließend geklärt sind.

### **3.4 Stoffmischungen**

An vielen Grubenstandorten werden für Versatzzwecke bergbaufremde Stoffe mit bergbaueigenen Aufbereitungsrückständen vermischt. Außerdem gelangen bergbaufremde Stoffe z.B. als fertige Baustoffmischungen nach unter Tage.

Am häufigsten wird der sog. Bergbaumörtel eingesetzt. Er besteht im einfachsten Fall zu rund 70% aus Filterstäuben aus der Steinkohlenverbrennung und zu 30% aus Zement.

Zu den Filterstäuben können noch Wirbelschichtaschen und spezielle Additive hinzugegeben werden. Auch der Zement läßt sich teilweise durch andere Bindemittel ersetzen.

Es sind auch spezielle Rezepturen für Bergbaumörtel bekannt, die bis zu 30% Müllverbrennungsrückstände enthalten. Dadurch wird sowohl der Filterstaub- als auch der Zementanteil reduziert.

In Deutschland werden jährlich rund 2.000.000 t Bergbaumörtel hergestellt. Zu einem geringen Teil wird er unter Tage für Bauzwecke oder zum Streckenausbau (Spritzbeton) genutzt. Hauptsächlich wird Bergbaumörtel für Verfüll- und Versatzmaßnahmen verwen-



det. Dabei wird er - je nach Standortbedingungen - entweder unvermischt oder zusammen mit anderen Versatzmaterialien verarbeitet.

Größere Mengen an Bergbaumörtel sollen auf den Uranerzbergwerken der Wismut GmbH, sowie auf dem Eisenerzbergwerk Wohlverwahrt-Nammen, dem Metall- und Schwefelkiesbergwerk Meggen, dem Schwefelkiesbergwerk Elbingerode sowie auf Steinkohlenbergwerken verarbeitet werden.

#### 4. Umweltverträglichkeit der bisherigen Verbringungsmaßnahmen

Wie die vorangegangene Bestandsaufnahme zeigt, wird in Deutschland ein breites Spektrum untertägiger Verbringungsmaßnahmen praktiziert. Dabei sind 4 Grundtypen der untertägigen Verbringung festzustellen:

Grundtyp I: Entsorgung in untertägiger Vielstoffdeponie

Grundtyp II: Entsorgung in untertägiger Monodeponie

Grundtyp III: Direkte Verwertung unter Tage

Grundtyp IV: Indirekte Verwertung unter Tage

Abb. 6 zeigt, daß über 90% der untertägig verbrachten bergbaufremden Stoffe bisher direkt oder indirekt verwertet wurden (Grundtyp III und IV). Auf die untertägige Entsorgung (Grundtyp I und II) entfielen damit weniger als 10%. Weitere Detailinformationen dazu sind in Anhang 2 enthalten.

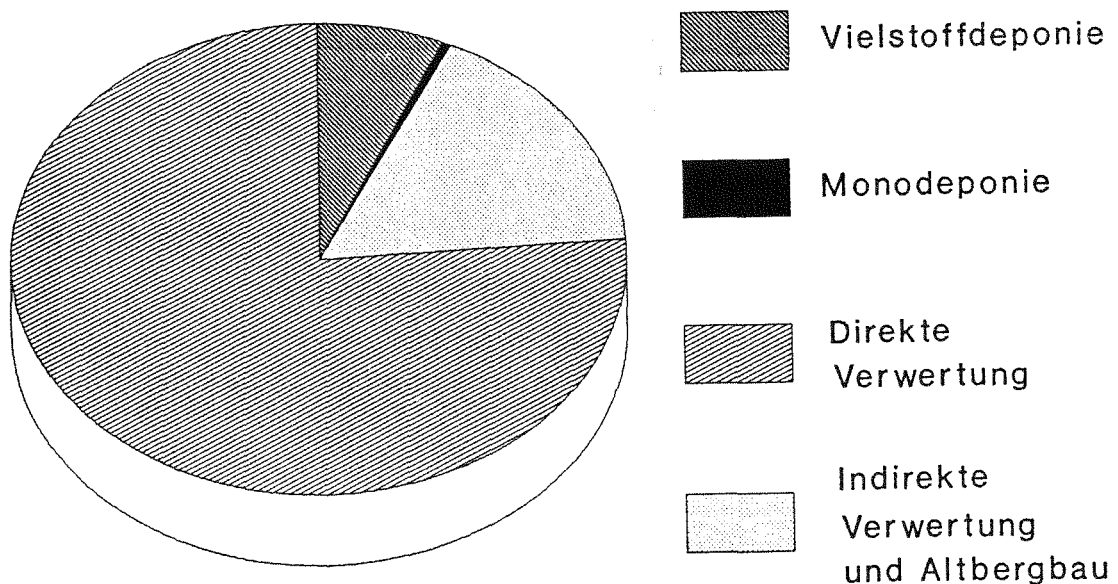


Abb. 6: Verteilung der bisher untertägig verbrachten Stoffmengen auf die einzelnen Verbringungsgrundtypen

Die Umweltverträglichkeit der o.a. Grundtypen der untertägigen Verbringung ist wie folgt zu bewerten:

### **Grundtyp I: Entsorgung in untertägiger Vielstoffdeponie**

Die einzige zugelassene untertägige Vielstoffdeponie in Deutschland wurde im Kalisalzbergwerk Herfa-Neurode eingerichtet. Sie wird als sog. Hochsicherheitsdeponie betrieben.

Die Deponie wurde Anfang der siebziger Jahre in Betrieb genommen. In ihr sollten Problemstoffe abgelagert werden, die aus Umweltschutzgründen als nicht oberirdisch deponierbar galten und deren Gefahrenpotential auch durch technische Maßnahmen nicht weiter verringert werden konnte.

Leistungsfähige technische Verfahren standen damals entweder nicht zur Verfügung oder waren aus wirtschaftlichen Gründen nicht zumutbar.

Herfa-Neurode wurde damit zum untertägigen "Problemlöser" für über Tage nicht beherrschbare Aufgaben der Abfallvermeidung, Verwertung und Entsorgung und ist es bis heute geblieben.

Es stellt sich dabei allerdings die grundsätzliche Frage, ob es auch in Zukunft sinnvoll sein kann, chemisch-toxische Stoffe in der Lithosphäre möglichst tief zu deponieren, ohne vorher alle Möglichkeiten auszuschöpfen, das Gefahrenpotential zu verringern.

Im Rahmen der Studie kann nur der Aspekt der relativen Umweltverträglichkeit beurteilt werden. Dabei stehen die Sicherheit während der Betriebsphase sowie die Langzeitsicherheit in Mittelpunkt.

Während der Betriebsphase erscheint die Sicherheit in Herfa-Neurode gegeben. Das künstliche Barriersystem bietet angemessenen Schutz bei allen Transport- und Stapel-

vorgängen, im Brandfall und sogar im Falle eines Wasserzutrittes im Bergwerk Wintershall.

Die Langzeitsicherheit wird i.w. von den natürlichen Barrieren sowie dem Schachtverschluß bestimmt.

In Herfa-Neurode kann davon ausgegangen werden, daß in geologischen Zeiträumen das allseits in einer Mächtigkeit von mindestens 100 m anstehende Salz die Abfälle umschließen wird. Dabei kann es zur Zerstörung der Verpackungen, der Mauerbauwerke und möglicherweise auch der Anhydriddämme kommen.

Als belastbare Sicherheitsreserve verblieben dann noch die Betondämme und der Schachtverschluß. Für letzteren gibt es noch kein endgültiges Konzept, da sich nach Angaben des Deponiebetreibers der Stand der Technik fortlaufend weiter entwickelt.

Für die Langzeitsicherheit dürfte jedoch den Nebengesteinsschichten und hier insbesondere den wasserabschirmenden Tonschichten im Hangenden die größte Bedeutung zukommen.

Aufgrund der bisherigen Lagerstättenkenntnis kann davon ausgegangen werden, daß die Tonschichten in unmittelbarer Umgebung des Grubengebäudes Herfa-Neurode ausreichend mächtig und praktisch wasserundurchlässig sind.

Grundsätzlich ist jedoch zu berücksichtigen, daß auch solche natürliche Gebirgsformationen nicht immer ideal homogen sind und gestört sein können. Außerdem sind dynamische Prozesse z.B. durch den benachbarten Abbaubetrieb oder an den Randbereichen der Lagerstätte vorstellbar, die in ihren Auswirkungen das ursprüngliche Gefüge stören.

## **Grundtyp II:            Entsorgung in untertägiger Monodeponie**

In Deutschland werden z.Z. zwei untertägige Monodeponien betrieben. Sie sind im Gipsbergwerk Obrigheim (Kraftwerksreststoffe aus der Steinkohlenverbrennung) und im

Steinsalzbergwerk Heilbronn (Rauchgasreinigungsrückstände aus der Müllverbrennung) eingerichtet.

In beiden Fällen ist der Versatz aus gebirgsmechanischen oder anderen bergsicherheitlichen Gründen nicht geboten. Es herrscht überwiegend der Entledigungswille vor.

Trotzdem üben die abgelagerten Abfälle aber eine gewisse Stützwirkung aus, wenn sie - wie z.B. in Obrigheim - als Schüttgut mit direktem Anschluß an das Gebirge eingebracht werden.

Bei untertägigen Monodeponien kann von einem vergleichsweise geringen Reaktionspotential der Abfälle untereinander ausgegangen werden. Reaktionen mit dem Gebirge können theoretisch mit ausreichender Sicherheit vorhergesagt und damit ausgeschlossen bzw. beherrscht werden.

In beiden Bergwerken werden die Abfälle in trockene Grubenräume eingebracht. Eine Eluation von Salzen oder Schwermetallen in der Einbringphase ist daher praktisch ausgeschlossen.

Die vor der Einlagerung angefeuchteten Abfälle härten allmählich aus. Dadurch werden die enthaltenen Schadstoffe weitgehend immobilisiert.

Im Vergleich zu Heilbronn weisen die Kraftwerksreststoffe in Obrigheim ein verhältnismäßig geringes Schadstoffpotential auf. Schwermetalle und lösliche Salze liegen in geringerer Konzentration vor. Sie sind durch die Aushärtung immobilisiert und auch im Falle eines Wasserzutrittes nur eingeschränkt eluierbar.

Die eingebrachten Abfälle stützen außerdem die Festen und stabilisieren somit das Grubengebäude. Die Gefahr eines Wasserzutrittes wird dadurch weiter vermindert.

Die in Heilbronn abgelagerten Rauchgasreinigungsrückstände aus der Müllverbrennung weisen ein deutlich höheres Schadstoffpotential auf. Es liegen weitaus höhere Konzentrationen an Schwermetallen, löslichen Salzen sowie an organischen Bestandteilen wie

Dioxinen und Furanen vor. Letztere sind insbesondere aus arbeitshygienischer Sicht von Bedeutung.

Durch Anfeuchtung und Verpackung kann ein ausreichender Schutz der Beschäftigten und der Umwelt in der Einbringphase sichergestellt werden. Hauptsächlich werden die Rückstände in Heilbronn aufgrund ihres hohen Salzgehaltes untertägig deponiert. Die damit mögliche Beeinträchtigung der Umwelt ist im Verhältnis zu der natürlich anstehenden Salzmenge als vergleichsweise gering anzusehen.

Die Beurteilung der Umweltverträglichkeit in Heilbronn reduziert sich damit i.w. auf die Sicherheit des Grubengebäudes insgesamt. Sicherheitsrisiken könnten u.U. vom parallel betriebenen Gewinnungsbergbau ausgehen.

### **Grundtyp III: Direkte Verwertung unter Tage**

Die direkte Verwertung unter Tage erfolgt i.a. zur partiellen Stützung des Grubengebäudes. Dazu werden hauptsächlich Rückstände aus der Steinkohlen- und Braunkohlenverbrennung hydromechanisch eingebracht. Die anschließende Aushärtung führt zur erwünschten Stützwirkung und garantiert gleichzeitig eine weitgehende Immobilisierung der Schadstoffe.

Anders als bei Entsorgungsmaßnahmen (Grundtyp I und II) werden die Stoffe dabei häufig in feuchte Grubenräume eingebracht, in denen es zusätzlich Wasserwegsamkeiten geben kann. Die Umweltverträglichkeit wird hauptsächlich durch die Löslichkeit der im Reststoff enthaltenen Schadstoffe und durch das Ausbreitungsverhalten freigesetzter Inhaltsstoffe bestimmt.

Diese hydrologischen Auswirkungen werden in jedem Einzelfall von den zuständigen Bergbehörden genau geprüft, bevor eine entsprechende Genehmigung erteilt wird.

Das Gefährdungspotential verwerteter Kraftwerksreststoffe wird als vergleichsweise niedrig eingeschätzt. Diese Reststoffe haben nur einen geringen Anteil am Versatzgemisch z.B. als Bindemittel oder als Zementsubstitut.

Dagegen bestehen ernstzunehmende Bedenken gegen die Verwertung von Rückständen aus der Müllverbrennung als Versatzkomponente.

Dies geschieht z.Z. auf dem Bergwerk Consolidation der Ruhrkohle AG und den stillgelegten Uranerzbergwerken der Wismut GmbH.

Die Bergwerksunternehmen und die zuständigen Bergbehörden versichern zwar, daß eine Beeinträchtigung der Umwelt nicht zu besorgen sei. Im Zuge der Genehmigungsverfahren seien die Verbringungsmaßnahmen der Ruhrkohle AG zudem durch umfängliche Stellungnahmen übergeordneter Instanzen geprüft worden.

Dennoch sollten die bei der Verbringung von Müllverbrennungsrückständen nicht auszuschließenden Nebeneffekte wie Gasbildung und Wärmeentwicklung sowie die möglichen Wirkmechanismen unter besonderer Berücksichtigung der untertägigen Umfeldbedingungen näher erforscht werden.

#### **Grundtyp IV: Indirekte Verwertung unter Tage**

Die indirekte Verbringung bergbaufremder Stoffe als sogenannter Bergbaumörtel findet in großem Umfang auf den Uranerzbergwerken der Wismut GmbH statt. Bergbaumörtel wird dabei als vergleichsweise hochwertiger Baustoff für Versatzzwecke angesehen.

Im Bergbaumörtel können bis zu 30% Müllverbrennungsrückstände enthalten sein. Bei der Mörtelherstellung werden die in den Rückständen enthaltenen Schadstoffe bis unter die gesetzlich zulässigen Grenzwerte verdünnt. Sofern der Baustoff fachgerecht verarbeitet wird und vollständig abbindet, kann von einer weitgehenden Immobilisierung der Schadstoffe ausgegangen werden.

## 5. Abschätzung: Mengenaufkommen ausgewählter Stoffarten

Die in Zukunft nach Untertage zu verbringenden Stoffmengen werden sich im wesentlichen aus

- \* Abfallarten gemäß TA-Abfall (Anhang C)
- \* Rückständen aus der Verbrennung fossiler Energieträger
- \* Rückständen aus dem produzierenden Gewerbe und Altlasten
- \* Kontaminiertem Bodenaushub und Bauschutt

zusammensetzen.

Die Untertägige Deponierung wird derzeit nur für bestimmte Stoffe der ersten Stoffgruppe empfohlen. Darauf bezogen wird die Gesamtmenge voraussichtlich von 900.000 t im Jahr 1987 auf etwa 740.000 t im Jahr 2000 zurückgehen. Dabei sind z.T. erhebliche Verschiebungen in den Mengenanteilen einzelner Stoffarten zu erwarten (Abb. 7).

Die größten Reduzierungen sind bei

- \* Chemiegipsen
- \* Bariumsulfatschlamm
- \* Steinsalzurückständen

zu erwarten.

Deutliche Steigerungen wird es bei den Rückständen aus der

- \* Hausmüllverbrennung
- \* Sondermüllverbrennung

geben. Der Anteil der Verbrennungsrückstände an der Gesamtmenge der Untertägig zu verbringenden Stoffe steigt voraussichtlich von ca.  $\frac{1}{3}$  (1987) auf deutlich mehr als  $\frac{1}{2}$  (2000).



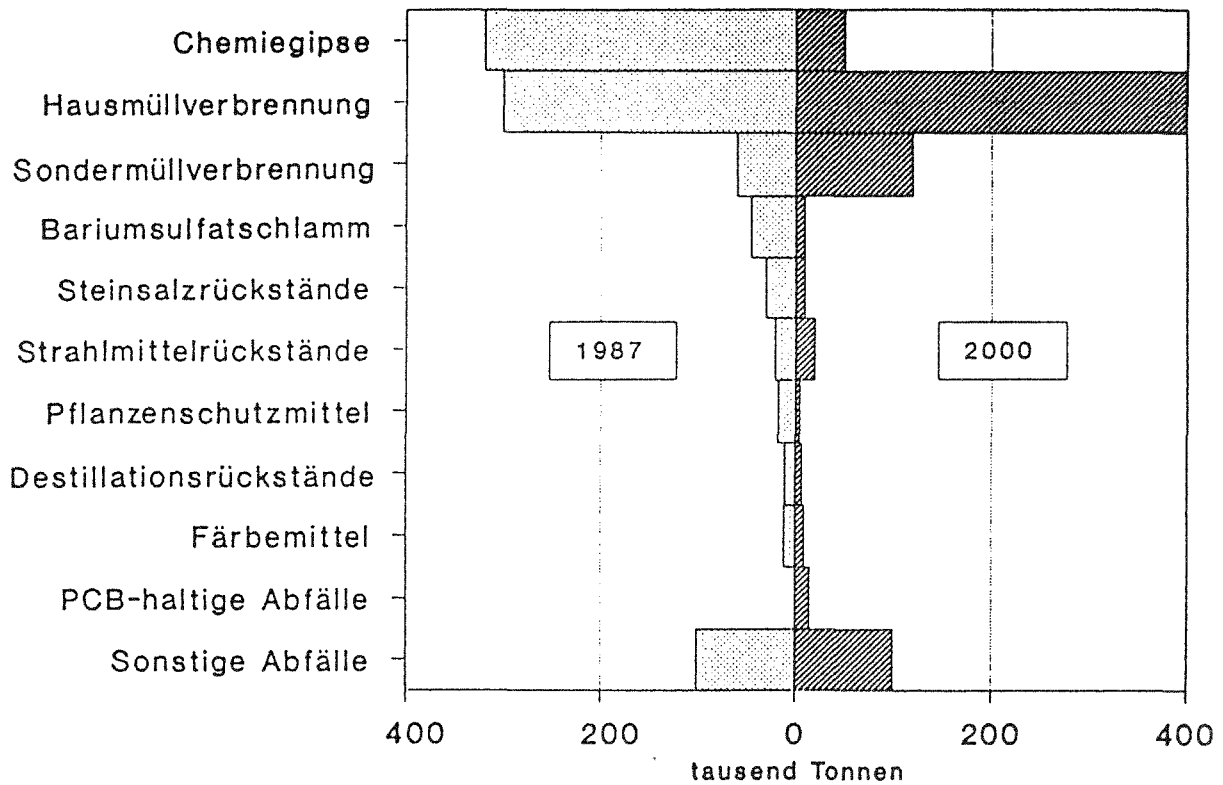


Abb. 7: Im Jahr 1987 der UTD zugeordnete sowie für das Jahr 2000 erwartete Abfallarten und -mengen

Die durchgeführten Abschätzungen und die dabei gewonnenen Ergebnisse sind im folgenden detailliert dargestellt.

## 5.1 Abfallarten gemäß TA-Abfall (Anhang C)

### 5.1.1 Stoffkatalog und Auswahlkriterien

In der TA-Abfall wird für insgesamt 63 Abfallarten als Regelfall die Entsorgung in einer UTD (Untertägige Deponie für besonders überwachungsbedürftige Abfälle im Salzgestein) vorgeschrieben /5/. Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen hat in seinem Bericht zur Abfallwirtschaft 1991 das Mengenaufkommen dieser Stoffe ermittelt (Anhang 1). Dabei wurde Datenmaterial aus dem Jahr 1987 zugrunde gelegt. Der

Sachverständigenrat kommt zu dem Ergebnis, daß jährlich rund 900.000 t Abfälle in Untertagedeponien abgelagert werden müssen.

Nach 1987 haben sich erhebliche Änderungen im Abfallaufkommen ergeben. So zeigen z.B. gesetzlich verordnete Abfallvermeidungs- und -verwertungsgebote sowie drastisch erhöhte Entsorgungskosten erste Wirkungen.

Es war deshalb erforderlich, die Mengenabschätzungen für die wichtigsten Abfallarten zu aktualisieren. Im Rahmen der Studie konnten nicht alle 63 Abfallarten im Detail untersucht werden. Der Untersuchungsbereich wurde deshalb auf die relevanten Abfallarten begrenzt. Auswahlkriterium war dabei das Mengenaufkommen der Stoffe als bestimmender Faktor sowohl für das benötigte Deponievolumen als auch für die erforderlichen Transportkapazitäten.

Eine Analyse des vom Sachverständigenrat ermittelten Mengenaufkommens zeigt, daß über 90% der Gesamtmenge auf 10 Abfallarten entfallen (Anhang 3). Dabei handelt es sich um

- \* Gipsabfälle mit schädlichen Verunreinigungen
- \* Rückstände aus der Hausmüllverbrennung
- \* Filterstäube aus der Sonderabfallverbrennung
- \* Feste Reaktionsprodukte aus der Sonderabfallverbrennung
- \* Bariumsulfatschlamm
- \* Rückstände aus der Steinsalzaufbereitung
- \* Strahlmittelrückstände
- \* Produktionsabfälle von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln
- \* Anorganische Destillationsrückstände
- \* Anorganische Farbstoffe

Die Abfallarten werden im Detail untersucht.

Zu drei Positionen des Stoffkataloges hat der Sachverständigenrat keine Mengen angegeben. Es handelt sich dabei um

- \* PCB-haltige Abfälle
- \* Feste Pyrolyseabfälle
- \* Vorgemischte Abfälle

Auch diese Abfallarten werden im folgenden näher untersucht.

### **5.1.2 Gipsabfälle mit schädlichen Verunreinigungen**

Unter Abfallschlüssel 314 45 sind Chemiegipse subsummiert. Sie entstehen in der chemischen Industrie hauptsächlich beim Nassaufschluß von Rohphosphaten /17/. Wenn z.B. uranhaltige Rohphosphate mit Schwefelsäure versetzt werden, entsteht dabei neben Phosphorsäure auch als Abfallprodukt ein schwefelsaurer Gipsrückstand mit schwach-radioaktiven Gesteinsbestandteilen.

In der Vergangenheit wurden verunreinigte Gipsabfälle überwiegend auf werkseigenen Deponien abgelagert. Aufgrund der Kontaminationen bestanden kaum technisch realisierbare und zugleich wirtschaftlich zumutbare Verwertungsmöglichkeiten.

Haupterzeuger von verunreinigten Gipsabfällen war die Höchst AG in Hürth-Knapsack. Nach Angaben der Werksleitung wurde dort die Produktion von Waschmittelphosphaten Mitte 1991 eingestellt. Dadurch soll sich das jährliche Aufkommen dieser Abfallart um 300.000 t reduzieren.

Gespräche mit Vertretern der Gipsindustrie und der übrigen chemischen Industrie bestätigten diesen Sachverhalt.

Es fallen somit zukünftig in Deutschland deutlich geringere Mengen zu entsorgender Chemiegipse an. Fachleute rechnen insgesamt mit einem Abfallaufkommen von nur noch 50.000 t/a.

### **5.1.3 Rückstände aus der Hausmüllverbrennung**

Bei der Hausmüllverbrennung fallen als Rückstände Aschen und Schlacken, Filterstäube sowie feste Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung (Abfallschlüssel 313 12) an (Anhang 1). Die Rauchgasreinigungsrückstände entstehen durch die Reaktion der sauren Schadgase mit basischen Adsorptionsmitteln, die gezielt in den Rauchgasstrom einge-

bracht werden. Das Reaktionsgemisch enthält Alkali- und Erdalkalichloride, Fluoride, Sulfate, Karbonate und Hydroxyde sowie Schwermetalle in unterschiedlichen chemischen Bindungen. Es kann auch zu Bildungen von Dioxinen und Furanen kommen.

Der Sachverständigenrat hat für diese festen Reaktionsprodukte insgesamt ein Mengenaufkommen von 300.000 t/a (1987) ermittelt /1/. Der überwiegende Teil (230.000 bis 250.000 t/a) resultiert aus der Verbrennung von Hausmüll und hausmüllähnlichem Gewerbemüll. Es handelt sich dabei um rund 150.000 t/a Reaktionssalze und etwa 80.000 bis 100.000 t/a mit Reaktionssalzen vermischte Flugstäube /18, 19/. Der Rest sind Rückstände aus der Verbrennung von Klärschlamm und Sulfitablaugen /20/.

Z.Z. gibt es in Deutschland 48 Hausmüllverbrennungsanlagen. Bis zum Jahr 2000 sollen 5 bis 10 weitere Anlagen in Betrieb gehen.

Alle neuen Anlagen werden mit moderner Rauchgasreinigungstechnik ausgestattet sein. Dadurch kann eine bessere Trennung von Flugstäuben und Reaktionssalzen erfolgen. Der Anteil der Mischfraktion (Flugstäube und Reaktionssalze) wird sich damit deutlich verringern. Die artenreinen Fraktionen fallen dadurch in entsprechend höherer Menge an.

Das Aufkommen an festen Reaktionsprodukten wird sich auf schätzungsweise 200.000 bis 250.000 t/a erhöhen. Der Rest wird i.w. als sog. Filterstaub anfallen, der bisher noch nicht der UTD zugeordnet ist. Als Gesamtmenge (Reaktionssalze sowie mit Reaktionssalzen vermischte Flugstäube) sind aus der Verbrennung von Hausmüll rund 400.000 t/a zu erwarten.

#### **5.1.4 Rückstände aus der Sonderabfallverbrennung**

Bei der Sonderabfallverbrennung fallen verfahrensbedingt physikalisch und chemisch ähnliche Rückstände wie bei der Hausmüllverbrennung an (Anhang 4).

Die Entsorgung in einer UTD ist für Filterstäube aus der Sonderabfallverbrennung (Abfallschlüssel 313 11) und für feste Reaktionsprodukte (Abfallschlüssel 313 13) vorgesehen.

Für diese Rückstandsarten hat der Sachverständigenrat insgesamt ein Mengenaufkommen von 59.000 t/a (1987) ermittelt. Seit 1987 hat sich die Anzahl der Sonderabfallverbrennungsanlagen lediglich von 27 auf 30 erhöht. Die neu dazu gekommenen Anlagen werden in den neuen Bundesländern betrieben. Sie sind z.Z. nicht mit moderner Abgasreinigungstechnik ausgerüstet. Die zu entsorgenden Abfallmengen der o.a. Schlüsselnummern wurden dadurch nicht signifikant erhöht.

Die z.Z. installierte Verbrennungskapazität für Sondermüll liegt bundesweit in der Größenordnung von 700.000 t/a /1/. In Fachkreisen wird kurz- bis mittelfristig mindestens eine Verdoppelung bis Verdreifachung der Kapazitäten für unbedingt erforderlich erachtet. Akzeptanzprobleme in der Öffentlichkeit behindern z.Z. massiv den notwendigen Anpassungsprozeß der installierten Verbrennungskapazität an den realen Bedarf.

Der zukünftige Rückstandsanfall aus der Sonderabfallverbrennung läßt sich deshalb nur überschlägig abschätzen. Unter der Voraussetzung, daß bis zum Jahr 2000 die installierte Verbrennungskapazität verdoppelt wird, würden dann rund 120.000 t/a zur untertägigen Deponierung anstehen.

### **5.1.5 Bariumsulfatschlamm**

Der Sachverständigenrat hat als Mengenaufkommen an quecksilberhaltigem Bariumsulfatschlamm (Abfallschlüssel 316 32) für 1987 rund 45.000 t/a ermittelt /1/. Andere Quellen beziffern das Aufkommen zwischen 25.000 bis 50.000 t/a /18/.

Quecksilberhaltiger Sulfatschlamm entsteht hauptsächlich bei der Chloralkalielektrolyse nach dem Amalgamverfahren. Bei der vorgeschalteten Solereinigung fällt dabei ein bariumsulfathaltiger Schlamm aus, der durch die Kreislaufführung der Sole mit Queck-

silber kontaminiert ist. In der Vergangenheit wurde der Schlamm praktisch ausschließlich auf betriebseigenen Deponien der Chemieunternehmen abgelagert.

Zukünftig werden deutlich geringere Mengen an Bariumsulfatschlamm erwartet. Mittelfristig soll die Chlorproduktion insgesamt reduziert werden. Außerdem stehen prinzipiell technische Alternativen zum Amalgamverfahren (z.B. das Diaphragmaverfahren) zur Verfügung.

Kurzfristig kann das Abfallaufkommen durch die Substitution des bergmännisch gewonnenen Steinsalzes durch sulfatfreies Siedesalz reduziert werden. Bei Einsatz von Siedesalz fällt im Verarbeitungsprozeß praktisch kein Bariumsulfatschlamm mehr an.

Es ist daher mit einer deutlichen Verringerung der heute anfallenden Bariumsulfatschlammmenge von 40.000 t/a auf etwa 10.000 t/a zu rechnen.

#### **5.1.6 Rückstände aus der Steinsalzaufbereitung**

Es besteht ein enger Zusammenhang zwischen der zukünftigen Entwicklung der Chloralkalielektrolyse und dem Anfall von Steinsalzurückständen (Abfallschlüssel 399 03), deren Menge der Sachverständigenrat mit rund 30.000 t/a angibt /1/.

Es handelt sich dabei um bergmännisch gewonnenes Steinsalz, das z.B. bei Chemieunternehmen weiter aufbereitet wird. Beim Lösevorgang werden die Steinsalzurückstände u.a. durch Quecksilber des Prozesswassers aus den Amalgamzellen verunreinigt. Dadurch scheiden diese Rückstände für eine weitere Verwertung aus.

Durch den mittel- bis langfristig angestrebten Ausstieg aus der Chloralkalielektrolyse nach dem Amalgamverfahren sowie durch die Umstellung des Verfahrens auf Siedesalz dürfte diese Abfallart in Zukunft praktisch nicht mehr anfallen.

Kurzfristig ist mit einer Reduzierung auf etwa 10.000 t zu rechnen.

### **5.1.7 Strahlmittelrückstände mit schädlichen Verunreinigungen**

Strahlmittelrückstände mit schädlichen Verunreinigungen (Abfallschlüssel 314 40) fallen bei der Oberflächenbehandlung von Stahl- und Betonoberflächen an. Dabei werden metallische oder mineralische Strahlmittel eingesetzt. Die Kontamination besteht i.d.R. aus abgetrennten Fremdmaterial wie z.B. schwermetallhaltige Farben oder Rostschutzmittel.

Nach Erhebung des Sachverständigenrates betrug das untertägig zu deponierende Aufkommen 1987 rund 20.000 t/a /1/.

Der Strahlmittelverbrauch in Deutschland liegt bei etwa 350.000 t/a. Aufgrund des hohen Sanierungsbedarfs in den neuen Bundesländern wird mit einer deutlichen Expansion gerechnet. Ob sich die zu deponierende Rückstandsmenge dadurch erhöhen wird, ist ungewiß. Zunehmend werden gebrauchte Strahlmittel wieder aufbereitet /21, 22/.

Es ist deshalb kurz- und mittelfristig keine signifikante Änderung des Mengenaufkommens zu erwarten.

### **5.1.8 Produktionsabfälle von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln**

Bei der Produktion von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln sind 1987 Rückstände (Abfallschlüssel 531 04) von rd. 17.000 t/a und 19.000 t/a angefallen /1, 23/.

Der Anteil an organischen Stoffen liegt bei diesen Rückständen zwischen 73% und 98%. Sie sollen deshalb zukünftig vorzugsweise in Sonderabfallverbrennungsanlagen mineralisiert werden /1/.

Nach Angaben des größten deutschen Wirkstoffherstellers reduziert sich damit die zu deponierende Menge dieser Abfallart auf die Stoffe, die überwiegend anorganische Bestandteile aufweisen. Bundesweit soll deren Mengenaufkommen unter 5.000 t/a liegen.

### **5.1.9 Anorganische Destillationsrückstände**

Sumpf- und Kopfprodukte aus der Destillation anorganischer Flüssigkeiten sind unter Abfallschlüssel 597 05 subsummiert. Darunter fallen z.B. auch eingedickte, salzhaltige Mutterlaugen aus Deponien oder Rauchgasreinigungsanlagen.

Für 1987 gibt der Sachverständigenrat ein Abfallaufkommen von rund 10.000 t/a an /1/. Nach eigenen Recherchen sind keine Einflüsse zu erkennen, die zu einer signifikanten Änderung dieses Aufkommens führen könnten.

Es ist davon auszugehen, daß die Destillationsrückstände vor der untertägigen Ablagerung konditioniert werden müssen. Dadurch würde sich die zu deponierende Menge auf etwa 7.000 t/a reduzieren.

### **5.1.10 Anorganische Farbstoffe**

Abfallschlüssel 555 15 ist eine Sammelnummer für Rückstände aus der Farbstoffherstellung. Darunter fallen u.a. schwermetallhaltige Pigmente mit unterschiedlichsten Verunreinigungen.

Das Abfallaufkommen wird vom Sachverständigenrat mit insgesamt knapp 10.000 t/a angegeben /1/. Kurz- bis mittelfristig ist keine signifikante Änderung des Mengenaufkommens zu erwarten.

### **5.1.11 PCB-haltige Abfälle**

PCB-haltige Abfälle entstehen im wesentlichen bei der Entsorgung spezieller Hydraulik- sowie Wärme- und Elektroisoleröle. Der PCB-Einsatz ist vom Gesetzgeber nur noch bis 1999 gestattet /24/. Bis dahin ist mit einem Anstieg dieser Abfallart (Abfallschlüssel 541 10) zu rechnen. Die insgesamt zu entsorgende Gesamtmenge beträgt rund 95.000 t /25/.



Mit etwa 56.000 t entfällt dabei der weitaus größte Anteil auf die Entsorgung von sog. Askareltransformatoren. Der Rest verteilt sich auf PCB-haltige Kondensatoren, Stromwandler und Hydraulikaggregate aus der Wehrtechnik und dem Bergbau.

Bei vollständiger Deponierung dieser Betriebsmittel müßten jährlich durchschnittlich rund 10.000 t unter Tage verbracht werden.

Unter den Abfallschlüssel 541 11 fallen sonstige Abfälle, die mit PCB-haltigem Hydraulik- oder Elektroisolerölen kontaminiert sind oder aus der Sanierung von sog. offenen Anwendungen stammen.

In den alten Bundesländern wurden seit 1950 in der offenen Anwendung insgesamt eine Menge von rund 24.000 t PCB verbraucht /25/. Neben diszipativ verteilten Vorkommen wie z.B. PCB-haltigen Spezialpapieren oder PCB-haltigen PVC-Weichmachern handelt es sich dabei insbesondere um dauerelastische Dichtungsmassen aus dem Stahlbetonplattenbau.

Diese Dichtungsmassen sind untertägig abzulagern. Nach konservativen Schätzungen dürfte deren Abfallaufkommen unter 5.000 t/a liegen.

#### **5.1.12 Feste Pyrolyserückstände**

Gegenwärtig liegen keine Mengenangaben über feste Pyrolyserückstände (Abfallschlüssel 313 16) vor. Diese Rückstände entstehen in einigen Versuchsanlagen zur Abfall- und Klärschlammbehandlung sowie in Anlagen zur Sanierung kontaminierter Böden /1, 25, 27/.

Nur zwei Pyrolyseanlagen (in Burgau und Unna-Bönen) arbeiten im industriellen Maßstab. Bei den übrigen handelt es sich um Technikums- und Pilotanlagen, die nur chargenweise betrieben werden.

In der Anlage in Burgau fielen seit ihrer Inbetriebnahme im Herbst 1987 etwa 38.000 t feste Rückstände an. Bisher wurden sie oberirdisch abgelagert. Wegen anstehender Reparaturarbeiten wurde die Anlage im Herbst 1989 stillgelegt.

Aufgrund des hohen Heizwertes der Pyrolyserückstände - deshalb auch als Pyrolysekoks bezeichnet - kann davon ausgegangen werden, daß sie zukünftig einer thermischen Behandlung zugeführt werden müssen /1, 25/.

In der Anlage in Unna werden kontaminierte Böden behandelt. Die dabei entstehenden Rückstände werden gegenwärtig hinsichtlich einer Verwertungsmöglichkeit untersucht /27/.

Kurz- bis mittelfristig ist kein signifikant höheres Aufkommen an untertägig abzulagernden festen Pyrolyserückstände zu erwarten.

### **5.1.13 Vorgemischte Abfälle**

Unter Abfallschlüssel 596 04 fallen alle Stoffe, die aus genehmigten Abfallzwischenlagern oder Abfallbehandlungsanlagen stammen und zum Zwecke der Ablagerung gemischt wurden. Der UTD können dabei diese Abfälle nur zugeordnet werden, wenn auch die einzelnen Bestandteile jeweils für die untertägige Ablagerung vorgesehen sind.

Somit beinhaltet der Abfallschlüssel 596 04 keine neue Abfallart. Er setzt sich aus den bisher bekannten Mengen zusammen und ist deshalb aufkommensneutral.

## **5.2 Rückstände aus der Verbrennung fossiler Energieträger**

Reststoffe aus der Verbrennung fossiler Energieträger werden in großem Umfang nach unter Tage verbracht. Es handelt sich dabei überwiegend um Rückstände aus der Stein- und Braunkohlenverbrennung.

### 5.2.1 Rückstände aus der Steinkohlenverbrennung

Bei der Steinkohlenverbrennung fallen je nach Verbrennungsprozeß verschiedene Rückstandsarten an. Tab. 2 zeigt die jeweiligen Mengen für das Jahr 1989 /28, 18, 10/.

Rückstände	Anfall in Mio t/a	Verwertung in %
Flugasche	2,78	80
Grobasche/Granulat	4,17	96
Wirbelschichtaschen	0,38	< 70
Sprühabsorptionsasche	0,30	< 20
Trockenadditivasche	0,08	< 50
Hydroxidschlämme	0,15	< 10
REA-Gipse	1,79	100
Summe	9,65	

**Tab. 2: Rückstände aus der Steinkohlenverbrennung (1989)**

**Flugaschen** fallen als feinkörnige, glasig-kugelige Rückstände in den Filtern der Rauchgasentstaubung in Steinkohlekraftwerken an. Die Korngröße entspricht etwa der des Feinsandes.

Die Flugaschen stammen hauptsächlich aus Trockenfeuerungsanlagen. Dort machen sie den überwiegenden Teil der ascheförmigen Rückstände aus. Diese Feuerungsart wird zunehmend eingesetzt. Die insgesamt anfallende Menge an Flugaschen wird deshalb voraussichtlich bis 1995 um etwa 25% auf fast 3,5 Mio t/a zunehmen. Mengenmäßig geht diese Entwicklung zu Lasten der Granulate und Grobaschen /29/.

Flugaschen bestehen hauptsächlich aus Silizium, Aluminium und Eisenoxyd. Sie verfügen über einen hohen Anteil an reaktiver Kieselsäure, die eine Verwertung in Zementen und Mörteln begünstigt. Über 65% der Flugaschen sind als Zementzusatzstoffe geprüft und zugelassen. Damit können sie grundsätzlich einer übertägigen oder unter-

tägigen Verwertung zugeführt werden. Bundesweit wird der Verwertungsgrad mit rund 80% angegeben.

**Grobaschen** fallen in trocken entaschten Feuerungsanlagen bei Temperaturen um 1.200° C an. Dabei sintern die Verbrennungsrückstände zu größeren Brocken zusammen. Durch das Sintern und Schmelzen sind sie weitgehend inertisiert und zeigen ein geringes Eluationsverhalten.

Grobasche weist eine mit Grobsand und Feinkies vergleichbare Filterfähigkeit auf. Sie ist pflanzenvertäglich und kann z.B. als Rasenuntergrund eingesetzt werden.

**Granulate** entstehen in Schmelzkammerfeuerungen. Bei Temperaturen zwischen 1.400° und 1.700° C bilden sich schmelzflüssige Verbrennungsrückstände, die nach Einleitung in ein Wasserbad erstarren und in Folge ihrer Eigenspannung zu einem glasigen Granulat zerspringen.

Die Anzahl der Schmelzkammerfeuerungen geht zugunsten der Trockenfeuerung seit Jahren stetig zurück. Damit fallen auch weniger Schmelzkammergranulate an.

Die Granulate finden vielfältige Verwendung im Straßendamm- und Böschungsbau sowie in Ziegel- und Kalksandsteinprodukten. Außerdem eignen sie sich als Flächenfilter. Weitere Einsatzbereiche sind Winterstreumittel und Strahlmittel.

Die Verwertungsquote von Grobaschen/Granulaten wird bundesweit mit 96% angegeben.

**Wirbelschichtaschen** entstehen in Anlagen mit niedrigerer Feuerungstemperatur. Dort wird dem Brennstoff Kalk zugegeben. Aufgrund des vergleichsweise hohen Kalkgehaltes sind diese Stoffe insbesondere im Bergbau als Baustoffzusatz oder Versatzmaterial begehrt.

**Sprühabsorptionsaschen** sind keine Verbrennungsrückstände. Es handelt sich dabei um Rauchgasentschwefelungsprodukte, die nach dem Verdampfen einer wässrigen Kalksuspension im Rauchgasstrom zurückbleiben.

Der Rückstand besteht i.w. aus Calciumsulfit mit geringen Anteilen von Calciumsulfat. Außerdem sind aus den Salzen der Kohle stammende Salz- und Flußsäure sowie flüchtige Schwermetalle enthalten.

Aufgrund ihrer Absorptionseigenschaften werden Sprühabsorptionsaschen im Bergbau zum vorbeugenden Brandschutz, zur Brandbekämpfung sowie zu Bauzwecken verwendet /10/.

Trockenadditivaschen entstehen in kleineren Feuerungsanlagen, bei denen ein Entschwefelungsgrad von 50% ausreichend ist. Dabei wird Kalkstein zusammen mit der Kohle in den Feuerungsraum eingebracht. Das Mengenaufkommen ist mit 80.000 t/a vergleichsweise gering.

Unter dem Oberbegriff Hydroxidschlamm werden eine Reihe von Rückständen aus der Rohwasser- und Abwasseraufbereitung von Steinkohlekraftwerken zusammengefaßt /30, 10/. Im einzelnen handelt es sich um Rückstände aus Kühlturmtassen, aus der Aufbereitung des Kühlturmzusatzwassers, aus der Rohwassercarbonisierung sowie aus der Abwasserreinigung von Rauchgasentschwefelungsanlagen. Die Hydroxidschlämme bestehen i.w. aus Calciumhydroxyd und Sulfationen. Außerdem enthalten sie Schwermetalle, Chloride und Fluoride.

Bei hohen Kalkgehalten und entsprechenden Reinheitsgraden lassen sich diese Stoffe als Rückstandskalk oder Bodenverbesserungsmittel vermarkten. Es bestehen auch technische Möglichkeiten, sie wieder in die Rauchgasentschwefelung bzw. in die Feuerungsanlage zurückzuführen /30/.

REA-Gipse entstehen bei der Entschwefelung der Verbrennungsgase. In über 90% der Steinkohlenkraftwerke wird die sogenannte Naßentschwefelung angewandt /28/. Bei diesem Verfahren wird Brandkalk oder Kalkstein als Reagenz eingesetzt. Dabei fällt Gips in gleichbleibender Qualität und mit geringen Verunreinigungen an.

REA-Gipse bestehen aus feinen Kristallen mit Korngrößen bis 0,059mm. Nach der Waschfiltration sind die verbleibenden Verunreinigungen mit denen des Naturgipses

vergleichbar. Inerte Nebenbestandteile wie Ton, Feldspat, Sand oder Carbonat sind nur in geringem Maß vorhanden. Toxische Bestandteile sind nicht nachweisbar.

Somit gilt REA-Gips als dem Naturgips gleichwertiger Einsatzstoff für die gipsverarbeitende Industrie /31/. Der Schlamm wird vor der Verarbeitung in Gipswerken gewaschen, getrocknet und gepreßt. Für einen Einsatz in Zementwerken wird er zusätzlich noch brikettiert.

Die Verwertungsquote für REA-Gipse liegt derzeit bei nahezu 100%.

1990 fielen in den alten Bundesländern rund 1,8 Mio t REA-Gipse an. Nennenswerte Gipsmengen aus Steinkohlekraftwerken der neuen Bundesländern sind erst in einigen Jahren zu erwarten /32/.

### **5.2.2 Rückstände aus der Braunkohlenverbrennung**

In den alten Bundesländern sind 1989 aus der Verbrennung von Braunkohle rd 7,3 Mio t Rückstände angefallen. Der Hauptanteil entfiel mit über 6 Mio t auf Aschen. Außerdem fielen rund 1 Mio t REA-Gipse an /28, 33/.

In den neuen Bundesländern werden extrem ballastreiche Braunkohlen verbrannt. Entstaubungs- und Entschwefelungsanlagen sind dort noch die Ausnahme /34/. Bis spätestens 1996 müssen alle Anlagen in den neuen Bundesländern mit moderner Rauchgasreinigungstechnik ausgestattet werden. Die insgesamt in Deutschland anfallenden Rückstandsmengen aus der Braunkohleverbrennung werden sich dadurch voraussichtlich verdoppeln.

Rückstände aus der Braunkohlenfeuerung variieren relativ breit in ihrer Zusammensetzung. Hauptursache dafür ist die Kohlegewinnung mit Schaufelradbaggern. Die Braunkohle wird je nach Abbaubedingungen mit unterschiedlich großen Anteilen an quarzhaltigem Sand und Ton verunreinigt. Eine Verwertung der Rückstände als Baustoff wird dadurch allgemein erschwert.

Aufgrund der Affinität zum Braunkohlenbergbau werden REA-Gipse und Aschen gemischt und in ausgekohlten Tagebauen abgelagert. Damit tragen sie zur Rekultivierung bei. Die sonstige Verwertung im Landschaftsbau liegt unter 2% /31/.

### **5.3 Rückstände aus dem produzierenden Gewerbe und Altlasten**

#### **5.3.1 Gießereialtsande**

Gießereialtsand ist ein Sammelbegriff für eine Reihe unterschiedlicher Stoffe, die in Gießereien als anorganische Rückstände anfallen.

Das Mengenaufkommen für das Jahr 1987 wird mit rund 2,8 Mio t angegeben /23/. 1990 sollen es zwischen 2 und 3 Mio t/a gewesen sein /35, 36, 37/. Gegenwärtig wird das Altsandaufkommen durch die geringe Wirtschaftstätigkeit in den neuen Ländern insgesamt kaum erhöht.

Von den über 30 Mio t Sanden zur Herstellung verlorener Gußformen werden 96% zur Formherstellung und 4% zur Kernherstellung eingesetzt. Der überwiegende Anteil der Sande wird in den Gießereien aufbereitet und im Kreislauf gefahren.

In der Putzerei werden die ausgepackten Gußteile mit Sandstrahlwerkzeugen entgratet und endbehandelt. Die dabei anfallenden Strahlsande werden insbesondere bei kleinen und mittleren Gießereien häufig zusammen mit dem eigentlichen Form- und Kernsand entsorgt.

Kernsande enthalten meist organische Schadstoffe, wie polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe, Phenole und organisch gebundene geruchsintensive Amine. Sie müssen i.d.R. thermisch regeneriert werden.

Formsande sind meist lediglich mit anorganischen Bentoniten verbunden. Sie lassen sich mechanisch regenerieren.

Der größte Teil der bentonitgebundenen Altsande wird in Zukunft entweder in zentralen Anlagen oder - bei großen Gießereien - dezentral regeneriert werden /35, 36/. Eine Anlage zur Aufbereitung von Gießereialtsanden wird z.B. in Lage betrieben. Andere sind in Planung /35/.

Es ist davon auszugehen, daß bei weiter steigenden Deponiepreisen und ansteigendem politischen Druck die oberirdische Verwertungsrate für Gießereialtsande steigen wird. In Fachkreisen geht man davon aus, daß dadurch die zu deponierende Menge an Gießereialtsanden auf etwa 85.000 t/a reduziert werden könnte /37/.

### 5.3.2 Asbest

Tab. 3 zeigt die 1987 angefallenen Mengen an asbesthaltigen Abfällen. Die Angaben stammen vom statistischen Bundesamt.

Abfallschlüssel	Abfallart	Aufkommen 1987 in t
314 12	Asbestzementabfälle	59.000
314 16	Asbestabfälle aus der Produktion	?
314 36	Asbestabfälle	19.000
314 37	Asbeststaub	12.000
	Summe	>90.000

**Tab. 3: 1987 angefallene Mengen an asbesthaltigen Abfällen**

Eine bundesweite Mengenschätzung ist wegen der unterschiedlichen Sanierungstechnik und Deklarationspraxis sehr schwierig. Sicher ist lediglich, daß Asbestzementabfälle aus der Produktion zukünftig wegfallen.



Der Rohasbestverbrauch in der BRD stieg von 1950 mit < 50.000 t/a bis 1980 etwa auf rund 200.000 t/a. Seither sinkt er stark ab. Asbesthaltige Produkte liegen insgesamt in ihrem Mengenaufkommen rund eine Zehnerpotenz über den Rohasbestverbräuchen /38/.

Im Hochbau findet Asbest vor allem im Brandschutz, Schallschutz und Hitzeschutz Verwendung. Sanierungsbedürftige schwachgebundene Asbestprodukte sind Spritzasbest oder asbesthaltiger Spritzputz, Dichtungsschnüre, Kabelummantelungen usw.

Durch die Einstufung als starkes Carcinogen in der neuen Gefahrstoff-Verordnung ist eine verstärkte Sanierung asbestverseuchter Gebäude zu beobachten. Dabei fallen Spritzasbeste, abgesaugte und z.T. mit Beton verfestigte Asbeststäube an.

Besonders in den Ballungszentren ist künftig mit einer Vervielfachung der zu entsorgenden Mengen zu rechnen /39/. Den Hauptteil daran haben Asbestzementplatten, die nach entsprechender Vorbehandlung auf Hausmülldeponien entsorgt werden.

Großtechnisch erprobte Verwertungsverfahren für Asbest gibt es nicht. Im Labormaßstab werden Schmelzversuche zur Herstellung von Glasgranalien gemacht.

Die Deponierung von Asbest ist in die Kritik geraten, da der Verdacht besteht, daß über die Deponieausgasung eine Asbestausbreitung erfolgt /40/. Es ist deshalb mit einem verstärkten Druck auf eine untertägige Verbringung zu rechnen.

### 5.3.3 Kontaminierter Bauschutt und Bodenaushub

Kontaminierter Bauschutt und Bodenaushub bestehen i.w. aus den in Tab. 4 zusammengestellten Abfallarten.

Abfallschlüssel	Abfallart
314 23	ölverunreinigter Boden
314 24	sonstige Böden mit schädlichen Verunreinigungen
314 41	Bauschutt und Erdaushub mit schädlichen Verunreinigungen
399 09	sonstige Abfälle mineralischen Ursprungs mit schädlichen Verunreinigungen

**Tab. 4: Abfallschlüssel für kontaminiertem Bauschutt und Bodenaushub**

1987 sollen insgesamt rund 145.000 t angefallen sein, rund  $\frac{1}{4}$  davon Bauschutt und Erdaushub mit schädlichen Verunreinigungen.

Es mangelt z.Z. sowohl an hinreichend differenziertem statistischen Material über Altlasten als auch an der eindeutigen Zuordnung zu den Sanierungstechniken. Durch sie werden z.B. maßgeblich die Rückstandsmengen, deren Schadstoffgehalt sowie deren Deponierbarkeit bestimmt.

Deshalb können im Rahmen der Studie keine gesicherten Aussagen über die zukünftige Mengenentwicklung bei kontaminiertem Bauschutt und Bodenaushub sowie hinsichtlich der Kontaminationsarten getroffen werden.

Im Hinblick auf die überproportional schnell steigenden Entsorgungskosten können Bestrebungen nicht ausgeschlossen werden, zukünftig verunreinigte Böden oder Bauschutt auch ohne weitere Vorbehandlung nach unter Tage zu verbringen.

6. Bestandsaufnahme: Potential an untertägigen Hohlräumen für Entsorgungszwecke

In Deutschland gibt es eine Vielzahl untertägiger Hohlräume, die hauptsächlich als Folge des bergmännischen Abbaus von

- \* Salz
- \* Kohle
- \* Erz
- \* Gips
- \* Kalk

entstanden sind. Grundsätzlich könnten diese Hohlräume für Entsorgungszwecke genutzt werden.

Eine detaillierte Bestandsaufnahme zeigt, daß bundesweit Hohlräume in einer Größenordnung von rund 300 Mio. m<sup>3</sup> offen stehen (Tab. 5).

Bergwerke	Hohlraumvolumina [Mio m <sup>3</sup> ]			Anteil
	Bereich	Mittel	nutzbar	
<b>Salzbergwerke</b>	202 - 307	255	102	75%
* Steinsalzbergwerke	70 - 90	80	30	
* Kalisalzbergwerke	132 - 217	175	72	
<b>Kohlebergwerke</b>	4	4	0	0%
* Steinkohlebergwerke	4	4	0	
* Braunkohlebergwerke	0	0	0	
<b>Erzbergwerke</b>	21	21	21	15%
* Eisenerzbergwerke	6	6	6	
* NE-Erzbergwerke	15	15	15	
<b>Gipsbergwerke</b>	7 - 10	8,5	3	2%
<b>Kalkbergwerke</b>	15 - 20	17,5	11	8%
<b>Granitbergwerke</b>	0	0	0	0%
	248 - 362	306	137	100%

Tab. 5: Offene untertägige Hohlräume in Deutschland sowie die davon für Verbringungs-zwecke nutzbaren Volumina

Kurz- bis mittelfristig dürften davon fast 140 Mio m<sup>3</sup> für untertägige Verbringungs- zwecke nutzbar sein. Rund 75% dieses Hohlraumvolumens stehen in Salzformationen, der Rest im Erz (15%) sowie in Gips und Kalk (zusammen 10%).

In Kohlen- und Granitformationen gibt es in Deutschland praktisch keine offenen Hohlräume in vergleichbaren Größenordnungen.

Im folgenden werden die Untersuchungsergebnisse für die einzelnen Formationen detailliert dargestellt.

## 6.1 Salzbergwerke

In Deutschland werden Kali- und Steinsalzvorkommen aus dem Zechgestein bzw. aus dem Trias bergmännisch gewonnen.

### 6.1.1 Kalisalzbergwerke

Im deutschen Kalisalzbergbau werden überwiegend Sylvinit und Hartsalz, aber auch Carnallitit und carnallitisches Mischsalz abgebaut /41/.

In **Niedersachsen** liegen die ungestörten Kaliflöze in 2 bis 4 km Teufe. Bergbau wird deshalb ausschließlich auf sog. Salzstöcken betrieben, beispielsweise im Bereich großtektonischer Störungen, an denen die Kaliflöze nach oben gepreßt worden sind.

In den Salzstöcken stehen die Flöze z.T. sehr steil, weisen wechselnde Mächtigkeit auf und sind stark gefaltet. Abgebaut wird hauptsächlich im sog. Weitungsbau in Teufen zwischen 300 und 1.400 m.

In **Hessen, Thüringen** und **Sachsen-Anhalt** werden überwiegend flachgelagerte Flöze mit Mächtigkeiten von 1,5 bis 4 m hereingewonnen. Abgebaut wird in Teufen von 400 bis 900 m meist im sog. Kammerfestenbau oder im Pfeilerörterbau.

Grubengebäude und stützende Lagerstättenteile werden i.a. so dimensioniert, daß die über dem Salzlager anstehenden wasserabschirmenden Gesteinshorizonte ungestört bleiben. Andernfalls wäre ein Kalisalzbergwerk aufgrund der Löslichkeit des Rohstoffes unmittelbar von Wassereinbrüchen bedroht. Die Hohlräume in Kalisalzbergwerken sind deshalb i.d.R. standfest und stehen lange offen.

Tab. 6 zeigt die untertägige Hohlraumsituation in den Kalisalzbergwerken der alten und neuen Bundesländer.

In Hessen gibt es demnach insgesamt über 60 Mio m<sup>3</sup> offene Grubenräume. Sie sind als vergleichsweise standfest zu bezeichnen. Das derzeitige Deponiepotential der UTD Herfa-Neurode liegt bei rd. 2 Mio m<sup>3</sup>. Diese Deponie wird im Verbund mit Wintershall betrieben.

Die niedersächsischen Kalibergwerke werden aufgrund der o.a. Lagerstättenausbildung i.d.R. mit Versatz betrieben. Z.Z. gibt es auch Überlegungen, die Bergwerke Salzdetfurth und Maria Glück mit geeigneten Massengütern wie z.B. Bauschutt zu verfüllen.

Die beiden Kalisalzbergwerke in Sachsen-Anhalt weisen insgesamt ein Hohlraumpotential von rund 63 Mio m<sup>3</sup> auf. Davon sollen 11 Mio m<sup>3</sup> für Einlagerungszwecke nutzbar sein. Die übrigen Kalibergwerke im Bereich des Staßfurter Sattels, des Angertalgrabens und um Wilhelmshall stehen praktisch voll Wasser. Lediglich in den Bergwerken Brefeld und Wefersleben sollen noch Restvolumina von insgesamt rund 500.000 m<sup>3</sup> vorhanden sein.

In Thüringen gibt es 8 Grubenstandorte. Die nutzbaren Hohlräume wurden mit insgesamt fast 50 Mio m<sup>3</sup> angegeben. Insgesamt ist von offenen Hohlräumen im Volumenbereich von etwa 80 bis 100 Mio m<sup>3</sup> auszugehen.

In Fachkreisen wird z.Z. eine Versatzpflicht für Salzbergwerke erwogen. In der ehemaligen DDR wurde mit deutlich geringeren Stützflächenanteilen als z.B. in den alten Bundesländern abgebaut.

	Bergwerk	Bundesland *	Status **	Hohlraum [Mio m <sup>3</sup> ] ***	
				gesamt	nutzbar
1	Herfa-Neurode	H	-	2	2
2	Wintershall	H	+	25	k.A.
3	Neuhof-Ellers	H	+	10	k.A.
4	Hattorf	H	+	25	k.A.
5	Bergmannsseggen Hugo	NS	+	V	V
6	Hildesia	NS	o	10	k.A.
7	Niedersachsen/Riedel	NS	+	V	V
8	Salzdetfurth	NS	+	12	12
9	Maria Glück	NS	-	4	4
10	Siegfried Giesen	NS	-	V	V
11	Sigmundshall	NS	+	V	V
12	Teutschenthal	SA	-	13	6
13	Zielitz	SA	+	50	5
14	Merkers/Springen	T	+	50	8
15	Untereibrebach	T	+	k.A.	k.A.
16	Bischofferode	T	+	k.A.	7
17	Bleicherode	T	-	k.A.	3
18	Sondershausen	T	-	k.A.	6
19	Sollstedt	T	-	k.A.	13
20	Roßleben	T	-	30	8
21	Volkenroda	T	-	k.A.	2
*	H	Hessen	**	+	in Betrieb
	NS	Niedersachsen		-	stillgelegt
	SA	Sachsen-Anhalt		o	ruhend
	T	Thüringen			
			***	V	Versatz
				k.A.	keine Angaben
<b>Tab. 6: Untertägige Hohlraumsituation in den Kalisalzbergwerken der alten und neuen Bundesländer</b>					

Außerdem sind alle übrigen Kalibergwerke - mit Ausnahme des Verbundbergwerkes Merkers/Springen - von Gebirgsschlägen durch eingespanntes CO<sub>2</sub> oder explosives CH<sub>4</sub> bedroht. Z.Z. besteht nur für das Bergwerk Untereibrebach eine Versatzverpflichtung. Dort sind durch den Abbau von Carnallitkappen 60 bis 80 m hohe Hohlräume vom Einsturz bedroht.

Konservativ geschätzt gibt es in Deutschland insgesamt rund 200 Mio m<sup>3</sup> offene Gruben-

räume in Kaliformalionen. Etwa  $\frac{2}{3}$  davon befinden sich in den neuen Bundesländern.

### 6.1.2 Steinsalzbergwerke

In Deutschland wird überwiegend Steinsalz (NaCl) aus flachgelagerten, mächtigen Steinsalzlagerm des Zechstein und des Trias bergmännisch gewonnen.

Das typische Abbaufverfahren ist der Kammerfestenbau mit bis zu 40 m Höhe und 200 m Länge in Teufen von 400 bis 900 m (Zechstein) bzw. 200 m (Trias). Dadurch werden vergleichsweise große Abbauhohlräume hergestellt.

Die durchschnittlichen Abbauverluste betragen - wie im Kali - etwa 50%. Wegen der hohen Standfestigkeit des Steinsalzes kann der Abbau i.a. versatzlos betrieben werden.

Tab. 7 zeigt die untertägige Hohlräume-situation in Steinsalzformationen.

	Bergwerk	Bundesland *	Status **	Hohlraum [Mio m <sup>3</sup> ] ***	
				gesamt	nutzbar
1	Heilbronn	BW	+	25	2
2	Kochendorf	BW	+	10	k.A.
3	Stetten	BW	+	10	k.A.
4	Berchtesgarden	BY	+	k.A.	k.A.
5	Braunschweig-Lüneb.	NS	+	4	k.A.
6	Riedel	NS	+	4	k.A.
7	Borth	NRW	+	k.A.	k.A.
8	Bernburg	SA	+	20	4
<p>* BW Baden-Württemberg          BY Bayern          NS Niedersachsen          NRW Nordrhein-Westfalen          SA Sachsen-Anhalt</p> <p>** + in Betrieb          - stillgelegt          o ruhend</p> <p>*** V Versatz          k.A. keine Angaben</p>					
<p><b>Tab. 7: Untertägige Hohlräume-situation in den Steinsalzbergwerken der alten und neuen Bundesländer</b></p>					

Konservativ geschätzt liegen in Deutschland in Steinsalzformationen insgesamt rund 70 bis 90 Mio m<sup>3</sup> offene Grubenräume vor. Etwa  $\frac{1}{4}$  davon befinden sich in den neuen Bundesländern.

## 6.2 Kohlebergwerke

### 6.2.1 Steinkohlenbergwerke

Steinkohle wird in Deutschland fast ausschließlich im Tiefbau hereingewonnen. Abgebaut werden 1 bis 4 m mächtige Steinkohlenflöze aus dem Obercarbon, die bis zu 20-fach in Teufen zwischen 500 und 1.400 m anstehen.

Je nach Abbauregion kann das Kohlengebirge zu Sätteln und Mulden aufgefaltet und zusätzlich durch Bruchtektonik stark gestört sein. Steinkohle und Nebengesteine (z.B. toniger und sandiger Schiefer, Sandstein, etc.) haben nur eine relativ geringe Standfestigkeit. Bergmännisch hergestellte Hohlräume müssen deshalb künstlich, d.h. mit Ausbau, offen gehalten werden.

Die Aus- und Vorrichtungsbaue (Schächte, Richtstecken, Querschläge etc.) werden dabei bevorzugt im standfesteren Nebengestein aufgefahren. Herrichtungsbaue und Abbauhohlräume sind dagegen vergleichsweise kurzlebig.

Das typische Abbauverfahren für Steinkohlenflöze ist der Strebbau an langer Front (bis 300 m). Er wird überwiegend als Bruchbau betrieben. Unmittelbar hinter dem Strebraum brechen dabei die Hangendschichten herunter. In Verbindung mit dem fortschreitenden Abbaubetrieb kommt es zu einer Auffächerung der Hangendschichten und zu einer dynamischen Gebirgsbeanspruchung. Dadurch kann u.a. Grubengas (CH<sub>4</sub>) in erheblichen Mengen freigesetzt werden.

Die Folge des Bruchbaus sind innere Bergschäden, z.B. auf weiter oben liegenden Sohlen, sowie äußere Bergschäden an der Tagesoberfläche.



Die bergmännisch hergestellten Hohlräume stehen kurze Zeit nach ihrer Herstellung praktisch nicht mehr offen (von nicht begehbaren Hohlräumen zwischen dem Bruchhaufwerk abgesehen).

Ein stillgelegtes Steinkohlenbergwerk weist deshalb offene Grubenräume i.d.R. nur noch im Hauptstreckennetz und im Schacht auf, sofern das Eindringen von Wasser durch Pumparbeit verhindert wird. Bei einem durchschnittlichen Kohlebergwerk liegt dieses Hohlraumvolumen insgesamt etwa im Bereich von 120.000 bis 150.000 m<sup>3</sup>. Im Verhältnis zu den im Gewinnungsbetrieb jährlich hergestellten Abbauräumen von ca. 2 Mio m<sup>3</sup> ist dieses Hohlraumvolumen vergleichsweise gering.

In Deutschland wird Steinkohle heute noch in 27 Bergwerken des Ruhr-, Saar-, Ibbenbürener- und Aachener-Reviers abgebaut. Alle offenstehenden Hohlraumvolumina dürften zusammengenommen in der Größenordnung von 2-4 Mio m<sup>3</sup> liegen.

Solange ein Bergwerk betrieben wird, stehen seine Hohlräume für Entsorgungszwecke praktisch nicht zur Verfügung. Stillliegende Bergwerke, die keine Nachsorge erfahren, wie z.B. die Pechkohlenbergwerke in Bayern, weisen sehr schnell auch im Hauptstreckennetz kaum noch nutzbaren Hohlraum auf.

Dies gilt auch für den Steinkohlenaltbergbau in Sachsen-Anhalt, Brandenburg und Niedersachsen. Aus vergangenen Bergbauzeiten bestehen dort noch hunderte von Schächten und Stollen, möglicherweise auch vereinzelt untertägige Grubenräume. Sie befinden sich in geringer Teufe (bis maximal 100 m) und liegen deshalb im Grundwasserhorizont. Nennenswerte offene Hohlraumvolumina sind nicht mehr zu erwarten. Darüberhinaus sind die Zugänge im Rahmen der Bergsicherungsmaßnahmen zum größten Teil verschlossen und verfüllt.

### 6.2.2 Braunkohlenbergwerke

Braunkohle wird in Deutschland fast ausschließlich im Tagebau gewonnen. Sie stammt aus dem Tertiär und steht z.T sehr oberflächennah an.

Abgebaut wird in den Revieren Lausitz, Rheinland, Mitteldeutschland sowie Helmstedt, Hessen und Bayern.

In früheren Zeiten gab es - hauptsächlich im heutigen Brandenburg, in Sachsen und Sachsen-Anhalt - auch eine Vielzahl von Tiefbaubetrieben. Gewonnen wurde die Braunkohle in geringen Teufen zwischen 20 und 80 m.

Heute sind diese Hohlräume praktisch nicht mehr nutzbar. Die Ursachen dafür liegen einerseits im damals eingesetzten Abbauverfahren (Pfeilerbruchbau). Andererseits liegen die Gruben im Grundwasserhorizont.

Es gibt jedoch noch Resthohlräume, die immer wieder zu Tagesbrüchen führen. Daher werden sie insbesondere in Brandenburg und Sachsen-Anhalt im Rahmen der Bergsicherung mit Sanden, Kiesen und Kraftwerksaschen verfüllt.

Außerdem stehen insbesondere in Brandenburg heute noch rund 300 km kleinerer Strecken (4 m<sup>2</sup>) in Teufen von 50 bis 100 m. Es handelt sich dabei um ehemalige Entwässerungsstrecken für die Tagebaue. Auch diese Strecken werden bei Bedarf verfüllt.

In Bayern und Rheinland-Pfalz sind vereinzelt Stollenbetriebe auf Braunkohle bekannt, die teilweise noch offen stehen. Nennenswerte Hohlräume gibt es dort nicht. Teilweise werden die ehemaligen Bergwerke zur Wassergewinnung genutzt.

Das letzte fördernde deutsche Braunkohlenbergwerk befindet sich in Hessen. Es ist die Zeche Hirschberg, die in Verbindung mit einem stillgelegten Braunkohlentagebau betrieben wird. Die Braunkohle wird im Bruchbau (Weitungsbaue/Streifenbau) in einer Teufe bis 150 m hereingewonnen. Aufgrund der Kurzlebigkeit der Abbauräume stehen auch hier keine größeren Hohlräume offen.

## 6.3 Erzbergwerke

### 6.3.1 Eisenerzbergwerke

Eisenerzbergbau hat in Deutschland lange Tradition. Es gab eine Vielzahl von kleinen Stollen und Tiefbaubetrieben z.B. im Lahn-Dill-Gebiet, in der Oberpfalz und im Harz. Mit der abnehmenden Bedeutung des Eisenerzbergbaus ging auch die Anzahl der Bergwerke sehr zurück. Dennoch gab es Anfang der sechziger Jahre immerhin noch rund 60 Eisenerzgruben überwiegend im Siegerländer Raum, in der Oberpfalz und im Weser-Wiehen Gebirge /41/.

Im Siegerländer Raum sind die letzten Eisenerzbergwerke Mitte der sechziger Jahre stillgelegt worden. Das Erz wurde hier überwiegend oberflächennah hereingewonnen. Es gab aber auch Tiefbaubetriebe bis etwa 100 m. Das Erz stand z.T. als Gang an. Abgebaut wurde mit und ohne Versatz.

In Sachsen-Anhalt hatten sich z.T. aus Tagebauen Stollenbetriebe in Teufen von 50 bis 320 m entwickelt. Die letzten Eisenerzbergwerke sind dort in den siebziger Jahren stillgelegt worden. Ihre Hohlräume stehen z.T. noch offen und werden als Schaubergwerk (Grube Büchenberg) oder Trinkwasserreservoir (Büchenberg und Braunes Sumpf) genutzt.

Ende der achtziger Jahre wurden die letzten Eisenerzbergwerke in Bayern stillgelegt, z.B. die Bergwerke Auerbach und Leonie um die Max-Hütte. Das Erz wurde dort auf mehreren Teilsohlen in Teufen von 120 bis 250 m im Bruchbau hereingewonnen.

In Deutschland gibt es z.Z. nur noch ein einziges förderndes Eisenerzbergwerk. Es ist die Grube Wohlverwahrt-Nammen am Nordhang des Wesergebirges. Dort wird eisen-schüssiger Kalk im Örterbau hereingewonnen. Der Abbau wurde ursprünglich versatzlos gefahren. Es stehen deshalb heute Hohlraumvolumina von rd. 6 Mio m<sup>3</sup> offen. In jüngerer Zeit wurde mit der Verfüllung der älteren Teile des Grubengebäudes begonnen, um die vergleichsweise schlanken Pfeiler zu stützen.

Insgesamt stehen demnach in Deutschland Hohlraumvolumina von rund 6 Mio m<sup>3</sup> im Eisenerzbergbau offen. Mit der Verfüllung (bergmännischen Versatz) wurde bereits begonnen.

In den übrigen deutschen Eisenerzregionen wird nicht mehr abgebaut. Die bergmännisch gewonnenen Hohlräume in hunderten von kleinen Stollen und Tiefbaugruben sind praktisch nicht weiter nutzbar. Wenn die Hohlräume nicht verfüllt sind, stehen sie doch mindestens in Wasser. Dies gilt auch für die größeren ehemaligen Tiefbaubetriebe, wie z.B. Leonie, Auerbach in Bayern sowie die Stollenbetriebe in Sachsen-Anhalt.

### 6.3.2 NE-Erzbergwerke

Auch der NE-Erzbergbau hat in Deutschland jahrhundertelange Tradition gehabt. Zuletzt wurden hauptsächlich Blei- und Zinkerze, Uranerz, Schwefel- und Magnetkiese, aber auch Kupfer- und Zinnerze sowie Edelmetalle abgebaut. Klassische Abbaugebiete waren das Erzgebirge, der Harz, der Schwarzwald, die Eifel, etc.

So unterschiedlich wie die abgebauten Metallerze waren auch die jeweiligen Lagerstättenverhältnisse und Abbauverfahren. Charakteristisch war eine Ausbildung der Lagerstätte als Gang. Abgebaut wurde in Teufen zwischen 100 und 800 m meist im Teilsohlenpfeilerbruchbau. Das umgebende Gebirge war i.a. standfest aber wasserführend. Offene Hohlräume füllten sich deshalb relativ schnell mit Wasser, wenn keine Nachsorge erfolgte. Es gibt deshalb aus altem NE-Erzbergbau praktisch kaum noch offenes Hohlraumvolumen. Allenfalls sind offene Hohlräume nur in noch betriebenen oder kürzlich stillgelegten Bergwerken zu erwarten.

Tab. 8 zeigt die ermittelte Hohlraumsituation in NE-Erzbergwerken der alten und neuen Bundesländer.

	Bergwerk	Bundesland	Status *	Hohlraum [Mio m <sup>3</sup> ]
1	Uranerz	Sachsen Thüringen	- -	10
2	Blei- und Zinkerz	Niedersachsen	-	2
3	Schwefel- und Magnetkies	Sachsen-Anhalt NRW	- -	2 1
* - stillgelegt				
<b>Tab. 8: Untertägige Hohlräume in NE-Erzbergwerken der alten und neuen Bundesländer</b>				

Ab Ende 1992 wird voraussichtlich in Deutschland kein NE-Metallerzbergwerk mehr betrieben. Die dann noch offenen Hohlräume von insgesamt rund 15 Mio m<sup>3</sup> dürften ohne entsprechende Nachsorge nur noch mittelfristig zur Verfügung stehen, da sie sonst voll Wasser laufen.

Rund  $\frac{2}{3}$  des Hohlraumpotentials steht in Uranerzbergwerken in Thüringen an. Es handelt sich dabei um die Bergwerke Drosen/Beerwalde und Schmirchau/Paitzdorf der ehemaligen SDAG Wismut. Dort wurde auf mehreren Sohlen in Teufen bis zu 800 m im Firstenstoßbau Uranerz gewonnen. Der Abbau erfolgte weitgehend mit Versatz. Heute stehen noch rund 600 km des weitläufigen Streckennetzes offen.

Der Uranerzbergbau wurde mittlerweile stillgelegt. Als bergmännische Verwahrungsmaßnahmen sind i.w. Flutung und Versatz vorgesehen. Diese Maßnahmen dürften bis Ende der neunziger Jahre abgeschlossen sein.

Auch in Sachsen gibt es Uranerzbergwerke der ehemaligen SDAG Wismut. Sie sind prinzipiell mit denen in Thüringen vergleichbar, weisen jedoch geringere Teufen von 150 bis 500 m auf. Im einzelnen handelt es sich um die Bergwerke Aue/Pöhla und Königstein/Agatz. Auch für diese Bergwerke gibt es Flutungs- und Fremdnutzungskonzepte. Deponiemaßnahmen oder bergmännischer Versatz wird allerdings für die sächsischen Uranerzbergwerke z.Z. nicht erwogen.

Das Metallerz- und Schwefelkiesbergwerk Meggen und das Erzbergwerk Bad Grund sollen 1992 stillgelegt werden. Nach Angaben der Betreiber stehen dort noch insgesamt rund 3 Mio m<sup>3</sup> Hohlräume offen. Diese Hohlräume müssen allerdings im Rahmen von Abschlußarbeiten mindestens teilweise verfüllt werden (vgl. Kap. 3.2.1).

In jüngster Zeit wurde auch das Schwefel- und Magnetkiesbergwerk Elbingerode (Harz) stillgelegt. Aus gebirgsmechanischen Gründen besteht dort eine Versatzpflicht für ungefähr 2 Mio m<sup>3</sup> offenen Hohlraum (vgl. Kap. 3.2.1).

#### **6.4 Gipsbergwerke**

In Deutschland werden Gipslager aus dem Muschelkalk und dem Zechstein bergmännisch abgebaut.

Weit verbreitet sind Pfeilerörter- oder Kammerfestenbau mit Zugang über einen Schrägstollen. Häufig ist der Tiefbau aus einem ehemaligen Gipstagebau hervorgegangen. Gipsbergwerke sind meist völlig trocken, da sie sich oberhalb des Grundwasserhorizontes befinden. Gelegentlich gibt es auch Gipsbergwerke, die teilweise im Wasser stehen.

Im Vergleich zu anderen Tiefbaubetrieben, wie z.B. Salzbergwerken, wird Gips lagerstättenbedingt relativ oberflächennah abgebaut. Die üblichen Überdeckungen liegen zwischen 20 und 150 m.

In Deutschland werden z.Z. noch 9 Gips- und Anhydritbergwerke betrieben. Sie befinden sich ausschließlich in den alten Bundesländern. Bundesweit soll es knapp 20 bereits stillgelegte Tiefbaue auf Gips geben.

Tab. 9 zeigt die offenstehenden Hohlraumvolumina in Gipsformationen der alten und neuen Bundesländer.

	Bergwerk	Bundesland *	Status **	Hohlraum [Mio m <sup>3</sup> ]
1	Obrigheim	BW	+	1
2	Hüttenheim	BY	+	3
3	Salzheim	BY	-	2
4	Lamerden	H	+	1
5	Nordhausen	T	-	0,5
*	BW Baden-Württemberg	**	+	in Betrieb
	BY Bayern		-	stillgelegt
	H Hessen		o	ruhend
	T Thüringen			
<b>Tab. 9: Untertägige Hohlräume in Gipsbergwerken der alten und neuen Bundesländer</b>				

Außer den in Tab. 9 aufgeführten Hohlräumen gibt es an anderen Standorten auch noch weitere Hohlräume mit jeweils nur wenigen zehntausend m<sup>3</sup>. Bundesweit dürften in Gipsbergwerken demnach Hohlräume in der Größenordnung von 7 bis 10 Mio m<sup>3</sup> offen stehen.

Teilweise werden die Hohlräume schon zur Deponierung von Kraftwerksreststoffen genutzt, wie z.B. in Obrigheim. Andere Standorte (z.B. Lamerden) wurden diesbezüglich untersucht und als nicht geeignet eingestuft.

Einer Nutzung von untertägigen Hohlräumen in Gipsbergwerken zu Deponiezwecken stehen regelmäßig zwei Gründe entgegen: ihre Oberflächennähe sowie die leichte Auslaugbarkeit der Lagerstätte. Zur Ablagerung von geringer gefährlichen Stoffen könnten sie jedoch u.U. geeignet sein.

## 6.5 Kalkbergwerke

Der untertägige Kalkbergbau ist dem Gipsbergbau bergmännisch verwandt. In Deutschland wird er oberflächennah in kammerartiger Abbauweise durchgeführt. Häufig haben sich Kalkbergwerke als Stollenbetrieb aus einem ehemaligen Tagebau entwickelt.

In den alten und neuen Bundesländern werden z.Z. noch 7 Kalkbergwerke betrieben. Fast 20 Kalk-, Dolomit- und Marmorbetriebe wurden bereits stillgelegt. Nennenswerte Hohlraumvolumina bestehen vor allem im Saarland und in Rheinland-Pfalz (Tab. 10).

	Bergwerk	Bundesland *	Status **	Hohlraum [Mio m <sup>3</sup> ]
1	Malerpertus	H	-	0,1
2	Wellen	RP	+	4
3	Auersmacher	SL	+	4
4	Gersheim	SL	+	7
5	Hermsdorf	S	+	0,5
6	Lengefeld	S	+	1
7	Oberscheida	S	+	0,5
8	Unterwiesenthal	S	+	0,5
*	H Hessen	**	+	in Betrieb
	RP Rheinland-Pfalz		-	stillgelegt
	SL Saarland		o	ruhend
	S Sachsen			
<b>Tab. 10: Untertägige Hohlraumsituation in Kalkbergwerken der alten und neuen Bundesländer</b>				

Bundesweit liegt das offene Hohlraumvolumen im Kalkgestein bei etwa 15 - 20 Mio m<sup>3</sup>. Für einige Bergwerke werden nachträgliche Versatzmaßnahmen diskutiert. Als Standorte für Untertagedeponien sind Kalkbergwerke i.a. aus denselben Gründen wie Gipsbergwerke ungeeignet.



## 6.6 Granitbergwerke

In Deutschland gibt es im Gegensatz zum europäischen Ausland keine untertägige Gewinnung von Granit.

Trotzdem existieren bergmännisch gewonnene Hohlräume in Granitformationen, z.B. im Uranerzbergwerkes Aue/Pöhla (Sachsen), im Edelmetallbergwerk Angelika (Hessen) sowie in einzelnen Spatbergwerken.

Charakteristisch für diese Hohlräume ist ihre Standfestigkeit, aber auch ihre Feuchte. Für Deponiezwecke dürften Hohlräume in Granitformationen deshalb in Deutschland ungeeignet sein.

## 6.7 Bergwerke in sonstigen Formationen

Außer den bereits aufgeführten Mineralien werden in Deutschland auch noch eine Reihe anderer Rohstoffe unter Tage abgebaut, z.B. Ton, Fluß- und Schwerspate, Schiefer, Natursteine, etc.

Die dabei hergestellten Hohlräume liegen i.d.R. in geringer Teufe im Grundwasserhorizont. Für untertägige Entsorgungszwecke sind sie i.a. nicht nutzbar.

Außerdem haben diese Hohlräume meist relativ geringe Volumina. Ein nennenswerter Beitrag zur untertägigen Entsorgungskapazität ist daher von ihnen nicht zu erwarten. Im Einzelfall könnte die Hereinnahme von bergbaufremden Stoffen als Versatzmaterial in Betracht kommen.

Eine Besonderheit stellen die Tonbergwerke dar. Sie standen als Deponiewirtsgestein zur Diskussion. Aufgrund ihrer geringen Wasserdurchlässigkeit und hohen Plastizität könnte in Hohlräumen in Tonformationen theoretisch das Prinzip des vollständigen Einschlußes realisiert werden.

Allerdings müßten diese Hohlräume eigens für Abfallablagerungszwecke hergestellt und unverzüglich verfüllt werden. Wegen der relativ geringen Mächtigkeit der Lagerstätten könnten an einem hypothetischen Deponiestandort auch nur wenige 100 bis 1.000 t/a deponiert werden. Aus diesem Grunde werden Tonformationen mengenmäßig keine besondere Bedeutung für die untertägige Entsorgung haben.

## 6.8 Übersicht über die regionale Verteilung der untertägigen Hohlräume sowie über den Hohlraumzuwachs

Die regionale Verteilung der offenen untertägigen Hohlraumpotentialie ist in Abb. 8 dargestellt.

Es zeigen sich deutliche Schwerpunkte in den Bundesländern

*	Thüringen	(rund 90 Mio m <sup>3</sup> )
*	Sachsen-Anhalt	(rund 85 Mio m <sup>3</sup> )
*	Hessen	(rund 65 Mio m <sup>3</sup> )

Auch in Baden-Württemberg (rund 45 Mio m<sup>3</sup>) und Niedersachsen (rund 35 Mio m<sup>3</sup>) liegen erhebliche offene untertägige Hohlraumvolumina vor.

Praktisch keine Hohlräume gibt es in

*	Berlin
*	Hamburg
*	Bremen
*	Brandenburg
*	Mecklenburg-Vorpommern und
*	Schleswig-Holstein.

Durch bergbaulichen Gewinnungsbetrieb werden stetig neue Hohlräume hergestellt. Der nutzbare Hohlraumzuwachs in Deutschland beträgt z.Z. etwa 25 Mio m<sup>3</sup>/a.

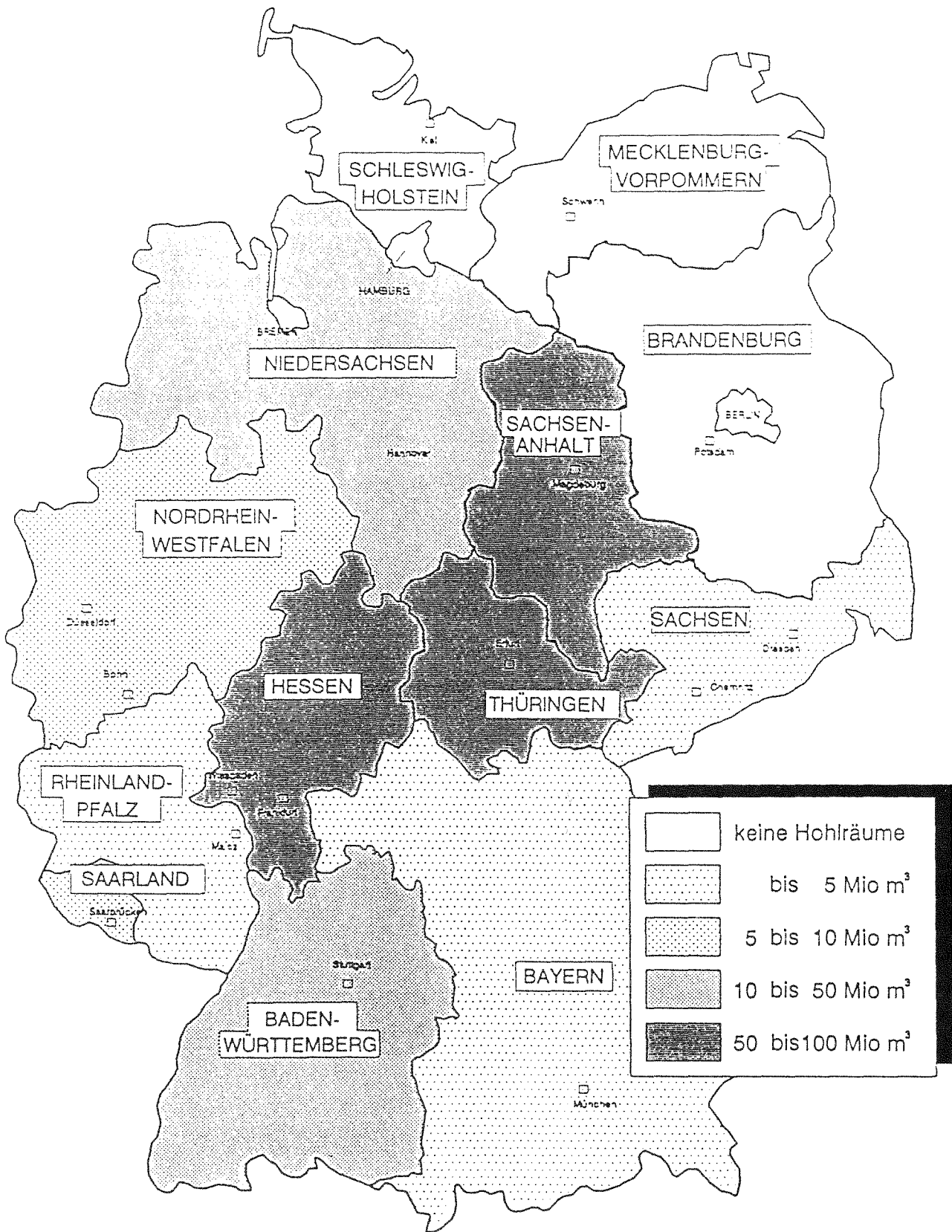
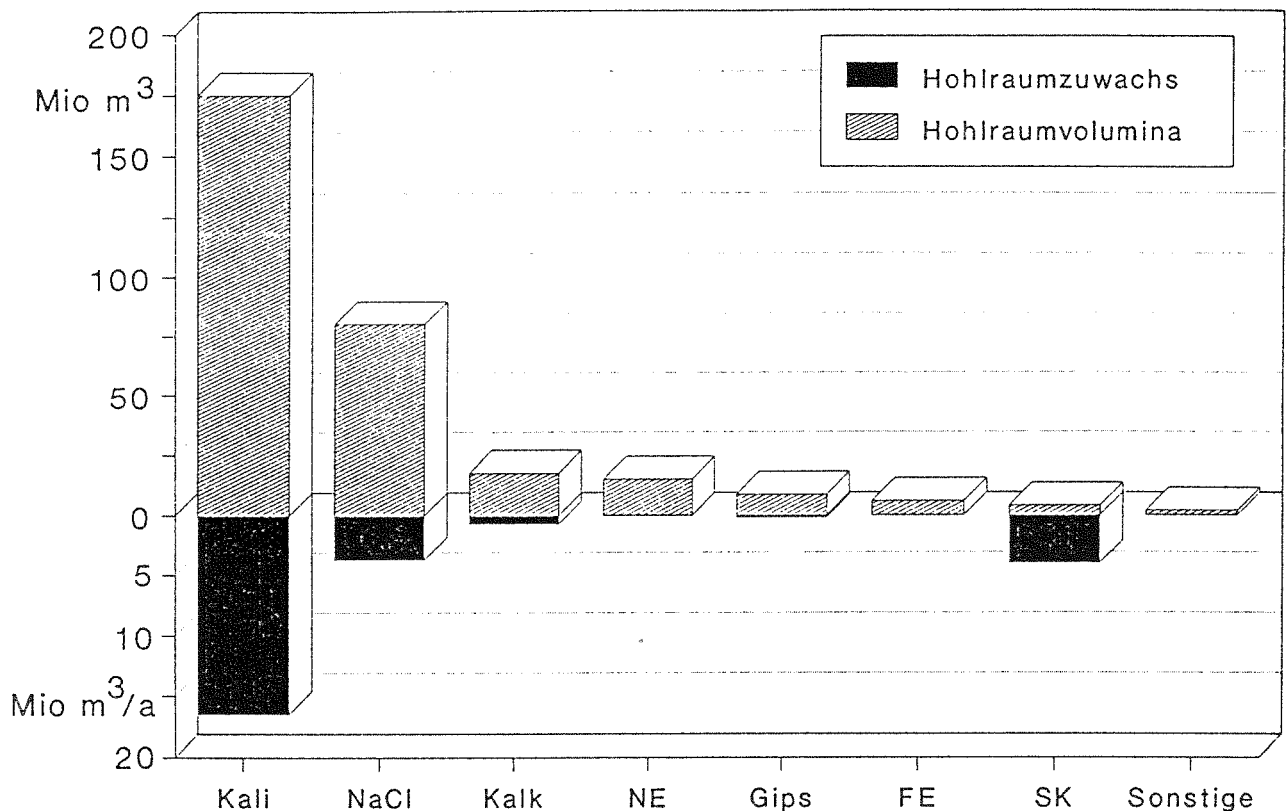


Abb. 8: Regionale Verteilung der offenen untertägigen Hohlräumpotentiale in Deutschland



**Abb. 9: Offene untertägige Hohlraumvolumina und jährlicher Hohlraumzuwachs, differenziert nach Formationen**

Die Verteilung des Zuwachses an untertägigen Hohlräumen auf die einzelnen Formationen ist in Abb. 9 dargestellt.

Rund 80% des gesamten Zuwachses werden auf Salzformationen entfallen. Die erwartete Reduzierung der Kaliförderung sowie der Steinsalzförderung um mehr als 20% sind dabei bereits berücksichtigt.

Im Steinkohlenbergbau werden bei einer jährlichen Rohförderung von über 120 Mio t erhebliche Hohlraumvolumina hergestellt. Sie sind jedoch sehr kurzlebig und nur unter bestimmten Voraussetzungen für Verbringungsmaßnahmen nutzbar. In Fachkreisen geht

man davon aus, daß jährlich rund 4 Mio m<sup>3</sup> an nutzbarem Hohlraumvolumen neu entsteht /14/.

Die jeweiligen Hohlraumzuwächse in allen anderen Formationen sind dagegen vernachlässigbar gering.

In Kalk- und Gipsstein dürften es jährlich höchstens 1 Mio m<sup>3</sup> sein, da bundesweit die Gewinnung im Tagebau überwiegt.

Eisenerzbergbau wird nur noch am Standort Wohlverwahrt-Nammen betrieben. Die jährliche Förderung liegt bei etwa 80.000 t Erz.

NE-Metallerzbergbau wird es in Deutschland mit Ablauf des Jahres 1992 nicht mehr geben.

## 7. Abschätzung: Zukünftige Entwicklung der untertägigen Entsorgung

In Deutschland wurden bisher rund 15 Mio t bergbaufremder Stoffe nach unter Tage verbracht. Ganz überwiegend (über 90%) dienten diese Stoffe Verfüll- und Versatzzwecken.

Nur die vergleichsweise geringere Stoffmenge von weniger als 1,5 Mio t wurde als Abfall untertage deponiert (Anhang 6), der überwiegende Teil davon (rund 1 Mio t) in Herfa-Neurode.

Untertägige Verbringung umfaßt begrifflich sowohl die untertägige Verwertung von Reststoffen als auch die untertägige Entsorgung (Deponierung) von Abfällen. Diese Verbringungsarten können i.d.R. an einem konkreten untertägigen Standort nur alternativ und auf unterschiedlicher Rechtsgrundlage (Deponierung nach AbfG, Verwertung nach BBergG) eingerichtet werden.

Einige Stoffarten können jedoch aufgrund ihres dualen Charakters sowohl untertägig verwertet als auch deponiert werden. Wenn dieser Freiraum vorhanden ist, setzt sich in der Praxis regelmäßig die für den Stoffbesitzer wirtschaftlich günstigste Verbringungsvariante durch.

Die Entwicklung der untertägigen Entsorgung und die Bedeutung der z.T. damit konkurrierenden Verwertungsalternativen werden ganz entscheidend von folgenden Einflußgrößen bestimmt:

- \* Entwicklung des Mengenaufkommens an besonders überwachungsbedürftigen Abfällen mit Präferenz für untertägige Deponierung
- \* Umfang der stoffspezifischen Überschneidungen von Verwertung und Ablagerung
- \* Verfügbarkeit des für untertägige Entsorgung geeigneten Hohlraumpotentials
- \* Genehmigungs- und Zulassungsprozeduren bzw. deren tatsächliche formale, inhaltliche und terminliche Abwicklung.

## 7.1 Untertägige Verwertung

In der deutschen Umweltgesetzgebung ist der Vorrang der Verwertung vor der Entsorgung festgeschrieben. Für einige Stoffarten mit ausgeprägtem Dualismus Abfall/Reststoff wird damit alternativ die Möglichkeit einer untertägigen Verwertung eröffnet.

In der Praxis wird diese Möglichkeit intensiv genutzt. Stets ist dabei als Grundkonstellation das gleichzeitige Vorhandensein von rechtlichen Freiräumen, Entledigungsabsichten auf der einen und Verwertungsmöglichkeiten auf der anderen Seite festzustellen. Im Endergebnis kommt dadurch stets eine zumindest für alle direkt Beteiligten wirtschaftlich günstige Lösung zustande.

Hauptsächlich liegen diesem Handeln als Motive

- \* Sicherung des Rohstoffabsatzes durch eine Rücknahmegarantie für bestimmte Rückstände
- \* Vermeidung von Bergschäden

zugrunde. Darunter ist im einzelnen folgendes zu verstehen:

- \* **Sicherung des Rohstoffabsatzes durch eine Rücknahmegarantie für bestimmte Rückstände**

Bei der Verarbeitung von Steinsalz z.B. in der chemischen Industrie oder bei der Verbrennung von Stein- und Braunkohle z.B. in Kraftwerken entstehen Rückstände, die nicht ohne weiteres oberirdisch verwertet oder deponiert werden können. In diesen und vergleichbaren Fällen können die fördernden Bergwerksunternehmen langfristige Abnahmeverträge praktisch nur noch abschließen, wenn sie die Rücknahme der Rückstände garantieren. Damit sichern die Bergwerke den Absatz ihrer Rohstoffe und lasten gleichzeitig ihren Gewinnungsbetrieb aus.

Dieser Trend dürfte sich in Zukunft verstärkt fortsetzen. Auswirkungen auf die untertägige Entsorgung werden hauptsächlich von Steinkohlenverbrennungsrückständen und kontaminierten Steinsalzzrückständen erwartet.

Rückstände aus der Verbrennung von Braunkohle werden praktisch keine Rolle spielen. Diese Rückstände werden überwiegend in ausgekohlten Tagebauen oberirdisch deponiert.

#### \* Vermeidung von Bergschäden

Der überwiegende Anteil bergbaufremder Stoffe wird zur Vermeidung von Bergschäden nach untertage verbracht.

Die Notwendigkeit zum Versatz offenstehender Hohlräume besteht überwiegend bei älteren Bergwerken. In den vergangenen Jahrzehnten hat sich die Auffassung über gebirgsmechanische Sicherungsmaßnahmen geändert. Früher wurde üblicherweise mit hohen spezifischen Ausbringungsraten abgebaut. Der Anteil der Stützflächen war dabei entsprechend gering. In neuerer Zeit wird mit größerer Sicherheit abgebaut und z.T. sofort versetzt.

Es gibt deshalb vielerorts die Notwendigkeit, alte Hohlräume nachträglich bzw. neue Hohlräume parallel zum Gewinnungsbetrieb zu verfüllen.

Die Bergwerke in den neuen Bundesländern tragen in diesem Sinne an einer "Altlast". Zur Erfüllung bergwirtschaftlicher Planvorgaben wurden die Lagerstätten extrem ausgebeutet. Als Folge dieses Raubbaues sind bruchartige Verformungen und schlagartige Gebirgsentspannungen an einzelnen Standorten nicht auszuschließen.

Nach der Wiedervereinigung wurde eine Vielzahl von Bergwerken überwiegend aus wirtschaftlichen Gründen stillgelegt. Viele ursprünglich auf harmonische Absenkungen ausgelegte Gewinnungsmaßnahmen konnten deshalb nicht mehr geordnet zu Ende geführt werden. Damit wächst die Gefahr unerwünschter Spannungszustände im Gebirge, insbesondere an den Randbereichen der Gruben.



In Deutschland existiert z.Z. insgesamt ein untertägliches Hohlraumvolumen von rund 300 Mio m<sup>3</sup>. Der überwiegende Teil befindet sich in den neuen Bundesländern. Es muß davon ausgegangen werden, daß ein erheblicher Anteil dieser Hohlräume aus gebirgsmechanischen Gründen zu verfüllen ist. Daraus würde eine starke Zunahme der Versatzaktivitäten resultieren.

Umfangreiche Versatzmaßnahmen erfordern große Mengen bergtechnisch geeigneter Verfüllstoffe. Außerdem sind dazu ganz erhebliche finanzielle Mittel erforderlich. Abraumhalden, die es an vielen Grubenstandorten gibt, sind i.d.R. kein ideales Versatzmaterial. Meistens wäre eine kostenaufwendige Vorbehandlung und Aufbereitung erforderlich.

Aus diesen Gründen werden von Bergbauunternehmen zunehmend bergbaufremde Stoffe verbracht, für die sie auf dem Entsorgungsmarkt hohe Abnahmepreise erzielen können. Besonders günstig sind z.B. die Preise für Rückstände aus der Müllverbrennung. Sie liegen z.Z. zehn- bis zwanzigfach höher als die Annahmepreise für Reststoffe aus der Verbrennung fossiler Energieträger.

Müllverbrennungsrückstände fallen in vergleichsweise großen Mengen an. Trotz ihres Gefahrenpotentials sind sie für spezielle Anwendungen untertage einsetzbar, z.B. als Bergbaumörtel.

In Zukunft dürfte sich die bereits heute erkennbare Tendenz zur untertägigen Verwertung von Müllverbrennungsrückständen noch weiter verstärken.

## 7.2 Kapazitäten und Planungen für untertägige Verbringung

Bundesweit ist an 16 Grubenstandorten insgesamt eine untertägige Verbringungskapazität von rund 1,75 Mio t/a (Tab. 11) kurzfristig realisierbar.

Bergwerk	Wertmineral	Auslastung %	Kapazität t/a
Haus Aden	Steinkohle	100	20.000
Consolidation	Steinkohle	90	100.000
Walsum	Steinkohle	10	100.000
Wohlverwahrt-Nammen	Eisenerz	70	140.000
Meggen	Schwefelkies	80	40.000
Elbingerrode	Schwefelkies	20	100.000
Schmirchau/Paitzdorf	Uranerz	50	250.000
Droosen/Beerwalde	Uranerz	50	250.000
Gersheim	Kalk	70	100.000
Obrigheim	Gips	20	100.000
Wolfach	Flußspat	50	20.000
Käfersteige	Flußspat	50	30.000
Dreislar	Schwerspat	50	20.000
Stetten	Steinsalz	50	80.000
Heilbronn	Steinsalz	25	160.000
Herfa-Neurode	Kalisalz	50	240.000
$\Sigma$		$\phi$ 50	1.750.000

**Tab. 11: Kurzfristig realisierbare, jährliche Verbringungskapazitäten und Auslastungen**

Etwa 1,3 Mio t/a entfallen auf Kapazitäten zur untertägigen Verwertung.

Die darauf bezogenen Kapazitäten sind im Durchschnitt nur zu 50% ausgelastet. Dies deutet auf einen aktuellen Mangel an geeigneten Stoffen hin.

Bereits heute ist ein Strukturwandel der untertägigen Verwertung abzusehen. Bis zum Ende dieses Jahrzehnts wird die Sanierung der Metallerzbergwerke vor allem in den neuen Bundesländern abgeschlossen sein. Damit entfallen Verwertungskapazitäten in der Größenordnung von 600.000 bis 700.000 t/a.

Andererseits sind mindestens 15 neue Grubenstandorte bekannt, an denen Verwertungsmöglichkeiten für bergbaufremde Stoffe geschaffen werden sollen (Anhang 5). Zehn davon sind Salzbergwerke, überwiegend in Thüringen, aber auch in Sachsen-Anhalt und Baden-Württemberg. Für einige der Bergwerke in den neuen Bundesländern erscheint eine Versatzverpflichtung aus bereits erwähnten Gründen dringend geboten.

Weitere Planungen betreffen Bergwerke in Kalkgestein (Saarland und Rheinland-Pfalz) und in der Steinkohle (Nordrhein-Westfalen).

Unter der Voraussetzung einer durchschnittlichen Verbringungskapazität von 100.000 t/a für jeden der geplanten neuen Standorte würden insgesamt 1,5 Mio t/a zusätzliche Verbringungskapazität entstehen. Trotz der mittelfristig im Metallerzbergbau wegfallenden Kapazitäten würde sich bundesweit im Saldo eine untertägige Verwertungskapazität von rund 2 Mio t/a ergeben.

Das bereits jetzt feststellbare Überangebot an untertägigen Hohlräumen für Verwertungsmaßnahmen würde sich dadurch weiter vergrößern. Hohlraumanbieter müßten um die auf dem Entsorgungsmarkt angebotenen Stoffmengen konkurrieren. Harter Wettbewerb mit deutlichem Preisverfall wäre vermutlich eine unausweichliche Folge.

Außerdem ist zu erwarten, daß versucht wird, den bisherigen Stoffkatalog auszuweiten, um geplante oder vorgeschriebene Verbringungsmaßnahmen überhaupt durchführen zu können. Die deutsche Umweltgesetzgebung bietet dazu grundsätzlich Freiräume. Es kann nicht ausgeschlossen werden, daß sie im Schulterschuß zwischen Genehmigungsbehörden und Antragsteller extrem ausgeschöpft werden.

Erkennbar sind derartige Bestrebungen bereits heute z.B. bei der untertägigen Verwertung von Rückständen aus der Müllverbrennung. Diese Entwicklungen sind nicht unbedenklich. Die untertägige Verwertung von Stoffen, die aus einem anderen Blickwinkel den besonders überwachungsbedürftigen Abfällen zugerechnet werden, darf nicht gänzlich unter marktwirtschaftlichen Spielregeln erfolgen.

Dabei geht es gar nicht in erster Linie darum, den Schutz der Umwelt vor möglichen schädlichen Einflüssen sicherzustellen. Dazu wären die Genehmigungs- und Aufsichtsbehörden bei entsprechend geschärftem Problembewußtsein vermutlich in der Lage.

Bedenklich erscheint dabei, daß durch die marktwirtschaftliche Orientierung kaum untertägige Entsorgungsstrukturen mit Vorsorgecharakter entstehen können. Kein privatwirtschaftliches Unternehmen wird untertägige Hohlräume über Jahre offenhalten, um auf zukünftige Entsorgungsengpässe vorbereitet zu sein. Wenn bestehende Hohlräume aber nicht fachgerecht nachversorgt werden, gehen sie praktisch unwiderruflich verloren.

### **7.3 Bedarf an Untertagedeponien**

Die untertägigen Deponiekapazitäten für besonders überwachungsbedürftige Abfälle betragen z.Z. rund 400.000 t/a.

Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen hatte für diese Stoffarten ein Mengenaufkommen von rund 900.000 t/a ermittelt. Daraus wurde ein dringender Bedarf an zusätzlichen untertägigen Ablagerungskapazitäten abgeleitet.

Im Rahmen der Studie wurde ein aktuelles Abfallaufkommen von ca. 580.000 t/a festgestellt. Mittelfristig könnte es sich auf etwa 740.000 t/a erhöhen.

Rund 400.000 t/a davon stammen aus der Verbrennung von Hausmüll. Diese Abfälle werden bereits heute zunehmend untertägig verwertet. Dadurch würde sich das zu deponierende Abfallaufkommen ganz erheblich, im Extremfall bis auf 340.000 t/a reduzieren.

Die Konkurrenzsituation zwischen Verwertungsmaßnahmen und Deponierung ist eine Konsequenz aus dem Dualismus Reststoff/Abfall. Erste deutliche Verschiebungen der Mengenverhältnisse zugunsten der Verwertung sind festzustellen.

Die deutschen Untertage-Deponien waren 1991 zu weniger als 50% ausgelastet. Für das laufende Jahr geht der Betreiber der UTD Herfa-Neurode davon aus, daß weitere 40.000 t Müllverbrennungsrückstände anderweitig entsorgt werden. Dadurch würde sich die Auslastung der UTD noch weiter verringern.

Die Bergwerksdeponie Heilbronn, in der ausschließlich Rückstände aus der Müllverbrennung abgelagert werden dürfen, ist diesen Entwicklungen praktisch unmittelbar ausgesetzt. Die Betreiber versuchen, den ausbleibenden Zuwachs inländischer Stoffmengen durch die verstärkte Aufnahme ausländischer Verbrennungsrückstände zu kompensieren.

Unter diesen Voraussetzungen kann ein Bedarf nach zusätzlichen Untertagedeponien rein rechnerisch für die nächsten Jahre nicht hergeleitet werden.

Andererseits wird die Untertagedeponie, speziell als Vielstoffdeponie (TA-Abfall: UTD Typ 1) auf absehbare Zeit ein unverzichtbarer Baustein der deutschen Entsorgungsstrukturen bleiben.

Der gesamten deutschen Industrie steht dabei nur eine einzige inländische untertägige Vielstoffdeponie in Herfa-Neurode zur Verfügung. Damit besteht eine Abhängigkeit der nationalen Entsorgungssicherheit von nur diesem einen Deponiestandort.

Allein aus diesem Grunde erscheint es dringend geboten, eine weitere Untertage-Deponie nach dem Vorbild Herfa-Neurode einzurichten.

## 8. Zukünftige Deponiestandorte

In Deutschland können Untertagedeponien (TA Abfall, UTD Typ 1) nur in Salzbergwerken eingerichtet werden (vergl. Kap. 6). Im Gegensatz zu Hohlräumen in Gips- oder Kalkgestein weisen sie eine ausreichende Teufe zwischen 600 und 1.000 m auf. Außerdem können dort Abfälle trocken eingelagert werden, was z.B. in Erzbergwerken praktisch ausgeschlossen ist.

Nach aktuellen Planungen beabsichtigen Bergwerksunternehmen die Einrichtung von Untertagedeponien nach dem Vorbild Herfa-Neurode an vier Standorten:

- \* Kalisalzbergwerk Zielitz
- \* Kalisalzbergwerk Merkers
- \* Kalisalzbergwerk Volkenroda
- \* Kalisalzbergwerk Roßleben

Diese Deponiestandorte befinden sich in Sachsen-Anhalt oder in Thüringen. Weitere Hohlraumpotentiale in Hessen, Niedersachsen und Nordrhein-Westfalen sind demnach z.Z. nicht für eine Nutzung als Untertagedeponie vorgesehen.

Hessen verfügt bereits über die UTD Herfa-Neurode. In Niedersachsen erscheint die Einrichtung einer untertägigen Sonderabfalldeponie z.Z. politisch nicht durchsetzbar. In Nordrhein-Westfalen steht derzeit eine grundsätzliche Einigung zwischen Bergwerksunternehmen und der Landesregierung über Haftungsfragen aus.

Außerdem zögern die Betreiber von Steinsalzbergwerken im allgemeinen, die Einrichtung einer Hochsicherheitsdeponie zu betreiben, weil sie einen Imageverlust ihrer Speisesalzprodukte befürchten.

Es ist zu erwarten, daß an einem der o.g. vier Standorte eine UTD eingerichtet wird.

Die günstigsten Voraussetzungen dazu hat das **Kalisalzbergwerk Zielitz** (Sachsen-Anhalt). Es ist das größte deutsche Kalisalzbergwerk und zugleich das modernste der ehemaligen DDR.

In einer durchschnittlichen Teufe von 700 m wird ein 4 - 12 m mächtiges Kaliflöz seit rund 20 Jahren im Pfeilerörterbau abgebaut. Im Gegensatz zu den übrigen Kalisalzbergwerken der ehemaligen DDR wurden anscheinend die Stützflächenanteile ausreichend hoch bemessen. Die Grube gilt als gas- und wasserfrei.

Insgesamt stehen in Zielitz rund 50 Mio m<sup>3</sup> Hohlraum offen. Davon könnte ein Teil gegenüber dem Gewinnungsbetrieb abgetrennt und für Deponiezwecke nutzbar gemacht werden. Das Bergwerk verfügt mit Bahn- und Straßenanschluß über eine gute Verkehrsanbindung. Eine großzügig bemessene, innerbetriebliche Infrastruktur (z.B. Zwischenlagerkapazitäten, 14 m<sup>2</sup> Großgestell, Füllortbrückenkrananlagen, ausreichende Streckenquerschnitte) ist vorhanden.

Im Vergleich mit Zielitz weisen die übrigen Standorte deutliche Nachteile auf.

Das **Kalisalzbergwerk Merkers** - untertägig mit dem Kalisalzbergwerk Springen verbunden weist einen täglichen Laugenzufluß von rund 250 m<sup>3</sup> aus dem Liegenden auf. Der ursprüngliche Laugensicherheitspfeiler zwischen den Bergwerken wurde bergmännisch durchtrennt. Dieser Bereich muß mit technologischen Barrieren (Dammbauwerken) künstlich abgedämmt werden. Außerdem versucht man, die Laugenstelle durch Pumpmaßnahmen zu beherrschen. Damit konnte jedoch die ungewollte Bildung einer Salzkaerne von etwa 40.000 bis 60.000 m<sup>3</sup> Inhalt im Liegenden der Lagerstätte nicht verhindert werden.

Das **Kalisalzbergwerk Volkenroda** wurde zwischenzeitlich stillgelegt. Es soll in einer Teufe von 1.000 bis 1.100 m Hohlräume in der Größenordnung von 400.000 m<sup>3</sup> aufweisen. Damit dürfte die Deponiekapazität insgesamt zu gering sein, als daß sich die Einrichtung einer UTD betriebswirtschaftlich lohnen könnte.

Das **Kalisalzbergwerk Roßleben** hat den Nachteil, daß im Hangenden sowohl das Steinsalz als auch die abschirmenden Dichtschichten nicht flächendeckend ausgebildet sind. Deshalb ist es in der Vergangenheit bereits zu Laugeneinbrüchen gekommen.

Darüberhinaus stehen die Tagesschächte in Thüringen, während sich das Grubengebäude aber hauptsächlich über die Landesgrenze nach Sachsen-Anhalt erstreckt. Damit wäre eine grenzüberschreitende Sonderabfallentsorgungsanlage einzurichten. Die Probleme der behördlichen Zuständigkeit und der politischen Verantwortung dürften kaum lösbar sein.



## 9.           Schlußfolgerungen und Handlungsbedarf

Im Rahmen der Studie wurde festgestellt, daß zunehmend Stoffe aus dem Katalog der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle untertägig verwertet werden. Von dieser Entwicklung sind hauptsächlich Abfälle betroffen, die in großer Menge anfallen. Im wesentlichen handelt es sich dabei um Rückstände aus der Müllverbrennung.

Sollte sich diese Tendenz auch in Zukunft fortsetzen, würde die Kapazität der UTD Herfa-Neurode bis auf weiteres zur Deponierung der noch verbleibenden Mengen an besonders überwachungsbedürftigen Abfällen ausreichen. Die derzeitige Auslastung der Deponie liegt unter 50%. Außerdem fallen wesentlich geringere Mengen an untertägig zu entsorgenden Abfällen an, als der Sachverständigenrat für Umweltfragen prognostiziert hat /1/. Rein rechnerisch wäre deshalb keine weitere UTD vom Typ Herfa-Neurode erforderlich.

Dann wären allerdings sowohl die alten als auch die neuen Bundesländer von Herfa-Neurode als einziger untertägiger Vielstoffdeponie abhängig. Schon allein aus diesem Grund müßte aus strategischen Erwägungen (nationale Entsorgungssicherheit) die Einrichtung mindestens einer weiteren UTD für besonders überwachungsbedürftige Abfälle gefordert werden.

In Deutschland eignen sich praktisch nur bestehende Bergwerke in Salzgestein, vorzugsweise in Kalisalz, zur Einrichtung einer UTD. Als Standorte sind z.Z. Kalibergwerke in Sachsen-Anhalt und Thüringen in der Diskussion.

Die Initiativen dazu gehen von den jeweiligen Bergwerksunternehmen aus. Dabei stehen überwiegend betriebswirtschaftliche Motive der Unternehmen im Vordergrund.

Die zuständigen Landesministerien unterstützen diese Deponievorhaben i.a. nur unter der Voraussetzung, daß fast ausschließlich Abfälle aus dem eigenen Bundesland entsorgt werden. Unter diesen Umständen dürfte der wirtschaftliche Betrieb einer neuen Untertagedeponie ausgeschlossen sein. Dies könnte dazu führen, daß die Bergwerksunter-

nehmen die bereits begonnenen Vorhaben nicht weiter verfolgen oder die vorhandenen Hohlräume für andere Zwecke, z.B. der untertägigen Verwertung, nutzen.

Es stellt sich damit die grundsätzliche Frage, ob mit der derzeitigen Länderzuständigkeit und einem über das gesamte Bundesgebiet ungleich verteilten Deponiepotential überhaupt die aus nationaler Sicht erforderlichen Entsorgungsstrukturen aufgebaut werden können. Dieser Problembereich sollte näher untersucht werden. Dabei müßte auch geprüft werden, ob die Länder ihre Zuständigkeit für die untertägige Deponierung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle ganz oder teilweise an den Bund abtreten sollten.

Außerdem wäre zu prüfen, ob die derzeit möglich Verwertung von Stoffen aus dem Katalog der besonders überwachungsbedürftigen Abfälle auf der Grundlage des BBergG in Zukunft eingeschränkt werden sollte. Dazu wäre der objektive Abfallbegriff des AbfG zu konkretisieren.

In diesem Zusammenhang wäre auch zu untersuchen, ob der Stoffkatalog der untertägig zu verbringenden Abfälle (z.Z. 63 Abfallarten) erweitert werden müßte, z.B. um Massenabfälle wie kontaminierter Bodenaushub und Bauschutt.

## 10. Quellenverzeichnis

- /1/ Sachverständigenrat der Bundesregierung für Umweltfragen, Sondergutachten Abfallwirtschaft, März 1990, Metzler-Poeschel, Stuttgart, Wiesbaden 1991.
- /2/ Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz - AbfG) vom 27. August 1986, zuletzt geändert am 23. September 1990, BGBl. I S. 1410.
- /3/ Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BImSchG) in der Fassung der Bekanntmachung vom 14. Mai 1990, BGBl. I S. 880.
- /4/ Bundesberggesetz (BBergG) vom 13. August 1980, BGBl. I S. 1310
- /5/ Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA-Abfall) Teil I: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen, Stand 12. März 1991, GMBI. Nr. 8/1991 vom 12. März 1991 S. 139-214.
- /6/ Gesetz über die Umweltverträglichkeitsprüfung (UVPG) vom 12. Februar 1990, BGBl. I S. 205.
- /7/ Verordnung über die Umweltverträglichkeitsprüfung bergbaulicher Vorhaben (UVP-V Bergbau) vom 13. Juli 1990.
- /8/ Deisenroth, N.; Kind, J.: Die Untertage-Deponie Herfa-Neurode. Eine Möglichkeit zur umweltgerechten Beseitigung von problematischen toxischen Abfällen.  
In: Kali und Steinsalz 10 Nr. 6, 1989, S. 182-195.
- /9/ Bildmaterial Ruhrkohle Umwelt GmbH.
- /10/ Kirchhoff, Ulrich: Verwertung von Rückständen aus der Steinkohlengewinnung und der Steinkohlenverwendung.  
In: Glückauf 127 (1991), Nr. 19/20, S. 893-898.
- /11/ Hamm, Eduard: Die Entwicklung des Verfahrens zur Bruchhohlraumverfüllung. In: Glückauf 127 (1991), Nr. 19/20, S. 873-879.
- /12/ Thiehofe, Bernhard: Erste Ergebnisse der Bruchhohlraumverfüllung auf dem Bergwerk Walsum. In: Glückauf 127 (1991), Nr. 19/20, S. 887-892.

- /13/ Siepmann, Dieter und Sill, Friederich: Erste Ergebnisse einer Versuchsanlage zur Bruchhohlraumverfüllung auf dem Bergwerk Monopol. In: Glückauf 127 (1991), Nr. 19/20, S. 880-886.
- /14/ Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen: Studie zur Eignung von Steinkohlenwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen, Düsseldorf 1991.
- /15/ Barbara Rohstoffbetriebe GmbH: Bergbau im Wesergebirge, Grube Wohlverwahrt-Nammen, Januar 1991.
- /16/ Kelm, Ulrich: Mögliche Umweltschutzdienstleistungen des Bergbaus am Beispiel der Bergwerksdeponie Heilbronn. In: Glückauf 127 (1991), Nr. 3/4, S. 127-131.
- /17/ Kreft, W., Grothus, F.J.: Herstellung von Baugips mit dem Flugstromverfahren unter Einsatz von Chemiegips und REA-Gips, Entsorgungs-Praxis (1989) Nr. 9, S. 424.
- /18/ Gerhardy, H., NGS et al.: Abschlußbericht zum Verbundvorhaben: Experimentaluntersuchungen zur Ablagerung von Abfällen in Salzkavernen, BMFT Förderkennzeichen 02 WS 8845/4, Hannover, April 1989.
- /19/ Brassler, Th. et al.: Die untertägige Ablagerung von Abfällen im Salzgestein, GSF-Forschungszentrum für Umwelt und Gesundheit GmbH, Braunschweig 6/91.
- /20/ LAGA-Informationsschrift Abfallarten, Erich Schmidt Verlag Berlin, September 1991.
- /21/ Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umweltschutz Berlin, schriftliche Mitteilung vom 05.11.1991.
- /22/ Bürgerschaft der Freien und Hansestadt Hamburg, Drucksache 13/4854: Sonderabfallwirtschaftsplan für Hamburg, S. 9.
- /23/ Statistisches Bundesamt, Fachserie 19, Reihe 1.2, Abfallbeseitigung im Produzierenden Gewerbe und in Krankenhäusern, 1987, Metzeler-Poeschel, Stuttgart, Wiesbaden 1991.
- /24/ PCB-, PCT-, VC-Verbotsverordnung vom 18.07.1989, BGBl. I. S. 1482.
- /25/ Umweltbundesamt Berlin, Jahresbericht 1990, S. 241 ff.
- /26/ Minister für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft NRW: Rahmenkonzept zur Planung von Sonderabfallentsorgungsanlagen, Düsseldorf 1991.

- /27/ Lehmann, G.: Erfahrungen bei der Sanierung des Kokereigeländes Königsborn, Wasser, Luft und Boden, Nr. 1/2 (1991), S. 91.
- /28/ Risse, F. u.a.: Nebenprodukte aus Kohlekraftwerken und Müllverbrennungsanlagen in der Bundesrepublik Deutschland, VGB Kraftwerkstechnik 71 (1991) Nr. 5, S. 504 ff.
- /29/ VDEW/VGB-Gemeinschaftsausschuß "Reststoffe und Abfälle": Verwertungskonzept für Reststoffe aus Kohlekraftwerken, Teil II ASCHEN, Rückstände aus der Verbrennung.
- /30/ VDEW-VGB Gemeinschaftsausschuß "Reststoffe und Abfälle", Teil III; Rückstände aus deren Wasser- und Abwasseraufbereitung, VGB Kraftwerkstechnik, Nr. 12 (1990), S. 1033 ff.
- /31/ VDEW-VGB Gemeinschaftsausschuß "Reststoffe und Abfälle", Bundesverband der Gips- und Bauplattenindustrie e.V.: Verwertungskonzept für die Reststoffe aus Kohlekraftwerken, REA-Gipse, März 1986.
- /32/ Hamm, H.: Die Bewältigung des REA-Gipsproblems in der Bundesrepublik Deutschland aus technischer, wirtschaftlicher und markt orientierter Sicht, Zement, Kalk, Gips International, Nr. 12 (1991), S. 593 ff.
- /33/ Wagenknecht, P. u.a.: Reststoffe aus Kraftwerken und Müllverbrennungsanlagen, Entsorgungs-Praxis Nr. 1/2 (1990) S. 25.
- /34/ Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Eckwerte für die ökologische Sanierung und Entwicklung in den neuen Ländern, Bonn, November 1990.
- /35/ Wilhelm, L. u.a.: Kaltmechanisches Verfahren zur Regenerierung von bentonitgebundenen Gießerei-Mischaltsand, Abfallwirtschaftsjournal 3 (1991), Nr. 11, S. 755.
- /36/ Roos, H.-J., RWTH Aachen Institut für Siedlungswasserwirtschaft, schriftl. Mitteilung zur Essener Tagung, Januar 1992.
- /37/ Sandaufbereitung in der Gießerei, VDI-N 04.10.1991, S. 32.
- /38/ Woitowitz, H.-J.: Gesundheitsgefährdung durch Asbest, Asbest-Fachtagung 13./14. November 1989, Düsseldorf, BAGUV, S. 44.
- /39/ Rosenbusch, K.: Gibt es wirksame Vorschriften?, Umwelt & Technik Nr. 11 (1991), S. 34 ff.

- /40/           Ministerium für Umwelt des Saarlandes  
                  schriftliche Mitteilung vom 24.10.1991.
- /41/           Reuther, E.-U.: Einführung in den Bergbau.  
                  Verlag Glückauf GmbH, Essen, 1982.

**Anhang 1: Arten und Aufkommen von Abfällen, die nach der TA Abfall für die Ablagerung in Untertagedeponien vorgesehen sind (aus /1/)**

Abfall-schlüssel	Bezeichnung	Aufkommen in t (1987) *)	Präferenz für Untertage-deponie **)
313	<b>Aschen, Schlacken und Stäube aus der Verbrennung</b>		
313 11	Filterstäube aus Sonderabfallverbrennungsanlagen	ca. 22 000 -)	2
313 12	Feste Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung von Abfallverbrennungsanlagen	ca. 300 000 -)	1
313 13	Feste Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung von Sonderabfallverbrennungsanlagen	ca. 37 000 -)	
313 16	Feste Pyrolyserückstände	k. A.	1
314	<b>Sonstige feste mineralische Abfälle</b>		
314 40	Strahlmittelrückstände mit schädlichen Verunreinigungen	26 678	1
314 45	Gipsabfälle mit schädlichen Verunreinigungen	319 016	1
316	<b>Mineralische Schlämme</b>		
316 28	Härtereischlamm, cyanidhaltig	324	1
316 29	Härtereischlamm, nitrat-, nitrit-, nitrothaltig	324	1
316 32	Bariumsulfatschlamm, quecksilberhaltig	44 933	1
353	<b>NE-metallhaltige Abfälle</b>		
353 07	Berylliumhaltige Abfälle	1	1
353 23	Nickel-Cadmium-Akkumulatoren	27	1
353 24	Batterien, quecksilberhaltig	12	1
353 25	Trockenbatterien	156	2
353 26	Quecksilber, quecksilberhaltige Rückstände, Quecksilberdampflampen, Leuchtstoffröhren	147	1
399	<b>Sonstige Abfälle mineralischen Ursprungs sowie von Veredelungsprodukten</b>		
399 03	Steinsalzbückstände (Gangart)	30 097	1
399 04	Gasreinigungsmasse, Rohrstaub aus Gasleitungen	7 303	1
513	<b>Sonstige Oxide und Hydroxide</b>		
513 10	Sonstige Metalloxide und Metallhydroxide ohne Eisen- und Aluminiumoxide und -hydroxide	2 576	1
515	<b>Salze</b>		
515 02	Häutesalze	63	1
515 03	Natrium- und Kaliumphosphatabfälle	2 172	1
515 04	Imprägniersalzabfälle	39	1
515 05	Lederchemikalien, Gerbstoffe	11	1
515 07	Düngemittelreste	373	1
515 08	Alkalicarbonate	847	1
515 09	Salmiak (Ammoniumchlorid)	1 726	1
515 11	Salzbadabfälle	411	1
515 12	Ammoniumhydrogenfluorid	196	1
515 13	Arsenkalk	136	1
515 16	Brüniersalzabfälle	405	1
515 17	Natriumsulfat (Glaubersalz)	6 969	1
515 18	Natriumbromid	35	1
515 19	Eisenchlorid	764	1
515 20	Eisensulfat (Grünsalz)	763	1
515 21	Bleisulfat	134	1
515 23	Natriumchlorid	3 347	1
515 24	Bleisalze	379	1
515 25	Bariumsalze	134	1
515 26	Calciumchlorid	6 813	1
515 27	Magnesiumchlorid	1	1
515 28	Alkali- und Erdalkalisulfide	412	1
515 29	Schwermetallsulfide	4	2

Anhang 1: Arten und Aufkommen von Abfällen, die nach der TA Abfall für die  
Seite 2 Ablagerung in Untertagedeponien vorgesehen sind (aus /1/)

Abfall- schlüssel	Bezeichnung	Aufkommen in t (1987)*	Präferenz für Untertage- deponie**)
515 30	Kupferchlorid	16	1
515 31	Aluminiumsulfat-, Aluminiumphosphatrückstände	1 702	1
515 33	Salze, cyanidhaltig	2 201	1
515 34	Salze, nitrat- oder nitrithaltig	1 316	1
515 35	Vanadiumsalze	0	1
515 38	Boraxrückstände	6 900	1
515 39	Arsenverbindungen	3 450	1
515 40	Sonstige Salze, löslich	5 217	1
531	<b>Abfälle von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln</b>		
531 03	Altbestände und Reste von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln	445	1
531 04	Produktionsabfälle von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämpfungsmitteln	17 189	1
535	<b>Abfälle von pharmazeutischen Erzeugnissen</b>		
535 02	Abfälle aus der Produktion und Zubereitung von pharmazeutischen Erzeugnissen	7 461	1
541	<b>Mineralöle und synthetische Öle</b>		
541 10	PCB-haltige Erzeugnisse und Betriebsmittel	n.a.	1
541 11	Sonstige PCB-haltige Abfälle	n.a.	1
542	<b>Fette und Wachse aus Mineralöl</b>		
542 06	Metallseifen	1 183	2
555	<b>Anstrichmittel</b>		
555 15	Farbmittel, anorganisch	9 839	1
593	<b>Laborabfälle und Chemikalienreste</b>		
593 01	Feinchemikalien	58	1
593 02	Laborchemikalienreste, organisch	2 698	2
593 03	Laborchemikalienreste, anorganisch	3 195	1
539 04	Mit Chemikalien verunreinigte Betriebsmittel	329	1
595	<b>Katalysatoren</b>		
595 07	Katalysatoren und Kontaktmassen	4 326	1
596	<b>Vorgemischte Abfälle für Abfallentsorgungsanlagen</b>		
596 04	Vorgemischte Abfälle zum Zweck der Ablagerung	n.a.	1
597	<b>Destillationsrückstände</b>		
597 05	Anorganische Destillationsrückstände	10 582	1
599	<b>Sonstige Abfälle aus Umwandlungs- und Syntheseprozessen</b>		
599 01	Polychlorierte Biphenyle (PCB)	3 829	1
	<b>insgesamt:</b>	<b>ca. 900 000</b>	



Anhang 2: Übersicht über die bisher in Bergwerke verbrachten Stoffmengen sowie ihre Zuordnung zu den festgestellten Grundtypen gem. Kap. 4

Rückstände aus der Steinkohlenverbrennung			
Bergwerk	Wertmineral	Grundtyp	Stoffmenge
Haus Aden	Steinkohle	III	100.000 t
Consolidation	Steinkohle	III	240.000 t
Monopol	Steinkohle	III	./.
Walsum	Steinkohle	III	< 10.000 t
Zollverein	Steinkohle	-	30.000 t
Wohlverwahrt-Nammen	Eisenerz	III	400.000 t
Meggen	Metall- und Schwefelkies	III	< 10.000 t
Elbingerode	Schwefelkies	III	< 10.000 t
Drosen/Beerwalde	Uranerz	III	60.000 t
Schmierchau/Paitzdorf	Uranerz	III	60.000 t
Wolfach	Schwer- und Flußspat	III	< 10.000 t
Käfersteige	Flußspat	III	< 10.000 t
Dreislar	Schwerspat	III	< 10.000 t
Gersheim	Kalk	III	120.000 t
Obrigheim	Gips	II	< 10.000 t
Altbergbau	Steinkohle	III	?
Σ			1.080.000 t

Rückstände aus der Braunkohlenverbrennung			
Bergwerk	Wertmineral	Grundtyp	Stoffmenge
Hirschberg	Braunkohle	III	< 10.000 t
Schmierchau/Paitzdorf }	Uranerz	III	} > 10 Mio t
Drosen/Beerwalde	Uranerz	III	
Altbergbau	Braunkohle	III	?
Σ			> 10 Mio t

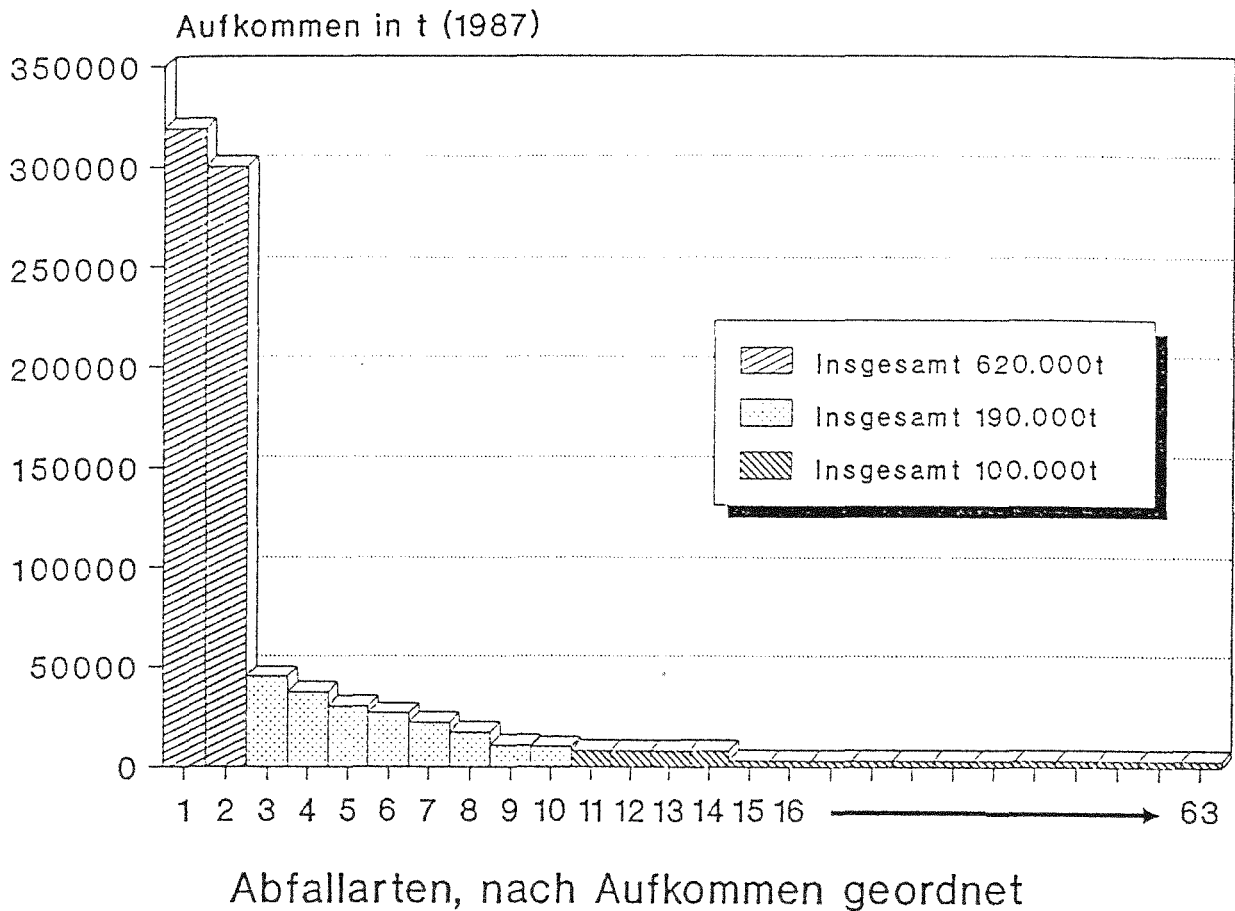
Anhang 2: Übersicht über die bisher in Bergwerke verbrachten Stoffmengen  
 Seite 2 sowie ihre Zuordnung zu den festgestellten Grundtypen gem. Kap. 4

Rückstände aus der Hausmüllverbrennung			
Bergwerk	Wertmineral	Grundtyp	Stoffmenge
Herfa-Neurode	Kalisalz	I	160.000 t
Heilbronn	Steinsalz	II	80.000 t
Schmierchau/Paitzdorf	Uranerz	III	40.000 t
Drosen/Beerwalde			
Consolidation	Steinkohle	III	40.000 t
Pluto	Steinkohle	III	< 10.000 t
Σ			330.000 t

Abfälle TA-Abfall (Anhang C) ohne Rückstände aus der Hausmüllverbrennung			
Bergwerk	Wertmineral	Grundtyp	Stoffmenge
Herfa-Neurode	Kalisalz	I	840.000 t
Σ			840.000 t

Sonstige Stoffe			
Bergwerk	Wertmineral	Grundtyp	Stoffart
Wohlverwahrt Nammen	Eisenerz	III	Sandstrahlmittel
Wohlverwahrt Nammen	Eisenerz	III	Gießereialtsande
Heilbronn	Steinsalz	III	Steinsalzurückstände
Stetten	Steinsalz	III	Steinsalzurückstände
Thiederhall	Kalisalz	-	Wässer-und Schlämme
Zollverein	Steinkohle	-	Asbest
Teutschenthal	Kalisalz	III	kontaminierter Bodenaushub

Anhang 3: Besonders überwachungsbedürftige Abfälle zur Untertagedeponierung geordnet nach Mengenaufkommen 1987 /1/

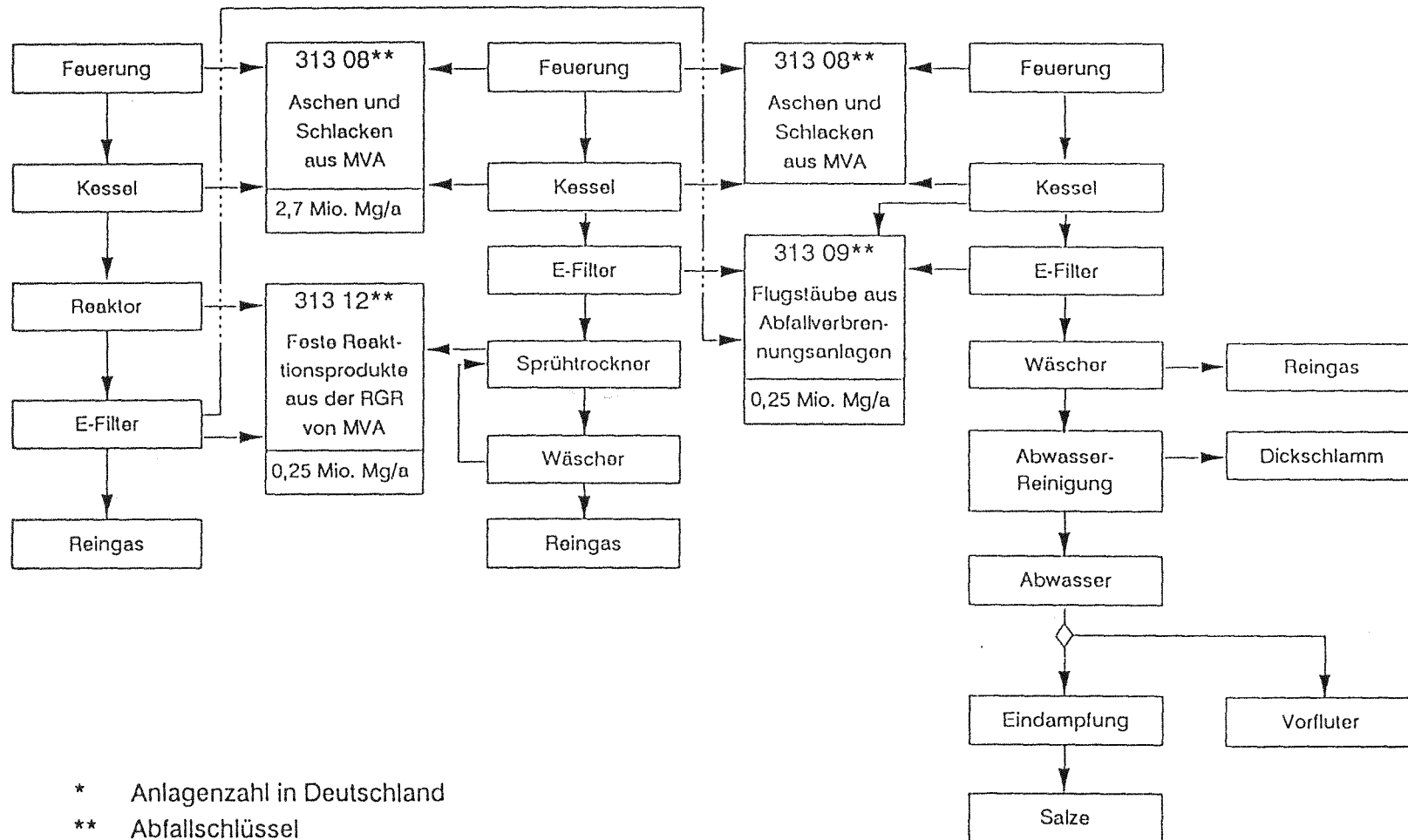


	Abfall-schlüssel	Abfallart	Mengenauf-kom-men 1987
1	314 45	Gipsabfälle mit schädlichen Verunreinigungen	319.016 t
2	313 12	Feste Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung von Abfallver-brennungsanlagen	300.000 t
3	316 32	Bariumsulfatschlamm, quecksilberhaltig	44.933 t
4	313 13	Feste Reaktionsprodukte aus der Abgasreinigung von Sonderabfall-verbrennungsanlagen	37.000 t
5	399 03	Steinsalzurückstände	30.097 t
6	314 40	Strahlmittelrückstände mit schädlichen Verunreinigungen	26.678 t
7	313 11	Filterstäube aus Sonderabfallverbrennungsanlagen	22.000 t
8	531 04	Produktionsabfälle von Pflanzenschutz- und Schädlingsbekämp-fungsmitteln	17.189 t
9	597 05	Anorganische Destillationsrückstände	10.582 t
10	555 15	Farbmittel, anorganisch	9.839 t

8\* trockene und  
14\* quasitrockene  
Rauchgasreinigung

13\* nasse Rauch-  
gasreinigung  
ohne Abwasser

13\* nasse Rauch-  
gasreinigung  
mit Abwasser



Anhang 4: Anfall von Rückständen bei Hausmüllverbrennungsanlagen

**Anhang 5: Übersicht über die deutschen Grubenstandorte mit untertägigem Verbringungspotential**

lfd. Nr.	Bergwerk	Bundesland	Bemerkungen
1	Kalisalzbergwerk Herfa-Neurode	Hessen	Abfallentsorgungsanlage in Betrieb
2	Salzbergwerk Thiederhall	Niedersachsen	Abfallentsorgungsanlage stillgelegt
3	Steinsalzbergwerk Heilbronn	Baden-Württemberg	Abfallentsorgungsanlage in Betrieb
4	Gipsbergwerk Obrigheim	Baden-Württemberg	Abfallentsorgungsanlage in Betrieb
5	Steinkohlenbergwerk Zollverein	Nordrhein-Westfalen	Abfallentsorgungsanlage stillgelegt
6	Steinkohlenbergwerk Lohberg	Nordrhein-Westfalen	Abfallentsorgungsanlage Betrieb demnächst
7	Kalisalzbergwerk Zielitz	Sachsen-Anhalt	Abfallentsorgungsanlage geplant
8	Kalisalzbergwerk Merkers/Springen	Thüringen	Abfallentsorgungsanlage geplant
9	Kalisalzbergwerk Volkenroda	Thüringen	Abfallentsorgungsanlage geplant
10	Kalisalzbergwerk Roßleben	Thüringen	Abfallentsorgungsanlage geplant
11	Steinsalzbergwerk Stetten	Baden-Württemberg	Reststoffverbringungsanlage in Betrieb
12	Steinsalzbergwerk Heilbronn	Baden-Württemberg	Reststoffverbringungsanlage in Betrieb
13	Steinsalzbergwerk Kochendorf	Baden-Württemberg	Reststoffverbringungsanlage geplant
14	Steinsalzbergwerk Bernburg	Sachsen-Anhalt	Reststoffverbringungsanlage geplant
15	Kalisalzbergwerk Unterbreizbach	Thüringen	Reststoffverbringungsanlage geplant
16	Kalisalzbergwerk Sondershausen	Thüringen	Reststoffverbringungsanlage geplant
17	Kalisalzbergwerk Bleicherode	Thüringen	Reststoffverbringungsanlage geplant
18	Kalisalzbergwerk Sollstedt	Thüringen	Reststoffverbringungsanlage geplant
19	Kalisalzbergwerk Teutschenthal	Sachsen-Anhalt	Reststoffverbringungsanlage geplant

Anhang 5: Übersicht über die deutschen Grubenstandorte mit untertägigem Verbringungspotential  
Seite 2

lfd. Nr.	Bergwerk	Bundesland	Bemerkungen
20	Metall u. Schwefelkiesbergwerk Meggen	Nordrhein-Westfalen	Reststoffverbringungsanlage läuft aus
21	Schwefelkiesbergwerk Elbingerode	Thüringen	Reststoffverbringungsanlage in Betrieb
22	Bleizinkbergwerk Bad Grund	Niedersachsen	Reststoffverbringungsanlage läuft aus
23	Eisenerzbergwerk Wohlverwahrt-Nammen	Nordrhein-Westfalen	Reststoffverbringungsanlage in Betrieb
24	Uranerzbergwerk Schmirchau/Paitzdorf	Thüringen	Reststoffverbringungsanlage in Betrieb
25	Uranerzbergwerk Drosen/Beerwalde	Thüringen	Reststoffverbringungsanlage in Betrieb
26	Schwer- u. Flußspatgrube Wolfach	Baden-Württemberg	Reststoffverbringungsanlage Probetrieb
27	Flußspatgrube Käfersteige	Baden-Württemberg	Reststoffverbringungsanlage Probetrieb
28	Schwerspatgrube Dreislar	Nordrhein-Westfalen	Reststoffverbringungsanlage in Betrieb
29	Kalkbergwerk Gersheim	Saarland	Reststoffverbringungsanlage in Betrieb
30	Kalkbergwerk Auersmacher	Saarland	Reststoffverbringungsanlage geplant
31	Kalkbergwerk Wellen	Rheinland-Pfalz	Reststoffverbringungsanlage geplant
32	Gipsbergwerk bei Bielefeld	Nordrhein-Westfalen	Reststoffverbringungsanlage geplant
33	Gipsbergwerk Dörlau	Bayern	Reststoffverbringungsanlage geplant
34	Gipsbergwerk Lamerden	Hessen	Reststoffverbringungsanlage geplant
35	Gipsbergwerk Barbara	Rheinland-Pfalz	Reststoffverbringungsanlage geplant
36	Schieferbergwerk, verschiedene	Nordrhein-Westfalen	Reststoffverbringungsanlage geplant
37	Basaltlavabergwerk Mendig	Rheinland-Pfalz	Reststoffverbringungsanlage geplant

Anhang 5: Übersicht über die deutschen Grubenstandorte mit untertägigem Verbringungspotential  
Seite 3

lfd. Nr.	Bergwerk	Bundesland	Bemerkungen
38	Braunkohlenbergwerk Hirschberg	Hessen	Reststoffverbringungsanlage in Betrieb
39	Steinkohlenbergwerk Haus Aden	Nordrhein-Westfalen	Reststoffverbringungsanlage in Betrieb
40	Steinkohlenbergwerk Consolidation	Nordrhein-Westfalen	Reststoffverbringungsanlage Probebetrieb
41	Steinkohlenbergwerk Walsum	Nordrhein-Westfalen	Reststoffverbringungsanlage Probebetrieb
42	Steinkohlenbergwerk Monopol	Nordrhein-Westfalen	Reststoffverbringungsanlage Probebetrieb
43	Steinkohlenbergwerk Hugo	Nordrhein-Westfalen	Reststoffverbringungsanlage Probebet. eingestellt
46	Kalisalzbergwerk Wintershall	Hessen	Hohlraumpotential
47	Kalisalzbergwerk Hattdorf	Hessen	Hohlraumpotential
48	Kalisalzbergwerk Neuhof-Ellers	Hessen	Hohlraumpotential
49	Kalisalzbergwerk Siegmundshall	Niedersachsen	Hohlraumpotential
50	Kalisalzbergwerk Bergmannsseggen Hugo	Niedersachsen	Hohlraumpotential
51	Kalisalzbergwerk Salzdettfurt	Niedersachsen	Hohlraumpotential
52	Kalisalzbergwerk Hildesia	Niedersachsen	Hohlraumpotential
53	Kalisalzbergwerk Brefeld	Sachsen-Anhalt	Hohlraumpotential
54	Kalisalzbergwerk Wefersleben	Sachsen-Anhalt	Hohlraumpotential
55	Salzbergwerk Niedersachsen/Riedel	Niedersachsen	Hohlraumpotential
56	Steinsalzbergwerk Braunschweig/Lüneburg	Niedersachsen	Hohlraumpotential
57	Steinsalzbergwerk Maria Glück	Niedersachsen	Hohlraumpotential
58	Steinsalzbergwerk Borth	Nordrhein-Westfalen	Hohlraumpotential

**Anhang 5: Übersicht über die deutschen Grubenstandorte mit untertägigem Verbringungspotential**  
**Seite 4**

lfd. Nr.	Bergwerk	Bundesland	Bemerkungen
59	Gipsbergwerk Engel	Rheinland-Pfalz	Hohlraumpotential
60	Gipsbergwerke, verschiedene	Rheinland-Pfalz	Hohlraumpotential
61	Anhydritbergwerk Salzheim	Bayern	Hohlraumpotential
62	Anhydritbergwerk Hüttenheim 4	Bayern	Hohlraumpotential
63	Kalkbergwerk Malerpertus	Hessen	Hohlraumpotential
64	Kalkbergwerk bei Bad Waldesheim	Rheinland-Pfalz	Hohlraumpotential
65	Kalkbergwerk Längefeld	Sachsen	Hohlraumpotential
66	Kalkbergwerk Unterwiesenthal/Hermsdorf/Ober- scheida	Sachsen	Hohlraumpotential
67	Bleizinkbergwerk Rammelsberg	Niedersachsen	Hohlraumpotential
68	Uranuntersuchungsbergwerke Oberpfalz	Bayern	Hohlraumpotential
69	Uranerzbergwerk Aue/Pöla	Sachsen	Hohlraumpotential
70	Uranerzbergwerk Agatz	Sachsen	Hohlraumpotential
71	Zinnerzbergwerk Altenberg	Sachsen	Hohlraumpotential
72	Schieferbergwerk Magog Schieferbergwerk Magareta u. Katzenberg	Nordrhein-Westfalen Rheinland-Pfalz	Hohlraumpotential Hohlraumpotential
73	Spatbergwerk Trusental bei Erfurt	Thüringen	Hohlraumpotential
74	Tonbergwerk Monika	Bayern	Hohlraumpotential



Anhang 6: Deponierte Mengen in Heilbronn und Herfa-Neurode

