

**LWA-MATERIALIEN**

**Nr. 2/91**

**Studie zur Eignung von  
Steinkohlebergwerken im  
rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirk  
zur Untertageverbringung von  
Abfall- und Reststoffen  
- Kurzfassung –  
reproduzierte Fassung**



**Landesamt  
für Wasser und Abfall  
Nordrhein-Westfalen**



# LWA-MATERIALIEN

## **Studie zur Eignung von Steinkohlebergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen**

### **- Kurzfassung – reproduzierte Fassung**

Gutachter:

Prof. Dipl.-Ing. B. Jäger  
Prof. Dr. P. Obermann  
Prof. Dr.-Ing. F.L. Wilke

Wiss. Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. F. Heidrich  
Dipl.-Geol. P. Rüterkamp  
Dipl.-Ing. J. Skrzyppek

Auftraggeber:

Landesamt für Wasser und Abfall  
Nordrhein-Westfalen

Düsseldorf 1991

## **IMPRESSUM**

Zusammengestellt und herausgegeben vom  
Landesamt für Wasser und Abfall Nordrhein-Westfalen  
Auf dem Draap 25 • 4000 Düsseldorf 1 • Telefon (02 11) 15 90 – 0

### **Reproduzierte digitale Fassung des Originalberichts**

Auf Grund geänderter Formatierungen weichen die Zeilenumbrüche vom Originalbericht ab. Die Seitenumbrüche wurden zu Gunsten der besseren Zitierfähigkeit beibehalten. In der Reproduktion wurden die neuen Regeln der Rechtschreibung angewandt und einige Rechtschreibfehler korrigiert.

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz NRW, Recklinghausen, 2013

## Einführung

Die geordnete Ablagerung der Abfälle auf Deponien stößt an ihre Grenzen: Bei weiter steigendem Abfallaufkommen schwinden die verfügbaren Kapazitäten immer rascher, die Vermeidung und Verwertung der Abfälle müssen deutlich verbessert werden.

Besonders die sogenannten Massenabfälle - dies sind aufgrund ihrer großen Menge von der öffentlichen Entsorgung ausgeschlossene Abfälle - binden einen großen Teil der zur Verfügung stehenden oberirdischen Deponiekapazität. Auch für sie müssen die Verwertungsmöglichkeiten ausgeweitet werden, indem neue und umweltverträgliche Entsorgungswege beschritten werden.

In einer über 2½-jährigen Arbeit hat eine Gruppe unabhängiger Gutachter untersucht, ob es möglich ist, solche Massenabfälle in die Grubenräume des Steinkohlenbergbaus einzubringen. Diese Studie wurde federführend von Professor Dr. Wilke (Bergbaukunde, TU Berlin), Professor Dipl.-Ing. Jäger (Abfalltechnik, Berlin) und Professor Dr. Obermann (Hydrogeologie, Ruhruniversität Bochum) durchgeführt. Schwerpunkt der Arbeit war die Untersuchung der Verbringungsmöglichkeiten für Filterstäube und Rauchgasreinigungsrückstände aus Hausmüllverbrennungsanlagen (MVA). Neben den MVA-Rückständen konnten trotz des eng gesteckten Zeitrahmens der Studie einige weitere Massenabfälle mit in die Untersuchung einbezogen werden. Dies sind:

- Filterstäube aus Klärschlammverbrennungsanlagen,
- Gießereialtsande,
- Strahlmittelrückstände.

In vier Bänden haben die Gutachter die Ergebnisse der Studie ausführlich dargestellt. Wegen des großen Umfangs der Arbeiten war es leider nicht möglich, alle vier Bände in ausreichender Anzahl zu vervielfältigen. Deshalb werden nachfolgend ungekürzt das Kapitel 5 „Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen“ sowie Auszüge aus dem Kapitel 1 wiedergegeben. Ebenfalls ist als Anhang das Gesamtinhaltsverzeichnis beigefügt, so dass der an Einzelheiten der Studie besonders interessierte Leser die Möglichkeit hat, beim Landesamt für Wasser und Abfall diese Detaildarstellungen einzusehen bzw. anzufordern.

Für den eiligen Leser fasse ich die Ergebnisse der Studie wie folgt zusammen: Die Gutachter halten die Verbringung der untersuchten Reststoffarten in das Steinkohlengebirge des rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirks grundsätzlich für möglich; es werden in der Studie Wege aufgezeigt, wie insbesondere die Filterstäube und Rauchgasreinigungsrückstände aus Hausmüll- und Klärschlammverbrennungsanlagen ökologisch verträglich in abgeworfene Grubenbaue betriebener Bergwerke als Nachversatz eingebracht werden können. Die Ergebnisse des begleitenden Probebetriebs auf der Zeche Consolidation in Gelsenkirchen haben die gute Handhabbarkeit des Verfahrens bestätigt.

Versatztechnisch werden bei dem Verfahren erprobte Wege des hydraulischen Nachversatzes mit Reststoffen aus Steinkohlekraftwerken begangen. Der möglichst vollständige Nachversatz des Bruchhohlraumes ausgekohlter Flöze hat sich bergtechnisch und unter den Gesichtspunkten der Arbeitssicherheit als vorteilhaft herausgestellt.

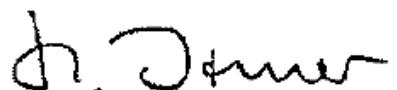
Die abfalltechnischen Untersuchungen haben gezeigt, dass die mit Wasser zu einem pumpfähigen Gemisch vermengten Filterstäube und Rauchgasreinigungsrückstände nach der Verfestigung selbst bei der Elution in Grubenwasser nur noch geringe Auslaugungsraten aufweisen.

Auf der Basis umfangreicher hydrogeologischer und wasserwirtschaftlicher Bestandsaufnahmen wurden in der Studie die geologischen Randbedingungen für diese Art des Versatzes formuliert; dabei wurde der gedankliche Ansatz des Multibarrierenkonzepts, der aus der oberirdischen Ablagerung stammt, auf den Untertagebereich angewandt. Die Standortanforderungen sind so streng gehalten, dass diese Art der Verbringung nur in ausgewählten Gruben und Abbaufeldern möglich sein wird.

Auf der Basis der von den Gutachtern formulierten Anforderungen und Bedingungen wird die Ruhrkohle AG ihre Planungen zur untertägigen Verbringung von Reststoffen und Abfällen fortführen, die erforderlichen Genehmigungsunterlagen erarbeiten und diese den zuständigen Behörden zur Prüfung und Entscheidung vorlegen.

Allen, die an der vorliegenden Studie mitwirkten, gebührt mein Dank. Ich hoffe, dass die Studie einen wichtigen Beitrag für eine umweltgerechte Verwertung bestimmter Abfälle und Reststoffe leistet.

Düsseldorf, im April 1991



Dr.-Ing. Harald Irmer  
Präsident des Landesamtes  
für Wasser und Abfall NRW

## **Inhaltsverzeichnis**

	Seite
Vorwort der Gutachter.....	6
I. Einleitung, Allgemeines, Veranlassung und Zweck der Studie.....	7
I.4 Betrachtungen zur entsorgungsspezifischen Relevanz der Abfälle in Nordrhein-Westfalen.....	15
V. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen.....	29
Gesamtinhaltsverzeichnis.....	43

Die zusätzlichen lateinischen Seitennummern am unteren Seitenrand konnten in der reproduzierten Fassung aus technischen Gründen nicht beibehalten werden.

## **Vorwort der Gutachter**

Die hiermit vorgelegte Studie ist das Ergebnis einer Zusammenarbeit von Vertretern verschiedener Fachdisziplinen. Hierdurch sollte erreicht werden, die Eignung von Steinkohlebergwerken zur Verbringung von Rest- und Abfallstoffen in möglichst umfassender Weise zu behandeln, um zu einer Aussage unter Berücksichtigung möglichst aller Einflussfaktoren und ihrer wechselseitigen Abhängigkeiten zu gelangen. Diese Vorgehensweise, nämlich die Untersuchung der Fragestellung unter den verschiedenen jeweiligen Blickwinkeln, kommt auch dadurch in den einzelnen Kapiteln der Studie zum Ausdruck, dass sich diese nach Art der Darstellung, Betonung unterschiedlicher Schwerpunkte und Diktion voneinander unterscheiden. Diese Unterschiede wurden bewusst im vorliegenden Text nicht ausgeglichen. Auch gewisse Wiederholungen bei der Darstellung bestimmter Gegebenheiten, wenn auch je nach behandelter Fragestellung mit unterschiedlicher Schwerpunktsetzung, sind bewusst beibehalten worden. Es erscheint den Verfassern als eher erwünscht, diese Nuancen auch in den Meinungen für jeden Leser deutlich werden zu lassen.

Umso deutlicher muss betont werden, daß die Endaussage hinsichtlich der Eignung von Steinkohlenbergwerken zur Verbringung von Rest- und Abfallstoffen von allen an der Untersuchung Beteiligten, insbesondere von den drei federführenden Professoren Jäger, Obermann und Wilke, in vollem Umfang und uneingeschränkt gemeinsam getragen und vertreten wird.

# **Studie zur Eignung von Steinkohlenbergwerken im rechtsrheinischen Ruhrkohlenbezirk zur Untertageverbringung von Abfall- und Reststoffen**

## **I. Einleitung**

### **I.1 Allgemeines**

#### **I.1.1 Veranlassung und Zweck der Studie**

Mit dieser vom *Landesamt für Wasser und Abfall NW / Düsseldorf* am 19.02.1988 in Auftrag gegebenen Machbarkeitsstudie soll allgemein untersucht werden, unter welchen Bedingungen aufgelassene Grubenräume lebender, stillgelegter oder stillzulegender Bergwerke der *Ruhrkohle AG* im rechtsrheinischen Steinkohlenrevier zur untertägigen Abfallentsorgung in Untertagedeponien<sup>1</sup>) oder zum Einsatz von Reststoffen (als Wirtschaftsgut; z. B. als Versatz- oder Baustoffe) genutzt werden können.

Wegen der fachlichen Breite des zu untersuchenden Problemfeldes wurden die Durchführung der notwendigen Einzeluntersuchungen und die Berichtserstellung der Studie auf Veranlassung des Auftraggebers wie folgt gegliedert:

#### **a. Geologie und Hydrogeologie**

**Bearbeitung:** Prof. Dr. P. Obermann, Arbeitsbereich Hydrogeologie der *Ruhr-Universität Bochum*

in Zusammenarbeit mit

dem Institut für Wasser- und Bodenschutz der *DMT - Gesellschaft für Forschung und Prüfung / Essen*.

#### **Bearbeitungsschwerpunkte:**

- Beurteilung der Eignung von Grubenbauen von Steinkohlebergwerken als Untertagedeponie unter Berücksichtigung der geologischen, hydrologi-

---

<sup>1</sup> Im Folgenden werden die untertägige Deponierung von Abfällen und die untertägige Verwertung von Reststoffen zusammengefasst als UTD bezeichnet.

schen und hydrogeologischen Verhältnisse im Steinkohlen- und Deckgebirge

- während und nach Beendigung der regionalen Bergbauaktivitäten und
- unter Berücksichtigung bergbaulicher Grubenwassersbekämpfung und wasserwirtschaftlicher Oberflächen- und Grundwassernutzung.

**b. Abfallbewertung und Abfalltechnik**

**Bearbeitung:** Prof. Dipl.-Ing. B. Jäger, Institut für Techn. Umweltschutz  
der *Technischen Universität Berlin*

in Zusammenarbeit mit

dem *Hygiene-Institut des Ruhrgebietes/Gelsenkirchen*.

**Bearbeitungsschwerpunkte:**

- Darstellung des Emissionsverhaltens vorgegebener Abfallarten in Bezug auf Wassergefährdung und Arbeitssicherheit;
- Aufstellung eines Kataloges, evtl. nach Konditionierung, umweltverträglich deponierbarer Abfallarten (unter Berücksichtigung der von NRW-Behörden bereits durchgeföhrten Voreinstufung; betr. Abfallkatalog für die UTD des LWA NW vom 27.05.1987).

**c. Gebirgsmechanik und Bergbautechnik**

**Bearbeitung:** Prof. Dr.-Ing. F. L. Wilke, Institut für  
Bergbauwissenschaften, Bergbaukunde II der *Technischen  
Universität Berlin*.

**Bearbeitungsschwerpunkte:**

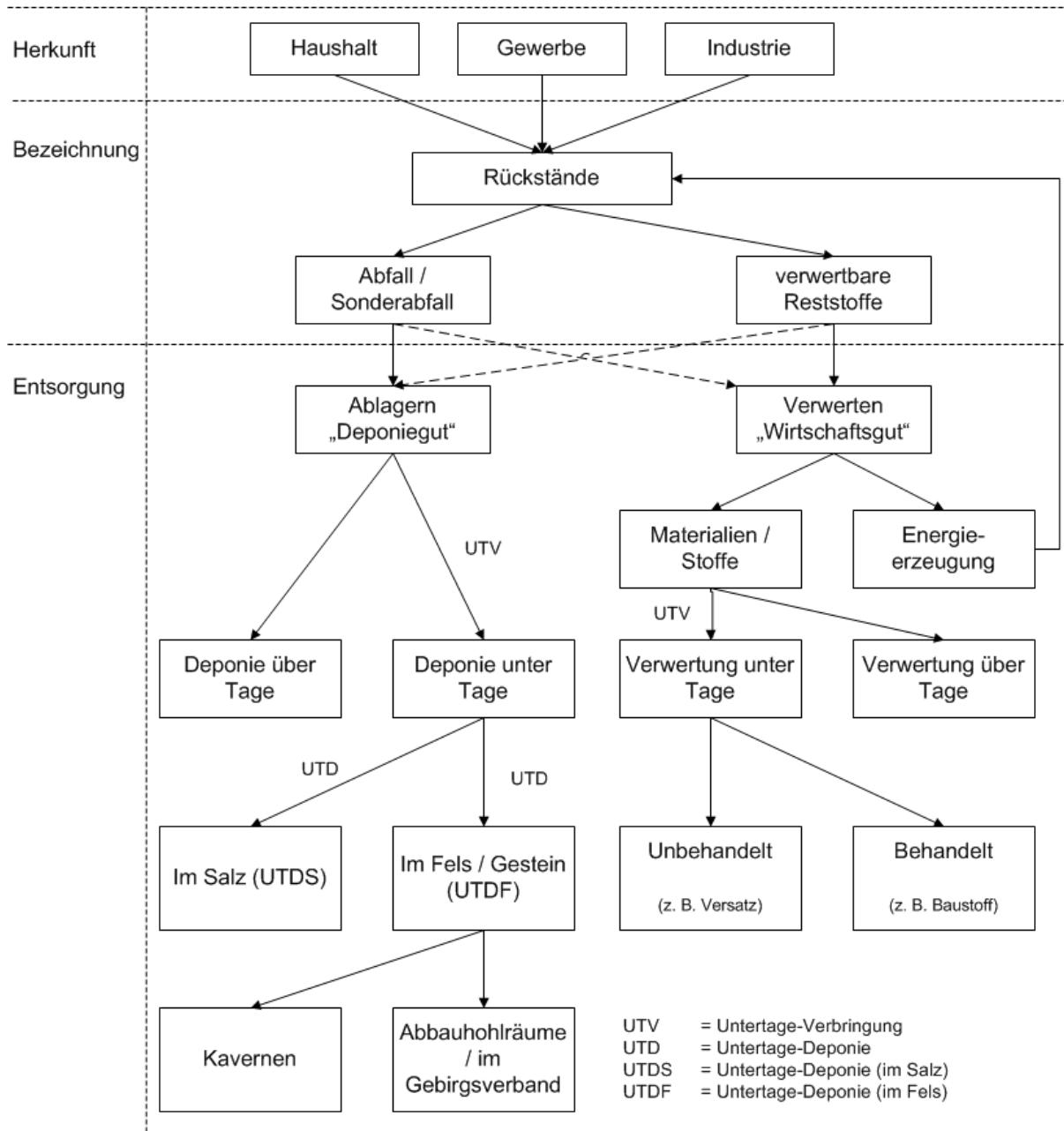
- Beurteilung der Eignung von Grubenräumen in Steinkohlenbergwerken als Untertagedeponie unter bergtechnischen und gebirgsmechanischen Aspekten bei Beachtung

- der Beanspruchung der Grubenräume in ihrem abbaubegleitenden und zukünftigen Verhalten,
- Möglichkeiten zur Abdichtung und Abdämmung der Deponieräume,
- Auswahl geeigneter Transport-, Einbautechniken und Kontrollmaßnahmen.

Wichtigste Voraussetzung einer zulässigen UTD im Steinkohlengebirge muss neben einem umweltverträglichen Deponiebetrieb ein auf lange Sicht vorhandener Grundwasserschutz sein. Von besonderer Bedeutung sind daher das hydraulische Langzeitverhalten der Deponieräume und das hydrochemische Verhalten der einzulagernden Abfälle im Hinblick auf die spätere Überstauung der UTD durch das wiederansteigende Grundwasser. Die Studie soll daher abschließend die hydrogeologischen, bergtechnischen und abfallspezifischen Voraussetzungen und Untersuchungen präzisieren, die zukünftig zur Beurteilung jedes Einzelfalles einer UTD über die zu erarbeitenden allgemeinen Aussagen zur Deponiermöglichkeit im Steinkohlengebirge hinaus erforderlich sein werden.

Dabei ist auch darauf zu achten, dass die zu erarbeitenden Voraussetzungen in Übereinstimmung mit bereits bestehenden rechtlichen Regelungen zum Grundwasserschutz und zur Abfallentsorgung formuliert werden und mit den bereits vorliegenden Erfahrungen bei der Untertageverbringung von Reststoffen soweit als sinnvoll zurückgegriffen wird.

Die im Rahmen dieser Studie angewandten Begriffe des Bereichs der Entsorgung werden in Abb. I.1/1 dargestellt. Der derzeit noch benutzte Begriff „Sonderabfall“ wird zukünftig - auch in Wortverbindungen - durch den Begriff „besonders überwachungsbedürftige Abfälle“ (betr. AbfBestV vom 03.04.1990) ersetzt. In dieser Studie wird an dem bisher üblichen Begriff Sonderabfall festgehalten.



**Abb. I.1/1** Übersicht der Begriffe zur Entsorgung von Abfällen und Reststoffen

In der Bundesrepublik Deutschland werden auf Grund des Konsums der Bevölkerung, des verstärkten Entsorgungsbedarfs von Industrie, gewerblicher Wirtschaft und Abfallwirtschaft einerseits, sowie der zunehmenden Verschärfung der gesetzlichen Auflagen zur Reinhaltung der Biosphäre andererseits wachsende Mengen an nicht verwertbaren Rückstandsstoffen erzeugt.

Trotz aller Bemühungen, der abfallwirtschaftlichen Maxime der Landesregierung NRW

*„Abfallverminderung ist wichtiger als Abfallverwertung; Abfallverwertung ist wichtiger als Abfallbeseitigung; die (unvermeidliche) Abfallbeseitigung muss auf hohem Sicherheitsniveau und mit modernen Technologien geschehen.“*

(MINISTER FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT NW, 1987) zu entsprechen, werden die zu beseitigenden Rückstandsmengen noch zunehmen. Gleichzeitig werden die hydrogeologisch geeigneten Deponiestandorte an der Erdoberfläche immer knapper, und die Deponierung selbst stößt bei Bürgern und Kommunalpolitikern auf immer stärker werdende Akzeptanzprobleme. Letzteres gilt auch für Verbrennungs- und Behandlungsanlagen, die zudem nicht in ausreichender Anzahl zur Verfügung stehen.

Zunehmende Abfallmengen, steigende Anforderungen an die Beseitigung, knapper Deponieraum und lange Genehmigungsverfahren für neue Anlagen führen für das abfallproduzierende Gewerbe in den nächsten 10 bis 15 Jahren voraussichtlich zu einer Verdoppelung bis Verdreifachung der bisherigen Kosten für die Abfallbeseitigung (JEZIERSKI 1989).

Der vermeintliche Ausweg des Abfallexports in Länder mit niedrigeren Sicherheits- und Umweltstandards löst die Probleme nicht, sondern verlagert sie nur und ist umweltpolitisch und ökologisch bedenklich (aktueller Beispiel: DDR).

Nordrhein-Westfalen wird - trotz eines der höchsten Eigenentsorgungsgrade bei der Beseitigung an Land unter allen Bundesländern - als bevölkerungsreichstes und am stärksten durch Industrie und Gewerbe geprägtes Bundesland von der Problematik eines steigenden Abfallaufkommens einerseits und eines begrenzten übertägigen Deponieangebotes andererseits besonders betroffen.

Diese Diskrepanz zwischen Abfallmenge und Deponierungsmöglichkeiten führte schließlich auch zu Überlegungen, ob nicht der Steinkohlenbergbau mit der

Schaffung von jährlich 60 bis 70 Mio. m<sup>3</sup> Hohlräumen durch Auskohlung (JEZIERSKI 1989) auch für eine Untertageverbringung von Abfallstoffen in Frage kommt (Dafür nutzbares Volumen: s. Abschnitt IV. 6).

### I.1.2 Zielstellung: Umweltverträgliche Untertageverbringung

Zur Notwendigkeit einer Untertageverbringung von Schadstoffen führen ALBRECHT, H. (1987a) und HERRMANN (1988c) folgende allgemeine geologisch-geochemische Überlegungen an:

*"Alle von Menschen produzierten Schadstoffe gelangen in die Atmosphäre, Hydrosphäre, Pedosphäre oder Lithosphäre, breiten sich in diesen mit unterschiedlicher Geschwindigkeit über unterschiedliche Entfernung aus und treten nach unterschiedlich langer Verweildauer in eine der anderen Sphären ein.*

*An der Erdoberfläche deponierte Schadstoffe befinden sich dabei immer im Bereich relativ schnell ablaufender Stoffkreisläufe. Die Elemente und Verbindungen, die in den Böden teilweise starken Lösungs- und Transportvorgängen unterliegen, können über den Wasserpfad in Grund- und Oberflächenwasser gelangen. In Abhängigkeit von der Löslichkeit und der Grundwasserfließgeschwindigkeit dauern diese Stofftransporte Jahre bis Jahrhunderte. In diesem Teil der Lithosphäre, also in oder nahe der Biosphäre, befinden sich heute die meisten Schadstoffdeponien. Da sie dem ständigen Einfluss fließenden Wassers, vor allem der Niederschläge und den dauernden Angriffen der physikalischen Verwitterung ausgesetzt sind, kann ein Wiedereintritt ihres Inhaltes in die Biosphäre auf Dauer nicht ausgeschlossen werden.*

*Im Gegensatz dazu laufen die Stofftransporte in Tiefen von wenigen hundert oder tausend Meter um mehrere Größenordnungen langsamer ab. Mit zunehmender Tiefe können die Umverteilungsprozesse Jahrtausende bis Jahrmillionen dauern".*

Eine relativ große Entfernung der in geologischen Formationen im tiefen Untergrund eingeschlossenen Schadstoffe zur Biosphäre beinhaltet daher grundsätzlich ein höheres Sicherheitspotential als die Deponierung an der Erdoberfläche.

### I.1.3 Kriterien zur Untertageverbringung in Steinkohlenbergwerken des Ruhrkohlenbezirks

Schon die im Untersuchungsauftrag des LWA NW vom 19.02.88 enthaltenen zu prüfenden Vorgaben zur untertägigen Abfallsorgung in Steinkohlebergwerken wie

- umweltverträglicher Deponiebetrieb.
- auf lange Sicht vorhandener Grundwasserschutz,

- arbeitssicherheitlich unbedenkliche Entsorgung,
- kein Ausschluss künftiger Lagerstättennutzung

berühren alle wichtigen Voraussetzungen einer sicheren und schadlosen Untertageverbringung von Reststoffen.

Bei der Begründung dieser Vorgaben sind folgende grundsätzliche Unterschiede zwischen einer Untertageverbringung in Steinkohlenbergwerken und den in Kap. I.3.2 näher beschriebenen Untertagedeponien in anderen Gebirgen von Bedeutung:

- a) Anders als bei der Erstellung von UTD als Kavernen in Festgesteinen, wo sich die Auffahrung der Hohlräume allein nach der Einlagerungstechnik richtet und dabei eine größtmögliche Unversehrtheit der geologischen Barriere angestrebt wird, werden die im Bergbau erstellten Hohlräume im Zusammenhang mit der Rohstoffgewinnung geschaffen, d.h. die Herstellung erfolgt nach wirtschaftlichen Gesichtspunkten zur Ausbeutung der Lagerstätte oft bei Störung der geologischen Barriere, und der Entsorgungsaspekt steht an zweiter Stelle (SCHNEIDER, H.-J. 1989).
- b) Anders als im Salzbergbau geraten die Grubenräume im Ruhrkohlebergbau nach der Beendigung aller Wasserhaltungsmaßnahmen, etwa nach Einstellung des Bergbaus, durch den Wiederanstieg des Grundwassers unter Wasser.

Anders als in Salzbergwerken sind daher Deponieräume im Steinkohlenbergbau nach der Deponierung in der Regel

- nicht mehr kontrollierbar und
- bei Fehlern der Deponierung nicht reparierbar;
- die eingebrachten Reststoffe sind praktisch nicht mehr rückholbar.

Diese Unterschiede führen zunächst zu einer Einschränkung des Stoffkataloges der für eine Untertageverbringung in Steinkohlenbergwerken in Frage kommenden Reststoffe. Das *Landesamt für Wasser und Abfall NW* hat 1987 für die Untertageverbringung im Steinkohlengebirge eine Einteilung in

- geeignete Abfallarten,

- bedingt geeignete Abfallarten und
- ungeeignete Abfallarten

vorgenommen.

Die **ungeeigneten Abfallarten** betreffen dabei vor allem folgende Abfallgruppen mit den dazu gehörenden Abfalleigenschaften:

- Abfälle pflanzlichen und tierischen Ursprungs sowie von Veredlungsprodukten wie
  - biologisch abbaubare organische Abfälle,
  - brennbare oder
  - wasserlösliche oder
  - spezifisch leichtere Stoffe als Salzwasser.
- Abfälle chemischer Umwandlungs- und Syntheseprodukte
  - teilweise bis vollständig leicht löslich,
  - giftige oder
  - reaktive oder
  - organische oder
  - spezifisch leichtere Stoffe als Salz- bzw. Süßwasser,
  - brennbare oder
  - flüssige Abfälle.
- Radioaktive Abfälle.
- Siedlungsabfälle
  - organische Abfälle,
  - biologisch abbaubare oder
  - brennbare oder
  - leicht lösliche oder
  - infektiöse oder
  - flüssige Stoffe.

Die o.g. Vorgaben, Unterschiede und Einschränkungen bilden die Grundlagen für die im Folgenden erläuterten Schutzziele für die Untertagedeponierung. Diese Ziele, die je nach Gefahrenpotential der zu entsorgenden Abfälle und Reststoffe enger oder weiter gefasst werden müssen, lassen sich dabei nicht für

jeden Durchführungsabschnitt der UTD speziell definieren, sondern greifen zum Teil ineinander über.

### **Schutz der Umwelt**

Die Gebote einer umweltschonenden Deponierung und eines Langzeitschutzes der Biosphäre stehen als allgemeine Anforderungen an eine umweltverträgliche Untertageverbringung an erster Stelle.

Für die Anlieferung sind über und unter Tage angemessene Sicherheitsvorkehrungen zu treffen, um einen sicheren und unschädlichen Umschlag der Abfälle zu gewährleisten.

Ein möglicher Schadstoffaustausch selbst kann hauptsächlich über den Grundwasserpfad zu einer Kontaminierung der Biosphäre über das heutige geogene Maß hinaus führen. Durch eine für die Umwelt günstige Kombination von „Abfall-/Reststoffart – Abfallkonditionierung – Abfalleinbringung – Deponiestandort unter Tage“ ist dafür zu sorgen, dass auch dem Besorgungsgrundsatz des Wasserhaushaltsgesetzes entsprochen und dazu das Prinzip des vollständigen Einschlusses bzw. das Prinzip der immissionsneutralen Ablagerung eingehalten wird - Einzelheiten s. Kap. I.2).

### **Schutz der Lagerstätte**

Die Deponierung der in die Grubenräume zu verbringenden Stoffe muss so erfolgen, dass hierdurch die laufende oder zukünftige Gewinnung der noch anstehenden Kohlevorräte nicht verhindert oder in unvertretbarem Maße erschwert wird.

Diese Forderung hat besondere Bedeutung für solche Steinkohlenbergwerke, bei denen gleichzeitig mit der Einlagerung von Deponiestoffen der normale Gewinnungsbetrieb erfolgt. Da jedoch nicht ausgeschlossen werden kann, dass ein zu einem bestimmten Zeitpunkt aufgegebener Lagerstättenteil später erneut in Abbau genommen werden wird, ist dem Schutz ggf. vorhandener Lagerstättensubstanz auch bei der Nutzung stillgelegter Bergwerke als Untertagedeponie entsprechende Aufmerksamkeit zu widmen.

Der Schutz der Lagerstätte kann einerseits sichergestellt werden durch Beschränkung der Einlagerung auf solche räumlichen Bereiche, in denen nach Abschluss dieser Aktivitäten keine abbauwürdigen Reserven mehr anstehen, und die gleichzeitig von allen anderen Lagerstättenteilen so abgetrennt sind, dass sie für deren Nutzung nicht in Anspruch genommen werden müssen. Andererseits kann der Schutz der Lagerstätte sichergestellt werden, wenn es gelingt, solche Deponierungstechniken zu entwickeln und anzuwenden, bei denen jede Gefährdung eines im gleichen Lagerstättenteiles gleichzeitig oder später laufenden Gewinnungsbetriebes und insbesondere der hierbei Beschäftigten ausgeschlossen werden kann; insofern ist das Ziel „Schutz der Lagerstätte“ in den Forderungen nach dem Schutz des Betriebes und Schutz der Belegschaft mit enthalten.

### **Schutz des Betriebes**

Soweit die Untertagedeponierung in bereits stillgelegten, also nicht mehr zur Kohlengewinnung betriebenen Bergwerken erfolgt, bedeutet die Forderung nach dem Schutz des Betriebes in erster Linie, dass die Einlagerung in allen ihren Einzelschritten von der Anlieferung des Materials über Tage bis zur Verbringung an die vorgesehene Lokation unter Tage so zu geschehen hat, dass auch bei Auftreten eines Störfalles die Grubenräume und betrieblichen Einrichtungen nicht gefährdet oder in Mitleidenschaft gezogen werden; selbstverständlich darf auch von dem bereits deponierten Material keine solche Gefährdung mehr ausgehen. In erster Linie ergeben sich hieraus Anforderungen an eine entsprechende Ausgestaltung der Umschlags-, Transport- und Einlagerungs- bzw. Einbautechniken, sowie hinsichtlich vorbereiteter Maßnahmen und Einrichtungen zum Schutz des Betriebes bei evtl. auftretenden Störfällen (vgl. Kapitel IV.3).

Wenn die Untertagedeponierung in einem noch nicht stillgelegten Steinkohlenbergwerk erfolgt, muss sich dieser Schutz des Betriebes gleichermaßen auch auf die Räume und Einrichtungen erstrecken, die für den Gewinnungsprozess im weitesten Sinne erforderlich sind. Zusätzlich ist sicherzustellen, dass dieser keine zu großen Behinderungen erleidet. Dies führt wiederum zu entsprechenden Anforderungen an die Verbringungstechniken, wirft darüber hinaus jedoch auch organisatorische Probleme, speziell bei der Abbaureihenfolge- (Zeit-)planung auf (vgl. Kapitel IV.1.2).

## **Schutz der Belegschaft**

Die Arbeitssicherheit und -hygiene ist für alle Beschäftigten über die gesamte Lebensdauer des für die Untertagedeponie genutzten Bergwerkes zu gewährleisten, und zwar für alle Phasen der Deponierung. Während des Umschlages, des Transportes und des Einbaus der zu verbringenden Materialien ist sicherzustellen, dass keine unmittelbaren Kontakte mit gefährlichen Stoffen erfolgen können; dabei muss auch gegenüber möglichen Störfällen Vorsorge getroffen werden. Neben einer entsprechenden Unterrichtung und Ausbildung der Beschäftigten sind diese Forderungen durch persönliche Schutzeinrichtungen und vor allem eine entsprechende Ausgestaltung der Verbringungstechnik zu erfüllen.

Die Art der Ablagerung muss darüber hinaus sicherstellen, dass auch von den endgültig deponierten Stoffen keine Gefährdung der Belegschaft ausgehen kann, d.h. es dürfen keinerlei Schadstoffe auf dem Wege über die Luft (Wetterstrom) oder das Wasser (Wasserhaltung) in einer die Belegschaft gefährdenden Art und Weise ausgetragen werden.

### **I.2 Rechtliche Grundlagen, Vorschriften**

*nicht in Kurzfassung enthalten*

### **I.3 Stand der untertägigen Verbringung von Abfällen**

*nicht in Kurzfassung enthalten*

## I.4 Betrachtungen zur entsorgungsspezifischen Relevanz der Abfälle im Land Nordrhein-Westfalen

### I.4.1 Allgemeine abfallwirtschaftliche Grundsätze

Sammlung, Behandlung, Verwertung und Entsorgung von Abfällen sind in der Bundesrepublik Deutschland durch das „*Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz- AfgG)*“ vom 27. August 1986 (Vierte Novelle des Abfallgesetzes vom 11. Juni 1972) geregelt. Die Bundesländer haben entsprechende Ausführungsgesetze zum Bundesgesetz (zu) erlassen.

Die bereits im *Abfallwirtschaftsprogramm '75* der Bundesregierung formulierten grundsätzlichen Ziele der Abfallwirtschaft wurden in dem neuen Abfallgesetz erstmals kodifiziert. In Form einer Zielhierarchie werden Produzenten, Verbraucher und entsorgungspflichtige Körperschaften aufgefordert,

- die Entstehung von Abfällen wenn möglich zu vermeiden,
- nicht vermeidbare Abfälle im sog. „Primär-Recycling“ möglichst unmittelbar wiederzuverwenden,
- nicht unmittelbar wiederverwendbare Abfälle durch technische Aufbereitung und Behandlung stofflich bzw. energetisch zu verwerten („Sekundär-Recycling“),
- nicht verwertbare Abfälle und Reststoffe aus Abfallbehandlungsanlagen umweltschonend zu entsorgen, d.h. endgültig abzulagern,

„Abfälle“ im Sinne des § 1 Abs. (1) AbfG sind „bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigen will oder deren geordnete Entsorgung zur Wahrung des Wohls der Allgemeinheit, insbesondere des Schutzes der Umwelt geboten ist.“ Der Besitzer kann unter Beachtung der weiteren gesetzlichen Bestimmungen grundsätzlich entscheiden, ob die bewegliche Sache als Wirtschaftsgut verwertet oder als Abfall entsorgt werden soll.

Die §§ 1a Abs. (2) und 3 Abs.(2) AbfG enthalten in Verbindung mit § 14 AbfG Verpflichtungen im Sinne der o.g. Ziel-Hierarchie.

Neben dem allgemeinen Begriff „bewegliche Sachen“ hat sich in der Abfallwirtschaft der terminus technicus „Rückstände“ eingebürgert. Entsprechende Vorschriften enthält auch das „Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundes-Immissionsschutzgesetz - BlmSchG)“ vom 24. April 1986. Anstelle von „beweglichen Sachen“ wird dort von „Reststoffen“ gesprochen, die, sofern sie nicht vermieden oder verwertet werden können, als Abfälle „ohne Beeinträchtigung des Wohls der Allgemeinheit beseitigt“ werden sollen (§ 5 Abs.(1) Nr.3).

In den gemäß § 4 Abs. (5) AbfG zu erlassenden Verwaltungsvorschriften über Anforderungen an die Entsorgung der Abfälle nach dem Stand der Technik (TA Abfall) werden im Sinne der obigen Zielhierarchie nähere Regelungen erwartet, die darauf hinaus laufen, dass organische Abfälle zukünftig grundsätzlich nicht mehr ohne Vorbehandlung abgelagert werden dürfen.

#### **I.4.2 Klassifizierung und Unterteilung der Abfälle**

Im Zusammenhang mit der praktischen Abfallentsorgung werden einzelne Abfallarten entsprechend ihrer Behandlungs- bzw. Verwertungsfähigkeit unterschieden:

##### **I.4.2.1 Hausmüll**

Unter Hausmüll werden alle Abfälle aus Haushaltungen verstanden, die regelmäßig in den bereitgestellten Gefäßen gesammelt und abgefahren werden. Dazu zählen auch Abfälle von Kleinbetrieben und Geschäften, oft auch als „Geschäftsmüll“ bezeichnet, die zusammen mit der regelmäßigen Hausmüllabfuhr entsorgt werden.

##### **I.4.2.2 Sperrmüll**

Sperrmüll ist Hausmüll, der wegen seiner Sperrigkeit nicht in die ortsüblichen Müllgefäß passt und bei der Hausmüllabfuhr nicht erfasst wird. Art und Menge des Sperrmülls werden daher auch von der Größe und der Abholfrequenz der Hausmüllgefäß bestimmt.

Haus- und Sperrmüll können zu einer Abfallart („Haushaltsabfälle“) zusammengefasst werden.

#### **I.4.2.3 Gartenabfälle**

Hierzu zählen Pflanzenrückstände aus privaten Gärten und aus öffentlichen Grünanlagen, Parks und Friedhöfen, sofern sie nicht auf den Grundstücken kompostiert werden.

#### **I.4.2.4 Schlamm aus kommunalen Anlagen**

Schlämme aus kommunalen Wasseraufbereitungs- und Abwasserreinigungsanlagen sind Abfall im Sinne von § 1 Abs. (1) AbfG. Der Besitzer (= Betreiber der Anlage) hat den Schlamm, sofern er ihn nicht selbst verwerten kann, dem Beseitigungspflichtigen zu übergeben. Dieser kann Schlämme von der Annahme ausschließen, wenn sie aufgrund ihrer Konsistenz (Wassergehalt!) nicht zusammen mit den übrigen kommunalen Abfällen entsorgt werden können (vgl. 4.2.6.2.1).

#### **I.4.2.5 Sonstige kommunale Abfälle**

Zu den unterschiedlich anfallenden sonstigen kommunalen Abfällen zählen Straßenkehricht, Marktabfälle sowie andere im kommunalen Hoheitsbereich anfallende Stoffe, die meist gemeinsam mit Haushaltsabfällen entsorgt werden können.

#### **I.4.2.6 Gewerbeabfälle**

Abfälle aus Industrie- und Gewerbebetrieben werden in der Regel nicht durch die öffentliche Müllabfuhr erfasst, sondern von den Besitzern selbst bzw. von beauftragten Dritten entsorgt. Dabei können folgende Kategorien unterschieden werden:

#### **I.4.2.6.1 Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle**

Haus- und sperrmüllähnliche Industrie- und Gewerbeabfälle, z.B. Abfälle aus Büros, Werksküchen, Kantinen sowie Rückstände aus Lagerhaltungen und Verpackungsvorgängen, die grundsätzlich gemeinsam mit Haushaltsabfällen behandelt und entsorgt werden können. Auch Produktionsabfälle ohne besonderes Schadstoffpotential können zu dieser Kategorie gerechnet werden.

#### **I.4.2.6.2 „Sonderabfälle“**

Produktions- und andere Abfälle, die aufgrund besonderer Schadstoffpotentiale nicht gemeinsam mit Haushaltsabfällen behandelt oder entsorgt werden können, werden im allgemeinen Sprachgebrauch als „Sonderabfälle“ bezeichnet.

#### **I.4.2.7 Krankenhausabfälle**

Krankenhausabfälle unterliegen den besonderen Regelungen der Medizinalaufsichtsbehörden. Die Abfälle aus bestimmten Klinikbereichen gelten als „Sonderabfall“ der Kommunen und müssen unter Einhaltung hygienischer Sicherheitsprinzipien entsorgt werden. Die gemeinsame Entsorgung mit anderen kommunalen Abfällen ist nur nach vorheriger Entseuchung durch Sterilisation möglich.

#### **I.4.2.8 Bauschutt und Bodenaushub**

Bauschutt und Bodenaushub zählen zu den mineralischen Massenabfällen, die aufgrund örtlicher Bautätigkeiten zu bestimmten Zeiten in unterschiedlicher Menge anfallen. Wegen der grundsätzlich verschiedenen Eigenschaften sollten Bauabfälle vom Bodenaushub getrennt entsorgt werden. Bauschutt und Baustellenabfälle können teilweise verwertet bzw. gemeinsam mit Hausmüll entsorgt werden. Demgegenüber kann Bodenaushub auf Inertstoff-Deponien („Erddeponien“) untergebracht werden.

## I.4.3 Abfallentsorgungswege im Land Nordrhein - Westfalen

### I.4.3.1 Wege zur Verwertung und Entsorgung kommunaler Abfälle

Nach dem *Abfallgesetz für das Land Nordrhein-Westfalen (LAbfG)* obliegt den Gemeinden die Sammlung und der Transport der in ihrem Gebiet angefallenen Abfälle. Entsorgungspflichtige Körperschaften des öffentlichen Rechts im Sinne von § 3 Abs. (2) Satz 1 sind die kreisfreien Städte und Kreise, die die erforderlichen Anlagen und Einrichtungen zur Behandlung und Entsorgung vorhalten müssen.

Die von den Kreisen und kreisfreien Städten aufzustellenden Abfallentsorgungspläne haben sich an den Prinzipien abfallwirtschaftlicher Zielsetzungen (s. 4.1) zu orientieren. In diesem Zusammenhang wurden und werden zunehmend Einzelstoffe (Papier, Pappe, Glas u.a.) und Stoffgruppen (Wertstoffgemische, Biomüll) aus Haushaltungen und Kleinbetrieben getrennt erfasst und den verschiedenen Verwertungswegen zugeführt

Der „Restmüll“ wird teilweise in Hausmüllverbrennungsanlagen energetisch genutzt, zum großen Teil jedoch noch in Hausmülldeponien abgelagert. Nach dem Willen des Gesetzgebers sollen zukünftig alle stofflich nicht verwertbaren Abfälle in thermischen Anlagen behandelt werden. Zur Ablagerung sollen dann nur noch die nicht verwertbaren Abfälle und Rückstände aus der thermischen Behandlung gelangen („Restedeponie“).

Im Bereich der hausmüllähnlichen Gewerbeabfälle gelten grundsätzlich die gleichen Prinzipien. Die von den Kreisen und kreisfreien Städten aufzustellenden Abfallentsorgungspläne enthalten in zunehmendem Maße auch Einrichtungen zur Nachsortierung gewerblicher Abfälle zur Erfassung von Einzelstoffen und zur Abtrennung heizwertreicher Fraktionen, die einer energetischen Nutzung zugeführt werden können. Ähnliches gilt auch für bestimmte Bauabfälle, die aufbereitet und teilweise verwertet werden können.

Für die Verwertung von Klärschlämmen gelten besondere Bestimmungen (*Klärschlammverordnung* gemäß § 15 AbfG). Diese schließen den Einsatz kontaminierten Schlammes auf landwirtschaftlichen Nutzflächen praktisch

aus. Das gleiche gilt für Schlamm-Komposte. Der Trend geht zur thermischen Schlammbehandlung, d.h. Verbrennung, und Ablagerung der Verbrennungs-rückstände.

#### I.4.3.2 Deponieklassen

Als bisher einziges Bundesland hat Nordrhein-Westfalen eine Einteilung der Abfalldeponien in Klassen vorgenommen.

In dem „*Entwurf einer Richtlinie über die Untersuchung und Beurteilung von Abfällen; Teil 2: Empfehlungen zur Beurteilung der Ergebnisse von Abfalluntersuchungen - Beseitigung von Abfällen durch Ablagern unter besonderer Berücksichtigung wasserwirtschaftlicher Gegebenheiten*“ – (letzte Fassung Juni 1987) werden 6 Deponieklassen eingeführt Den Deponieklassen 1-5 werden zur Beurteilung ihrer Eignung zum Ablagern von Abfällen Richtwerte für die Konzentration von Inhaltsstoffen im Eluat bzw. Grenzwerte von Inhaltsstoffen im Abfall zugeordnet.

Die grundsätzlichen Merkmale der Deponieklassen werden nachfolgend auszugsweise aufgeführt;

##### Deponiekasse 1

Typ: Bodenablagerung

Zugelassene Abfallarten und -Stoffe:

Nicht nachteilig veränderte natürliche Locker- und Festgesteine, außerhalb von Wasserschutz- und Heilquellenschutzgebieten auch mineralische Stoffe mit vergleichbarem Elutionsverhalten (z.B. Schmelzkammergranulat aus der Steinkohlenfeuerung), die auch durch Langzeitwirkung nachträglich keinen schädlichen Einfluss auf die Umgebung und die Gewässer ausüben.

##### Deponiekasse 2

Typ: Mineralstoffdeponie

Zugelassene Abfallarten

Bauschutt und Abfälle mit vergleichbaren Inhaltsstoffen, die eine geringfügige und vorübergehende, im Ausmaß tolerierbare Veränderung des Gewässers herbeiführen können.

#### Deponiekasse 3

Typ: Deponie für Siedlungsabfälle

Zugelassene Abfallarten:

Hausmüll und hausmüllähnliche Abfälle sowie Abfälle aus dem gewerblichen Bereich, die nach Art und Menge gemeinsam mit Hausmüll beseitigt werden können.

#### Deponiekasse 4

Typ: Deponie für Gewerbe- und Industrieabfälle

Zugelassene Abfallarten:

Abfälle aus Gewerbe und/oder Industrie.

#### Deponiekasse 5

Typ: Deponie für Sonderabfälle

Zugelassene Abfallarten:

Abfälle aus Industrie und Gewerbe, an deren Beseitigung besondere Anforderungen zu stellen sind.

#### Deponiekasse 6

Typ: Untertagedeponie für Sonderabfälle (Untertagedeponie in wasserlosen Gesteinsformationen)

Für Abfälle, bei denen aufgrund ihrer schädlichen Eigenschaften (z.B. toxische Wirkung) Umweltschäden bei einer Ablagerung auf obertägigen Deponien nicht ausgeschlossen worden können.

### I.4.3.3 Entsorgungswege für Sonderabfall

Im Vorgriff auf eine Regelung in der neuen *TA Abfall* hat das Land Nordrhein-Westfalen in dem bereits erwähnten Rahmenkonzept zur Planung von Sonderabfallentsorgungsanlagen eine detaillierte Definition von Sonderabfällen aufgestellt und deren Zuordnung zu Entsorgungswegen vorgenommen.

Als Entsorgungswege sind generell vorgesehen:

- Chemisch-physikalische Behandlung (CPB)
- Verbrennung in Hausmüll-Verbrennungsanlagen (HMV)
- Verbrennung in Sonderabfall-Verbrennungsanlagen (SAV)
- Ablagerung in einer Deponie der Klasse 3 oder 4 (D 3, D 4)
- Ablagerung in Sonderabfall-Deponien (SAD = D 5)
- Ablagerung in Mono-Deponien der Klassen 2, 3 oder 4 (Mono 2, Mono 3, Mono 4),
- Ablagerung in Untertagedeponien in wasserfreien Gesteinsformationen (UTD = D6).

Die Sonderabfälle werden in folgende Stufen eingeteilt:

Sonderabfall A (= Sonderabfall im engeren Sinne)

Abfallarten mit problematischen Inhaltsstoffen, die mengenunabhängig zwingend in chemisch-physikalischen Behandlungsanlagen zu behandeln, in Sonderabfallverbrennungsanlagen zu verbrennen oder - sofern zu deponieren - i.d.R. auf Deponien der Klassen 5 oder 6 abzulagern sind.

Sonderabfall B (= Sonderabteil im weiteren Sinne)

Abfallarten mit im Vergleich zum Sonderabfall A weniger problematischen Inhaltsstoffen, die bei entsprechender Vorbehandlung auch über Anlagen für Siedlungsabfälle entsorgt werden können, soweit keine Sonderabfallentsorgungsanlagen vorliegen (Abfälle "+" und "o" des Abfallkataloges der Länder).

Sonderabfall C (= Industrieller Massenabfall)

Nachweispflichtige Abfallarten gemäß LAGA-Abfallarten-Katalog mit nur sehr geringen Anteilen an problematischen Inhaltsstoffen, für die der Entsorgungsweg „Monodeponie“ vorgesehen ist bzw. die grundsätzlich über Monodeponien entsorgt werden können; bei geringem Mengenanfall kommen getrennte Abschnitte der Deponieklassen 2 bis 4 in Frage.

#### Sonderabfall C\*

entspricht Abfallschlüsselnummer 313 07 „Kesselschlacke aus Feuerungsanlagen“

Das Rahmenkonzept zur Planung von Sonderabfallentsorgungsanlagen enthält in der Anlage 1 eine Liste „*Einstufung des Sonderabfalls und Zuordnung von Entsorgungswegen*“, in der die Abfallschlüsselnummern, Bezeichnung und Herkunft der Abfälle, ihre Einteilung in die Stufen A bis C\* sowie als Berechnungsgrundlage für die Planung die zugeordneten Entsorgungswege angegeben sind.

#### I.4.3.4 Das Abfallentsorgungsmodell Nordrhein-Westfalen

In dem in der Abbildung I. 4/1 dargestellten generalisierten Abfallentsorgungsmodell für das Land Nordrhein-Westfalen wurde als theoretische Entsorgungsmöglichkeit die Untertagedeponie im Steinkohlenbergbau berücksichtigt. Das Modell geht von einem zukünftig zu erreichenden Stand der Abfallverwertung und -entsorgung mit folgenden Randbedingungen aus:

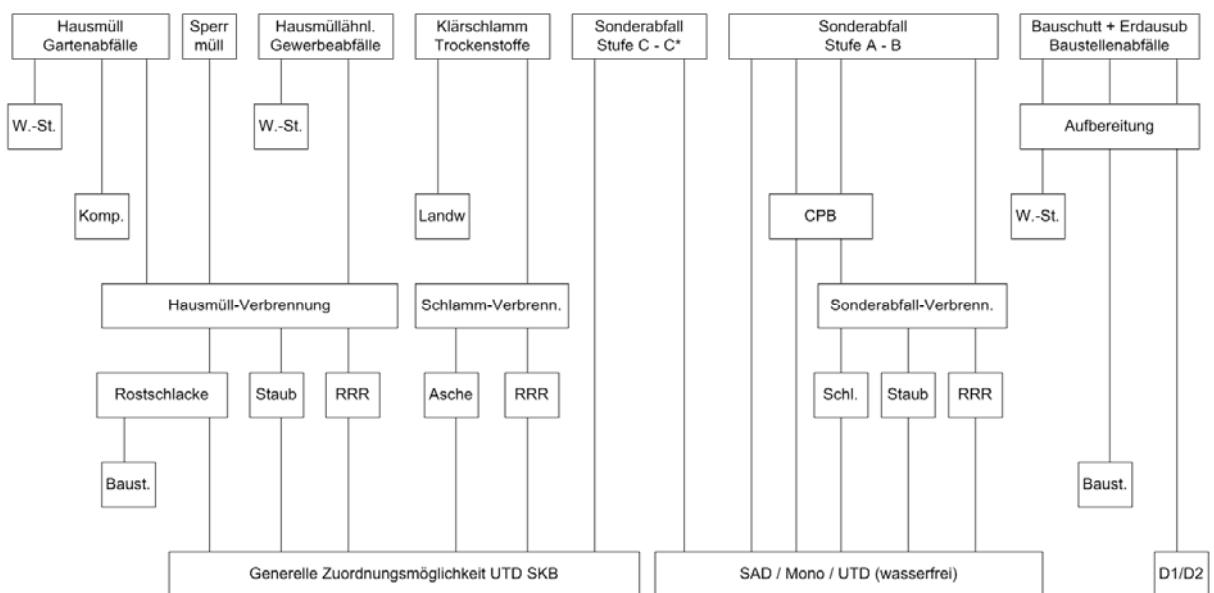
- Aus dem Hausmüll und den hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen werden durch Primär- und Sekundär-Recyclingmaßnahmen verwertbare Stoffe gewonnen.
- Sämtliche Gartenabfälle und der größte Teil der nativ-organischen Hausmüllbestandteile („Biomüll“) werden getrennt erfasst und kompostiert.
- Der „Restmüll“ aus Haushaltungen, der gesamte Sperrmüll und die nicht stofflich verwertbaren Teile des hausmüllähnlichen Gewerbe-

mülls werden in Hausmüllverbrennungsanlagen energetisch genutzt. Die Rostschlacke wird zum Teil als Baustoff verwertet. Die restliche Rostschlacke, der Filterstaub und die Reaktionsrückstände aus der chemischen Rauchgasreinigung (RRR) stehen als potentielle Ablagerungsstoffe für Untertagedeponien in Steinkohlenbergwerken (UTDSKB) zur Diskussion.

- Klärschlämme aus kommunalen Anlagen werden nur noch in geringem Umfang landwirtschaftlich genutzt. Der weitaus größte Anteil muss in Schlammverbrennungsanlagen thermisch behandelt werden. Die Verbrennungsrückstände (Filterasche, Wirbelbettasche, RRR) stehen wie die entsprechenden MVA-Rückstände zur Untertagedeponierung in Steinkohlenbergwerken zur Diskussion.
- Ein Teil der Sonderabfälle der Stufe C sowie der gesamte Abfall der Stufe C\* sind unter den üblichen Voraussetzungen gegebenenfalls für die Untertagedeponierung in Steinkohlenbergwerken geeignet (S. 4.3.5).
- Die übrigen Sonderabfälle der Stufe C sowie alle Sonderabfälle der Stufen A und B werden entsprechend ihrem Gefährdungspotential mit oder ohne chemisch-physikalische Vorbehandlung in entsprechenden Deponien abgelagert. Organische Sonderabfälle werden verbrannt, die Rückstände aus der Sonderabfallverbrennung werden ebenfalls als Sonderabfall A oder B abgelagert.
- Die Bauabfälle werden durch sortierende Aufbereitung in verwertbare Einzelstoffe (z.B. Holz, Metall), in Baustoffe und in auf Deponien der Klasse 2 abzulagernde Reststoffe aufgeteilt.
- Erdaushub, der nicht als Bodenmaterial genutzt werden kann, wird auf Deponien der Klasse 1 abgelagert.

Die in der Skizze Abb. I. 4/1 gemachten qualitativen Angaben über das Potential von Abfällen, die generell einer Untertagedeponie im Steinkohlenbergwerk zugeordnet werden können, dienen an dieser Stelle als erste Diskussionsgrundlage. Für die endgültige Entscheidung über mög-

liche Untertagedeponierungsstoffe sind weitere Überlegungen erforderlich.



**Abb. I 4/1** Mögliche Verwertungs- und Entsorgungspfade von Abfällen im Land Nordrhein-Westfalen

### I.4.3.5 Überlegungen zu dem Entsorgungsweg UTOSKB

Die bisherigen Überlegungen zu der Machbarkeit eines Entsorgungsweges über Untertagedeponien in Steinkohlenbergwerken (UTDSKB) haben zu verschiedenen vorläufigen Aussagen geführt.

#### 1.4.3.5.1 Hinweise auf UTDSKB im Rahmenkonzept MURI

Die Verbringung von Sonderabfällen in Untertagedeponien des Steinkohlenreviers wird in dem *Rahmenkonzept zur Planung von Sonderabfallentsorgungsanlagen* kurz angesprochen.

Es wird darauf hingewiesen, dass in diesem Bereich die Hydrogeologie des Steinkohlengebirges eine besondere Rolle spielt. Die UTDSKB wird vorrangig als möglicher Entsorgungsweg für „Massenabfälle mit begrenztem Gefährdungspotential“ aus der Sonderabfallstufe C angesehen, für die in dem Rahmenkonzept eine Entsorgung über Mono 2, aber auch über Mono 3 oder 4 vorgesehen ist.

In der Tabelle I. 4/1 sind die Sonderabfallarten aus der Anlage 1 des Rahmenkonzepts aufgeschlüsselt, die diesen Vorgaben entsprechen. In der letzten Spalte der Tabelle ist zusätzlich der Status der Abfallarten entsprechend dem Katalog zu dem Runderlass des MURL vom 1.6.1983 angegeben:

- + es besteht in der Regel Nachweispflicht
- o Nachweispflicht kann unter bestimmten Voraussetzungen ausgesprochen werden
- es besteht in der Regel keine Nachweispflicht

**Tab. I 4/1** Sonderabfälle der Stufe C, die laut Rahmenkonzept als Deponierungsstoffe für UTDSKB diskutiert werden

Abfall-Schl.-Nr.	Stoffbezeichnung	Entsorgungsweg	Status gemäß Runderlass
312 18	Elektroofenschlacke	Mono 4	o
313 01	Filterstäube	Mono	o
313 07	Kesselschlacke	Mono 3 / Mono 4	-
314 22	Kiesabbrände	Mono 4	-
314 26	Kernsande	Mono 4	-
314 37	Asbeststäube	D 2	§ 2,2 AbfG
314 45	Gipsabfälle (mit schädl. Verunreinigung.)	Mono 4	-
316 20	Gipsschlamm (mit schädl. Verunreinigung.)	Mono 4	+
316 23	Dicalciumphosphatschlämme	Mono 4	o
316 24	Eisenoxidschlamm aus Reduk.	Mono 4	o
316 31	Bariumsulfatschlämme	D 4 / Mono 4	o
399 03	Steinsalzrückstände	Mono 4 / UTD	-
513 04	Braunstein, Manganoxide	D 4	o
548 05	Rohschwefel	D 4	o

#### I.4.3.5.2 Stofflisten des LWA über UTDSKB-geeignete Abfallarten

Im Rahmen einer Stellungnahme zu dem Antrag der *Ruhrkohle AG* auf Zulassung einer Untertagedeponie im Steinkohlengebirge und der daran anschließenden Diskussionen wurden vom *Landesamt für Wasser und Abfall (LWA)* des Landes Nordrhein-Westfalen Zusammenstellungen der für die Ablagerung in Steinkohlenbergwerken als geeignet, bedingt geeignet bzw. ungeeignet angesehenen Abfallarten herausgegeben:

##### 1. „Geeignete“ Abfallarten

Bei den in der Tabelle I. 4/2 aufgelisteten als geeignet bezeichneten Abfallarten handelt es sich mit Ausnahme der Stoffe 314 37 (Asbeststaub) und 314 38 (Gipsabfälle) um Abfälle, die in der Regel keinerlei Nachweispflicht unterliegen. Kraftwerksaschen werden als geeignet eingestuft, sofern sie aus kohlebefeuerten Kraftwerken stammen.

**Tab. I 4/2** Für die Ablagerung in Steinkohlenbergwerken geeignete Abfallarten (LWA)

Abfall-Schl.-Nr.	Stoffbezeichnung	Status gemäß Runderlass
312 19	Hochofenschlacke	-
313 01	Flugaschen und Stäube (aus kohlebefeuerten Kraftwerken)	-
313 05	Braunkohlenasche (aus kohlebefeuerten Kraftwerken)	-
313 07	Kesselschlacke	-
314 05	Glasvliesabfälle	-
314 07	Keramikabfälle	-
314 08	Glasabfälle	-
314 09	Bauschutt	-
314 11	Bodenaushub	-
314 12	Asbestzementabfälle und -stäube	-
314 13	Waschberge	-
314 14	Schamotte	-
314 15	Formlehm	-
314 16	Mineralfaserabfälle	-
314 18	Gesteinsstäube	-
314 21	Kohlenstaub	-
314 36	Asbestabfälle	-
314 37	Asbeststaub	§ 2,2 AbfG
314 38	Gipsabfälle	o
314 44	Schleifmittel	-
316 01	Schlamm aus Betonherstellung	-
316 02	Steinschleifschlamm	-
316 04	Tonsuspension	-
316 05	Schlamm aus Zementfabrikation	-
316 06	Schlamm aus Kalksandsteinfabrikation	-
316 07	Schlamm aus Fertigmörtelherstellung	-
316 12	Kalkschlamm	-
316 13	Gipsschlamm	-
316 25	Erdschlämme, Sandschlämme	-

## 2. „Bedingt geeignete“ Abfallarten

Die in der Tabelle I. 4/3 enthaltene Liste der als bedingt geeignet angesehenen Abfallarten ist sehr heterogen zusammengesetzt. Neben Abfällen ohne besonderes Gefährdungspotential sind Stoffe aufgeführt, die nach dem Rahmenkonzept teilweise als Sonderabfälle A und B eingestuft sind.

**Tab. I 4/3** Für die Ablagerung in Steinkohlenbergwerken bedingt geeignete Abfallarten (LWA)

Abfall-Schl.-Nr.	Stoffbezeichnung	Sond.Abf.Stufe Entsorgungsweg	Status gemäß Runderlass
311 01	Hütten- und Gießereischutt	nicht bestimmt	o
311 02	SiO <sub>2</sub> -Tiegelbruch	nicht bestimmt	-
311 03	Ofenausbruch (metallurgische Prozesse)	nicht bestimmt	-
311 04	Ofenausbruch (nicht metallurgische Prozesse)	nicht bestimmt	-
311 05	Ausbruch aus Dampfkesselanlagen	nicht bestimmt	-
311 06	Dolomit	nicht bestimmt	-
311 07	Chrommagnesit	nicht bestimmt	-
313 01	Flugaschen und Stäube	C; Mono 2	o
313 02	Flugaschenkoks	nicht bestimmt	o
313 05	Braunkohlenasche	nicht bestimmt	-
313 06	Holzasche	nicht bestimmt	-
313 08	Schlacken und Aschen (aus MVA)	nicht bestimmt	o
313 09	Flugaschen und Stäube (aus MVA)	B; Mono 4	o
314 02	Putzereisand, Strahlsand	nicht bestimmt	-
314 17	Aktivkohleabfälle	nicht bestimmt	o
314 19	Stäube aus Schlackenaufber.	B; Mono 4/SAD	-
314 30	Verunr. Mineralfaserabfälle	B, D 4/SAD	-
314 39	Mineral. Rückstände (aus Abgasreinigung)	C/B; Mono 4/D	-
314 40	Verunr. Strahlmittelrückstände	B/C; SAD/D 4	-
314 42	Kieselsäure- und Quarzabfälle	nicht bestimmt	-
314 45	Verunreinigte Gipsabfälle	C; Mono 4	-
316 11	Graphitschlamm	nicht bestimmt	-
316 17	Glasschleifschlamm	nicht bestimmt	o
316 33	Verunr. Glasschleifschlamm	B/A; SAD/Mono	o

### 3 „Ungeeignete“ Abfallarten

Als ungeeignet für die untertägige Ablagerung in Steinkohlenbergwerken werden in der o. g. Stellungnahme aufgeführt:

Abfälle der Obergruppe 1	Abfälle pflanzlichen und tierischen Ursprungs sowie von Veredlungsprodukten
Abfälle der Obergruppe 5	Abfälle chemischer Umwandlung und Syntheseprodukte
Abfälle der Obergruppe 7	Radioaktive Abfälle
Abfälle der Obergruppe 9	Siedlungsabfälle

#### I.4.3.5.3 Mengen-Abschätzung der zur Verbringung in eine Untertagedeponie im Steinkohlenbergwerk grundsätzlich geeigneten Abfälle

Geht man davon aus, dass die in den vorstehenden Tabellen I. 4/1 und I. 4/2 aufgeführten Abfälle und Reststoffe laut Definition grundsätzlich für die Verbringung in eine Untertagedeponie im Steinkohlenbergbau geeignet sind, so ergibt sich nach den Angaben des *Landesamtes für Datenverarbeitung und Statistik Nordrhein-Westfalen* ohne die in den Tabellen enthaltenen Massenabfälle eine Gesamtmenge von ca. 3 Mio. t/a. Werden auch die „bedingt geeigneten“ Abfälle der Tabellen I. 4/3 hinzugerechnet, verdoppelt sich die Menge auf insgesamt ca. 6 Mio. t/a.

Die Massenabfälle: Schlacke und Asche aus Kohlefeuerungsanlagen mit ca. 10 Mio. t/a, Bauschutt und Straßenaufbruch mit ca. 8 Mio. t/a sowie der Erdaushub mit ca. 17 Mio. t/a wurden aus den Mengen der genannten Zusammenstellungen herausgerechnet, da für diese Abfallsorten in der Regel Verbringungsmöglichkeiten außerhalb der abfallwirtschaftlichen Entsorgungspfade bestehen.

Es ist daher grundsätzlich denkbar, Abfälle mit derartigen Inhaltsstoffen, die die Ablagerung dieser Abfälle in einer obertägigen Deponie, z.B. der Klasse 2, verbieten, im Bereich der durch geogene Inhaltsstoffe vorbelasteten Grubenwässer zu deponieren, wenn durch die Auslaugung dieser Stoffe keine messbare Erhöhung der entsprechenden Grubenwasser-Konzentrationen eintreten kann.

Andererseits ist zu beachten, dass der gleiche Abfall, der sich bei einem Auslaugungsversuch unter oberirdischen Bedingungen als deponierfähig erweist, im Steinkohlenbergwerk durch die Einwirkung des Grubenwassers und infolge der örtlich vorherrschenden höheren Temperaturen Schadstoffemissionen aufweisen kann, die ihn als untauglich zur untertägigen Ablagerung in unbehandeltem Zustand bzw. in ungeschützter Lagerung erscheinen lassen.

Aus den vorstehenden Überlegungen geht hervor, dass es in jedem Fall erforderlich ist, das Auslaugungsverhalten der für die Tiefenlagerung im Steinkohlenrevier vorgesehenen Abfälle unter den örtlichen Bedingungen des Grubengebäudes zu untersuchen.

#### I.4.4 Katalog der näher untersuchten Abfälle

Im Rahmen der Bearbeitung der vorliegenden Studie konnten insgesamt 18 einzelne Abfallstoffe näher untersucht werden. Die in Abfallgruppen zusammengefassten Stoffe sind in der Tabelle I. 4/4 aufgelistet.

Abfallgruppe	Bezeichnung	Herkunft
I	Rauchgasreinigungsrückstände aus der Hausmüllverbrennung	
	I-A Filterstaub	MVA Oberhausen
	I-B Filterstaub	MVA Essen-Karnap
	I-C Filterstaub-Salz-Gemisch	MVA Düsseldorf
II	II-M Rückstandsgemisch einer MVA	
III	Gemisch aus: Filterstaub aus einer MVA Flotationsberge aus der Kohlenaufbereitung	MVA Oberhausen Zeche Pluto
IV	Rückstände aus der kommunalen Klärschlammverbrennung	KVA Düsseldorf KVA Bottrop
	IV-A Filterstaub	KVA Düsseldorf
	IV-B Filterstaub	KVA Bottrop
	IV-C Bettrückstand a. d. Wirbelschicht	KVA Bottrop
V	Rückstände aus der Lack- und Ölschlammverbrennung Rückstand aus der Rauchgasreinigung	
VI	Gießereialtsande	
	VI-A Kaltharzsand	Fa. Pose-Mare
	VI-B Bentonitgebundener Altsand (mit Coldbox-Resten)	Fa. Pose-Mare
	VI-C Bentonitgebundener Altsand (mit Croning-, Hotbox- und Coldbox-Kernresten)	Fa. Fischer, Mettmann
	VI-D Bentonitgebundener Altsand (mit Hotbox-Kernresten)	Eisenwerk Brühl
VII	Strahlmittelrückstände, vermittelt durch	Fa. Krupp-Steag
	VII-A Baustelle	
	VII-B Dichthalle	
	VII-C Kokerei Zollverein	
	VII-D Fa. Püls, Gelsenkirchen	

**Tab. I. 4/4** Liste der auf ihr Elutionsverhalten untersuchten Abfallstoffe

Entsprechend dem zu erwartenden mittelfristigen Ausbau der Abfallverbrennungskapazität in Nordrhein-Westfalen wurde der Untersuchung von Filterstäuben und Rückständen aus der chemischen Rauchgasreinigung (RRR) von Müllverbrennungsanlagen ein besonders breiter Raum gewidmet.

Mit der Abfallgruppe I wurde zunächst ein breites Spektrum von Rückständen aus Müllverbrennungsanlagen mit verschiedenen Reinigungsverfahren untersucht. Insgesamt wurden drei Rückstandsproben aus den Anlagen Oberhausen, Essen-Karnap und Düsseldorf einbezogen.

Die Untersuchungen mit dem Gemisch aus der MVA Essen-Karnap (Abfallgruppe II) dienten dazu, bestimmte Ergebnisse aus der Abfallgruppe I mit dem Filterstaub-Salz-Gemisch aus der quasitrockenen Rauchgasreinigung der MVA Düsseldorf mit einem aus den Einzelstoffen (Filterstaub + Kesselasche + chemische Reaktionsrückstände) einer Anlage mit Nassreinigung zusammengesetzten Gemisch zu vergleichen.

In der Gruppe III wurde ein Gemisch aus MVA-Filterstaub und Flotationsberge aus der Steinkohlenaufbereitung auf sein Elutionsverhalten nach der Aushärtung untersucht. Mit diesen Untersuchungen sollte geprüft werden, ob die Ergebnisse von Versuchen der Bergbauforschung zur hydraulischen Förderung und Einbringung in ein Steinkohlenbergwerk von Flotationsberge und Kraftwerksfilteraschen bei der Verwendung von MVA-Filterasche reproduziert werden können.

Wegen der zunehmenden Schwierigkeiten, kommunalen Klärschlamm in der Landwirtschaft zu verwerten, wird in Zukunft neben der Müllverbrennung auch die Klärschlammverbrennung an Bedeutung gewinnen. In das Untersuchungsprogramm wurden daher auch Rückstände aus Schlammverbrennungsanlagen als Abfallgruppe IV aufgenommen. Es wurde je eine Anlage mit Etagenöfen (Kläranlage Düsseldorf Süd) und mit Wirbelschichtfeuerungen (Zentrale Schlammbehandlungsanlage der Emschergenossenschaft in Bottrop) in die Untersuchungen einbezogen. Von der Wirbelschichtanlage wurde neben dem Filterstaub auch der Bettrückstand untersucht.

In einer besonderen Gruppe V wurden die Rückstände aus einer industriellen Schlammverbrennung (Lackschlamm- und Ölschlamm-Verbrennungsanlage der Firma FORD in Köln) untersucht.

Gießereialtsande fallen in großen Mengen an. Da sie andererseits in der Regel nur ein geringes Schadstoffpotential besitzen, bieten sich diese Abfälle grundsätzlich für die Untertagedeponierung an. In der Abfallgruppe VI wurden insgesamt vier Altsande aus verschiedenen Gießereien auf ihr Elutionsverhalten untersucht.

Auch Strahlsande und Strahlmittelrückstände gehören zu den mineralischen Massenabfällen, ihr Schadstoffpotential ist verhältnismäßig gering und hängt im Einzelnen von der Legierung des gestrahlten Werkstückes ab. In der Abfallgruppe VII wurden vier Strahlmittelabfälle aus verschiedenen Anwendungsbereichen untersucht.

Die Untersuchungen und deren Ergebnisse werden in Teil III dieser Studie ausführlich beschrieben und beurteilt.

## **II. Geologie und Hydrologie**

*nicht in Kurzfassung enthalten*

## **III. Abfalltechnische Untersuchungen**

*nicht in Kurzfassung enthalten*

## **IV. Bergtechnik**

*nicht in Kurzfassung enthalten*

## V. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen der Möglichkeiten einer Nutzung von Steinkohlenbergwerken zur endgültigen Untertageverbringung von Rest- und Abfallstoffen, die in den vorangegangenen Abschnitten unter abfallwirtschaftlichen und -technischen, geologischen und hydrogeologischen sowie bergtechnischen und gebirgsmechanischen Aspekten angestellt werden, lassen sich in ihren Ergebnissen und Schlussfolgerungen wie folgt zusammenfassen:

### V.1 Beurteilung der Umweltverträglichkeit

Eine Nutzung der durch den Betrieb von Steinkohlenbergwerken entstehenden Hohlräume während oder nach der Phase der Kohlengewinnung zur umweltverträglichen Verbringung von Rest- bzw. Abfallstoffen ist grundsätzlich möglich, jedoch nur mit Einschränkungen und unter bestimmten Voraussetzungen.

Für diese zusammenfassende Beurteilung sind die folgenden Gegebenheiten entscheidend:

Bei der Ablagerung von Abfall- bzw. Reststoffen muss sichergestellt sein, dass die darin enthaltenen Schadstoffe mit hinreichender Sicherheit über einen genügend großen Zeitraum hinweg (mindestens 10 000 Jahre) von der Biosphäre ferngehalten werden können. Prinzipiell sind diese Sicherheiten umso eher gegeben je tiefer im Untergrund und damit je weiter entfernt von der Biosphäre die Ablagerung erfolgt, da die in jedem Fall anzunehmenden Stoffkreisläufe hier entsprechend viel langsamer vor sich gehen.

Unter den Bedingungen des Ruhrkarbons ist ein evtl. Schadstofftransport aus den Ablagerungen in die Biosphäre am ehesten auf dem Wasserwege zu besorgen, also durch den Transport von Eluaten durch zirkulierende Tiefenwässer auf überwiegend vertikalen Wasserwegsamkeiten bis in die oberflächennahen Grundwasserhorizonte, darüber hinaus bei Wiederherstellung der natürlichen hydrogeologischen Gegebenheiten nach Einstellung aller Grubenwasserhaltungen auf überwiegend horizontalen Wasserwegsamkeiten bis in den Ausbissbereich des Karbonegebirges im Süden des

Ruhrgebietes. Die Untersuchungen haben sich folgerichtig auf diesen potentiellen Ausbreitungspfad konzentriert.

Die abfalltechnischen (Labor-)Untersuchungen einer Vielzahl von Stoffen, die auf Grund ihrer entsorgungsspezifischen Relevanz für eine Untertageverbringung im Steinkohlenbergbau von besonderem Interesse sind, führten zu dem Ergebnis, dass unter den im potentiellen Deponiebereich herrschenden Bedingungen eine Eluierung von Schadstoffen (i. W. Schwermetalle) aus dem unbehandelten Material generell nicht ausgeschlossen werden kann. In Einzelfällen haben sich zwar Hinweise darauf ergeben, dass unter bestimmten Voraussetzungen und bei bestimmten Stoffen bei einem Verbringen in das Milieu tiefer Steinkohlenbergwerke (mit geogen hoch chloridbelasteten Grubenwässern) der Austrag einiger oder aller im Probematerial enthaltener Schadstoffe verringert oder durch Selbstdichtung sogar verhindert werden könnte, eine generelle Tendenz in diese Richtung war jedoch nicht erkennbar. Den deutlich gewordenen Möglichkeiten einer Verhinderung des Schadstoffaustausches durch die Schaffung einer inneren Barriere im zu verbringenden Material selbst, möglicherweise durch eine entsprechende Konditionierung u. U. auch unter Ausnutzung der speziellen Gegebenheiten der Untertage-Deponie im Steinkohlenbergbau, sollte zukünftig nachgegangen werden; im gegenwärtigen Zeitpunkt muss jedoch festgestellt werden, dass - abgesehen von ganz speziellen Sonderfällen - mit einem Schadstoffaustausch aus den nach Untertage verbrachten Materialien in die Grundwässer auch über deren geogene Vorbelaistung hinaus zu rechnen ist, sofern diese die abgelagerten Stoffe durchströmen können.

Die geologisch-hydrologischen Erhebungen und Auswertungen der Gegebenheiten des rechtsrheinischen Ruhrkarbons führten zu dem Ergebnis, dass großräumig das Vorhandensein von wasserwegsamen Verbindungen zwischen den Tiefenwässern und den oberflächennahen Grundwasserstockwerken grundsätzlich nicht ausgeschlossen werden kann. Diese potentiellen Wasserwegsamkeiten ergeben sich einerseits aus den Einwirkungen des Bergbaus selbst (Bohrungen, Schächte, Strecken usw., die auch eine horizontale Wasserwegsamkeit bis in den Bereich des südlichen Karbonausbisses darstellen), andererseits aus den geologischen Bedingungen (Störungszonen, die sich bis in das oberflächennahe Deckgebirge durchsetzen).

Spätestens nach endgültigem Einstellen des Bergbaus ist mit einem Wiederanstieg des jetzt durch die Wasserhaltungen künstlich abgesenkten Grundwasserspiegels bis zu einem völligen Überstauen der aufgelassenen Grubenräume zu rechnen. In diesem wiederangestiegenen Grundwasser werden sich die den natürlichen Gegebenheiten entsprechenden Strömungsverhältnisse einstellen, die auch eine gewisse Zirkulation von Tiefenwasser bis in den Bereich der oberflächennahen Grundwasserhorizonte wie vor Beginn der Bergbautätigkeit einschließen können. Darüber hinaus ist großräumig mit einem Nord-Süd gerichteten, natürlichen Fließen von Grundwasser zu rechnen. Es ist daher nach dem Besorgnisgrundsatz davon auszugehen, dass auf diesem Wege auch ein Schadstofftransport mit den Eluaten aus den in das Steinkohlengebirge verbrachten Rest- bzw. Abfallstoffen bis in das oberflächennahe Grundwasser möglich ist, jedenfalls nicht mit einer solchen Zuverlässigkeit ausgeschlossen werden kann, dass keine potentielle Gefährdung der Umwelt bestünde.

Auf der anderen Seite haben die hydrologisch-geologischen Untersuchungen des Ruhrkarbons jedoch auch ergeben, dass - insbesondere innerhalb der mittleren Schichten der Karbon-Schichtenfolge - lokal abgrenzbare Bereiche existieren, bei denen eine Durchströmung aufgrund der örtlichen Verhältnisse unter den anzunehmenden hydraulischen Voraussetzungen nur in einem so minimalen Ausmaß erfolgen kann, dass hierdurch auch unter ungünstigen Bedingungen kein nennenswerter Schadstoffaustrag in die Biosphäre für den betrachteten Zeitraum zu erwarten ist. Diese Gegebenheiten konnten durch quantitative Modelluntersuchungen belegt und erhärtet werden.

Aus der Zusammenschau dieser skizzierten Ergebnisse der abfalltechnischen Untersuchungen einerseits und der geologisch-hydrologischen Untersuchungen andererseits ergeben sich zwangsläufig zwei unterschiedliche Möglichkeiten für eine um weitverträgliche Verbringung von Rest- oder Abfallstoffen in Grubenräume des Steinkohlenbergbaus, nämlich

- Ablagerung in Bereichen, wo auf lange Zeit ein sicheres Abschließen der verbrachten Materialien von der Biosphäre erreicht werden kann (Prinzip des vollständigen Einschlusses).

- immissionsneutrale Ablagerung in Grubenräumen mit potentieller Wasserwegsamkeit bis hin zu den oberflächennahen Grundwasserhorizonten bzw. den Grundwasseraustrittsstellen im Bereich des Ruhrtales,

Beide Optionen werden im Folgenden auch im Hinblick auf die bergtechnischen und gebirgsmechanischen Implikationen zusammenfassend dargestellt und bewertet.

#### **V.1.1 Immissionsneutrale Verbringung von Abfall- oder Reststoffen in Grubenräume mit potentiellen Wasserwegsamkeiten zu oberflächennahen Grundwasserhorizonten und Grundwasseraustrittsstellen**

Nach den Ausführungen in den Abschnitten III.5 und IV.2.1 ist davon auszugehen, dass bei den meisten längerfristig offenen Grubenräumen des Steinkohlenbergbaus, d.h. Schächten, Blindschachten, Gesteins-(Sohlen-)strecken sowie Gesteinsbergen eine Wasserwegsamkeit bis in die oberflächennahen Grundwasserhorizonte nicht auszuschließen ist. Spätestens in der Phase des Überstauens der Grubenräume nach Beendigung der Wasserhaltung bei einer endgültigen Betriebseinstellung ist bei den dann vorhandenen hydrogeologischen Gegebenheiten daher ein Transport von Schadstoffen bis in die Biosphäre zumindest als Möglichkeit zu besorgen, wenn diese aus den Materialien in das Tiefenwasser übertreten können. In solchen Grubenräumen kommt daher nur eine immissionsneutrale Verbringung in Betracht, bei der ein Schadstoffaustausch in das umgebende Wasser verhindert wird bzw. ohne Bedeutung ist

- entweder durch die Beschaffenheit der Wässer selbst, also z. B. dadurch, dass diese geogen bedingt die fraglichen Stoffe bereits in einer solchen Konzentration enthalten, dass eine weitere Aufnahme aus den eingelagerten Materialien nicht möglich ist,
- oder durch die Beschaffenheit der eingebrachten Materialien, z. B. dadurch, dass bei inneren Barrieren ein Schadstoff austritt verhindert wird, wobei durch Immobilisierung dieser Zustand (z.B. Wasserundurchlässigkeit) entweder von vornherein vorhanden oder durch das Verbringen in die Einlagerungsumgebung erst entstanden sein kann.

Zu der ersten Gruppe der immissionsneutral zu verbringenden Materialien zählen beispielsweise die nach dem LWA-Katalog als unbedenklich anzusehenden Materialien (vgl. Abschnitt I.4.3, Tabelle I. 4/2). Durch die für die vorliegende Studie angestellten Labor-Untersuchungen im Hygiene-Institut Gelsenkirchen konnte der Kreis dieser Stoffe lediglich bezüglich der Flugasche aus einer Klärschlamm-Verbrennungsanlage nach dem Wirbelbettprinzip erweitert werden (vgl. Abschnitt III.5.4). Außerdem lassen die bisherigen eigenen Versuchsergebnisse und andere Untersuchungen den Schluss zu, dass auch noch andere Materialien, z.B. aus den Bereichen Gießereialtsande und Strahlmittelrückstände, nach vorheriger Überprüfung für diese Art der Verbringung in Frage kommen könnten.

Für die zweite Gruppe von Stoffen, bei denen eine immissionsneutrale Verbringung auf Grund des Vorhandenseins oder Entstehens von inneren hydraulischen oder geochemischen Barrieren möglich und zulässig ist, haben sich bei der abfalltechnischen Laboruntersuchung einige interessante Hinweise ergeben, denen in weiteren, gesonderten Untersuchungen nachgegangen werden sollte. Dies betrifft insbesondere die verfestigende Behandlung verschiedener staubförmiger Abfälle durch Zusatz hydraulischer Bindemittel. Als Beispiel sei ein bentonitgebundener Gießereialtsand mit 10 % Portlandzement-Zusatz genannt (vgl. Abschnitt III.5.6).

Auch die in Abschnitt IV.2.3.1 wiedergegebenen Ergebnisse von in-situ-Versuchen zur Wasserdurchlässigkeit von eingebrachten (in diesem Fall inerten) Materialien deuten darauf hin, dass sich bei geeigneter Kornverteilung und unter dem Einfluss des im Gefolge des Abbaus sich einstellenden Zusatzdruckes eine solche Dichtigkeit herausbilden könnte, die einen Schadstoffaustrag verhindern bzw. auf ein vertretbares Maß herabdrücken würde. Auch dieser Möglichkeit sollte durch weiterführende Untersuchungen nachgegangen werden.

Für den gegenwärtigen Zeitpunkt allerdings muss offen bleiben, ob und wann solche weiterführenden Untersuchungen von Erfolg sein werden; für eine immissionsneutrale Verbringung von Rest- und Abfallstoffen in Steinkohlebergwerke, also in solche längerfristig offenen Grubenräume, bei denen eine Wasserwegsamkeit zur Biosphäre nicht völlig ausgeschlossen werden kann, kommen daher nach dem derzeitigen Wissensstand lediglich die oben aufgelisteten Materialien in Betracht.

Da die Nutzung dieser längerfristig offenen Grubenräume grundsätzlich auch nach der Einstellung der Kohlengewinnung in dem betreffenden Bergwerk möglich ist, (wenn auch mit dem entsprechenden zusätzlichen Aufwand für die zwischenzeitlichen Unterhaltungsarbeiten), lässt sich eine zeitliche Trennung des Einlagerungsbetriebes vom Gewinnungsbetrieb erreichen. Dieser Umstand und die Tatsache, dass langfristig betrieblich eingeführte und erprobte Förder- und Transporteinrichtungen zur Verfügung stehen, erlauben insgesamt gesehen auch eine uneingeschränkt positive Beurteilung der Verbringung solcher Stoffe unter arbeitshygienischen und arbeitssicherheitlichen Aspekten. Auch hinsichtlich der Beschaffenheit der einzubringenden Materialien (Schüttgüter, Stückgüter, Gebinde unterschiedlicher Art) ergeben sich aufgrund der Verfügbarkeit entsprechender Spezial-Transporteinrichtungen keinerlei grundsätzliche Einschränkungen innerhalb der im Bergwerk beherrschbaren Dimensionen (bis einige t Masse, bis einige m Abmessungen); flüssig bleibende Materialien sind jedoch ebenso wie ausgasende oder gasförmige in jedem Fall auszuschließen.

Hinsichtlich ihrer gebirgsmechanischen Eigenschaften unterscheiden sich die längerfristig offenen Grubenräume eines Steinkohlenbergwerkes grundsätzlich nicht von den Grubenräumen anderer Bergbauzweige oder von Gesteinskavernen, die eigens für die Aufnahme bestimmter Materialien aufgefahren werden.

Für die erste der drei unter hydrogeologischen Aspekten zu unterscheidenden Phasen - Betrieb des Bergwerks bei Sümpfung der Grubenwässer durch die laufende Wasserhaltung - ist ein sicherer Ablauf aller Arbeiten ohne ein zu großes Risiko der Kontamination der Grubenwässer in der gleichen Weise erreichbar wie bei der Verbringung des Materials in die temporären Abbauhohlräume (vgl. Abschnitt IV.3 bzw. als zusammenfassende Darstellung Abschnitt V.1.2); eine nochmalige Behandlung an dieser Stelle darf daher entfallen. Für die Phasen 2 und 3 (Überstauen des Grubengebäudes bei Einstellung der Wasserhaltung und permanenter Endzustand nach Überstauen) erübrigts sich eine detaillierte Behandlung, weil hier grundsätzlich von möglichen Wasserwegsamkeiten bis in die oberflächennahen Grundwasserhorizonte und damit in die Biosphäre ausgegangen wurde.

## V.1.2 Verbringung von Abfall- und Reststoffen in temporär offene Abbauhohlräume nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses

Bei dieser Art der Verbringung von Abfall- und Reststoffen werden die Hohlräume genutzt, die im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Abbaugeschehen entstehen (Abbauhohlräume in den Strebetrieben) bzw. hierfür hergestellt werden (Abbaubegleitstrecken).

Bei den Abbauhohlräumen im Strebetrieb kann das zu verbringende Material entweder gemäß Abb. IV. 1/11 und IV. 1/12 in die Zwischenräume des Selbstversatzes unter Druck verpumpt werden (für flache und mäßig geneigte Lagerung anwendbar), oder gemäß Abb. VI. 3/1 in diese aus einer in der Kopfstrecke verlegten Leitung frei auslaufen (für mäßig bis stark geneigte Lagerung anwendbar)<sup>1</sup>. Durch das Verfallen der Zwischenräume zwischen den Bruchstücken des hereingebrochenen Selbstversatzes in Verbindung mit der starken Kompaktierung durch den nacheilenden Zusatzdruck und den Gebirgsdruck aus den überlagernden Schichten entsteht ein neuer Gebirgsverband - das eingebrachte Material wird quasi in das Gebirge eingebaut - mit einer durch in-situ-Messungen nachgewiesenen sehr geringe Wasserdurchlässigkeit, praktisch Wasserdichtigkeit (vgl. Abb. IV. 2/5 und IV. 2/6).

Verfahrensbedingt kann diese Art der Einlagerung nur im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Abbaugeschehen selbst erfolgen, dies auch deshalb, weil bereits kurze Zeit nach Abbaudurchgang der Selbstversatz unter dem Einfluss des Gebirgsdrucks aus den überlagernden Schichten soweit kompaktiert ist, dass - wie durch entsprechende Betriebsversuche deutlich wurde (vgl. Abschnitt I.3.1.6) - praktisch keine Hohlräume mehr zur Aufnahme der Suspension zur Verfügung stehen. Dies gilt nach den Ergebnissen von im Rahmen dieser Studie durchgeföhrten und von den Gutachtern begleiteten Betriebsversuchen sowohl für die flache wie für die geneigte Lagerung (vgl. Abschnitt I.3.1.1 und I.3.1.3). Bei entsprechen-

---

<sup>1</sup> Die weitere, neben diesem hydraulischen Verbringen noch gegebene Möglichkeit eines pneumatischen Einbringens wird von den Gutachtern aufgrund arbeitssicherheitlicher und arbeitshygienischer Überlegungen als weniger geeignet abgelehnt (vgl. Abschnitt IV. 3.3.3) und deshalb hier nicht mehr behandelt.

der Beschaffenheit des eingebrachten Materials (puzzolanische Eigenschaften bzw. Hydratationsfähigkeit) oder durch entsprechende Zugaben zu der Mischung, vor allem aber bei Vorhandensein von tonigen Bestandteilen in den unmittelbaren Dachschichten des abgebauten Flözes lässt sich sicherstellen, dass das gesamte für die hydraulische Verbringung des Materials benötigte Transportwasser im Verbringungsraum gebunden wird. Ein Austreten von (kontaminiertem) Überschusswasser kann, wie ebenfalls durch Betriebsversuche nachgewiesen, vermieden werden. Natürlich ist für einen nicht mit absoluter Sicherheit auszuschließenden Störfall entsprechende Vorsorge zu treffen, was als grundsätzlich möglich erscheint (vgl. Abschnitt IV.3.2.4).

Zu nennen ist ferner der positive Einfluss, der von den Nebengesteinsschichten z. B. durch deren Schwermetalladsorptionsfähigkeit im Hinblick auf eine Verringerung des Schadstoffaustrages ausgeübt wird (vgl. Abschnitt II.4). Da sich diese günstigen Auswirkungen beim gegenwärtigen Erkenntnisstand für das natürliche Gebirge jedoch nicht mit hinreichender Sicherheit quantifizieren lassen, bleiben sie im Folgenden bei der Bewertung zunächst unberücksichtigt, ebenso auch der Einfluss der Verdünnung von Schadstoffen in Grubenwässern.

Während des Einbringens der Materialien im laufenden Bergwerksbetrieb, also während der ersten der hydrogeologisch zu unterscheidenden Phasen, besteht ein vollständiger Einschluss natürlich noch nicht, da der Verbringungsraum im Gewinnungsstreb zunächst noch nicht wieder hinreichend kompaktiert wurde, um Wasserwegsamkeiten praktisch ausschließen zu können. Es muss daher hier dafür Vorsorge getroffen werden, dass auch im ungünstigsten anzunehmenden Fall eines Wassereinbruchs keine Durchströmung des Einlagerungsbereiches stattfindet. Wie in Abschnitt IV.4.3.2 dargestellt und in Abb. IV. 4/1 skizziert, lässt sich dies erreichen durch ein System von (für den Betriebsablauf in jedem Fall erforderlichen) offenen Grubenräumen in Verbindung mit einer zweckmäßigen Wahl der Einlagerungslokation.

Für die hydrogeologisch kritische Phase 2a des Wiederanstiegs der Grubenwässer nach Einstellung der Wasserhaltung bei Beendigung des Bergwerksbetriebes, also beim Überstauen der Grubenräume und damit auch des Einlagerungsbereiches, wurde durch erste Modellberechnungen nach-

gewiesen, dass eine Durchströmung des Einlagerungsbereiches (und damit ein evtl. Schadstoffaustrag in die Grubenwässer) eine so lange Zeit benötigen würde, dass inzwischen bereits die weit weniger kritisch zu beurteilende Phase 2b bzw. 3 eingetreten wäre, bei der sich die betreffenden Grubenräume innerhalb des überstaute Bereiche und damit unterhalb des wiederangestiegenen Grundwasserspiegels befänden (vgl. Abschnitt III.7.2.4). Hier ist eine Durchströmung aufgrund der viel geringeren wirksamen hydraulischen Gradienten und der i. W. schichtparallelen Strömungsrichtung, darüber hinaus noch durch die in den längerfristig offenen Grubenräumen vorhandenen Wasserwegsamkeiten, als nur sehr gering anzusehen. Bei dieser Modellrechnung für die Phase 2b wurde bewusst von sehr ungünstigen Annahmen ausgegangen; da in der Praxis in jedem Falle mit günstigeren Verhältnissen zu rechnen ist (vgl. Abschnitt IV.4.3.3), ist mit Sicherheit eine Umweltgefährdung während dieser Phase 2b auszuschließen. Wegen der wesentlich günstigeren hydrologischen Gegebenheiten in der nach Abschluss des Überstauens einsetzenden Phase 3 des langfristigen Endzustandes gilt diese Aussage auch hier.

Voraussetzung für ein umweltverträgliches Verbringen von Rest- und Abfallstoffen nach diesem Prinzip des vollständigen Einschlusses ist das Vorhandensein von geeigneten Schichtpaketen mit einem genügenden Anteil toniger Bestandteile in ausreichender Mächtigkeit, wie im Modellfall (vgl. Abschnitt II.7.2 bzw. Abb. IV. 4/2) zugrunde gelegt. Diese Situation ist insbesondere in den Schichten des Mittelkarbons im Bereich der Zollvereins-Flözgruppe bzw. bei den sogenannten Buchstaben- und Namens-Flözen anzutreffen. Ob und inwieweit auch andere Teile des flözführenden Karbons für eine solche Verbringung in Frage kommen, ist von der Beurteilung des jeweiligen Einzelfalles abhängig zu machen; in jedem Fall wäre es hierfür dringend erwünscht, auch in diesen Schichtpaketen Wasserdurchlässigkeits-Tests nach dem Beispiel der in Abschnitt IV.2.3.1 erwähnten Untersuchung in-situ durchzuführen, um zu verlässlicheren Werten für verbesserte Modellrechnungen zu gelangen. Zugleich könnten aus diesen Bohrlöchern verbesserte Analysen der geogenen Zusammensetzung der Grundwässer erhalten werden.

Bei den erwähnten Modellrechnungen ergaben sich für die angenommene vertikale Durchströmung des Schichtenpaketes mit der darin befindlichen Verbringungszone Zeiten in der Größenordnung von mehreren Jahr-

zehnten. Angesichts der Tatsache, dass für die tatsächliche Dauer der hierbei zugrunde gelegten Phase 2a in Wirklichkeit eine um mindestens eine Zehnerpotenz geringere Größenordnung anzusetzen ist, erscheint es als gerechtfertigt, die zu verlangende Mindestmächtigkeit der Nebengesteinsschichten bis zur oberen bzw. unteren durchgehenden Sohle wenigstens zu halbieren, d.h. für eine hinreichende Sicherheit einen Abstand von mindestens 20-25 m von der nächsttieferen bzw. nächsthöheren Sohle zu verlangen. Hierbei sind die zusätzlichen Sicherheiten noch nicht berücksichtigt, die sich aus den sehr konservativen Ansätzen auch bei den übrigen Einflussgrößen ergeben.

Für die Verbringung von Rest- und Abfallstoffen nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses in den Abbauhohlräumen eignen sich vom Verfahren her grundsätzlich alle Stoffe, die sich in einer entsprechenden Suspension verpumpen lassen, und die sich nach ihrem Verbringen durch Abbinden bzw. durch Wasserabgabe in das Nebengestein verfestigen. Diese Eigenschaften sind im jeweiligen Einzelfall durch entsprechende Nachweise zu belegen.

Da die für diese Art der Verbringung anzuwendende Technik als ausgereift und betriebssicher gelten kann, und da für evtl. auftretende Störfälle durch geeignete Vorsorgemaßnahmen (vgl. Abschnitt IV.3.2.4) unvertretbare Risiken ebenfalls ausgeschlossen werden können, sind grundsätzlich auch keine arbeitssicherheitlichen oder arbeitshygienischen Bedenken gegen die Art der Verbringung von Rest- und Abfallstoffen zu erheben im Hinblick auf alle die Stoffe, die im Rahmen dieser Machbarkeitsstudie im Detail labortechnisch untersucht wurden (vgl. Abschnitt III.5.8). Vertretbar erscheint darüber hinaus die Einbeziehung von weiteren Materialien, so insbesondere der nach dem LWA-Katalog als bedingt geeignet anzusehenden Abfälle (vgl. Abschnitt I.4.3, Tabelle I.4/3).

Ob und bis zu welchem Umfang darüber hinaus noch weitere Rest- und Abfallstoffe für eine Verbringung in Hohlräume des Steinkohlenbergbaus nach dem skizzierten Prinzip des vollständigen Einschlusses in Frage kommen, ist nicht in der vorliegenden Studie zu untersuchen und müsste ggf. in weiteren Untersuchungen geklärt werden.

Unter gebirgsmechanischem Blickwinkel unterscheidet sich die hier beschriebene Verbringung von Rest- und Abfallstoffen in Abbauhohlräume grundsätzlich von allen anderen Möglichkeiten einer Untertagedeponie. Durch die Art der Verbringung einerseits und die dynamischen Auswirkungen des sich großflächig durch das Schichtenpaket bewegenden abbaubedingten Zusatzdruckes ebenso wie des normalen Überlagerungsdruckes andererseits kommt es zu einer Kompaktierung und vollständigen Einschließung des eingebrachten Materials in den neu entstehenden Gebirgsverband. Im Gegensatz zu einer Einlagerung in Kavernen oder anderen, längerfristig offenen Grubenräumen ist also eine Ausbildung von durchgehenden Kontakt- oder Grenzflächen zwischen dem eingebrachten Material und dem umgebenden Gebirge nicht möglich, so dass hier auch keine potentiellen Unstetigkeitszonen, die evtl. zu Wasserwegsamkeiten führen könnten, entstehen können. Diese erwünschten Verhältnisse stellen sich umso vollständiger dort ein, wo sich die Hangendschichten durch Fehlen jeglicher Unterstützung großflächig als Selbstversatz in den durch den Abbau geschaffenen Hohlraum hinein bewegen müssen, also insbesondere in dem mittleren Bereich des Strebettriebes (vgl. Abb. IV. 1/11) in einer gewissen Entfernung von den Abbaustrecken, die eine - wenn auch entsprechend den in Abschnitt IV.2.2.1 dargestellten Verhältnissen nur minimale - gewisse Stützwirkung für die Hangendschichten durch ihren Ausbau ergeben. Aus diesem Grunde halten die Gutachter ein Verbringen der Rest- bzw. Abfallstoffe mittels Verpumpen durch Schlepprohre nach Abb. IV. 1/11 in den mittleren Bereich des Strebettriebes für vorziehenswürdig gegenüber der Variante des freien Auslaufes aus Injektionsrohren aus der Kopfstrecke gemäß Abb. IV. 3/2, wo bevorzugt der obere Strebrandbereich beschickt werden würde. Es muss jedoch betont werden, dass auch diese Möglichkeit als eine sichere Art der Verbringung nicht-immissionsneutraler Stoffe angesehen wird, wenn für eine ausreichende Abdichtung des Verbringungsbereiches gegenüber dem allgemeinen Grubengebäude Sorge getragen wird.

Die Verbindung zwischen dem Strebereich im engeren Sinne und dem allgemeinen Grubengebäude wird durch die Abbaubegleitstrecken hergestellt. Diese nehmen hinsichtlich ihres gebirgsmechanischen Verhaltens quasi eine Mittelstellung zwischen den eigentlichen Abbauhohlräumen und den längerfristig offenen Grubenräumen ein: Einerseits wird durch den eingebrachten Ausbau eine Unterstützungswirkung auf die hangen-

den Schichten ausgeübt, andererseits erfolgt durch die völlige Herausnahme einer Gebirgsschicht, nämlich der abgebauten Kohle, auf mindestens einer Seite eine solche nachhaltige Störung der ursprünglichen Gebirgsdruckverhältnisse, dass sich ein neues Kräftegleichgewicht erst nach ganz erheblichen Konvergenzen von häufig bis zum Mehrfachen des ursprünglich geschaffenen Querschnitts wieder einstellt (vgl. Abschnitt IV.2.2.1).

Dies bedeutet, dass auch das in die Abbaubegleitstrecken eingebrachte Material unter ganz erhebliche Druckauswirkungen kommt, insbesondere wenn diese Strecken vor dem endgültigen Abwerfen ausgeraubt werden. Hinsichtlich der Verbringung von Abfall- oder Reststoffen sind die Abbaubegleitstrecken also grundsätzlich ähnlich zu beurteilen wie die eigentlichen Abbauhohlräume, jedenfalls wenn eine entsprechende Beschaffenheit des Hangenden und Liegenden (ausreichender Anteil toniger Bestandteile) gegeben ist. Damit eröffnet sich auch die Möglichkeit, Abfall- bzw. Reststoffe in Form von Gebinden (die verfahrensbedingt in dem eigentlichen Abbauhohlraum nicht untergebracht werden können) nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses abzulagern.

In jedem Fall ist hierfür allerdings aufgrund der gebirgsmechanischen Zusammenhänge ein vollständiger Abschluss der Abbaustrecke vom übrigen Grubengebäude erforderlich. Dieser ist z.B. dadurch erreichbar, dass die Abbaubegleitstrecken auf eine ausreichende, ggf. auch auf volle Länge mit Baustoffen, Flotationsbergen oder mit entsprechend den obigen Überlegungen als weniger kritisch bzw. unbedenklich einzustufenden Rest- bzw. Abfallstoffen (vgl. Abschnitt I.4.2 und Tabelle I. 4/2; z. B. Kraftwerksreststoffe) voll verfüllt werden. Da auch diese Materialien unter die Auswirkungen des Gebirgsdruckes gelangen und allseitig eingespannt und kompaktiert werden, sich also keine besonderen Wasserwegsamkeiten, z.B. durch Schrumpfung des eingebrachten Materials an den „Kontaktflächen“ herausbilden können, ist - wie auch durch die Erfahrungen bestätigt wird - mit einem sicheren und langfristig wirksamen Abschluss zu rechnen zumindest bis weit über die voraussehbare Betriebszeit des Steinkohlebergbaus und über die hydrologisch kritische Phase 2a hinaus.

### V.1.3 Gesamtaussage

Zusammenfassend lässt sich damit die im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie zu erarbeitende Antwort auf die Frage, ob und wie eine Untertageverbringung bestimmter Rest- bzw. Abfallstoffe umweltverträglich möglich sei, wie folgt formulieren:

Nach gründlicher Analyse der vorliegenden Gegebenheiten unter Zugrundelegung der jeweils ungünstigsten, anzunehmenden Situation kommen die Gutachter zu dem Ergebnis:

- Eine Verbringung von Rest- und Abfallstoffen in allen Grubenräumen des Steinkohlenbergbaus ist vertretbar für solche Materialien, bei denen eine immissionsneutrale Ablagerung erfolgen kann.
- Für solche Stoffe, die diese Gewähr nicht bieten, ist in bestimmten, lokal abzugrenzenden Bereichen eine Ablagerung nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses als umweltverträglich anzusehen, vorzugsweise durch hydraulische Verbringung dieser Stoffe durch Verpumpen in den Selbstversatz der Abbauhohlräume in den hierfür geeigneten Schichten des mittleren Karbons. Dabei ist in jedem Einzelfall das Vorliegen der zufordernden Bedingungen und Gegebenheiten nachzuweisen.

Im folgenden abschließenden Kapitel der vorliegenden Studie wird ein Katalog dieser erforderlichen Bedingungen und Gegebenheiten vorgestellt.

## **V.2 Voraussetzungen für eine umweltverträgliche Untertageverbringung von Rest- und Abfallstoffen im Steinkohlenbergbau**

Nach den vorstehenden Darlegungen ist es nicht möglich, die Frage nach der Umweltverträglichkeit einer Untertageverbringung von Rest- und Abfallstoffen im Steinkohlenbergbau generell, also für das gesamte Ruhrrevier, zu beantworten. Es kommt vielmehr auf die im Einzelfall gegebenen Bedingungen an, ob die hierfür zufordernden Voraussetzungen vorliegen. Jeder Einzelfall bedarf daher einer eingehenden sorgfältigen Überprüfung. Dies gilt sowohl bei einer Ablagerung nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses als auch für den Fall einer immissionsneutralen Verbringung.

### **V.2.1 Immissionsneutrale Verbringung**

Zur Realisierung dieses Prinzips ist sicherzustellen, dass durch die eingebrachten Stoffe keine nachteilige Veränderung der geogenen Beschaffenheit des Einlagerungsmilieus, insbesondere der Grundwässer zu besorgen ist. Da dieses Milieu örtlich sehr unterschiedlich sein kann (vgl. Abschnitt II.4.2), muss die Einhaltung dieser Bedingung ebenfalls in jedem Einzelfall überprüft werden.

Dies bedeutet einerseits, dass nur Stoffe einer bekannten und gleichbleibenden chemischen Beschaffenheit eingebracht werden dürfen, deren austragbare mobilen Bestandteile anderseits im umgebenden Grubenwasser bereits in einer solchen Konzentration vorhanden sein müssen, dass eine weitere, zusätzliche Belastung dieser Wässer nicht erfolgen kann. In jedem Falle ist daher ein Abgleich zwischen dem Chemismus der Grubenwässer an der jeweiligen, für die Verbringung vorgesehenen Lokation und demjenigen der zu verbringenden Stoffe erforderlich, wenn diese nicht grundsätzlich als unbedenklich anzusehen sind (z.B. LWA-Katalog). Erforderlichenfalls sind die entsprechenden Eluierungsversuche unter Benutzung des am Verbringungsort angetroffenen bzw. zu erwartenden Grubenwassers in einem geeigneten Labor durchzuführen.

Nach dem gegenwärtigen Wissensstand kommen für eine Untertageverbringung nach dem Prinzip der immissionsneutralen Ablagerung vor allem die o. a. im LWA-Katalog (vgl. Tabelle 1. 4/2 in Abschnitt 1.4) als un-

bedenklich genannten Abfälle in Frage. Ob sich dieser Katalog ggf. nach Konditionierung bestimmter Stoffe noch erweitern lässt, muss weiterführenden Untersuchungen vorbehalten bleiben.

### **V.2.2 Verbringung nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses**

Die bei diesem Prinzip zu erfüllenden Voraussetzungen betreffen in erster Linie die hydrologischen und geologischen Gegebenheiten am vorgesehenen Verbringungsort. Nach dem gegenwärtigen Erkenntnisstand lassen sich diese wie folgt zusammenfassen, wobei auch hier eine Erweiterung des Zulässigkeitsbereiches als möglich erscheint, wenn und soweit durch entsprechende weiterführende Untersuchungen einschließlich in-situ-Tests das Vorhandensein der entsprechenden Voraussetzungen nachgewiesen werden kann.

- 1) Nach dem gegenwärtigen Stand der Erkenntnisse halten die Gutachter lediglich das hydraulische Verbringen von Materialien in die Strebhohlräume, vorzugsweise durch Verpumpen aus Schlepprohren gemäß der Skizze in den Abb. IV. 1/11 und IV. 1/12, und das Verbringen von Gebinden (gemäß Skizze in Abb. IV. 3/1) oder ein hydraulisches Einbringen in Abbaubegleitstrecken bei sicherem Abschluss dieser Strecken gegen das übrige Grubengebäude, z.B. durch vollständiges Verfüllen (vgl. Abschnitt V.1.2), für vertretbar unter den Aspekten sowohl der Umweltverträglichkeit wie der Arbeitssicherheit und -hygiene. Ob zu einem späteren Zeitpunkt auch andere Verbringungstechniken (z.B. pneumatische Verfahren) zugelassen werden können, muss den Ergebnissen entsprechender weiterführender Untersuchungen vorbehalten bleiben.
- 2) Der Einlagerungsbereich muss innerhalb geeigneter Schichtenpakete eingerichtet sein. Der Anteil an tonigen Bestandteilen in den unmittelbaren Dachschichten muss hoch genug sein, um unter der Wirkung des nacheilenden Zusatzdruckes und des überlagernden Gebirgsdruckes eine ausreichende Kompaktierung des in den Selbstversatz eingebrachten Materials einerseits und eine vollständige Aufnahme des Transportwassers andererseits zu gewährleisten. Die Schichten des Haupthangenden müssen so beschaffen sein, dass sie sich nach Durchgang des Abbaus ohne makroskopische Bruch- oder

Auflockerungserscheinungen auf den Selbstversatz bei quasi-plastischer Verformung auflegen.

Nach Überzeugung der Gutachter sind diese Gegebenheiten in den Schichten des mittleren Karbons (Zollvereinflözgruppe und Buchstaben- bzw. Namens-Flöze) als vorhanden anzusehen, im Übrigen müssten sie jeweils nachgewiesen werden. Dies kann z.B. durch Vorlage eines für die vorgesehene Lokation zutreffenden Schichtenprofiles mit Beschreibung der einzelnen Gebirgsschichten geschehen.

- 3) Die Hangend- und Liegendschichten müssen gegenüber den potentiellen Wasserwegsamkeiten (Gesteinsstrecken auf der oberen und der unteren Sohle) eine so große Mächtigkeit aufweisen, dass eine senkrechte Durchströmung auch im hydrologisch ungünstigen Fall der Phase 2a mit hinreichender Sicherheit ausgeschlossen werden kann.

Nach Überzeugung der Gutachter ist hierfür zunächst ein Mindestabstand gegenüber der unteren Sohle von 20-25 m und gegenüber der oberen Sohle von ebenfalls 20-25 m vorzusehen. Ob dieser im Einzelfall unterschritten werden kann, muss dem Ergebnis weiterführender Untersuchungen und Modellrechnungen vorbehalten bleiben.

- 4) Die Verbringung muss in die tieferen Stockwerke des Gebirgskörpers erfolgen, damit ein hinreichend hoher Überlagerungsdruck zur Verdichtung der in den Selbstversatz eingebrachten Materialien bzw. ein vollständiges, dichtes Umschließen der in den Abbaubegleitstrecken eingelagerten Gebinde erfolgt. Die Gutachter halten hierfür eine Teufe von mindestens 800 m für erforderlich.
- 5) Von allen potentiellen Wasserwegsamkeiten (Störungen, Schächten, Blindschächten) ist gemäß der Skizze in Abb. IV. 4/1 ein so großer Sicherheitsabstand einzuhalten bzw. durch Abdämmen wieder herzustellen, dass ein Wasserdurchbruch mit Schadstoffaustrag mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Beispielsweise können insoweit die bergbehördlichen Vorschriften über die Bemessung von

Schutzfesten gegenüber Standwässern zur Dimensionierung herangezogen werden.

- 6) Die Verbringung darf nur in solche Feldesteile vorgesehen werden, in denen aufgrund entsprechender Aufklärungsergebnisse das Vorhandensein unbekannter, potentieller Wasserwegsamkeiten, z. B. auf Störungszonen, mit Sicherheit ausgeschlossen werden kann. Möglichkeiten für solche hinreichende Aufklärungsmaßnahmen sind nach Meinung der Gutachter beispielsweise das Unter- oder Überbauen des für die Einlagerung vorgesehenen Bereiches in einem anderen Flözniveau, das Auffahren von entsprechenden Strecken, oder auch geophysikalische Methoden (Flözwellenseismik bzw. Durchschallung),
- 7) Der für die Einlagerung vorgesehene Feldesbereich soll durch Gesteinsstrecken sowie sohlenverbindende Grubenbaue weiträumig gegen die Gefahr einer Durchströmung im Falles eines Wassereinbruches in einem benachbarten Feldesteil geschützt werden, die in Anlehnung an die Prinzipskizze in Abb. IV. 4/1 angeordnet sind. Im Niveau unterhalb des Einlagerungsbereiches muss eine ausreichende Wasserhaltungskapazität vorhanden sein, die auch im Falle eines Wassereinbruchs ein Ansteigen des Wasserspiegels bis zum Einlagerungsbereich mit Sicherheit verhindern kann.
- 8) Bei einem hydraulischen Verbringen der Materialien von über Tage aus ist für die Möglichkeit eines Störfalles eine so große Aufnahmekapazität durch geeignete Maßnahmen vorzusehen, dass die (Schacht)Leitungen ohne Gefährdung der Belegschaft entleert werden können. Nach Meinung der Gutachter verdient das Vorhalten von Aufnahmeverolumina in einem (Reserve)Betrieb den Vorzug vor einem speziellen Speicherraum.
- 9) Es ist Vorsorge für eine gefahrlose Beseitigung von evtl. durch Undichtigkeiten in das Grubengebäude ausgetretenen Materialien zu treffen.

- 10) Bei der Anlieferung, Eingangskontrolle sowie Zwischenlagerung über Tage sind die dem Gefährdungspotential der Materialien angemessenen Vorsichtsmaßnahmen zu treffen.

### **V.3 Schematische Zusammenfassung und erforderliche Unterlagen**

Schematisch lässt sich die Gesamtaussage der vorliegenden Studie über die Nutzung von Hohlräumen des Steinkohlenbergbaus im Ruhrgebiet zur umweltverträglichen Verbringung von Rest- und Abfallstoffen zusammenfassen in Form einer Matrix, wie sie in Abb. V. 3/1 dargestellt ist. Natürlich ist diese Bewertung nur als eine Übersicht zu verstehen, die keineswegs die nach Meinung der Gutachter unerlässliche, differenzierte Bewertung jedes Einzelfalles ersetzen kann.

Für diese Einzelfallbeurteilung entsprechend den Anforderungen in Abschnitt V.2 erscheinen die folgenden Unterlagen als erforderlich:

- Darstellung der räumlichen Lage des Verbringungsbereiches im Grubengebäude, speziell in Bezug auf die vorhandenen langfristig offenen Grubenbaue und potentiellen Wasserwegsamkeiten (Übersichtsriß/Grubenbild)
- Darstellung des geplanten Verbringungsbereiches mit seinen technischen Einrichtungen (Schemazeichnung/Flözriss)
- Darstellung der geologischen/petrographischen Gegebenheiten des Nebengesteins im Hangenden/Liegenden des Verbringungsbereiches (Schichtenschnitt)
- Darstellung der vorgesehenen Verbringungstechnik und der Verbringungswege (Schemazeichnung/Förderflussbild)
- Darstellung der vorgesehenen Abschließungs-/Abdämmungsmaßnahmen nach Einstellung des Verbringungsbetriebes (Schemazeichnung/Flözriss)

Grubenbau	Eigenschaften der benachbarten Gesteine			Grundwasser-Immissionen			Abfall- und Reststoffe			Bemerkungen	
	Durchlässigkeit	Metall-adsorp-tion	ohne	neutral	fast neutral	nicht neutral	Aggregatzustand				
							ge-blinde	stückig	fein-körnig		
(z. B. Gesteinstrecken)	unterschiedlich	sehr gering	+	+	-	-	+	+	+	ggf. Abschluss durch Dämme	
Temporär offen	Abbaubegleitstrecken im Flöz	gering	gering	+	o	o	o	+	+	vollständige Verfüllung der Strecken, ggf. auf ganzer Länge	
	Abbauhohlräume (Streb/Versatzraum)	sehr gering	hoch	+	+	+	-	o	+	vorzugsweise als hydraulischer Nachversatz	

Legende:

+ zulässig/möglich      o bedingt zulässig/möglich      - nicht zulässig/möglich

**Abb. V. 3/1** Übersicht über die Voraussetzungen einer Verbringung von Abfall- und Reststoffen in Grubenräumen des Steinkohlenbergbaus

Außerdem sind die Unterlagen beizubringen, die sich aus den allgemeinen Vorschriften bei deren sinngemäßer Anwendung auf die Gegebenheiten der untertägigen Verbringung von Abfall- bzw. Reststoffen in Grubenräume des Steinkohlenbergbaus ergeben. Hier ist speziell zu verweisen auf

Merkblatt für die Erstellung von Antragsunterlagen zur Durchführung von Planfeststellungs- und Plangenehmigungsverfahren nach § 7 Abfallgesetz - AbfG - zur Errichtung und zum Betrieb einer ortsfesten Abfallentsorgungsanlage<sup>2)</sup>)

und den Entwurf

Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz  
hier: Technische Anleitung zur Abfallentsorgung - TA -Abfall;  
1. Teil: Sonderabfallentsorgung „Untertägige Ablagerung“  
Stand 23.01.89.

---

<sup>2</sup> Rundverfügung des LOBA NW Nr. A7 vom 30.9.1988 - 01.25.4-1-9 Abfallentsorgung.

# Gesamtinhaltsverzeichnis

I	<b>Einleitung</b>
I.1	Allgemeines
I.1.1	Veranlassung und Zweck der Studie
I.1.2	Zielstellung; Umweltverträgliche Untertageverbringung
I.1.3	Kriterien zur Untertageverbringung in Steinkohlenbergwerken des Ruhrkohlenbezirks
I.2	Rechtliche Grundlagen, Vorschriften
I.2.1	Wasserrechtliche Vorschriften
I.2.2	Abfallrechtliche Vorschriften
I.2.3	Bergrechtliche Vorschriften
I.3	Stand der untertägigen Verbringung von Abfällen
I.3.1	Untertageverbringung im Ruhrgebiet
I.3.1.1	Versuche auf den Bergwerken Walsum und Monopol
I.3.1.2	Versuche auf dem Bergwerk Consolidation
I.3.1.3	Versuche auf den Baufeldern Pluto und Unser Fritz
I.3.1.4	Haus Aden
I.3.1.5	Untertagedeponie Zollverein
I.3.1.6	Untertagedeponie Minister Stein
I.3.2	Geplante und betriebene Untertageverbringungen außerhalb des Ruhrgebietes
I.3.2.1	Untertagedeponie Herfa-Neurode
I.3.2.2	Untertagedeponie Friedrichshall
I.3.2.3	Untertage(versuchs)deponie Asse
I.3.2.4	Untertagedeponie Gorleben
I.3.2.5	Untertagedeponie Konrad
I.3.2.6	Untertageverbringung Wohlverwahrt-Nammen
I.3.2.7	Untertageverbringung Bad Grund

- I.3.2.7 Untertageverbringung Meggen
- I.3.3 Für die Untertageverbringung wesentliche Merkmale der Anlagen außerhalb des Ruhrgebietes
- I.4 Betrachtungen zur entsorgungsspezifischen Relevanz der Abfälle im Land Nordrhein-Westfalen
  - I.4.1 Allgemeine abfallwirtschaftliche Grundsätze
  - I.4.2 Klassifizierung und Unterteilung der Abfälle
    - I.4.2.1 Hausmüll
    - I.4.2.2 Sperrmüll
    - I.4.2.3 Gartenabfälle
    - I.4.2.4 Schlamm aus kommunalen Anlagen
    - I.4.2.5 Sonstige kommunale Abfälle
    - I.4.2.6 Gewerbeabfälle
      - I.4.2.6.1 Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle
      - I.4.2.6.2 „Sonderfälle“
    - I.4.2.7 Krankenhausabfälle
    - I.4.2.8 Bauschutt und Bodenaushub
  - I.4.3 Abfallentsorgungswege im Land Nordrhein-Westfalen
    - I.4.3.1 Wege zur Verwertung und Entsorgung kommunaler Abfälle
    - I.4.3.2 Deponieklassen
    - I.4.3.3 Entsorgungswege für Sonderabfall
    - I.4.3.4 Das Abfallentsorgungsmodell Nordrhein-Westfalen
    - I.4.3.5 Überlegungen zu dem Entsorgungsweg UTDSKB
      - I.4.3.5.1 Hinweise auf UTDSKB im Rahmenkonzept MURL
      - I.4.3.5.2 Stofflisten des LWA über UTDSKB-geeignete Abfallarten
      - I.4.3.5.3 Weitere Gesichtspunkte bei der Deponierung von Abfällen in Untertagedeponien des Steinkohlenbergbaus
    - I.4.4 Katalog der näher untersuchten Abfälle

## **II            Geologie und Hydrologie**

- II.1        Geologischer Aufbau
- II.1.1     Allgemeines
- II.1.2     Steinkohlengebirge
- II.1.2.1   Überblick
- II.1.2.2   Stratigraphische Gliederung
- II.1.2.3   Gesteinsausbildung
- II.1.2.4   Lagerungsverhältnisse
- II.1.2.4.1   Falten- und Überschiebungstektonik
- II.1.2.4.2   Querstörungen
- II.1.2.4.3   Klüfte und Schlechten
- II.1.2.5   Beschreibung der Geologie anhand der geologischen Karte und der Schnitte
  - II.1.2.5.1   Querschnitte
  - II.1.2.5.2   Längsschnitte
- II.1.3     Deckgebirge
- II.1.3.1   Überblick
- II.1.3.2   Stratigraphie und Gesteinsausbildung
- II.1.3.2.1   Perm (Zechstein)
- II.1.3.2.2   Trias
- II.1.3.2.3   Kreide
- II.1.3.2.4   Tertiär
- II.1.3.2.5   Quartär
- II.1.3.3   Lagerungsverhältnisse
- II.1.3.3.1   Bruchtektonik
- II.1.3.3.2   Einsturzbildungen
- II.1.3.3.3   Faltungstektonik
- II.1.3.4   Gasführung

- II.2 Hydrogeologie
  - II.2.1 Allgemeines
  - II.2.2 Steinkohlengebirge
    - II.2.2.1 Unverritztes Steinkohlengebirge
    - II.2.2.2 Verritztes Steinkohlengebirge
  - II.2.3 Deckgebirge
    - II.2.3.1 Ostteil: Bereich des Kreidedeckgebirges
    - II.2.3.2 Westteil: Bereich des Tertiär-, Kreide-, Trias- und Perm-Deckgebirges
    - II.2.3.3 Regionales Fließsystem im unteren Grundwasserhorizont
    - II.2.4 Wassergewinnung/Wasserwirtschaft
- II.3 Hydrochemie
  - II.3.1 Erfassung und Archivierung der Daten
  - II.3.2 Auswertung der Daten
  - II.3.3 Darstellung der Ergebnisse
  - II.3.4 Allgemeine Hydrochemie
    - II.3.4.1 Steinkohlengebirge
    - II.3.4.2 Deckgebirge
  - II.3.5 Ergebnisse
    - II.3.5.1 Hydrochemische Schnitte
    - II.3.5.2 Teufenabhängige Konzentrationsverteilungen ausgewählter Kationen und Anionen
      - II.3.5.2.1 Steinkohlengebirge/Gesamtgebiet
      - II.3.5.2.2 Steinkohlengebirge/einzelne Zonen
      - II.3.5.2.3 Deckgebirge
  - II.3.6 Grubenmischwässer (Spurenstoffe)
    - II.3.6.1 Inhaltsstoffe
    - II.3.6.2 Elementfrachten

- II.4 Geochemie
  - II.4.1 Einleitung'
  - II.4.2 Mineralogische und geochemische Zusammensetzung der Gesteine
    - II.4.2.1 Mineralogische Zusammensetzung
    - II.4.2.1.1 Tonsteine und siltig-sandige Tonsteine
    - II.4.2.1.2 Sandsteine und konglomeratische Sandsteine
    - II.4.2.1.3 Kohlige Ton-Siltsteine („Wurzelböden“)
    - II.4.2.1.4 Karbonate und tonige Karbonate („Toneisensteine“)
    - II.4.2.1.5 Mittlere Mineralzusammensetzung der Nebengesteine
    - II.4.2.1.6 Kohle
  - II.4.2.2 Geochemische Zusammensetzung der Nebengesteine
    - II.4.2.2.1 Steinkohlengebirge
    - II.4.2.2.2 Deckgebirge
  - II.4.2.3 Geochemisches Rückhaltevermögen
  - II.4.2.3.1 Kationenaustauschkapazität
  - II.4.2.3.2 Säure-Puffervermögen
  - II.4.2.3.3 Schwermetallsorption
- II.4.3 Ergebnisse
- II.5 Bergmännische Wasserwirtschaft
  - II.5.1 Übersicht über die bergbauliche Situation
    - II.5.1.1 Stillstandsbereich
    - II.5.1.2 Produktiver Bereich
    - II.5.1.3 Reservefelder
  - II.5.2 Grubenwässer
    - II.5.2.1 Herkunft und Alter
    - II.5.2.2 Zuflussmenge

- II.5.2.3 Wasserübertrittsstellen
- II.5.2.4 Standwasser
- II.6 Gebirgsdurchlässigkeit
  - II.6.1 Das bergbaulich überprägte Gebirge
  - II.6.1.1 Allgemeine Situation
  - II.6.1.2 Situation im Produktiven Abbaubereich
  - II.6.2 Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeiten
  - II.6.2.1 Wasserdruk-Versuch (WD-Tests) bei Dammbauarbeiten
  - II.6.2.2 WD-Versuche auf dem Bergwerk Walsum
  - II.6.3 Bestimmung der Gebirgsdurchlässigkeit in untertägigen Schluckbrunnen
    - II.6.3.1 Versuchsdurchführung
    - II.6.3.2 Lage der Schluckbrunnen und Ergebnisse der Messungen
  - II.6.4 Berechnungen der Gebirgsdurchlässigkeit aus Zuflüssen zwischen zwei Wasserprovinzen
  - II.6.5 Bewertung
- II.7 Grundwasser-Modellrechnungen
  - II.7.1 Modellvorstellungen
  - II.7.2 Wiederanstieg des Grundwassers nach Einstellung der Grubenwasserhebung (Phase 2)
    - II.7.2.1 Horizontales Strömen
    - II.7.2.2 Vertikales Strömen, analytische Lösung
    - II.7.2.3 Vertikales Strömen, numerische Lösung
    - II.7.2.4 Rechenergebnisse
  - II.7.3 Horizontaler Abfluss des Grundwassers nach Einstellung der Grubenwasserhebung (Phase 2)
  - II.7.4 Grundwasserströmung nach Volllaufen aller Grubenbaue und vollständiger Sättigung des Kluftnetzes (Phase 3)

- II.7.4.1 Analytische Berechnung
- II.7.4.2 Numerische Berechnung
- II.7.4.2.1 Berechnungsverfahren, Diskretisierung und Randbedingungen
- II.7.4.2.2 Gebirgsdurchlässigkeiten und effektive Porositäten
- II.7.4.2.3 Ergebnisse der Modellrechnungen

### **III Abfalltechnische Untersuchungen**

- III.1 Zielsetzung- und Vorgehensweise bei den Untersuchungen von Abfällen
- III.2 Beschreibung der Untersuchungsmethoden
  - III.2.1 Elution nach DIN 38 414 -4(DEV/S4)
  - III.2.2 Elution im Säulenversuch
- III.3 Angewandte Vorbehandlungsverfahren
  - III.3.1 Vorbehandlung der Abfälle ohne Zementzusatz
  - III.3.2 Vorbehandlung der Abfälle mit Zementzusatz
  - III.3.3 Vorbehandlung durch Mischung
- III.4 Chemisch-physikalische Analysen
  - III.4.1 Substanzanalysen
  - III.4.2 Analysen der Lösungswässer (Grubenwässer)
  - III.4.3 Eluatanalysen
  - III.4.4 Physikalische Analysen
  - III.4.5 Bergbauhygienische Untersuchungen
- III.5 Darstellung und Bewertung der Untersuchungsergebnisse und Charakterisierung der untersuchten Abfälle

- III.5.1 Abfallgruppe 1  
Rauchgasreinigungsrückstände aus Müllverbrennungsanlagen
- III.5.1.1 Herkunft und Bezeichnung der Stoffproben
- III.5.1.2 Stoffanalysen
- III.5.1.3 Lösungswasser-Analysen
- III.5.1.4 Schüttel-Versuche an unbehandelten Proben
- III.5.1.5 Säulen-Versuche an unbehandelten Proben
- III.5.1.6 Schüttel-Versuche an vorbehandelten Proben
- III.5.1.7 Säulen-Versuche an vorbehandelten Proben
- III.5.1.8 Stoffbilanzen
- III.5.1.9 Zusammenfassung Abfallgruppe I
- III.5.2 Abfallgruppe II  
Rückstandsgemisch aus der MVA Essen-Karnap
- III.5.2.1 Herkunft und Bezeichnung der Stoffproben
- III.5.2.2 Substanzanalysen
- III.5.2.3 Lösungswasser-Analysen
- III.5.2.4 Schüttel-Versuche an der unbehandelten Probe
- III.5.2.5 Säulen-Versuche an der vorbehandelten Probe
- III.5.2.6 Zusammenfassung Abfallgruppe II
- III.5.3 Abfallgruppe III  
Gemisch MVA-Filterstaub + Flotationsberge
- III.5.3.1 Herkunft und Bezeichnung der Stoffproben
- III.5.3.2 Substanzanalysen
- III.5.3.3 Lösungswasser-Analysen
- III.5.3.4 Schüttel-Versuche an der unbehandelten Probe
- III.5.3.5 Säulen-Versuche an der vorbehandelten Probe
- III.5.3.6 Zusammenfassung Abfallgruppe III

- III.5.4. Abfallgruppe IV  
Rückstände aus kommunalen Klärschlamm-Verbrennungsanlagen
- III.5.4.1 Herkunft und Bezeichnung der Stoffproben
- III.5.4.2 Substanzanalysen
- III.5.4.3 Lösungswasser-Analysen
- III.5.4.4 Schüttel-Versuche an der unbehandelten Probe
- III.5.4.5 Säulen-Versuche an der vorbehandelten Probe
- III.5.4.6 Zusammenfassung Abfallgruppe IV
- III.5.5 Abfallgruppe V  
Rückstände aus der Ölschlammverbrennung Fa. FORD
- III.5.5.1 Herkunft und Bezeichnung der Stoffproben
- III.5.5.2 Substanzanalysen
- III.5.5.3 Lösungswasser-Analysen
- III.5.5.4 Schüttel-Versuche an der unbehandelten Probe
- III.5.5.5 Säulen-Versuche an der vorbehandelten Probe
- III.5.5.6 Zusammenfassung Abfallgruppe V
- III.5.6 Abfallgruppe VI  
Gießereialtsande
- III.5.6.1 Herkunft und Bezeichnung der Stoffproben
- III.5.6.2 Substanzanalysen
- III.5.6.3 Lösungswasser-Analysen
- III.5.6.4 Schüttel-Versuche an der unbehandelten Probe
- III.5.6.5 Säulen-Versuche an der vorbehandelten Probe
- III.5.6.6 Zusammenfassung Abfallgruppe VI
- III.5.7 Abfallgruppe VII  
Strahlmittelrückstände
- III.5.7.1 Herkunft und Bezeichnung der Stoffproben
- III.5.7.2 Substanzanalysen

- III.5.7.3 Lösungswasser-Analysen
  - III.5.7.4 Schüttel-Versuche an der unbehandelten Probe
  - III.5.7.5 Zusammenfassung Abfallgruppe VII
  - III.5.8 Bergbauhygienische Untersuchungen
  - III.5.9 Zusammenfassende Beurteilung der untersuchten Abfälle
  - III.5.9.1 Elutionsversuche
  - III.5.9.2 Anmerkungen zur Dioxin-Problematik
  - III.6 Anhang III/I Abbildungen
  - III.7 Anhang III/II Rechenblätter
- IV Bergtechnik**
- IV.1 Charakteristika einer Steinkohlentiefbaugrube im Ruhrgebiet
  - IV.1.1 Aus- und Vorrichtung
  - IV.1.2 Abbau
  - IV.1.3 Förderung und Transport
  - IV.1.4 Bewetterung und Wasserhaltung
  - IV.2 Potentielle Deponieräume und ihre Gegebenheiten
  - IV.2.1 Längerfristig offene Grubenräume
  - IV.2.1.1 Gebirgsmechanische Zusammenhänge
  - IV.2.1.2 Aus dem Grubenbetrieb resultierende Gegebenheiten
  - IV.2.2 Abbaubegleitstrecken
  - IV.2.2.1 Gebirgsmechanische Zusammenhänge
  - IV.2.2.2 Aus dem Grubenbetrieb resultierende Gegebenheiten
  - IV.2.3 Abbauhohlräume
  - IV.2.3.1 Gebirgsmechanische Zusammenhänge

- IV.2.3.2 Aus dem Grubenbetrieb resultierende Gegebenheiten
- IV.3 Verfahrenstechniken zum Verbringen von Reststoffen und Abfällen
  - IV.3.1 Mechanische Transport- und Einlagerungssysteme
    - IV.3.1.1 Technische Einrichtungen
    - IV.3.1.2 Mögliche Einsatzbereiche
    - IV.3.1.3 Arbeitssicherheitliche und arbeitshygienische Bewertung
    - IV.3.1.4 Störfallbeurteilung
  - IV.3.2 Hydraulische Transport- und Einlagerungssysteme
    - IV.3.2.1 Technische Einrichtungen
    - IV.3.2.2 Mögliche Einsatzbereiche
    - IV.3.2.3 Arbeitssicherheitliche und arbeitshygienische Bewertung
    - IV.3.2.4 Störfallbeurteilung
  - IV.3.3 Pneumatische Transport- und Einlagerungssysteme
    - IV.3.3.1 Technische Einrichtungen
    - IV.3.3.2 Mögliche Einsatzbereiche
    - IV.3.3.3 Arbeitssicherheitliche und arbeitshygienische Beurteilung
    - IV.3.3.4 Störfallbeurteilung
- IV.4 Beurteilung der Umweltverträglichkeit einer Verbringung von Abfall- bzw. Reststoffen in Gruberraume des Steinkohletiefbaus aus bergtechnischer und gebirgsmechanischer Sicht
  - IV.4.1 Grundsätzliche Bedingungen und Kriterien für die Beurteilung
  - IV.4.2 Verbringung von Stoffen nach dem Prinzip der immissionsneutralen Ablagerung
  - IV.4.3 Verbringung von Stoffen nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses
    - IV.4.3.1 Allgemeine Gegebenheiten
    - IV.4.3.2 Gegebenheiten während der Einbringungsphase

- IV.4.3.3 Gegebenheiten während der Phase des Überstauens
- IV.4.3.4 Gegebenheiten während des permanenten Zustandes nach Abschluss des Überstauens
- IV.5 Zusammenfassende Bewertung
- IV.6 Abschätzung der für die Untertageverbringung von Rest- oder Abfallstoffen verfügbaren Volumina
- V Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlussfolgerungen**
  - V.1 Beurteilung der Umweltverträglichkeit
    - V.1.1 immissionsneutrale Verbringung von Abfall- und Reststoffen in Grubenräume mit potentiellen Wasserwegsamkeiten zu oberflächennahen Grundwasserhorizonten
    - V.1.2 Verbringung von Abfall- und Reststoffen in temporär offene Abbauhohlräume nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses
    - V.1.3 Gesamtaussage
  - V.2 Voraussetzungen für eine umweltverträgliche Untertageverbringung von Rest- und Abfallstoffen im Steinkohlenbergbau
    - V.2.1 Immissionsneutrale Verbringung
    - V.2.2 Verbringung nach dem Prinzip des vollständigen Einschlusses
  - V.3 Schematische Zusammenfassung und erforderliche Unterlagen