

Mitteilung des Instituts
für Grundbau und Bodenmechanik
Technische Universität Braunschweig

Heft Nr. 17

**Ablagerung
umweltbelastender Stoffe**

Fachseminar 6.-7. Februar 1985
Braunschweig

Braunschweig 1985



Grußwort

Mit dem Fachseminar "Ablagerung umweltbelastender Stoffe" am 06. und 07. Februar 1985 in der Stadthalle Braunschweig wandte sich die Technische Universität Braunschweig an eine interessierte Öffentlichkeit, die mit der Aufgabe des Themas eng verbunden ist und nach Lösungen sucht, die dem neuesten Erkenntnisstand aus Wissenschaft und Technik entsprechen und die den Forderungen unserer Gesellschaft nach sorgsamem Umgang mit unserer Umwelt nachkommen möchte. Drei Institute der Technischen Universität

- Institut für Grundbau und Bodenmechanik
- Institut für Stadtbauwesen - Abtl. Siedlungswasserwirtschaft
- Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb

arbeiteten bei der Vorbereitung dieses hochaktuellen Fachseminars zusammen und zogen darüber hinaus Fachleute aus anderen Einrichtungen hinzu. Der Erfolg dieser überaus fruchtbaren interdisziplinären Zusammenarbeit bestätigt die Richtigkeit des Bemühens der Technischen Universität um Ausweitung der Veranstaltungen zur beruflichen Weiterbildung. Damit wurde ein weiteres Beispiel für die rasche Übermittlung neuester Forschungsergebnisse an die Praxis geliefert.

Ich nutze die Gelegenheit, meinem Kollegen Prof. R. Kayser für seine Hilfe bei der Vorbereitung und Durchführung des Fachseminars zu danken.

Mein Dank gilt auch Herrn Dipl.-Ing. H. Meseck, der mit viel Engagement für die schnelle Herausgabe der Vorträge in der nun vorliegenden Form sorgte.

Allen Teilnehmern des Fachseminars "Ablagerung umweltbelastender Stoffe" wünsche ich Erfolg bei der Bewältigung ihrer wichtigen beruflichen Aufgaben.

Prof. Dipl.-Ing. Klaus Simons

1. Vizepräsident der
Technischen Universität Braunschweig
geschäftsführender Leiter des
Instituts f. Bauwirtschaft u. Baubetrieb

Inhaltsverzeichnis

Deponierung von Abfällen - Eine technische Aufgabe der Gegenwart und der Zukunft R. Stegmann	1
Möglichkeiten zur Sanierung von Mülldeponien am Beispiel der Deponie Georgswerder/Hamburg K. Wolf	15
Geowissenschaftliche Aspekte bei der Anlage von Deponien J. Drescher	21
Eignungsuntersuchungen von natürlichen Dich- tungsmaterialien für Deponien E. Reuter	37
Kunststoffdichtungsbahnen für die Abdichtung von Deponien F.W. Knipschild	71
Stand und Tendenzen der Errichtung von Sonderabfalldeponien C.-O. Zubiller	99
Ausführungen und Güteüberwachungen bei mineralischen Deponiedichtungen W. Sondermann	113

Sickerwasseremissionen aus Sondermülldeponien

H.-J. Ehrig 137

Möglichkeiten der Überwachung von Mülldeponien

Peschel 151

Beurteilung von Sondermüll hinsichtlich Depo-
nierbarkeit

J.-D. Herbell 161

Neue Technologien zur Abdichtung von Deponien
und zur Sanierung von Altlasten

H. Meseck, J. Knüpfer 167

Errichtung und Betrieb von Sondermülldeponien
in der chemischen Industrie

H. Weitzel, H. Obermann 187

Enddeponie von Sonderabfallstoffen in Salz-
kavernen

H.J. Schneider 207

Anforderungen und Vorstellungen für Planung
und Betrieb einer Sondermülldeponie

J. Knoch 225

Zukünftige Entwicklung in der Abfallentsorgung

H.-P. Lühr 233

Vorwort

In der Umweltpolitik wird der Abfallverwertung und dem Abfallrecycling höchste Priorität eingeräumt. Langfristig sind hier sicher noch Erfolge zu erwarten, so daß die verbleibenden und abzulagernden Abfallmengen weiter reduziert werden. Ob und wann es gelingen wird, wie Prof. Lühr es in seinem Referat postuliert, die Restmengen vor der Ablagerung in eine solche Form zu überführen, daß von ihnen keine schädlichen Emissionen mehr ausgehen können, ist zur Zeit noch offen. Fazit: In näherer Zukunft muß die Abfallablagerung hingenommen werden, und es müssen darüberhinaus diejenigen alten Ablagerungsstätten saniert werden, von denen nach heutigen Erkenntnissen schädliche Emissionen ausgehen.

Schadstoffe können aus Ablagerungsstätten nur in flüssiger Form, in der Regel mit dem Sickerwasser, oder als Gase emittiert werden. Das Abfangen von Sickerwasser und Gas sind bautechnische Aufgaben. Zur schadlosen Behandlung von Sickerwasser und Gas sind biologische und chemisch-physikalische Verfahrenstechniken gefordert. Angesichts der komplexen Aufgabenstellung sind zukunftsweisende Lösungen nur aus interdisziplinärer Zusammenarbeit von Forschung, Verfahrenstechnik und Bautechnik zu erwarten.

Das Fachseminar "Ablagerung umweltbelastender Stoffe" soll den gegenwärtigen Wissenstand darlegen. Der Zentralstelle für Weiterbildung der Technischen Universität Braunschweig und dem Institut für Bauwirtschaft und Baubetrieb (Prof. Dipl.-Ing. K. Simons) wird für die Organisation gedankt.

Um die Ergebnisse auch einem größeren Kreis von Interessenten zugänglich zu machen, erfolgt die Veröffentlichung sowohl in der Schriftenreihe des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik als auch in der des Instituts für Stadtbauwesen.

Prof. Dr.-Ing. R. Kayser

Leiter der Abt.
Siedlungswasserwirtschaft
Institut f. Stadtbauwesen

z.Z. geschäftsführender Leiter
des Instituts für Grundbau und
Bodenmechanik

Anschriften der Autoren

Prof. Dr.-Ing. R. Stegmann
Arbeitsbereich Umweltschutztechnik
Technische Universität Hamburg-Harburg
Eißendorfer Str. 38

2100 Hamburg 90

Baudirektor Dipl.-Ing. K. Wolf
Baubehörde Hamburg
Stadthausbrücke 12

2000 Hamburg 36

Prof. Dr.-Ing. J. Drescher
Niedersächsisches Landesamt für
Bodenforschung
Stilleweg 2

3000 Hannover 51

Dipl.-Ing. E. Reuter
Institut für Grundbau und
Bodenmechanik, TU Braunschweig
Gaußstraße 2

3300 Braunschweig

Dr.-Ing. F.W. Knipschild
Haidland 19

2105 Seevetal 1

Baudirektor Dipl.-Ing. C.O. Zubiller
Hess. Ministerium für Arbeit, Umwelt
und Soziales
Dostojewski-Str. 4

6200 Wiesbaden

Dr.-Ing. W. Sondermann
Simons + Partner GmbH
Pockelsstraße 9

3300 Braunschweig

Dr.-Ing. Ehrig
Institut für Stadtbauwesen
Abt. Wasserwirtschaft, TU Braunschweig
Pockelsstraße 4

3300 Braunschweig

Dr.-Ing. Peschel
Amt für Umweltschutz, Überwachung
Hammer Landstraße 12-14

2000 Hamburg 26

Dr.rer.nat J.D. Herbell
Gesellschaft zur Beseitigung von
Sondermüll in Bayern mbH

8067 Ebenhausen-Werk

Akad. Rat Dipl.-Ing. H. Meseck
Institut für Grundbau und
Bodenmechanik, TU Braunschweig
Gaußstraße 2

3300 Braunschweig

Dipl.-Ing. J. Knüpfer
Institut für Grundbau und
Bodenmechanik, TU Braunschweig
Gaußstraße 2

3300 Braunschweig

Dr. H. Obermann
Bayer AG, Werk Dormagen
Abtlg. Umweltschutz

4047 Dormagen

Dr. H. Weitzel
Bayer AG, Werk Dormagen
Abtlg. Umweltschutz

4047 Dormagen

Dr.-Ing. Dipl.-Geol. H.J. Schneider
Kavernen Bau- und Betriebs GmbH
Rathenaustraße 13/14

3000 Hannover 1

Dr. J. Knoch,
Edelhoff Städtereinigung

5860 Iserlohn

Direktor Prof. Dr. H.P. Lühr
Umweltbundesamt Berlin
Bismarkplatz 1

1000 Berlin 33

Dank an unsere Inserenten

Dieses Sonderheft wäre ohne die großzügige finanzielle Unterstützung durch die Industrie nicht möglich gewesen. Allen Firmen, die in diesem Heft mit einer Anzeige vertreten sind, möchten wir hiermit danken.

Deponierung von Abfällen - Eine technische Aufgabe der Gegenwart und der Zukunft

Prof. Dr.-Ing. R. Stegmann
Arbeitsbereich Umweltschutztechnik
TU Hamburg-Harburg

1. Einführung

Die Auswirkungen von Altlasten auf die Umwelt haben auch Nicht-fachleuten mit großer Deutlichkeit die Notwendigkeit aufgezeigt, daß die gesamte Abfallwirtschaft teilweise neu überdacht werden muß. Dies gilt auch für die Planung und den Betrieb von Deponien für die verschiedenen Abfallarten.

Aufgrund ähnlicher Erfahrungen mit Altlasten werden in den USA Überlegungen in der gleichen Richtung angestellt (Wiedemann, 1984).

Verschiedene Fachleute haben diese Thematik aufgegriffen und neue Forderungen auf dem Gebiet der zukünftigen Abfallwirtschaft gestellt (Schenkel, 1984, Lühr, 1985, Zubiller, 1985). Es zeigen sich auch in der Praxis schon erste Realisierungsstrategien ab (z. B. getrennte Einsammlung von Hausmüll im Haushalt).

Die verschiedensten öffentlich vorgestellten Konzepte sollten unvoreingenommen und konsequent diskutiert werden. Hieraus werden sich dann die politisch durchzusetzenden Abfallwirtschaftsstrategien herauskristallisieren, die in die Praxis umzusetzen sind.

Die neuen bzw. modifizierten Abfallentsorgungstechniken sind durch sinnvolle langfristige Untersuchungsprogramme zu begleiten, so daß eine Optimierung der Systeme auf der Grundlage praktischer Erfahrungen möglich ist.

Dieser Vortrag wurde auch auf dem Vertiefenseminar "Deponietechnik heute und morgen" am 27./28. März 1985 an der Universität Stuttgart gehalten.

Nach Ansicht des Autors sind zukünftige Abfallentsorgungskonzepte mit erhöhtem Bau- und Betriebsaufwand verbunden, so daß diese nur über einen Anschluß- und Benutzerzwang realistisch betrieben werden können.

Was für die gesamte Abfallwirtschaft gilt, ist insbesondere auf die zukünftigen Deponien anzuwenden. Aufgrund der z. T. unzureichenden baulichen Einrichtungen sowie des inkonsequenten Betriebes sind viele der Altlasten entstanden. Durch die Neuorientierung der Abfallwirtschaft wird die Verminderung der abzulagernden Abfallstoffe angestrebt, da Deponien grundsätzlich ein Altlastenpotential darstellen. Die zukünftigen Deponien müssen deshalb sicherer bezüglich der Emissionskontrolle werden, wobei die Emissionsminderung konsequent anzustreben ist. Im Vordergrund der Maßnahmen muß die Langzeitkontrolle und -wartung aller baulichen Einrichtungen stehen.

Bei der Entwicklung neuer Abfallwirtschaftsstrategien sollte die Umsetzung in die Praxis schrittweise und regional begrenzt erfolgen. Durch allzu massive Einführung neuer Praktiken (z. B. flächendeckende getrennte Einsammlung) kann es möglicherweise zu negativen Ergebnissen kommen, die im ungünstigen Fall das gesamte grundsätzlich richtige Verfahren in Frage stellen können (z. B. Probleme bei dem Einsatz und der Wiederverwendung von Wertstoffen aus dem Müll). Auch bei der Einführung derartiger Konzepte sollte eine intensive fachliche Begleitung erfolgen, um Probleme aufzuzeigen und so zu einer Optimierung des Systems zu kommen. Wichtig ist selbstverständlich der überregionale Erfahrungsaustausch.

2. Sanierungsfall Georgswerder

Die Deponie Georgswerder ist in Abhängigkeit von der Zeit im wesentlichen nach den jeweils üblichen Praktiken betrieben worden. Was die Deponie Georgswerder von einer großen Anzahl zur gleichen Zeit betriebenen Deponien unterscheidet, ist die Art und Menge der Sonderabfälle, die gemeinsam mit Hausmüll abgelagert worden sind, sowie deren z. T. extrem hohe Toxizität (Wolf, 1985).

Ansonsten wurden die damals üblichen Bau- und Betriebspraktiken auch auf der Deponie Georgswerder ausgeübt:

- möglichst geologisch dichter Deponieuntergrund (im Fall Georgswerder Kleischichten)
- gemeinsame Ablagerung von Hausmüll und Sonderabfällen (es wurde hier auf den "Puffer" Hausmüll vertraut)
- Anlage von Beobachtungsbrunnen um die Deponie.

Es gibt eine Reihe von Veröffentlichungen aus denen hervorgeht, daß Öl in der Deponie abgebaut wird. Diese "Erkenntnisse" wurden im Fall von Georgswerder in die Praxis umgesetzt. Das offene Verbrennen von Sperrmüll auf der Deponieoberfläche, wie es in den 60er und Anfang der 70er Jahre auf der Deponie Georgswerder praktiziert wurde, ist auf anderen Deponien nur vereinzelt geschehen.

Warum muß die Deponie Georgswerder saniert werden?

- In der Deponie hat sich auch aufgrund eines fehlenden Sohlentwässerungssystems und infolge der Gasbildung ein Flüssigkeitsstand von ~10 m über der Sohle aufgebaut.
- Öl-Wassergemische treten unkontrolliert aus den Flanken aus
- Diese Flüssigkeiten sind mit Dioxin und anderen organischen z. T. hoch toxischen Verbindungen belastet
- Die Kleischicht unter der Deponie ist nicht durchgehend "dicht" ; es sind "Fenster" festgestellt worden, so daß eine Grundwasserverunreinigung zu erwarten bzw. schon erfolgt ist.
- Das Deponiegas hat hohe Gehalte an Vinylchlorid, das kanzerogene Eigenschaften aufweist.
- Einige Becken, in denen Öle und Sonderabfälle abgelagert worden sind, liegen direkt auf der Sohle (ohne bzw. mit nur geringen Hausmüllschichten darunter); sie sind zudem instabil, so daß sie nicht hoch belastet werden dürfen.

Die Besonderheit bei der Deponie Georgswerder liegt also in der extrem hohen Toxizität der austretenden Flüssigkeiten sowie der im Vergleich zu anderen Deponien erhöhten Gehalte an Vinylchlorid im Deponiegas. Langfristig wäre die Deponie Georgswerder

- und somit eine Vielzahl anderer Deponien - auch dann ein Sanierungsfall, wenn die Emissionen an hochtoxischen Verbindungen geringer bzw. nicht vorhanden wären. Allein eine Verunreinigung des Grundwassers mit hohen CSB- und Salzkonzentrationen bedingt eine Sanierung.

3. Sind Altlasten derzeit schon ein Problem?

Diese Frage kann uneingeschränkt mit ja beantwortet werden. Neben den spektakulären Fällen Georgswerder, Gerolsheim und Malsch sind eine Fülle von Umweltschäden durch Altlasten bekannt geworden: da ist einmal die Gruppe Altlasten, die eine Grundwasserverunreinigung zur Folge haben. Neben dem Grundwasser ist in der Regel auch der Grundwasserleiter mit Schadstoffen belastet. Dann sind die Bodenverunreinigungen zu erwähnen, und darüberhinaus gibt es noch die Altlasten in Form von alten Deponien. Die Bodenverunreinigungen und Altdeponien sind in den häufigsten Fällen ein Potential für die Grundwasserverunreinigung. Darüberhinaus kann es durch Ausgasungen zu Luftverunreinigungen und den damit verbundenen Problemen kommen.

Die Altlasten stellen ein um so größeres Problem dar, weil sie unter hohem Kostenaufwand in vielen Fällen nur unbefriedigend saniert werden können. Darüberhinaus müssen auch sanierte Altlasten in den meisten Fällen über nicht absehbare Zeiten betrieben werden (z. B. Grundwasserstandregelung, Sickerwasserreinigung, Entgasung). Oft ist mit einer "Sanierung" eine Nutzungsbeschränkung des belasteten Gebietes verbunden.

Die Anzahl der in der Bundesrepublik zu sanierenden Altlasten ist z. Zt. nicht abschätzbar, wobei in vielen Fällen unklar ist, bei welchem Gefährdungspotential man von einer Altlast sprechen kann (Franzius, 1984). Die durch die Sanierungen verbundenen Kosten sind nicht abschätzbar; sie dürften jedoch im Milliarden-DM-Bereich liegen.

Es soll an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, daß vereinzelt in der Bundesrepublik auch heute noch Altlasten von morgen produziert werden. Es gibt eine Reihe von Beispielen, wo Hausmüll in Kiesgruben abgelagert wird; einige Sonderabfalldeponien entsprechen ebenfalls nicht den Anforderungen, da z. B.

Niederschlagswasser Zutritt zu den abgelagerten Abfällen hat und die geologischen Untergrundverhältnisse nicht die anfänglich angenommenen Eigenschaften aufweisen (Kieslinsen im bindigen Material, Schwindrisse, etc.).

4. Wodurch sind Altlasten entstanden?

Auf einige Punkte wurde schon am Beispiel Georgswerder hingewiesen. Darüberhinaus können als Ursachen folgende Fehleinschätzungen und Betriebsmängel angeführt werden:

- Vertrauen auf Selbstreinigungskraft des Bodens und Grundwassers
- Vertrauen auf natürliche Dichtungen
- Vertrauen auf "Neutralisieren" von Sondermüll durch Hausmüll
- Unkenntnis im gesamten Bereich der Abfalltechnik (Vorgänge in Deponien, Lösungsvorgänge, Verhalten org. Stoffe, etc.)
- Mangelndes Umweltbewußtsein (auch in der Bevölkerung)
- Fehlende Analytik
- Unqualifiziertes Personal
- Falsche Empfehlungen von Fachleuten (Wissenschaftlern)

5. Welche Folgerungen ergeben sich aus der Altlastenproblematik für die zukünftige Abfallwirtschaft?

Die Abfallwirtschaft muß konsequent überdacht werden; Ziele, die auch schon früher andiskutiert wurden, müssen in die Praxis umgesetzt werden. So sollte die Verminderung der Abfälle durch Abfallvermeidungsstrategien und Recycling mit erster Priorität betrieben werden. Durch eine Schadstoffentfrachtung der anfallenden häuslichen Abfälle sollen die traditionellen Verfahren wie Verbrennung und Deponierung emissionsärmer werden und die Rückführung von Abfallkomponenten (z. B. vegetabilische Abfälle) in die natürlichen Stoffkreisläufe verstärkt ermöglicht werden (z. B. Kompostierung und dessen Unterbringung in der Landwirtschaft). Neben der Schadstoffentfrachtung ist u.a. bei der Verbrennung eine Homogenisierung der Abfälle mit dem Ziel der Herstellung

eines Brennstoffes mit relativ konstantem Brennwert und gleicher Struktur anzustreben.

Um diese Ziele zu erreichen, sollte auf dem Hausmüllsektor die getrennte Sammlung eingeführt werden, die in Abhängigkeit von der Situation zentral bzw. dezentral in den Haushalten erfolgen kann. Es müssen dann einfache Verfahren entwickelt werden, um die verschiedenen Wertstoffe nachträglich separieren zu können. Hochtechnische vollautomatische Recyclinganlagen haben sich bis heute nicht bewährt.

Die getrennte Sammlung auf dem Gebiet des Hausmülls ist nur dann praktikierbar, wenn es ausreichende Märkte für die isolierten Wertstoffe gibt. Hier sind frühzeitig verstärkt F+E-Aktivitäten gemeinsam mit der Industrie erforderlich. Auf der anderen Seite ist der Industrie eine Frist einzuräumen, in der die getrennte Sammlung erfolgt, auch wenn noch nicht alle Wertstoffe auf dem Markt untergebracht werden können. Die Industrie muß sicher sein, daß die Wertstoffe auch langfristig in bestimmten Mengengebieten anfallen; nur so sind Investitionen zu vertreten.

Auf dem Sonderabfallsektor steht die Abfallvermeidung ebenfalls im Vordergrund. Hier werden automatisch Anreize über die zu erwartenden Preisanstiege auf dem Gebiet der Abfallentsorgung verbunden mit einem Anschluß- und Benutzerzwang geschaffen werden. Die zu erwartenden Preisanstiege sind durch die erhöhten Anforderungen an die zukünftigen Abfallentsorgungsanlagen begründet. Bei einer derartigen Entwicklung wird es zu einer Verminderung von Sonderabfällen kommen, die jedoch höhere Toxizitäten aufweisen werden.

Organische Sonderabfälle sollten möglichst verbrannt (Hochtemperaturverbrennung) werden; anorganische Fraktionen sind auf Dauer sicher zu deponieren. Diese Forderungen sind jedoch nicht einfach in die Praxis umzusetzen. Der Bau von Hochtemperaturverbrennungsanlagen, die die Abfälle kontrolliert verbrennen, ist z. Zt. noch kein Standard. Unsicherheiten stellen auch die zukünftigen Emissionsgrenzwerte dar (z. B. für Dioxin). Darüberhinaus ist festzulegen, bis zu welchem Gehalt an organischen Inhaltsstoffen im Sonderabfall eine Verbrennung realistisch ist. Es ist sinnvoll, möglichst nur anorganische Sonderabfälle zu deponieren, wobei das Ziel eine langfristige (unbegrenzte) sichere Lagerung sein muß.

Die oben angeführten Strategien sollten verfolgt und zeitabhängig soweit wie möglich und sinnvoll umgesetzt werden. Auch sollten die Erwartungen nicht zu hoch geschraubt werden. Dies gilt z. B. bei der getrennten Einsammlung, die nur sinnvoll ist, wenn die Wertstoffe auch abzusetzen sind; dabei darf nicht vergessen werden, daß schon ein nicht unerheblicher Prozentsatz von Müllinhaltsstoffen auch heute schon wiederverwertet wird.

Inwieweit die Schadstoffentfrachtung dazu führt, daß Kompost wieder in der Landwirtschaft abgesetzt werden kann, ist nicht vorherzusagen; hinzu kommt, daß die Bodengrenzwerte in Zukunft verringert werden können (Bodenschutzprogramm).

Auch auf dem Gebiet der Hausmüllverbrennung bleiben Unsicherheiten vorhanden, da die Entwicklung der Emissionsgrenzwerte nicht prognostiziert werden kann. Dies gilt auch für den Fall der Schadstoffentfrachtung und Abfallhomogenisierung. Darüberhinaus sind Überraschungen bezüglich möglicher "neuer" hochtoxischer Verbindungen im Abgas nicht ausgeschlossen.

Diese und andere Gründe führen zu der Forderung, daß die Abfallentsorgung auf dem Gebiet des Hausmülls mit großer Diversität erfolgen sollte; d. h. trotz Vorantreibens der getrennten Sammlung sind sowohl Verbrennungsanlagen, Deponien und Kompostierungsanlagen zunächst weiter zu betreiben. Die Schadstoffentfrachtung des Hausmülls ist in jedem Fall zu praktizieren. Wenn sich stabile Märkte für die Wertstoffe aus dem Hausmüll entwickelt haben und/oder die Kompostierung der vegetabilischen Abfälle praktikierbar ist, können die Akzente neu gesetzt werden. Deponien wird es immer geben müssen.

Möglicherweise werden Deponien in naher Zukunft verstärkt für Materialien erforderlich werden, die erst kürzlich bzw. in Zukunft zu Abfall werden. Hier ist an Hafenschlick zu denken, der im wesentlichen deponiert werden muß. Darüberhinaus sind Bergematerial und möglicherweise Schlacken in Zukunft ordnungsgemäß zu deponieren; Problemstoffe können auch Feststoffe aus der Rauchgasreinigung sein.

6. Welche Folgerungen ergeben sich aus der Altlastenproblematik für die zukünftige Deponietechnik?

Aufgrund der festgestellten schwerwiegenden und z. T. irreparablen Umweltschäden, die aus den Altlasten resultieren, sind für Deponien die folgenden Forderungen zu stellen, die sicherlich noch ergänzt werden können:

- Dichtungen unter Deponien sind unbedingt erforderlich (natürliche Dichtungen sind meistens nicht dicht)
- Betriebsoptimierung von Hausmülldeponien zur Emissionsminderung
- Drainagesysteme sind oft nicht funktionstüchtig und müssen z. T. neu durchdacht werden
- Langzeitbetrachtungen sind bei der Planung von Deponien konsequent zu berücksichtigen (Was kann man tun, wenn Dichtung undicht? Drainagen funktionstüchtig?)
- Neue Überlegungen bezüglich Endlager von Sonderabfällen
- Gemeinsame Ablagerung von Haus- und Sondermüll hat sich nicht bewährt und sollte nicht mehr praktiziert werden
- Niederschlag ist unbedingt von Sonderabfällen fernzuhalten
- Kontrolle und Reparierbarkeit aller technischen Einrichtungen ist anzustreben
- Keine Ablagerung in Gruben, da Kontrolle und Wartung sowie mögliche Reparaturen sehr erschwert werden
- Endgestaltung der Deponien neu überlegen
- Entgasung ist Bestandteil einer jeden Hausmülldeponie
- Die Redundanz der verschiedenen Systeme muß erhöht werden, um mehr Sicherheit zu erzielen.

Aus diesen Folgerungen resultieren Änderungen bezüglich des Baus und Betriebes zukünftiger Deponien. Diese lassen sich wohl nur realisieren, wenn von politischer Seite entsprechende Vorkehrungen getroffen werden:

- Durchsetzen des Anschluß- und Benutzerzwanges (kein Abfalltourismus)

- Gesetzesmäßige Vorbereitung alternativer Hausmüllverwertungsstrategien mit dem Ziel der Verminderung der abzulagernden Abfälle
- Festschreibung neuer zu erarbeitender Anforderungen an neue Haus- und Sonderabfalldeponien
- Festlegung und Finanzierung von Untersuchungsprogrammen zur Begleitung neuer bzw. modifizierter Deponierungstechniken
- Entwicklung von längerfristigen Müllentsorgungskonzepten mit der Priorität der Erstellung sicherer Endlager (z. B. Kavernen; hier sollten frühzeitig Planungskonzepte mit den damit verbundenen Untersuchungsprogrammen initiiert werden, um die Realisierungschancen derartiger Lagerstätten abschätzen zu können)
- Überlegungen zur langfristigen Sicherstellung von Mitteln zum Langzeitbetrieb von Deponien nach deren Schließung (z. B. aus den laufenden Müllgebühren werden auch die abgeschlossenen Deponien betreut)
- Sicherstellung von politischer Seite, daß die jeweils besten Lösungen zum Einsatz kommen. (Wettbewerb, etc.).

Die Konzepte für die Deponierung von Sonder- und Hausabfällen sind unterschiedlich, wobei zunächst einmal noch von der heutigen Abfallzusammensetzung des Hausmülls ausgegangen wird.

Sonderabfälle müssen mit dem Ziel einer unbefristeten Konservierung deponiert werden. Niederschlagswasser ist von den Abfällen fernzuhalten; eine Eigenflüssigkeitsabgabe muß gegebenenfalls durch eine Verfestigung der Abfälle vermieden werden; Reaktionen von Abfällen untereinander dürfen nicht stattfinden. Eine Gasbildung sollte ebenfalls nicht stattfinden; ansonsten sind entsprechende Entgasungseinrichtungen zu schaffen. Aus ökologischen Gründen müssen mehrere Sicherheitssysteme vorgesehen werden (Oberflächenabdichtung und Sohlabdichtung(en)). Da eine zeitliche Begrenzung der Ablagerung bei Enddeponien nicht vorhanden ist, müssen die Dichtungssysteme reparierbar sein; bezüglich der Leckfindung sind Detektionssysteme einzusetzen. Neben einer genauen Kartierung der abgelagerten Abfallarten ist die Möglichkeit der

Rückholbarkeit in Erwägung zu ziehen.

Die letzte Forderung gilt besonders für die Anlage und den Betrieb von Zwischenlagern; da diese eine kürzere Lebensdauer im Vergleich zu den Endlagern aufweisen, können geringere Anforderungen bezüglich der baulichen und betrieblichen Vorkehrungen, die aufgrund des Langzeitbetriebes erforderlich sind, gestellt werden. Dabei muß sichergestellt sein, daß Zwischenlager nicht zu Endlagern werden. Auf die Notwendigkeit der möglichst frühzeitigen Durchführung von Untersuchungen bezüglich der Nutzung von Kavernen, Bergwerken etc. als mögliche Endlager wurde schon hingewiesen.

An dieser Stelle werden keine Beispiele bezüglich der Planung von Sonderabfalldeponien aufgezeigt bzw. eigene detaillierte planerische Vorstellungen entwickelt. Versuchsdeponien sollten vordringlich mit Hilfe der öffentlichen Hand geplant und kontrolliert betrieben werden.

Die Deponien zur Ablagerung von kommunalen Abfällen sind nach Auffassung des Autors nach anderen Gesichtspunkten zu betreiben. Die abbaubaren organischen Stoffe sollten beschleunigt in der Deponie abgebaut werden, so daß von Seiten des Betriebes optimale Milieubedingungen für die Bakterien in der Deponie einzustellen sind (Enhancement) (Stegmann, 1983). Neben der Einbauart ist die Sickerwasserkreislaufführung von biologisch vorbehandeltem Sickerwasser während des Betriebes anzustreben (Stegmann, 1981).

Aufgrund der schlechten Erfahrungen mit Drainagen infolge Zusetzens sind auf dem Gebiet der Sohlentwässerung von Deponien weitere Überlegungen erforderlich, wobei der Trend zu großflächigen Systemen aus groben Inertstoffen mit ausreichenden Gefällen geht. Die Untergrundabdichtungen müssen mehr unter Langzeitaspekten gesehen werden, wobei auch doppelte Abdichtungssysteme diskutiert werden. Detektionssysteme (z. B. kleinflächige Rasterung der Sohlentwässerungssysteme zum Auffinden undichter Stellen) sind zu entwickeln.

Die Entgasung zum Zweck der Emissionskontrolle ist Bestandteil einer jeden Deponie; sie sollte schon während des Deponiebetriebes

betrieben werden. Das Gas ist unter kontrollierten Bedingungen thermisch umzusetzen, wobei eine Energienutzung anzustreben ist; die Emissionen sind zu minimieren.

Nach Abschluß der Deponie sollte diese mehr wie eine Deponie anorganischer Schadstoffe betrachtet werden; hier gelten dann wieder Forderungen wie bei der Konservierung der Reststoffe, die durch die Optimierung entsprechender Oberflächenabdichtungssysteme zu erreichen ist. Auch nach Betriebsschluß fallen Emissionen in Form von Sickerwasser und Gas an; die Deponie darf nicht aus der Überwachung entlassen werden; das gilt auch bezüglich der Wartung und Überwachung der Abdichtungssysteme.

Neben diesen Forderungen, die planerisch mit "Leben" zu erfüllen sind, müssen Erfahrungen mit den "neuen" bzw. "modifizierten" Deponietechniken gesammelt werden. Selbstverständlich ist sachverständiges Personal auf allen Deponien erforderlich, das eine entsprechende Ausbildung hat. Auf dem Gebiet der Abfalltechnik, -wirtschaft ist die Ausbildung auf den verschiedenen Ebenen (Studium, Müllwerkerkurse) deutlich flächendeckend zu verbessern.

7. Zusammenfassung

Aufgrund der aufgetretenen Altlastenproblematik ist die Abfallentsorgung zu überdenken; dies gilt sowohl für den Sonderabfall als auch für den Hausmüllbereich. Ziel der zukünftigen Abfallentsorgung muß die Verminderung der zu deponierenden Abfallstoffe sein; durch Abfallvermeidungsstrategien und verstärktem Recycling von Abfallstoffen ist diesem Ziel näher zu kommen. Auf dem Hausmüllsektor sollte die getrennte Sammlung von Wertstoffen und/oder vegetabilischen Abfällen stetig aber behutsam vorangetrieben werden; der Industrie muß Zeit eingeräumt werden, Wertstoffe aus dem Hausmüll als neue sinnvolle Rohstoffe wieder einzusetzen. Durch eine Schadstoffentfrachtung sind die potentiellen Emissionen bei den traditionellen Abfallentsorgungsverfahren zu vermindern.

Auf dem Gebiet der Sonderabfälle steht die Abfallvermeidung ebenfalls im Vordergrund. Hier werden erhöhte Kosten bei der Abfallentsorgung das Recyclingspektrum erweitern. Organische Sonderabfälle sollten möglichst unter "optimalen" Bedingungen ver-

brannt werden, wobei unklar ist, wie groß der organische Anteil sein muß, so daß sie als organische Abfälle behandelt werden. Anorganische Abfälle sind auf Dauer sicher zu deponieren, wobei auch Zwischenlösungen (Zwischenlager) diskutiert werden. Zwischenlager dürfen jedoch nicht zu Endlagern werden. Auf dem Gebiet der Endlager sind Untertagedeponien (Kavernen, Bergwerke) in der Diskussion; es sollte frühzeitig geklärt werden, ob und für welche Abfallarten (möglicherweise nach einer Vorbehandlung) eine derartige Endlagerung möglich ist.

Hausmüll, sofern er noch organisch abbaubare Stoffe enthält, sollte nach anderen Gesichtspunkten deponiert werden. Ziel des Betriebes sollte der möglichst frühzeitige biochemische Abbau der organischen Inhaltsstoffe sein. Aus diesem Grunde sollte Niederschlagswasser mit dem Hausmüll in Kontakt kommen; weitere betriebliche Maßnahmen sind anzustreben (Stegmann, 1983). Eine Homogenisierung des abzulagernden Hausmülls sollte diskutiert werden. Das Deponiegas ist während des Betriebes abzusaugen; die Sickerwasseremissionskontrolle ist langfristig sicherzustellen (Redundanz, Wartung, Reparatur). Nach Abschluß der biochemischen Umsetzungsprozesse im Deponiekörper sollten Maßnahmen zur Minimierung des Niederschlagswassereintritts in den Deponiekörper durchgeführt werden. Die Sickerwasserreinigung wird erhöhten Anforderungen unterliegen (Stegmann, 1985).

Alle "neuen" Systeme sind langfristig meßtechnisch zu begleiten, so daß aufgrund der gesammelten Erfahrungen die technischen Einrichtungen und der Betrieb optimiert werden können; dieser muß von fachlich hochqualifiziertem Personal durchgeführt werden.

Literaturverzeichnis

- Wiedemann, H.U. Analyse der amerikanischen Anforderungen
an Deponien für gefährliche Abfälle
wird in Müll und Abfall veröffentlicht
Erich Schmidt Verlag
- Lühr, H.P. Zukünftige Entwicklungen in der Abfallent-
sorgung
Fachseminar "Ablagerung umweltbelastender
Stoffe" vom 06.-07.02.1985 an der TU
Braunschweig
- Schenkel, W. Sonderabfallbeseitigung in der BRD
Wiener Mitteilungen, Band 54
Hrsg. TU Wien, Institut für Wassergüte und
Landschaftswasserbau, 1984
- Zubiller, C.O. Stand und Tendenzen der Einrichtung von
Sonderabfalldeponien
Fachseminar "Ablagerung umweltbelastender
Stoffe" vom 06.-07.02.1985 an der TU
Braunschweig
- Wolf, K. Möglichkeiten zur Sanierung von Mülldeponien
(am Beispiel der Deponie Georgswerder/ Ham-
burg)
Fachseminar "Ablagerung umweltbelastender
Stoffe" vom 06.-07.02.1985 an der TU
Braunschweig
- Franzius, V. Kontaminierte Standorte - ein internationales
Problem
Symposium "Kontaminierte Standorte und Ge-
wässerschutz" veranstaltet vom Umweltbundes-
amt und FiW, Aachen vom 01.-03.10.1984, TU
Aachen
- Stegmann, R. New Aspects on enhancing biological Pro-
cesses in Sanitary Landfill
Waste Management and Research No. 2, June
1983, Academic Press

Möglichkeiten zur Sanierung von Mülldeponien am Beispiel der Deponie Georgswerder/Hamburg

Baudir. Dipl. — Ing. K. Wolf
Baubehörde Hamburg

Die Deponie Georgswerder ist durch das erstmalige Auffinden des Seveso-Giftes 2,3,7,8-TCDD in einer deutschen Altablagerung besonders bekanntgeworden. Der Senat der Freien und Hansestadt Hamburg hat deshalb am 13. Dezember 1983 beschlossen, die Deponie vorrangig zu sanieren. Da die Überwachungsmaßnahmen im übrigen bis dahin trotz umfangreicher Sonderabfallablagerungen keine bedrohlichen Umweltrisiken gezeigt hatten, bestand zunächst die Aufgabe in der Untersuchung der vorhandenen Gegebenheiten, des Risikopotentials und der daran abgeleiteten Notwendigkeiten und Möglichkeiten von Sanierungsmaßnahmen. Das aus zeitlichen Gründen parallel durchgeführte Untersuchungsprogramm bestand aus folgenden Aufgaben:

1. Untersuchung der Ist-Situation:

1.1 der Deponie selbst:

- Deponieinhalt und Aufbau
 - Auswertung von Karten, Luftbildern, Akten,
 - Durchführung von Sondierungen
- Chemismus und Biologie
 - chemische Analysen der Emissionen
 - Daten aus der bisherigen Überwachung

1.2 des Deponieuntergrundes

- Geologie und Hydrogeologie
 - Auswertung früherer Aufzeichnungen,
 - Durchführung neuer Bohrungen
 - Aufstellung eines Grundwassermodells
- Chemismus des Untergrundes
 - bisherige Grundwasseranalysen
 - neue Grundwasseranalysen
 - Analyse von Bohrproben

2. Vorplanungen von Sanierungsalternativen (Realisierungsstudien)

2.1 Einkapselungsmaßnahmen

- Untergrundabdichtung durch
 - Dichtwand um die Deponie
 - Sohlinjektionen
 - bergmännische Bauweisen
- Abdeckung der Deponie

2.2 Hydraulische Maßnahmen

- Abpumpen (und Reinigen) von Grundwasser
- forcierte Flüssigkeitsentnahme aus der Deponie

2.3 Schadstoffbeseitigung

- Behandlung der Sickerflüssigkeiten
- Deponiegasnutzung und -beseitigung
- Hochtemperaturverbrennungsanlage mit Zwischenlager
- Verfestigung von schadstoffhaltigem Material zur
 - Wiederablagerung auf der Deponie
 - Verbringung auf Sonderdeponien/in Salzkavernen

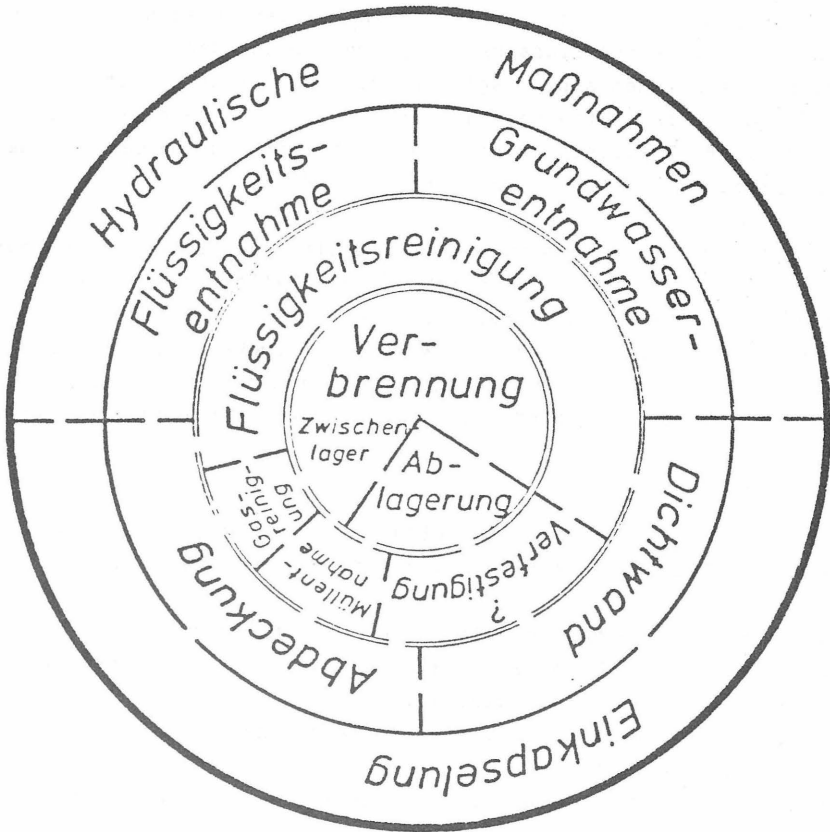
Als wichtigste Ergebnisse der Untersuchung der Ist-Situation sind zu nennen, daß sich neben dem Dioxin schon eine Reihe weiterer Schadstoffe aus der Deponie über die Pfade insbesondere der Oberflächengewässer und des Grundwassers ausgebreitet haben und dafür in erster Linie die ungenügende Dichtigkeit der Abdeckung und ein bis zu 14 m hoher Stauflüssigkeitsspiegel in der Deponie ursächlich sind. Die Emissionen sind insgesamt zwar noch nicht unmittelbar bedrohlich, prophylaktisches Handeln ist aber zwingend erforderlich. Mehrere Expertensymposien haben übereinstimmend zur sicheren Annahme eines erheblichen Gefährdungspotentials geführt.

Das aus den Realisierungsstudien entwickelte Sanierungskonzept beruht auf der Einschätzung der Dringlichkeit von Teilmaßnahmen, berücksichtigt noch offene Punkte, funktionelle und zeitliche Abhängigkeiten und bezieht dabei auch Kriterien der Wirtschaftlichkeit mit ein. Fast alle Maßnahmen haben als Voraussetzung oder werden begleitet von vom BMFT/Umweltbundesamt geförderten Forschungs- und Entwicklungsprojekten.

Das z. Zt. für politische Entscheidungen aufbereitete Sanierungskonzept enthält folgende Empfehlungen für eine Sanierung:

1. Als dringlichste Maßnahme Bau einer Flotationsanlage zur besseren Abscheidung der öligen Phase aus den Sickerflüssigkeiten als
1. Stufe einer Reinigungsanlage,
2. Neuabdeckung der Deponie mit weitgehend wasserdichten Schichten sobald wie möglich,
3. Entwicklung einer biologischen Sickerwasserreinigungsanlage als
2. Reinigungsstufe,
4. Durchführung eines in-situ-Testes für den Bau einer Dichtwand,
5. noch genauere Untersuchung der hydraulischen Alternative (statt des Baues einer Dichtwand),
6. forcierter Entzug (und Reinigung) der Deponieflüssigkeiten,
7. Bau eines Zwischenlagers für hochkontaminierte Schadstoffe aus der Deponie,
8. Bau einer Hochtemperaturverbrennungsanlage,
9. Untersuchung der Möglichkeit der Verfestigung von hochkontaminiertem Deponiematerial zwecks Wiederablagerung.

Die Zusammenhänge des Sanierungskonzeptes werden in den nachfolgenden Bildern 1 und 2 graphisch noch etwas verdeutlicht.



Prinzip der Darstellung:

Alle Berührungslinien (tangential und radial) stellen Zusammenhänge oder Abhängigkeiten zwischen den einzelnen Maßnahmen dar.

- 1. Ring: Schutzprinzip
- 2. Ring: Schutzmaßnahme
- 3. Ring: Behandlung
- Kern: Beseitigung

Bild 1: Sanierungskonzept für die Deponie Georgswerder

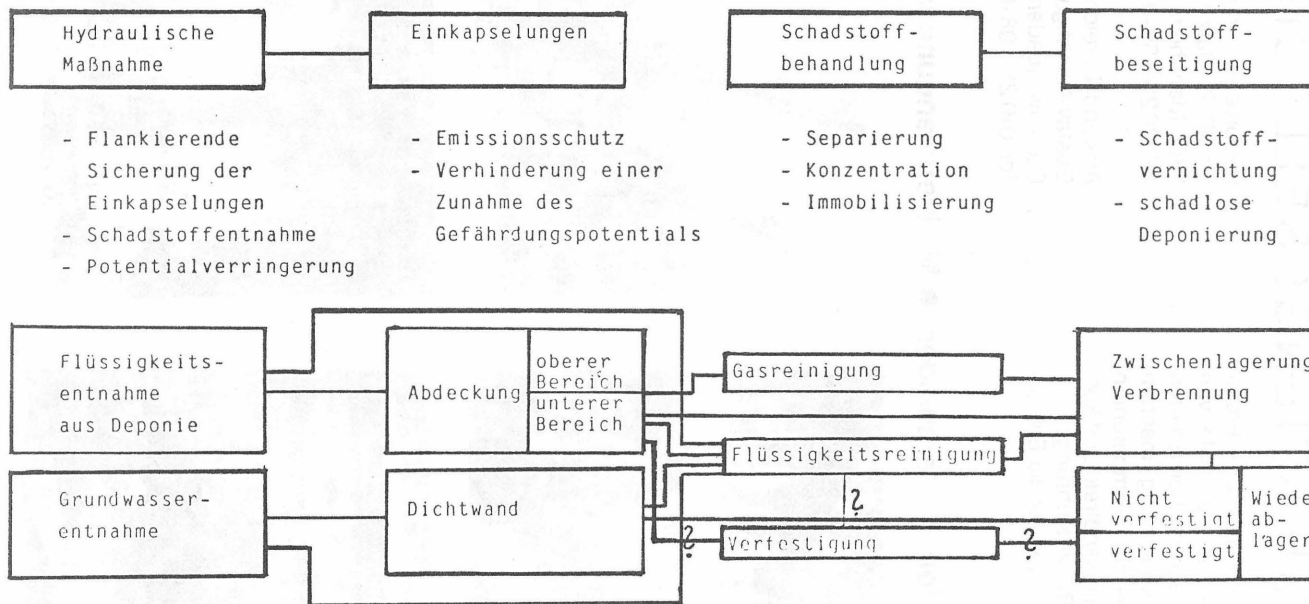


Bild 2: Sanierungskonzept für die Deponie Georgswerder

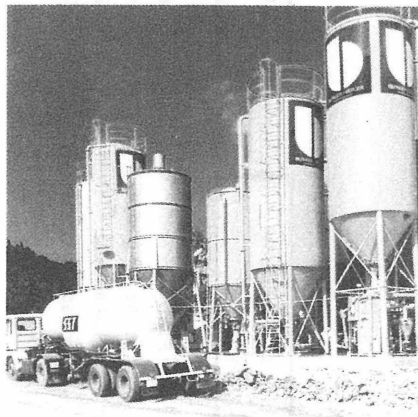
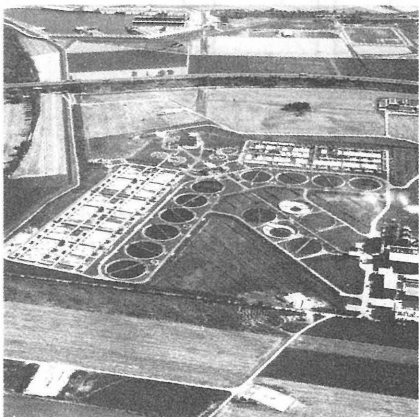
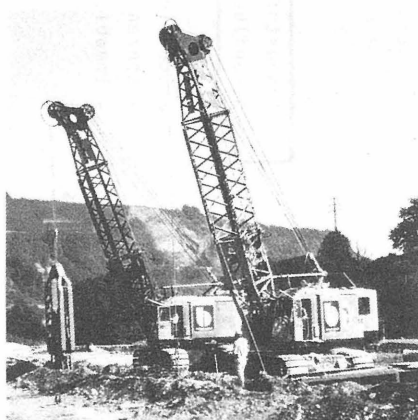
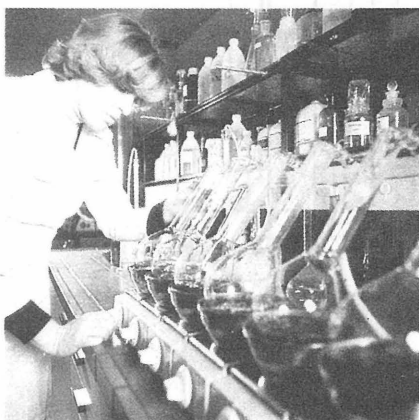
BILFINGER + BERGER BAUAKTIENGESSELLSCHAFT

Über 100 Jahre Tradition und Erfahrung und zahlreiche Beispiele von Bauwerken aller technischen Sparten und jeder Größenordnung machen Bilfinger + Berger zum kompetenten Partner für eine einwandfreie und korrekt terminierte Bauausführung. Auch bei Bauobjekten für die Entsorgungstechnik:

Hauptverwaltung
Carl-Reiß-Platz 1-5
6800 Mannheim
Tel. 06 21/459-0

Auslandsbereich
Gustav-Nachtigal-Straße 3
6200 Wiesbaden
Tel. 06 121/708-0

● Mülldeponien ● Kläranlagen ● Müllverbrennungsanlagen



Geowissenschaftliche Aspekte bei der Anlage von Deponien

Prof. Dr. - Ing. J. Drescher

**Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung
Hannover**

Einleitung

Abfälle sind so zu deponieren, daß keine bzw. nur tolerierbare Schadstoffmengen (Schadstoffkonzentrationen) in die Umgebung des Deponiekörpers gelangen können. Dem Grundwasserschutz kommt dabei besondere Bedeutung zu. Aus diesem Grunde sind Deponiestandorte mit nicht ausreichend natürlich dichtem Untergrund abzudichten (Nds, MBL Nr. 30/1981). Das Merkblatt 3 der Länderarbeitsgruppe Abfall (LAGA) - "Die geordnete Ablagerung von Abfällen" (Nds. MBL Nr. 53/1979) gibt Hinweise über die Anforderungen an Dichtungen für Hausmülldeponien. Nicht definiert wird, was "ausreichend naturdicht" ist. Dichtigkeitsanforderungen für Sonderabfalldeponien wurden bis jetzt noch nicht festgelegt.

Dichtungen sollen den Schadstoffaustrag aus Deponien über flüssige oder gasförmige Transportmedien verringern oder vollständig unterbinden. Dichtungen können aus nichtmineralischen und mineralischen Stoffen oder aus Kombination beider Stoffe aufgebaut werden. Der Vorteil der mineralischen Dichtstoffe besteht, neben der Eigenschaft einer begrenzten "Selbstheilung" nach Beschädigungen, in dem Vermögen bestimmte Schadstoffe beim Hindurchdiffundieren zu fixieren (Fällen, Adsorbieren, Puffern). Dieses Schadstoffrückhaltevermögen der mineralischen Dichtungsstoffe ist ein entscheidendes Merkmal bei der Konzeption von Deponien.

Ein über lange Zeit absolut dichter Abschluß des Abfallstoffes durch dickenmäßig begrenzte Dichtungssysteme kann mit wirtschaftlichen Mitteln nicht erreicht werden. Deshalb ist das Gestein der Deponieumgebung als Schadstoffbarriere in die Überlegung mit einzubeziehen (Redundanzsystem Dichtung/Barriere). Deponien mit schädigenden Inhaltsstoffen müssen deshalb, neben einer Dichtung, ausreichend dicke Barrieregesteine aufweisen. Eine abgedichtete Sandgrube erfüllt diese Bedingungen nicht.

Das zu wählende Deponiekonzept

- | | |
|----------------|-----------------|
| ■ oberirdisch | ● Waldendeponie |
| | ● Grubendeponie |
| ■ unterirdisch | ● Bergwerk |
| | ● Kaverne |
| | ● Großbohrloch |
| | ● Porenspeicher |

hängt neben der Art der abzulagernden Stoffe weitgehend von der Ausbildung des Untergrundes ab.

Bei den oberirdischen Deponien geht die Tendenz zur Deponie als "Bauwerk", da dieses bei der Herstellung in allen Teilen überprüfbar ist, während des Betriebs und in der Nachbetriebsphase kontrolliert und repariert werden kann. Grundsätzlich wird dabei angestrebt, von den geologischen Standortfaktoren, d.h. von natürlichen Schadstoffbarrieren, unabhängig zu werden (8).

Gegenstand dieser Abhandlung sind nur die aus geowissenschaftlicher Sicht sich ergebenden Aspekte bei der Anlage von Halden- und Grubendeponien. Die Deponie als "Bauwerk=Gebäude" kann, schon aus Kapazitätsgründen, nur für eine kleine Auswahl von Schadstoffen relevant werden. Ob dabei, wie beabsichtigt, auf eine geologische Barrierewirkung des Standortes verzichtet werden kann, muß die weitere Entwicklung zeigen.

Die Barriereanforderungen (geringe Durchlässigkeit, hohes Schadstoffrückhaltevermögen, große Dicke) an den Untergrund für Halden-

und Grubendeponien unterscheiden sich bei nicht abbaubaren Schadstoffen nur unwesentlich, da grundsätzlich von den ungünstigsten Randbedingungen - beschädigte Endabdeckung, funktionsuntüchtiges Dränagesystem - auszugehen ist.

Geologische Randbedingungen

Intensive geowissenschaftliche Untersuchungen sind erforderlich, um die benötigten Parameter für eine realistische Bewertung von Deponiestandorten zu erhalten. Dabei sind sowohl das Spektrum der abzulagernden Stoffe, als auch das vorgesehene Deponiekonzept in die Betrachtung mit einzubeziehen. Generell ist dabei auf eine interdisziplinäre Bearbeitung (Geologe, Ingenieur, Chemiker etc.) zu achten, da nur so eine umfassende Beurteilung gewährleistet ist.

Die Integrität einer Deponie wird durch das Dichtungs- und Barriersystem sowie die mechanische Stabilität des Deponiekörpers und seiner Unterlage bestimmt. Darüber hinaus sind die Belange des Grundwasserschutzes von ausschlaggebender Bedeutung.

Damit ergeben sich folgende Randbedingungen:
für das Gestein (Gebirge)

- ausreichende Tragfähigkeit
- ausreichende Undurchlässigkeit
- hohes Schadstoffrückhaltevermögen
- Resistenz gegenüber Schadstoffen

für das Grundwasser

- keine Wasserschutz- oder Grundwasservorranggebiete
- geringe Grundwasserneubildungsraten
- möglichst engbegrenzte Grundwassereinzugsgebiete (Grundwassersysteme)
- möglichst geringe Mengen von nutzbarem Grundwasser.

Geowissenschaftliche Untersuchungen sind sehr zeitaufwendig; sie sind deshalb so zeitig wie möglich (> 2 Jahre) vor Antragstellung zu beginnen. Die Untersuchungsabläufe sind so zu konzipieren, daß

genügend Spielraum für Untersuchungsänderungen besteht. Der stratigraphische Aufbau des Untergrundes, Schichtenabfolgen und Verbreitung der Gesteine sind dabei hinreichend genau zu erkunden und ausreichend Probenmaterial für Laborversuche zu entnehmen. Sind geochemische Untersuchungen vorgesehen, dürfen Bohrungen nicht mit chemischen Spülmittelzusätzen hergestellt werden.

Die Untersuchungen müssen weiterhin Aufschluß geben über die Geometrie möglicher Grundwasserleiter, Grundwasserstände, Fließrichtungen sowie die Höhe der Gebirgsdurchlässigkeiten. Diese sind horizontal gebunden zu ermitteln und müssen ein umfassendes Bild über evtl. Wasserbewegungen zulassen.

Leitfähigkeitsmessungen im Zusammenhang mit hydrochemischen Untersuchungen an einwandfrei tiefenbezogenen entnommenen Grundwasserproben ermöglichen verlässliche Angaben über den natürlichen Chemismus des Grundwassers (O-Messung) und dessen Verteilung im Aquifer (2). Über eine Altersbestimmung des Wassers lassen sich mögliche Kontakte zu oberflächennahen Grundwasserleitern erkennen.

Dichtung, Barriere

Bei Dichtungssystemen und mineralischen Barrieren ist sicherzustellen, daß sowohl die mechanische Integrität

- ausreichend tragfähiger Untergrund
- hinreichende Prognostizierbarkeit der Bodenverformung
- geringe Eigenverformung
- geringes Wasserleitvermögen
- Körnungstabiler Aufbau

als auch die

chemische Integrität

- keine signifikante Veränderung des Wasserleitvermögens bei Schadstoffzutritt
- ausreichend widerstandsfähig gegenüber Schadstoffen, Gefüge des Dichtstoffes darf nicht zerstört werden

gewährleistet sind. Barrieren müssen in ausreichender Schichtmächtigkeit vorhanden sein.

Neben der physikalischen Auswirkung dieser beiden Bedingungen ist die geochemische Barrierewirkung ausschlaggebend.

Hier sind es im wesentlichen

- Adsorption
- Fällung
- Pufferung (Ca, Al, Si)
- Abbau (chemisch, mikrobiell)

die eine Schadstofffixierung bzw. eine Schadstoffminderung bewirken (4).

Geowissenschaftliche Untersuchungen

Diese Vorgaben stecken den Rahmen für die notwendigen Gesteinsuntersuchungen ab:

hodenmechanisch

- Körnungsanalysen, Plastizitätseigenschaften
- Kompressibilität
- Gesteinsfestigkeit
- Gesteinsdurchlässigkeit für Wasser und

Schadstofflösungen - organisch
- anorganisch

bodenchemisch

- Kalkgehalt, organische Anteile
- geochemische Elementbestimmung des Gesteins
(O-Messung)
- Adsorptionskapazität
- Diffusionsgröße

gefügekundlich, mineralogisch

- Mineralzusammensetzung
- Nachweis der Mikrogefügeveränderung
(Mineralum -, Mineralneubildung)
bei Zutritt von Schadstoffen
- Nachweis ob, wo und wie Schadstoffe ins Tongefüge
eingelagert wurden (Elementverteilung)
- Porengrößenverteilung, mobiler- immobililer Anteil
des Porenwassers

Die Angabe von Durchlässigkeitswerten erfolgt für die Bezugsflüssigkeit "Wasser". Künstlich hergestellte Sickerwässer sind wegen der Vielzahl der möglichen Zusammensetzungen gegenwärtig noch nicht Stand der Versuchstechnik. Zur Abschätzung der Auswirkung verschiedener Stoffgruppen sind aber Durchlässigkeitsversuche mit ausgewählten Chemikalien notwendig.

Von Niedersächsischen Landesamt für Bodenforschung (5) und an anderen Stellen durchgeführte Gesteinsdurchlässigkeitsversuche (6) mit unterschiedlichen organischen und anorganischen Flüssigkeiten an natürlichen Tonen haben bisher keine über den Rahmen der Versuchsgenauigkeit hinausgehenden (Zehnerpotenz) signifikanten Durchlässigkeitserhöhungen ergeben. Allerdings sind dabei z.T. augenschein-

liche Gefügeveränderungen im Ton erfolgt. Ein "Auflösen" von Tongestein beim Hinzutritt von Schadstoffen konnte bisher bei keiner der verwendeten Chemikalien beobachtet werden.

Diese Versuchsergebnisse bestätigen nicht die z.B. in den USA gewonnenen Feststellungen, daß beim Hinzutritt von Chemikalien sich die Durchlässigkeit bis zu mehrere Zehnerpotenzen erhöhen kann (1).

Generell ist jedoch zu beachten, daß die Gesteins- und Gebirgsdurchlässigkeiten bis zu mehrere Zehnerpotenzen von einander abweichen können.

Die Gebirgsdurchlässigkeit berücksichtigt die im Untergrund vorhandenen Inhomogenitäten und Diskontinuitäten und gibt somit ein realistisches Bild der Wasserwegsamkeit im Deponiebereich (Filtergeschwindigkeit (v_f)). Die tatsächliche Strömungsgeschwindigkeit v_s (Abstandsgeschwindigkeit) ist jedoch höher als die Filtergeschwindigkeit

$$(v_s = \frac{v_f}{n}, \quad n = \text{nutzbarer Porenanteil, Kluftvolumen})$$

und ist deshalb ein Maß für eine tatsächliche Ausbreitung von Schadstoffen die weder einer Fixierung noch einem Abbau unterliegen.

Bei Kompressionsversuchen an gering durchlässigen Böden gemessene Restporenwasserüberdrücke deuten auf einen unteren Grenzwert des hydraulischen Gefälles i hin, bei dessen Unterschreitung keine Flüssigkeitsbewegung mehr im Boden stattfindet. Dieser Grenzwert i_0 der bisher in direkten Durchströmungsversuchen noch nicht zweifelsfrei bestätigt werden konnte, ließe sich zur Dimensionierung von Dichtungsschichten mit heranziehen. Inwieweit diese durch einen diffusiven Schadstofftransport in der Dicke nach unten hin be-

grenzt werden, ist bis jetzt noch nicht ausreichend genug geklärt. Nach unseren bisherigen Untersuchungsergebnissen (7) wird der Diffusionsanteil jedoch nicht vernachlässigbar sein.

Stofftransport

Der Schadstoffaustrag ist an die flüssige Phase gebunden. Er erfolgt sowohl über den Flüssigkeitstransport (erzwungene Konvektion, Dispersion) als auch unabhängig davon durch Konzentrations- und Ladungsunterschiede (osmotische Diffusion).

In der Bodenmatrix wird nur der mobile Anteil des Porenwassers durch Konvektion und Dispersion ausgetauscht. Er beeinflusst damit die Höhe der tatsächlichen Migrationsgeschwindigkeit der flüssigen Phase, die aber nicht gleichzusetzen ist mit der Schadstoffwanderungsgeschwindigkeit. Diese ist, bedingt durch Sorptionsprozesse, in der Regel niedriger als die der Flüssigkeit. Der immobile Anteil des Porenwassers steht dagegen nur für einen diffusiven Stoffaustausch zur Verfügung und wirkt dadurch zusätzlich retardierend auf eine Stoffausbreitung. Die Verteilung mobiler, immobiler Anteile des Porenwassers ist abhängig von hydraulischem Gefälle sowie dem Feinporenanteil und ist damit keine konstante Größe.

Überlagert werden diese Stoffwanderungen durch den Diffusionstransport, dessen Größe stoff- und gesteinsabhängig ist. Verlässliche Diffusionsgrößen lassen sich gegenwärtig nur in Sonderfällen angeben.

Tonminerale sind in der Lage, Stoffe zu adsorbieren. Im wesentlichen werden dabei Metalle, unter gewissen Voraussetzungen auch

organische Verbindungen fixiert (4).

Günstig wirken die fast in allen natürlichen Tönen vorhandenen organischen Anteile, die in der Regel höhere Sorptionskapazitäten als die Tonminerale besitzen. Das hohe Schadstoffrückhaltevermögen z.B. von Torf ist bekannt.

Kalkgehalte im Boden bewirken neben einer Pufferung von sauren Stoffen auch das Ausfällen von Metallen. Die bei der Pufferung freigesetzten Stoffe (Calcit, Aluminium, Silizium) können örtlich zu Durchlässigkeitserhöhungen führen, wovon im wesentlichen dünne Dichtungsschichten, nicht aber die Barrierschichten wegen ihrer wesentlich höheren Pufferkapazität beeinträchtigt werden können. Gute Pufferwirkung besitzen auch die organischen Bestandteile in den Böden.

Eignung

Eine Eignungsbewertung für einen Deponiestandort ist nur unter Berücksichtigung aller relevanten geologischen Randbedingungen wie

- geringe Auswirkung auf das Grundwasser
- ausreichend stabiler Untergrund
- geringe Wasserwegsamkeit (Gesteins- und Gebirgsdurchlässigkeit)
- ausreichende Schichtmächtigkeit des Barrieregesteins
- hohes Schadstoffrückhaltepotential (Sorptions, Fällung, Pufferung, Abbau)
- Langzeitstabilität des Barrieregesteins gegenüber chemischen Beanspruchungen

möglich. Die bloße Verwendung der Gesteins- oder Gebirgsdurchlässigkeiten als Auswahlparameter, wie dies noch heute überwiegend üblich ist, reicht für eine Eignungsbewertung nicht aus.

Modellrechnungen unter Berücksichtigung von Konvektion, Dispersion und Diffusion bei Ad- und Desorptionsvorgängen, Fällung und Stoffabbau ermöglichen Grenzprognosen über die zeitabhängige Schadstoffausbreitung durch die Dichtungsschicht und im Barrieregestein. Derartige Untersuchungen bedingen jedoch die Ermittlung von Adsorption- und Diffusionisothermen für die zur Einlagerung vorgesehenen Stoffgruppen bezogen auf das jeweilige Gestein.

Bezugsbasis für die Bewertung einer prognostizierten Schadstoffbelastung des Barrieregesteins und des Grundwassers ist die bei Versuchsbeginn vorhandene geogene (evtl. antropogene) Grundbelastung am Deponiestandort.

Wünschenswert wäre eine Bilanzierung von austragbarem Schadstoffpotential der Deponie zu dem Rückhaltevermögen des Barrieregesteins. Hierfür sind jedoch noch eine Anzahl von Grenzbedingungen zu klären wie z.B. die Zugänglichkeit von freien Valenzen für die Schadstofffixierung im Gesteinsverband (Laborversuche nur an völlig aufgeschlossenem Material), Verhältnis des Schadstofftransportes von Konvektion/Dispersion und Diffusion usw.. Letztere ist von Bedeutung, wenn die Wasserbewegung (Konvektion) überwiegend entlang Gesteinsdiskontinuitäten (Klüfte etc.) vonstatten geht, wobei nur eine begrenzte Anzahl von Kontaktstellen im Gestein für eine Schadstoffadsorption zur Verfügung steht. Durch einen diffusiven Transportanteil können auch die nicht durchströmten Gesteinsbereiche zur Schadstoffrückhaltung herangezogen werden.

Wie umfangreiche Versuche (5) gezeigt haben, werden Schwermetalle z.B. in Unterkreidetonen gefällt und adsorbiert. Bei Zutritt von Komplexbildnern werden diese Bindungen jedoch weitgehend wieder gelöst und die Schwermetalle durch die so erfolgte Wasserlöslichkeit remobilisiert und weiterverfrachtet.

Stoffauswahl und Deponieausbildung

Ein Teil der Schadstoffe wie die Schwermetalle und die unpolaren Organika, hier überwiegend die halogenierten Verbindungen, sind im Wasser in der reinen Form weitgehend unlöslich. Sie sind deshalb "problemlos" ablagerbar, da sie durch hinzutretendes Wasser nicht verfrachtet werden können. Ausreichend dicke Tonschichten bilden, da sie vermutlich auch ein Teil der Organika fixieren können, für diese Stoffe eine ausreichend sichere Barriere.

Werden diese Stoffe jedoch zusammen mit Komplexbildnern bzw. Lösungsvermittlern abgelagert (3) erhöht sich durch die damit hervorgerufene Wasserlöslichkeit der Schadstoffe das Gefährdungspotential erheblich. Je nach Höhe dieser mobilisierend wirkenden Stoffe kann die Barrierewirkung der Tongesteine weitgehend vermindert, oder auch gänzlich aufgehoben werden. In diesem Falle entspräche die Schadstoffverfachtungsgeschwindigkeit langfristig gleich der Wasserwanderungsgeschwindigkeit.

Eine Anzahl von organischen Abfällen ist mikrobiell oder chemisch abbaubar, d.h. das von diesen Stoffen ausgehende Gefährdungspotential nimmt im Verlauf der Zeit ab. Dieser Abbau kann aber durch Zugabe von Schwermetallen, halogenierten Verbindungen usw. vermindert oder gänzlich unterbunden werden.

Bei der Auswahl von zusammen abzulagernden Stoffgruppen ist deshalb darauf zu achten, daß Stoffe ferngehalten werden, welche die Löslichkeit von Schadstoffen erhöhen und den wünschenswerten Abbauprozessen entgegenstehen.

Die mechanische Integrität einer Deponie wird wesentlich durch eine geringe Eigenverformung der abgelagerten Stoffe bestimmt. Abgelagert werden dürfen deshalb nur feste Stoffe, die in sich mechanisch stabil sein müssen und keine Flüssigkeiten absondern dürfen. Der Einbau ist hohlraumarm vorzunehmen. Feste Gebinde, wie Fässer, sind, da sie der Forderung eines hohlraumarmen Einbringens entgegenstehen, von Deponien fernzuhalten.

Je nach Deponietyp sind Stoffe, die einen hohen wasserlöslichen Anteil enthalten (Salze), mengenmäßig zu beschränken.

Grundsätzlich ist die mechanische Eignung für eine Deponiefähigkeit nachzuweisen. Das noch heute übliche Konsistenzkriterium "stichfest" für eine Einlagerbarkeit ist bodenmechanisch nicht haltbar und unbedingt durch abgesicherte Festigkeitskriterien zu ersetzen. Hierfür stehen entsprechende bodenmechanische Untersuchungsmethoden zur Verfügung. Dem rheologischen Stoffverhalten ist hierbei besondere Aufmerksamkeit zu schenken, da sich ein Teil der abzulagernden Stoffe, wie z.B. Wachse, unter Belastung nicht wie ein Erdstoff verhalten.

Einen besonderen Problemkreis bilden die Eingangskontrollen in der Deponiepraxis. Hierfür sind bodenmechanische abgesicherte Schnellmethoden zu entwickeln. Die in der letzten Zeit mehrfach in der Literatur beschriebenen Kontrollmethoden erfüllen diese Voraussetzung nicht und sind deshalb wenig aussagekräftig im Hinblick auf das rheologische Stoffverhalten nach der Einlagerung.

Aus dem vorgenannten ergibt sich, daß an Multielementdeponien hohe Sicherheitsanforderungen zu stellen sind, um einen möglichen Schadstoffaustrag auf ein Minimum zu reduzieren.

Vorzuziehen sind deshalb Stoffgruppendeponien (Monodeponien) für die unter Ausnutzung der geologischen Barriereigenschaften, Fällung, Sorption, Abbau, für einen Großteil der Schadstoffe die Sicherheitsanforderungen modifiziert gesenkt werden können (3).

Multielementdeponien werden aus abfallwirtschaftlichen Gründen jedoch nicht gänzlich zu vermeiden sein. Wegen des hohen Überwachungsumfanges während und nach der Stoffeinlagerung und der Vereinfachung evtl. notwendig werdender Sanierungen, sind Multielementdeponien räumlich zu begrenzen.

Wie bei der Herstellung eines Bauwerkes ist auch bei der Anlage von Deponien von vornherein eine ausreichende Überwachungsmöglichkeit der Integrität der Sicherheitsrelevanten Deponieteile und eine Reparierbarkeit mit einzuplanen.

Werden die Abfallstoffe auf die geologischen Randbedingungen abgestimmt eingelagert, ist nach dem heutigen Kenntnisstand der Hauptanteil der festen Abfallstoffe in Halden- oder Grubendepo-nien sicher beherrschbar abzulagern. Aufwendige Bauwerke sind dafür aus fachlicher wie wirtschaftlicher Sicht nicht zu vertreten. Dies setzt jedoch ein geschlossenes Abfallbeseitigungskonzept voraus, das sowohl eine Stoffvorbehandlung (chemisch, physikalisch) und Verbrennung als auch ober- und untertägige Deponien vorsieht. Innerhalb dieses Konzeptes könnten Bauwerke (Gebäude) als Zwischendepo-nien für besonders gefährliche Stoffe notwendig werden.

Literatur

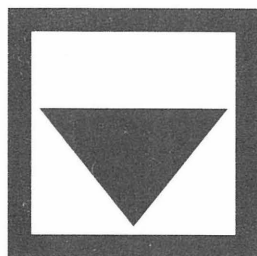
- (1) Anderson, D.C., K.W. Brown, J. Green (1981)
Organic Leachate Effects on the Permeability of Clay Liners
National Conf. on Management of Uncontrolled Hazardous Waste
Sites, US Environmental Protection Agency Washington D.C.,
Okt. 1981, S. 223 - 229
- (2) Dörhöfer, G., B. Kilger, H. Hein
Hydrogeologische Untersuchungen,
Geowissenschaftliche Vorsorgeuntersuchungen zur Standort-
findung für die Ablagerung von Sonderabfällen
Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover,
nicht veröffentlichte Jahresbericht 1981, 1982, 1983
- (3) Göttner, J. H. (1985)
Mögliche Reaktionen in einer Sonderabfalldeponie-Folgerungen
-Folgerungen für das Deponierungskonzept
Müll und Abfall, 17. Jahrg., H. 2, S. 29 - 32
E. Schmidt Verlag Berlin-Bielefeld-München
- (4) Kohler, E. (1984)
Bewertung des Tonbarrierekonzeptes unter besonderer Berück-
sichtigung der Permeabilität und den chemischen Reaktionen
zwischen Tonmineralen und organischen Lösungen
Literaturstudie Forschungsbericht 102 03 409/01 Umweltbundes-
amt, Umweltforschungsplan des Bundesministers des Inneren,
Wasser
- (5) Göttner, J. J., A. Komodromos
Bodenphysikalische und bodenmechanische Untersuchungen,
Geowissenschaftliche Vorsorgeuntersuchungen zur Standortfin-
dung für die Ablagerung von Sonderabfällen
Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover,
nicht veröffentlichte Jahresberichte 1981, 1982, 1983

- (6) Simons, H., E. Reuter, W. Sondermann
Erfahrungsstand bei der Abdichtung von Deponien,
Vorträge der Baugrundtagung 1984 in Düsseldorf,
Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau Essen
- (7) Schneider, W., K. Tietze
Modelluntersuchungen,
Geowissenschaftliche Vorsorgeuntersuchungen zur Standortfindung für die Ablagerung von Sonderabfällen
Niedersächsisches Landesamt für Bodenforschung Hannover,
nicht veröffentlichte Jahresberichte 1981, 1982, 1983
- (8) Wiedemann, H.U. (1985)
Analyse der amerikanischen Anforderungen an Deponien für gefährliche Abfälle
Müll und Abfall, 17. Jahrg., H. 2, S. 33 - 37
E. Schmidt Verlag Berlin-Bielefeld-München

Der technische Fortschritt beruht auf dem Zusammenwirken von Wissenschaft und Praxis. Die geologischen Voraussetzungen unserer Erdkruste stellen besondere Aufgaben.

Unser Spezialgebiet läßt sich in 4 Hauptgruppen zusammenfassen:

Dichtungswände, Gründungsarbeiten, Tiefbohrungen, Wasserversorgungsanlagen einschließlich Brunnen.



BRECHTEL SPEZIAL-TIEFBAU

Johannes Brechtel GmbH

Industriestr. 11 · D-6700 Ludwigshafen · W-Germany · Tel. (06 21) 69 30 41 · Telex 4 64 827

Stuntzstr. 16 · D-8000 München 80 · W-Germany · Tel. (089) 47 40 35 · Telex 5 24 237

Eignungsuntersuchungen von natürlichen Dichtungsmaterialien für Deponien

Dipl.-Ing. E. Reuter
Institut für Grundbau und Bodenmechanik
TU Braunschweig

1. Allgemeines

Die geordnete Ablagerung von Abfällen auf Deponien ist das z.Zt. überwiegend angewendete Verfahren der Abfallbeseitigung in der Bundesrepublik Deutschland.

Die Menge des öffentlich beseitigten Abfalles betrug 1980 ca. 84 Mio. Tonnen, von denen mit 75 Mio. Tonnen ca. 90 % auf Deponien verbracht wurden.

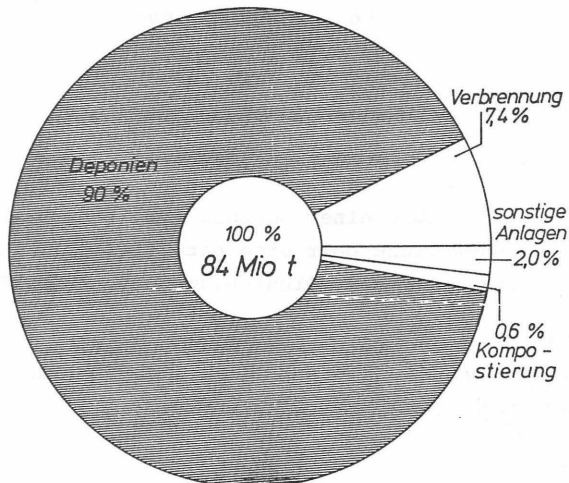


Bild 1 : Öffentlich beseitigter Abfall nach Art der Anlagen 1980 (UBA, 1982)

"Deponien werden wohl auch in den nächsten Jahrzehnten eine der unverzichtbaren Säulen der Abfallentsorgung bilden, weil auch bei allerhöchsten Anstrengungen zur Abfallvermeidung sowie -verwertung Reste und Rückstände bleiben werden, die sich nur durch Ablagern sinnvoll beseitigen lassen" (TABASARAN, 1984).

Im Bewußtsein, daß Umweltschutz für uns und für folgende Generationen eine lebensnotwendige Aufgabe ist, wurden vom Gesetzgeber innerhalb der letzten 15 Jahre die Anforderungen an Deponien erheblich erhöht (vgl. SIMONS/REUTER/SONDERMANN, 1984).

Nach dem Niedersächsischen Runderlaß (NIEDERSÄCHSISCHE LANDESREGIERUNG, 1981) zur Durchführung des Abfallbeseitigungsgesetzes (1977)

- sind neu zu errichtende Deponien bzw. die Erweiterungsflächen grundsätzlich gegen den Untergrund hin abzudichten,
- ist mit einer Basisabdichtung eine Sickerwasserabführung und -behandlung nach dem neuesten Stand der Abwassertechnik verbunden.

2. Mögliche Deponiebasisabdichtungen

Die Abdichtung einer Deponie kann grundsätzlich durch eine künstliche oder eine natürliche Dichtung oder durch Kombination beider Dichtungsmaterialien erfolgen.

Für beide Abdichtungsmaterialien, wie sie z.B. in Bild 2 zusammengestellt sind, existieren langjährige Erfahrungen aus dem Ingenieurbau.

EINTEILUNG DER DEPONIEBASISABDICHTUNGEN	
NATÜRLICHE DICHTUNG	KÜNSTLICHE DICHTUNG
<u>Dichtungsschichten:</u> z.B. anstehende, bindige Böden • tonige Böden • schluffige Böden • Lehme z.B. physikalisch oder chemisch verbesserte Böden • Bentonit-Sand-Misch. z.B. Abraummaterial • Bergematerial-Wasserglas-Mischungen	<u>Dichtungsbahnen:</u> z.B. Thermoplaste • Ethylencopolymerisat - Bitumen (ECB) • Polyethylen (PE) • Polyvinylchlorid (PVC) z.B. Elastomere • Butylkautschuk (IRR) z.B. Bitumen • Bitumenschweißbahn

Bild 2 : Beispiele für natürliche und künstliche Dichtungsmaterialien

2.1

Künstliche Dichtungsmaterialien

Bei den künstlichen Dichtungsmaterialien, die in der Deponietechnik Anwendung finden, handelt es sich i.w. um industriell hergestellte Dichtungsbahnen aus Polyethylen in reiner oder modifizierter Form oder um mit Polyethylen modifizierte Werkstoffe (z.B. ECB) (HAACK, 1984). Diese Bahnen werden in der Regel lose verlegt und durch spezielle Füge-techniken miteinander verschweißt.

Diese Kunststoffbahnen werden - 100 %ige Unversehrtheit und einwandfreie Verbindungen der Bahnen vorausgesetzt - von Deponiesickerwässern nicht durchströmt.

Jedoch auch bei einer fehlerfrei erstellten Sperrschicht ist mit Transportvorgängen durch den Kunststoff zu rechnen (POSCHET, 1984). Aufgrund von Diffusionsvorgängen kommt es u.a. in Abhängigkeit von den Wechselwirkungen zwischen Schadstoffmolekülen und der Molekülstruktur der Dichtungsbahn sowie den Konzentrationsgradienten in der Dichtung zu Schadstofftransporten durch die Dichtung, als deren Kenngröße eine Permeationsrate $\bar{J}$ [$\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$] angegeben werden kann (vgl. Bild 3).

Die BAM hat bei ihren Untersuchungen zum Permeationsverhalten von Kunststoffdichtungsbahnen nachgewiesen, daß sich insbesondere bei einer hohen Affinität der im Wasser bzw. im Sickerwasser gelösten Kohlenwasserstoffe zu den Kunststoffen an der Kunststoffoberfläche höhere Konzentrationen der Kohlenwasserstoffe ergeben können als im darüberstehenden Sickerwasser. Dieses beeinflusst wiederum das Konzentrationsgefälle in der Dichtung. Damit erklärt sich die Tatsache, daß eine Abnahme der Schadstoffkonzentration im Sickerwasser nicht unbedingt eine lineare Abnahme der Permeationsrate zur Folge haben muß (BAM, 1984).

2.2 Natürliche Dichtungsmaterialien

Diese Dichtungsmaterialien sind natürliche bindige, tonige, unverfestigte Sedimentgesteine, die während ihrer geologischen Entstehungsgeschichte unterschiedlichen Witterungs-, Klima- und anderen Umwelteinflüssen ausgesetzt waren.

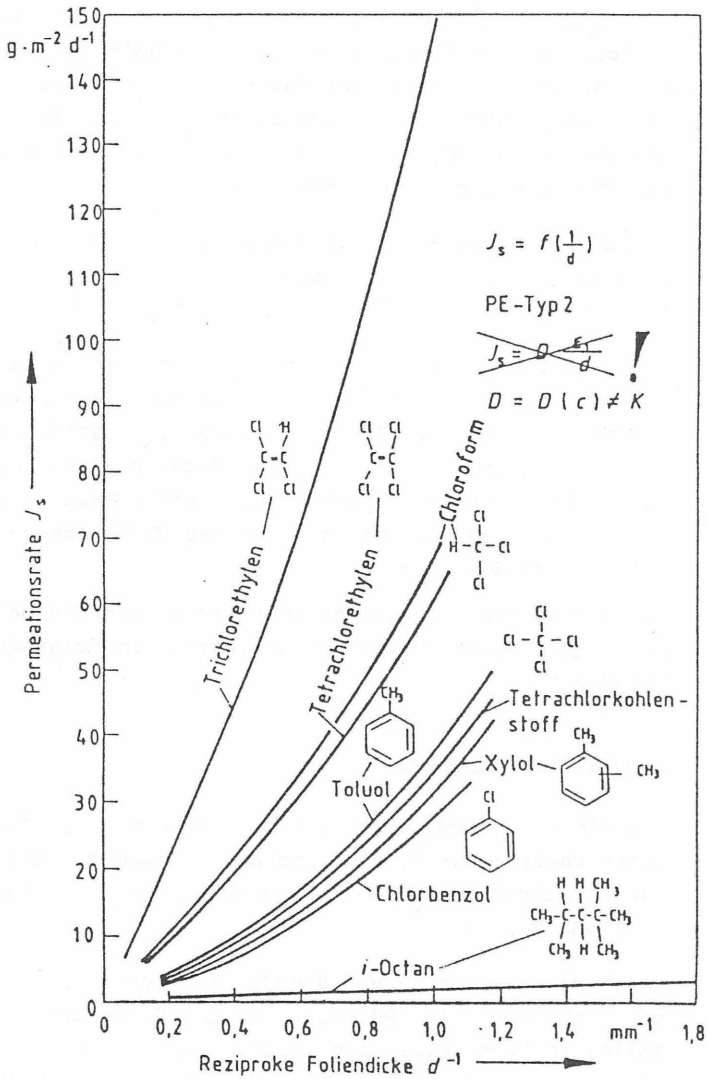


Bild 3 : Permeationsraten von Kohlenwasserstoffen durch eine HDPE-Folie (aus BAM, 1984).

Die Vorhersage der bodenphysikalischen und -chemischen Eigenschaften dieser Böden ist im Gegensatz zu industriell hergestellten Gütern nur innerhalb von Toleranzgrenzen möglich, da in der Natur stets Mischformen und Mischungen unterschiedlicher Bodenstrukturen überwiegen, was die Erstellung einer klaren Systematik der Eigenschaften toniger Böden erschwert.

Aus diesem Grund müssen an jedem natürlichen Dichtungsmaterial Eignungsversuche zur Prüfung und Beurteilung der Dichtungseigenschaften durchgeführt werden.

In den meisten Fällen ergibt sich hier eine Überschneidung mit den notwendigen Standortuntersuchungen (vgl. SIMONS/SONDERMANN/REUTER, 1984), da i.a. bei den natürlichen Dichtungen der anstehende Untergrund mit Hilfe die Dichtungseigenschaften verbessernder Maßnahmen (z.B. Zumischen von Bentonit) in das Dichtungskonzept mit eingebunden wird.

Die Eignungsuntersuchungen an tonigen Dichtungsmaterialien sind Thema dieses Vortrages und werden im folgenden näher erläutert.

2.3 Kombinierte Dichtungen

Bei diesem System sollen die durchströmungsverhindernden Eigenschaften der Dichtungsbahnen mit dem Rückhaltevermögen natürlicher Materialien verbunden werden (vgl. BADEN-WÜRTTEMBERG, 1983).

Durch die Anlagerung von Schadstoffen unterhalb der Dichtungsbahn kann eine Rückkopplung des Konzentrationsgefälles im Dichtungssystem erreicht und damit die Permeationsrate verringert werden (SIMONS/REUTER/SONDERMANN, 1984).

Die Einsatzmöglichkeiten kombinierter Dichtungen werden z.Zt. intensiv diskutiert. Hier sind weitere interdisziplinäre Forschungsarbeiten notwendig.

3. System einer Deponiebasisabdichtung mit natürlichem Dichtungsmaterial

Das Dichtungssystem besteht grundsätzlich aus folgenden Komponenten (Bild 4) :

- Schutzschicht
- Dränschicht
- Dichtungsschicht aus natürlichem Material
- gewachsener Boden

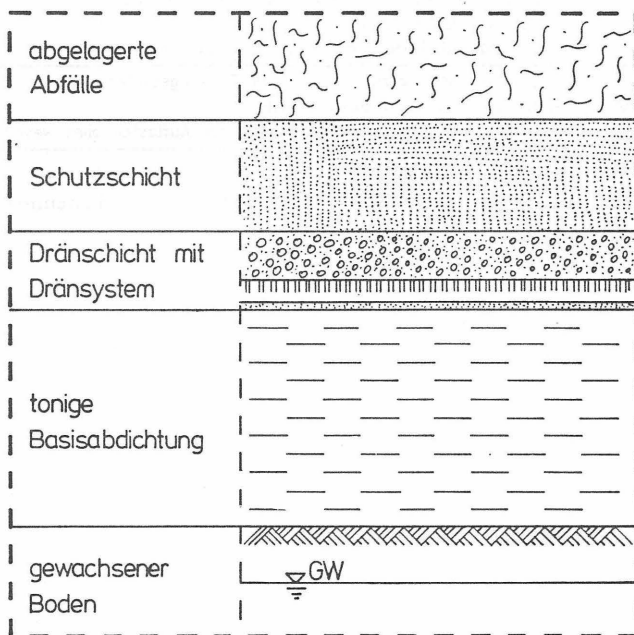


Bild 4 : Basisabdichtungssystem aus natürlichem Dichtungsmaterial

Einen Katalog der allgemeinen Anforderungen an das Dichtungssystem zeigt Bild 5.

ANFORDERUNGSKATALOG AN DAS DICHTUNGSSYSTEM	
Schutzschicht	Schutz der Dränage und Dichtung vor: -Witterungseinflüssen (Sonne, Frost,Wind) -mechanischer Zerstörung
Dränageschicht	Sammlung und Ableitung des anfallenden Deponiesickerwassers -ausreichendes Gefälle -Beständigkeit gegen chemisch aggressive Medien /thermische Beanspruchung -Spülmöglichkeit -optische Kontrollmöglichkeit durch Kanalfernsehaugen
Dichtungsschicht	Dichtung des Untergrundes gegen das kontaminierte Deponiesickerwasser -langfristig, dauerhaft dicht -Beständigkeit gegen chemisch aggressive Medien/thermische Beanspruchung -Beständigkeit gegen pflanzliche oder tierische Organismen -ausreichende Festigkeit zur Abtragung der Auflasten -plastische Verformbarkeit -Filterstabilität /Suffosionssicherheit / Erosionssicherheit
Planum/Untergrund	Ausgleichs- und Stützschiicht für das Dichtungssystem -frei von organischen Bestandteilen -ausreichende Festigkeit zur Aufnahme der Auflasten ohne wesentliche Setzungen

Bild 5 : Anforderungskatalog an das Dichtungssystem

4. Eignungsuntersuchung von natürlichen Dichtungsmaterialien

Im folgenden werden die wesentlichen Eignungsuntersuchungen an natürlichen Dichtungen vorgestellt.

Hierzu gehören:

- Bodenphysikalische Klassifizierung des Dichtungsmaterials
- Mineralogische Klassifizierung des Dichtungsmaterials
- Prüfung der Verdichtbarkeit
- Prüfung der Beständigkeit und des Adsorptionsvermögens
- Prüfung des Spannungs-Verformungs-Verhaltens

4.1 Bodenphysikalische Klassifizierung

Durch die bodenphysikalische Klassifizierung wird das Dichtungsmaterial hinsichtlich seiner Zusammensetzung, Zustandsform und plastischen Eigenschaften beschrieben.

Dazu sind am Dichtungsmaterial i.w.

- die Korngrößenverteilung,
- der Wassergehalt,
- die Konsistenzgrenzen,
- der Kalkgehalt und
- der Gehalt an organischen Beimengungen

zu bestimmen. Das Material kann dann entsprechend DIN 4022 und DIN 18196 klassifiziert werden.

Dem Institut für Grundbau und Bodenmechanik der TU Braunschweig liegen eigene Versuchsergebnisse von mehr als 20 Deponieprojekten mit natürlichen Basisabdichtungen vor, aus denen - vorbehaltlich einer genaueren statistischen Untersuchung im Frühjahr 1985 - folgende Erfahrungswerte

nach der Klassifizierung abgeleitet werden können:

Versuchsbedingungen: Wasserdurchlässigkeitsversuche mit konstanter Druckhöhe, hydraulisches Gefälle $i = 50$, Anwendung des DARCY'schen Gesetzes, Dichtungsmaterial auf mindestens 97 % der Proctordichte (auf dem nassen Ast) verdichtet

- Durchlässigkeitsbeiwerte $K < 10^{-10}$ m/s wurden in der Regel von natürlich anstehenden Böden
 - mit mehr als 40 Gew-% Tongehalt ($d < 0,002$ mm)
 - mit mehr als 70 Gew-% Ton- und Schluffgehalt ($d < 0,063$ mm)
 - der Bodengruppe TA (nach DIN 18196) erreicht.
- Durchlässigkeitsbeiwerte $k < 10^{-9}$ m/s wurden in der Regel von natürlich anstehenden Böden
 - mit mehr als 25 Gew-% Tongehalt ($d < 0,002$ mm)
 - mit mehr als 50 Gew-% Ton- und Schluffgehalt ($d < 0,063$ mm)
 - den Bodengruppen TA, TM, UM (nach DIN 18196)
 - mit Plastizitätszahlen $I_p > 25$ % erreicht.
- Durchlässigkeitsbeiwerte $k < 10^{-8}$ m/s wurden in der Regel von natürlich anstehenden Böden
 - mit mehr als 10 Gew-% Tongehalt ($d < 0,002$ mm)
 - mit mehr als 30 Gew-% Ton- und Schluffgehalt ($d < 0,063$ mm)
 - den Bodengruppen TA, TM, TL, UM, UL, SU (nach DIN 18196)

Bei Beaufschlagung des Dichtungsmaterials mit organischen und anorganischen Prüf Flüssigkeiten anstelle von Wasser können in Abhängigkeit von den physikalisch-chemischen Eigenschaften der Prüf Flüssigkeiten und des Dichtungsmaterials

größere Durchlässigkeiten als oben angegeben auftreten. In den Eignungsprüfungen ist besonderer Wert auf die Feststellung dieser physikalisch-chemischen Wechselwirkungen zwischen Prüf Flüssigkeit und Dichtungsmaterial zu legen.

4.2

Mineralogische Klassifizierung

Zu den für Dichtungszwecke wichtigsten tonmineralogischen Eigenschaften (Bild 6) gehören

- die Quellfähigkeit und
- das Ionenaustausch- und Adsorptionsvermögen.

Bezeichnung		Ausdehnung	Art der Bindung	Kristallgitterabstand [Å] $\text{\AA} \approx 10^{-10} \text{ m}$	Abmessung d. Tonminerale [Å]		Spezifische Oberfläche [m ² /g]	Ionenaustauschkapazität [mval/100g]
Zwei-Schicht-Tonminerale	KAOLINIT	nicht quellend	stabile Wasserst-Bindung	7,1	500-5000	3000-40 000	10	3-15
Drei-Schicht-Minerale	MONT-MORILLONIT	quellend	Ionenbindung	9,6 - 21,0	10-1000	1000-10 000	800	80-120
	ILLIT	nicht quellend	stabile Kaliumbindung	10,0	100-2000	1000-20 000	100	20-50
Vier-Schicht-Minerale	CHLORIT	nicht quellend	stabile Wasserst-bindung	14,2			5-50	10-40

Bild 6 : Aufbau und Eigenschaften reiner Tonminerale

Die Durchführung tonmineralogischer Untersuchungen sowie ihre Bewertung und Beurteilung bleibt den auf diesem Gebiet tätigen Fachleuten (Mineralogen, Geologen) vorbehalten. Für die Mineralbestimmungen kommen i.d.R. röntgenographische Methoden infrage.

In Bild 7 sind Durchlässigkeitsbeiwerte von Tonmineralen, basierent auf Untersuchungen der Cornell University, USA, zusammengestellt.

Tonmineral	Austauschbares Kation	Porenzahl	Durchlässigkeits- beiwert k [m/s]
Montmoril- lonit	Na	15	$8 \cdot 10^{-10}$
		3	$1,5 \cdot 10^{-10}$
	K	11	$5 \cdot 10^{-10}$
		7	$0,8 \cdot 10^{-10}$
	Ca	8	$1000 \cdot 10^{-10}$
		4	$10 \cdot 10^{-10}$
	H	9	$200 \cdot 10^{-10}$
		3	$10 \cdot 10^{-10}$
Kaolinit	Na	1,6 - 0,5	$150-80 \cdot 10^{-10}$
	K	1,6 - 1,1	$300-90 \cdot 10^{-10}$
	Ca	1,6 - 1,3	$1000-150 \cdot 10^{-10}$
	H	1,4 - 1,0	$1000-150 \cdot 10^{-10}$

Bild 7 : Durchlässigkeitsbeiwerte von Tonmineralien
(KEZDI, 1969)

4.3

Prüfung der Verdichtbarkeit

Ein Boden läßt sich in dem Maße verdichten, in dem es gelingt, seinen Porenanteil zu verringern und damit seine Dichte zu erhöhen.

Zur Prüfung der Verdichtungseigenschaften wird in der Bodenmechanik der Proctorversuch nach DIN 18127 angewendet.

Aus diesem Versuch ergibt sich für eine festgelegte Verdichtungsenergie eine Beziehung zwischen der Trockendichte eines Bodens und dem zugehörigen Wassergehalt (Proctorkurve). Bild 8 zeigt einige typische Proctorkurven verschiedener für Abdichtungsmaßnahmen infrage kommender Böden.

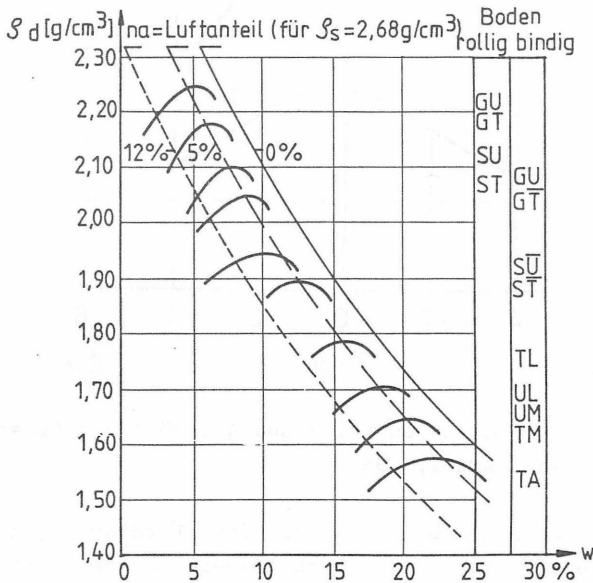


Bild 8 : Typische Proctorkurven für fein- und gemischtkörnige Böden (aus Türke, 1984)

Der Scheitel der Proctorkurve liegt stets bei etwa dem gleichen Sättigungsgrad. Bodenart und Struktur beeinflussen nicht nur die Lage, sondern auch die Form der Proctorkurve. Bild 9 zeigt, daß die Sande und Schluffe gegen Änderungen des Wassergehaltes empfindlicher sind als die Tone.

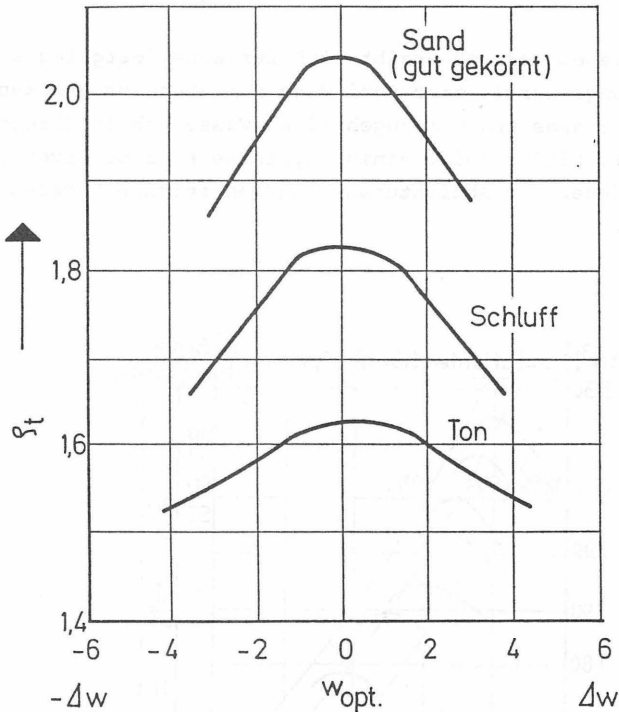


Bild 9 : Proctorkurven fein- und grobkörniger Erdstoffe
(aus KEZDI, 1969)

Die bindigen Böden besitzen bei einer Verdichtung auf der nassen Seite immer eine gleichmäßiger geordnete Struktur. Die bessere Beweglichkeit der Teilchen bei einem größeren Wassergehalt ermöglicht, daß sich die Teilchen lotrecht zur Verdichtungsrichtung anordnen. Im trockenen Zustand

bildet sich dagegen eine unregelmäßige Struktur (KEZDI, 1969).

Ein orientiertes, disperses Gefüge besitzt geringere Durchlässigkeiten als ein unregelmäßiges koaguliertes Gefüge. Somit erhält man durch Verdichtung auf der nassen Seite für bindige Böden geringere Durchlässigkeiten. Die Ergebnisse eigener Untersuchungen (Bild 10) bestätigen dieses Verhalten.

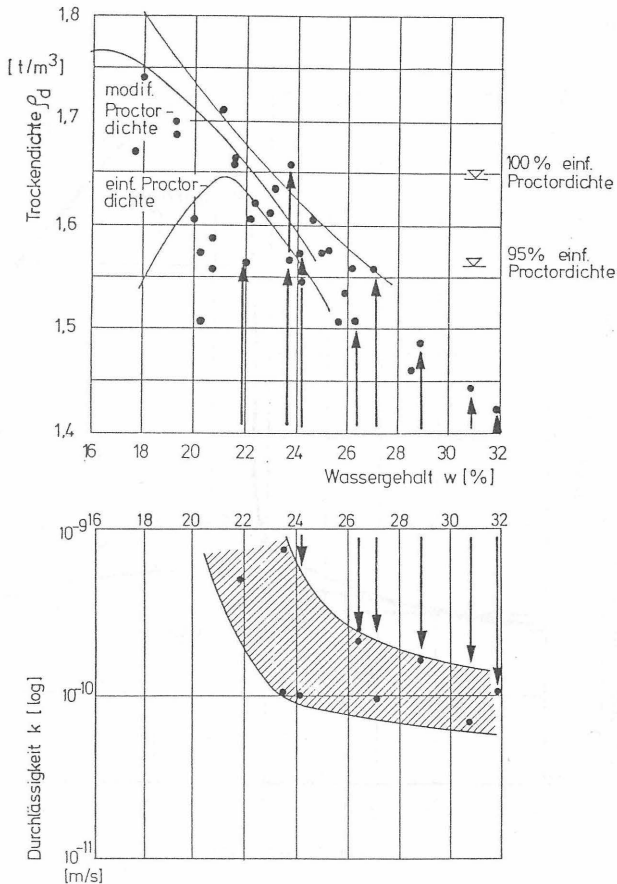


Bild 10 : Zusammenhang zwischen Verdichtung und Durchlässigkeit eines Tones

Die Ausbildung unterschiedlicher Strukturen ist bei bindigen Böden auch dafür verantwortlich, daß die Festigkeit durch die Verdichtungsmethode beeinflusst wird. Bild 11 zeigt, daß die Wahl der Verdichtungsmethode auf die Festigkeit von Tonen einen erheblichen Einfluß hat, wenn der Boden auf der nassen Seite der Proctorkurve verdichtet wird. Schafffußwalzen erreichen hier aufgrund ihrer die Struktur verändernden Knetwirkung u.U. nur ein Viertel der Festigkeit von statisch wirkenden Verdichtungsgeräten.

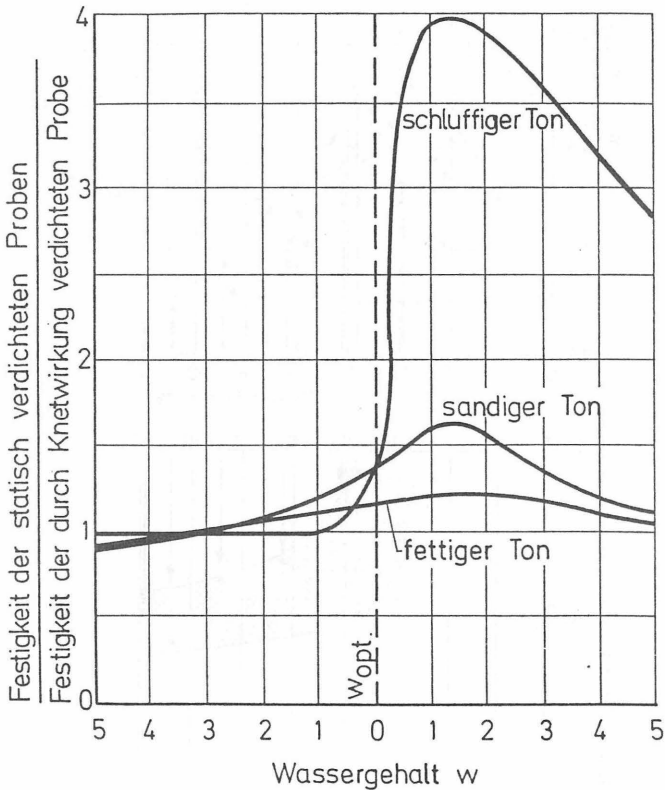


Bild 11 : Einfluß von Verdichtungsmethoden auf die Festigkeit von verschiedenen Erdstoffen (KEZDI , 1969)

Die Größe der Zusammendrückung, das Setzungsmaß, hängt bei tonigen Dichtungsstoffen vorwiegend vom Einbauwassergehalt ab.

Dies ist vor allem für die Gewährleistung einer langfristig ausreichenden Dichtungsschichtstärke zu beachten.

Die Zusammendrückung eines Tones bei unterschiedlichen Einbauwassergehalten zeigt Bild 12.

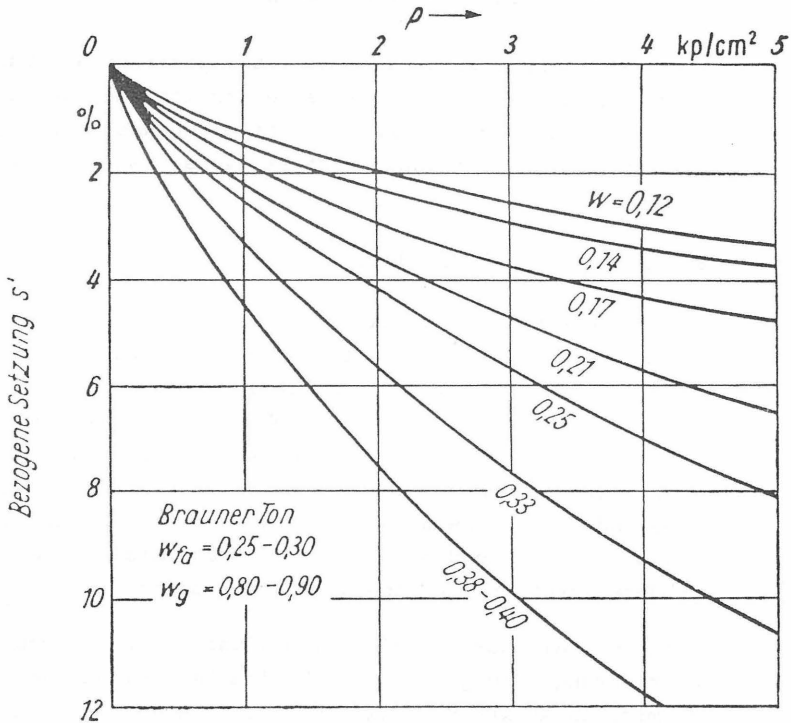


Bild 12 : Verdichtungskurven eines Tones bei verschiedenen Wassergehalten (KEZDI, 1969)

Zusammenfassend läßt sich bezüglich des Verdichtungsverhaltens von bindigen Dichtungsmaterialien folgendes feststellen:

1. Die Durchlässigkeit ist geringer für Böden, die auf der nassen Seite der Proctorkurve mit $w > w_{opt}$ verdichtet werden.
2. Das Maß der Zusammendrückbarkeit nimmt mit dem Einbauwassergehalt zu.
3. Bei Verdichtung auf der nassen Seite können sich die mit verschiedenen Verdichtungsverfahren erreichbaren Festigkeiten erheblich unterscheiden.

Um eine minimale Durchlässigkeit bei geringen Setzungen zu erreichen, sollte deshalb eine Verdichtung auf ca. 97 % der Proctordichte bei dem entsprechenden Wassergehalt auf der nassen Seite der Proctorkurve angestrebt werden.

4.4 Prüfung der Durchlässigkeit

Bei der Durchsickerung natürlicher Dichtungsschichten mit dem Deponiesickerwasser sollte besonderer Wert auf die Feststellung der physikalisch-chemischen Wechselwirkungen zwischen Prüfliquidität und Dichtungsmaterial gelegt werden. Eignungsprüfungen mit Wasser als einzige Prüfliquidität entsprechen nicht mehr dem heutigen Kenntnisstand, da bei Beaufschlagung des Dichtungsmaterials mit organischen und anorganischen Prüfliquiditäten größere Durchlässigkeiten auftreten können.

Somit muß die Durchlässigkeitsprüfung in einer Versuchseinrichtung erfolgen, die auch eine Beurteilung der chemischen Reaktionen zwischen Flüssigkeit und Dichtungsmaterial auf das Durchlässigkeitsverhalten ermöglicht.

Eine Konzentrationsänderung der Inhaltsstoffe der Prüf-
flüssigkeiten während des Durchlässigkeitsversuches kann
durch chemische Analysen festgestellt werden. Hierfür
kommen in der Regel Maßanalysen, die Chromatographie und
Spektralanalysen infrage.

4.4.1

Versuchseinrichtung

Am Institut für Grundbau und Bodenmechanik wurde eine
Versuchseinrichtung entwickelt wie sie Bild 13 zeigt.

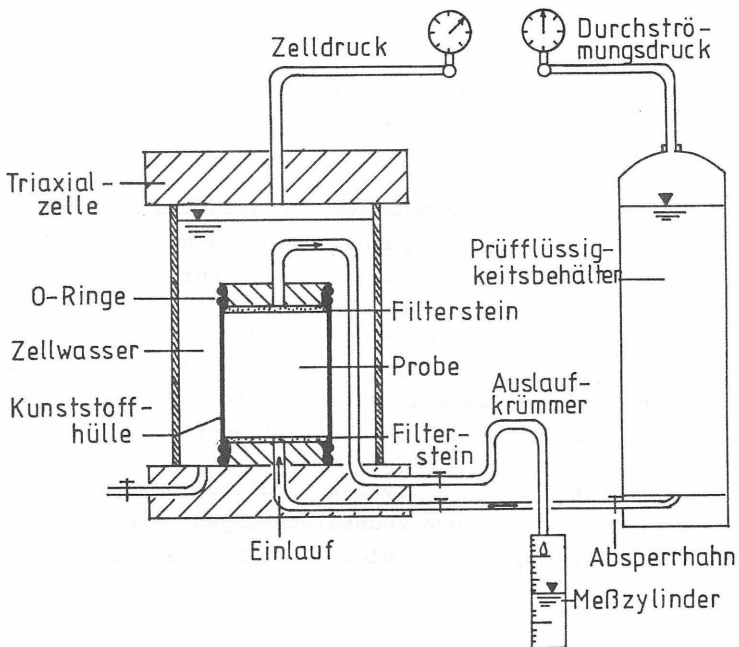


Bild 13 : Versuchseinrichtung des Instituts für
Grundbau und Bodenmechanik zur Prüfung
der Durchlässigkeit

Diese Versuchseinrichtung ermöglicht ohne aufwendige Umbauten sowohl die Prüfung mit anorganischen Prüf-
flüssigkeiten (z.B. Schwermetallsalzlösungen) als
auch mit organischen Flüssigkeiten (chlorierte Kohlen-
wasserstoffe) und Deponiesickerwässern.

Die Durchflußmengen können exakt bestimmt werden, da
Flüssigkeitsverluste bei ordnungsgemäßer Durchführung
der Versuche nicht zuletzt wegen der kurzen Zu- und
Abflußleitungen ausgeschlossen werden können.

Das hydraulische Gefälle kann mit entsprechenden Fein-
meßmanometern über ein auf die Prüfflüssigkeit wirkendes
Luftpolster genau eingestellt werden.

Durch das auf die Probe wirkende dreiaxiale Drucksystem
werden Umläufigkeiten um die Probe herum wirkungsvoll
verhindert.

Vor Beginn des Durchströmungsversuches kann die Probe
einem definierten Spannungszustand ausgesetzt werden,
der während des Versuches aufrechterhalten werden kann.

In einem Versuchsprotokoll werden die Einbaukennwerte
der Probe (Abmessungen, Dichte, Wassergehalt, Herstellungs-
art u.a.) sowie die Versuchsbedingungen (Prüf-
flüssigkeit, hydraulisches Gefälle, Zellwasserdruck u.a.) genannt.

Der Durchlässigkeitsversuch sollte so lange durchgeführt
werden, bis in den Wechselwirkungen zwischen Probe und
Prüf-
flüssigkeit ein Gleichgewichtszustand erreicht ist
(dazu s. 4.5).

4.4.2 Auswahl der Prüf- flüssigkeiten

Die einzig repräsentative Prüf-
flüssigkeit für die real
zu erwartenden Verhältnisse in einer Deponie ist das
originale Deponiesickerwasser. Dieses ist jedoch im
Laufe eines Deponiebetriebes starken Schwankungen unter-
legen.

Zusätzlich liegt es in der Natur der Sache, daß für neu anzulegende Deponien über die Zusammensetzung des zu erwartenden Deponiesickerwassers nur Vermutungen existieren können.

Durch die Auswahl verschiedener Prüfflüssigkeiten, mit denen die zu untersuchende Dichtungsmaterialprobe durchströmt wird, soll eine möglichst große Bandbreite möglicher Sickerwasserzusammensetzungen, die im Laufe eines Deponiebetriebes anfallen können, simuliert bzw. erfaßt werden.

Folgende Prüfflüssigkeiten kommen für Durchlässigkeitsuntersuchungen infrage:

1. Aqua dest als Vergleichsflüssigkeit
2. starke Säuren ($\text{pH} < 7$)
3. starke Basen ($\text{pH} > 7$)
4. Schwermetalllösungen
5. Kohlenwasserstofflösungen
6. natürliche Deponiesickerwässer

4.4.3 Ergebnisse von Durchlässigkeitsuntersuchungen

In der oben beschriebenen Versuchseinrichtung wurden am Institut für Grundbau und Bodenmechanik in den letzten Jahren zahlreiche Durchlässigkeitsuntersuchungen an natürlichen Tönen, an mit Bentonit versetzten Böden und an Bentonit-Zement-Mischungen (Dichtwandmassen) durchgeführt.

Die Ergebnisse von Langzeitversuchen an drei natürlichen Tönen unterschiedlicher mineralogischer Zusammensetzung (Bild 14) mit 8 verschiedenen Prüfflüssigkeiten zeigen die Bilder 15 - 17

Tonmineralbestand aus Röntgendiffraktometerverfahren

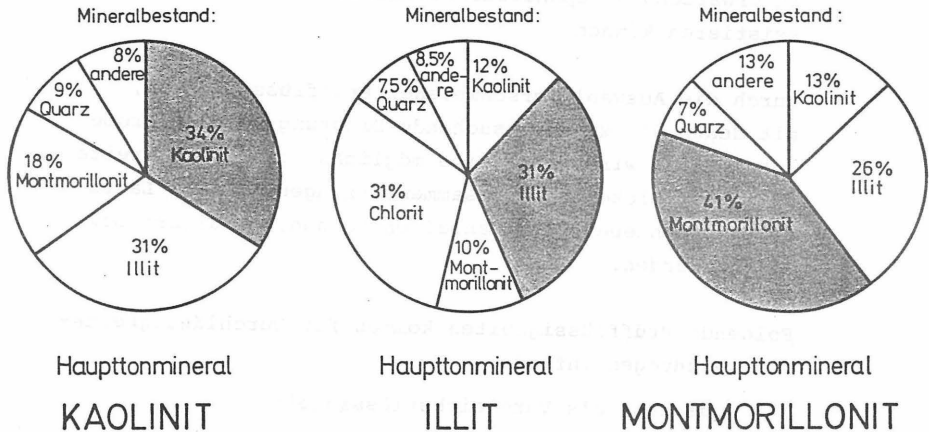


Bild 14 : Mineralogische Zusammensetzung der untersuchten Tone

Bei diesen Durchlässigkeitsuntersuchungen zeigte Ton I bei den angewendeten Versuchsbedingungen (z.B. $i = 333$) eine Durchlässigkeit $k > 5 \cdot 10^{-9}$ m/s lediglich gegenüber einer 5 %-igen Natronlauge und einer 5 %-igen organischen Säure.

Für die übrigen Prüf Flüssigkeiten wurden für alle Tone Durchlässigkeitsbeiwerte zwischen $k = 10^{-9}$ m/s und $k = 10^{-11}$ m/s ermittelt.

Bei linearer Hochrechnung der im Durchlässigkeitsversuch durch ein Probe sickern den Flüssigkeitsmenge auf Verhältnisse in der Natur, ohne Berücksichtigung, daß sich im prälinearen Bereich des hydraulischen Gefälles aufgrund eines nichtlinearen Filtergesetzes $v(i)$ (vergl. SIMONS/REUTER/SONDERMANN, 1984) tatsächlich erheblich geringere Sickerwassermengen ergeben, erhält man damit folgende Permeationsraten:

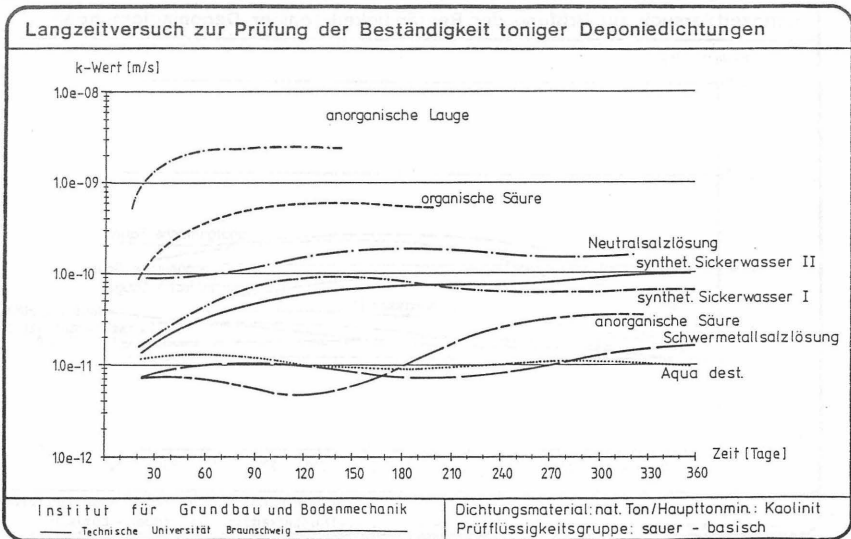


Bild 15 : Durchlässigkeitsversuche mit verschiedenen Prüfflüssigkeiten an einem natürlichen Ton I

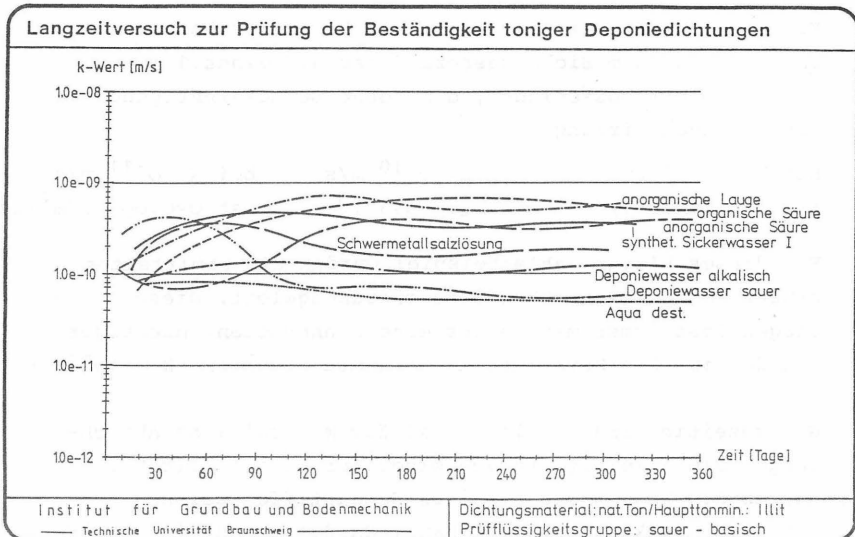


Bild 16 : Durchlässigkeitsversuche mit verschiedenen Prüfflüssigkeiten an einem natürlichen Ton II

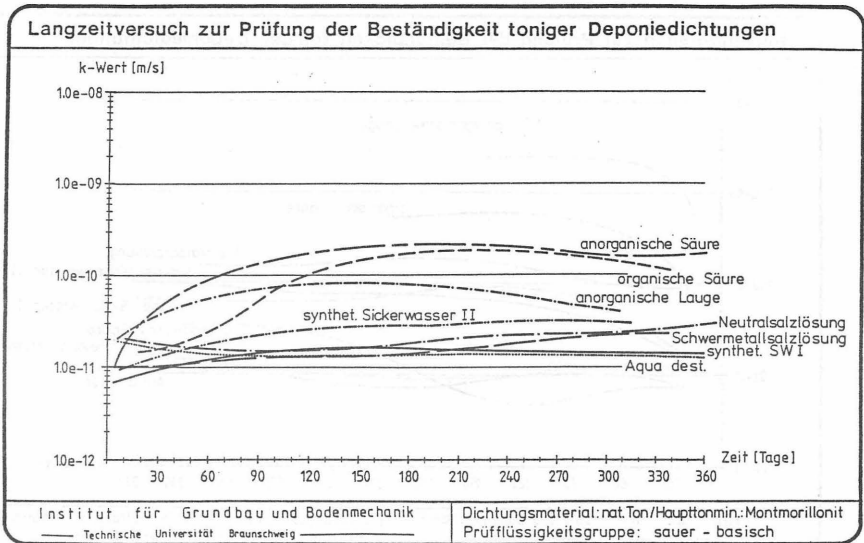


Bild 17 : Durchlässigkeitsversuche mit verschiedenen Prüfflüssigkeiten an einem natürlichen Ton III

Beispiel:

Für 1 m² Dichtungsfläche bei einem hydraulischen Gefälle $i = 5$ (5 m Sickerwasseraufstau auf einer 1 m starken Dichtungsschicht), d.h. ohne Berücksichtigung einer Dränagewirkung

bei $k = 10^{-9}$ m/s bei $k = 10^{-10}$ m/s bei $k = 10^{-11}$ m/s
 ist $Q = 0,432$ l/m² · d ist $Q = 0,043$ l/m² · d ist $Q = 0,004$ l/m² · d

Für dieses kleine Zahlenbeispiel wurden die ermittelten k-Werte der untersuchten Tone zugrundegelegt. Diese liegen fast immer mindestens eine Zehnerpotenz niedriger als der im LAGA-Merkblatt M3 genannte Grenzwert $k = 10^{-8}$ m/s.

Gleichzeitig wird deutlich, daß für mineralische Abdichtungen die alleinige Angabe eines Durchlässigkeitsbeiwertes die Begrenzung etwaiger Schadstoffemissionen nur mit Einschränkung erfüllen kann, da die durch eine natürliche Dichtung sickernde Flüssigkeitsmenge auch vom hydraulischen Gefälle abhängt.

Dieses sollte auch die Bedeutung einer langfristig ordnungsgemäß funktionierenden Dränage verdeutlichen, zumal es bekannt ist, daß die Durchlässigkeitsbeiwerte eines natürlichen Dichtungsmaterials im Bereich sehr kleiner hydraulischer Gefälle unter sonst gleichen Randbedingungen gegenüber den bei hohen hydraulischen Gefällen gemessenen Durchlässigkeitsbeiwerten um bis zu zwei Zehnerpotenzen geringer sein können.

Bild 18 zeigt die Ergebnisse von Durchlässigkeitsuntersuchungen an einem mit Bentonit verbesserten Schluff vor und nach der Bentonitzugabe. In zwei Versuchen wurde das verbesserte Dichtungsmaterial mit einem organisch belasteten Deponiesickerwasser beaufschlagt, dessen Analyse in Bild 19 dargestellt ist.

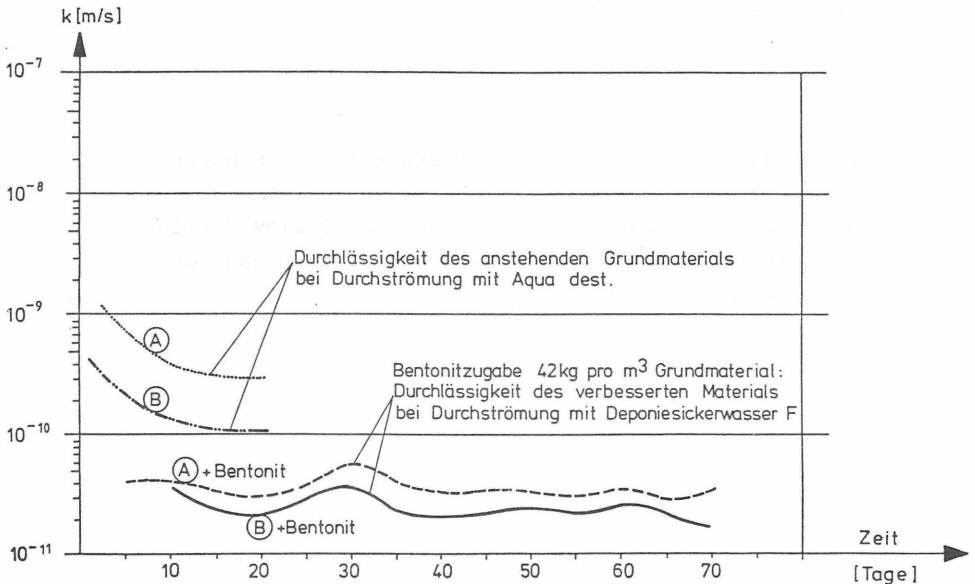


Bild 18 : Ergebnisse von Durchlässigkeitsversuchen an einem mit Bentonit verbesserten Schluff

Inhaltsstoffe Deponiesickerwasser F	
anorganisch [mg / l]	organisch [μ g / l]
Ca ²⁺ : 357	Trichlorethylen: 4
Mg ²⁺ : 136	Tetrachlorethylen: 1
Fe ³⁺ : 2	Σ Chlorbenzole: —
Cr ³⁺ : = 0,025	Σ HCH: 0,86
Zn ²⁺ : 7	Σ Chlorphenole: 0,41
Pb ²⁺ : 0,4	
Hg ²⁺ : 0,1	
Cl ⁻ : 284	
SO ₄ ²⁻ : 9	

Bild 19 : Analyse des Sickerwassers F

In den Bildern 20 - 23 sind die Ergebnisse von Durchlässigkeitsversuchen an Bentonit-Zement-Mischungen graphisch aufgetragen. Hierbei wurden sowohl eine Natrium-Bentonit-Zementmischung als auch eine Calcium-Bentonit-Zementmischung untersucht.

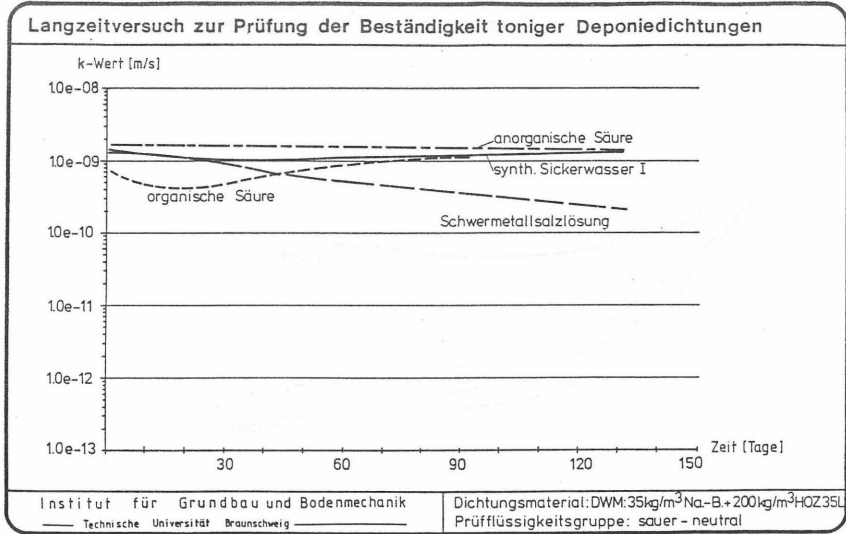


Bild 20 : Durchlässigkeitsversuch an einer Natrium-Bentonit-Zementmischung mit vier Prüfflüssigkeiten (sauer-neutral)

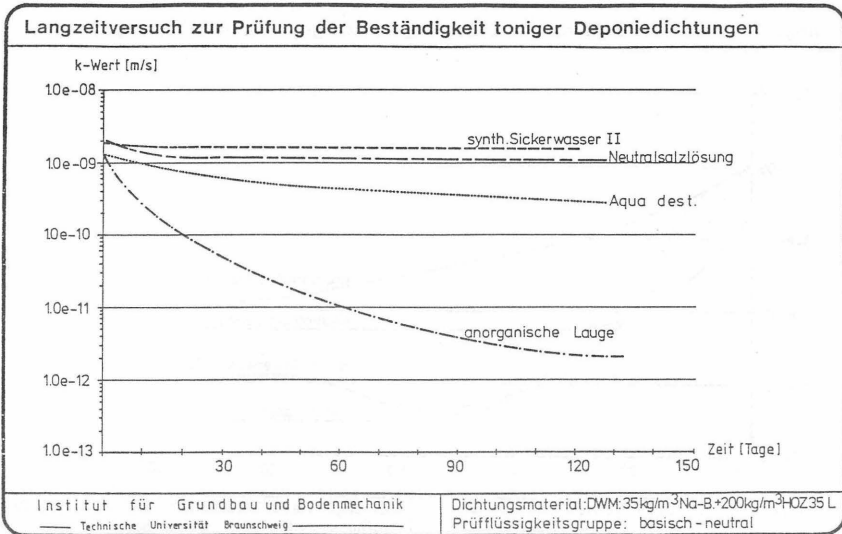


Bild 21 : Durchlässigkeitsversuch an einer Natrium-Bentonit-Zementmischung mit vier Prüfflüssigkeiten (neutral-basisch)

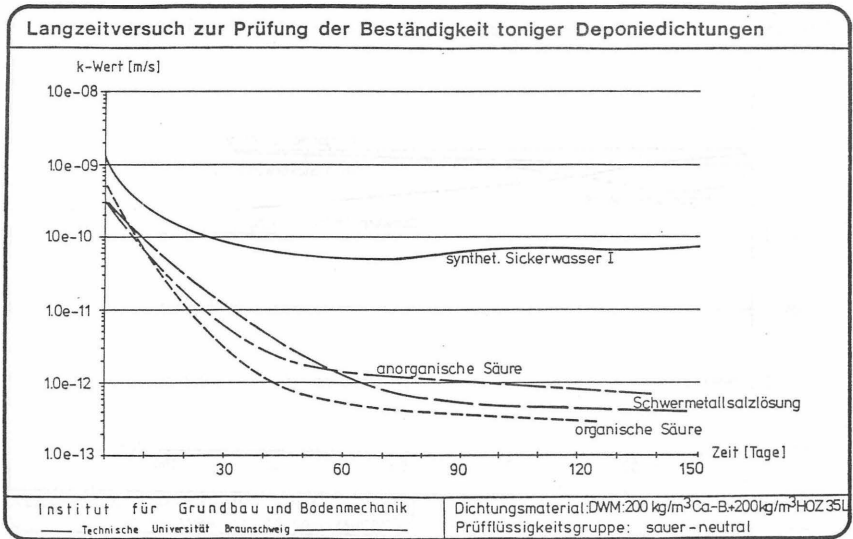


Bild 22 : Durchlässigkeitsversuch an einer Calcium-Bentonit-Zementmischung mit vier Prüfflüssigkeiten (sauer-neutral)

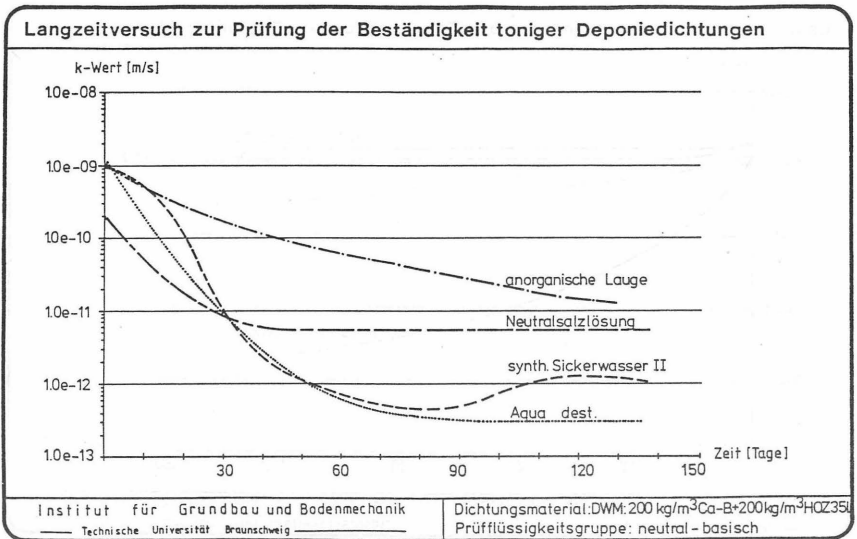


Bild 23 : Durchlässigkeitsversuch an einer Calcium-Bentonit-Zementmischung mit vier Prüfflüssigkeiten (neutral-basisch)

4.5 Prüfung der Beständigkeit und des Adsorptionsvermögens

Die Durchlässigkeit eines Dichtungsmaterials kann erst zu dem Zeitpunkt sicher beurteilt werden, bei dem keine Ionenausspülungen der Dichtung mehr nachgewiesen werden können. Dieser Nachweis kann durch chemische Analysen der Prüfflüssigkeiten vor und nach der Durchströmung erfolgen (SIMONS/REUTER/SONDERMANN, 1984).

Beispiele für die chemischen Wechselwirkungen zwischen Prüfflüssigkeiten und Dichtungsmaterial zeigen die Bilder 24 und 25 für einen natürlichen Ton (Ton I).

Die in den Bildern 24 und 25 dargestellten Ausspülungs-raten wurden durch Maßanalysen der Prüfflüssigkeit vor und nach der Durchströmung bestimmt. Kleinere Ausspülungs-raten als 1 % fallen hierbei mit Sicherheit unter die Meßgenauigkeit.

Von besonderer Bedeutung sind für die Beurteilung der Beständigkeit eventuelle Ausspülungen von Silicium, Aluminium oder Eisen, da diese Ionen - wie aus der Tonmineralogie bekannt - die Grundbausteine der Tonminerale bilden.

So wurde vor der Durchströmung mit Hilfe geochemischer Analysen für den natürlichen Ton I folgende Ionenverteilung bestimmt (analysiert als Oxide):

SiO ₂	-	59,4 %	
Al ₂ O ₃	-	19,6 %	
Fe ₂ O ₃	-	6,7 %	
LOI	-	10,5 %	(best. durch chem. Oxidation)
Rest	-	3,8 %	

Eine Beurteilung des Ionenaustauschvermögens toniger Böden muß mit Hilfe der o.g. Untersuchungen in Zusammenarbeit mit erfahrenen Mineralogen und Geologen erfolgen.

Haupttonmineral: Kaolinit

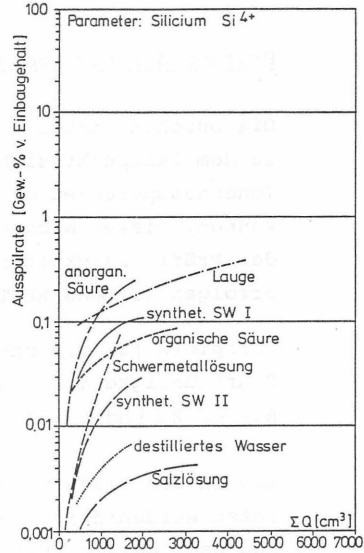
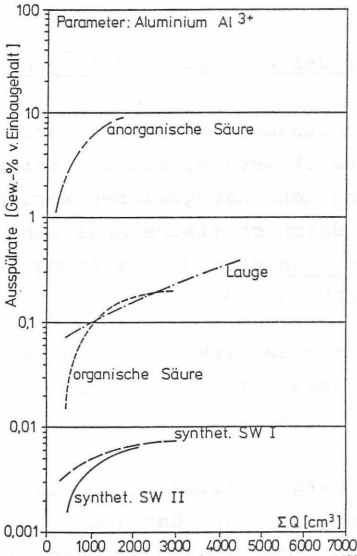


Bild 24 : Ausspülungsrate von Aluminium und Silicium bei der Durchströmung eines natürlichen Tones I

Haupttonmineral: Kaolinit

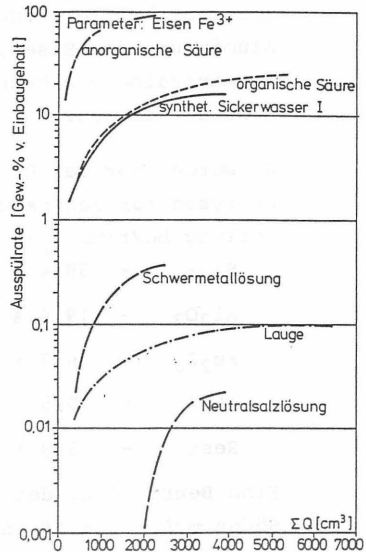
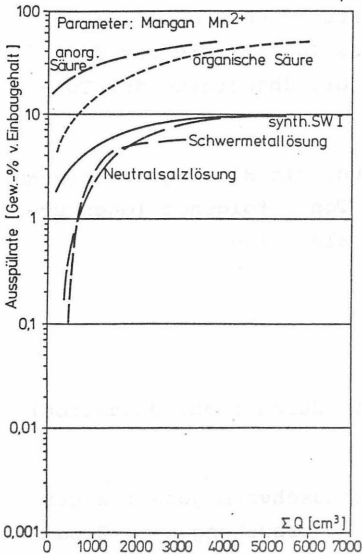


Bild 25 : Ausspülungsrate für Mangan und Eisen bei der Durchströmung eines natürlichen Tones I

4.6

Prüfung des Spannungs-Verformungsverhaltens

Hierzu gehören die Ermittlung der Zusammendrückbarkeit (Setzung) und Scherfestigkeit des Dichtungsmaterials. Die Untersuchungen werden nach den Regeln der Bodenmechanik durchgeführt, wie sie z.B. in den entsprechenden DIN-Normen festgelegt sind.

5.

Zusammenfassung

Im vorliegenden Text werden die für natürliche Deponiedichtungsmaterialien notwendigen Eignungsuntersuchungen vorgestellt und erläutert.

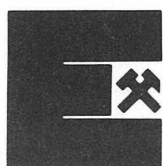
Insbesondere wird die Prüfung der Verdichtbarkeit und der Durchlässigkeit des Dichtungsmaterials gegen aggressive organische und anorganische Prüf Flüssigkeiten umfassend diskutiert.

Ferner werden beispielhaft Ergebnisse von verschiedenen Eignungsuntersuchungen des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik aufgezeigt.

Schrifttum

- BAM, 1984 : Untersuchung des Permeationsverhaltens von handels-
üblichen Kunststoffdichtungsbahnen als Deponiebasis-
abdichtung gegenüber Sickerwasser, organischen Lösungs-
mitteln und deren wäßrige Lösungen, Forschungsbericht
10302208 Umweltforschungsplan des Bundesministers des
Innern, i.A. des Umweltbundesamtes, Berlin, 1984
- BADEN-WÜRTTEMBERG, 1983 : Leitfaden für die Beurteilung und Behand-
lung von Grundwasserverunreinigungen durch leicht-
flüchtige Chlorkohlenwasserstoffe, Ministerium für
Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten, Baden-
Württemberg, Wasserwirtschaftsverwaltung, Heft 13, 1983
- HAACK, H., 1984 : Kunststoffbahnen als Abdichtungsmittel für die
Lagerung wassergefährdender Stoffe, Vortrag anl. der
Fachtagung "Grundwasserschutz mit Kunststoff-Dich-
tungsbahnen" Süddeutsches Kunststoff-Zentrum,
Würzburg, 1984
- KEZDI, A.; 1969 : Handbuch der Bodenmechanik Bd. I+II, VEB Verlag
für Bauwesen, Berlin, 1969
- NIEDERSÄCHSISCHE LANDESREGIERUNG, 1981 : Runderlaß zur Durch-
führung des Abfallbeseitigungsgesetzes, Nds. MBl.
Nr. 30/1981, S. 623, Hannover, 1981
- POSCHET, G., 1984 : Die Dichtigkeit von Kunststoffbahnen, Ergeb-
nisse aus Versuchen zum Permeationsverhalten, Vortrag
anl. der Fachtagung "Grundwasserschutz mit Kunststoff-
Dichtungsbahnen", Süddeutsches Kunststoff-Zentrum,
Würzburg, 1984
- SIMONS, H./REUTER, E./SONDERMANN, W., 1984 : Erfahrungsstand bei der
Abdichtung von Deponien, Vortrag anl. der Baugrund-
tagung, Düsseldorf, 1984

- SIMONS, H./SONDERMANN, W./REUTER, E., 1984 : Bodenmechanische Probleme bei Deponien und Sanierungsmaßnahmen bei Grundwasserverunreinigungen, Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Heft 17, Erich Schmidt Verlag, Bielefeldt, 1984
- TABASARAN, O., 1984 : Vorwort in Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Heft 17, Erich Schmidt Verlag, Bielefeldt, 1984
- TÜRKE, H., 1984 : Statik im Erdbau, Verlag W. Ernst & Sohn, Berlin, 1984
- UBA, 1982 : Statistik der Abfallbeseitigung 1975 - 80, 1. Entwurf, Umweltbundesamt Berlin, 1982



aktiv im Umweltschutz

Einsatz aktivierter Tonminerale

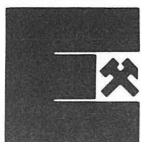
DEPONIT B4

- zum Abdichten von Müll- und Sondermüll-deponien
- Kläranlagen
- Industrie-anlagen

Nutzen Sie
unsere
Erfahrung und
technische Beratung

AKTIV- BENTONIT CT

- Für Dichtungs-schlitzwände



Erbslöh Geisenheim GmbH & Co.

Postfach 1240 · D-6222 Geisenheim
Telefon: 0 67 22/ 80 65 · Telex 42 113

Kunststoffdichtungsbahnen für die Abdichtung von Deponien

Dr.- Ing. F. W. Knipschild
Beratender Ingenieur für Kunststofftechnik im Bauwesen
Seevetal

1. EINLEITUNG

Kunststoffdichtungsbahnen werden im Bereich des Grundwasserschutzes seit Anfang der siebziger Jahre in größerem Umfang in Deutschland eingesetzt.

Im Laufe dieser knapp 15 Jahre haben großflächige Dichtungssysteme aus und mit Kunststoffdichtungsbahnen einen technischen Stand erreicht, mit dem in vielen Fällen erst der geforderte Schutz des Grundwassers erreicht werden konnte.

Diese Entwicklung hat sich in der Regel am Einzelprojekt vollzogen, wenn Planer, Auftraggeber, Behörden und Fachfirmen in konstruktiver Zusammenarbeit eine ingenieurmäßige Lösung erarbeitet und eine fachgerechte Leistung erbracht haben.

Bis 1978 wurden nach einer Erhebung des Umweltbundesamtes, Berlin bereits mehr als 1 Million m² Kunststoffdichtungsbahnen bei über 50 größeren Projekten in Deutschland eingebaut (1).

Bis Ende 1984 waren es nach eigenen Schätzungen mehr als 300 größere Projekte mit etwa 6 Millionen m² an verlegten Kunststoffdichtungsbahnen.

Zur Zeit werden etwa 1 Million m² pro Jahr bei Grundwasserschutzmaßnahmen in Deutschland verlegt.

Im Bereich der Deponien unterscheidet man:

- Hausmülldeponien
- Industriemülldeponien und
- Sonderabfalldeponien als Monodeponien.

Die Anforderungen an den Gewässerschutz für die verschiedenen Deponien sind unterschiedlich. So wurden in der Vergangenheit bei den Hausmülldeponien fast ausnahmslos einfache Dichtungssysteme eingebaut. Bei den Industriemüll- und Sonderabfalldeponien kamen in vielen Fällen schon doppelte Dichtungssysteme, teilweise mit flächigen Kontrollmöglichkeiten, zur Anwendung. Hierfür sind in (2, 3) Beispiele gezeigt.

2. STAND DER TECHNIK

Die Anforderungen an die Kunststoffdichtungsbahnen sind in verschiedenen Richtlinien und Empfehlungen (4, 5, 6) formuliert.

Die Richtlinie des Landes Nordrhein-Westfalen (4) beschreibt umfassend die gesamte Aufgabenstellung bei der Abdichtung von Deponien. Neu ist hierbei, daß die Anforderungen an die Dichtungsbahnen anwendungsbezogen formuliert sind und damit eine erste Grundlage bilden, solche Dichtungsbahnen projektbezogen zu dimensionieren.

An diesen Anforderungen haben sich Dichtungsbahnen auszurichten. Das hat dazu geführt, daß von etwa 30 Bahnenherstellern mit mehr als 130 verschiedenen Dichtungsbahnen für den Baubereich (7) heute nur noch wenige Hersteller mit speziellen Produkten eine Marktbedeutung im Deponiebereich besitzen (8).

In den Tabellen 1 und 2 aus (8) sind Hersteller, Produkte und Abmessungen der Dichtungsbahnen für den Grundwasserschutzsektor zusammengestellt.

Danach werden heute Deponiebasisabdichtungen mit Kunststoffdichtungsbahnen bevorzugt auf der Basis von Polyethylen spezieller Dichtebereiche in reiner oder modifizierter Form ausgeführt. Die Gründe hierfür liegen in dem breiten Eigenschaftsspektrum dieser Kunststoffe, das zur Zeit von allen Hochpolymeren, die zu Dichtungsbahnen verarbeitet werden können, die kombinierten Beanspruchungen im Grundwasserschutzbereich am ehesten abdeckt.

Die Bilder 1 und 2 zeigen das Kraft-Verformungs-Verhalten solcher Dichtungsbahnen bei kurzzeitiger, ein- und mehrachsiger Zugbeanspruchung.

Hersteller	Bezeichnung der Bahn	Formmasse (Grundmaterial)		Beschreibung
		Kurzbe- schreibung	Handelsname/ Hersteller	
Niederberg-Chemie GmbH Neukirchen/Vluyn	Carbofol CHD-Erdbaubahn	HDPE (modifiziert)	1)	Polymergemisch aus HDPE und Elastifi- katoren (u.a. ECB)
Omniplast GmbH & Co KG Ehringshausen	Ursuplast EN	HDPE	Vestolen A 3512 R, CWH	—
Omniplast GmbH & Co KG Ehringshausen	Ursuplast P-EN (mit Kreuzprofilierung)	HDPE	Vestolen A 3512 R, CWH	—
Sarna Kunststoff AG Sarnen/Schweiz	Sarnafil P	HDPE	1)	—
Sarna Kunststoff AG Sarnen/Schweiz	Sarnafil FP	LDPE	1)	—
Schlegel Lining Technology GmbH, Hamburg	SCHLEGEL-PLATTE	HDPE	Vestolen A 3512 R, CWH	—
Schlegel Lining Technology GmbH, Hamburg	SCHLEGEL-PLATTE Typ 02	LDPE	1)	—
SIMONA GmbH 2) Kirn/Nahe	SIMONA-Dichtungsbahn Typ 2 (glatte oder profilierte Oberfläche)	HDPE	1)	—

1) Angaben liegen nicht vor

2) zur Zeit am Markt nicht aktiv

Tabelle 1: Allgemeine Angaben über Hersteller und Dichtungsbahnen für den Grundwasserschutz nach (8)

Bahn	Dicke (mm)	Breite (m)	Länge (m)
Carbofol CHD-Erdbaubahn	2,0	2,08 (oder 1,04)	100
	2,5		
	3,0		
Ursuplast EN/P-EN	1,5	1,50	20
	2,0		
	2,5		
Sarnafil P/FP	2,0	1,45	—
	3,0		
	4,0		
	5,0		
SCHLEGEL-PLATTE	1,5	10,0	200
	2,0		200
	2,5		150
	3,0		100
SIMONA-Dichtungsbahn Typ 2	1,5	2,0 (oder 1,4)	25
	2,0		
	2,5		

Tabelle 2: Standardabmessungen der Dichtungsbahnen nach (8)

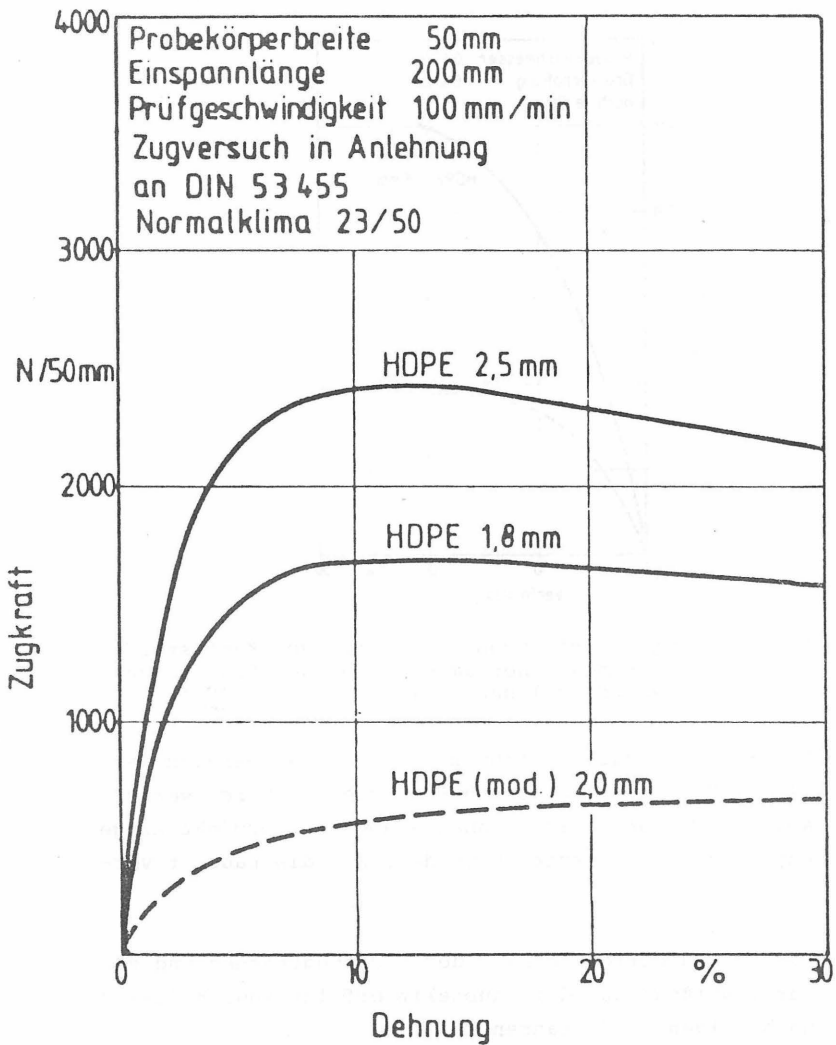


Bild 1: Kraft-Verformungs-Verhalten von Kunststoffdichtungsbahnen im einachsigen Zugversuch nach (8)

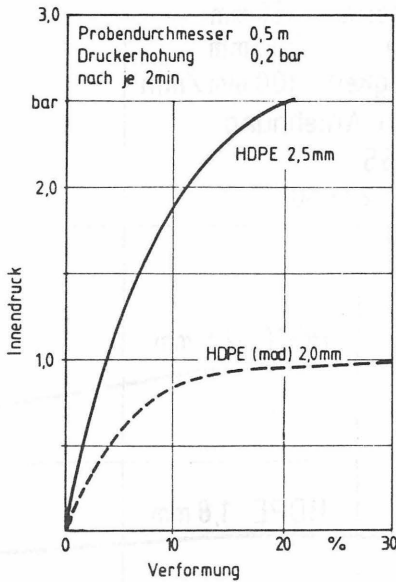


Bild 2: Kraft-Verformungs-Verhalten von Kunststoffdichtungsbahnen im mehrachsigen Zugversuch (Berstdruck) nach (8)

Die Kunststoffdichtungsbahnen für diesen Bereich werden im Extrusionsverfahren hergestellt. Durch werkseitige Vorkonfektion können Planen mit projektbezogenen Abmessungen erstellt werden, die die Bauzeit verkürzen.

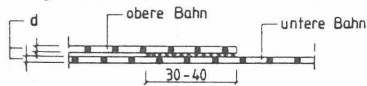
Die Vorkonfektionierung der Dichtungsbahnen und die Verschweißung auf der Baustelle erfolgt ausschließlich nach folgenden Verfahren:

- Warmgasschweißen
- Heizkeilschweißen
- Extrusionsschweißen

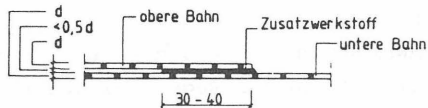
Diese weitgehend automatisierten Verfahren erzeugen sogenannte Überlappnähte. Mit dem Extrusionsverfahren können zudem auch Auftragsnähte hergestellt werden. Bild 3 zeigt eine Übersicht der gängigen Schweißnahtformen.

Überlappstöße mit Überlappnähten

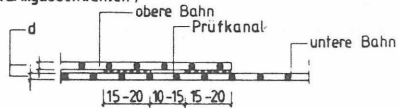
Einfachnaht ohne Zusatzwerkstoff
(Heizelement- u. Warmgasschweißen)



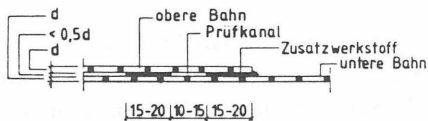
Einfachnaht mit Zusatzwerkstoff
(Extrusionsschweißen)



Doppelnaht ohne Zusatzwerkstoff
(Heizelement- u. Warmgasschweißen)



Doppelnaht mit Zusatzwerkstoff
(Extrusionsschweißen)



Überlappstoß mit Auftragsschweißung

(Extrusionsschweißen)

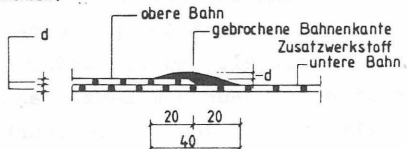


Bild 3: Schweißnahtgeometrien

Zur Erzielung hoher Langzeitschweißfaktoren erfolgt die Verschweißung bei geringer thermischer Beanspruchung. Der Einsatz von Schweißautomaten, deren Einstellparameter elektronisch geregelt und konstant gehalten werden, erfüllt diese Anforderung.

Die Prüfung der Schweißnähte erstreckt sich sowohl auf Dichtigkeit als auch auf mechanische Festigkeit. Es werden für die verschiedenen Materialien und verschiedenen Schweißmethoden unterschiedliche zerstörungsfreie Methoden zur Prüfung der Dichtigkeit angeboten, deren Aussagewert unterschiedlich ist und deren Ergebnis entsprechend interpretiert werden muß. Probeschweißungen vor und nach Beginn eines Schweißvorganges liefern in der Regel bei konstanten Schweißbedingungen ausreichende Informationen über die Güte der Gesamtnaht und bieten die notwendige Ergänzung zu den zerstörungsfreien Prüfungen (8).

3. WERKSTOFFBEURTEILUNG UND DIMENSIONIERUNG

Auch wenn die Dichtungsbahn bei einer Deponiebasisabdichtung keine statischen Aufgaben übernehmen soll, müssen Werkstoff und Querschnittsabmessungen so gewählt werden, daß die aufgezwungenen Beanspruchungen ohne Werkstoffschädigung aufgenommen werden können. Das setzt einmal voraus, daß der planende Ingenieur die Lastannahmen ermittelt und zum anderen Kenntnisse über die Werkstoffe hat. Aus dem Bauzustand ergeben sich die Kurzzeit- und aus dem Betriebszustand die Langzeitbeanspruchungen.

Bild 4 zeigt ausgewählte mechanische Beanspruchungen der Dichtungsbahn an der Deponiebasis.

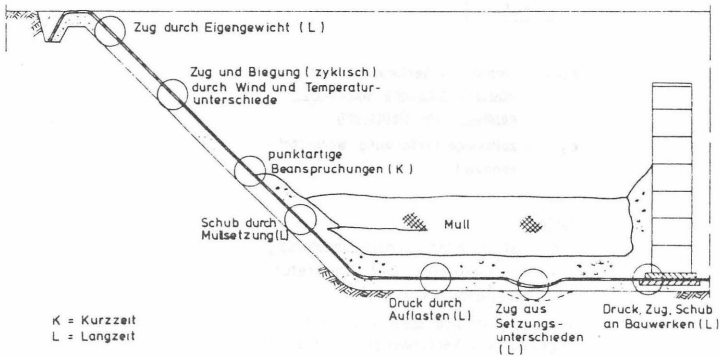


Bild 4: Ausgewählte mechanische Beanspruchungen von Kunststoffdichtungsbahnen an der Basisabdichtung einer Deponie

Je höher die Unsicherheiten auf der Lastannahmenseite sind, um so höher müssen die Sicherheitsbeiwerte auf der Werkstoffseite angesetzt werden.

Neben der bekannten spannungsbezogenen Bemessungsmethode, wie sie Bild 5 zeigt, bietet sich für die Dimensionierung von Dichtungsbahnen aus Kunststoffen eine verformungsbezogene Bemessung an (9, 10).

$$\sigma_{\text{vorh}} \leq \sigma_{\text{zul}}$$

$$\sigma_{\text{zul}} = \frac{\sigma_{\text{Bruch}}}{S} \cdot \frac{1}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4}$$

σ_{vorh} = vorhandene Spannung, ergibt sich aus Bauteilabmessung und Belastung

σ_{zul} = zulässige Spannung (Werkstoffkennwert)

σ_{Bruch} = Kurzzeitbruchspannung (Werkstoffkennwert)

S = Sicherheitsbeiwert (lastfallabhängig)

A = Abminderungsfaktoren (werkstoffabhängig)

Index 1 = Zeit

2 = Temperatur

3 = Verarbeitung

4 = Umgebungsbedingungen (Alterung)

Bild 5: Spannungsbezogene Bemessung von Bauteilen aus Kunststoffen

$E_{\text{vorh}} \triangle E_{\text{zul}}$

E_{vorh} = vorhandene Verformung ergibt sich aus
Bauteilabmessung, Werkstoff-
kennwert und Belastung

E_{zul} = zulässige Verformung, Werkstoff -
kennwert

Vorteile:

- E_{zul} ist in weiten Grenzen unabhängig von den Einflüssen, Zeit, Temperatur, Verarbeitung, Umgebung
- E_{zul} eignet sich speziell für auf-
gezwungene Verformungszustände z B bei
(Setzungen) als Bemessungskriterium

Bild 6: Verformungsbezogene Bemessung von Bauteilen
aus Kunststoffen

Diese Methode hat nach Bild 6 den Vorteil, daß die Beanspruchungsgrenzen weitgehend unabhängig von den Einflüssen wie Zeit und Temperatur sind.

Die in den Richtlinien und Empfehlungen definierten anwendungsbezogenen Anforderungen sind als ein erster Schritt zu einer gezielten Werkstoffauswahl und Dimensionierung anzusehen.

Darüber hinaus muß projektbezogen überprüft werden, ob höhere Werkstoffkennwerte und Bahndicken notwendig sind. Der heutige Stand der Technik bietet auf der Werkstoffseite die entsprechenden Möglichkeiten.

In Bild 7 sind ausgesuchte dimensionierungsrelevante Mindestanforderungen aus (4) den entsprechenden Kenngrößen einer 2 mm dicken HDPE-Bahn gegenübergestellt. Diese Gegenüberstellung zeigt den Spielraum, der auszunutzen ist und der über die Dicke der Dichtungsbahn noch entsprechend vergrößert werden kann.

Prüfgrösse		Einheit	Deponie-Richtlinie Nordrhein-Westfalen	HDPE - Dichtungsbahn
Mindestdicke		mm	2,0	2,0
Zugkraft bei 5%Verformg	20°C	N/50mm	400	1 600
	80°C		100	400
Fallhöhe		m	0,75	1,50
Weiterreißkraft		N	200	300
mehrachsig Bruchdehnung		%	10	20

Bild 7: Dimensionierungsrelevante Mindestanforderungen an Dichtungsbahnen für Deponiebasisabdichtungen und Materialkennwerte von Dichtungsbahnen aus HDPE

Bezüglich der zum Einsatz kommenden Werkstoffe ist schwerpunktmäßig folgendes festzustellen:

- Mittel- bis hochdichte Polyethylene bilden heute fast ausschließlich die Rohstoffbasis von Kunststoffdichtungsbahnen für Grundwasserschutzmaßnahmen.
- Dichtungsbahnen aus diesen Polyethylenen sind bisher die einzigen, die vom Institut für Bautechnik in Berlin auf Empfehlung von Sachverständigen und nach entsprechender Prüfung durch amtlich anerkannte Institute zur Auskleidung von Auffangräumen speziell für Kohlenwasserstoffgemische zugelassen sind.
- Bauteile aus diesen Polyethylenen sind seit Jahrzehnten im Rohrleitungsbau, im chemischen Apparatebau und im industriellen Korrosionsschutz im Einsatz.

- Da, wo andere Werkstoffe aufgrund ihrer eingeschränkten Chemikalienbeständigkeit nicht eingesetzt werden können oder konventionelle Baustoffe dauerhaft vor korrosiven Angriffen zu schützen sind, wurden und werden Polyethylene erfolgreich eingesetzt.
- Die Entwicklung auf der Werkstoffseite führte bei den Polyethylenen zu geringerer Kristallinität mit geringeren Kurzzeitfestigkeiten, aber einem verbesserten Langzeitverhalten, erhöhter Spannungsrißbeständigkeit und den gerade für die Dichtungsbahnen gewünschten Relaxationseigenschaften.
- Für die höherkristallinen Polyethylene wurden für Lastfälle mit konstanter Spannung zulässige Verformungsgrenzen mit 3 und 5 % Dehnung angegeben.
- Für die neueren Polyethylene mit geringeren Dichten sind die zulässigen Verformungswerte insbesondere für Relaxationszustände entsprechend höher anzusetzen.

4. LANGZEITVERHALTEN BEI ÜBERLAGERTEN BEANSPRUCHUNGEN

Die hochpolymeren Werkstoffe, wie sie zu Dichtungsbahnen verarbeitet werden, sind teilweise, wie bereits erwähnt, seit mehr als 30 Jahren unter erschwerten Bedingungen im Einsatz (12).

Das Verhalten dieser Werkstoffe ist durch Laboruntersuchungen und praktische Erfahrungen bekannt. Die Kenntnisse der funktionalen Zusammenhänge zwischen Verformung und Spannung auf der einen und Temperatur und Zeit auf der anderen Seite ermöglichen eine hinreichend genaue Abschätzung über lange Zeiträume.

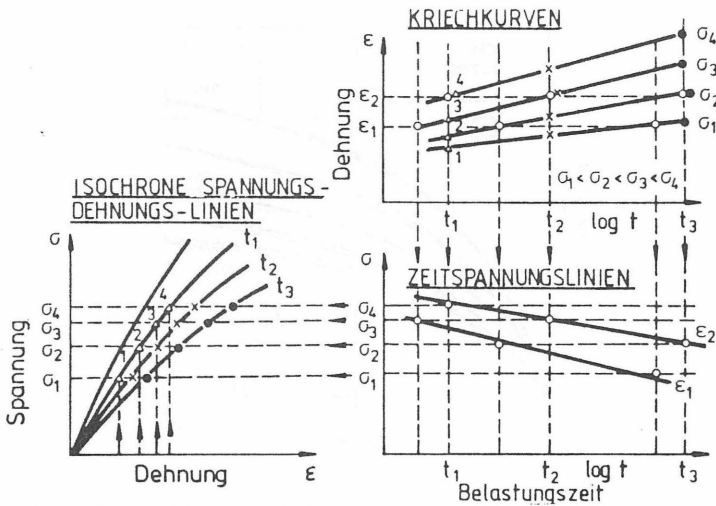


Bild 8: Zeitabhängigkeit mechanischer Eigenschaften von Kunststoffen

Das Langzeitverhalten kann, nach den in Bild 8 gezeigten

- isochronen Spannungs-Verformungs-Linien
- Kriechkurven und
- Zeit-Spannungs-Linien

dargestellt werden.

Bild 9 zeigt die gute Übereinstimmung des rechnerisch abgeschätzten mit dem versuchsmäßig ermittelten Langzeitverhalten am Beispiel eines HDPE-Materials (13).

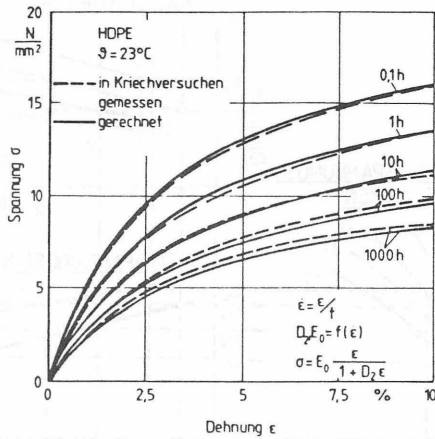


Bild 9: Isochrones Spannungs-Dehnungs-Diagramm von HDPE aus Versuchen mit konstanter Dehngeschwindigkeit nach (13)
Vergleich gemessener und gerechneter Werte

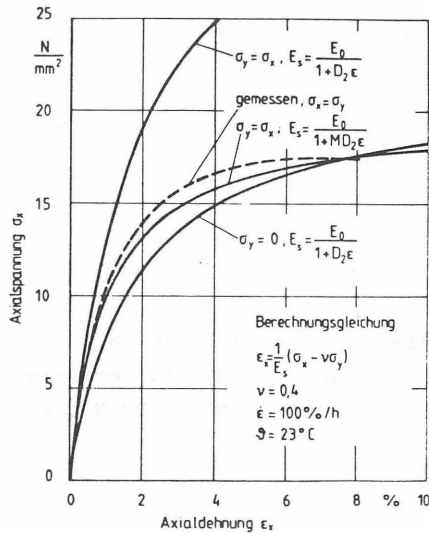


Bild 10: Spannungs-Dehnungs-Diagramm für ein- und mehrachsige Beanspruchungszustände (nach 13)
Vergleich gemessener und gerechneter Werte

In ähnlicher Form läßt sich auch vom einachsigen Zugversuch auf mehrachsige Beanspruchungen umrechnen. Dies ist in Bild 10 gezeigt.

Gesetzmäßigkeiten erlauben die Austauschbarkeit von Zeit und Temperatur, so daß auch über die Untersuchungszeiträume hinaus abgesicherte Aussagen gemacht werden können.

Eine solche Übertragung von Kriechversuchen bei hohen Temperaturen auf das Kriechverhalten bei niedrigen Temperaturen ist in Bild 11 gezeigt. Dabei wurde für eine Temperaturerniedrigung um 10 °C die Zeit jeweils verdoppelt.

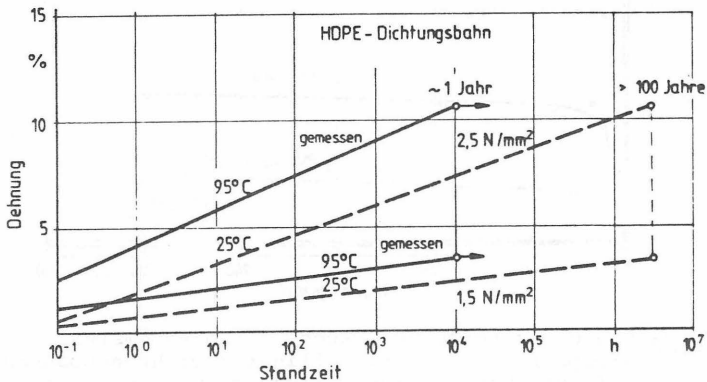


Bild 11: Abschätzung des Spannungs-Verformungs-Verhaltens von Dichtungsbahnen aus HDPE. Extrapolation von Kriechversuchen bei hohen Temperaturen auf längere Zeiträume bei niedrigen Temperaturen. Die Kurven für 95 °C wurden in (14) ermittelt.

Die Bilder 12 und 13 zeigen das Verhalten verschiedener Dichtungsbahnen bei und nach Einlagerung in hausmüllähnlichem Sickerwasser. Dabei treten teilweise recht deutliche Unterschiede zwischen den elastomeren, amorphen und teilkristallinen Hochpolymeren auf. Auch hier kann man über die Zeit-Temperatur-Verschiebung von den Versuchen bei 65 °C über 1 Jahr auf das Verhalten der Dichtungsbahn über entsprechend längere Zeiträume bei den tatsächlichen Sickerwassertemperaturen von 15 - 20 °C schließen.

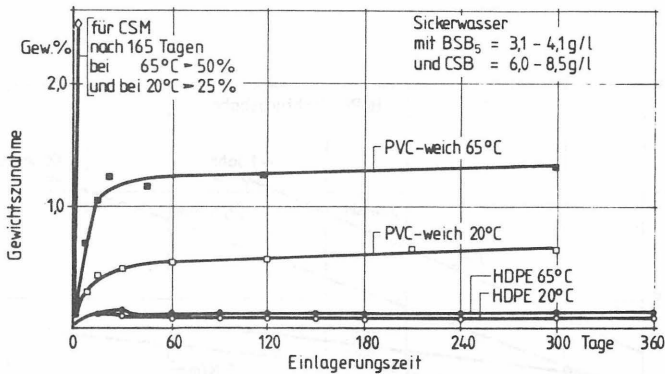


Bild 12: Gewichtszunahme ausgesuchter - elastomerer, amorpher und teilkristalliner - Dichtungsbahnen bei Lagerung in hausmüllähnlichem Sickerwasser nach (13).

Nach der Faustformel 10 °C Temperaturerhöhung bedeuten Verdoppelung der Prüfzeit, ließen diese Ergebnisse die Aussage zu, daß z. B. für die Dichtungsbahn aus HDPE bei Temperaturen von 15 - 20 °C nach etwa 30 Jahren noch keine Änderung der mechanischen Eigenschaften eintritt.

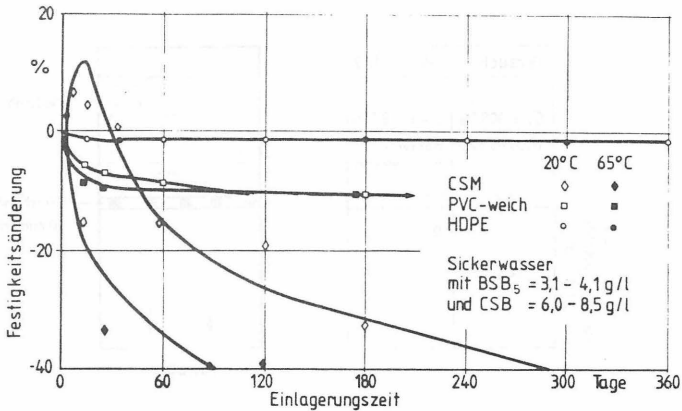


Bild 13: Änderung der Reißfestigkeit ausgesuchter - elastomerer, amorpher und teilkristalliner - Kunststoffdichtungsbahnen bei Lagerung in hausmüllähnlichem Sickerwasser nach (13)

5. DICHTIGKEIT UND PERMEATION

Einwandfrei gefertigte Kunststoffdichtungsbahnen sind gegenüber flüssigen Medien als dicht zu bezeichnen. Für eine Vielzahl grundwassergefährdender Stoffe bilden die Kunststoffabdichtungen nahezu undurchdringliche Sperren. Trotzdem weisen die Dichtungsbahnen werkstoffspezifische Restdurchlässigkeiten auf, die besonders im Hinblick auf Kohlenwasserstoffe berücksichtigt werden müssen. Diese Restdurchlässigkeit beruht auf dem physikalischen Prozeß der Permeation.

In (16) wurden Meßmethoden entwickelt und Restdurchlässigkeiten unter ausgesuchten Bedingungen ermittelt. Die Permeationsraten wurden unter der Randbedingung des jeweils größtmöglichen Konzentrationsgefälles bestimmt. Bild 14 zeigt den Versuchsaufbau und ausgesuchte Ergebnisse.

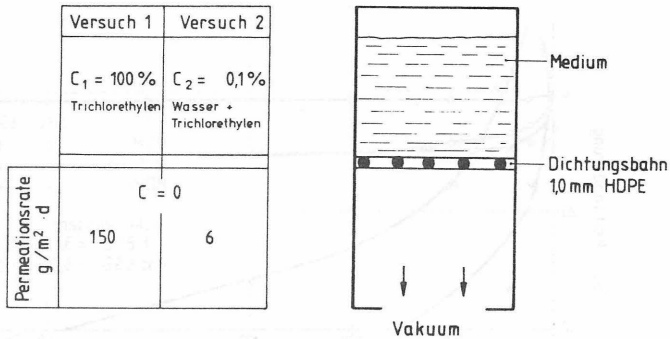


Bild 14: Versuchsaufbau zur Ermittlung der Permeationsraten mit ausgewählten Ergebnissen für Trichlorethylen bei einer Dichtungsbahn aus HDPE

Diese Untersuchungen der Bundesanstalt für Materialprüfung in Berlin bilden eine Grundlage, um Kunststoffdichtungsbahnen für den Einzelfall bezüglich der Restdurchlässigkeit zu dimensionieren.

Werkstoffauswahl und Bahnendicke beeinflussen die Permeationsraten wie in den Bildern 15 und 16 dargestellt.

Am Süddeutschen Kunststoff-Zentrum in Würzburg wurden Dichtungssysteme mit einer und zwei Dichtungsbahnen untersucht. Diese praxisnahen Untersuchungen zeigen Möglichkeiten, die Ergebnisse aus Laboruntersuchungen auf die Praxis zu übertragen und über Werkstoffauswahl, Dicke der Dichtungsbahn und Aufbau des Dichtungssystems zu technisch dichten Deponiebasisabdichtungen zu kommen.

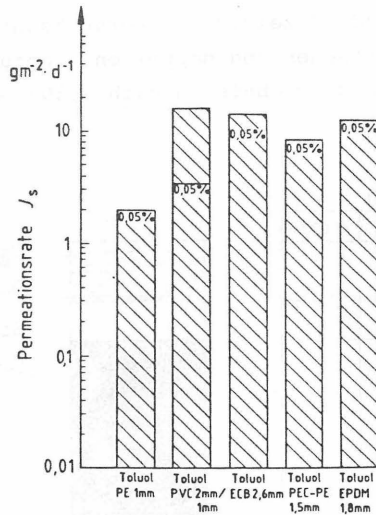


Bild 15: Permeationsraten einer 0,05 %igen wäßrigen Lösung Toluol durch verschiedene Kunststoffdichtungsbahnen nach (16)

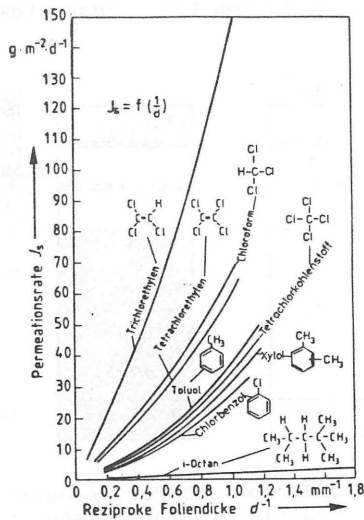


Bild 16: Permeationsraten einiger Lösemittel durch Dichtungsbahnen aus HDPE als Funktion der Dicke nach (16)

Die Bilder 17 und 18 zeigen den Versuchsaufbau der untersuchten einfachen und doppelten Dichtungssysteme mit den jeweiligen Ergebnissen nach 1.500 und 3.000 Stunden.

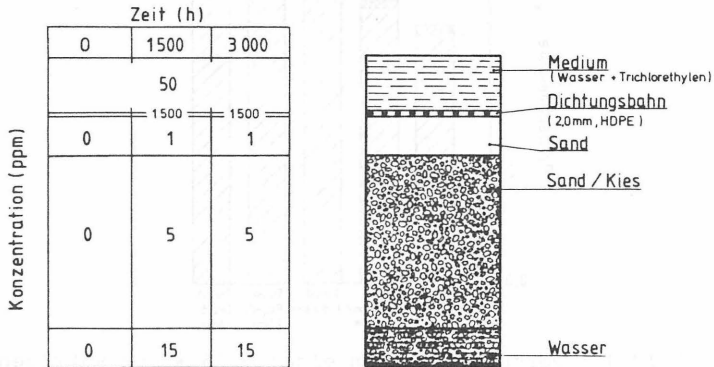


Bild 17: Aufbau und Ergebnisse der Permeationsversuche an einem einfachen Dichtungssystem nach (17)

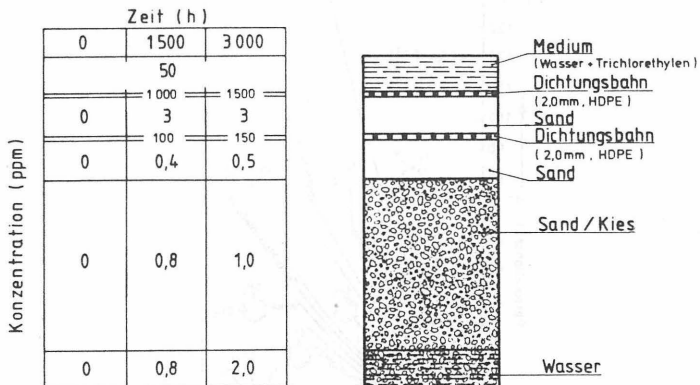


Bild 18: Aufbau und Ergebnisse der Permeationsversuche an einem doppelten Dichtungssystem nach (17)

Diese Ergebnisse des SKZ sind den vergleichbaren Ergebnissen der BAM in Tabelle 3 gegenübergestellt. Diese Gegenüberstellung zeigt, daß die Permeationsraten durch den Aufbau des Dichtungssystems entscheidend beeinflußt werden können. Weiter kann es nach endlichen Zeiträumen zu einem stabilen Konzentrationsgefälle innerhalb eines Dichtungssystems und damit zu einem Stillstand der Permeation kommen.

Mit diesen Ergebnissen sind Ansätze gefunden worden, mit geeigneten Kunststoffdichtungsbahnen dichte Dichtungssysteme zu dimensionieren.

BAM 1	150	$\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$	1 mm HDPE 100 % Trichlorethylen
BAM 2	6	$\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$	1 mm HDPE 0,1 % Trichlorethylen
SKZ 1	0,08	$\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$	2 mm HDPE 0,005 % Trichlorethylen 0 - 1500 Stunden
SKZ 2	0,013	$\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$	2 mm HDPE (doppelt) 0,005 % Trichlorethylen 0 - 1500 Stunden
SKZ 3	0,0002	$\text{g/m}^2 \cdot \text{d}$	2 mm HDPE (doppelt) 0,005 % Trichlorethylen 1500 - 3000 Stunden

Tabelle 3: Gegenüberstellung der Ergebnisse aus den Permeationsversuchen der BAM nach (16) und des SKZ nach (17)

6. ZUSAMMENFASSUNG

Kunststoffdichtungsbahnen ermöglichen nach dem heutigen Stand der Technik sicheren Grundwasserschutz bei der Abdichtung von Deponien. Die jahrzehntelangen Erfahrungen in anderen Einsatzgebieten unter ähnlichen und schwierigeren Bedingungen können auf die kombinierten chemisch-physikalischen Beanspruchungen der Kunststoffbahnen in einer Deponiebasisabdichtung übertragen werden.

Die Erkenntnisse aus praxis-orientierten und an die speziellen Anforderungen des Grundwasserschutzes gerichteten abgeschlossenen und laufenden Forschungsarbeiten zeigen, wie die Werkstoffauswahl zu treffen ist und wie die Dichtungssysteme projektbezogen zu dimensionieren sind.

Durch doppelte Dichtungssysteme, z. B. der Kombination von Kunststoffdichtungsbahnen mit mineralischen Dichtungsschichten, erreicht man Lösungen, die auch die Anforderung der Kontrollierbarkeit erfüllen.

LITERATURVERZEICHNIS

- (1) NN
"Deponie aktuell"
Statistik des Umweltbundesamtes, 1978
- (2) H. Weitzel, H. Obermann
"Errichtung und Betrieb von Sondermülldeponien in der chemischen Industrie"
Beitrag auf dem Fachseminar "Ablagerung umweltbelastender Stoffe" am 6. und 7.2.85 in Braunschweig

- (3) K. Ungruh
"Aufbau und Einbau eines doppelten Abdichtungssystems mit Kunststoffdichtungsbahnen für eine Schlammdeponie auf setzungsempfindlichem Untergrund"
erscheint demnächst in einem Beiheft zu
"Müll und Abfall"
Erich-Schmidt-Verlag, Berlin

- (4) NN
"Deponiebasisabdichtungen aus Dichtungsbahnen"
Richtlinie des Landesamtes für Wasser und Abfall NW, Düsseldorf
erscheint in 1985

- (5) NN
"Bau- und Prüfgrundsätze für Kunststoffbahnen"
Nov. 1982 (BPG Kunststoffbahnen)
Institut für Bautechnik (IfBt), Berlin

- (6) NN
"Kunststoffe im Wasserbau"
Empfehlungen der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau (DGEG)
z. Z. in Überarbeitung

- (7) NN
"Hochpolymerbahnen für Abdichtungen im Bausektor"
BmK 26 (1983) 3, S. 3 - 17

- (8) L. Glück, J. Zöhren
"Kunststoffbahnen als Abdichtungsmittel im Grundwasserschutz"
Mitteilung aus dem Süddeutschen Kunststoffzentrum (SKZ), Würzburg
erscheint demnächst in einem Beiheft zu
"Müll und Abfall"
Erich-Schmidt-Verlag, Berlin

- (9) G. Menges u. a.
"Kritische Dehnung"
IKV-Veröffentlichungen, Aachen, 1976

- (10) G. Menges, R. Taprogge
"Denken in Verformungen erleichtert das Dimensionieren von Kunststoffteilen"
VDI-Zeitschrift, Band 112, 1970, Nr. 6

- (11) F. W. Knipschild
"Beitrag zur Bemessung von Kunststoffdichtungsbahnen für Deponiebasisabdichtungen"
Vortrag am 15.05.84 im Haus der Technik, Essen, im Rahmen der Tagung "Fortschritte der Deponietechnik 1984"
- (12) R. Taprogge
"Langzeitverhalten von Kunststoffen"
Vortragsveröffentlichung zum Seminar auf der K'83 in Düsseldorf
erscheint demnächst in einem Beiheft zu "Müll und Abfall"
Erich-Schmidt-Verlag, Berlin
- (13) G. Menges, E. Schmachtenberg
"Das Verformungsverhalten von Kunststoffdichtungsbahnen bei mehrachsiger Beanspruchung"
Mitteilung aus dem Institut für Kunststoffverarbeitung an der RWTH-Aachen
erscheint demnächst in einem Beiheft zu "Müll und Abfall"
Erich-Schmidt-Verlag, Berlin
- (14) H. Knöppler, W. Schulz, T. Winkler
"Untersuchungen zum Einsatz von Kunststoffmaterialien bei Langzeitwärmespeichern"
Mitteilungsblatt für die amtliche Materialprüfung in Niedersachsen
Heft 20/21 - 1980/81
- (15) F. W. Knipschild
"Langfristiger Gewässerschutz mit Kunststoffdichtungsbahnen"
Zeitschrift für Umwelttechnik, wlb, Ausgabe 10/84
- (16) H. August, G. Pastuska, R. Tatzky, T. Wim
"Untersuchung des Permeationsverhaltens von handelsüblichen Kunststoffdichtungsbahnen als Deponiebasisabdichtung gegenüber Sickerwasser, organischen Lösungsmitteln und deren wäßrigen Lösungen"
Forschungsbericht Nr. 103 02208
Abfallwirtschaft 1984, UBA / BAM, Berlin
- (17) L. Glück, G. Poschet, J. Zöhren
"Dichtigkeit von Kunststoffbahnen für den Grundwasserschutz"
Mitteilung aus dem Süddeutschen Kunststoffzentrum (SKZ), Würzburg
erscheint demnächst in einem Beiheft zu "Müll und Abfall"
Erich-Schmidt-Verlag, Berlin

Bauen – die Basis **qualifizierter Entsorgung**

**Neue Vorschläge der STRABAG zur kontrollierten
Zwischen- und Endlagerung von Sondermüll:
z. B. Behälterdeponie oder Hochdeponie (System Rollins)**

**Techniken, Verfahren und Lösungen
der STRABAG BAU-AG
und ihrer spezialisierten Beteiligungsgesellschaften
für sichere, umweltfreundliche und wirtschaftliche
Abfallbeseitigung und Abfallverwertung**

Tiefbau

- Straßenbau
- Erdarbeiten
- Drainage
- Kanalisation
- Spezialbeläge

Dichtungen

- Asphalt
- Beton
- Betonit
- Folien
- Ton
- Injektionen
- Schlitzwände
- Pfahlwände

Deponien

- Deponiebau
- Deponie-
dichtungen
- Deponie-
bewirtschaftung
- Deponie-
Rekultivierung

Industriebau

- Schornsteine
- Verbrennungs-
anlagen
- Kläranlagen
- Verlade- und
Umschlag-
anlagen
- Hallenbau
- Industrieböden

STRABAG BAU-AG
HOCH- UND INGENIEURBAU · STRASSEN- UND TIEFBAU

Hauptverwaltung:

Siegburger Straße 241 · 5000 Köln 21 · Tel. (02 21) 8 24 - 23 07



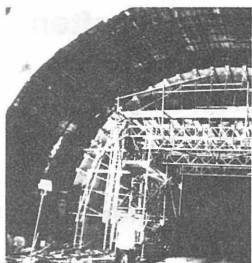


Deponieauskleidung

Rückbesinnung a

**Erhaltung und Sanierung stehen
sich einig: Sparlösungen reichen**

Grundwasserschutz, Wasserbau,



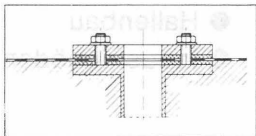
Tunnelauskleidung

müssen sich am Nutzen

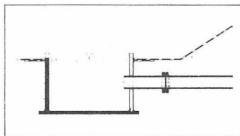
kosten-Bewußtsein ist

Technology liefert konsequente

abdichtung. Mit der SCHLEGEL®-



Flanschanschluß



Pumpensumpf aus Polyethylen

konstruktiven Ein

technologischen Vorsprung era

rungen, die unsere

Reste-Deponie einer Multhygienisierungsanlage

**uf unsere Umwelt ist das Thema.
im Vordergrund. Fachleute sind
längst nicht mehr aus.
Bauwerksabdichtungen
messen lassen. Und mehr Folge-
gefordert. Schlegel Lining
Lösungen. Für optimale Flächen-
Platte aus HDPE. Mit allen
zelheiten hat sich Schlegel einen
rbeitet. Für neue Herausforde-
Umwelt an uns alle stellt.**



Flußbettauskleidung



SCHLEGEL-Platten-Verlegung



Rohrdurchdringung

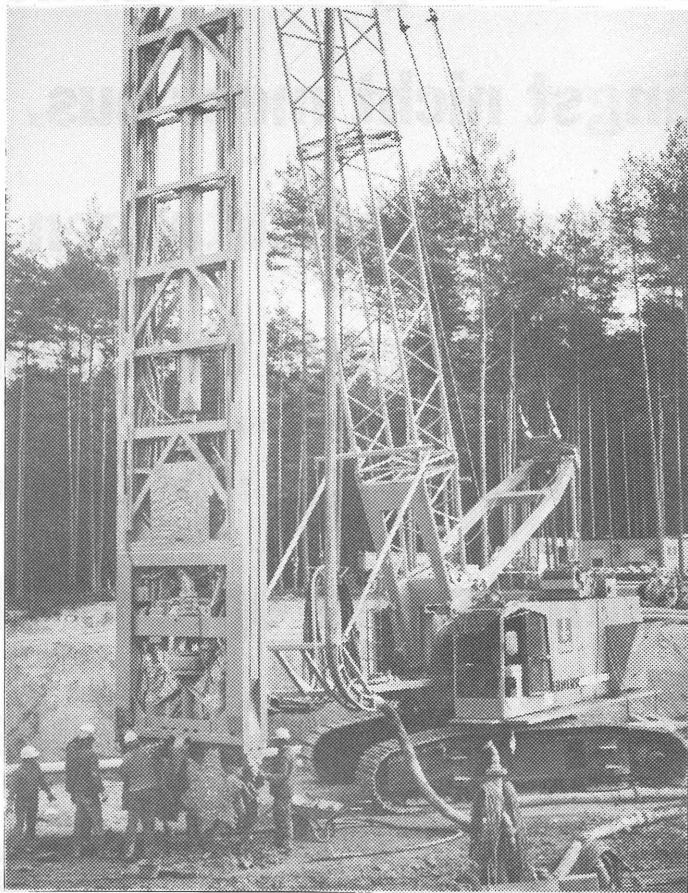
Spezialtiefbau ist Vertrauenssache

Aus unserem Arbeitsprogramm:

Pfahlgründungen
Pfahlwände
Trägerverbau
Schlitzwände
Dichtungswände
Dichtungssohlen
Grundwasser-
regulierung
Verankerung
Bodenvornagelung
Hochdruckinjektion
Tiefenverdichtung
mit Großrüttlern
dynamische
Intensivverdichtung
Hangsicherung

Wir beraten Sie
gerne; fordern Sie
ausführliche Unter-
lagen an.

Im Bild die
BAUER-Schlitzwand-
fräse beim Herstellen
der 35 m tiefen,
60 cm breiten Schlitz-
wand in hartem Sand-
stein am Brombach-
speichersee in
Mittelfranken.



KARL BAUER SPEZIALTIEFBAU

8898 Schrobenhausen

Telefon 0 82 52/9 71 • Telex 5 39 912 bauer d

Berlin – München – Nürnberg – Frankfurt
Stuttgart – Lahr – Kassel – Wien – Zürich – Madrid
London – Boston – Cairo – Jeddah – Dammam
Bagdad – Bahrain – Abu Dhabi – Kuala Lumpur

Stand und Tendenzen der Einrichtung von Sonderabfalldeponien

Baudirektor Dipl.- Ing. C.-O. Zubiller
Hessisches Ministerium für Arbeit, Umwelt und Soziales

1. Ausgangsposition

Verantwortungsbewußte Sonderabfallbeseitigung kann sich heute nicht mehr damit zufrieden geben, Sonderabfälle, so, wie sie anfallen, auch zu beseitigen.

Art, Beschaffenheit und u.U. auch die Menge müssen so beeinflusst werden, daß ihre Lagerung auch unter Langzeitbedingungen und entsprechend den verfügbaren technischen Sicherheitseinrichtungen umweltschonend durchgeführt werden kann. Diese Ausgangsposition ist für die Anforderungen an den Betrieb bestehender Einrichtungen, die Standards begonnener und in Zulassungsverfahren befindlicher Anlagen ebenso bestimmend wie für die Kriterien neuer Konzepte von Sonderabfalldeponien.

Die Zielsetzung kann von 2 Seiten erreicht werden

- vor und bei der Entstehung von Sonderabfällen durch Einflußnahme auf das Produktionsverfahren und die anschließenden Behandlungstechniken zur Verminderung von Emissionen in Luft und Wasser sowie

- durch Vorbehandlung der Abfälle zur Eliminierung oder Immobilisierung von Schadstoffen, die als bestimmende Komponenten für das Gefährdungspotential des Sonderabfalles nach dem Stand der Technik nicht oder noch nicht vermeidbar sind.

Nach der Prüfung, inwieweit diese Voraussetzungen gegeben sind, müssen für die Lagerung oder Ablagerung bauliche Sicherheitsmaßnahmen und Schutzvorkehrungen zur Verhinderung von Emissionen auch unter Langzeitbedingungen (mindestens 30 Jahre) sowie sichere Betriebsbedingungen ergänzend festgelegt werden.

2. Vergleich von Standard und Zielvorstellungen

2.1 Ist-Situation

Folgende Planungskriterien waren oder sind vorwiegend für Einrichtung und Betrieb von Sonderabfalldeponien maßgebend.

2.1.1 Bau

Als wichtigste Forderung an den Bau von Sonderabfalldeponien gelten derzeit noch naturdichte oder künstlich hergestellte Basisflächen, wobei unter technisch dicht im allgemeinen ein k_f -Wert von 10^{-8} bis 10^{-11} m/s verstanden wird.

Da in den vergangenen 10 bis 20 Jahren - vor diesem Zeitraum gab es keine eigentliche Deponieplanung - die Rekultivierung von Landschaftsschäden eine wesentliche Rolle spielte, wurden bevorzugt Grubendeponien in Lehm - oder Tonabbaugebieten angelegt oder geplant.

Bei Grubendeponien ist auch für die Flankendichtung durch Dichtungswände, Lehmschlag oder Kunststoffbahnen zu sorgen. Mit fortschreitender Entwicklung nahmen Bentonit-Zement-Mischungen für Basisabdichtungen und Dichtungswände an Bedeutung zu.

Neben der Basisabdichtung wird eine Entwässerung gefordert, die sich von üblichen Dränrohrsystemen zur Sammlung und Ableitung von Sickerwasser immer mehr zum Flächenfilter mit ausreichend starken Sand/Kieslagen entwickelte, um die Gefahr von Verockerungen der Dränrohre und damit verbundene Funktionsausfall zu vermindern.

Bei vorwiegend geohydrologisch und wasserwirtschaftlich hergeleiteten Planungsanforderungen werden für freistehende Böschungen ausreichende Gefälle zum schnellen Oberflächenabfluß und außerdem die Abdichtung der Oberflächen gegen das Eindringen von Niederschlagswasser als hinreichende Schutzvorkehrung für den oberirdischen Teil des Deponiebauwerkes zugrunde gelegt.

Hinzu kommt die Einrichtung von Beobachtungsbrunnen für Außenkontrollen.

2.1.2 Betrieb

Für den Betrieb bestehender und derzeit geplanter Sonderabfalldeponien sind bislang folgende Hauptkriterien als maßgebend betrachtet worden:

- Eingangskontrolle mit Mengenerfassung und Schnelllabor, Stichproben auf Plausibilität.
- Einbauanforderungen an die Sonderabfälle:
Stichfeste Konsistenz, ggf. chemisch-physikalische Vorbehandlung im wesentlichen zur Stabilisierung (Verringerung der Löslichkeit) anorganischer Schadstoffe.
- Der Einbau selbst erfolgt lagenweise und erforderlichenfalls mit arbeitstäglicher Abdeckung, ggf. Einbau in Tonkassetten, zum Teil ist die Anlieferung in Fässern gestattet.
- Sickerwasserfassung, -ableitung und -behandlung nach herkömmlichen biologisch bzw. chemisch-physikalischen Methoden der Abwasserbehandlung.

2.2 Neue Konzepte - Zielvorstellungen und Anforderungen

2.2.1 Konzeptionelle Überlegungen

Die Erfahrungen mit Altablagerungen unterschiedlichster Altersklassen, Standort- und Betriebsbedingungen haben erhebliche Schwachstellen gezeigt.

Weitergehende Untersuchungen über das Permeationsverhalten natürlicher und künstlicher Dichtungssysteme bestätigten die Grenzen dessen, was landläufig als dicht bezeichnet wurde. Zahlreiche Untersuchungen über CKW-Kontaminationen im Untergrund verstärkten den Eindruck, daß die bisherigen Anforderungen an Deponien, aber auch an die Sonderabfall-entsorgungskonzepte überprüft werden müssen.

Die in Denkansätzen bekanntgewordenen neuen Konzepte unterscheiden sich im Ausgangspunkt (Abbildung 1).

Während die kausale Denkrichtung mit Maßnahmen in die Produktion eingreifen möchte (§ 5 Nr. 3 BImSchG, Chemikaliengesetz), um Menge und Beschaffenheit von Sonderabfällen entsorgungsgerecht zu beeinflussen, setzt eine vom wasserrechtlichen Vollzug ausgehende Denkrichtung bei der weitestgehenden Behandlung entstehender Reststoffe und Sonderabfälle in sog. Abfallfabriken an.

Theorie 1 kommt zwangsläufig zu dezentralen Lösungsansätzen und zusätzlichen Behandlungsschritten im Produktionsbetrieb, die zu Reststoffen mit vorgegebenem Anforderungsprofil, ausgerichtet auf eine umweltverträgliche Beseitigung führen.

Theorie 2 muß die Sicherheitsanforderungen in den zentralen Behandlungsbereich und in höchste Anforderungen an die Bauwerke zur Lagerung oder Ablagerung (endgültige Lagerung) selbst verlegen.

Diese Theorie geht deshalb von chemisch-physikalischer Vorbehandlung mit höchstmöglicher Stabilisierung oder Fixie-

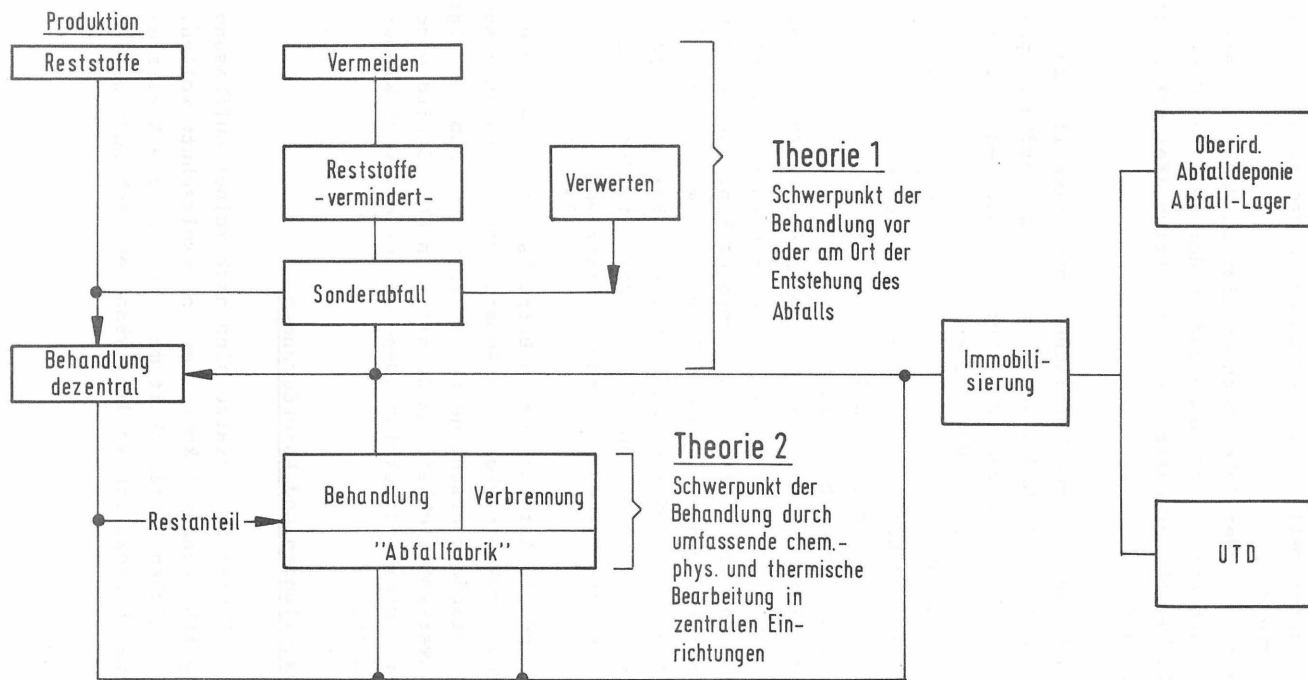


Abb. 1: Reststoff-/Sonderabfall-Wege

rung von Schadstoffkomponenten, z.B. Verfestigung, aus. Dabei wird unterstellt, daß dies unter Langzeitbedingungen nicht ausreicht.

Zur Lagerung werden daher Hochdeponien in Massivbauweise mit Mehrfach-Kontrollsystemen und in der neuesten Generation mit begehbaren Basisunterkonstruktion (Keller) zusätzlich verlangt.

Das Land Hessen hat der Hessischen Industriemüll GmbH (HIM) 1,5 Mio DM für eine Modelluntersuchung zur Verfügung gestellt, durch die in mehreren Schritten die Realisationsbedingungen geprüft werden sollen.

In der ersten Phase sollen alle bekannten Deponiesysteme dargestellt und nach einheitlichen Kriterien unter Gesichtspunkten der Sicherheit, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit bewertet werden.

In Phase 2 ist ein Vergleich mit Denkmodellen für Hochdeponien in Massivbauweise vorgesehen. Hierzu erfolgt eine Bewertung der von Baufirmen angebotenen Konstruktionen und nach einer Entscheidung in der 3. Phase die baureife Planung eines Pilotprojektes mit 100 000 m³ Fassungsvermögen unter Berücksichtigung der Standsicherheit, der Materialgüte und konstruktiver Sicherheitskriterien.

Ferner sind die Anforderung an Betriebsbedingungen, wie Beschickung, Rückholbarkeit und Reparierbarkeit zu untersuchen und Standortvorschläge zu unterbreiten. Abb. 2 zeigt eine Bauwerksmöglichkeit im Schnitt. In Abb. 3 wird eine begehbare Unterkonstruktion (Deponie Keller) nach Wiemer dargestellt.

2.2.2 Zielvorstellungen und Anforderungen

Die vorerwähnten Denkansätze sind nach meiner Auffassung unumgänglich, wenn wir konsequenten Umweltschutz wollen. Mit der gleichen Deutlichkeit muß aber auf die Realisierungsdauer hingewiesen werden, wenn neue Behandlungs-

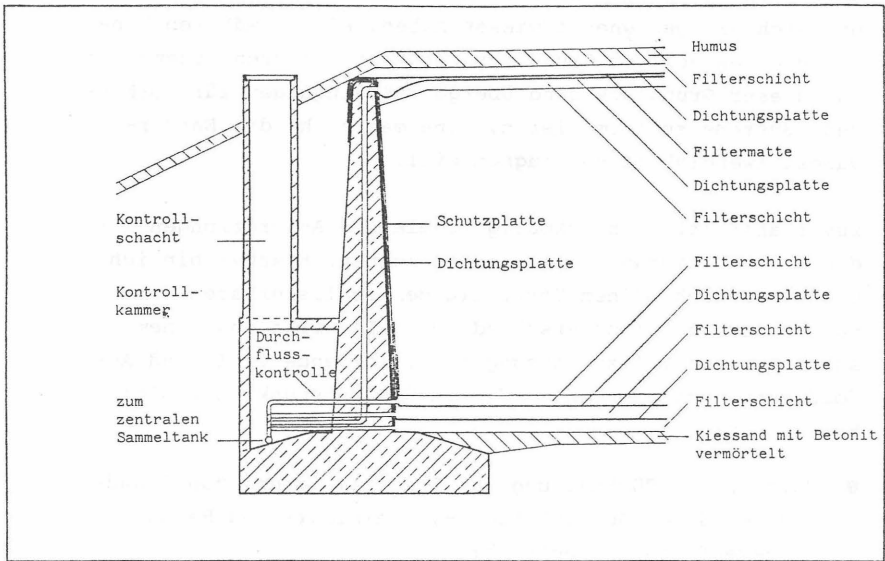


Abb. 2: Hochdeponie System Rollins (STRABAG)

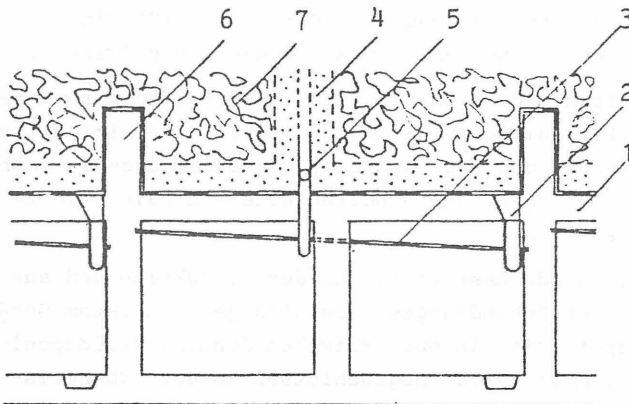


Abb. 3: Deponiekeller mit Deponieplattform (1), Plattformdurchlaß (2), abgehängter Dichtung (3), Sickerwasser- und Entgasungsdom (4), Gassammelleitung (5), erhabener Feldbegrenzung (6), Müll (7).

und Deponiekonzepte unter Praxisbedingungen getestet sind und sich als geeignet erwiesen haben. Alle erwähnten Konzepte gehen von dem Grundsatz des Mehrbarrierensystems aus. Auf dieser Grundlage sind Übergangsbedingungen für vorhandene Systeme zu formulieren, wenn man nicht die Entsorgungsnotwendigkeit verleugnen will.

Zuvor aber ist es zweckmäßig, Ziele und Anforderungen für die Neuorientierung im ganzen zu kennen. Hierbei bin ich von einer nach meinen Vorstellungen realisierbaren Kombination der beiden unterschiedlichen Theorien und einem schrittweisen Vollzug ausgegangen. Folgende Ziele und Anforderungen sollten unter diesem Gesichtspunkt hervorgehoben werden:

- Vermeidung, Rückhaltung und Immobilisierung von Schadstoffen durch Substitutions-, Kreislauf- und Behandlungsverfahren im Betrieb;
- Zentrale chemisch-physikalische Behandlung, die gegenüber dem Ist-Zustand weitere Reinigungsstufen vorsieht, wie z.B. Strippen und/oder Verdampfen (Elimination organischer Beimengungen und Absondern von Salzen);
- Zerstören und Rückhalten von Schadstoffen durch thermische Behandlung (Sonderabfallverbrennung mit geeigneten Feuerungs- und Rauchgasreinigungsbedingungen), insbesondere für organische Sonderabfälle und halogenierte Kohlenwasserstoffe.
- Verbleibende Reststoffe aus der Produktion und aus vorstehenden Behandlungsstufen sind je nach ihrem Gefährdungspotential in oberirdischen Sonderabfalldeponien oder vom Biozyklus abgeschlossen in der UTD Herfa-Neurode abzulagern.
- Gegenüber herkömmlichen Sonderabfalldeponien sind weitere Sicherheitsanforderungen zu stellen wie

- technisch dichte Bauwerke mit mehrfachen Kontrollmöglichkeiten, z.B. doppelte Basisabdichtung mit zweifachem Flächenfilter
- zusätzliche Sicherheit durch weitesgehende Immobilisierung der Schadstoffe (z.B. durch Verfestigung)
- verschärfte Auswahlkriterien für deponiefähige Sonderabfälle (organische Sonderabfälle sind vorwiegend auszuschließen)
- Einbau der Abfälle nach einem Ablagerungskataster
- weitergehende Rückholbarkeit
- Reparierbarkeit
- Sickerwasservermeidung, z.B. durch Überdachung und/oder Teilflächenabdeckung mit Kunststoffbahnen
- Definition des Sonderabfalleluates
- Erprobung von Sonderabfall-Lagern als Hochdeponien in Massivbauweise.

2.2.3 Übergangsbedingungen

Auf der Grundlage dieser Zieldefinition erscheinen folgende Übergangsmöglichkeiten bis zu Verwirklichung neuer Konzepte für den Bau und Betrieb bestehender Anlagen oder begonnener Projekte vertretbar:

- Verschärfte Anforderungen an den Annahmekatalog für zugelassene Sonderabfälle unter Berücksichtigung einer weitergehenden Eliminierung oder Immobilisierung von Schadstoffen (Eluatbestimmung)
- Regelausschluß organischer Sonderabfälle für Deponien
- Einkapselung bestimmter Abfälle in dichte Kassetten
- Doppelte Basisabdichtung, wenn noch durchführbar
- Weitergehende Sickerwasserbehandlung (Eindampfen, Strippen, UV-Bestrahlung)
- Teilflächenabdeckungen während des Betriebes

3. Schlußfolgerung und Aussichten für neue Konzepte

Zwischen Ziel und Realisierung steht die Verwirklichungsdauer.

Mehr Sicherheit und die Anwendung umweltschonender Technologien muß nicht gleichzeitig auch mehr Akzeptanz bedeuten. Die Verwirklichung der Zielpunkte bedarf der System- und Schwachstellenanalyse. Es geht immer noch um Denkansätze, Ideen, nicht um technisch bewährte und baureife Konzepte. Wir sollten nicht schon wieder den gleichen Fehler machen und durch übereilte Entscheidungen mit mehr und besserer Technik die Risikoanalyse vergessen.

Wir sollten aber auch bedenken, daß es ein 0-Risiko nicht gibt. Radikale Forderungen, meist aus "Sankt Florians-Gründen" oder ideologischen Zielsetzungen vorgetragen, bewirken das Gegenteil. Temporär vorhandene oder erreichbare Sicherheiten werden nicht akzeptiert oder als völlig unzureichend abgestempelt. Dadurch entstehen Entsorgungsstaus bis zum Übermaß mit der Folge, auf die nächstbeste oft weniger sichere Lösung durch Abfalltourismus auszuweichen.

Für die umweltpolitische Entscheidung im Bereich Sonderabfallentsorgung ist in unseren Tagen ein hohes Maß an Verantwortung gefordert und zwar gleichermaßen für die Vergangenheit (Altlasten) wie die Gegenwart und die Zukunft. Die totale Betrachtungsweise ist als Denkansatz notwendig und richtig. Sie verfehlt aber ihr Ziel, wenn sie ad hoc zur Gegenwartsforderung gemacht und für sofort vollziehbar erklärt wird. An einem konkreten Beispiel lassen sich diese Überlegungen erläutern.

Von einigen Fachleuten wird z.B. die naturdichte (Ton-) oder künstlich abgedichtete Grubendeponie als unzureichend bezeichnet. Als Gründe werden u.a. einige hochmigrationsfähige Chlorkohlenwasserstoffe wie z.B. Per- und Trichloräthylen, die auch durch Ton und Bentonitzement-Abdichtungen wandern, genannt. Auch der Wasserstau wird im Zusammenhang

mit der Ungewißheit, ob unter Langzeitbedingungen abgepumpt werden kann, angeführt.

Dabei bleibt außerhalb der Betrachtung, daß bei geplanten oder im Bau befindlichen Projekten durch den Stoffkatalog hochmigrationsfähige Abfälle oder Abfallkomponenten ausgeschlossen werden, daß Abfälle immobilisiert werden können, daß durch Überdachung Sickerwasserneubildung verhindert werden kann, daß durch ausreichende Flächenfilter die Sammlung, Fassung und laufende Ableitung von Sickerwässern auch über lange Zeiträume gesichert werden kann und schließlich, daß auch mehrfache Sicherheiten (doppelte Basisabdichtung, doppelte Flankenabdichtung mit doppelten Kontrollhorizonten - durch das Mehrbarrierenprinzip (Stief) - ein mit Hochdeponien vergleichbares Maß an Sicherheit geschaffen werden kann.

Kommt es aber durch totale Ablehnung der Grubendeponie aus prinzipiellen Gründen zum Verzicht auf ein nach Ist-Bedingungen weitgehend sicheres und vielleicht schon begonnenes Projekt, muß zwangsläufig auf bestehende meist weniger sichere Möglichkeiten, möglicherweise auf lange Sicht zurückgegriffen werden. Dies kann nicht gewollt sein.

Für die Übergangszeit sind Stufenziele zu formulieren.

Einheitliche Anforderungen (TA Abfall), die nicht als Mindestanforderungen den kleinsten gemeinsamen Nenner darstellen, sondern zulässige und vertretbare Ist-Bedingungen mit Soll-Zielen (auf Rahmenfestlegung) beinhalten, können sich erleichternd und beschleunigend auf den Vollzug der Entsorgungsaufgaben auswirken. Bei der Umweltverträglichkeitsprüfung für Deponien wird die Standortprüfung und der Vergleich von infrage kommenden Standorten auf ihre Eignung durch überall gültige Anforderungen vereinfacht. Das Verfahren der Standortauswahl wird transparenter und weniger anfechtbar.

Auf welche Weise ist sonst noch die Akzeptanz von Standorten für Übergangsmaßnahmen oder Zielprojekte, wie die Hochdeponie in Massivbauweise, zu erreichen?. Gegenwärtig lassen sich hierfür keine allgemein gültigen Rezepte vorschlagen, weil noch nicht erkennbar ist, ob z.B. das "Sankt Florians-Prinzip" mancher Bürgerinitiativen und Gruppen überhaupt aufgegeben werden soll.

So müssen einige Hinweise zu Akzeptanzproblemen vorerst genügen. Die Vertrauensschwelle erhöht sich, wenn die Planung von allem Anfang an mit den Betroffenen offen erörtert wird und diese sich am Prozeß der Sicherheitsplanung und der Umweltverträglichkeitsprüfung selbst beteiligen können. Das kann durch konkrete Fragen, durch Hinweise, durch Forderungen für ergänzende Untersuchungsaufträge geschehen. Oft hat es sich als zweckmäßig erwiesen, die schon vorhandenen Umweltbedingungen im Bereich des vorgesehen Standortes festzustellen (Analyse der Vorbelastungen).

Bei Neukonzepten, wie der Hochdeponie in Massivbauweise, mit Mehrfach-Kontroll-System dürften die ursprünglich dominierenden wasserwirtschaftlichen und geophysikalischen Grundsätze für die Standortauswahl in den Hintergrund treten.

Wird aber eine solche Hochdeponie, besser ein Reststoffdepot, die gleiche Akzeptanz haben wie ein Sprengstofflager, wie eine Lagerhalle für Chemikalen?

Die Standortdiskussion für das hessische Pilotprojekt, die spätestens nach Abschluß der Phase 3 der beschriebenen Modelluntersuchung beginnt (1986), wird Antwort auf diese Fragen geben.

Ob durch Höchstsicherheitsanforderungen an Deponie-(Lager-)bauwerke die erwünschte Langzeitsicherheit erzielt werden kann, muß infrage gestellt werden.

Die neue Deponiekonzeption muß bereits vor der Entstehung der Sonderabfälle ansetzen, um das Gefährdungspotential schon auf die Bauwerks- und Betriebsplanung abstimmen, mindestens aber quantifizieren zu können. So lassen sich Altlasten für die Zukunft vermeiden.

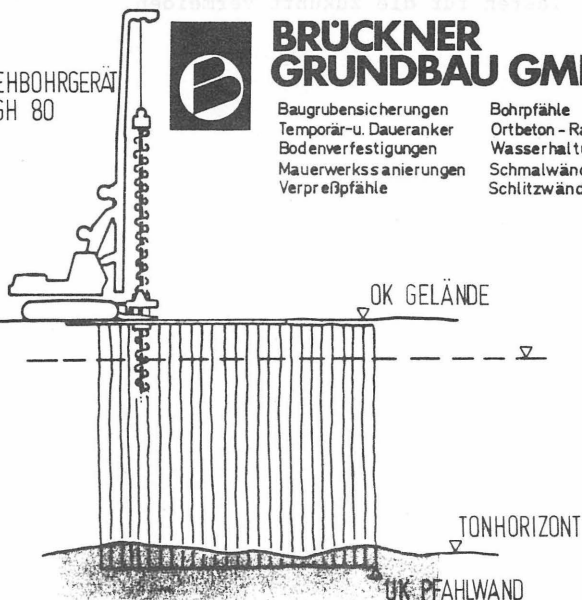
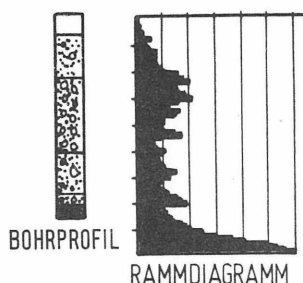
DREHBOHRGERÄT
GH 80



BRÜCKNER GRUNDBAU GMBH

Baugrubensicherungen
Temporär- u. Daueranker
Bodenverfestigungen
Mauerwerkssanierungen
Verpreßpfähle

Bohrpfähle
Ortbeton - Rammpfähle
Wasserhaltungen
Schmalwände
Schlitzwände



HERSTELLUNG EINER ÜBERSCHNITTENEN DICHTWAND IM ENDOSSCHNECKENVERFAHREN

Beratung — Planung — Ausführung

4300 Essen 1
Zeche Ernestine 29
Tel.: (0201) 81003-0
Tx. 857223

8460 Garching b. München
Zeppelinstr. 19
Tel.: (089) 32 02 091
Tx. 5212 682

6100 Darmstadt
Otto - Röhm - Str. 39
Tel.: (061 51) 86 34 7
Tx. 4197118

1000 Berlin 51
Montanstr. 7
Tel.: (030) 4141050
Tx. 185959

Ausführungen und Güteüberwachungen bei mineralischen Deponieabdichtungen

Dr. - Ing. W. Sondermann

Simons + Partner GmbH, Braunschweig

1. Einführung

Die Ablagerung von Abfällen unterliegt seit 1977 dem Abfallbeseitigungsgesetz (AfBG) (Bundesregierung 1982). Dieses Gesetz fordert u.a. eine Beseitigung der Abfälle, die das Wohl der Allgemeinheit nicht beeinträchtigt. Um diesen gesetzlichen Anforderungen zu genügen, wurde 1979 von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) (Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, 1979) ein Merkblatt über die geordnete Ablagerung von Abfällen herausgegeben. Mit diesem Merkblatt wurden u.a. Anforderungen an die Abdichtung und Dränage von Deponien aufgestellt.

1980 waren erst 31 % der öffentlichen Deponien gegen das Grundwasser abgedichtet und nur bei 13 % bzw. 12 % wurde das Sickerwasser ausgetragen und behandelt (UBA, 1982) (Bild 1).

Zur Gewährleistung der gesetzlichen Anforderungen müssen Dichtungssysteme sowie die Bestandteile kurz- und langfristig den physikalischen, chemischen und biologischen Beanspruchungen standhalten und eine ausreichende Funktionsfähigkeit gewährleisten.

Merkmal	1980	
	Anzahl	%
Insgesamt	2920	100
Abdichtung gegen Grundwasser	914	31
Sickerwasseraustrag	390	13
Sickerwasserbehandlung	349	12
Verdichtung u. Planierung der Abfälle	1858	64
Rekultivierung	2179	75
Entgasung	127	4

Bild 1: Ausstattung öffentlicher Deponien 1980 (UBA, 1982)

2. Möglichkeiten der Dichtung und bestehende Empfehlungen für die Auslegung

Entsprechend dem LAGA-Merkblatt wird zur Dichtung an Standorten mit natürlich anstehendem, ausreichend dichten Untergrund empfohlen, die gesamte Deponiesohle in einer Stärke von 30 cm umzulegen, nach den Regeln der Erdbautechnik zu verdichten und anschließend mit dem vorgeschriebenen Gefälle glatt abzuwalzen. Der Begriff "natürlich anstehender, ausreichend dichter Untergrund" wird im Rahmen des oben genannten Merkblattes nicht weiter definiert.

Sind die oben genannten Verhältnisse nicht gegeben, so sind natürliche oder künstliche Dichtungen zu verwenden.

Natürliche Dichtungen im Sinne dieses Merkblattes sind sorgfältig aufgebrauchte und verdichtete Dichtungsschichten aus Bodenmaterialien mit ausreichend hohen Ton- und Schluffanteilen. Eine aufgebrauchte Dichtungsschicht sollte an jeder Stelle eine Mindeststärke von 60 cm haben. Sie ist lagenweise so zu verdichten, daß eine Durchlässigkeit k von kleiner 10^{-8} m/s erreicht wird. Die Oberfläche ist mit Gefälle zu den Dränleitungen glatt abzuwalzen. Die fertiggestellte Dichtungsschicht sollte sorgfältig vor Austrocknung, Frosteinwirkung, Erosion und mechanischer Beschädigung geschützt werden.

Die **künstlichen Dichtungen** umfassen insbesondere:

Vorgefertigte Dichtungen, z.B.

- an Ort und Stelle verschweißte Dichtungsbahnen aus geeigneten Kunststoffen
- an Ort und Stelle verschweißte Dichtungsbahnen aus geeigneten Bitumina und Trägerschicht.

Örtlich gefertigte Dichtungen, z.B.

- Decken aus Gemischen von geeigneten anstehenden oder besonders aufgebrauchten Bodenmaterialien mit Kunstharzen, silikatischen oder anderen Bindemitteln (Vermörtelungen) oder mit Quellmitteln (Bentonit).
- Bitumendecken, analog den im Straßenbau üblichen Heißecken.

An die künstlichen Dichtungen werden im Rahmen dieses Merkblattes keine Anforderungen an Material, Materialstärke usw. gestellt.

An die umzulagernden 30 cm Erdstoffe in der Deponiesohle sind dann die gleichen Anforderungen wie oben beschrieben zu stellen. Diese Anforderungen lassen sich nur durch Verdichten des Bodens erzielen. Durch die Verdichtung werden die Phasenzusammensetzung des Erdstoffes und damit die bodenphysikalischen Eigenschaften verändert.

Bei bindigen Erdstoffen ergibt sich bei einer Verdichtung auf der "nassen" Seite, d.h. mit einem Wassergehalt über dem optimalen Wassergehalt, der in einem Procotorversuch (DIN 18 127) bestimmt wird, immer eine gleichmäßig geordnete Struktur der Bodenteilchen. Die größere Beweglichkeit der Bodenteilchen aufgrund der Zunahme der Dicke des umgebenden Wasserfilms ermöglicht dabei, daß sich die Teilchen senkrecht zur Verdichtungsrichtung anordnen.

Bei Verdichtung auf der "trockenen" Seite bildet sie dagegen eine unregelmäßige Struktur der Bodenteilchen und damit stellen sich auch kleinere Dichten ein. Verdichtungen auf der trockenen Seite bewirken weiterhin, daß das Bodenmaterial kleineren Schrumpfun-gen unterliegt, aber andererseits bei Wasseraufnahme größeren Schwellungen unterliegt.

Die Methode der Verdichtung hat bei Verdichtung des Erdstoffes auf der "trockenen" Seite keinen Einfluß auf die Festigkeit. Bei Verdichtung auf der "nassen" Seite bilden sich bei größeren Deformationen des Erdstoffes durch die Verdichtung Porenwasserüberdrücke aus, die dadurch einen Festigkeitsabfall bewirken. Verdichtungen mit statischem Druck oder Vibration führen gegenüber Verdichtungen mit Knet- oder Stoßwirkung daher bei schluffigen und sandigen Tönen zur größten Festigkeit (Reuter, 1985).

Die Durchlässigkeit nimmt mit dem Orientierungsgrad der Bodenteilchen ab. Die geringste Durchlässigkeit wird auf der "nassen" Seite bei Wassergehalten von 1 bis 2% über dem optimalen Wassergehalt erreicht (Kézdi, 1969).

Je schluffiger ein Erdstoff wird, desto enger wird der Bereich des günstigen und zur Verdichtung geeigneten Wassergehaltes, da das Wasserbindevermögen abnimmt, d.h. gleichzeitig, je geringer die Plastizität eines Erdstoffes ist, desto witterungsempfindlicher ist er.

Für die umzulagernde Schicht ist aufgrund dieser bodenmechanischen Grundlagen damit eine Verdichtung auf mindestens 97 % der einfachen Proctordichte mit Wassergehalten oberhalb des optimalen Wassergehaltes zu fordern. Damit wird einerseits die geringste Durchlässigkeit ($w > w_{opt}$) erreicht, andererseits die Festigkeit nicht im unzulässigen Maß herabgesetzt ($\rho_o > 97 \% \rho_{pr.}$).

Die generelle Eignung natürlich anstehender Böden als Dichtung ist in Eignungsprüfungen, die auch die Beständigkeit gegen Sickerwasser beurteilen, zu bestimmen (Simons, Sondermann, Reuter 1984a; Simons, Reuter, Sondermann 1984b). Umfang und Ergebnisse derartiger Eignungsversuche werden ebenfalls in vorgehenden Veröffentlichungen beschrieben.

Zur Festlegung der einzuhaltenden Mindestwerte für die Verdichtung ist in der Praxis neben Eignungsversuchen im Labor immer die Durchführung einer Probeverdichtung zu empfehlen. Für diese Probeverdichtung sollten dabei die für die Ausführung vorgesehenen Geräte und Maschinen genutzt werden. Die Ergebnisse einer derartigen Probeverdichtung zeigt Bild 2.

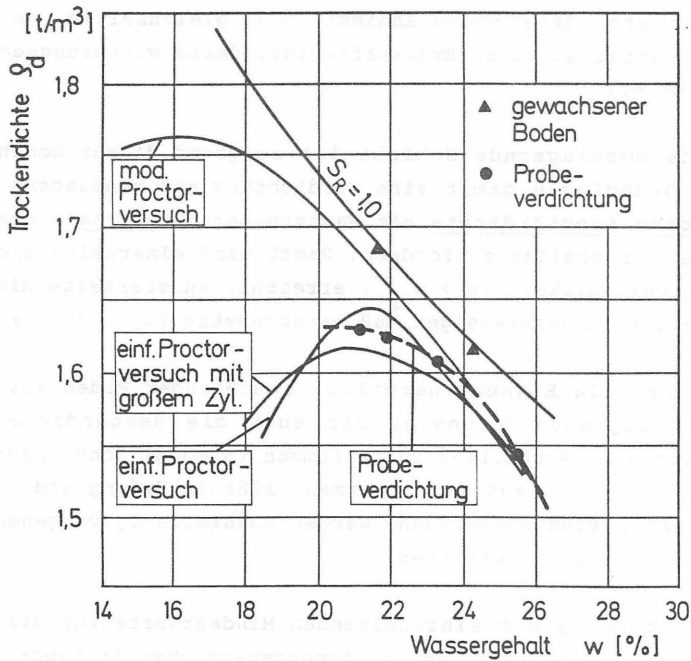


Bild 2: Ergebnisse der Probeverdichtung

Bei dem umzulagernden Erdstoff handelt es sich um einen Ton der Unterkreide mit Tonanteilen von 40 bis 55 Gew.% und maximalen Feinsandanteilen von 5 Gew.%. Der Boden wurde mit einer Vibrationswalze (ca. 4,5 t; Glattmantel; 38,7 Hz; 30 cm/min) in vier Übergängen verdichtet. Nach jedem Übergang wurde eine Sonderprobe entnommen und Dichte und Wassergehalt bestimmt (Bild 2). Es zeigte sich, daß mit drei Übergängen die optimale Verdichtung erreicht war und durch weitere Übergänge kaum gesteigert werden konnte.

Zur Herstellung der Deponiesohle wurde nach Abtrag des Verwitterungshorizontes 30 cm des anstehenden Tons so gelöst, daß dieser in eine krümelige Struktur zerfiel, umgelagert und mit obigem Gerät in mindestens 3 Übergängen verdichtet.

Während des Lösens des Erdstoffes ist darauf zu achten, daß eventuelle Schwächezonen im Untergrund wie Geodenlagen, Kalkstein- oder Sandsteinbänke, Sandadern, die in der Dichtungsfläche austreten, bis mindestens 60 cm Tiefe ausgehoben, mit Dichtungsmaterial verfüllt und nach obigen Anforderungen verdichtet werden.

Bei der Bauausführung bietet nur eine ständige Gütekontrolle die Gewähr einer optimalen Dichtung. So sind während der Bauarbeiten Kontrollen der einwandfreien Arbeitsweise durch entsprechend geschultes Personal unerlässlich. Dichte, Wassergehalt und Durchlässigkeit der eingebauten Dichtung sollten pro 1000 m² Dichtungsfläche kontrolliert werden, die Schichtdicke mindestens alle 100 m².

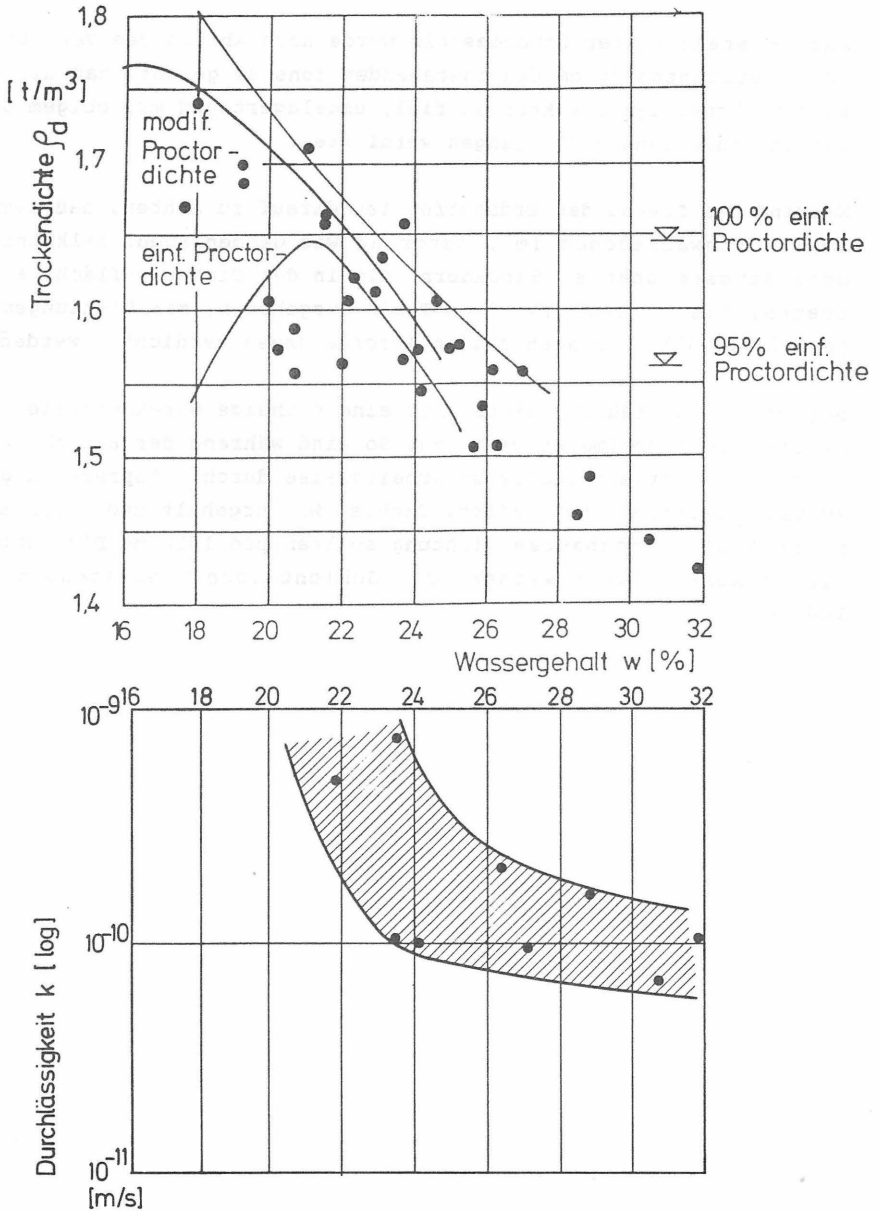


Bild 3: Ergebnisse der Güteüberwachung, Umlagerung und Verdichtung eines anstehenden Tones

Bild 3 zeigt die Ergebnisse der Güteüberwachung, wobei die Abhängigkeit der Durchlässigkeit von Wassergehalt und der Dichte erkennbar wird. Deutlich zu erkennen ist, daß mit Wassergehalten über dem optimalen Wassergehalt die Anforderungen an die Durchlässigkeit erfüllt werden, aber teilweise die erforderlichen Dichten nicht mehr erzielt werden können. Die Schichtdicke kann ohne Beschädigung der Dichtungsschicht durch ein Flächennivellament vor und nach Erstellung schnell kontrolliert werden.

Die über der Dichtung anzuordnende Drainage sollte immer durch eine Industriefolie von der Dichtung getrennt werden, um durch eine Wasseraufnahme in der Dichtung die Konsistenz nicht herabzusetzen und dadurch Festigkeit und Steifigkeit zu verschlechtern. Die Folie sollte dabei nicht durch Beschwerden mit Bodenmaterial fixiert werden, da dieses Material später ggf. die Drainagefunktionen beeinflussen kann.

4. Natürliche Dichtungen

Natürliche Dichtungen werden aus künstlich zusammengesetzten und aufbereiteten Mischungen verschiedener Bodenarten ggf. unter Zugabe von Bentonit hergestellt. Die Zusammensetzung derartiger Mischungen für Dichtungen sind in Eignungsprüfungen festzustellen, wobei auch die Beständigkeit der Erdstoffe gegen Sickerwasser zu prüfen ist. Die Anforderungen nach Kapitel 1 sind dabei als Mindestanforderung zugrunde zu legen. Methoden und Umfang derartiger Eignungsprüfungen sind zum Beispiel bei Reuter (1985) dargestellt. Die Ergebnisse der Prüfungen müssen Angaben zum Mischungsverhältnis der Böden, der erforderlichen Bentonitmengenzugabe und Anforderung an die mindest zu erreichende Verdichtung enthalten, um die Qualitätsanforderungen zu gewährleisten. Die bodenmechanischen und erdbaulichen Erfahrungen bei der Herstellung und Überwachung der Ausführung natürlicher Dichtungen sollen im folgenden an Beispielen dargestellt werden.

Die Herstellung natürlicher Dichtungen beginnt mit der Vorbereitung des Erdplanums. Oberboden und durch Wurzelwerk durchsetzter Boden sind zu entfernen, der anstehende Boden ist dann mindestens auf 95 % der einfachen Proctordichte bzw. einem E_{v2} -Wert von größer gleich 45 MN/m^2 zu verdichten, um Setzungen und Verformungen des Untergrundes weitgehend auszuschließen. Das Planum sollte schon mit einer Neigung zur späteren Dränage hergestellt werden, um Wasseransammlungen und Aufweichungen zu vermeiden.

Der Erdstoff oder die Erdstoffmischung für die natürliche Dichtung wird dann lagenweise aufgebracht und verdichtet. Bei der Zugabe von Bentonit zur Verbesserung der Dichtigkeit des Grundmaterials bieten sich zwei Verfahren an. Einerseits kann auf den auf der Sohle ausgebreiteten Boden das Bentonit ausgestreut werden, indem auf vorher festgelegten Fläche eine definierte Menge trockenen Bentonits von Hand ausgestreut wird, oder mit einem geeigneten Streuwagen ausgestreut wird. Als geeignete Streugeräte haben sich dabei z.B. aus der Landwirtschaft bekannte Großstreugeräte bewährt. Der Wassergehalt des Grundmaterials ist vor Aufbringen und Einmischen des Bentonits fertigzustellen, um ggf. die Zugabemenge an Bentonit darauf abstimmen zu können.

Danach wird das Material mit einer Fräse (z.B. Bomag MPH-100) eingefräst. Zu beachten ist dabei, daß der Fräsvorgang in mindestens drei Übergängen mit zunehmender Frästiefe durchgeführt wird, um eine gleichmäßige Verteilung des Bentonits über die Schichtdicke zu erzielen.

Muß die Dichtung auch auf Böschungsflächen aufgebracht werden, kann bis zur Böschungsneigung von ca. 1 : 2 das obige Verfahren direkt angewandt werden (Bild 4).

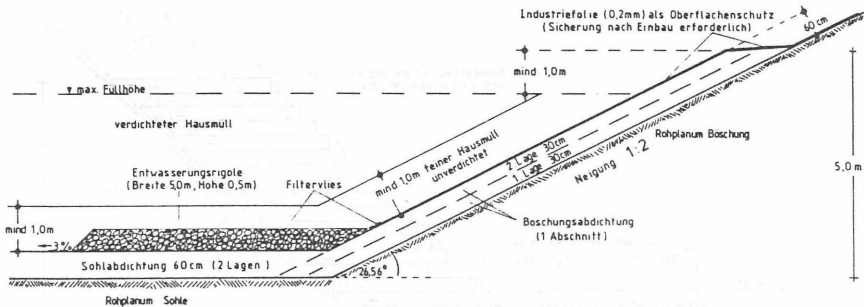


Bild 4: Aufbringen einer natürlichen Dichtung auf Böschungen mit Neigung kleiner 1 : 2

Bei steileren Böschungen ist das Dichtungsmaterial vorher auf Mieten herzustellen und von dort in horizontalen Lagen mit Neigung zur Deponie einzubauen und zu verdichten (Bild 5).

Um unverträgliche Setzungen und Verformungen der Dichtung zu vermeiden, aber gleichzeitig die geringste Durchlässigkeit zu erzielen, sollte das Dichtungsmaterial auf mindestens 97 % der einfachen Proctordichte bei Wassergehalten über dem optimalen Wassergehalt verdichtet werden. Da in der Regel schluffig sandige Erdstoffe für eine Verbesserung und den Einbau als Dichtung genutzt werden, diese aber sehr empfindlich auf Wassergehaltsänderungen reagieren, so daß eine Verdichtung und ein regelgerechter Einbau nicht mehr möglich ist, ist eine sorgfältige Bearbeitung und Überwachung notwendig. Bei zu hohem Wassergehalt oder unzureichender Zerkrümelung des Bodens kann z.B. durch erhöhte Bentonitzugabe die Anforderung an die Dichtigkeit zwar erfüllt werden, die Steifigkeiten werden dabei aber immer mit herabgesetzt. Zur

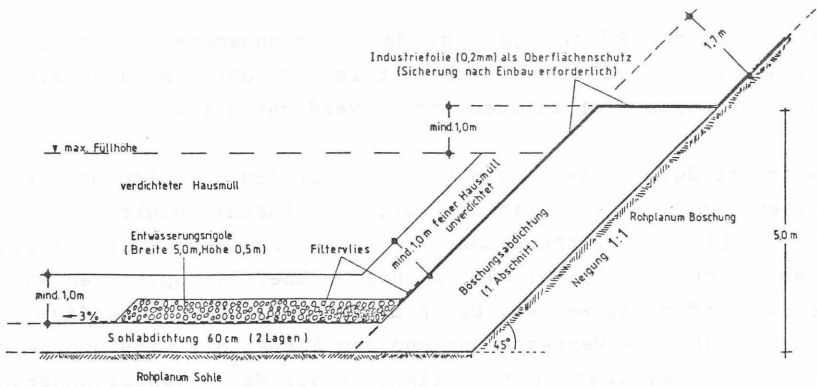
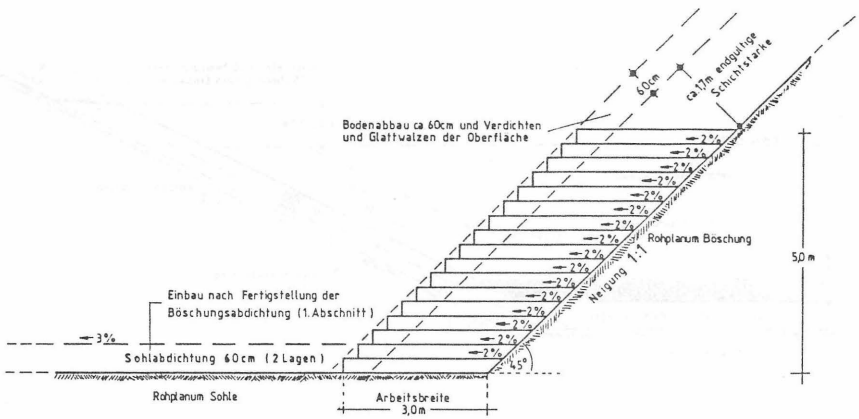


Bild 5: Aufbringen einer natürlichen Dichtung auf Böschungen mit Neigungen größer 1 : 2

Gewährleistung einer einwandfreien Dränagewirkung über der Dichtung wären dadurch bedingte Verformungen bei der Wahl der Neigung der Dichtungsschicht schon zu berücksichtigen. Bei der Ausführung ist darauf zu achten, daß immer nur soviel Boden ausgebreitet und bearbeitet wird, wie täglich benötigt wird, da das zu verbessernde Material in der Regel große schluffige Anteile enthält und diese gegenüber z.B. fetten Tönen oder grobkörnigen Böden sehr witterungsempfindlich sind.

Bei Anschlüssen von Teilflächen aneinander ist weiterhin während der Ausführung darauf zu achten, daß keine lotrechten Fugen in den einzelnen Lagen entstehen, die bevorzugte Wasserwegsamkeiten schaffen (Bild 6).

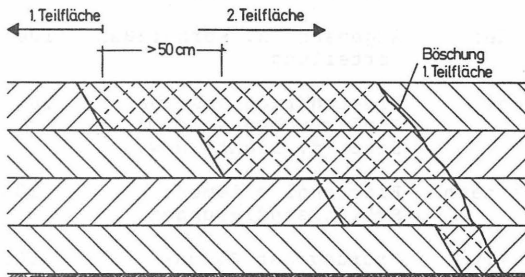


Bild 6: Arbeitsablauf bei Aufbringen der Dichtung in Teilflächen

Um eine einwandfreie Funktion der Dichtung zu gewährleisten, sollten die Arbeiten zur Erstellung der Dichtung einer ständigen Güteüberwachung während der Ausführung unterworfen werden; dabei sind in der Regel die in Bild 7 zusammengestellten Prüfungen vorzunehmen.

	Güteüberwachung	Prüfmethode	mindest erf. Prüfumfang
1	Homogenität des Grundmaterials	Korngrößenverteilung Augenschein	2500 m ³
2	Wassergehalt des Grundmaterials	Wassergehaltsbestimmung	500 m ³
3	Verdichtung des Planums	Plattendruckversuch Sonderprobennahme	2500 m ²
4	Bentonitmengen- zugabe	Bleche od. Tuch mit def. Fläche, Korngrößenverteilung nach Mischung	1000 m ²
5	Homogenität der Dichtung	Augenschein, Korngrößenverteilung	1000 m ²
6	Verdichtung je Lage	Plattendruckversuche, Sonderprobennahme mit Best. d. Dichte usw.	1000 m ²
7	Schichtdicke nach Verdichtung	Flächennivellement Schlitzsondierungen	100 m ²
8	Durchlässigkeit	Prüfung der Durchlässigkeit	2000 m ²
9	Steifigkeit	Kompressionsversuch	n.E.
10	Scherfestigkeit	Scherversuche	n.E.

n.E. ^Δ nach Erfordernis

Bild 7: Güteüberwachung und Umfang der Prüfungen für natürliche Dichtungen

Die Güteüberwachungen der Homogenität des Grundmaterials und der Bentonitmengenzugabe können im Labor durch Bestimmung der Korngrößenverteilung vorgenommen werden (Bild 8).

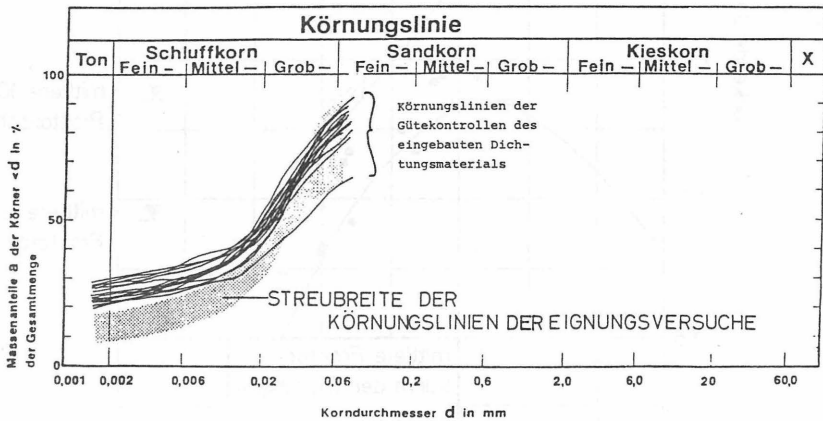


Bild 8: Korngrößenverteilung des eingebauten Dichtungsmaterials

In Bild 9 sind die Ergebnisse der Güteüberwachung der Verdichtung und Dichtigkeit des Dichtungsmaterials nach Bild 8 zusammengestellt.

Auch mit zunehmendem Wassergehalt über den optimalen Wassergehalt ist ein leichter Anstieg der Durchlässigkeit des Materials zu verzeichnen. Deutlich wird weiterhin, daß bei gleichem Wassergehalt mit zunehmender Dichte die Durchlässigkeit abnimmt.

Bei diesen Überwachungsprüfungen wird deutlich, daß nicht nur die Einhaltung eines Wassergehaltes, sondern auch eine Mindestanforderung an die Verdichtung zu stellen ist.

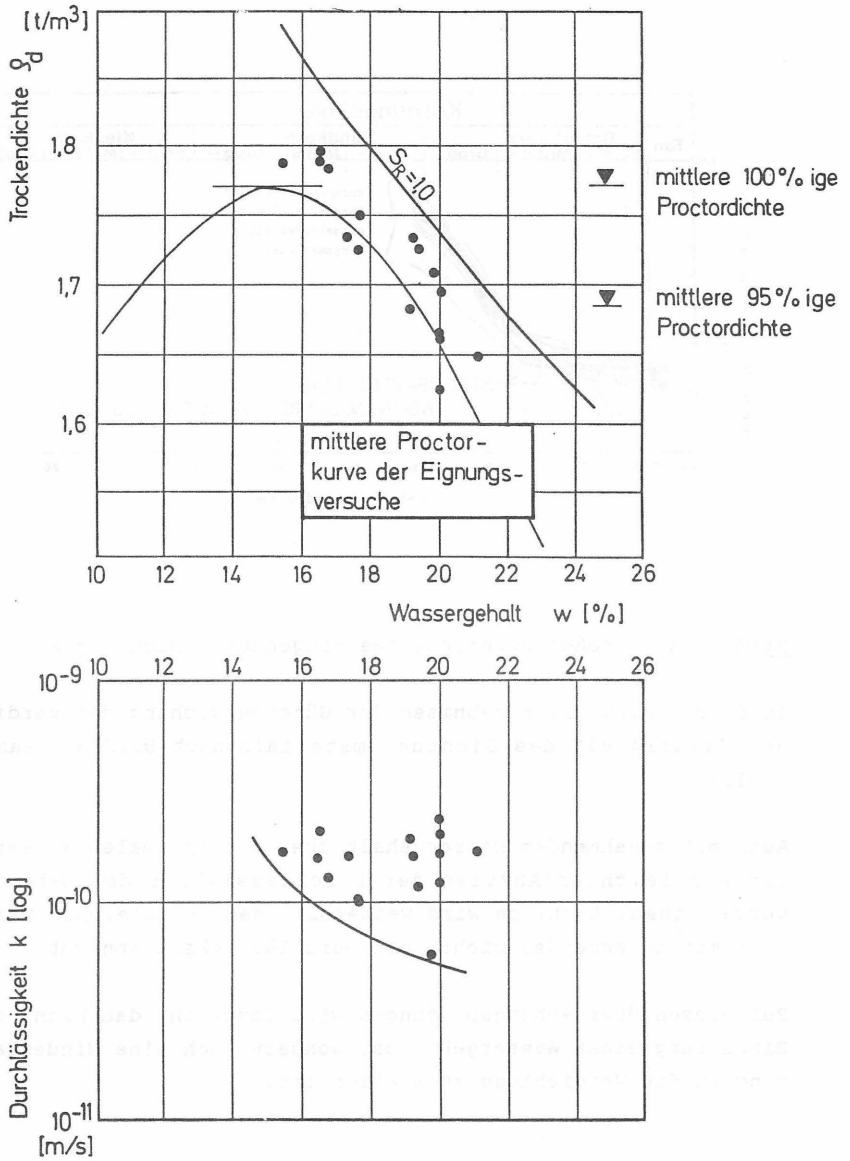


Bild 9: Ergebnisse der Güteüberwachung (Dichtungsmaterial entspr. Bild 8)

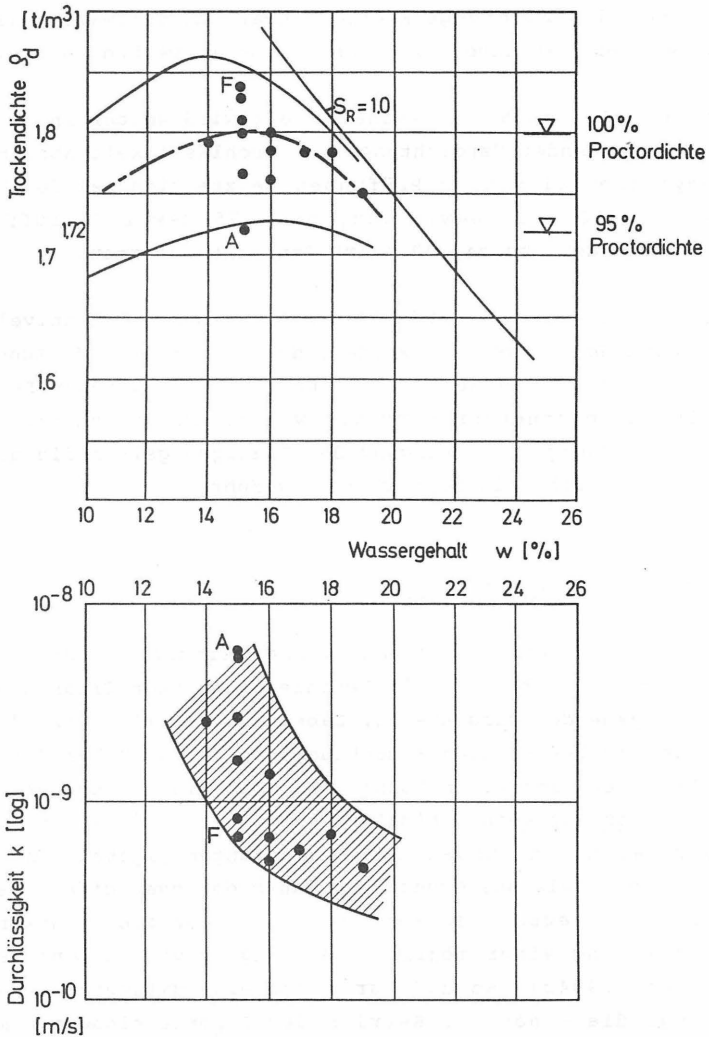


Bild 10: Ergebnisse der Güteüberwachung, für ein Dichtungsmaterial:

Ton: 10 - 12 Gew.%, Schluff 50 - 75 Gew.%

Sand: 12 - 36 Gew.% + 20 kg/m³ Bentonit

Bild 10 verdeutlicht noch anschaulicher, daß mit Zunahme des Wassergehaltes des Dichtungsmaterials über den optimalen Wassergehalt eine rasche Abnahme der Durchlässigkeit verbunden ist.

Für Proben mit optimalem Wassergehalt wird weiterhin deutlich, wie mit zunehmender Verdichtung die Durchlässigkeit abnimmt. Das Dichtungsmaterial dieser Prüfungen setzte sich bei den Überwachungen aus 10 - 12 Gew.% Ton, 50 - 75 Gew.% Schluffen, 12 - 36 Gew.% Sanden und ca. 20 kg/m³ Bentonit zusammen.

Bei Kontrolle der Schichtdicken sollte ein Flächennivellement anderen Methoden vorgezogen werden, da bei direkten Messungen die Dichtung durchstoßen werden muß, und diese "möglichen Fehlstellen" mit entsprechender Sorgfalt wieder zu verschließen sind. Für die Anordnung und Auslegung der Dränagen gelten die gleichen Grundsätze wie schon in Kapitel 3 ausgeführt.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die bei der Planung, technischen Bearbeitung, Herstellung und Überwachung von Dichtungen für Deponien gemachten Erfahrungen wurden im vorgehenden dargestellt. Dabei ist deutlich geworden, daß die derzeitig bestehenden Empfehlungen nur ein grobes Gerüst für diese Arbeiten darstellen können. Nur mit Einhaltung der Empfehlungen allein ist kein optimaler Schutz des Grundwassers und Bodens vor Verunreinigungen und Schädigungen gegeben, da die Empfehlungen zu viele Auslegungen und Anforderungen offen lassen. Andererseits liegen aber auch keine eindeutigen Richtwerte für die Beurteilung einer möglichen Schädigung vor (Simons, Reuter, Sondermann, 1984b), so daß nur durch eine umfangreiche Beweissicherung, die schon vor Betrieb der Deponie einsetzen müßte, überhaupt eine Qualitätskontrolle gegeben wäre. Es wäre von daher zu empfehlen, eindeutige Richtlinien für eine maximale hinnehmbare Beanspruchung von Boden und Wasser zu erarbeiten, was natürlich bei den vielfältigen Beanspruchungsarten und Stoffzusammensetzungen zu erheblichen Schwierigkeiten führt.

Durch jede Dichtung von Deponien kann andererseits aufgrund der Durchlässigkeit Sickerwasser dringen, wobei die Sickerwassermenge vom hydraulischen Gefälle i abhängt. Nur mit Vorgabe nicht nur einer maximal zulässigen Durchlässigkeit, sondern auch einer maximal zulässigen Sickerwassermenge, die ohne Beeinträchtigung der Qualität des Bodens und Wassers austreten darf, oder eines max. zulässigen hydraulischen Gefälles kann eine Dichtung in ihrer Funktion den Erfordernissen angepaßt und beurteilt werden.

Weiterhin sollte den Anforderungen an Festigkeit und Steifigkeit mehr Beachtung geschenkt werden, da sie im wesentlichen Maß die Dauerhaftigkeit der Dränage und die Standsicherheit garantieren.

Die Anforderungen an eine Dichtung sind daher enger und genauer zu erfassen. Um die Qualität und die Funktion auch langfristig zu gewährleisten, sollen ähnlich wie im Straßen- und Betonbau Eignungsprüfungen, Eigenüberwachungsprüfungen und Güteüberwachungen für alle Maßnahmen vorgeschrieben werden, um so eine einwandfrei den Anforderungen entsprechende Herstellung zu gewährleisten. Die beste Dichtung verliert ihren Sinn, wenn sie auch nur eine Schwach- oder Schadstelle hat.

Eine einfache Lösung zur Funktionskontrolle einer Dichtung und zur Beweissicherung auch ohne Vorerkenntnisse bietet zum Beispiel eine doppelte mineralische Dichtung mit zwischengelegter Kontrolldränage. Diese Kontrolldränage kann dabei aus einem Geogitter mit beidseitiger Vliesauflage bestehen (Bild 11).

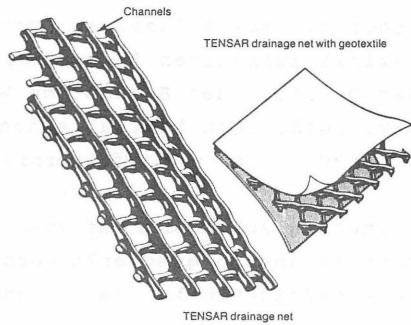
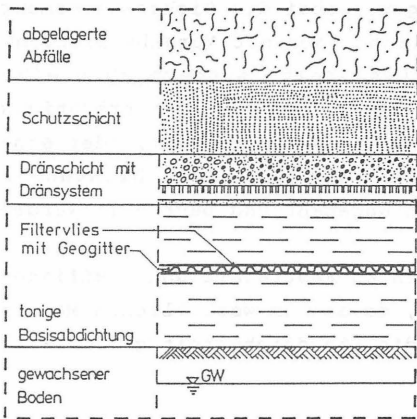


Bild 11: Natürliche Dichtung mit eingelegter Kontrolldränage

Durch dieses System ist eine ständige Überwachung und Kontrolle der Dichtung gegeben und ermöglicht einen raschen und frühzeitigen Eingriff in Schadensfälle.

Um die Herstellung von Dichtungen für Deponien den gewachsenen Erfordernissen und Erkenntnissen des Umweltschutzes anzupassen, wäre die Erarbeitung einer weitergehenden Empfehlung zur Prüfung, Herstellung und Überwachung von Dichtungen für Deponien zu empfehlen. Dabei können die vorliegenden Erfahrungen und Erkenntnisse eine Basis für die weitere Bearbeitung sein.

Schrifttum

- Bundesregierung (1982) : Gesetz über die Beseitigung von Abfällen, Bundesgesetzblatt I, S. 41, Bonn, 1977, letzte Änderung BGBl I, S. 281, Bonn, 1982
- Kezdi (1969) : Handbuch der Bodenmechanik Band 2, VEB Verlag Berlin, 1969
- Länderarbeits-Gemeinschaft Abfall (LAGA) (1979) : Merkblatt M 3: Die geordnete Ablagerung von Abfällen (Deponiemerkblatt, Stand 01.Sept.1979) in Mitteilung der LAGA-2, E. Schmidt Verlag
- Reuter E., (1985) : Eignungsuntersuchungen von natürlichen Dichtungsmaterialien für Deponien. Vortrag Fachseminar "Ablagerung umweltbelastender Stoffe" Feb. 1985, Technische Universität Braunschweig
- Simons H., Sondermann W., Reuter E., (1984a) : Bodenmechanische Probleme bei Deponien und Sanierungsmaßnahmen bei Grundwasserunreinigungen. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band 17, S. 53 - 95, E. Schmidt Verlag, 1984
- Simons H., Reuter E., Sondermann W., (1984b) : Erfahrungsstand bei der Abdichtung von Deponien, Vortrag Baugrundtagung der Deutschen Gesellschaft für Erd- und Grundbau, Düsseldorf, Sept. 1984
- Umweltbundesamt (1982) : Statistik der Abfallbeseitigung 1975 - 1980, 1. Entwurf, Berlin, 1982

Deponieabdichtung

Was ist sicherer als Bewährtes?

MONTIGEL F, der Spezialbentonit
für die horizontale Abdichtung
z. B. in Hahnbusch/NRW,
Hasselburg/Holstein,
Nienburg/Niedersachsen

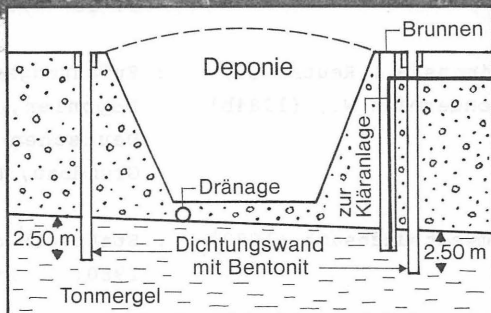
TIXOTON CV 15 für die vertikale
Abdichtung mittels Schmal- und
Dichtungswand z. B. in Köln-Liblar,
Frankfurt-Buchsschlag, Ingelheim

Rufen Sie uns an,
wir beraten Sie gerne.



SÜD - CHEMIE AG

Postfach 2022 40
8000 München 2
Tel.: (0 89) 51 10-0
Telex: 523 821 scmu
Telefax: (0 89) 51 10 375



Sickerwasseremissionen aus Sondermülldeponien

Dr. - Ing. H.-J. Ehrig
Institut für Stadtbauwesen
TU Braunschweig

1. Einleitung

In einer Industriegesellschaft fallen neben dem normalen Hausmüll und haushälterischen Gewerbeabfällen noch eine Reihe anderer Rückstände an, die ordnungsgemäß zu beseitigen sind. Obwohl bei vielen dieser Rückstände eine Wiederverwendung oder anderweitige Behandlung notwendig ist und z.T. bereits durchgeführt wird, kann auch langfristig nicht auf die Ablagerung verzichtet werden. Da derartige Ablagerungen den natürlichen Niederschlägen ausgesetzt sind, muß mit Wasseremissionen gerechnet werden, die entsprechend den abgelagerten Stoffen belastet sind. Allerdings fehlen bisher systematische Untersuchungen über Menge und Zusammensetzung sowie Behandlung dieser Emissionen. Die folgenden Ausführungen können deshalb auch nur stichprobenartige Hinweise sein.

2. Sickerwassermengen

Im Gegensatz zu der Ablagerung von Hausmüll sind generelle Aussagen über die Sickerwassermengen aus Sonderabfalldeponien nicht möglich. Der Grund dafür sind die sehr verschiedenartigen abzulagernden Stoffe, aber auch unterschiedliche Ablagerungs- und Einbautechnologien.

Generell läßt sich feststellen, daß mit zunehmender Abdichtung der Ablagerungsschichten eine Verminderung der Sickerwassermengen zu erwarten ist.

Ein extremes Beispiel für derartige Abdichtung stellt z.B. die Sonderabfalldeponie der Firma Schering im Landkreis Wolfenbüttel dar (Bornholdt, 1982), die als Beton-Tiefbehälter mit Überdachung ausgebildet ist. Wenn eine derartige Deponie gegen den Untergrund dicht ist, sind Sickerwasserabflüsse nicht zu erwarten.

Völlig anders kann es bei hohen Anteilen grobkörniger Produktionsrückstände aussehen (z.B. Schlacken), bei denen ohne Abdeckung der größte Teil des Niederschlagswassers versickert. In derartigen Fällen sind vor allem auch extreme Schwankungen der Abflußwerte zu erwarten.

Von Schmidt (1982) wurden für verschiedene Sonderabfalldeponien Werte von 0,03-0,22 l/s·ha angegeben. Als Vergleich kann man für Hausmülldeponien einen Bemessungswert von im Mittel 0,06 l/s·ha ansetzen, der nach dieser Zusammenstellung nur von 3 Deponien erreicht bzw. unterschritten wurde. Von Beckerath (1983) werden für die Deponie Gallenbach 87% auf 32% des Niederschlages abfallend als Sickerwassermenge angegeben. Berücksichtigt man die gleichzeitigen Abdichtungsmaßnahmen und die Verkleinerung der Einbaufläche, so pendeln sich die Sickerwassermengen auf ca. 50-60% des Niederschlages ein - bei einem mittleren Niederschlag von 832 mm (1977-1981) ca. 0,13-0,16 l/s·ha. Geringere Werte sind nur dann zu erwarten, wenn die Ablagerungsflächen sehr klein gehalten werden und die

einzelnen Schichten mit bindigem Material so abgedeckt werden, daß nicht kontaminiertes Oberflächenwasser getrennt abgeleitet werden kann. In diesen Fällen sind geringere, aber stark schwankende Abflüsse zu erwarten, da bei Regenereignissen bis zu 100% des Niederschlages auf der Dichtung abfließen können. Es ist dann sinnvoll vor der weiteren Behandlung Speicherbecken anzuordnen, die entsprechend den Abflußbeiwerten der Dichtung und den zu erwartenden Niederschlägen zu bemessen sind.

In den überwiegenden Fällen, in denen keine weitgehende Kapselung der Abfälle erfolgt, muß mit erheblich höheren Sickerwasserabflüssen gerechnet werden. Generell kann man sicher von ca. 40-60% des Niederschlages ausgehen, wenn z.B. mit nichtbindigem Material abgedeckt wird und sich das abgelagernde Material ähnlich verhält. Diese Werte können durch bindiges Abdeckmaterial oder wasseraufnehmende Abfallstoffe stark reduziert und bei wassergesättigten bzw. gering wasseraufnehmenden Stoffen noch weiter erhöht werden.

3. Sickerwasserzusammensetzung

Prinzipiell muß bei der Zusammensetzung in noch stärkerem Maße als bei den Mengen darauf hingewiesen werden, daß aufgrund der völlig verschiedenartigen Abfallstoffe auf diesen Deponien die Zusammensetzungen nicht generell angegeben werden können. Eine gewisse Vorabschätzung ist dann möglich, wenn auf einer derartigen Deponie eine begrenzte Anzahl verschiedener Rückstände abgelagert wird, so daß dann aus den ausgelaugten Komponenten gewisse Rückschlüsse auf die Inhaltsstoffe gezogen werden können. In der Regel wird aber auch das auf diesen Deponien abgelagerte Material so heterogen sein, daß Vorabschätzungen sehr schwierig sind. In Tab. 1 sind eigene Messungen und Literaturdaten von Sickerwässern aus Sonderabfalldeponien zusammengestellt, die den riesigen Rahmen der möglichen Wertebereiche deutlich machen. Bei den Diskussionen über Sickerwässer aus Sonderabfalldeponien wird häufig auf die extremen pH-Werte und hohe organische Belastungen hingewiesen. Die vorliegenden Daten zeigen aber, daß in vielen Fällen erhebliche organische Belastungen, z.T. sogar gut biochemisch abbaubar = $BSB_5/CSB > 0,3$, vorhanden sind.

4. Sickerwasserbehandlung

4.1 Generelle Bemerkungen

Wie in den vorangegangenen Abschnitten dargestellt, ist eine Vorabschätzung von Sickerwassermenge und -zusammensetzung praktisch ausgeschlossen. Aber auch während des Betriebes sind beide Größen erheblichen zufälligen Schwankungen unterworfen. Es wird deshalb in vielen Fällen notwendig sein, Speichervolumen zum möglichen Ausgleich dieser Schwankungen vorzuhalten. Um einen derartigen Ausgleich vornehmen zu können, wäre eine Speicherung über 1-2 Wochen notwendig.

Deponie	pH	Cl	CSB	BSB ₅	NH ₄ -N
A	7,8	3040	1825	838	178
A ¹⁾	8,5	16350	5528	897	864
A ¹⁾	7,4	8330	9030	3990	650
B	9,6	11350	25965	14300	772
B ²⁾	7,7	1850	2887	1863	17
B ¹⁾	7,1	1670	3400	1233	122
C	7,7	435	89	4	6
C ²⁾	9,1	184600	71440	14200	3985
C ²⁾	7,9	91200	26400	25300	1116
C ²⁾	7,8	130400	17640	4000	1392
C ²⁾	8,7	165200	63720	13100	2925
D	6,6	10800	35700	20033	1870
E	4,7	6350	-	-	-
E ²⁾	6,7	5650	-	-	-
F ³⁾	10,2	980	24700	6380	175 ⁴⁾

1) anderer Probenahmezeitpunkt
2) anderer Probenschacht
3) aus dem Abfall austretendes Wasser
4) Ammonium + org.N

	A	B	D	E
K	1410	135	445	13,3
Na	950	1500	520	485
Ca	1050	284	482	72,4
Mg	250	123	450	-
Fe	1,4	3,4	15,8	-
Mn	5,0	2,6	36,9	-
Co	0,034	0,053	0,4	2,9
Ni	0,440	0,145	4,82	3,5
Cu	0,032	0,073	0,352	0,2
Zn	0,30	0,53	8,04	
Cd	2,1	4,4	50	
Pb	*	0,049	*	
Cr	0,069	0,299	0,584	20,1
As	0,720	0,480	*	

Cd (µg/l) * nicht bestimmbar
Andere Parameter (mg/l)

Tabelle 1: Analysenwerte von Sickerwässern aus Sondermüll-deponien (eigene Messungen)

Deponie	A	B	C	D	E	F	G	H
Leitf. (mS/m)	175	-	7.320	-	820	-	350	260
pH	9.35	7.93	8.82	6.4	8.9	7.2	11.6	7.6
CSB (mg/l)	35.700	-	-	-	-	-	-	-
BSB ₅	18.900	3.705	40.900	110	180	80	660	50
KW	-	53	95.7	<1	730.1	0.5	5.5	836.2
Abdampf- rückstand	-	35.900	405.000	35.029	30.642	1.485	-	1.960
Cl ⁻	250	15.200	150.980	14.260	10.903	305	800	767
SO ₄ ²⁻	-	3.000	6.560	6.405	988	395	1.750	312
NH ₄ ⁺	180	925	4.930	787	308	0.20	-	18.2
CN ges.	bis 200	<0.1	0.04	1.15	0.07	<0.0005	-	<0.005
Na	-	-	92.560	-	9.280	-	-	380
K	-	-	65.320	-	1.816	-	-	200
Ca	-	-	-	-	24.32	-	-	156.2
Cr	1.6	0.155	<0.01	1.250	-	-	<0.10	0.01
Ni	5.6	0.218	-	0.55	0.28	0.008	0.30	-
Zn	0.45	0.35	37.0	8.3	2.24	-	0.08	0.01
Co	-	0.04	-	0.29	-	<0.01	-	-
Cu	0.2	0.095	<0.01	0.61	8.42	0.016	0.16	0.02
Pb	1.7	0.033	0.02	0.11	0.8	<0.002	0.1	<0.02
Cd	0.01	0.001	<0.01	0.014	0.025	<0.001	0.002	<0.01
Hg	0.005	0.003	<0.001	0.006	-	<0.0002	0.0003	<0.001
V	-	-	-	4.16	-	-	-	-
As	-	0.162	0.01	0.007	-	0.002	-	0.03

nach Schmidt (1982)

	(1) 1977-1981	(2)	(3)	(3)
BSB ₅	2720-4600	8600-24300	780	
TOC	1600-4000			
CSB		9400-28800	1800	30000
Cr ges.	0,2-1		0,35	0,4
Cu	0,3-0,4	-0,07	3,9	0,2
Ni	3,6-5,2		0,3	
Zn	0,4-2,3		198	
Cd	0,1-0,8		8,3	0,05
Fe	2,1-12			
Sn	2,3-44			
Pb	0,6-6,4		0,7	0,35
Cl	15·10 ³ -51·10 ³	10·10 ³ -40·10 ³	870	
Cyanid	-0,1	n.n.	0,14	20
NO ₂	-3		0,255	
Phenol	1-14			0,2
SO ₄	2100-8300	531-1548		
Petroläther extrahierbar	-176			
NH ₄	920-1700	342-1071	10 ¹⁾	
Fluorid	-110,2			
Hq		0,003-0,90	0,11	0,4
KW		1,7-10		
CKW		24,1-333,4		
HCB			17,9	
Lindan			0,73	
Heptachlor			1,11	
Metoxychlor			1,4	
1,2 Dichlorbenzol			13,4	
1,3 Dichlorbenzol			9,8	
α-HCH			7	
(1) Beckerath (1983) (2) Bauer (1983) (3) Rüffer et al. (1982) HCB bis α-HCH in µg/l Andere Werte in mg/l				

Tabelle 1: Analysenwerte von Sickerwässern aus Sondermüll-deponien (Literaturdaten)

Ein anderer Punkt sind die sehr verschiedenen zu behandelnden Inhaltsstoffe, die häufig gegenseitig Behandlungsprozesse stören. Dies führt zu der Forderung, unterschiedliche Abfallstoffe soweit möglich getrennt abzulagern und entwässerungstechnisch zu erfassen. Das Sickerwasser aus diesen Einzelflächen sollte getrennt gesammelt und gespeichert werden und nur dann, wenn gleichartige Behandlungsschritte vorgesehen sind und die Mischung problemlos behandelt werden kann, gemischt werden. Die Trennung der einzelnen Wässer wird um so notwendiger, je höhere Anforderungen an die einzuhaltenden Ablaufwerte gestellt werden.

4.2 Behandlungsverfahren

4.2.1 Allgemeines

Für die Behandlung von Sickerwässern aus Sonderabfalldeponien sind die gleichen Verfahren denkbar wie zur Behandlung der diversen industriellen Abwässer. Probleme treten insbesondere dann auf, wenn durch die Vermischung der Abfälle Sickerwässer produziert werden, deren Inhaltsstoffe die einzelnen Behandlungsschritte möglicherweise gegenseitig negativ beeinflussen. Bei derart komplex zusammengesetzten Abwässern wird man dann notgedrungen auf sehr aufwendige Verfahren zurückgreifen müssen. Andererseits ist es bei Trennung unterschiedlicher Sickerwasserströme denkbar, daß nur ein Teil auf der Deponie behandelt wird und einzelne Ströme zu externen Anlagen abgeführt werden bzw. die Ablagerung auf Stoffe beschränkt wird, deren Sickerwässer in den vorhandenen oder in der Nähe verfügbaren Anlagen zu behandeln sind.

Grundsätzlich sind die folgenden Behandlungsverfahren denkbar:

- Verbrennung
- Eindampfung
- Biochemische Reinigung
- Chemische Oxidation
- Naßoxidation

- Aktivkohleadsorption
- Adsorption an Adsorberharze
- Flockung
- Fällung
- Ultrafiltration
- Umkehrosmose

- Chemische Reduktion
- Ionenaustausch
- Extraktion
- Gasaustausch
- Feststoffabtrennung
- u.a.

Ein genaues Eingehen auf diese Verfahren würde den gegebenen Rahmen völlig sprengen, deshalb werden nur einzelne exemplarisch diskutiert.

Neben der Beurteilung der Leistungsfähigkeit ist aber vor allem auch die Art der Reststoffe dieser Behandlungen von entscheidender Bedeutung. Dabei sind folgende generelle Unterscheidungen zu treffen:

- a) Umwandlung der Stoffe in unproblematische Restprodukte.
Z.B.: Umsetzung organischer Stoffe in CO_2 und Wasser bei biochemischer Behandlung.
- b) Fixierung der Stoffe in fester Form.
Z.B.: Fällung - Feststoffabtrennung - Entwässerung.
- c) Auftrennung in einen Reinwasser- und Konzentratstrom.
Z.B.: durch Umkehrosmose.

Daneben sind noch eine Reihe von Zwischenstufen möglich. Grundsätzlich erfolgt die Reihenfolge von a) nach b), da der Zerstörung von Schadstoffen der Vorzug vor anderen Verfahren gegeben werden sollte. Die Lösung c), die ein hochbelastetes

Endprodukt liefert, kann nur in Ausnahmefällen die Lösung sein, außer als Vorstufe für andere Behandlungsprozesse.

4.2.2 Verbrennen

Die Verbrennung von problematischen Sickerwässern erscheint häufig als Ultima ratio, da nur noch feste oder gasförmige Rückstände verbleiben. Aber gerade Stoffe, die in Form der beiden genannten Aggregatzustände in Rauchgas enthalten sind, können erhebliche Probleme bei der Rauchgasbehandlung hervorrufen (Ehrig, 1982). Zusätzlich sind nach einer flüssigen Rauchgasbehandlung neue Behandlungsprobleme zu erwarten.

Eine Verbrennungsanlage wird aber in der Regel nicht auf der Deponie installiert werden, d.h. das Sickerwasser muß transportiert werden. Dazu kann ein vorhergehender Aufkonzentrierungsschritt notwendig werden.

4.2.3 Eindampfung

An der Sondermüllbeseitigungsanlage Ebenhausen wurden umfangreiche Untersuchungen zur Eindampfung von Sonderabfällen durchgeführt (Leonhard, 1982). Bei diesen Versuchen wurde auch das Sickerwasser der Sondermülldeponie Gallenbach eingesetzt.

Dabei wurden saure und alkalische Destillationen sowie Kombinationen aus beiden gefahren. Die Kombination mit saurer Destillation in der 1. und alkalischer Destillation in der 2. Stufe erbrachte die besten Eliminationsleistungen:

Zulauf : ca. 8000 mg CSB/l

Destillat: 161-509 mg CSB/l

Zulauf : ca. 16 mg Phenol/l

Destillat: 3,1 mg Phenol/l

Rest ca. 5% des Sickerwassers

Die Abläufe ließen sich noch biochemisch weiter behandeln. Allerdings wurden über die erzielten Ergebnisse keine Angaben gemacht. Bei dem Eindampfvorgang traten keine besonderen

Probleme auf. Entsprechende Versuche von Rautenbach (1982) mit Sickerwasser führten dagegen zu erheblichen Verkrustungsproblemen. Es muß allerdings auch festgestellt werden, daß die CSB-Ablaufwerte von bis zu 500 mg/l über den Werten liegen, die für viele Sickerwässer aus Hausmülldeponien als Grenzwerte festgelegt sind.

4.2.4 Biochemische Behandlung

Auch bei Sickerwässern aus Sonderabfalldeponien ist in vielen Fällen die biochemische Behandlung eine wirkungsvolle und kostengünstige Behandlungsmethode. Auch wenn nachfolgend noch andere Prozeßschritte notwendig sind, kann eine biochemische Reinigung diese wesentlich entlasten bzw. überhaupt erst ermöglichen. Da man den produzierten Belebtschlamm in der Regel entwässert auf der Deponie mit ablagern wird, scheidet die biochemische Behandlung nur aus, wenn die Eliminationsleistungen zu gering sind oder durch toxisch wirkende Inhaltsstoffe behindert wird. Eigene Versuche mit derartigen Sickerwässern (Tab. 1-A und F) haben hervorragende Eliminationsraten erbracht. Die CSB-Ablaufwerte liegen dann immer noch im Bereich von ca. 600-3000 mg/l, aber die weiteren Schritte sind wesentlich problemloser durchzuführen.

Probleme wirft die biochemische Reinigung bei hohen Salzkonzentrationen (Tab. 1-C) auf. Die Masse anderer Behandlungsverfahren wird aber durch die gleichzeitigen hohen organischen Belastungen stark behindert bzw. völlig unmöglich gemacht. In einem derartigen Fall kann eventuell sogar eine Verdünnung anwendbar sein.

4.2.5 Andere Verfahren

Die anderen Verfahren sind in der Regel auf besondere Inhaltsstoffe abgestimmt.

Chemische Oxidation: Oxidierung biochemisch schwer oder nicht abbaubarer Verbindungen. Eventuell als Vorbehandlung vor einer biochemischen Reinigung. Für leicht abbaubare Verbindungen in diesem Wasser ist eine biochemische Vorbehandlung sinnvoll, da sonst der Oxidationsmittelbedarf zu hoch ist.

NaBoxidation: Korrosionsprobleme.

Aktivkohleabsorption und Adsorption an Adsorberharze: Entfernung von organischen Stoffen, vor allem im Bereich geringer Konzentrationen und biologisch nicht oder schwer abbaubarer Art. Andere Inhaltsstoffe, vor allem organische, sollten vorher eliminiert werden, da sie die zu adsorbierenden Stoffe wieder verdrängen können bzw. Adsorberharze unbrauchbar machen. Bei der Regeneration von Adsorberharzen fällt ein hochbelastetes Konzentrat an, das zu beseitigen ist.

Flockung und Fällung: Durch Fällung können vor allem Metalle entfernt werden. Aber auch dabei stören hohe organische Belastungen. Dagegen können großmolekulare organische Verbindungen effektiv durch Flockung entfernt werden.

Ultratfiltration und Umkehrosmose: Beide Verfahren sind Trennungsprozesse, die ein relativ reines Permeat und ein hochbelastetes Konzentrat erzeugen. Es bleibt dann immer ein Konzentratstrom von geringerer Menge (evtl. 20-30%) der zu entsorgen ist.

5. Zusammenfassung

Es wird hier die Menge und Zusammensetzung sowie mögliche Behandlung von Sickerwasser aus Ablagerungen mit anderen Abfällen als Hausmüll oder hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen diskutiert. Aufgrund der Heterogenität der Abfälle und der

unterschiedlichsten Ablagerungstechniken sind die Differenzen so groß, daß generelle Aussagen nicht möglich sind.

Die Menge kann z.B. durch Überdachung oder bindige Abdeckung auf 0 l/s·ha bzw. nahe daran gedrückt werden. In vielen Fällen sind aber recht hohe Werte von 50-60% des Niederschlages, bei grobkörniger Oberfläche auch noch darüber zu erwarten.

In der Tab. 1 sind beispielhaft einige Analysen derartiger Sickerwässer zusammengestellt, die den riesigen Schwankungsbereich deutlich machen. Festzuhalten sind vor allem die häufigen hohen organischen Belastungen dieser Sickerwässer. Neben den organischen Summenparametern wären bei vielen Sickerwässern Analysen auf organische Einzelkomponenten sinnvoll, da daraus Rückschlüsse auf notwendige Behandlungsmaßnahmen gezogen werden können. Die Konzentrationen der Schwermetalle schwanken ebenfalls in einem weiten Bereich. Da derartige Schwankungen auch während des Betriebes auftreten, muß die Behandlung sehr flexibel ausgelegt werden. Um gegenseitige Betriebsstörungen durch die Inhaltsstoffe zu vermindern, sind die Ablagerungen verschiedener Stoffe, soweit möglich, zu trennen. In der Regel wird man bei derartigen Abwässern eine Kombination aus mehreren der im folgenden zusammengestellten Verfahren anwenden müssen.

- Verbrennung
- Eindampfung
- Biochemische Reinigung
- Chemische Oxidation
- Naßoxidation
- Aktivkohleadsorption
- Adsorption an Adsorberharze
- Flockung
- Fällung
- Ultrafiltration
- Umkehrosmose

- Chemische Reduktion
- Ionenaustausch
- Extraktion
- Gasaustausch
- Feststoffabtrennung
- u.a.

Die Möglichkeiten einzelner dieser Verfahren wurden kurz diskutiert. Bei derartigen Abwässern müssen die Lösungen aber direkt auf den Einzelfall zugeschnitten werden. In sehr vielen Fällen wird die Planung nur nach Vorversuchen durchführbar sein.

Vergleicht man die Sickerwässer aus Haus- und Sondermülldeponien im Hinblick auf Art und Behandlung, so muß die häufig durchgeführte Einleitung in kommunale Kläranlagen als völlig unzureichend abgelehnt werden.

6. Literatur

Bauer, I., Die Ablagerung von Industriemüll, Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen des Instituts für Bauingenieurwesen V, TU München, Heft 43, S. 195, 1983

Beckerath, K. von, Die Ablagerung von Sondermüll auf der Deponie Gallenbach, Berichte aus Wassergütewirtschaft und Gesundheitsingenieurwesen des Instituts für Bauingenieurwesen V, TU München, Heft 43, S. 161, 1983

Bormholdt, A., Cord-Landwehr, K., Sonderformen der Sonderabfallbeseitigung - Ablagerung in Beton-Tiefbehältern, Fortschritte der Deponietechnik, S. 129, 1982

Ehrig, H.-J., Aspekte der Verdampfung von Sickerwasser aus Mülldeponien mit Hilfe von Deponiegas, Müll und Abfall, S. 314, 1982

Leonhard, K., Eindampfung von Sickerwasser einer Sonderabfalldeponie, Fortschritte der Deponietechnik, S. 267, 1982

Rautenbach, R., Die Aufarbeitung von krustenbildenden Abwässern - Verfahrensmöglichkeiten und Bewertung, Seminar "Aufarbeitung hochbelasteter, krustenbildender Abwässer", 25.1.1982, Technische Akademie Wuppertal

Rüffer, H., Slomka, T., Behandlungs- und Beseitigungsmöglichkeiten bei besonders belastetem Sickerwasser, Fortschritte der Deponietechnik, ". 223, 1982

Schmidt, W., Praxisbeispiele und -probleme der Sickerwasserbeseitigung bei Sonderabfalldeponien, Fortschritte der Deponietechnik, S. 243, 1982

Möglichkeiten der Überwachung von Mülldeponien

Dr.-Ing. Peschel
Umweltbehörde Hamburg

1. Grundsätze der Überwachung

Die Möglichkeiten Abfallablagerungen zu überwachen, haben sich aus der Sicht der Behörde an dem Maß der von solchen Standorten ausgehenden Gefahren oder Beeinträchtigungen des Wohls der Allgemeinheit zu orientieren. Die Behörde führt diese Aufgabe nicht zum Selbstzweck durch, sondern hat die Wirksamkeit bestehender Umweltschutzmaßnahmen zu bestätigen oder aber aus der Überwachung heraus den Betreiber/Eigentümer zu Maßnahmen zu verpflichten, welche die aufgetretenen Umweltbeeinträchtigungen aufheben oder zumindest minimieren. Welchen Maßstab sie dabei anlegen soll, ist z.Z. weitgehend offen, d.h. bleibt der Einzelfallentscheidung vorbehalten. Art und Umfang der Überwachung könnten aber im Rahmen der geplanten TA Abfall näher konkretisiert werden. Diese Chance einer bundeseinheitlichen Regelung sollte genutzt werden. Es ist wichtig, über die reine Möglichkeit hochentwickelter Überwachungskonzepte hinaus zu einem solchen Niveau zurückzufinden, auf dem Aussagekraft behördlicher Kontrolltätigkeit noch in Einklang zu bringen ist mit dem dafür erforderlichen Aufwand. Das Prinzip der Verhältnismäßigkeit ist auch im Bereich der Abfallbeseitigung ein Grundgebot jeglichen Verwaltungshandelns. Selbstverständlich verhält es sich anders bei

Tatbeständen, die wegen ihrer Einmaligkeit und Umweltgefährdung neue Maßstäbe setzen. Hierüber wird noch im folgenden berichtet. Es handelt sich dann allerdings mehr um Grundlagenuntersuchungen/-forschungen, die weder bei der Vollzugsbehörde angesiedelt noch gegenüber dem Betreiber mit einer vollziehbaren Auflage durchgesetzt werden können.

Ein einfaches Beispiel mag veranschaulichen, wie sich Anforderungen an die Überwachung ohne einen solchen Bezug zur Realität entwickeln und verselbständigen können. Es ist Stand der Deponietechnik, daß durch Nebenbestimmungen im Genehmigungsbescheid die zum Stauben oder zur Geruchsfreisetzung neigenden Abfälle von einer Annahme auf der Deponie ausgeschlossen oder durch spezielle Auflagen zur Betriebsführung in ihrer Umweltbeeinträchtigung entscheidend eingeschränkt werden. Die zuständige Behörde hat den Anlagenbetreiber entsprechend zu überprüfen.

Sie hat ebenfalls die schon lange dem Stand der Deponietechnik entsprechenden Anforderungen, wie etwa das arbeitstägliche Abdecken und grundsätzliche Maßnahmen gegen Staubbefreiungen im Deponiebetrieb zu überwachen.

Geht man deshalb von einer ordnungsgemäßen Betriebsführung aus, so wären Luftschadstoffmessungen (Gas, Staub), Boden-, Pflanzen-, bzw. allgemeine Bioindikator-Untersuchungen in der Deponieumgebung nur im o.a. Ausnahmefall einmal erforderlich. Sie sollten aber nicht wegen ihrer prinzipiellen Möglichkeit zum notwendigen Umfang einer Deponieüberwachung erklärt werden, d.h. z.B. auch nicht einen derartigen Stellenwert in der TA Abfall erhalten. Das Defizit beim Anlagenbetrieb und/oder in der behördlichen Aufsicht würde sonst lediglich vertuscht durch weitere aufwendige Untersuchungen. Umweltbeeinträchtigungen sind aber primär beim Verursacher zu bekämpfen, d.h. Emissionen sind zu verhindern und nicht durch Immissionsmessungen erst langwierig nachzuweisen.

Die Überwachungsbehörde ist im übrigen in ihrem Handeln auf rechtliche Rahmenbedingungen fixiert, hier Bundes- und Lan-

desgesetz sowie Verordnungen zur Abfallbeseitigung. Dabei ergibt sich eine wichtige Unterscheidung danach, ob die betrachtete Deponie seit Inkrafttreten des Abfallbeseitigungsgesetzes (AbfG) irgendwann betrieben wurde/jetzt noch wird oder ob sie bereits vorher stillgelegt wurde.

Nach den §§ 8, 9, 10 AbfG können im ersten Fall die jeweiligen Inhaber der Anlage von der zuständigen Behörde zu Überwachungsmaßnahmen veranlaßt werden. Diese liegen in Form von Nebenbestimmungen im Bescheid oder als nachträgliche Anordnungen vor und regeln den Bereich der Eigenüberwachung des Betreibers. Im Gegensatz dazu steht die von der zuständigen Überwachungsbehörde wahrgenommene sogenannte hoheitliche Überwachung. Sie ist je nach Umfang der für den Deponiebetreiber vorgeschriebenen Kontrollaufgaben unterschiedlich weit gefaßt. Die Summe beider Aktivitäten spiegelt das für einen effektiven Umweltschutz erforderliche Überwachungskonzept der Anlage wieder.

Nach § 11 (1) Satz 2 AbfG ist die Überwachung und die daraus abzuleitende Sanierung der vor 1972 stillgelegten Deponien unbestimmt geregelt. Die Ländergesetze greifen dieses Problem unterschiedlich auf. Überwiegend kann oder soll die öffentliche Hand überwachen und sanieren, wobei auf die Möglichkeit einer Verpflichtung Dritter besonders hingewiesen wird (Kostenabwälzung!). Letzteres ist beliebig schwierig und führt im Falle früherer Deponiebetreiber als Handlungsstörer mangels "Masse" heute nur selten zum Erfolg. Der Rückgriff auf den Grundstückseigentümer als Zustandsstörer ist rechtlich noch nicht eindeutig gesichert. Die Überwachungsbehörde muß deshalb davon ausgehen, daß neben einer aufwendigen Untersuchung zur Klärung des Gefährdungspotentials auch eine vorgesehene Sanierung aus Haushaltsmitteln bestritten werden muß. Die sachliche Notwendigkeit ergibt sich daraus, daß über viele Jahre der überwiegende Teil der kritischen Sonderabfälle unsachgemäß in Deponien abgelagert wurde.

Eine Einführung in diesen besonders öffentlichkeitswirksamen Bereich der Abfallbeseitigung gibt die Informationsschrift zu

Altablagerungen der LAGA aus dem Jahre 1982. Gerade ihre Fallsammlung zeigt den breiten Querschnitt von Maßnahmen, die sinnvoll sein können. Die Schrift stellt dabei grundsätzlich fest, daß sich durch übereilte Eingriffe oft hohe, unvertretbare Kosten ergeben und darüber hinaus evtl. sogar Sanierungsmaßnahmen wirkungslos bleiben.

Auch können durch unüberlegtes Aufgraben neue Gefahren entstehen und im Falle eines geplanten Umlagerens trotz sicherlich umweltgerechterer Randbedingungen Engpässe in der Sonderabfallbeseitigung auftreten.

Im Vorfeld der Erkundungsmaßnahmen vor Ort hat die Überwachungsbehörde "aktenmäßig" das jeweilige Objekt aufzuarbeiten. Dies reicht hin bis zum intensiven Befragen von potentiellen Abfallerzeugern und Transporteuren, von Anwohnern und Dienststellen. Akten, soweit verfügbar, sind insbesondere auf Hinweise auf bestimmte, für kritische Sonderabfälle bekannte Branchen oder Produktprozesse zu durchleuchten. Parallel hierzu ist zu prüfen, inwieweit fiktiv angenommene Schadstoffgehalte der Deponie tatsächlich Umweltbeeinträchtigungen im Sinne einer schädlichen Beeinflussung ihres Umfeldes hervorrufen können.

Die Überwachung als auslösendes Element dieser Aktivitäten hat deshalb insbesondere festzustellen, wo tatsächlich ein rascher Handlungsbedarf besteht, wo also ggf. Gefahr im Verzuge ist. So ist z.B. bei schon vorhandener oder sehr nahegegrückter Bebauung alter Deponien unbedingt zu prüfen, ob in unterirdische Bauteile (Kellerräume) Gas eindringen kann. Solche Gassondierungen und ausreichend sensitive Analysen vor Ort sind relativ leicht durchführbar.

Spezielle Schadgase wie leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe werden heute bereits vielfach mit Gassonden als Bestandteil der Bodenluft gemessen. Auf diesem Wege können Ablagerungen, aber auch kontaminierte Betriebsflächen oder Grundwasserverunreinigungen nachgewiesen werden. Die aufwendige Gewinnung von Bodenkernen kann auf diese Weise stark eingeschränkt werden.

Ähnlich verhält es sich bei der Frage einer möglichen Verunreinigung von Wassergewinnungsanlagen. Vor allem privat genutzte, selten untersuchte Brunnen könnten in ein Probenahmeprogramm mit aufgenommen werden.

Spätestens bei diesen Fragestellungen hat die Überwachungsbehörde andere Ämter, z.B. solche mit geologischem/hydrogeologischem Sachverstand einzuschalten. So könnte vorab untersucht werden, inwieweit Deponiegas in sandigen oder klüftigen Formationen oberhalb des Grundwassers überhaupt seitlich abwandern kann und in welcher Richtung und Tiefe das Grundwasser abströmt.

2. Beispiel einer Altablagerung: Deponie Georgswerder

In einem weiteren Vortrag dieses Fachseminars war die Deponie Georgswerder mit Einzelheiten zum Standort sowie zu aufwendigen Sanierungsüberlegungen bereits vorgestellt worden. Die Überwachung einer Deponie muß sich bei der Auswahl der zu untersuchenden und damit zu überwachenden Transportpfade ebenfalls daran orientieren, von welchen Schadstoffen ausgegangen werden muß.

In manchen Austrittsstellen der Deponie waren in der Sickerflüssigkeit, genauer gesagt, in der abscheidbaren Ölphase, u.a. Dioxinen 2, 3, 7, 8-TCDD (im folgenden nur: TCDD), in für dieses Ultragift nennenswerten Konzentrationen entdeckt worden. Da dieses Öl offen austrat, war durch Hangwasserzuflüsse und Abtrocknungsphasen nicht auszuschließen, daß ölbehaftete Stäube/Aerosole entstehen, die einen Schadstofftransport aus dem Deponiebereich heraus ermöglichen. Auch könnten aus der Ölphase andere darin enthaltene toxische Chlorkohlenwasserstoffe entweichen. Die dafür aufgestellten Meßprogramme sind jedoch schon von der Probenahme her so kompliziert, daß mit raschen Ergebnissen nicht zu rechnen war. Deshalb wurde für eine Abschätzung einer diesbezüglichen Gefahr, insbesondere für die Beschäftigten auf der Deponie, Bodestaub aus der Nähe von Ölaustrittsstellen gesammelt und auf Dioxine untersucht.

Die Ergebnisse waren glücklicherweise ebenso negativ wie die entsprechenden Untersuchungen des an verschiedenen Stellen gefaßten Deponiegases. (Das Ausmaß der diffusen Austrittsstellen für Sickerflüssigkeiten war im Frühjahr durch eine Befliegung ermittelt worden, die eine Verteilung der Oberflächentemperatur der Deponie lieferte.) Obwohl also gasförmiges und partikelgebundenes TCDD durch die "Grobmessungen" praktisch auszuschließen waren, werden die o.a. Gas- und Staubbimmissionsmessungen dennoch durchgeführt, um absolut sichere Aussagen über eine mögliche Umgebungskontamination mit diesem Ultragift zu gewinnen. Zweifellos geht das Ausmaß dieser Überwachungsmaßnahmen über das hinaus, was von der Behörde normalerweise gegenüber einem Betreiber gefordert und durchgesetzt werden könnte. Da in diesem Falle jedoch die Stadt Hamburg selbst der ehemalige Deponiebetreiber ist, konnten die o.a. Messungen als Grundsatzuntersuchungen vertreten werden.

Die Überwachung mußte weiterhin sicherstellen, daß in nahegelegenen Kleingärten keine Böden mit TCDD kontaminiert waren. Hierbei war zu berücksichtigen, daß beim ehemaligen Antransport der hochtoxischen Sonderabfälle und bei ihrer unsachgemäßen Ablagerung in längere Zeit offenen Flüssigkeitsbecken wesentlich höhere Schadstoffemissionen aufgetreten waren. Die so durch Staubbiederschläge hervorgerufenen Bodenbelastungen können bei sehr langsamen "Abbau", der z.T. nur als Ausgasung oder Auswaschung auftritt und zur Schadstoffverlagerung führt, durchaus jetzt noch auf solche "Altschäden" zurückgeführt werden, müssen also nicht heutige Emissionen widerspiegeln.

In den sechs Bodenproben, die aus Kleingärten der unmittelbaren Nachbarschaft der Deponie Georgswerder gezogen wurden, konnte TCDD nur im ausgesprochenen Spurenbereich, das 2, 3, 7, 8-Isomere bei 5 ng/kg als Nachweisgrenze nicht mehr nachgewiesen werden. Dieser Wert entspricht im übrigen Grenzwertempfehlungen amerikanischer Experten für landwirtschaftlich genutzte Böden.

Das ölhaltige Sickerwasser der Deponie wird nach der Passage eines Leichtstoffabscheiders z.Z. in die Schmutzwasserkanalisation eingeleitet. Eine Kontamination der Kläranlage/des Klärschlammes mit TCDD sollte in jedem Falle ausgeschlossen bleiben. Von der Überwachung wurde dies dadurch sichergestellt, daß in regelmäßigen Abständen das Sickerwasser auf den rasch bestimmbaren Parameter "Kohlenwasserstoffe" untersucht wurde. Solange dieser nur im Spurenbereich von einigen mg/l liegt, konnte bereits rechnerisch die Aussage "TCDD nicht nachweisbar" getroffen werden.

Eine generelle Anreicherung von Schadstoffen im Sediment eines Gewässers im Vergleich zu dessen Wasserkörper ist bekannt und wurde zum Nachweis evtl. früherer massiver Kontaminationen und/oder einer sehr langsamen Anreicherung aus einer Wasserphase heraus verwendet, in der dieses Ultragift in nicht mehr nachweisbarer Konzentration vorliegt (indirekter Nachweis). In umliegenden Teichen und Entwässerungsgräben wurden über 20 Sedimentproben gezogen. Erst nach Steigerung der Nachweisgrenze auf unter 10 ng/kg TS waren vereinzelt Nachweise auf TCDD möglich. Maßnahmen zum Gewässerschutz mußten daraus nicht entwickelt werden.

In ähnlicher Form können mit dem Grundwasser transportierte Schadstoffe an der Oberfläche des Grundwasserleiters adsorptiv gebunden werden und sich dort anreichern. Bevor jedoch durch aufwendige Kernbohrungen entsprechendes Probematerial zur Verfügung steht, könnten andere Wege beschritten werden. So ist es denkbar, zum Nachweis bisher unerkannter Spuren von hochtoxischen Substanzen im Grundwasser hochadsorptives Material in Beobachtungsbrunnen gezielt einzubringen und nach bestimmten Aufenthaltszeiten wieder zu entnehmen.

Um Schadstoffwirkungen zu ermitteln, können geeignete Bioindikatoren (Pflanzen und Tiere) untersucht werden. Eine solche Überwachungsmethode ist häufig sehr empfindlich und gibt den integralen Einfluß verschiedener Einwirkungen wieder.

Zwei Gemüsesorten, Wintersalat und Porree, wurden in benachbarten Kleingärten nach der Überwinterung beprobt. TCDD konnte

bei einer Nachweisgrenze von 0,5 ng/kg nicht gefunden werden, ebenso wie in den im Sommer geernteten Möhren.

In einer ersten Untersuchungsphase wurden verschiedene Tiere auf TCDD untersucht, ohne damit ein eigentliches Bioindikatoren-Meßprogramm zu starten.

Während in zwei Karpfen, einer Brasse, zwei Enten, einem Fasan, einem Hasen, einem Wildkaninchen und der Leber einer Bisamratte kein TCDD nachgewiesen werden konnte (NG mit 25 ng/kg zum Teil sehr hoch), waren die Nachweise in den Lebern zweier weiterer Kaninchen und der eines Hechtes positiv. Der höhere Wert in der Fischleber mit 11 ng/kg liegt aber noch deutlich unter dem Verzehr-Richtwert von 25 ng/kg in den USA.

Über ein weiteres Jahr hinweg sollen Vögel und Haarwild auf eine Belastung mit Dioxinen untersucht werden.

Aufgrund von Literaturhinweisen wird systematisch bei Kleinsäugetern (Mäuse) geprüft, in welchem Ausmaß sich Dioxine und andere Organohalogen-Verbindungen in der Leber als einem Anreicherungsorgan wiederfinden lassen. Dieses Sonderprogramm ist 1984 angelaufen und wird 1985 fortgesetzt. Da Mäuse Glieder einer Nahrungskette sind, ist das Untersuchungsprogramm geeignet, festzustellen, ob nennenswerte Mengen TCDD auf diesem Wege in die Umwelt gelangen könnten. Außerdem soll ermittelt werden, ob Mäuse als weitgehend standorttreue Kleinsäuger als eine Art Überwachungsinstrument betrachtet werden können. Nicht zu große Flächen könnten bezüglich Boden (Wirkung auf Pflanzen und Wasser) und Bodenluft besser als nur punktuell wie bei einer Sondierung integral bewertet werden. Eines der ersten Ergebnisse liegt in der Aussagen, das γ -HCH und Pentachlorphenol - im Gegensatz zu Dioxinen und Furanen - aufgrund ihrer ubiquitären Verbreitung Belastungsschwerpunkte durch entsprechende Abfallablagerungen kaum erkennen lassen. Zweifellos nähert sich hier die Überwachungsaktivität der Grundlagenforschung.

Für die durchgeführten Untersuchungen an bodenschlüpfenden Insekten, auf dem Boden lebenden Kleintieren sowie von Regenwürmern gilt dies in besonderem Maße.

3. Überwachung betriebener Deponien

Neben einzelnen anfangs beschriebenen Grundsätzen der Überwachung der Betriebsführung sollte auf folgendes hingewiesen werden:

Vom Deponiebetreiber kann nicht erwartet werden, daß er mittels seiner Eingangskontrolle mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit nur die ihm per Analyse/ggf. Probe angekündigten und mit seiner internen Anlieferungsbestätigung versehenen Abfälle annimmt. Seine Überwachung muß aus praktikablen Gründen in ihrem Umfang beschränkt sein. Nur wenige, vorher als kennzeichnend herausgestellte Merkmale können kurzfristig überprüft werden: Konsistenz, Homogenität, Dichte, Farbe, Geruch, einige im wässrigen Eluat gelöste Salz usw.

Schnellanalysen können prinzipiell nur wenige Parameter erfassen, wo hingegen Rückstellproben mit periodischen gründlichen Untersuchungen geeignet sind, die Sicherheit für Betreiber und Überwachungsbehörde wesentlich zu erhöhen. Es ist darüberhinaus aber sehr wichtig, daß Annahme-, Einweisungs- und Einbaupersonal geschult sind und Erfahrung in der "Ansprache" von Abfällen besitzen. Sie sollten die Kunden weitgehend kennen. Im Zusammenwirken mit einer Überwachungsbehörde, die ihr Kontrollfeld insbesondere beim Abfallerzeuger sieht, kann daraus ein ausreichend dichtes Sicherungsnetz für die Deponieeingangskontrolle werden.

Eine branchenmäßige Betrachtung der Abfallerzeuger und das genaue Ermitteln des Produktionsschrittes, in dem der Abfall anfällt, muß schließlich die Behörde in die Lage versetzen, bereits am Entstehungsort und bei der Bereitstellung einen entscheidenden Beitrag für die spätere Kontrolle der Abfallbeseitigung in Deponien zu leisten.

In diesem Sinne sind alle Zwischenlagerungen, die mit Vermischungsvorgängen arbeiten, als problematisch anzusehen. Dies gilt nicht, wenn auf diesem Wege wiederum klar beschreibbare und identifizierbare Abfälle geschaffen werden und das Zwischenlager als neuer Abfallerzeuger operiert.

Sollte über die TA Abfall der Umfang vorbehandelter Abfälle auf der Deponie stark ansteigen, müßten sicherlich andersartige Prüfvorschriften bei der Behandlungsanlage wie auch der Deponie entwickelt werden.

Zukünftig sollte der angebliche Sicherheitsaspekt einer örtlich genauen Lagebeschreibung einzelner Abfallpartien in der Deponie aufgegeben werden. Einmal stellt sich die Frage, ob damit nicht die unvollständige Prüfung der Ablagerungsfähigkeit eingestanden wird. Zum anderen muß das Schlagwort der sogenannten "Rückholbarkeit" ("Reparierbarkeit") als äußerst kritisch angesehen werden. In Wirklichkeit täuscht man vor, damit den einzelnen Abfall auf Dauer unter Kontrolle zu haben. Eine Ablagerung bestimmter Abfallarten in besonderen Deponieabschnitten ist auch aufgrund unterdrückter negativer Wechselwirkungen in dieser Hinsicht der bessere Weg.

Die Überwachung der Betriebstechnik der Deponie -u.a. Aufbau und Abdeckung, Gas- und Sickerwasser- /Oberflächenwasserfassung - wird in Merkblättern zur Abfallbeseitigung ausführlich dargestellt. Sie soll an dieser Stelle nicht im einzelnen wiedergegeben werden.

Die Vollzugsbehörden hoffen, der TA Abfall nicht nur ausreichende Angaben zum Stand der Deponietechnik sondern auch zu Art und Umfang der Überwachung dieser in der Abfallbeseitigung unentbehrlichen Einrichtung entnehmen zu können.

Beurteilung von Sondermüll hinsichtlich Deponierbarkeit

Dr. J.-D. Herbell

Gesellschaft zur Beseitigung von Sondermüll in Bayern mbH

1. Kriterien zur Beurteilung von Abfällen

Die wesentlichen Kriterien zur Beurteilung von Abfällen im Hinblick auf ihre Ablagerung, nämlich

- Auswirkung auf Menge und Zusammensetzung des Deponie-Abwassers (Oberflächenwasser und Sickerwasser)
- Entwicklung von Staub und Geruch
- Reaktionsverhalten nach Ablagerung
- Gasbildung (anaerobe Prozesse)
- Auswirkungen auf Standfestigkeit des Deponiekörpers und dessen Befahrbarkeit
- Auswirkungen auf Basisdichtung und Drainagesystem

sind im Hinblick auf die infrage kommende Deponie zu bewerten.

Auf Sondermülldeponien gibt es bei bestimmungsgemäßem Betrieb und sorgfältiger Eingangskontrolle keine chemischen Reaktionen, insbesondere keine Gasentwicklung.

Maßgebliche Emissionen von Sondermülldeponien sind ihre Abwässer, insbesondere das Sickerwasser. Dies soll am Beispiel der Sondermülldeponie Gallenbach näher erläutert werden.

2. Die Sondermülldeponie Gallenbach

Fläche: 17 ha; Hangdeponie
Volumen: 1,4 Mio m³; 4 Bauabschnitte
Untergrund: 8-18 m natürliche Ton-Lehm-Schicht in
10-20 m Tiefe
Abdichtung: Auf Deponiesohle und an den Dämmen 1 m
künstliche Lehmschicht, $K = 10^{-9}$ m/s
Drainagesystem: getrennte Sickerwasser- und Oberflächenwas-
sererfassung
Sammlung in Beton- bzw. folienbeschichteten
Erdbecken
Mengenaufkommen: 80 000 - 100 000 t/a
Kosten: DM 64,-/t bis 195,-/t

Zugelassene Abfallarten:

- Verbrennungsrückstände
- entgiftete, neutralisierte und stichfest entwässerte Rück-
stände aus chemisch-physikalischer Vorbehandlung
- Ölverunreinigtes Erdreich
- vorbehandelte produktionsspezifische Abfälle

Kein Negativkatalog, stattdessen auf den Einzelfall bezogenes
Genehmigungsverfahren auf der Basis der Eluatanalyse nach
DEV S4.

Routinemäßige Eingangskontrolle.

3. Sickerwasserqualität und -behandlung

Die gefaßten Sickerwassermengen und die entsprechenden Nie-
derschläge für die Sondermülldeponie Gallenbach sind in Ta-
belle 1 und 2 aufgeführt.

Eine Aufstellung der durchschnittlichen Analysenergebnisse
ist der Tabelle 3 zu entnehmen.

Eine statistische Auswertung der chemischen Analysen und ein
Vergleich mit dem ATV-Arbeitsblatt A 115 zeigt die Tabelle 4.

		1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
G S B Deponie Gallenbach	Januar	400	1155	917	742	542	743	812	1277	1514		
	Februar	100	2037	953	1722	722	709	526	934	1641		
	März	100	675	1832	900	586	597	1001	1175	1023		
	April	150	970	560	1177	971	560	748	1599	1285		
	Mai	300	580	2284	628	541	696	695	1354	980		
	Juni	600	1912	1670	2336	641	363	1414	1083	1463		
	Juli	1542	1108	1044	1077	672	947	1017	755	1235		
	August	542	1950	1111	842	728	961	911	1754	1093		
	September	700	1568	560	930	707	908	1041	1292	2550		
	Oktober	137	703	1164	578	907	857	1387	1018	1517		
	November	1107	1501	484	665	700	737	1073	986	1314		
	Dezember	964	953	699	437	502	1040	1658	1148	1318		
Sickerwasser zulauf m ³ im Monat		6800	15057	13278	12024	8219	9118	12283	14375	16935		

Tabelle 1: Sickerwasserzulauf in m³/Monat für die Deponie
Gallenbach

		1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986
G S B Deponie Gallenbach	Januar		24.9	26.1	54.3	37.7	34.7	52.1	48.8	54.2		
	Februar		79.3	40.6	39.9	43.7	26.0	27.5	34.5	47.0		
	März		26.3	44.5	63.8	25.6	30.2	18.8	35.8	9.3		
	April	108.3	53.3	27.0	65.2	108.3	10.9	26.1	84.9	23.6		
	Mai	53.2	23.7	144.5	36.2	43.3	105.1	39.6	88.8	55.6		
	Juni	48.2	135.2	125.2	191.3	97.5	60.5	111.1	53.9	106.0		
	Juli	86.9	123.6	104.1	86.4	119.1	174.6	91.3	34.5	71.3		
	August	90.5	127.7	92.6	94.9	51.0	76.9	90.0	152.2	59.0		
	September	63.0	81.7	64.7	137.5	48.3	126.8	38.7	48.7	133.3		
	Oktober	27.9	38.0	69.2	14.9	79.1	178.0	81.2	25.8	16.9		
	November	37.5	79.1	7.7	83.8	14.9	31.7	39.6	20.3	42.0		
	Dezember	23.7	36.6	28.5	32.5	30.7	102.6	86.1	33.7	36.1		
Niederschlag in mm pro Monat		534.7	829.8	774.7	900.2	698.6	958.0	702.1	661.9	654.3		

Tabelle 2: Niederschläge in mm pro Monat für die Deponie
Gallenbach

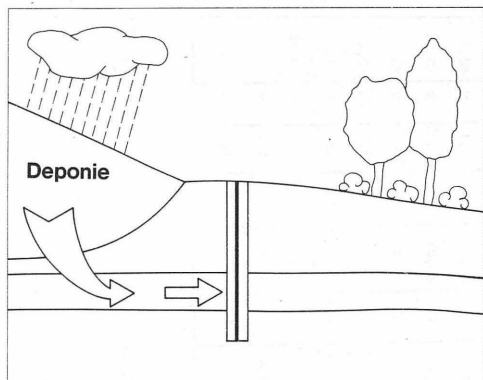
Durchschnittsergebnisse	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	einschl. September 1984
BsB ₅ (mg O ₂ /l)	2565	2929	3788	4526	4383	3520	2515	2713
TOC (mg/l)	1527	2378	3804	3062	3530	3130	1696	2528
CSB (mg/l)	4565	6452	8555	3850	3098	3900	3585	3630
petrolätherextr. St. ("	246	--	13	72	161	26	9	6
Phenol (mg/l)	2	5	3	11	14	7	12	19
pH	7,4	7,3	7,2	7,4	7,5	7,5	7,6	7,5
Leitfähigkeit (μ /cm)	$3,8 \cdot 10^4$	$9,6 \cdot 10^4$	$11,3 \cdot 10^4$	$1,6 \cdot 10^4$	$18 \cdot 10^4$	$15 \cdot 10^4$	$7,9 \cdot 10^4$	$7,2 \cdot 10^4$
Abdampfückstand (g/l)	27	49,8	73,1	99	88	86	63	59
Chlorid (mg/l)	13950	29208	36640	47900	48936	43000	28641	32220
Sulfat (mg/l)	1790	2400	4214	3717	4060	1600	3814	2349
Nitrit (mg/l)	--	<10	<10	<10	<10	<10	<10	<10
Sulfid (mg/l)	--	<10	<10	--	--	--	15	39
NH ₄ (mg/l)	110	505	805	944	970	960	788	920
Zn (mg/l)	2,3	0,5	0,7	0,4	0,7	0,6	0,7	0,4
Cd (mg/l)	0,2	0,1	0,2	0,2	0,7	0,2	<0,1	<0,1
Fe (mg/l)	11,9	3,6	19	4,5	3,0	3,5	1,7	1,9
As (mg/l)	nn	nn	0,4	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Pb (mg/l)	0,6	1,4	0,85	1,2	4,8	1,8	0,6	0,5
Hg (mg/l)	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn	nn

Tabelle 3: Durchschnittsergebnisse der Sickerwasseruntersuchungen der Sondermülldeponie Gallenbach

	Richtwert A115	1980				1981				1982				1983				1984			
		n	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}+2\sigma$	n	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}+2\sigma$	n	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}+2\sigma$	n	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}+2\sigma$	n	$\bar{M}$	σ	$\bar{M}+2\sigma$
absetzb.Stoffe (ml/l)	10	17	14	10	34	16	5	11	27	16	2	2,5	7	12	0,2	0,16	0,52	9	1,2	1,9	5,0
Cyanid (mg/l)	20	18	<0,1	-	<0,1	17	<0,1	--	<0,1	16	<0,1	--	<0,1	12	<0,1	--	<0,1	9	<0,1	-	<0,1
Nitrit "	20	18	<1	--	<1	17	6	9	24	16	6	13	32	12	1	--	1	9	2	3	8
Phenol "	100	17	11	8	27	15	8,5	5,7	20	14	9	6	21	12	12	7,5	27	9	19	6,4	31,8
Kohlenwst. "	20	16	72	80	232	16	150	180	510	16	25	28	81	12	8,5	6,4	21	9	5,8	6,6	19,0
Zn "	5	18	0,4	0,3	1,0	17	0,7	1,1	2,9	16	0,6	0,4	1,4	12	0,7	0,6	1,9	9	0,4	0,3	1,0
Cd "	0,5	18	0,17	0,06	0,3	16	0,2	0,14	0,5	16	0,2	0,08	0,36	12	0,1	--	0,1	9	<0,1	-	<0,1
Ni "	3	18	4,6	1,8	8,2	17	4	1,5	7	16	2,4	0,8	4	12	1,4	1,3	4,0	9	1,7	0,4	2,5
Pb "	2	10	1,2	0,6	2,4	6	2	0,6	3,2	9	1,8	1,1	4	12	0,6	0,5	1,6	9	0,5	0,4	1,3
Cu "	2	17	0,35	0,12	0,6	17	0,4	0,4	1,2	16	0,3	0,3	0,9	12	0,1	0,03	0,16	9	0,2	0,09	0,38
Cr "	3	9	0,3	0,2	0,7	6	0,7	0,6	1,9	10	0,5	0,3	1,1	4	0,3	0,19	0,7	3	1,2	0,96	3,1
As "	1	10	<0,1	-	<0,1	4	<0,1	-	<0,1	4	<0,1	-	<0,1	12	<0,1	-	<0,1	9	<0,1	-	<0,1
Hg "	0,05	6	<0,01	-	<0,01	15	<0,01	-	<0,01	15	<0,01	-	<0,01	12	<0,05	-	<0,05	9	<0,05	-	<0,05
Sn "	5	13	34	31	96	16	<3	-	<3	16	<3	-	<3	12	<3	-	<3	9	<3	-	<3
Sulfat (g/l)	0,6	18	3,7	1,3	6,3	17	4	0,6	5,2	16	1,6	1,3	4,3	12	3,8	3,6	9,0	9	2,4	1,6	5,6
Chlorid "	-	18	48	10	68	17	49	16	81	16	43	10	63	12	31	11	53	9	32	6,1	44
Ammonium "	0,2	18	0,95	0,24	1,4	17	0,9	0,2	1,3	16	0,9	0,2	1,3	12	0,79	0,32	1,4	9	0,92	0,30	1,5
TOC "		18	3	1,1	5,2	16	3,5	1,7	6,9	14	3	2,4	7,8	12	1,7	1,2	4,1	9	2,5	1,9	6,3
BSB ₅ "		15	4,5	1,5	7,5	13	4,0	1,1	6,6	12	3,4	0,9	5,2	12	2,5	1,1	4,7	9	2,7	0,8	4,3

Tabelle 4: Statistische Auswertung der chemischen Analysen und Vergleich mit dem ATV-Arbeitsblatt A115 für die Sondermülldeponie Gallenbach

Deponiedichtwände System Züblin



- Dichtwand mit mehrschichtigem Aufbau
 - Dichtwandmasse
 - HDPE-Kunststoffplatte
 - Dichtwandmasse
- 1000fach geringere Durchlässigkeit bei Angriff von kohlenwasserstoffhaltigen Sickerwässern als konventionelle Dichtwände ($< 0,001 \text{ Liter/m}^2 \times \text{Tag}$)
- Homogene Ausführung über die gesamte Fläche, Ausschluß von Fehlstellen
- Kontrollierbar, reparierbar (Dränplatte)
- Wandtiefen bis ca. 50 m ausführbar



Ed. Züblin AG Bauunternehmung

7000 Stuttgart 80 (Möhringen)
Albstadtweg 3
Telefon (07 11) 78 83-0, Telex 7 255 120
Postfach 29 85, 7000 Stuttgart 1

ZÜBLIN

Neue Technologien zur Abdichtung von Deponien und zur Sanierung von Altlasten

**Akad. Rat Dipl. -Ing. H. Meseck + Dipl. -Ing. J. Knüpfer
Institut für Grundbau und Bodenmechanik
TU Braunschweig**

1. Einleitung

Die Notwendigkeit eines umfassenden Schutzes von Boden und Grundwasser vor Verunreinigungen ist in den letzten Jahren allen Gruppen unserer Gesellschaft bewußt geworden. Die Bundesregierung fördert dementsprechend umfangreiche Forschungsarbeiten zur Anlage neuer Deponien und zur Sanierung von Altlasten.

Im Rahmen des Boden- und Grundwasserschutzes besteht für die Grundbauingenieure eine vorrangige Aufgabe in der Anlage neuer Deponien und der Sanierung von Altlasten bzw. kontaminierten Standorten. Für diese Bauaufgaben können teilweise bewährte Verfahren aus dem Erd- und Spezialtiefbau übernommen werden. Die steigenden Anforderungen an die Bauverfahren können in Zukunft aber nur durch Modifikation und Weiterentwicklung bestehender Verfahren und durch Neuentwicklungen erfüllt werden.

Im Rahmen dieses Beitrages soll über drei neue Verfahren zur Anlage von Deponien bzw. zur Sanierung von Altlasten berichtet werden. Das Institut für Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Universität Braunschweig war bei der Planung und der Ausführung dieser Projekte maßgeblich beteiligt.

2. Deponierung in tiefen Erdbehältern

Seit dem Jahre 1976 betreibt die Schering AG eine Sondermülldeponie in der Gemarkung Klein Biewende/Wolfenbüttel. Für die Deponie lag ein geologisches Gutachten vor, das diesen Standort als besonders geeignet für die Sonderabfallbeseitigung herausstellte, da eine Tonschicht von über 100 Meter Mächtigkeit vorlag. Auf dem ca. 20.000 m² großen Grundstück wurde 1976 zunächst eine offene Deponie mit einer Fläche von 4.300 m² und einem Deponievolumen von ca. 25.000 m³ angelegt. 1978 zeichnete sich ab, daß die Deponie in absehbarer Zeit gefüllt sein würde. Wegen fehlender Erweiterungsmöglichkeiten als offene Deponie und hoher Unterhaltungskosten entschloß sich das Chemiewerk, mit eigenen Investitionen durch eine neue Deponie das Entsorgungsproblem für die nächsten Jahrzehnte grundlegend zu lösen.

Für die Neuplanung der Deponie verblieben auf dem Grundstück nur noch 7.500 m². Dieses engbegrenzte Flächenangebot und die anstehenden Bodenverhältnisse führten zur Planung von tiefen Erdbehältern. Die Vorüberlegungen führten dazu, zwei tiefe Behälter mit ca. 45 m Durchmesser zu planen (Bild 1 und 2). Der Entwurf für dieses Bauwerk und die begleitenden Baustellenuntersuchungen wurden von unserem Institut durchgeführt. Den Auftrag für die Bauausführung erhielt eine Arbeitsgemeinschaft unter der technischen Federführung der Philipp Holzmann AG, Hauptniederlassung Hannover.

Eine entscheidende Voraussetzung für die Anlage der Sonderabfalldeponie auf dem Grundstück in Klein Biewende war das Vorhandensein eines undurchlässigen Tonbodens in ausreichender Mächtigkeit. Es standen dunkelgraue Tone mittlerer Plastizität und überwiegend halbfester Konsistenz an. Mit zunehmender Tiefe wird die Konsistenz fester und geht ab etwa 15 m unter Oberkante in Tonstein über. Der Boden ist geologisch als hochvorbelasteter Kreideton zu bezeichnen.

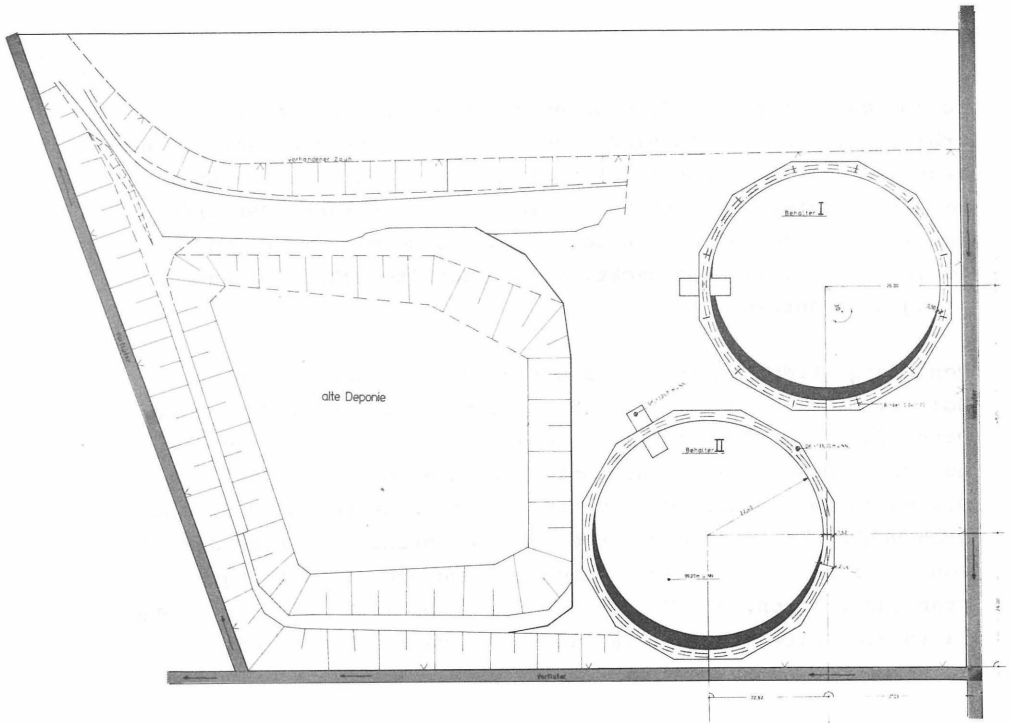


Bild 1 : Lageplan

Für die nicht alltägliche Aufgabe, ein "Betonfaß" mit sehr großen Abmessungen in den Boden zu bauen, wurde ein Verfahren angewendet, das sich bereits bei Tiefgründungen von Pfeilern großer Brücken bewährt hat. Der Deponiebehälter wurde aus 15 Betonringen von oben nach unten abschnittsweise gebaut. Entsprechenden Betonvorgängen folgte jeweils der Aushub des Bodens im Inneren des Behälters (Bild 3). Die einzelnen Ringe, ca. 2,4 m hoch und im allgemeinen unten 0,6 m, oben 0,8 m dick, sind unbewehrt. Lediglich die beiden obersten Ringe wurden wegen der Aufnahme und Verteilung der Dachlasten bewehrt. Jeder Betonring besteht aus 24 Segmenten von abwechselnd 12 m und 3 m Länge. Die Segmente der einzelnen Ringe sind jeweils versetzt angeordnet. Hinter den Wandsegmenten wurde ein Drainvlies eingebaut, um das sich dort ansammelnde Wasser durch die Horizontalfugen nach innen abführen

zu können. Die mit Gefälle angeordnete Sohle des Behälters erhielt eine Drainageschicht, so daß auftretendes Wasser aus der Eigenfeuchte des Deponats gesammelt und an zwei Stellen über vertikale Entwässerungsrohre abgepumpt werden kann. Der Gründungsbereich der untersten Betonringe wurde mit einer Bentonitschicht keilförmig abgedeckt, um die Behältersohle vor Aufweichung zu schützen.

Den tiefen Erdbehälter überspannt eine Dachkonstruktion aus Holzleimbändern (Bild 4). Das Niederschlagswasser wird von der Dachfläche über Fallrohre und unterirdische Rohrleitungen außerhalb des Deponiegrundstückes in einen Graben eingeleitet. Die durch den Behälterdurchmesser vorgegebene Spannweite, die auch von den genehmigenden Behörden gewünschte niedrige Dachhöhe von nur rund 11 Meter, die Unterbringung und die Aufhängung einer Krankonstruktion, die Kosten und vor allem auch Korrosionsfragen waren die Kriterien für Planung dieser Dachkonstruktion.

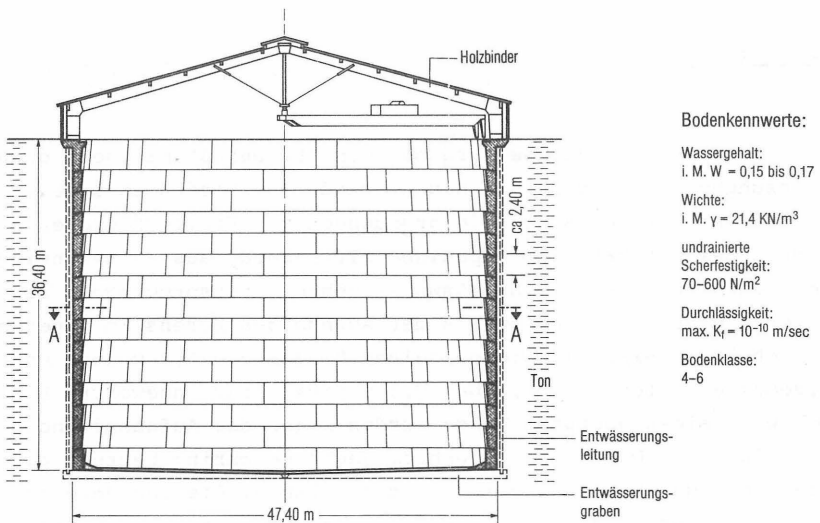


Bild 2 : Schematischer Querschnitt durch die Behälterdeponie

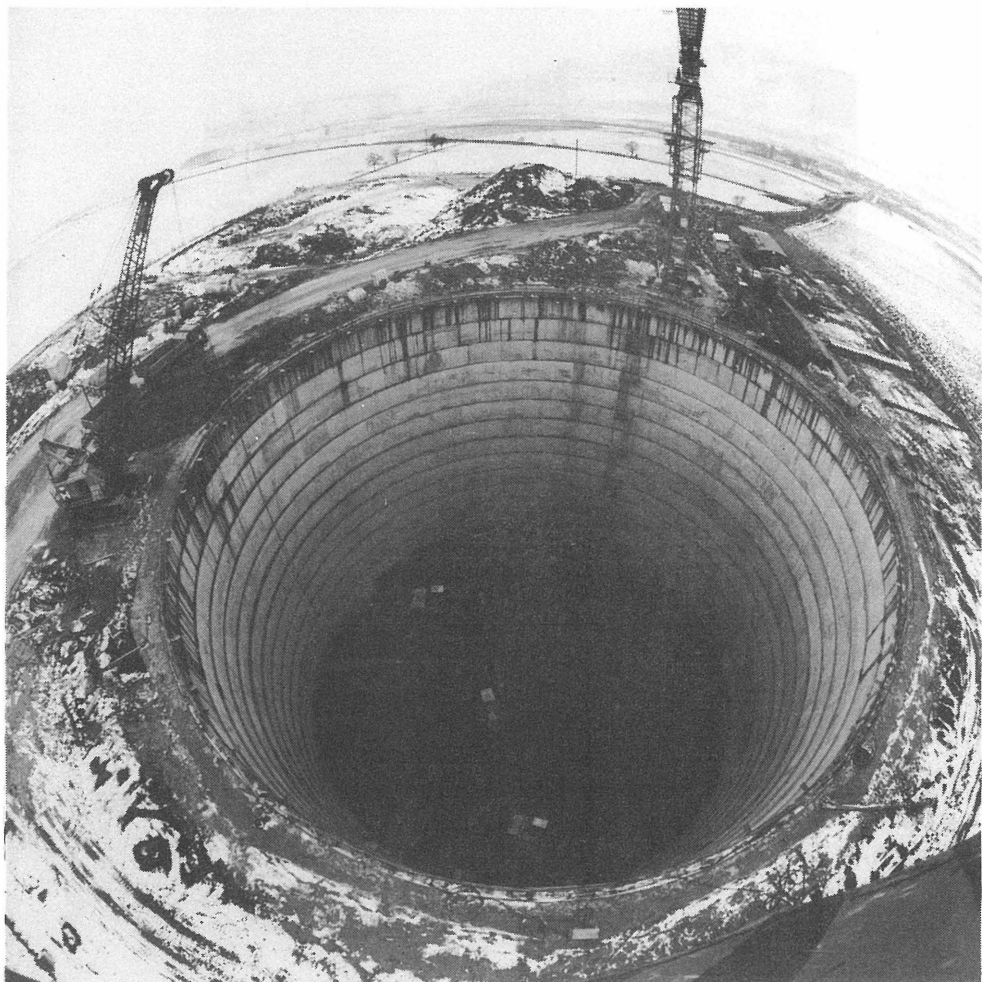


Bild 3 : Bauzustand kurz vor dem Erreichen der endgültigen Tiefe

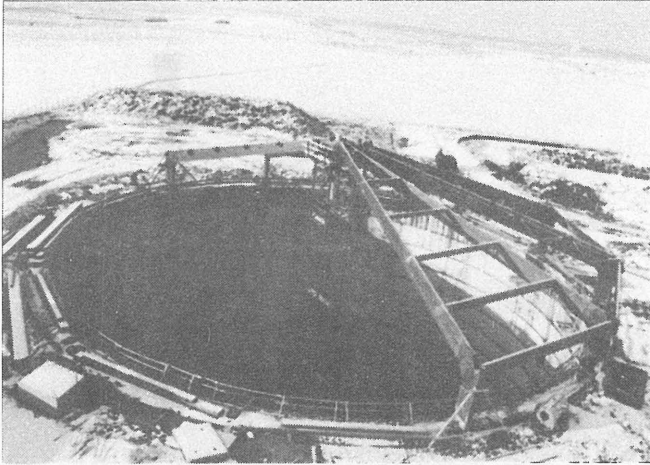


Bild 4 : Montage der Holzbinder für die Dachkonstruktion

Der Sonderabfall wird in Containern aus dem Werk antransportiert. Der Container wird vom Fahrer des LKW über eine Krananlage angehoben und kann über die schwenkbare Kranbrücke an jeden gewünschten Punkt des Behälterbodens abgesenkt und durch eine Kippbewegung entleert werden (Bild 5).

Die finanziellen Aufwendungen für den tiefen Erdbehälter betrugen einschl. der Planungskosten und Genehmigungsgebühren ca. 110 DM/m³ Deponievolumen.

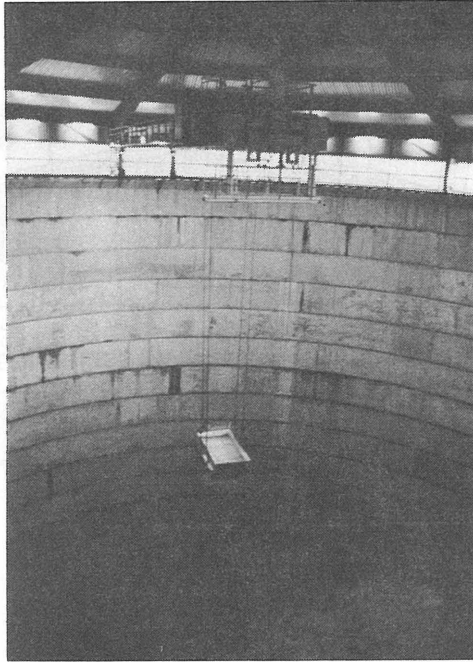


Bild 5 : Behälterdeponie im Betrieb

3. Foliendichtwand

Die Sanierung von Altlasten bzw. kontaminierten Standorten erfolgt heute überwiegend durch Einkapseln. Dabei wird der verunreinigte Bereich durch eine Dichtwand, im allgemeinen durch eine Dichtungsschlitzwand, die bis in tieferliegende undurchlässige Bodenschichten reicht, umschlossen (Bild 6). Die Einkapselung kann durch hydraulische Maßnahmen unterstützt werden, z.B. dadurch, daß ein hydraulisches Gefälle von außen nach innen künstlich hergestellt wird. Die durch die Dichtwand dann durchsickernden Wassermengen müssen abgepumpt und gereinigt werden.

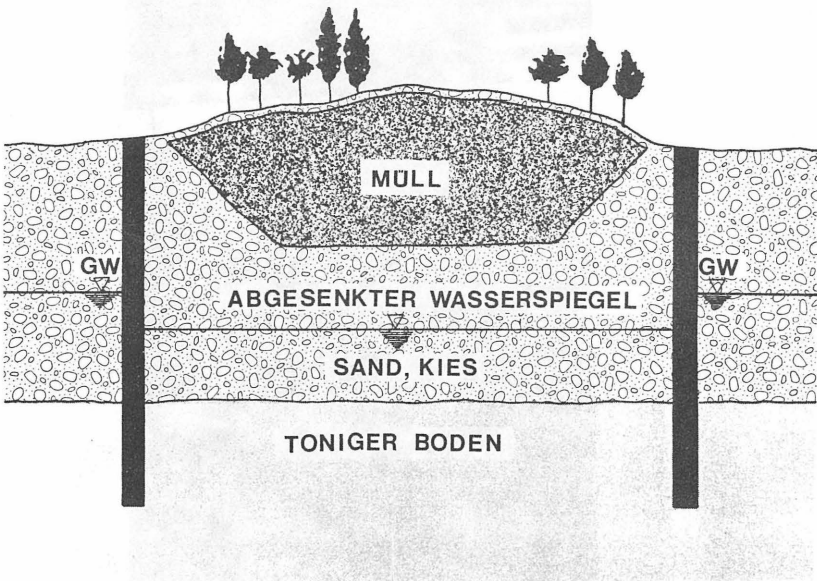


Bild 6 : Schematische Darstellung der Einkapselung
von Altlasten

Von der Eduard Züblin AG wurde speziell für Deponien ein Verfahren entwickelt, das den Einbau von HDPE-Kunststofffolien in solche Dichtungsschlitzwände ermöglicht (Bild 7). Die Herstellung der Dichtwand erfolgt dabei abschnittsweise nach dem bewährten Schlitzwandverfahren. Zunächst wird der Schlitz ausgehoben. Während des Aushubs stützt die noch flüssige Dichtwandmasse den Schlitz. Die Breite des Schlitzes beträgt je nach Erfordernissen 0,4 - 1,0 m. Die Länge eines Abschnittes kann 5-8 m betragen. Bei der neuen Deponiedichtwand wird anschließend eine Kunststoffplatte aus Polyethylen hoher Dichte (HDPE) in die Wand eingebaut. Ein Rohr trennt die einzelnen Abschnitte voneinander und schützt während des Schlitzens die bereits eingebaute Platte. Nach Abschluß der Arbeiten verbleibt die Dichtwandmasse im Schlitz und bindet ab.

Im Rahmen eines vom Bundesministerium für Forschung und Technologie geförderten Vorhabens ist die Herstellung solcher Foliendichtwände bereits großtechnisch erprobt worden (Bild 8 und 9). Bei dieser Erprobung wurde 5 m breite und 16 m lange HDPE-Folien eingebaut. Die Verbindung zwischen den einzelnen Elementen erfolgt durch spezielle Fugenkonstruktionen. Diese Fugenkonstruktionen können ausgespült und wasserdicht vergossen werden bzw. nach einem neuen Verfahren wasserdicht miteinander verschweißt werden. Das Verfahren ermöglicht auch den Einbau von HDPE-Drainplatten

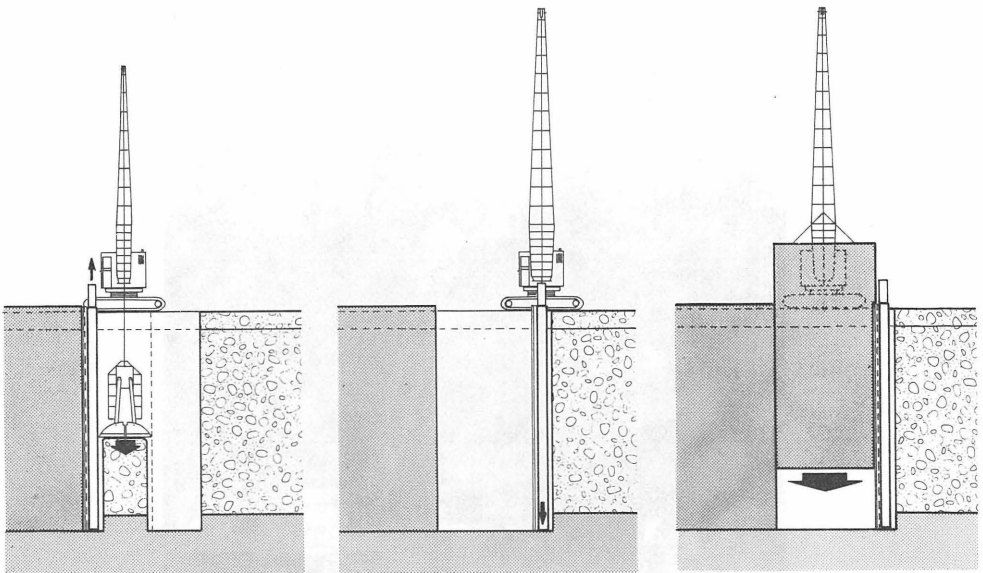


Bild 7 : Schematische Darstellung der Herstellung von Foliendichtwänden (System Ed. Züblin)

Die Vorteile der Foliendichtwand sind:

- gegenüber Wasser völlig undurchlässig
- gegenüber kohlenwasserstoffhaltigem Sickerwasser um 10^3 -fache geringere Durchlässigkeit als konventionelle Dichtwände aus gleicher Dichtmasse
- Verfahren gewährleistet homogene Wand durch vollflächigen, durchgehenden Einbau der HDPE-Bahn, keine Fehlstellen
- Kontrollmöglichkeit und Reparierbarkeit mit zusätzlicher Sperre bei Einbau der Drainplatte.

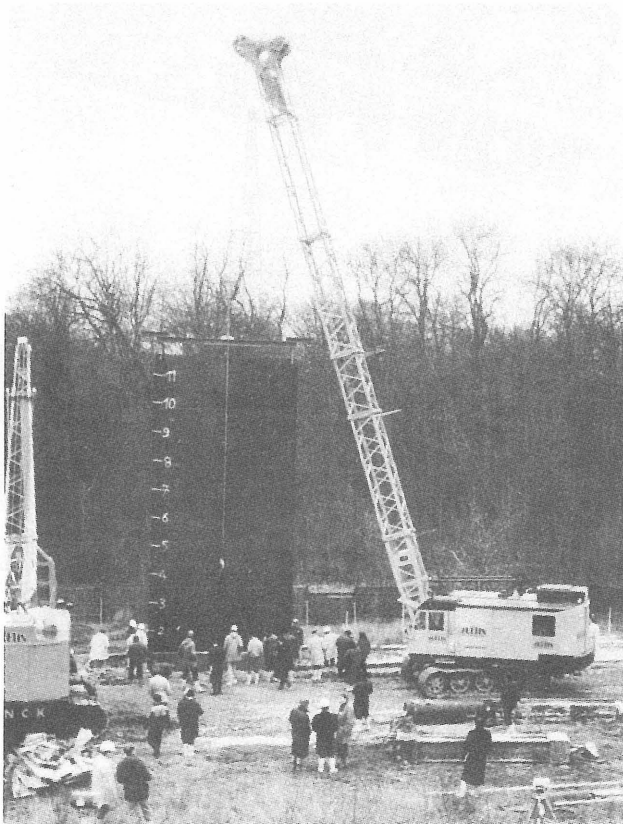


Bild 8 : Einbau einer HDPE-Folie in eine Dichtungsschlitzwand

Das Permeationsverhalten dieser neuen kombinierten Dichtungswände gegenüber chlorierten Kohlenwasserstoffen wird in Langzeitversuchen am Institut für Grundbau und Bodenmechanik der TU Braunschweig untersucht. Hierfür wurde von uns ein neuer Versuchsstand entwickelt, der die Prüfung von Proben mit einem Durchmesser von 30 cm und einer Höhe von 60 cm ermöglicht (Bild 10). Damit können wirklichkeitsgetreue Versuche (Probenhöhe = Schlitzwanddicke) durchgeführt werden. Erste Versuchsergebnisse werden in einigen Wochen vorliegen.

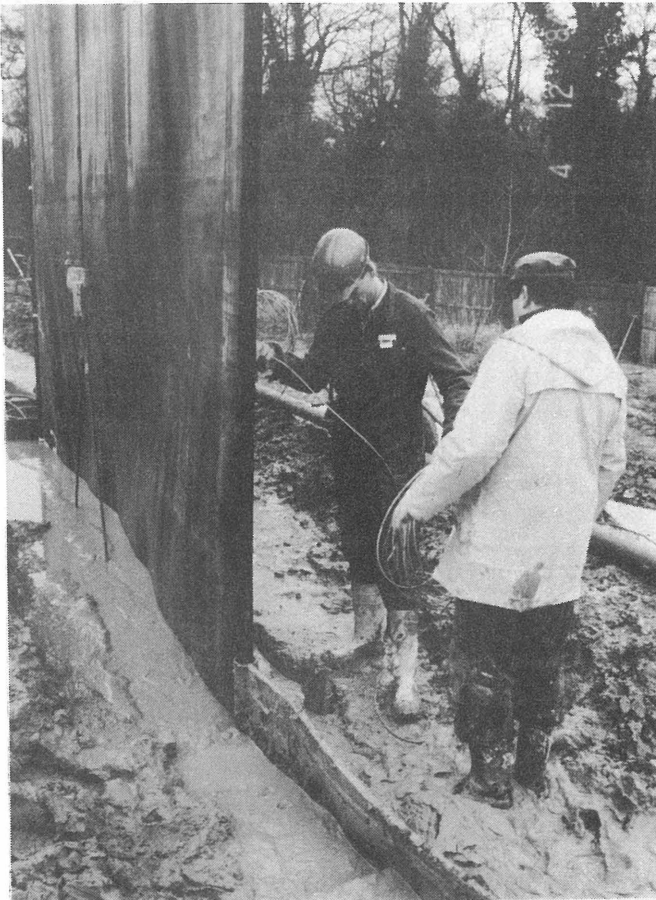


Bild 9 : Draufsicht auf die fertige Foliendichtwand

Bei der Erprobung der Foliendichtwand wurde auch eine neue feststoffreiche Dichtwandmasse für den Einbau im Einphasenverfahren eingesetzt. Diese Dichtungsmasse wurde vom Institut für Grundbau und Bodenmechanik der TU Braunschweig entwickelt und ergab im Vergleich zu anderen Mischungen die geringsten Durchlässigkeiten. Es wurden Mischungen aus Natriumbentonit-Zement, Calciumbentonit-Zement und Ton-Zement untersucht. Alle drei Mischungstypen wurden Langzeitversuchen (112 Tage) mit aqua dest., einem Deponiesickerwasser und einer aus dem Sickerwasser entwickelten, reproduzierbaren Prüf Flüssigkeit mit 3 organischen und 3 anorganischen Inhaltsstoffen (Bild 12) unterzogen. Die für die Bauausführung verwendete Calciumbentonit-Zement-Mischung wies nach 90 Tagen gegen aqua dest. eine Durchlässigkeit von $k = 10^{-11}$ m/s und gegen das Deponiesickerwasser $k = 5 \times 10^{-11}$ m/s auf.

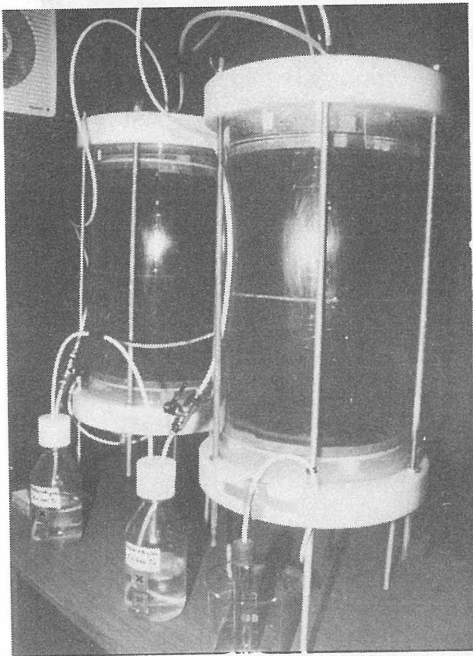


Bild 10 : Prüfzellen für Permeationsversuche
an Foliendichtwänden

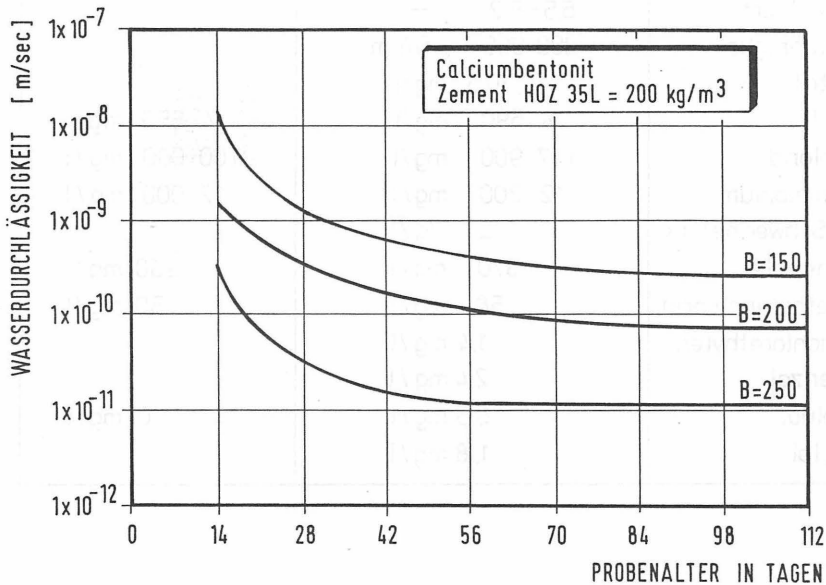
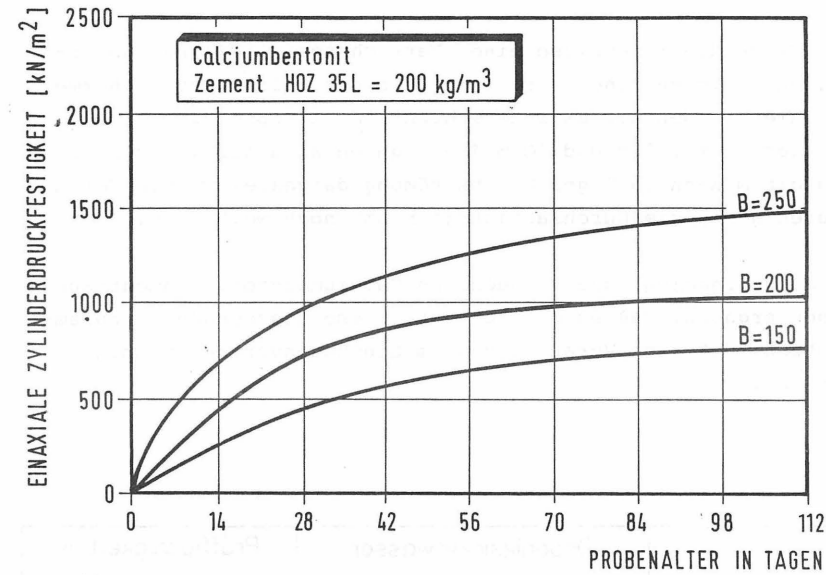


Bild 11: Beispiel für Versuchsergebnisse an Calciumbentonit-Zement-Mischungen (durchströmt mit aqua dest.)

Bild 13 zeigt die Ergebnisse einer Versuchsserie, die aus unterschiedlichen Tiefen eines Probeschlitzes der Folienwand entnommen wurden. Hier wurden die Zwischenergebnisse an Proben direkt aus dem Mischer (0 m), 5 m und 10 m Tiefe gegen aqua dest. und Prüf-flüssigkeit M nach 28 Tagen Durchströmung dargestellt. Die Versu-che laufen noch, die Durchlässigkeit nimmt noch weiter ab.

Umfangreiche rheologische Versuche an Calciumbentonit-Zement-Sus-pensionen ergaben, daß es möglich ist, diese Mischungen so zusam-menzusetzen, daß eine Verarbeitung im Einphasenverfahren noch möglich ist.

	Deponiesickerwasser	Prüfflüssigkeit M
PH- Wert	6,5-8,2 —	
Leitfähigkeit	300 000 $\mu\text{S}/\text{cm}$	
Nitrit	10,3 mg/l	
Sulfat	4 590 mg/l	14 650 mg/l
Chlorid	117 900 mg/l	100 000 mg/l
Ammonium	12 200 mg/l	12 000 mg/l
Σ Schwermetalle	2 mg/l	
Phenole	370 mg/l	350 mg/l
Methylenchlorid	58 mg/l	50 mg/l
Trichlorethylen	1,4 mg/l	
Benzol	2,4 mg/l	
Toluol	8,6 mg/l	10 mg/l
Xylol	1,8 mg/l	

Bild 12 : Zusammensetzung des Deponiesickerwassers und der Prüfflüssigkeit

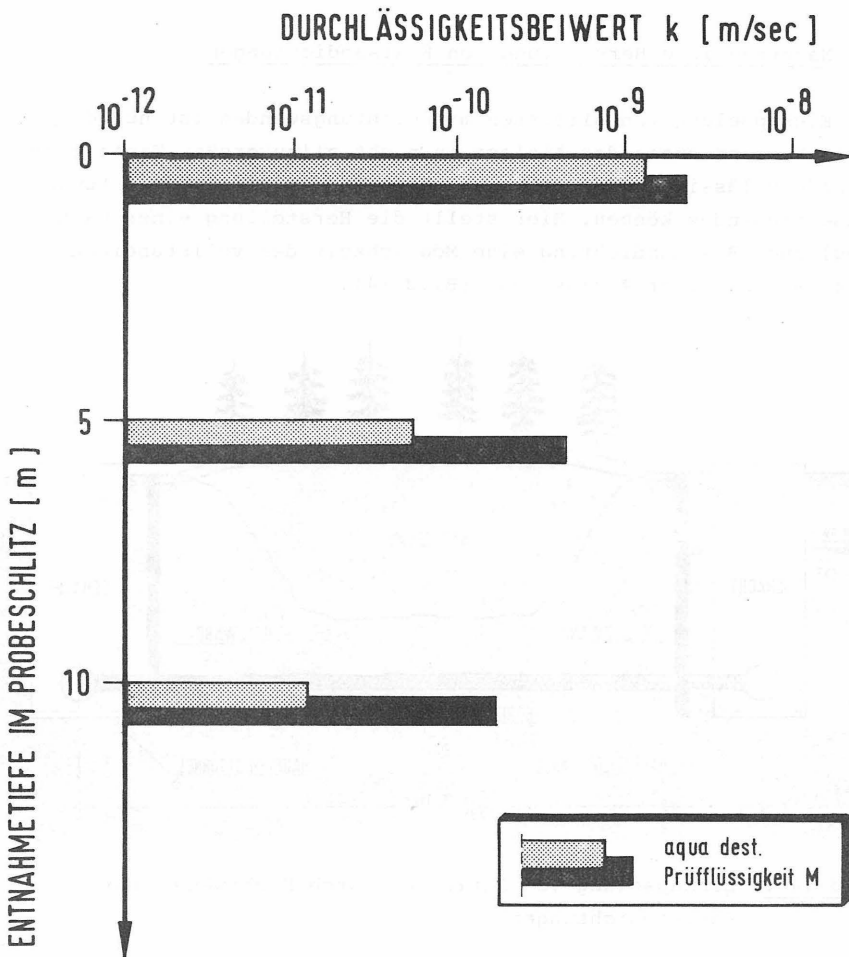


Bild 13 : Durchlässigkeit von Proben, die aus einem Probeschlitz entnommen wurden

punktueller Abdichtung. Durch Bohrungsabweichungen und Inhomogenitäten im Baugrund ist die Homogenität der Sohl nicht gesichert. Aus den vorgenannten Gründen werden heute überwiegend bergmännische Lösungen zur Herstellung nachträglicher Basisabdichtungen diskutiert. Mögliche Lösungen sind (Bild 15):

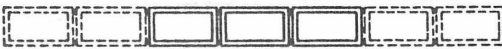
- Injektionsschirm zwischen Stollen
- überschchnittene Stollen
- aneinandergereihte Betonkästen
- Hochdruckinjektionen nach dem Verfahren Züblin



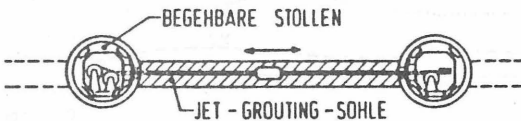
INJEKTIONSSCHIRM ZWISCHEN
BEGEBBAREN STOLLEN



ÜBERSCHNITTENE STOLLEN



VORGEPRESSTE STOLLEN
DICHT AN DICHT



ZÜBLIN - VERFAHREN

Bild 15 : Bergmännische Lösungen für die nachträgliche
Herstellung von Basisabdichtungen

Das Verfahren der Ed. Züblin AG wird z.Zt. im Rahmen eines BMFT-Vorhabens entwickelt. Erste Großversuche sind 1986 zu erwarten. Bei diesem Verfahren werden zunächst parallel verlaufende begehbare Tunnel im Abstand von ca. 150 m vorgepreßt. Zwischen den beiden Haupttunneln wird über eine mechanische Verbindung (z.B. über ein Seil) ein Düsenkörper hin und her geführt. Düsenkörper wandert zwischen den beiden Haupttunneln hin und her und wird dabei gleichzeitig über einen Maschinenwagen langsam in Längsrichtung des Tunnels verfahren. Für den Längsvorschub wird in die beiden Haupttunnelrohre ein horizontaler Schlitz gefräst, der nach Durchfahren des Seiles wieder kraftschlüssig geschlossen wird. Durch den Düsenstrahl mit mehreren 100 bar Druck wird der Boden in seiner Struktur zerlegt, verflüssigt und intensiv mit

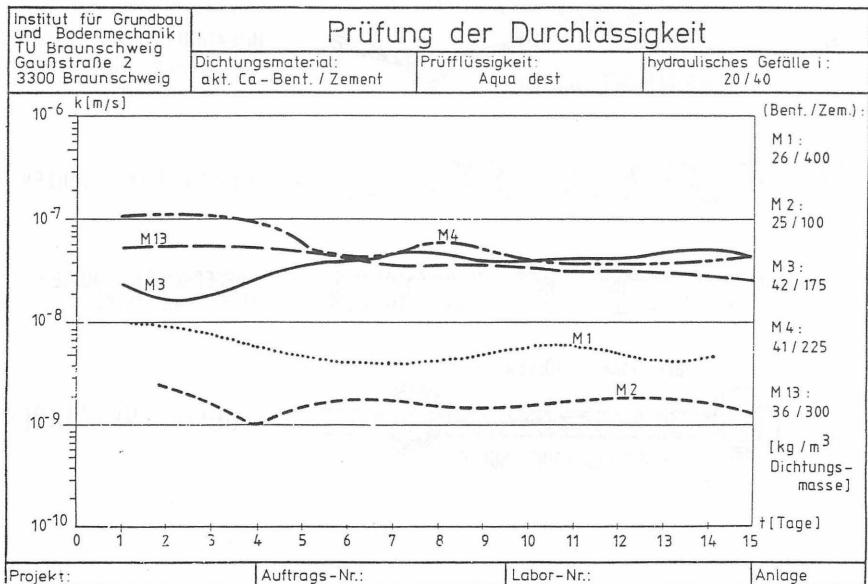


Bild 16 : Ergebnisse von Durchlässigkeitsversuchen an Basisabdichtungen hergestellt nach dem Verfahren der Ed.-Züblin AG

einer Bentonit-Zement-Mischung vermischt. Durch Variation des Injektionsdruckes und der Einpressmenge kann die Dicke des Dichtungsteppichs zwischen 0,6 m und 1,5 m betragen.

Von der Ed. Züblin AG wurden in ersten Vorversuchen Injektionskörper nach diesem Verfahren hergestellt. Das Institut für Grundbau und Bodenmechanik der TU Braunschweig prüft an diesen Proben und an weiteren von uns hergestellten Proben die Wasserdurchlässigkeit. Erste Versuchsergebnisse sind im Bild 16 dargestellt.

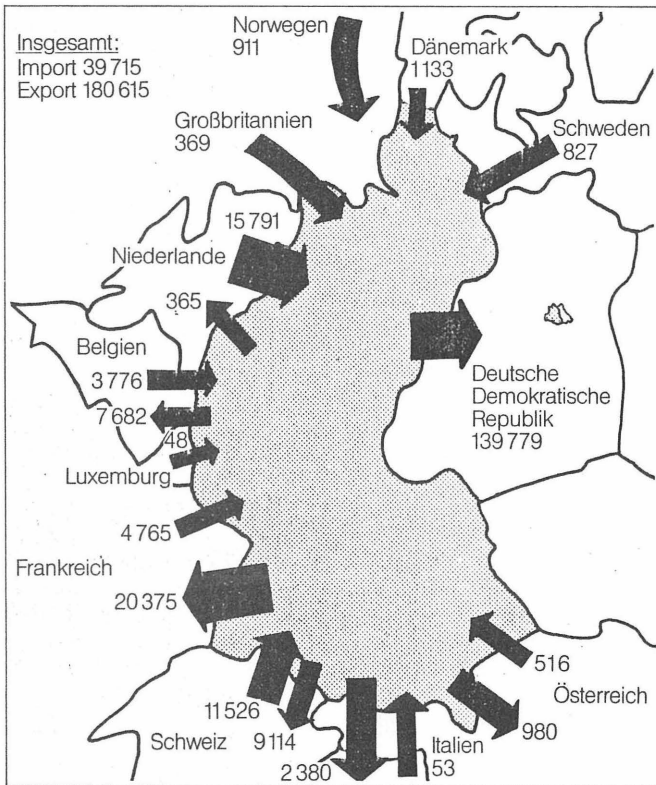


Bild 17 : Grenzüberschreitende Beseitigung von Sonderabfällen
Mengenerfassung 1982 (in Tonnen)

Schlußbemerkungen

Es wurden neue von der Industrie entwickelte Verfahren zur Anlage von Deponien und zur Sanierung von Altlasten vorgestellt. Es bleibt zu hoffen, daß diese und zukünftige Technologien dazu beitragen, daß in den Bundesländern ein ausreichendes Deponievolumen geschaffen werden kann und damit auch der "Abfall-Tourismus" weitestgehend eingeschränkt werden kann (Bild 17).

Errichtung und Betrieb von Sondermülldeponien in der chemischen Industrie

Dr. H. Weitzel und Dr. H. Obermann
Bayer AG, Abteilg. Umweltschutz
Dormagen

1. Art der Abfälle in der Chemischen Industrie

Auch der Chemischen Industrie ist es nicht möglich alle anfallenden Rückstände und Nebenprodukte wieder vollständig in den Produktionskreislauf zurückzuführen oder sonst zu verwerten. So fallen diese Produkte als Abfall an und müssen, wenn sie nicht verbrannt werden können, deponiert werden.

In den großen Chemiewerken reicht die Palette der abzulagernden Abfälle von Inertstoffen bis zu stark wassergefährdenden Stoffen, die in der Untertage-Deponie abgelagert werden müssen.

Eine Aufstellung der im Werk Dormagen der Bayer AG angefallenen Abfälle zeigt jedoch, daß die Abfälle für die Untertage-Deponie nur einen verschwindend kleinen Teil ausmachen (Bild 1).

Klärschlamm-Filterkuchen (TS 50 %)	85.000 t
Bauschutt und Erdaushub	66.000 t
Kesselasche	16.000 t
Hausmüllähnliche Gewerbeabfälle (nicht brennbar)	4.000 t
Produktionsabfälle	16.000 t
Produktionsabfälle (verpackt)	9.000 t
Σ	196.000 t
Produktionsabfälle zur Untertage-Deponie	2.000 t

Bild 1: Angefallene Abfälle im Werk Dormagen im Jahre 1983

Aus der Aufstellung sehen Sie auch, daß der Anteil der "Chemieabfälle" - also der Stoffe, die direkt mit der Produktion zusammenhängen, bei den deponierbaren Abfällen geringer ist als Sie das erwartet haben werden.

Aufgrund der doch recht unterschiedlichen Abfallarten könnte man empfehlen, diese Abfälle - nach ihren Kategorien getrennt - auf verschiedenen, angepaßten Deponien abzulagern.

Wir werden aber am Beispiel der Betriebstechnik der Deponie Dormagen sehen, daß die unterschiedlichen Abfälle vorteilhaft in einer Werksdeponie abgelagert werden können.

2. Werksdeponie

Die meisten großen Werke der Chemischen Industrie betreiben Werksdeponien und lagern dort die Abfälle gemischt ab. Der Standard der Deponie ist abhängig von den jeweils abzulagernden Abfällen.

Diese Deponien werden häufig als Sonderabfall-Deponien ausgewiesen.

Unsere Deponie in Dormagen-Rheinfeld ist nach der Art der Untergrundabdichtung und der sonstigen Konstruktion sicher eine Sonderabfall-Deponie. Die abgelagerten Abfälle sind zum größten Teil aber keine Sonderabfälle im Sinne des § 2 Abs. 2 AbfG. Das Gefährdungspotential ist - wie Sie noch sehen werden - sicher nicht größer als das einer Hausmüll-Deponie.

Eine Werksdeponie sollte wegen der Transportentfernungen möglichst in Werksnähe liegen. Noch wichtiger ist die Nähe einer leistungsfähigen Kläranlage zur Reinigung der Sickerwässer. Kleine kommunale Kläranlagen haben meistens eine zu geringe Reinigungsleistung und sind mit großen Mengen Sickerwasser überfordert, insbesondere, wenn das Deponie-Sickerwasser nicht gleichmäßig zudosiert wird.

3. Deponie Rheinfeld

Bei der Standortsuche für die Deponie des Werkes Dormagen schieden Gebiete westlich des Werkes von vornherein aus, weil hier Trinkwassergewinnungsgebiete liegen. In akzeptabler Nähe bot sich nur ein Gelände in Rheinnähe an.

Dieses Gelände ist geeignet, weil

- es außerhalb von Trinkwassergewinnungsgebieten liegt,
- der anstehende Auelehm von 1 bis 5 m Mächtigkeit schon eine natürliche Dichtigkeit aufweist und
- das gesamte Deponiegelände im Einfluß einer Kette von Bayer-eigenen Brauchwasserbrunnen liegt.

Nachteilig ist,

- daß die Grundwasserfließrichtung unter dem Deponiegelände schwankt. Die Brauchwasserförderung muß immer aufrecht erhalten werden, damit die Deponie ein Absenkungstrichter bleibt.

Bei dem flachen Gelände ist das Anlegen eines ansonsten wünschenswerten Gefälles von 1 ‰ nur mit unverhältnismäßig hohem Aufwand zu bewerkstelligen. Wir konnten nur ein Gefälle von 2 ‰ anlegen. Als Deponieform kam also nur eine Aufhaldung infrage. Eine Halde fällt in der flachen Niederrhein-Landschaft besonders stark auf, erfordert flache Böschungsneigungen und eine geschickte Landschaftsgestaltung.

Die Größe von 24 ha wurde für eine Laufzeit von 30 Jahren gewählt. Das gesamte Gelände ist 33 ha groß. 9 ha wurden bereits 10 Jahre vor Betriebsbeginn aufgeforstet, um eine Abschirmung gegenüber den Wohnhäusern des Stadtteils Rheinfeld zu haben. Die nächsten Häuser sind nur 150 m vom 1. Randdamm der Deponie entfernt.

Das Errichten von Deponien und Produktionsstätten in größerer Entfernung zu Wohngebieten ist in einer so dicht besiedelten Landschaft oft nicht möglich. Durch die Aufforstung und durch Anlegen 5 m hoher Randdämme haben wir erreicht, daß wir trotz der Nähe zu den Wohnhäusern frei von Nachbarschaftsbeschwerden sind.

Als Zufahrtsweg wird die alte Deichkrone des Rheindeiches benutzt. Dadurch werden keine Wohngebiete beim Transport berührt. Hinter dem alten Rheindeich wurde eine Deichverstärkung errichtet, die die Krone des alten Deiches - die heutige Zufahrtsstraße - um 3,80 m überragt.

3.1 Deponieaufbau

Die Deponie verfügt über eine doppelte Untergrundabdichtung. Da der anstehende Auelehm von 1 - 5 m Mächtigkeit sehr unterschiedliche Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte zeigt (K_f von 10^{-6} bis 10^{-9} m/sec), wurden Bodenuntersuchungen in einem Raster von 20 x 20 m durchgeführt und danach die Bearbeitung des Lehmes festgelegt.

Nach dem üblichen Abschieben des Oberbodens wurde die Lehmdichtung in 2 Lagen von je 30 cm aufgefräst und verdichtet. Böden mit einer größeren Wasserdurchlässigkeit als 10^{-8} m/sec wurden ausgetauscht. Im dritten und vierten Bauabschnitt frästen wir Wasserglaspulver ein und erreichten so leicht K_f -Werte von 10^{-9} m/sec.

Die Verwendung von Wasserglas hat noch einen weiteren Vorteil: Lehmdichtungen ohne Wasserglas können nur bei Wassergehalten von 13 bis 15 % hergestellt werden. Durch Zusatz von 3 % Wasserglas erweitert sich der Bearbeitungsbereich auf 15 bis 25 % Wasser. Der jeweils notwendige Wassergehalt ist abhängig von der Lehmqualität.

Über der Lehmdichtung wurde eine 2,5 mm starke HDPE-Bahn auf einem 10 cm Sandplanum verlegt.

Bei allen Tiefbau- und Erdarbeiten ist eine ständige Überwachung der Güte der Arbeiten nötig. Beschädigungen an Dichtungsbahnen und mineralischen Dichtungen - über die gelegentlich berichtet wird - entstehen in den allermeisten Fällen bereits beim Einbau oder bei Folgearbeiten. Wird das Sandplanum bei nassem Wetter aufgebracht, kann die Lehmdichtung beschädigt werden. Beim Aufbringen der Dränschicht oder beim Ausheben der Gräben in der Dränschicht zur Verlegung der Sauger ist eine Beschädigung der Kunststoff-Dichtungsbahn möglich.

Für die Herstellung von mineralischen Abdichtungen existieren noch keine behördlichen Richtlinien. Eine solche Richtlinie soll unter Federführung des Landesamtes für Wasser und Abfall in Nordrhein-Westfalen erarbeitet werden.

Für den Einbau von Kunststoffbahnen existiert eine Richtlinie des Landes Nordrhein-Westfalen im Gelbdruck.

3.2 Sickerwasserableitung

Die Abdichtung der Deponie gegen den Untergrund erfordert die Sammlung und Ableitung des Sickerwassers. Ein Wassereinstau muß vermieden werden. Ein Einstau kann negative Folgen für die Abbauvorgänge in der Deponie haben. Die Standsicherheit einer Haldendeponie kann verschlechtert werden, und die Abfälle werden stärker ausgelaugt.

Zur Ableitung des Sickerwassers wurde bei uns im 1. und 2. Bauabschnitt eine 30 cm starke Kiesschicht als Flächendränage eingebaut. In die Kiesschicht wurde ein System von Saugern eingezogen.

Die in den ersten beiden Bauabschnitten eingebauten dünnwandigen PVC-Dränrohre erwiesen sich bald als weniger gut geeignet, da das Dränsystem laufend gespült werden mußte.

Die mechanische Stabilität dieser Rohre ist für eine regelmäßige Spülung in 6-Wochenabständen zu gering.

Der Sammler aus PVC im Querschnitt von 150 mm mußte wegen einer durch Spülung nicht zu beseitigenden Verstopfung ausgetauscht werden. Diese Verstopfung hatte keinen wesentlichen Einfluß auf die Sickerwasserableitung. Sie wurde jedoch bei den Routinespülungen entdeckt.

Wir tauschten die dünnwandigen PVC-Dränrohre gegen geschlitzte PVC-Rohre mit ca. 13 mm Wandstärke aus. Diese Rohre als Sammlerleitung mit einem Durchmesser von 250 mm sind spül- und fräsbearbeitbar.

Aufgrund von Verstopfungen besteht die Gefahr, daß das System der Sauger nicht ewig die Funktion erfüllen kann. Die Ableitung des Sickerwassers kann dann natürlich noch durch die Flächendränage erfolgen. Um die Flächendränage leistungsfähiger zu gestalten, wurde im 3. und 4. Bauabschnitt eine Dränschicht von 1 m Stärke geschüttet.

In den ersten beiden Bauabschnitten wurden 70 cm lehmiger Sand über der 30 cm starken Dränschicht als Schutzschicht aufgetragen.

Wenn man damit rechnen muß, daß das Entwässerungssystem auf der Deponiesohle versagen kann, dann ist es zweckmäßig, ein weiteres Entwässerungssystem einzubauen. Das kann durch Anlegen von Etagen-dränagen oder durch Bau von Vertikaldränagen geschehen.

In Dormagen bauen wir Vertikaldränagen ein. Diese Dränagen werden als 2 - 5 m breiter Streifen aus gut wasserdurchlässigen Abfällen geschüttet. Jeweils zwischen zwei 80 m breiten Schüttfeldern wird ein Keil gelassen, der dann mit geeignetem Dränmaterial verfüllt wird. Die Schüttfelder sind so angelegt, daß die Dränwand über jeden 4. Sauger und über dem Sammler geschüttet werden kann.

Der Sammler ist in Abständen von 100 m mit Kontrollschächten versehen. Die Kontrollschächte sind gelocht und mit Grobkies ummantelt. Dadurch haben die Vertikaldräns Anschluß an die Sammlerleitung. Die Sickerwässer können so aus jeder Höhe über die Kontrollschächte abgeführt werden. Die Kontrollschächte sind am Boden mit einem Pumpensumpf versehen, so daß bei einem Versagen der Ableitung eine Tauchpumpe eingesetzt werden kann.

Geeignetes Material für die Vertikaldränagen sind Kunststoff- und Faserabfälle, Bauschutt, Schmelzkammergranulat und Schlacken.

Die Abfalloberflächen werden mit einer Neigung zu den Vertikaldränagen angelegt. So wird das auf die Abfallschichten auftretende Oberflächenwasser während der Deponieverfüllung zwar mit dem Sickerwasser erfaßt, und die Sickerwassermenge steigt an. Der Kontakt mit den abgelagerten Abfällen wird jedoch vermieden.

Wir pumpen zwischen 60 und 90 % der Niederschläge im Jahresmittel als Sickerwasser ab. Durch die Ableitung des Regenwassers an der Oberfläche werden die Abfälle aber weit weniger stark ausgelaugt. Eine Voraussetzung für diese Betriebstechnik ist allerdings eine leistungsfähige Kläranlage. Die abgepumpte Sickerwassermenge entspricht bei unserer Kläranlage nur etwa 2 % der Anlagenkapazität.

Auf der Bayer-eigenen Deponie des Werkes Leverkusen werden die Abfalloberflächen mit einer Neigung von über 10 % angelegt und mit Lehm abgedichtet. Die Lehmschichten werden zur Verhinderung von Erosion und Austrocknung begrünt. So wird der größte Teil der Niederschläge als unbelastetes Wasser abgeführt. Vor einer höheren Aufschüttung wird auf diese Zwischenabdeckung eine neue Drainage verlegt. Durch dieses Verfahren werden die Auslaugung und Sickerwassermenge minimiert.

Was sind nun die Gründe, die zu Verstopfungen des Dränsystems führen?

Folgende Verstopfungen wurden beobachtet:

- Einschlämmen von Feinstteilen
- Anwachsen von Bakterien Schleim
- Zusammenbrechen der Rohre durch die Last des darüberliegenden Mülls und durch Überfahren während des Einbaus bei nur geringer Überdeckung
- Abscherungen oder Versetzen der Rohre durch örtliche Setzungen
- Auskristallisationen in Zwischenräumen, an den Schlitzen oder in den Rohren.

Das Einschlämmen von Feinstteilen kann man durch Anlegen von Filterpackungen oder durch Verwendung eines Vlieses verhindern. Die Beseitigung der Verstopfung gelingt meistens mittels Hochdruckspülung, wenn das System dafür ausgelegt ist.

Bei einer Reinigung durch Hochdruckspülung muß aber darauf geachtet werden, daß der Spüldruck auf die Festigkeit der Rohre abgestimmt wird. Bei einem zu hohen Druck könnten die Dränrohre beschädigt werden. Unter Umständen sogar die Dichtungsbahn.

Das Zusammenbrechen der Rohre kann man durch Verwendung ausreichend stabiler Rohre verhindern. Das Überfahren der Dränagen sollte ganz vermieden werden, und wenn unbedingt erforderlich, nur bei einer Überdeckung von 1,5 m, bei häufigerem Befahren sogar nur mit 2 m Überdeckung. Bewährt hat sich auch der Einsatz einer Rohrfernsehkamera zur Überprüfung der Rohre vor einer Abfallablagerung.

Bei den Auskristallisationen ist die Verockerung - die Bildung von schwerlöslichen Fe^{III} -Verbindungen aus Fe^{II} -Verbindungen unter Einfluß des Luftsauerstoffs - die aus der Landentwässerung bekannte Ursache.

In jedem Fall sind die Auskristallisationen abhängig von den abgelagerten Abfällen.

Kalksteinbildung tritt auf bei Ablagerung von kalkhaltigen Abfällen. Kalk wird durch CO_2 aus Regenwasser oder aus biochemischen Prozessen unter Hydrogencarbonat-Bildung aufgelöst. Bei einem Absinken des CO_2 -Partialdruckes kristallisiert wieder Kalk aus. Eine Druckabsenkung tritt in den Dränrohren auf. Aber auch in Flächendränagen ist ein Drucksprung möglich.

Zu Gipskristallisationen kommt es bei Temperaturänderungen. In den Abfallschichten herrschen Temperaturen von bis zu 60 °C. Das Sickerwasser hat eine Temperatur von 15 bis 30 °C. Das Hydrationsgleichgewicht des Gipses ist temperaturabhängig und das Dihydrat ist weniger gut löslich als das Halbhydrat.

Gipsverkrustungen können sich auch bilden durch bakterielle Reduktion von CaSO_4 zu CaS , das bis zum Dränrohr transportiert wird und dann folgende Oxidation unter Luftsauerstoff-Einfluß zu CaSO_3 und weiter zu CaSO_4 . CaSO_3 hat ein ähnlich geringes Löslichkeitsprodukt wie Gips und kann daher auch schon zu Verkrustungen führen.

Andere Salzausfällungen sind möglich beim Zusammentreffen Niederschläge bildender Ionen wie Kalzium und Sulfat oder Phosphat.

Bei sehr hoch konzentrierten Sickerwässern ist auch eine Verkrustung durch Eindunsten möglich.

Was kann man tun, um diese Verstopfungen zu vermeiden?

Verdunstung und Gasaustausch kann leicht durch Tauchung der Dränrohrausmündungen und Verschließen der Spülöffnungen verhindert werden. Damit wird schon die Verkrustung durch Ausfällen schwerlöslicher Oxide, die sich unter Einfluß des Luftsauerstoffes bilden, vermieden. Da auch der CO_2 -Austausch gegen Luft durch die Tauchung verhindert wird, ist auch die Kalkkristallisation geringer. Was man aber nicht verhindern kann, sind Druckänderungen im Dränsystem. Damit muß eine Kalkkristallisation in Kauf genommen werden. Ebenso wenig wie die Druckänderungen im Deponiekörper können wir die Temperaturänderungen, die, wie wir gesehen haben, Einfluß auf die Gipskristallisation haben, beeinflussen. Treten solche Kristallisationen auf, so müssen sie durch regelmäßige Hochdruckspülung entfernt werden. Diese Spülungen haben jedoch nur den gewünschten Erfolg, wenn nicht schon der gesamte Rohrquerschnitt zukristallisiert ist.

Kalziumcarbonat- und Kalziumsulfid-Verkrustungen lassen sich auch durch Spülung mit Salzsäure entfernen. Hierbei muß aber die Gasentwicklung beachtet werden. Außerdem sollte das Dränsystem so ausgelegt werden, daß die Verstopfungen in einer Zone auftreten, die einer Spülung zugänglich ist.

Bei mit Grobkies ummantelten Rohren tritt der Drucksprung schon in der Kiesschicht auf. Auch durch getrennte Ablagerung von bestimmten Abfallstoffen können solche Verstopfungen verhindert werden.

So sollte die gemeinsame Ablagerung von Gips mit Hausmüll, Klärschlamm oder anderen biochemisch aktiven Abfällen unbedingt vermieden werden. Neben den Verkrustungen kann hierbei auch noch eine Geruchsbelästigung durch H_2S auftreten, weil ja die Anaerobier Sulfat bis zum H_2S zu reduzieren vermögen. Kalk sollte ebenfalls nicht mit Hausmüll abgelagert werden. Nicht nur durch das mit dem Regenwasser eingebrachte CO_2 wird der Kalk aufgelöst, sondern auch noch durch den CO_2 -Anteil des Deponiegases.

Bei der Ablagerung von Klärschlämmen, die mit Kalk konditioniert sind, muß aber die Hydrogencarbonat-Bildung in Kauf genommen werden. In solchen Ablagerungsbereichen muß eben regelmäßig gespült werden.

Die Hochdruckspülungen werden bei uns durch eine Fremdfirma ausgeführt. Die Firma entwickelte auf unsere Anregung ein Spülssystem mit 3 hintereinander geschalteten Düsen. Das Strömungssystem ist durch abgestufte Schlauchgrößen so abgestimmt, daß der Spülschlauch 240 bis 300 m in den Saugern mit DN 150 mm hineingezogen wird. Beim Wiederherausziehen des Spülschlauches wird die Spritzrichtung der Düsen umgekehrt. Ohne die Rückstoßwirkung der Umkehrdüsen beim Herausziehen des Spülschlauches, kann es durch die große Reibung und das hohe Gewicht des wassergefüllten Schlauches zum Reißen des Schlauches oder auch zu Beschädigungen an den Dränrohren kommen.

Der Sickerwassersammler ist problemlos mit der normalen Hochdruckspüleinrichtung zu reinigen, da im Abstand von 100 m Kontrollschächte eingebaut sind.

Abfälle mit einem hohen wasserlöslichen Anteil sollten eingesargt werden, um sie dem Einfluß der Auslaugung zu entziehen. Wir haben dafür eine mit PE-Platten ausgekleidete Mulde, die nach der Verfüllung mit PE-Platten abgedeckt wird.

Alle Überlappungen werden wie die Basisabdichtung verschweißt. Von den noch nicht mit Abfällen belegten Teilen dieser ausgekleideten Mulde wird das Regenwasser mit automatisch schaltenden Pumpen abgepumpt, um die Auflösung der Salze zu verhindern. Durch den Anfall von einigen tausend Tonnen Glauberit pro Jahr bleibt die Ablagerung trocken. Glauberit bindet unter Bildung von Gips und Glaubersalz große Wassermengen. Die abgelagerte Glauberitmenge reicht aus, um die gesamten Niederschläge zu binden. Durch die Bildung Kristallwasser-haltiger Salze wird die Ablagerung steinhart und ist mit schweren Lastwagen befahrbar.

Da dieses "Salzlager" aber einen Dichtungshorizont innerhalb der Deponie darstellt, wird oben und an den Seiten durch Wände aus wasserlöslichen Abfällen dräniert.

4. Standfestigkeit

Abhängig von einer guten Entwässerung der Deponie ist auch die Standfestigkeit der Aufschüttung. Die Standfestigkeit sollte besonders bei Halden und Anhaltungen berechnet werden. Die Ermittlung der bodenmechanischen Kennwerte ist aber wegen der heterogenen Zusammensetzung der Abfallablagerungen schon schwierig. Noch schwieriger wird die Bestimmung der Kennwerte, weil sich das Material durch biochemische Prozesse und andere Umwandlungen verändert. Durch einen Einstau von Sickerwasser in einer Deponie wird ein hydrostatischer Druck aufgebaut. Ein hoher Porenwassergehalt und ein hoher hydrostatischer Druck können zu einem Hangbruch führen, wenn der Standsicherheitsfaktor unter 1 sinkt. Nach den DIN-Vorschriften wird für Erdbauwerke ein Standsicherheitsfaktor von 1,4 gefordert.

Zur Bestimmung des Standsicherheitsfaktors empfiehlt es sich, bei Mischdeponien oder Mischdeponien mit Monobereichen, die Abfälle zu untersuchen, von denen man die geringste Standfestigkeit erwartet. Das sind im allgemeinen die entwässerten Schlämme und wegen der biochemischen Aktivität die Klärschlämme.

An den Klärschlamm-Ablagerungen haben wir Standfestigkeitsuntersuchungen in Abhängigkeit vom Alter des Klärschlammes vorgenommen. Der Standsicherheitsfaktor nimmt nach 3 Jahren auf $F = 1,48$ ab und steigt dann bei fortschreitender Entwässerung und Konsolidierung des deponierten Klärschlammes wieder an. Deshalb deponieren wir grundsätzlich ganzflächig und schütten höhere Lagen erst bei erfolgter Konsolidierung auf.

Das Anlegen der vertikalen Dränwände fördert die Entwässerung und somit auch die Standfestigkeit. Eine weitere Verbesserung der Standfestigkeit wird durch Schüttung von 25 m breiten Randdämmen aus Kesselasche und bindigen Böden erreicht.

Um einer Durchsickerung der Randdämme vorzubeugen, wird zwischen Randdamm und Abfallablagerung ein schrägliegender Streifen aus wasserdurchlässigen Abfällen in 2 bis 5 m Breite geschüttet. Eine zusätzliche Sicherung gegen das Durchsickern der Dämme wird durch die zur Mitte geneigten - mit Anschluß an vertikale Dränschichten - Abfalloberflächen erreicht.

Die schrägliegenden Dränschichten zwischen Abfallschüttung und Randdamm stellen zusammen mit den Dränwänden im Abfall zugleich ein äußerst wirksames passives Entgasungssystem dar.

5. Kontrollen und Langzeitverhalten

Bisher haben Sie etwas über die Konstruktion der Deponie und eine darauf abgestimmte Betriebstechnik erfahren. Alle diese Maßnahmen dienen der sicheren Abfallablagerung. Trotz der großen Vorsorge für eine Deponierung mit geringsten Umweltrisiken sind Kontrollen angezeigt. Die Kontrollen sollen verhindern, daß dafür ungeeignete Abfälle abgelagert werden. Sie sollen zeigen, daß die Sohle der Deponie gegen das Grundwasser dicht ist. Alle Abfallanlieferungen müssen nach Art und Menge mit Angabe des Ablagerungsbereiches dokumentiert werden.

Durch Messung der Wasserstände im Deponiekörper und durch Bestimmung der abgepumpten Sickerwassermenge wird die Entwässerung der Deponie beobachtet. Dazu gehört auch die Registrierung der Niederschläge.

Alle Abfälle, die auf unserer Deponie abgelagert werden, sind auf ihre Eignung zur Deponierung untersucht worden. Die Analysen werden in Anlehnung an die "Richtlinie für die Untersuchung und Beurteilung von Abfällen" des Landes NRW ausgeführt. Obwohl unsere Deponie eine reine Werksdeponie ist, wird die Anlieferung kontrolliert. Der Pförtner hat in seiner Pförtnerloge von allen zugelassenen Abfällen Rückstellmuster für eine visuelle Kontrolle. In regelmäßigen Abständen werden von den Abfällen Proben genommen. Die Analysen von diesen Stichproben werden mit denen der ursprünglichen Proben verglichen.

Das Grundwasser aus den 7 Grundwasserbeobachtungsbrunnen rund um die Deponie wird einmal monatlich beprobt.

Die Sickerwassermenge wird mit dem Abpumpen mittels induktiver Durchflußmessung bestimmt. Ein automatischer Probenehmer nimmt mengenrepräsentative Durchschnittsproben. Diese Proben werden jeden Tag frisch eingefroren und zu einer Monatsdurchschnittsprobe vereinigt (Bild 2).

1976	30 % der Niederschläge
1977	39 % " "
1978	34 % " "
1979	42 % " "
1980	61 % " "
1981	60 % " "
1982	66 % " "
1983	86 % " "
1984	89 % " "

Bild 2: Relative Sickerwassermengen

Deponiegasproben werden unregelmäßig aus Saugern, Schächten und im Abfall eingelassenen Gasmeßsonden gezogen und gaschromatographisch untersucht. Die Methangas-Konzentration, die Explosivität und der Sauerstoffgehalt werden wöchentlich durch Meßgeräte bestimmt (Bild 3).

Die Deponiegas-Analysen zeigen, daß unsere Deponie wie eine Hausmülldeponie CO_2 und Methan produziert. Die Mengen sind allerdings wesentlich geringer als bei Hausmüll-Ablagerungen.

Meßstelle	Vol. %			Bemerkungen
	CH ₄	CO ₂	O ₂	
Schächte	0,1	0,5	18,4	über Dränwände Verbindung mit Außenluft
Sauger 33	40	1,82	3,0	
Gassonde im Klärschlamm 6 J. alt 10 m Tiefe	25	0,02	1,1	Kalkhaltiger Klärschlamm
Sonde im Mischbereich 1,5 J. alt 2,5 m Tiefe	1,05	3,0	1,3	

Bild 3: Deponiegas-Analysen

6. In der Öffentlichkeit werden anhand negativer Beispiele durch die Presse immer wieder Ängste vor dem Langzeitverhalten von Deponien erzeugt, "Stichwort Zeitbombe". Auch Fachleute äußern mitunter: "Wie sich die Deponie in 50 oder 100 Jahren verhält ist schwer vorauszusagen".

Gegen solche Meinungen läßt sich einiges sagen: Die Abfälle werden untersucht. Die Auslaugtests liefern meistens die Maximalkonzentration. Abbauvorgänge und gegenseitige Beeinflussung kann man simulieren. Gerade Arbeiten, die hier in Braunschweig ausgeführt wurden, zeigen dies.

Aufgrund von Abbau-Versuchen mit unserem Klärschlamm, die bereits seit 1977 laufen, haben wir ziemlich genaue Kenntnisse über das Abbauverhalten des Klärschlammes und die Sickerwasserzusammensetzung nach Beendigung des Deponiebetriebes. (Bild 4).

	TOC g/l	CSB g/l	BSB ₅ g/l	Abdampfrückstand Fracht t g/l		Chlorid g/l	Sulfat g/l	NH ₄ ⁺ g/l
1976	0,3	1,0	-	-	2,5	0,7	0,4	0,1
1977	1,5	4,8	2,1	-	12,1	3,8	1,2	0,4
1978	1,8	5,6	2,5	270	18,7	7,0	1,5	0,6
1979	2,1	6,4	3,0	863	28,6	11,0	1,8	1,0
1980	2,6	6,9	3,8	1.510	41,9	15,6	2,9	0,9
1981	1,9	5,2	2,5	1.056	24,1	15,6	2,9	0,6
1982	1,4	3,7	1,8	1.530	22,0	7,9	1,5	0,6
1983	1,5	4,1	1,9	2.221	28,0	8,9	2,3	0,9

Bild 4: Sickerwasseranalysen

Ein Vergleich der Analysen des Deponie-Sickerwassers und des Sickerwassers aus den Versuchen zum Abbau des Klärschlammes in Fässern zeigt, daß das Deponie-Sickerwasser von den Auslaugungen des Klärschlammes geprägt ist.

Die Faßversuche ermöglichen auch eine Langzeitschätzung der Sickerwasserzusammensetzung. Das Sickerwasser unserer Deponie wird in 20 bis 30 Jahren nur noch eine geringe organische Belastung haben. Die wesentliche Fracht wird aus Salzen bestehen.

Im vorstehenden wurden die Probleme einer konventionellen Werksdeponie geschildert. Aber auch die Lösung der Probleme wurde gezeigt.

Die angebotenen Problemlösungen haben auch den Vorteil, daß sie betriebserprobt sind. Daher bin ich der Überzeugung, daß die so betriebenen Deponien sehr sicher sind. Forderungen nach einer Hochdeponie à la Rollins oder nach einer "begehbaren" Deponie - nur weil bei mancher alten Deponie Fehler gemacht wurden - sind damit unberechtigt. Auch diese Deponien - sofern sie überhaupt ausführbar sind - werden ihre Probleme haben.

Literatur

1. a) Errichtung und Betrieb einer Deponie (1984)

b) Beitrag zum Sickerwasserhaushalt und zur Standsicherheit von Deponien (1984)

Ausarbeitungen des Arbeitskreises Deponie beim Verband der Chemischen Industrie (VCI, Frankfurt)

2. H. Weitzel, Müll- und Abfallbeseitigung (Kunst/Maas/Straub), Band 4, 8182

3. W. Adamczyk, H. Weitzel und G. Mattheß, Umwelt (1976), 305-313

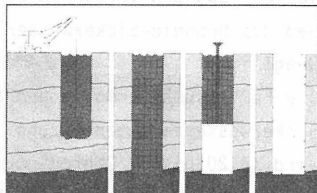
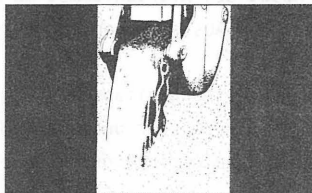
Jahrzehntelange, weltweite Erfahrungen bilden die Grundlage für unsere

Baubentonite

Erstklassige Rohstoffe, die sorgfältige Aufbereitung in unserer modernen Produktionsanlage, die kontinuierliche Qualitätsüberwachung und Weiterentwicklung in unserem Labor, garantieren einen außergewöhnlich hohen Qualitätsstandard.

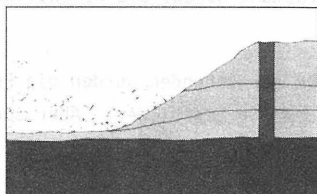
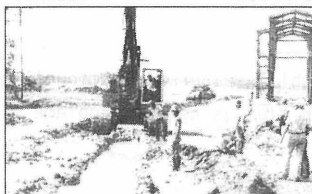
Schlitzwand-Bentonit

Slurry Ben 90



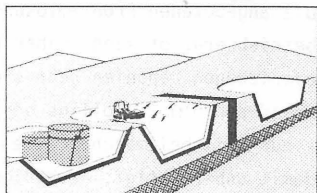
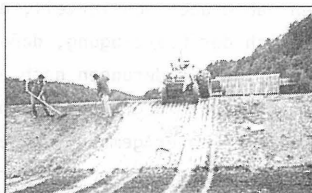
Dichtwand-Bentonit

Slurry Ben 90 C.B.



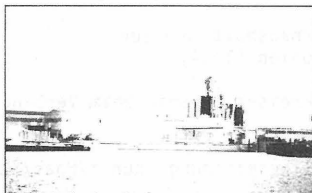
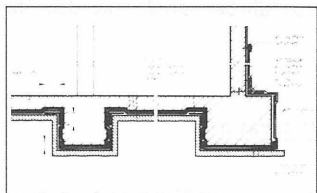
Bodenabdichtungs-Bentonite

SLS 70 · SLS 71
TFS 80 · TFS 81 · SG 40
PACT-S



VOLCLAY- Abdichtungssystem

VOLCLAY-Platten und
Zubehör



Durch unser kompaktes Lieferprogramm und die verkehrsgünstige Lage (Wasseranschluß Duisburg-Ruhrorter Südhafen, Gleisanschluß DB, Autobahn-Nähe) ist ein kurzfristiger und problemloser Versand sichergestellt.

Bentonit International



Bentonit International GmbH
Stahlinsel 15 · D-4100 Duisburg-Meiderich
Tel. (02 03) 44 86 26 / 44 89 93 / 44 87 35 · Telex 855 287 volay d

Enddeponie von Sonderabfallstoffen in Salzkavernen

Dr.-Ing. Dipl.-Geol. H. J. Schneider
Kavernen Bau- und Betriebs - GmbH
Hannover

1. Probleme der Endlagerung von eluierbaren Abfallstoffen in Sonderabfalldeponien

Zur Entsorgung nichtverwertbarer Sonderabfälle werden heute vorrangig thermische und chemisch-physikalische Behandlungsverfahren eingesetzt, damit die Schadstoffe - zerstört und umgewandelt - keine Gefährdung für die Umwelt mehr darstellen. Diese Form der Abfallentsorgung ist nach dem heutigen Stand der Technik häufig kein in sich geschlossener Kreislauf, sondern stellt vielfach eine Verlagerung der Schadstoffe von einem Medium auf das andere dar, wobei am Ende der Aufbereitungskette wieder ein umweltbelastendes Abfallprodukt steht, das dem Biozyklus durch eine sichere Enddeponierung entzogen werden muß.

Die derzeitige Situation bei der Abfallbeseitigung ist zum einen gekennzeichnet durch eine Abnahme der herkömmlichen Abfallstoffe infolge der zunehmenden Aufbereitung und Verbrennung, zum anderen durch eine wachsende Zahl neuer Abfallstoffe, wie sie z.B. bei Luftreinhaltungsmaßnahmen oder bei der Sanierung von Altdeponien anfallen. Mit dieser neuen Klasse von Abfallstoffen - es handelt sich im wesentlichen um Rückstände aus der Rauchgaswäsche von Müllverbrennungsanlagen einschl. der Filterstäube und um salzhaltige Eindampfungsrückstände - ergeben sich Entsorgungsprobleme, die mit den herkömmlichen Deponieverfahren sehr schwer zu lösen sind, da diese Abfallstoffe in der Regel in größeren Mengen anfallen und einen hohen Anteil an wasserlöslichen Stoffen besitzen.

Zur Endlagerung von Sonderabfällen stehen z.Z. folgende Deponierverfahren zur Verfügung:

- obertägige Sonderabfalldeponie nach dem Anschüttungsprinzip
- Sonderabfalldeponie nach dem Polder-System
- obertägige Sonderabfallanlage zur Zwischenlagerung
- Untertagedeponie in bergmännisch aufgefahrenen Hohlräumen (Bergwerk).

Eine Endlagerung dieser Abfallstoffe in obertägigen Deponien sollte ohne entsprechende Vorbehandlung nicht in Betracht gezogen werden, da davon ausgegangen werden muß, daß die Schadstoffe im Laufe der Zeit über Sickerwässer wieder in Erscheinung treten und einer neuerlichen Abfallbehandlung unterzogen werden müssen.

Eine Zwischenlagerung in obertägigen Sonderabfallanlagen scheidet für diese Abfallstoffe aufgrund der großen anfallenden Mengen und der wenig wahrscheinlichen Wiederverwendungsfähigkeit auch zukünftig aus. Es empfiehlt sich deshalb, alle Abfallstoffe, deren Aufbereitung und Neutralisation z.Z. technisch und/oder wirtschaftlich nicht möglich sind, untertägig in geologischen Gesteinsformationen zu lagern, die undurchlässig gegenüber Gasen und Flüssigkeiten sind. Eine Einlagerung dieser Abfallstoffe in bergmännisch aufgefahrene Hohlräume (Bergwerke) kommt wegen der begrenzten Einlagerkapazität nicht in Betracht, weil die Abfallstoffe durch die Gegenwart von Personal und Wetterführung im Bergwerk verpackt werden müssen und die Entsorgung damit wirtschaftlich zu teuer wird. Außerdem wirft die Betriebsstillegung einer Bergwerksdeponie bergrechtlich noch einige Probleme auf.

Für die Enddeponierung dieser Klasse von festen Abfallstoffen bietet die Salzkavernen-Deponietechnik eine wirtschaftliche und umweltfreundliche Alternative, die im folgenden dargestellt wird.

2. Salz - eine geeignete geologische Formation zur Lagerung und Deponierung umweltgefährdender Stoffe

Salzgestein bietet aufgrund seiner besonderen gesteinsphysikalischen Eigenschaften ideale Voraussetzung als Wirtgestein zur Sonderabfallagerung. Die sichere Lagerung von umweltgefährdenden Stoffen im Salz ist heute durch die jahrzehntelange Erfahrung der Speicherung von flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffen in Salzkavernen erwiesen (Abb. 1).

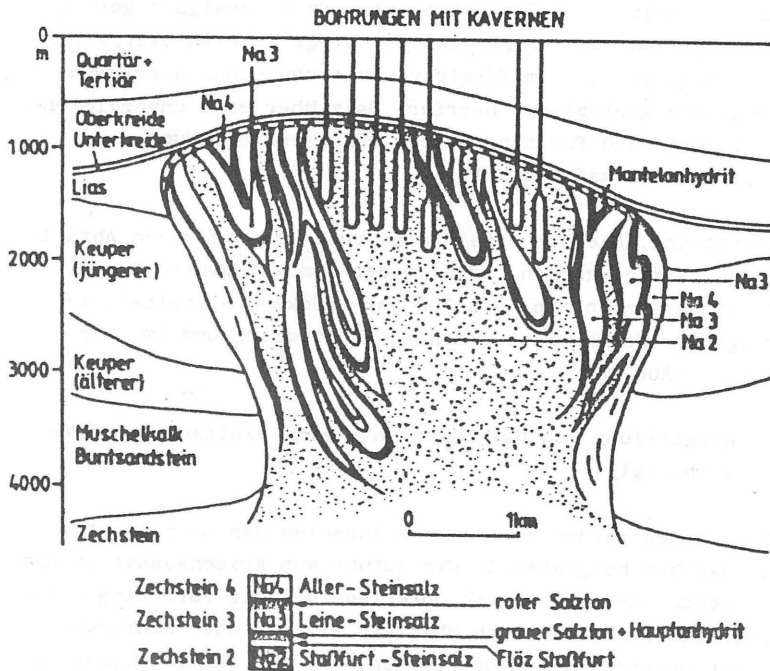


Abb. 1: Querschnitt durch einen nordwestdeutschen Salzstock mit Speicherkavernen

Aufgrund dieser günstigen Eigenschaften wird deshalb auch die Lösung, radioaktive Abfallstoffe in Salzformationen des tieferen Untergrundes endzulagern, von verschiedenen Entsorgungsmöglichkeiten als die sicherste angesehen. Da an die langfristige Einlagerung umweltgefährdender Sonderabfälle auch aus ökologischer und wirtschaftlicher Sicht vergleichbare Anforderungen gestellt werden müssen, bietet sich auch hier die Nutzung von behälterlosen Hohlräumen in Salzgesteinsformationen an.

Salz ist im Vergleich zu anderen geologischen Formationen undurchlässig; seine Porosität ist vernachlässigbar gering. Demzufolge kann eine Migration der eingelagerten Stoffe ausgeschlossen werden. Im Vergleich zu technischen Barrieren verfügt die geologische Barriere Salz über eine unvergleichbare längere und für menschliche Ermessenszeiträume unbegrenzte Funktionsfähigkeit.

Salzgesteine, die für eine Endlagerung von toxischen Abfallstoffen infrage kommen, sind in der Bundesrepublik Deutschland im Norden in mehr als 200 Salzstöcken verbreitet, im Werragebiet Nordhessens, in Nord-Württemberg und im Oberrheintal (Abb. 2).

3. Herstellung von Salzkavernen - eine vielfach erprobte Technologie

Salzkavernen werden heute durch Aussolen des Salzes mit Frischwasser hergestellt. Die Zufuhr von Frischwasser in dem zu solenden Gebirgsbereich untertage und die Förderung der salzgesättigten Sole nach übertage erfolgt über Bohrungen, die von übertage abgeteuft werden. Zur getrennten Förderung von Sole, Frischwasser und einem Schutzmedium, um den Lösungsprozeß im Kavernendach zu steuern, werden in die verrohrte Bohrung zwei zusätzliche Rohrstränge eingebaut. Bei diesem Lösungsbergbau kann nach dem heutigen Stand der Technik der Solprozeß so gesteuert werden, daß Kavernen in den gewünschten Abmessungen mit nachweisbarer Standsicherheit geschaffen werden können (Abb. 3).

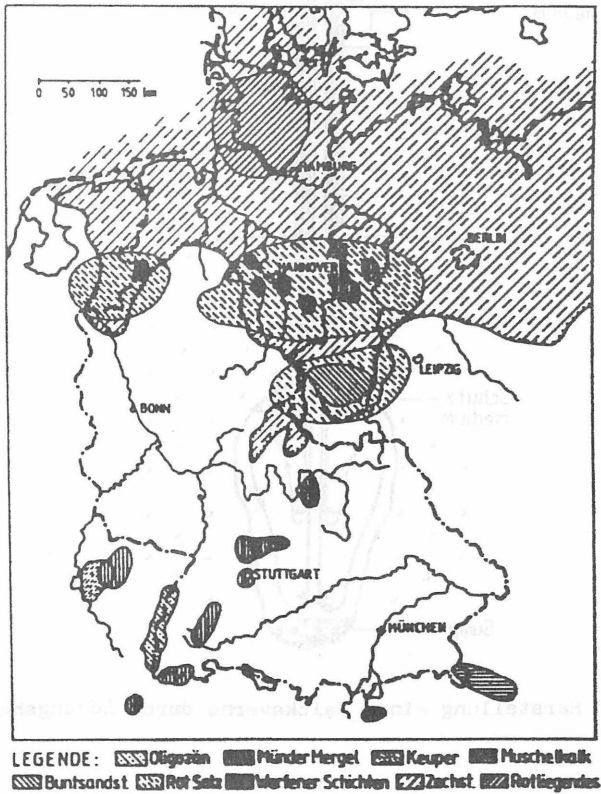


Abb. 2: Salzvorkommen in Deutschland

Die Kavernen in Salzstöcken Norddeutschlands werden in Teufen von 500 m - 2 000 m angelegt. Das Hohlraumvolumen schwankt zwischen 100 000 - 1 500 000 m³ bei einem Radius von 30 m bis 60 m und einer vertikalen Erstreckung von 300 m - 600 m (Abb. 4).

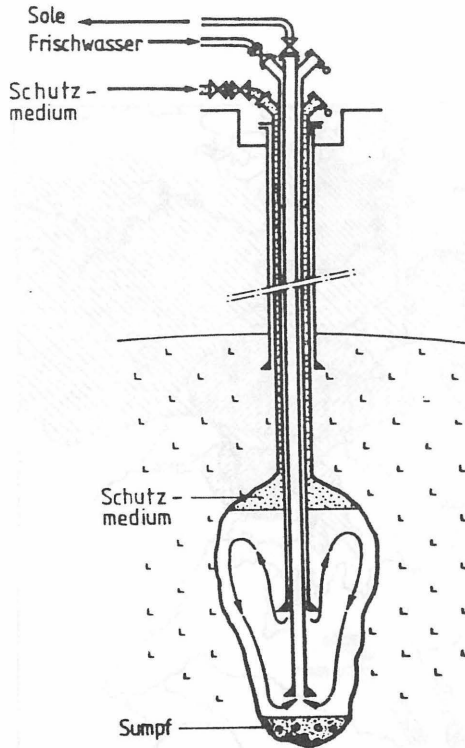


Abb. 3: Herstellung einer Salzkaverne durch Lösungsbergbau

Um eine absolute Dichtigkeit und Standsicherheit des Kavernenhohlraumes zu gewährleisten, werden die Bohrungen im überlagernden Deckgebirge vollständig und im Salz über eine Strecke von 100 - 300 m verrohrt und zementiert. Die Dichtigkeit der mit Spezialzement durchgeführten Zementation wird durch entsprechende Tests vor Aufnahme des Auslaugungsprozesses und zu Beginn des Speicher- und Deponiebetriebes eingehend überprüft. Zur Dimensionierung, Überwachung und Standsicherheitsbeurteilung der Kavernen liegen heute eine Reihe von erprobten Labor- und in situ-Messungen und Versuche sowie numerische Rechenverfahren vor.

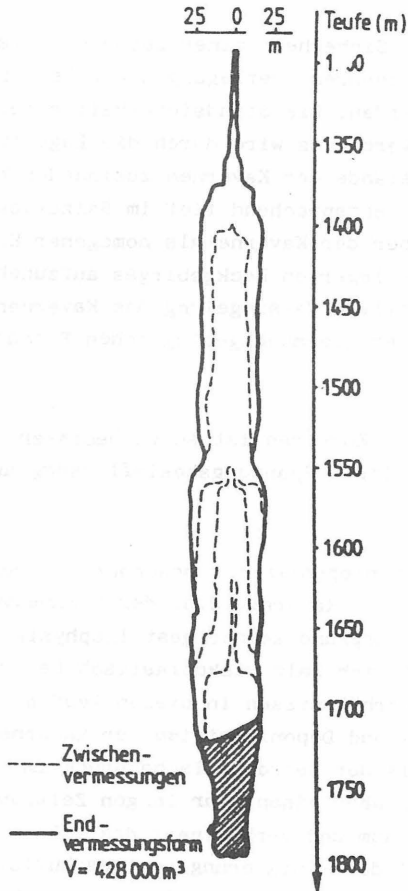


Abb. 4: Darstellung einer 428 000 m³-Kaverne
im Vertikalschnitt mit Zwischenvermessungen

4. Sicherheit und Betrieb von Salzkavernendeponien

Kavernen mit Volumina von 100 000 bis 1 500 000 m³ und mehr stellen heute den Stand der Technik dar. Zur Speicherung von flüssigen und gasförmigen Kohlenwasserstoffen wurde in der Bundesrepublik Deutschland ein Kavernenvolumen von insgesamt 37 Mio m³ erstellt. Die Betriebserfahrungen mit diesen Kavernenspeichern in über zwei Jahrzehnten sind überaus positiv.

Bei der Beurteilung der Sicherheit einer Deponie in Salzkaavernen kann von vergleichbaren Überlegungen wie bei Speicherkavernen ausgegangen werden. Die Standsicherheit einer Kaverne oder eines Kavernenverbandes wird durch die Lage im Salzstock und durch die Abstände der Kavernen zueinander bestimmt. Kavernen werden entsprechend tief im Salzstock angelegt, damit das Salz über der Kaverne als homogener Körper sowohl die Last des überlagerten Deckgebirges aufzunehmen vermag als auch eine völlige Versiegelung des Kavernenhohlraumes gegenüber den überlagernden geologischen Formationen gewährleistet ist.

Der Abstand zwischen den Kavernen ist so zu bemessen, daß eine gegenseitige schädliche Spannungsbeeinflussung ausgeschaltet ist.

Beim Betrieb von Kavernendeponien ist besondere Aufmerksamkeit der Konvergenz der Kaverne, d.h. der Volumenverkleinerung zu widmen. Aufgrund seiner gesteinsphysikalischen Eigenschaften verformt sich Salz viskoplastisch bei den Druck- und Temperaturverhältnissen in diesen Teufen. Da in der Regel im Speicher- und Deponiebetrieb der Kaverneninnendruck niedriger ist als der petrostatische Druck im Salzgebirge, fließt das Salz über einen sehr langen Zeitraum in Richtung Kavernenhohlraum und verkleinert das Volumen. Dies hat zur Folge, daß bei der Einlagerung von geschütterten Feststoffen das deponierte Material so lange verdichtet wird, bis ein Druckausgleich zwischen Kaverneninnendruck und Gebirgsdruck erreicht ist.

Die Konvergenz der Kaverne kann minimiert werden durch die Beigabe von Zuschlagstoffen, die den Porenraum zwischen den Feststoffen ausfüllen und sich nach dem Einbringen verfestigen. Bei der Beurteilung des Langzeitverhaltens bei einer verschlossenen, mit Feststoffen verfüllten Kaverne kann nach dem heutigen gesicherten Kenntnisstand davon ausgegangen

werden, daß der Kaverneninhalt von Salz als druckhomogener Körper umschlossen wird, ohne mit Austritten von Abfallstoffen in die Biosphäre rechnen zu müssen.

Die Konvergenz der Kaverne führt bei der Einlagerung flüssiger Stoffe zu einem Druckanstieg innerhalb des Flüssigkeitskörpers. Um ein Aufbrechen des umgebenden Salzgebirges durch den Flüssigkeitsdruck des eingelagerten Mediums zu verhindern, wird bei der derzeitigen Kavernenspeicherung in periodischen Abständen eine Druckentlastung durch Flüssigkeitsentnahme vorgenommen. Die Einlagerung flüssiger Abfallstoffe in eine endverschlossene Kaverne ist nach dem derzeitigen Kenntnisstand nicht zulässig. In Forschungsprogrammen wird jedoch z.Z. die Sicherheitsbeurteilung abgeschlossener flüssigkeitsgefüllter Salzkavernen überprüft. Dieses Problem stellt sich bei der Deponierung fester Abfallstoffe nicht, sofern die Abfälle unter den herrschenden Druck- und Temperaturbedingungen keine flüssige Phase abscheiden. Flüssige Abfallstoffe lassen sich deponieren, wenn durch Beigabe geeigneter Zuschlagstoffe die Abfälle in der Kaverne in situ verfestigen und somit den erforderlichen Stützdruck auf die Kavernenwandungen ausüben können.

Salzkavernendeponien haben den großen Vorteil, daß das Depo-niegut unter Abschluß der Atmosphäre direkt von Übertage und ohne Präsenz von Betriebspersonal untertage in die Kaverne eingelagert werden kann. Hierdurch entfallen die Kosten aufwändiger Konditionierungs- und Verpackungsmaßnahmen von Sondermüll, wie sie bei der Einlagerung in Bergwerken wegen der Bewetterung und der Anwesenheit von Betriebspersonal untertage erforderlich sind.

Die Beschickung der Kaverne mit Sonderabfällen von Übertage erfolgt über die Zugangsbohrung. Die Einlagerverfahren von Sonderabfällen in Salzkavernen werden im wesentlichen bestimmt

- vom Kavernenzugang über eine längere vertikale Bohrung
- von der Konsistenz des Sonderabfalls
- von der Beschickungsart kontinuierlich / diskontinuierlich
- von der chemischen Zusammensetzung der Sonderabfälle, d.h. der Verträglichkeit untereinander und gegenüber Salz und
- von der Füllung der Kaverne vor Beginn der Einlagerung (Trocken- oder Nassdeponierung).

Nach Abschluß des Solprozesses ist die Kaverne noch mit Sole gefüllt. Um das Deponiegut trocken in die Kaverne einzulagern (Trockendeponierung), wird die Sole vorher über Tauchkreisel-pumpen oder durch Einpressen von Luft und Verdrängen über einen Rohrstrang entfernt. In Ausnahmefällen kann bei der Deponierung von Abfällen, die nicht wasserlöslich sind und eine unterschiedliche Dichte zur Sole aufweisen, die Sole aus der Kaverne durch die einzulagernden Abfallstoffe verdrängt werden (Nassdeponierung). Nach dem derzeitigen Stand der Technik ist jedoch in aller Regel das Verfahren der Trocken-deponierung bevorzugt anzuwenden.

Einer der großen Vorteile der Salzkavernendeponie besteht in der Möglichkeit der kontinuierlichen Beschickung, so daß auch große Abfallmengen in kurzer Zeit entsorgt werden können. Hierzu wird das Deponiegut über eine zusätzliche Rohrleitung, die in die Verrohrung der Bohrung eingehängt wird, verpumpt, verblasen oder geschüttet. Die zusätzliche Rohrtour ist zum Schutz der äußeren Verrohrung vor Korrosion und Abrasion erforderlich und kann bei Störfällen, wie Verstopfen o.ä., ausgebaut und/oder ersetzt werden.

Alternativ kann die Kaverne diskontinuierlich mit Abfall in Behältern beschickt werden. Das Material wird am Kabel in die Kaverne eingelassen. Vorteilhaft ist bei der Beschickung mit Behältern, daß kein direkter Kontakt zwischen Abfall und

Verrohrung besteht und daß auch im Lager selbst noch eine zusätzliche Barriere zwischen Abfall und Salz vorhanden ist. Nachteilig sind in erster Linie die höheren Kosten und die wesentlich geringere Befüllrate.

Bei der kontinuierlichen Beschickung werden die festen Abfälle unter Eigengewicht über die zusätzliche Rohrtour in die Kaverne geschüttet. Das Deponiematerial ist so weit aufzuarbeiten, daß es für den Transport durch das Zuleitungsrohr mit begrenztem Durchmesser geeignet ist. Dies kann in Form von

- unregelmäßig gebrochenem Material
- gepreßten Körpern (Briketts oder Pellets) sowie
- Staub geschehen.

Hierbei ist zu beachten, daß beim Einbringen von feinkörnigen Materialien und Stäuben sowie von Wasser- und ölhaltigen Stoffen die Gefahr des Zusetzens der Verrohrung besteht. Dem Zusetzen der Rohrleitung kann durch Molchen vorgebeugt werden, indem ein mit Bürsten und Schaben versehener Körper, der den Rohrquerschnitt vollständig ausfüllt (Kratz-Molch), in periodischen Zeitabständen durch die Rohrleitung gepreßt wird, wodurch die Ablagerungen an der Rohrwand beseitigt werden. Pastöse Stoffe werden mit oder ohne Unterstützung durch Pumpen in die Kaverne geleitet. Hierbei ist die Verträglichkeit des Abfallstoffes mit der Verrohrung in bezug auf Korrosion sowie die Gefahr von Ablagerungen an den Rohrwänden zu beachten, d.h., die Zuleitung muß in periodischen Zeitabständen ebenfalls gemolcht werden. Beim augenblicklichen Stand der Technik ist vorrangig eine Verfestigung der Abfallstoffe ohne Flüssigkeitsphase durch Zuschlagstoffe anzustreben.

Die Einlagerkapazität einer Kaverne liegt in der Regel bei 100 000 bis 500 000 m³. Je nach Auslegung der obertägigen Anlagen können Kavernen dieser Größenordnung innerhalb eines

Jahres befüllt werden. Bei längeren Einlagerzeiträumen muß die Kaverne je nach Teufenlage und Standsicherheit ggfs. pneumatisch gestützt werden.

Nach vollständiger Befüllung der Kaverne wird bei einer Enddeponierung der Abfallstoffe die Zugangsbohrung hermetisch abgeschlossen. Hierzu wird das verrohrte Bohrloch mit Zement, Bitumen und Tonen über die gesamte Länge vom Kavernenkopf bis zutage, d.h. in der Regel bis zu 1 000 m und mehr, verfüllt. Der übertägige Betriebsplatz wird rekultiviert und seiner ursprünglichen Bestimmung, z.B. als Acker und Weideland, wieder zugeführt.

5. Welche Sonderabfälle sind bevorzugt in Salzkavernen einzulagern?

Bis auf wenige Ausnahmen lassen sich alle Abfallstoffe im Salz deponieren. Selbstverständlich ist angesichts der großen Sonderabfallmengen nur eine Auswahl von Sonderabfällen mit höherem Gefährdungspotential in Kavernen einzulagern. Bei der Deponierung von Sonderabfällen in Kavernen ist weiterhin zwischen einer vorübergehenden Zwischenlagerung von Abfallstoffen, die z.Z. mangels geeigneter technischer Verfahren oder unzureichender Anlagenkapazität nicht aufbereitet werden können, und einer Endlagerung von nicht weiter verwertbaren Abfallstoffen zu unterscheiden.

Kriterien zur Beurteilung des Gefährdungspotentials von Abfallstoffen, die nicht obertägig in Deponien eingelagert werden sollten, sind

- die Eluierbarkeit durch Wasser
- die Toxizität
- die Abgabe schadstoffhaltiger Gase in die Atmosphäre, die sowohl durch Verdampfung als auch durch chemische Reaktionen entstehen können

- die flüssige, pastöse und schlammige Konsistenz und
- die Migrationsfähigkeit durch die Tonabdichtung der obertägigen Deponien.

Nach diesen Kriterien lassen sich im wesentlichen sechs Kategorien von Sonderabfällen unterscheiden, die bevorzugt in Salzkavernen einzulagern sind:

1. Toxische Sonderabfälle

Toxische Sonderabfälle sind in der Regel Stoffe, die einen hohen Anteil von Pestiziden, Insektiziden und bestimmten Metallen (Arsen u.a.m.) aufweisen.

2. Stark salzhaltige Abfälle

Stark salzhaltige Abfälle fallen als Rückstände im wesentlichen bei der Rauchgaswäsche von Müllverbrennungsanlagen sowie als Eindampfungsrückstände von Sickerwässern an.

3. Brennbare Abfälle

In der Regel werden diese organischen Abfallstoffe durch Verbrennung beseitigt. Bei der Verbrennung dieser Abfallstoffe ergeben sich - insbesondere bei der Anwesenheit von Halogenen - nach dem derzeitigen Stand der Technik beträchtliche Umweltbelastungen, so daß für diese Kategorie eine Zwischenlagerung nach Einstellung der Seeverbrennung vorgenommen werden sollte, bis eine leistungsfähige und umweltsichere Verbrennung zur Entsorgung vorliegt.

4. Produktionsspezifische Abfälle

Diese Gruppe von Abfällen umfaßt produktionsspezifische Sonderabfälle, die bei der industriellen Fertigung bestimmter Produkte, wie z.B. Metallschlämme, Säureharze, Galvanoschlämme u.a.m., sowie bei der Aufbereitung und Verbrennung von Abfallstoffen, wie z.B. Filtersalze, anfallen.

5. Altlasten

Bei der Sanierung von Altdeponien und Außerbetriebsetzung von Produktionsstätten fallen größere Mengen von Abfallstoffen an, deren chemische Zusammensetzung und Toxizität aufgrund des hohen Anteils von Inertmaterial nicht mehr zu spezifizieren sind, dessen Gefährdungspotential jedoch keine obertägige Deponierung zuläßt.

Um eine chemische Reaktion der Sonderabfälle untereinander auszuschließen, ist eine Aufbereitung übertage nach dem in Abbildung 5 dargestellten Flußdiagramm erforderlich.

6. Salzkavernendepoien - Ergänzung oder Alternative zu bestehenden Abfallbeseitigungs- und Deponiekonzepten?

Im Bereich der Sonderabfallbeseitigung zeichnet sich z.Z. ein Wandel ab. Die Menge der Sonderabfälle, die bislang in obertägigen Deponien gelagert wird, ist rückläufig durch die zunehmende Wiederaufarbeitung und Behandlung. Andererseits fallen bei der Wiederaufbereitung in wachsendem Maße neuartige Sonderabfälle an, die als Endprodukte in der Aufbereitungskette stehen und sicher in untertägigen Großdeponien zu lagern sind.

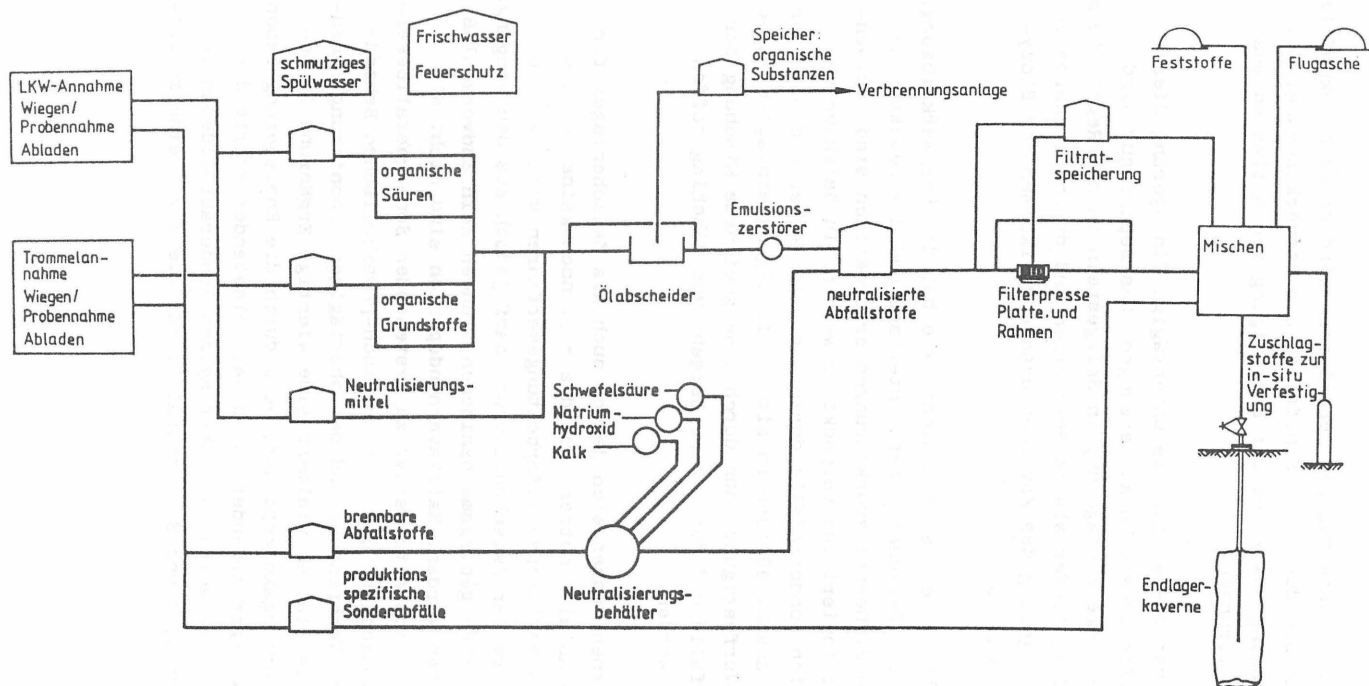


Abb. 5: Fließdiagramm der Abfallaufbereitung und Enddeponierung

Der Bedarf an untertägigem Deponieraum wird deshalb zukünftig noch anwachsen durch das Einstellen der Seeverklappung, der Seeverbrennung sowie bei der Beseitigung von Altlasten aus Deponiesanierungen.

Salzkavernen bieten für die untertägige Einlagerung dieser Abfallstoffe ideale Voraussetzungen. Das Deponiegut wird durch die tiefe Einlagerung in Salzgestein in der Regel 500 m bis 2 000 m, tiefer als in Bergwerken und durch die hermetische Versiegelung des Kavernenzugangs vollkommen vom Biozyklus abgeschlossen.

Die Abfallstoffe brauchen nicht, wie bei der Bergwerkslösung, wo durch den Personaleinsatz untertage und die Bewetterung besondere Sicherheitsvorkehrungen erforderlich sind, aufwendig konditioniert und verpackt zu werden. In Salzkavernen lassen sich Sonderabfälle derzeit nur in fester und pastöser Form mit anschließender in situ-Verfestigung einlagern. Eine in situ-Verfestigung kann durch eine geeignete Mischung der Sonderabfälle und durch eine Beigabe von Zuschlagstoffen erreicht werden.

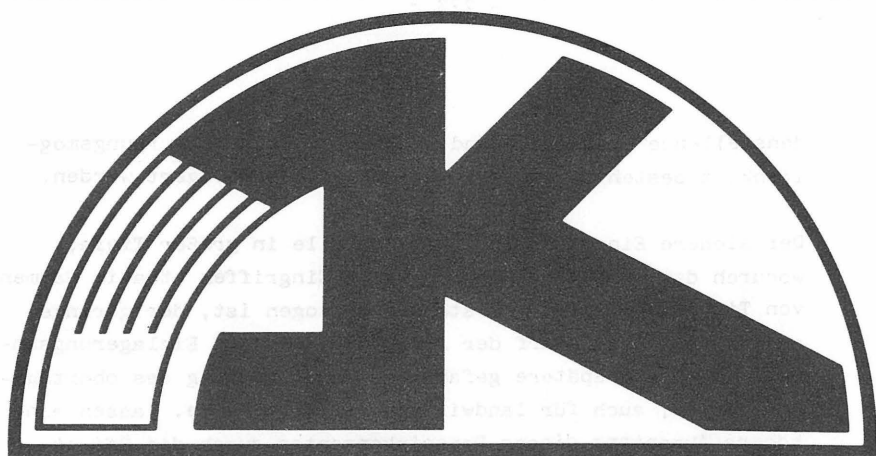
Salzkavernen lassen sich jedoch auch als Zwischenlager für flüssige Abfälle nutzen, für die z.Z. noch keine technischen und wirtschaftlichen Aufarbeitungsverfahren vorliegen. Bei dieser Form der Zwischenlagerung darf jedoch aus den eingangs geschilderten gebirgsmechanischen Gründen kein Endverschluß vorgenommen werden. Salzkavernendeponien sind nicht als konkurrierende Alternative zu bestehenden Sonderabfallbeseitigungskonzepten, d.h. der chemisch-physikalischen Behandlung, der Verbrennung und der obertägigen Deponierung, anzusehen. Sie stellen vielmehr eine wichtige Ergänzung im Gesamtentsorgungskonzept dar, weil durch die Endlagerung besonders umweltgefährdender und umweltbelastender Stoffe das Gefährdungspotential von obertägigen Sonderabfalldeponien reduziert wird und Sonderabfälle, für die z.Z. keine zufriede-

denstellenje technische und wirtschaftliche Entsorgungsmöglichkeit besteht, wiedergewinnbar zwischengelagert werden.

Der sichere Einschluß der Sonderabfälle in großer Tiefe, wodurch das Deponiegut menschlichen Eingriffen etwa im Rahmen von Tiefbaumaßnahmen vollständig entzogen ist, der geringe obertägige Platzbedarf der Aufbereitungs- und Einlagerungsanlage sowie die spätere gefahrlose Wiedernutzung des obertägigen Landes, auch für landwirtschaftliche Zwecke, lassen eine höhere Akzeptanz dieses Deponiekonzeptes durch die Öffentlichkeit erwarten.

LITERATUR

- FUNDERBURK, R. (1984): Disposal in Salt: The fifth Alternative.
Pollution Engineering Magazine, Juli 1984, USA
- GOMM, H., LINDEMANN, N., QUAST, P., SCHNEIDER, H.J.
(1983): Ingenieurgeologische Kriterien für untertägige Speicher- und Deponiekonzepte in Mitteleuropa.
Bericht 4. Nat. Tagung für Ingenieurgeologie,
Goslar 1983, S. 187-194, DGEG
- HOFRICHTER, E. (1972): Behälterlose Speicherung von Energieträgern in ausgesolten Kavernen.
Arbeitstagung des Vereins für Tiefbohrtechnik e.V.
Erdöl Erdgas Zeitschrift 1972
- QUAST, P., BECKEL, S. (1981): Derzeitiger Stand der soltechnischen Planung von Speicherkavernen im Salz und die damit erzielten praktischen Ergebnisse.
Erdöl Erdgas Zeitschrift, S. 213-217, Heft 6,
97. Jg.



125 Jahre 1860–1985

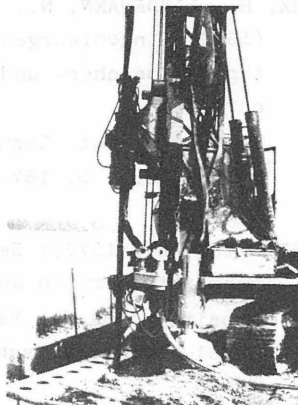
GKN KELLER

G
M
B
H

Dichtungswände



Rütteldichtwand Rheindeich Neuwied



Soilcretedichtwand Rheindeich Iffezheim

Spezialtiefbau

Kaiserleistraße 44 · 6050 Offenbach 3 · 069-80510

Anforderungen und Vorstellungen für Planung und Betrieb einer Sonderabfalldeponie

Dr. - Ing. J. Knoch
Edelhoff Städtereinigung GmbH & Co

1. Allgemeines

Hauptsächliches Ziel der Abfallwirtschaft ist die sichere und zuverlässige Entsorgung von Abfällen; hierzu sind zwei Teilbereiche von besonderer Bedeutung:

- Erfassung, Sammlung und Transport von Abfall
- Behandlung von Abfall

Erst wenn diese Aufgaben zuverlässig gelöst sind, können zusätzliche Maßnahmen in dieses System integriert werden, z.B. Aufbereitung von Abfall.

Die Vermeidung von Abfall beim bzw. durch den Abfallerzeuger kann nicht Bestandteil eines Entsorgungskonzeptes sein, da dies betriebsinterne Vorgänge sind, für die es keine abfallrechtlichen Regelungen gibt. Die Möglichkeiten zur Vermeidung sind abhängig von Produktionstechniken, Aufbereitungsverfahren und verwendeten Produktionsstoffen, mithin also zeitlich veränderlich. Die Vermeidung von Abfällen liegt ohnehin im Interesse der Produzenten, denn Ziel der Produktion ist es, auf effektive Art Produkte herzustellen und nicht Abfälle zu erzeugen. Es zeigt sich in der Praxis, daß mit steigenden

Entsorgungspreisen die innerbetriebliche Abfallaufbereitung zunimmt, da die für die nicht als Abfall entsorgten Mengen erzielten Gutschriften ebenfalls steigen und somit die Wirtschaftlichkeit der betriebsinternen Aufbereitungsverfahren begünstigen.

Die innerbetriebliche Abfallaufbereitung führt zu zwei wichtigen Ergebnissen:

- die als Abfall abgegebenen Mengen nehmen ab, es entstehen Kleinmengen;
- die Kleinmengen enthalten in konzentrierter Form die Störstoffe der aufbereiteten größeren Abfallmenge (Abfall von Abfall).

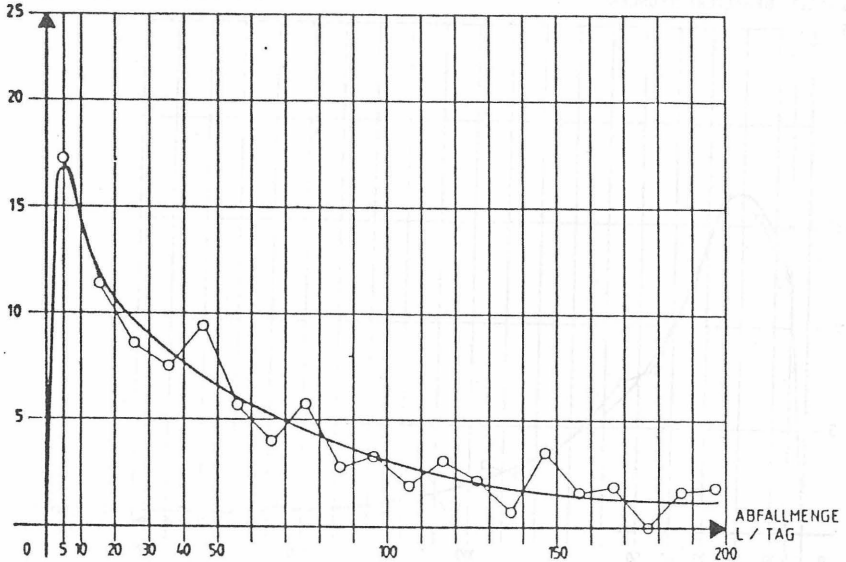
In der Praxis hat sich gezeigt, daß zunehmend Sonderabfälle als Kleinmengen (im cbm-Maßstab) anfallen.

Hierüber hat SCHERLER (Schriftenreihe Edelhoff, Heft 7, 1984) ausführlich berichtet. Eine statistische Auswertung führt zu Ergebnissen, wie sie in Bild 1 und 2 dargestellt sind.

Die Erfassung der Abfälle erfolgte mit Hilfe von AS-Wechselbehältern, die unmittelbar am Entstehungsort des Abfalles aufgestellt werden können. Hier sei noch folgendes angemerkt: gerade die Erfassung derartiger Kleinmengen (jeder zweite ASF-1000-Wechselbehälter wird z.B. mit ca. 40 l Abfall pro Tag befüllt) zeigt, wie eng Abfallwirtschaft und Abwasserwirtschaft miteinander verzahnt sind; jeder 6. AS-Wechselbehälter wird mit ca. 5 Liter flüssigem Abfall pro Tag befüllt. Bezieht sich die Forderung der Abfallvermeidung im wesentlichen auf den Abfallerzeuger, so kann sich die Forderung nach Abfallaufbereitung nur auf den Betreiber von Abfallbehandlungsanlagen beziehen. Die Aufbereitung von Abfall wird allerdings um so schwieriger, je mehr beim Abfallerzeuger bereits Abfälle aufbereitet werden.

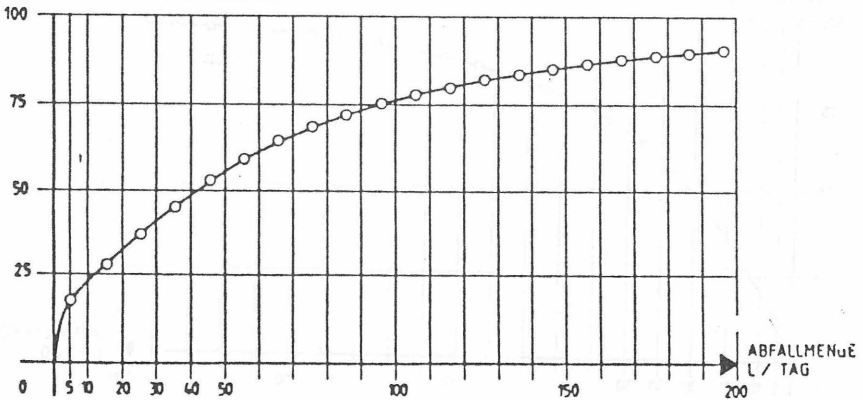
Am Beispiel der Destillation soll das verdeutlicht werden: der Abfallerzeuger - oder der Lohndestilleur - wird den Destillationsprozeß dann abbrechen, wenn die Kosten die Erlöse übersteigen. Der entstandene Rest wird als Abfall abgegeben.

% ALLER BEHÄLTERFÜLLUNGEN



Häufigkeitsverteilung (100 % = 629 Behälterfüllungen)

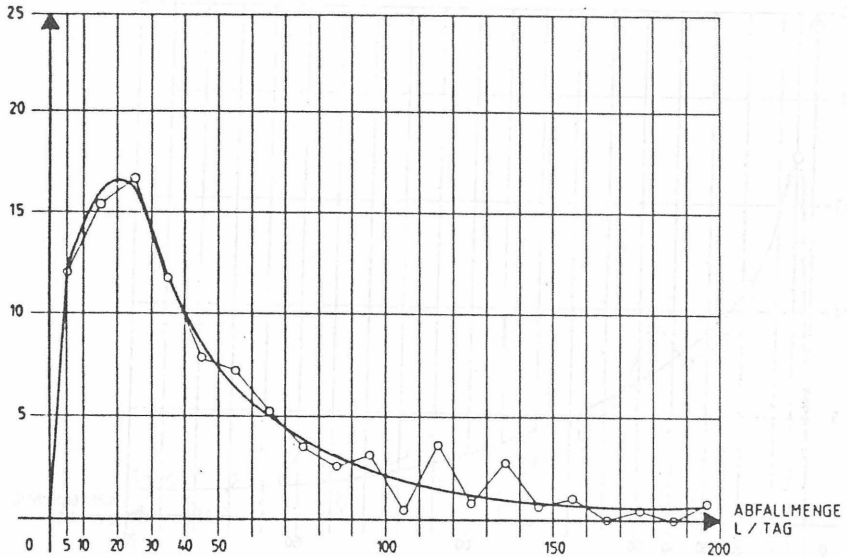
Σ % ALLER BEHÄLTERFÜLLUNGEN



Häufigkeitssumme (100 % = 629 Behälterfüllungen)

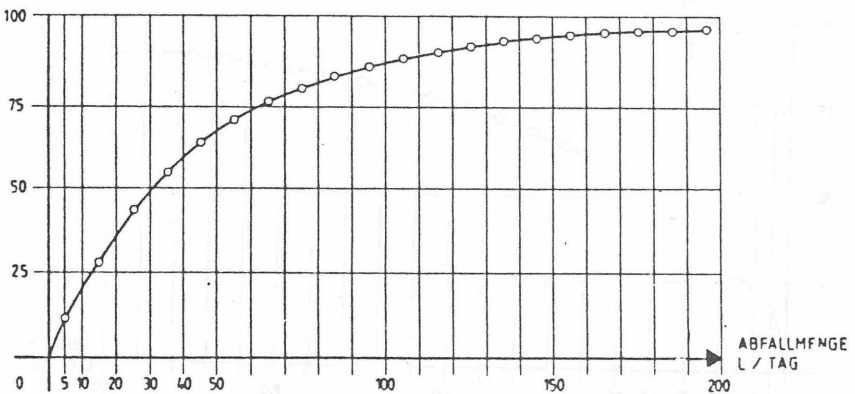
Bild 1: Erfassung von Kleinmengen
ASF-1000-Wechselbehälter "System EDELHOFF"
für flüssige Abfälle

% ALLER BEHÄLTERFÜLLUNGEN



Häufigkeitsverteilung (100 % = 1226 Behälterfüllungen)

Σ % ALLER BEHÄLTERFÜLLUNGEN



Häufigkeitssumme (100 % = 1226 Behälterfüllungen)

Bild 2: Erfassung von Kleinmengen
ASP-800-Wechselbehälter "System EDELHOFF"
für pastöse Abfälle

Wie soll jetzt der Abfallbehandler mit dem Rest noch eine Aufbereitung vornehmen? Ihm stehen ja auch keine besseren Techniken zur Verfügung; eher wird er weniger spezialisierte Techniken verwenden, da er unterschiedliche Abfälle aufbereiten will bzw. soll.

Es kann sich hier aber auch eine andere Fragestellung ergeben: kann durch Abtrennung, z.B. der Lösemittelanteile, der dadurch entstandene Rest entweder als Abfall besser beseitigt werden (Kosten) oder sogar verwertet werden (z.B. Energieträger)?

Aufgrund der o.g. Zusammenhänge wird es zunehmend schwieriger, eine halbwegs verlässliche Prognose der Abfallmengen zu erarbeiten. Insofern müssen die zu planenden Behandlungsanlagen sowohl für eine unspezifische Belastung als auch für relativ starke Veränderungen der Belastungen geplant werden. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach der zulässigen Größe einer Behandlungsanlage in bezug auf Anpassungsfähigkeit und Beherrschbarkeit; damit ist auch die Frage der Zentralisierung bzw. Dezentralisierung von Anlagen verknüpft. Die Maxime, daß mit zunehmender Größe (Zentralisierung) auch Qualität und Beherrschbarkeit zunehmen bei abnehmenden Kosten, hat sich ja hinreichend als falsch erwiesen.

Diese Zusammenhänge müßten aufgeklärt und in die abfalltechnischen Planungen einbezogen werden.

2. Sonderabfallbehandlung

Die Behandlung erfolgt immer im Verfahrensverbund, z.B. Neutralisation - Flockung/Fällung - Entwässerung - Deponierung. Die einzelnen Verfahrensschritte zielen sowohl auf die Veränderung der Abfälle (im wesentlichen Entgiftung und Verringerung der Wasserlöslichkeit) als auch auf die Nutzung von Anteilen des Abfalles (z.B. Destillation, Verbrennung) ab. Es entstehen in jedem Fall Reste, die abgelagert werden müssen.

Die Deponie nimmt deshalb eine Sonderstellung in diesem Verfahrensverbund ein; auch deshalb, weil die Deponie weitestgehend unabhängig von den Veränderungen der Abfallzusammensetzung betrieben werden kann. Der erste Schritt in diesem Verfahrensverbund sind Erfassung und Einsammlung des Abfalles. Die Erfassung des Abfalles muß getrennt nach beabsichtigten Behandlungsverfahren erfolgen.

3. Deponierung

Die Deponierung von Abfällen wird zukünftig die unersetzbare Methode für die Abfallbehandlung bleiben. Es sind keine Verfahren, Methoden oder gesellschaftlichen Systeme denkbar, die ohne die Deponierung von Reststoffen/Abfällen auskommen. Deshalb muß das Deponieren soweit perfektioniert werden, daß dadurch kalkulierbare Risiken entstehen.

Das Deponieren von Sonderabfall wird z.Z. diskriminiert. Im wesentlichen ist das auf einige Schadensfälle zurückzuführen, durch die eine Reihe von Fehlern bekannt geworden sind (z.B. Ablagerung von flüssigen Abfällen, Ablagerung von verpackten Abfällen (Fässern), ungenügende Dichtigkeit der Deponiebasis etc.).

Die Behebung dieser Schäden ist sowohl technisch-ingenieurmäßig als auch organisatorisch äußerst schwierig, teilweise fehlen hierfür Grundlagenkenntnisse. Die Finanzierung von praktikablen Lösungen ist wegen der teilweise nicht eindeutig zu klärenden Zuständigkeiten und Haftungsfragen aufwendig und umständlich; die Kosten sind i.a. sehr hoch. Aus diesen Fehlern bzw. Erfahrungen leitet man Forderungen für zukünftige Deponien ab:

- Die Deponie muß als Bauwerk planbar, kontrollierbar, unterhaltbar und reparierbar sein;
- die Abschätzung der Emissionen muß plausibel sein;
- eingelagerte Abfälle müssen dokumentiert werden, eine Auslagerung (Nutzung) - zumindest für Teilmengen - muß möglich sein;

- die Deponie muß während des Betriebes und nach Abschluß (Verfüllung) vom Wasserkreislauf isoliert sein;
- es dürfen nur Abfälle abgelagert werden, die nicht mehr miteinander reagieren.

Teilweise wird auch ein Verbot für die Ablagerung von brennbaren (organischen) Abfällen diskutiert. Hierdurch soll erreicht werden, daß die Risiken von Deponien erheblich gemindert werden, da die Wirkung von organischen Stoffen - allein und in Vermischung - z.T. nicht bekannt ist und organische Stoffe (z.B. CKW) Ton durchwandern können. Um diesem Verbot nachkommen zu können, muß der Deponie eine Verbrennungsanlage vorgeschaltet werden. Die Probleme, die durch das Verbrennen entstehen können, sind heute ansatzweise bekannt. Um das Kenntnisdefizit auszugleichen, sind Grundlageforschungen erforderlich.

Erst wenn diese erfolgreich abgeschlossen sind, können genehmigungsfähige Antragsunterlagen für eine Verbrennungsanlage erarbeitet werden. Rechnet man für die Grundlagenforschung - einschließlich der Analytik - ca. 5 Jahre, für die Durchführung eines Planfeststellungsverfahrens ca. 5 Jahre und für den Bau ebenfalls 5 Jahre, so kann diesem Verbot also im Jahre 2000 nachgekommen werden. Bis zu diesem Zeitpunkt müssen weiterhin Sonderabfälle - auch organische - abgelagert werden.

Um die Deponierung sicherer zu machen (Betrieb, Emissionen), werden z.Z. verschiedene Vorschläge diskutiert, von denen die "Behälterdeponie" favorisiert wird. Dabei handelt es sich um Entwürfe von Betonbehältern, die mehr oder weniger raffiniert als aufgestellte Silos geplant sind. Prinzipiell wird ein günstiges Verhältnis von Querschnitt und Höhe angestrebt, um das Regenwasser sicher fernzuhalten und die Kosten zu minimieren. Durch Anschüttungen können die Behälter "versteckt" werden, so daß ein dem Landschaftsbild angepaßter Hügel entsteht.

In einem besonderen Entwurf ist vorgesehen, die Deponie auf Stelzen zu erstellen, so daß sie von unten begangen, kontrolliert und notfalls repariert werden kann.

Bei allen Entwürfen und Planungen entsteht der Eindruck, daß kurzfristig mit Hilfe konventioneller Bautechnik den festgestellten Fehlern der vorhandenen Deponien begegnet werden kann.

Man sollte sich an dieser Stelle jedoch noch einmal ins Gedächtnis rufen, daß die Deponien, die wir heute als "Altlasten" bezeichnen und die wir zu sanieren haben, zu ihrer Genehmigungs- und Betriebszeit dem Stand der Technik und dem Anforderungsprofil entsprachen. Heute kann man teilweise das Motto bei Veranstaltungen hören: "Die Deponien von heute sind die Altlasten von morgen". Es wäre verhängnisvoll, wenn aus einer Überhastung für die Entwurfserarbeitung für Deponien dieses Motto bestätigt würde.

Die Ingenieurwissenschaft ist eine Erfahrungswissenschaft. Man muß den Ingenieuren die Zeit zubilligen, die Fehler und Erfolge der Vergangenheit zu analysieren und die zukünftigen Aufgaben zu prognostizieren, um daraus zuverlässige Lösungen abzuleiten. Zu deren Realisierung bedarf es dann der Mitwirkung und Mitverantwortung der Behörden und Politiker. Zur Zeit sind vernünftige, technisch zweckmäßige Konzepte für Deponien für Sonderabfall noch nicht in Sicht. Vermutlich wird das zukünftige Konzept sowohl Technik als Umgangsstrategien einschließen. Solange eine "sichere Deponie für jede Art von Abfall - sofern er nur fest ist -" nicht denkbar ist, muß der Abfall verändert werden bzw. den Annahmekriterien der Deponie angepaßt werden. Durch die Annahmekriterien soll sichergestellt werden, daß die Deponie richtig betrieben werden kann, und daß sie langfristig sicher ist.

Zukünftige Entwicklung in der Abfallentsorgung

Dir. Prof. Dr. H. — P. Lühr
Umweltbundesamt, Berlin

1. Einleitung

Die Frage nach der unterschiedlichen Umweltrelevanz einzelner Abfallinhaltsstoffe ist vergleichbar mit der Frage nach der Anzahl der Sterne.

Das Gefährdungspotential von Stoffen, das vorwiegend von der Chemie ausgeht, ist bislang nicht gesehen worden bzw. wurde verharmlost, indem die Selbstheilungskräfte (Reinigungsvermögen des Untergrundes, Selbstreinigungskraft der Gewässer) überschätzt wurden. Hierbei geht es z.B. um ca. 90 000 Altstoffe, die im Bereich der Regelungen zum Chemikaliengesetz erfaßt wurden. Diese im Markt befindlichen produzierten Stoffe sind der potentielle Abfall, der mit zeitlicher Verzögerung einer Sonderabfall-, Hausmüll- oder Bauschuttdeponie zugeführt werden wird. Darüber hinaus fallen bei der Herstellung von Einzelstoffen zwangsweise Millionen Stoffe als Nebenprodukte mit an, die als Verunreinigung im Produkt, als Abwasser- oder Abluftinhaltsstoffe oder als Abfall nicht nachvollziehbare Wirkungen hervorrufen.

Das in Abb. 1 abgebildete Gascromatogramm der Abwasserinhaltsstoffe, die bei der Herstellung eines einzelnen Stoffes (hier Vinylchlorid) zwangsweise mitanfallen, macht das Problem, das sich bei allen organischen Stoffsynthesen einstellt, deutlich. Jeder "Peak" stellt einen Stoff dar, einen in der Regel unbekannten Stoff mit unbekannten Wirkungspotential. Selbst wenn man CSB-Ablaufwerte von 20 mg/l erreichen kann, kann niemand sagen, was sich mit welchem Wirkungs- und Gefahrenpotential dahinter verbirgt.

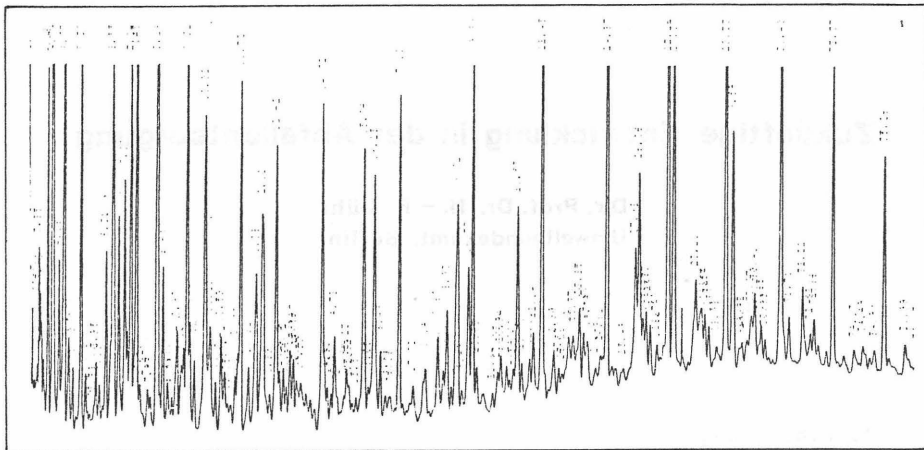


Abb. 1: Gascromatogramm des Abwassers bei der Vinylchlorid-herstellung

Bisher sind ca. 6 Millionen Stoffe (5 Millionen mit CAS-Nummern) literaturmäßig benannt und beschrieben, die bei Stoffherstellungen und -verarbeitungen ungezielt und unbeabsichtigt mithergestellt werden können. Die tatsächliche Zahl der möglichen Stoffe liegt bedeutend höher. Berücksichtigt man, daß die öffentliche Diskussion sich vorwiegend an nicht gezielt hergestellten Stoffgruppen entzündete (z.B. Dioxine, Benzpyrene, Nitrosamine) und berücksichtigt man darüber hinaus, daß die Wirkungspotentiale der Isomere nur einer Stoffgruppe sich um den Faktor 10^9 unterscheiden können, so erreicht die Bemühung um sog. "bessere Abfallartenkataloge mit Wirkungsbezüge" als ein fragwürdiger Konzeptansatz, der am ehesten mit dem eingangs erwähnten "Sternezählen" verglichen werden kann.

Dieser Erkenntnisstand zeigt, daß die teilweise von unserem Rechtssystem geforderte Ursache-Wirkungsbeziehung als Voraussetzung für rationales Handeln grundsätzlich nicht zu erbringen ist. Ein Konzept zur Beherrschung unserer stofflichen Umwelt auf der Basis von ausschließlich einzelstoffbezogenen Ursache-Wirkungsketten ist prinzipiell unmöglich, denn:

- Abfälle sind im Hinblick auf die umweltrelevanten Stoffanteile in der Regel unbekannt. Das wird immer so bleiben!

- Selbst wenn die stoffliche Zusammensetzung bekannt wäre, könnte sich diese bei der gleichen Produktion durch geringfügige Änderungen der Produktionsparameter (Rohstoff, Druck, Temperatur, Gefäß usw.) unkontrollierbar verändern.
- Selbst wenn wir alle Einzelstoffe eines Abfalls kennen, wären in der Regel keine Wirkungsanalysen bzw. -daten verfügbar.
- Selbst wenn wir alle Wirkungsdaten hätten, wären Synergismen und Antagonismen unbekannt.
- Selbst wenn auch Synergismen und Antagonismen bekannt wären, wäre die Metabolitenfrage, deren Wirkungen, deren Synergismen und Antagonismen unbekannt.

Angesichts der Zahl praktisch unendlicher Gefährdungen und der bekanntgewordenen, in der Öffentlichkeit diskutierten Fälle, für die stellvertretend in der Bundesrepublik Geroldsheim und Georgswerder stehen, muß die Hauptfrage nach dem Konzept des Produzierens, Verteilens und Entsorgens gestellt werden. Hierbei zeigt sich,

- daß das Vorsorgeprinzip nicht in die Praxis umgesetzt worden ist,
- daß die Wasserwirtschaft ihre Anforderungen zum Schutz des Grundwassers zwar massiv formuliert (§ 34 Abs. 2 WHG), aber letztlich nicht durchgesetzt hat. (Die Abfallbeseitigung war denen überlassen, die möglichst unauffällig, geräuschlos und billig die Abfälle zu beseitigen hatten).
- daß das Gefahrenpotential, das von Stoffen insgesamt ausgeht, nicht gesehen wurde, indem die Selbstheilungskräfte der Natur überschätzt wurden.

Deshalb ist, wenn schon im Produktionsbereich trotz des Chemikaliengesetzes nicht so schnell hinsichtlich der Produktumstellung und der Prozeßführung etwas zu erreichen ist, die folgende Grundforderung an Abfallager zu stellen:

Das Abfallager ist ein Bauwerk, das kontrollierbar und reparierbar ist!

Das gilt auch für die Sanierung von Abfallagern, denn nur so ist das Gefahrenpotential auf Dauer beherrschbar.

Die Anforderungen an neue und an sanierungsbedürftige Abfallager müssen vom Standpunkt des Umwelt- und Gesundheitsschutzes den Lagerbedingungen verkaufsfähiger Güter und Stoffe vergleichbar sein.

Bereits heute werden an die Lagerung von verkaufsfähigen Stoffen technische Anforderungen unter dem Aspekt der Wassergefährdung gestellt. Wenn dasselbe Produkt im Stoffkreislauf zu Abfall geworden ist - häufig nur eine Änderung in der subjektiven Wertschätzung des Verbrauchers - muß der Stoff in Bezug auf seine Lagerungsbedingungen auch als Abfall weiterhin wie ein wassergefährdender Stoff behandelt werden.

Für die Bestimmung der Umweltgefährdung von Stoffen ist nicht der Verwendungszweck entscheidend. Ausschlaggebend ist lediglich, ob die Stoffe oder Stoffgemische unerwünschte Wirkungen und Eigenschaften haben. Deshalb müssen die Anforderungen an Abfallager aus der Sicht eines vorbeugenden Umweltschutzes mit denen von Stoff- und Produktlagern vergleichbar sein.

2. Was ist machbar?

Die Frage nach der Machbarkeit ist im Grunde leicht zu beantworten, denn "Machbar" ist alles, sowohl technisch als auch politisch. Auf der technischen Seite ist es allerdings erforderlich, über den engen Zaun der traditionellen Abfallwirtschaft hinauszuschauen, wo erprobte Technologien vorhanden sind. Auf der politischen Seite ist es mehr eine Frage des "Wollen" und die Frage "eines gesellschaftlichen Konsenses".

Es ist die Frage, ob wir das chemische Gefahrenpotential ernstnehmen und dementsprechend konsequent dem Vorsorgeprinzip folgend die notwendigen Vorsorgemaßnahmen einleiten. Oder ob wir weiterhin

- die Verdünnungsphilosophie, (d.h. schadstoffbehaftete Abluft, Abwasser, Abfall so zu verteilen, daß sie nicht mehr nachweisbar bzw. unauffindbar sind).
- die Philosophie des Nichts-Kostens, (d.h. die Gewinnoptimierung des vermarktungsfähigen Produktes steht im Vordergrund, Abfall ist auf billigste Weise zu beseitigen).
- Überschätzung der Selbstreinigungskräfte der Gewässer, des Bodens, (d.h. die Hoffnung, daß unübersehbare Vorgänge sich stets zum Guten wenden).

verfolgen.

Betrachtet man die Diskussion um die kontaminierten Standorte, so wird offenkundig, daß das Ablagern von Abfall in Deponien und der Umgang mit wassergefährdenden Stoffen auf Betriebsgeländen angesichts der dort vorhandenen Schadstoffpaletten gemessen an den verfügbaren technischen Möglichkeiten archaisch ist. Weiter ist festzustellen, daß die diskutierten Sanierungskonzepte ein technisches Niveau aufweisen, von dem die zur Zeit gängigen Anforderungen an Neuanlagen weit entfernt sind. Deutlich wird dies an der Diskussion über die noch nicht in Betrieb gegangenen Deponie Mainhausen. Hier tun sich Parallelen zum Kraftwerk Buschhaus auf.

3. Grundgedanken für eine Konzeption einer TA-Abfall

Die TA-Abfall ist seit etwa eineinhalb Jahren im Gespräch und mehrfach vom Bundesinnenminister angekündigt worden. Ein konkreter Entwurf liegt noch nicht vor. Dafür ist das Thema zu komplex und über Form und Inhalt und nächste Schritte gibt es noch verschiedene Ansätze. Unstrittig allerdings sind mittlerweile die Zielperspektiven, und zwar:

- Die bei der Produktion grundsätzlich und meistens ungezielt anfallenden festen, flüssigen und gasförmigen Abfälle sind so zu behandeln, daß sie
 - so weit wie möglich weiterverwendet/verwertet werden oder
 - so vorbehandelt werden, daß sie bei Ablagerung dem Biozyklus entzogen sind bzw. daß sie den natürlichen Zustand der Standorte nicht verändern (Emissionsfenster, d.h. immissionsneutrale Lagerung).
- Anforderungen an die Lagerung von Abfällen müssen den Anforderungen an den Umgang mit wassergefährdenden Stoffen entsprechen. Aus der Sicht des Umweltschutzes ist keine Differenzierung in verschiedene Abfalltypen sinnvoll. Entscheidend ist das Kriterium der möglichen Gefährdung, die von Stoffen ausgeht.
- Vorbehandlung des Abfalls ist am jeweiligen Abfall auszurichten mit dem Ziel, den Weg vom Abfallanfall bis zum immissionsneutralen Endzustand festzulegen.
- Ziel der Vorbehandlung ist die Vielzahl nicht kontrollierbarer chemischer, biologischer und physikalischer Reaktionen zu minimieren, da eine wirkungsbezogene Abfalldifferenzierung zwar wünschenswert, aber prinzipiell nicht machbar sein wird.

Drei Begriffe charakterisieren die Zielperspektive, wobei sie als Synonyme für bestimmtes Handeln zu sehen sind.

1. Der Begriff der Emissionsminimierung und in letzter Konsequenz die Nullemission als konsequente Umsetzung des Vorsorgeprinzips steht als Synonym für das Ziel, die Umwelt so wenig wie möglich mit Stoffen zu belasten, deren Wirkungs-

und Schadenspotential nicht vorhersehbar sind. Es geht dabei darum, die beste Technologie einzusetzen, um einen unkontrollierten Stoffübergang aus einem technischen System in die Umwelt zu verhindern. Starre Technologieniveaus wie a.a.R.d.T. oder wirtschaftliche Vertretbarkeit, die immer betriebswirtschaftlich und nicht volkswirtschaftlich gemeint ist, sind dabei hinderlich. Das Beste ist vielmehr gerade gut genug.

2. Der Begriff Abfallfabrik steht als Synonym für die Behandlung des Abfalls, und zwar in dem Sinne, daß Abfall wie jeder andere Stoff oder Rohprodukt im industriellen Bereich behandelt wird. Die Zielsetzung der Behandlungsmaßnahme ist nur grundsätzlich unterschiedlich. Ziel ist hier, die unkontrollierte Stoffkontamination der Umwelt durch Abfälle so weit wie möglich zu vermeiden (Emissionsminimierungsgebot!) und sie nicht über das Verdünnungsprinzip der Umwelt zu überantworten.

Es geht darum, den naturwissenschaftlichen und verfahrenstechnischen Sachverstand der Produktentwicklung und des Stoff-Handlings zu nutzen und damit die beiden Bereiche "Entwicklung vermarktungsfähiger Produkte" und "Entsorgung" zusammenzuführen. Dabei kann die "Abfallfabrik" zentral oder dezentral betrieben werden.

Der Vorteil einer auf einen Ort konzentrierten Abfallbehandlungsanlage (Abfallfabrik) liegt in der Gesamtbeurteilung des Abfallweges, da die verschiedenen Vorbehandlungsmaßnahmen zu neuen Emissionen (Luft, Wasser, Abfall) führen können. Beispiel: Pressen oder Eindampfen führt zu belasteten Wässern. Verbrennen führt zu Luft- und Abfallstoffen (Flugstaub, Schlacke). Die Zuordnung der Abfallwege von der physikalisch-chemischen Vorbehandlung bis zur Lagerung erfolgt unter dem Gesichtspunkt der niedrigsten Gesamtemission (Luft, Wasser, Abfall) nach Kombination aller physikalisch-chemischen Behandlungsmöglichkeiten. Bei gleichwertigen Stoffwegen für die Festlegung von Abfällen entscheidet der Markt. Die zentralen Behandlungsmaßnahmen schließen nicht aus, daß Abfälle dezentral so behandelt werden, daß sie als Rohstoff oder lagerfähiger Abfallstoff verwendet werden können.

Anmerkung:

Die chemische Industrie kontruiert und formuliert heute

vorgegebene Stoffeigenschaften. So werden z.B. Farbstoffe lichtecht, waschmaschinenfest, schweißfest, auf Fasern aufziehbar und biologisch nicht angreifbar konstruiert und großtechnisch hergestellt. Ein Bruchteil des Aufwandes würde reichen, Stoffe nur soweit unbeweglich zu machen, daß nach Vorbehandlung keine chemischen Reaktionen und kein Stofftransport in einem Abfallager mehr stattfindet.

3. Der Begriff Multibarrierensystem steht als Synonym für die Vielzahl der technischen Möglichkeiten der sicheren Umschließung der Abfälle, so daß ein Höchstmaß an Sicherheit gegeben ist, um keine Stoffe unkontrolliert aus dem technischen System der Lagerungsstätte zu entlassen. Der Begriff steht als Synonym für beherrschbare Technik, was bei schwierigsten Problemen, gerade bei der Vermeidung von Emissionen von Stoffen, immer wieder unter Beweis gestellt worden ist. Es kommt dabei darauf an, ein intelligentes, womöglich selbstregulierendes System zu finden. Wichtig dabei ist auch, daß nicht nur Einzelelemente des Systems optimiert werden, sondern daß das System bis zum Ende betrachtet wird.

Die Forderung nach dem Multibarrierensystem darf nicht im engen Sinne des konstruktiven Hoch- und Tiefbaus gesehen werden. Es berücksichtigt u.a. auch die Elemente wie Sickerwasserbehandlung, Hochtemperaturverbrennung, Überwachung.

Über den Gesamttablauf der verschiedenen Abfallwege (Abb. 2) steht das Emissionsminimierungsgebot. Dabei wird eine Teilmenge des Gesamtabfallanfalls über Marktmechanismen gesteuert. Der verbleibende Restabfall wird der "Abfallfabrik" zugeführt, die den Abfall so behandelt, daß die daraus resultierenden "Produkte" den Anforderungen eines Multibarrierensystems entsprechen.

In der Anlage und Gestaltung einer TA-Abfall kommt es darauf an, daß das einfache "Weglegen" der Abfälle unterbunden wird. Denn nur wenn es gelingt, die Anforderungen an die Ablagerung so zu gestalten, daß das Loch zum Weglegen der Abfälle dichtgemacht wird, wird der nötige Druck zur Verwertung, Vermeidung und Vorbehandlung entstehen. Gelingt es nicht, dann wird das gesamte Vorfeld bis in den Produktionsbereich hinein über ehrenwerte Versuche

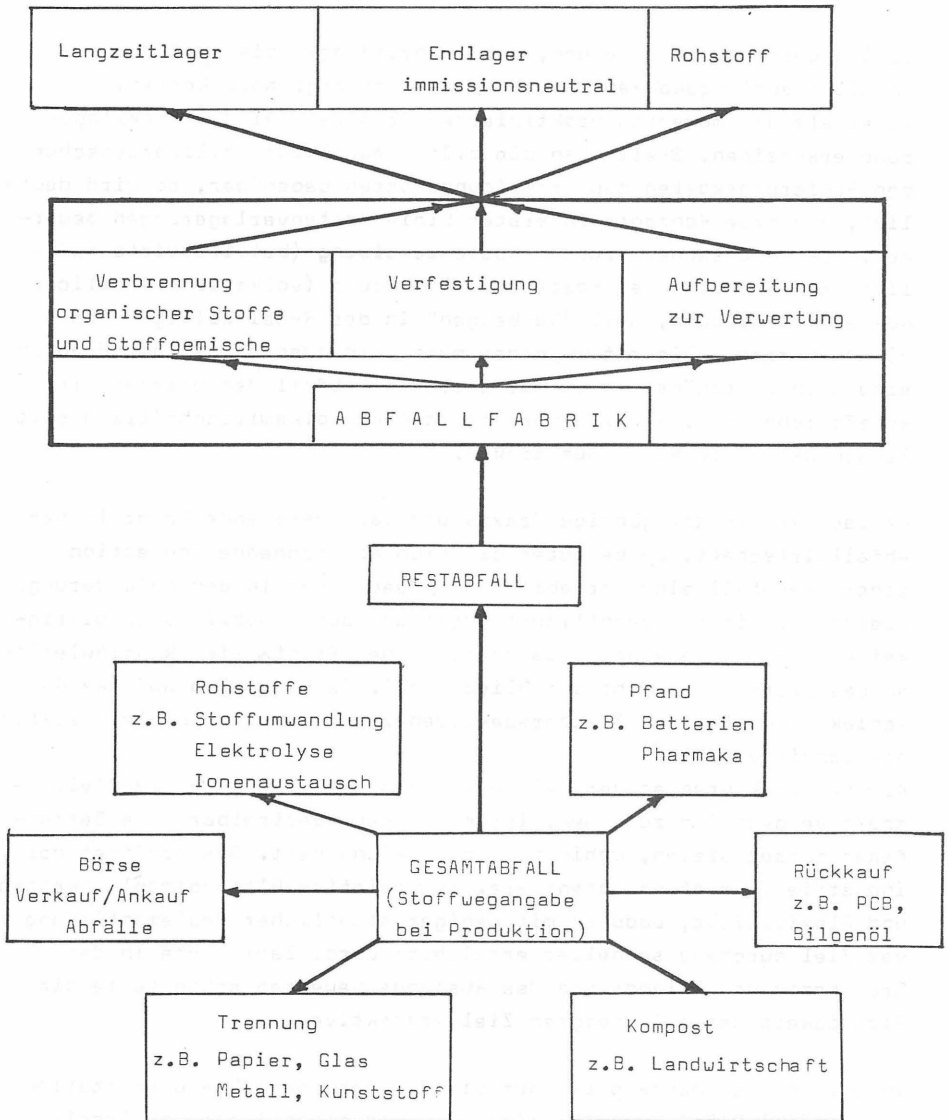


Abb. 2: Abfallstoffwege

und über den Forschungs- und Probiercharakter hinaus nicht ernsthaft in Angriff genommen.

Es ist unschwer zu erkennen, daß Anforderungen dieser Art ein Abfallbehandlungskonzept bewirken, das vordergründig kostenintensiver als die momentan praktizierten Methoden bei der Abfallagerung erscheinen. Stellt man die z.Zt. geschätzten milliardenschweren Sanierungskosten den Vermeidungskosten gegenüber, so wird deutlich, daß neue Konzepte in erster Linie Kostenverlagerungen bewirken. Die verursacherbezogene Kostenzuweisung (betriebswirtschaftliche Kosten) wird der Kostensozialisierung (volkswirtschaftliche Kosten) vorgezogen, weil "Vorbeugen" in der Regel billiger ist als "sanieren". Die mit Anforderungen verbundenen Kostenerhöhungen sind deshalb erwünscht, da nur diese dem Abfall den betriebswirtschaftlichen Stellenwert zuordnen, den er volkswirtschaftlich seit langem hat (Geld als Steuergröße).

Betrachtet man die gängige Praxis und das bestehende Recht in der Abfallwirtschaft, so bedeutet die sich abzeichnende Konzeption einer TA-Abfall einen erheblichen Niveausprung in den Anforderungen. Dieser wird in der rechtlichen Umsetzung auf erhebliche Schwierigkeiten stoßen, da eine Fortschreibung des Rechts sich kontinuierlich an das bestehende Recht anschließen muß. Es wird also auf das Geschick ankommen, die Zielperspektiven zu verankern und gleichzeitig die Schritte dahin.

Kleine Korrekturen an der geltenden Rechtspraxis, ohne die Zielperspektive deutlich zu sehen, ist nicht mehr vertretbar. Die Betroffenen müssen wissen, wohin die Entwicklung geht. Das eröffnet der Industrie Innovationspotentiale, langfristige Planungsmöglichkeiten und Flexibilität, wodurch mit weniger staatlicher Reglementierung das Ziel durchaus schneller erreichbar wird. Zahlreiche in der Großchemie des Inlands und des Auslands beweisen schon heute die Richtigkeit der aufgezeigten Zielperspektive.

In diesem Zusammenhang sei nur die 6. These der BDI-Dokumentation (Nov. 1984) "10 Thesen für eine wachstumsorientierte Umweltpolitik" erwähnt, die dieses Vorgehen verlangt.

"Im Gegensatz zum "reparierenden" braucht der "vorsorgende" Umweltschutz klare Prioritäten. Erst so können die Bedeu-

tung ökologischer Gefahren erfaßt, medienübergreifende Zusammenhänge erkannt und kurzfristig ständig wechselnde Anpassungserfordernisse für die Unternehmen vermieden werden. Umweltpolitik muß deshalb kontinuierlich und innerhalb eines mittelfristigen Rahmens erfolgen. Sie darf die Investitionsbereitschaft der Unternehmen nicht mit ständigen Sprüngen paralleler Verschärfungen verunsichern und einen ordnungsgemäßen Vollzug gefährden."

Daraus sieht man, daß die Übereinstimmung noch nie so groß war.

4. Anforderungen an die Behandlung von Abfällen

Im Rahmen einer zukünftigen TA-Abfall wird den Anforderungen in dem Teil "Lagerung von Abfällen" die entscheidende Rolle zukommen, ob die Ziele der Emissionsminimierung über die "Abfallfabrik" und das "Multibarrierensystem" realisiert werden können.

Da nicht bekannt ist und nie bekannt sein wird, welche Stoffe wie und unter welchen Bedingungen in Abfällen reagieren, ist sicherzustellen, daß organische Stoffe und Stoffmischungen der weiteren Abfallbehandlung fernzuhalten sind. Das bedeutet:

Organische Stoffe und Stoffgemische werden grundsätzlich thermisch zerstört.

Damit wird eine große Teilmenge problematischer Abfälle der weiteren Betrachtung und Behandlung entzogen.

Für den verbleibenden Teil der Abfälle ergeben sich die allgemeinen Grundsätze für die Zulassung von Anlagen für die Abfallagerung (Abfallager):

- (1) Die Anforderungen an Abfallager müssen vom Standpunkt des Umwelt- und Gesundheitsschutzes den Lagerbedingungen verkaufsfähiger Güter und Stoffe entsprechen.
- (2) Die zu ergreifenden Maßnahmen beziehen sich auf die abzulagernden Stoffe und auf die Anlage zur Abfallagerung.

- (3) Die für eine Lagerung in Frage kommenden Abfälle sind so weit wie möglich zu trennen. Die physikalisch/chemische Vorbehandlung (verbrennen, verfestigen, trocknen, abpressen, ausheizen etc.) ist am jeweiligen Abfall auszurichten mit dem Ziel, den Weg vom Abfallanfall bis zum immissionsneutralen Endzustand festzulegen.
- (4) Die zu lagernden Abfälle sind so vorzubehandeln, daß durch die Vorbehandlung und Lagerung keine Kontamination erfolgt, die den natürlichen Zustand der Standorte verändern.
- (5) Die Lagerung von Abfällen wird nur zugelassen, wenn es nachgewiesenermaßen keine Verwertung oder Vermeidung gibt. Der Abfallerzeuger hat den Nachweis zu erbringen, daß eine prozeßinterne Abfallbehandlung nicht machbar ist.
- (6) Die vorbehandelten Abfälle sind in dafür geeigneten Bereichen des Abfallagers oder in Monolagern unterzubringen. Dabei ist hinsichtlich der Anforderungen an Abfallager zu unterscheiden nach **L a n g z e i t l a g e r** und **E n d l a g e r**. Maßstab ist die Eluatzusammensetzung des vorbehandelten Abfalls, die so wirklichkeitsnah wie möglich zu ermitteln ist, um ein Abbild der Lagerungsbedingungen zu erhalten.

Abfälle mit Eluatbelastungen, die nicht der Trinkwasserqualität [(z.B. TVO oder Anforderungen an das Rohwasser (EG-RiLi))] entsprechen, werden in Langzeitlagern gelagert. Diese Abfälle können auf bestimmten Standorten endgelagert werden, wenn die Eluate den natürlichen Zustand der Standorte nicht verändern.

Abfälle, deren Eluatbelastungen Trinkwasserqualität [z.B. TVO oder Anforderungen an das Rohwasser (EG-RiLi)] aufweisen, werden im Endlager gelagert oder können weiterverwendet werden.

- (7) Die stofflichen und baulichen Anforderungen an Langzeit- und Endlager stellen sich folgt dar:

Lagerungstyp Anforderungen	Langzeitlager	Endlager
	stofflich	niedrig
baulich	hoch	niedrig

Im einzelnen können die Anforderungen wie folgt aussehen:

Lager- typ Anforderungen	Langzeitlager	Endlager
stofflich	- Trennung der Abfälle so wie möglich - Wassergehalt und Gehalt an organischen Flüssigkeiten so klein, daß kein Stofftransport ohne Wasser von außen stattfindet	- Eluat entspricht Trinkwasserqualität - Eluat verändert den natürlichen Zustand des Standortes nicht
baulich	- oberhalb des höchsten Grundwasserstandes - Lagerungstrog als Doppelwandsystem mit dazwischen befindlichem Dränagesystem - Ablagerung unter transportablem Dach mit Niederschlagswasserabführung - Überwachung im Dränagesystem und Emitentenpegel im Grundwasserunterstrom	- oberhalb des höchsten Grundwasserstandes - Lagerungstrog als Einwandsystem - Schnelle Entwässerung über Dränagesystem

5. Zusammenfassung

Für die Durchsetzung dieses Modells sind die technischen, naturwissenschaftlichen und administrativen Maßnahmen und Erkenntnisse vorhanden. Es bedarf lediglich des politischen Willens, diese auch umzusetzen.

Trotz Genmanipulation, Informatik, Mikroelektronik, Kernkraft, Holografie, Laser, Quarks und Penicillin, trotz Einsicht in die ökonomische und ökologische Notwendigkeit von Umweltmaßnahmen werden weiterhin Millionen Tonnen Abfallstoffe in die Gewässer eingelei-

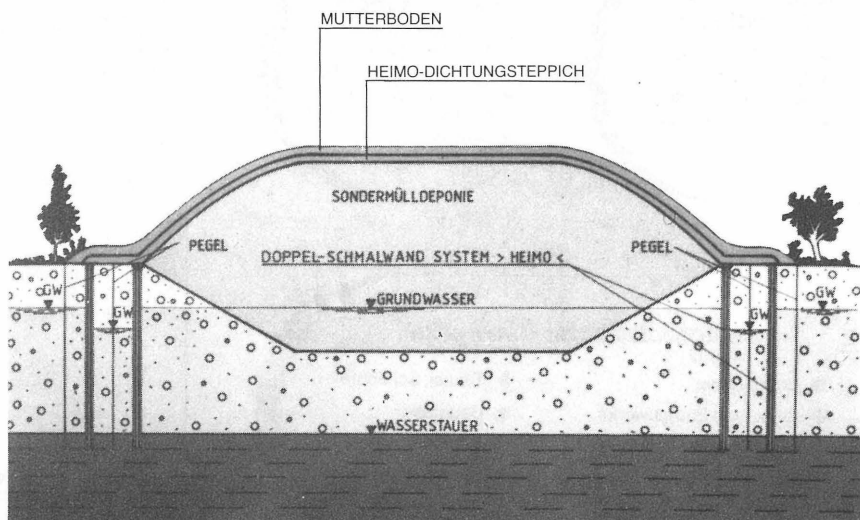
tet oder in "nach allen Seiten offene Löcher" geschüttet. Hier muß Selbstverständliches gesetzlich gefordert werden, weil die heute verwirklichten technischen Vermeidungs- und Reinigungsmaßnahmen zum größten Teil als archaisch bezeichnet werden müssen.

Die Frage nach den Kosten kann angesichts des Gefahrenpotentials nicht geltend gemacht werden. Es stellt sich sonst sofort die Frage, welche volkswirtschaftlichen Folgekosten entstehen, wenn die Umsetzung entsprechender Maßnahmen nicht erfolgt. Die Entsorgung oder Vermeidung muß zu einer kalkulierbaren Rechengröße werden, die betriebswirtschaftlich berücksichtigt werden kann. Nur so wird ein Zwang zu Produktumstellungen einschließlich der notwendigen Veränderungen in der Entsorgungsstrategie eintreten.

HEIMO-FLÄCHENDICHTUNGEN

werden für jeden Verwendungszweck besonderen Prüfverfahren unterworfen.

Das INSTITUT FÜR GRUNDBAU UND BODENMECHANIK prüft die volle Eignung zur Konservierung von Mülldeponien.



HEIMO-FLÄCHENDICHTUNGEN



HEILIT+WOERNER BAU-AG

Hauptverwaltung
Klausenburger Str. 9
D-8000 München 80
Tel.: (089) 92 10 - 1
Telex: 5 23 330 - 0

Bauleistungen
in allen Sparten
mit allen
Schwierigkeitsgraden



LEONHARD MOLL GMBH & CO

Hauptverwaltung
Konrad-Celtis-Str. 77
D-8000 München 70
Tel.: (089) 71 07 - 1
Telex: 5 212 418

Beide Bauunternehmungen
geben gern weitere Auskünfte
über die
HEIMO-Flächendichtungen.

Hochbau, Tiefbau,
Straßenbau, Wasserbau,
Untertagebau, Spezial-
tiefbau, Betonwerk



SIMONS + PARTNER

GmbH
Ingenieure für Geotechnik

Geotechnische Grundlagen

- Ingenieurgeologie
- Geotechnische Untersuchungen in situ
- Laborversuche an Boden und Fels

Geotechnische Berechnungen

- Geomechanische Berechnungen und Bauwerksberechnungen
- Berechnungen nach der Finite-Element-Methode
- Dynamische Berechnungen

Geotechnische Bauwerke

- | | |
|-------------------------------|--------------------|
| ● Gründungen | ● Tunnel, Schächte |
| ● Stütz- und Erdbauwerke | ● Baugruben |
| ● Unterirdische Bauwerke | ● Dämme |
| ● Unterirdische Rohrleitungen | ● Kai-Anlagen |

Geotechnische Messungen

- Messen im Feld
- Messen an Bauwerken
- Dynamische Pfahltests

Boden- und Grundwasser-Schutz

- Deponien
- Abdichtungen
- Dichtungswände

PROF. DR.-ING. HANNS
SIMONS + PARTNER GMBH

Pockelsstr. 9
3300 Braunschweig
Telefon: 05 31-34 08 11
Telefax: 05 31-34 73 75
Teletex: 5318136 — sipad

GESCHÄFTSFÜHRER
L. Simons
Dr.-Ing. U. Beckmann

PARTNER
L. Simons
Dr.-Ing. U. Beckmann
Dr.-Ing. W. Sondermann
Prof. Dr.-Ing. W. Schnell

Die SIMONS + PARTNER GMBH ist Gesellschafter der Management and Engineering Consult GmbH (MEC). Die Gesellschaft ist Mitglied im Verband unabhängiger beratender Ingenieurfirmen e. V. (VUBI).

Unsere Mitarbeiter sind Mitglieder in folgenden Verbänden:
Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau (DGEG)
Hafenbautechnische Gesellschaft (HTG)
Bund Deutscher Baumeister, Architekten und Ingenieure (BDB)
British Tunnelling Society (BTS)
International Geotextile Society (IGS)

Bisher erschienene Mitteilungshefte des Instituts für Grundbau und Bodenmechanik
der TU Braunschweig (Stand April 1985)

Sammlung technischer Ausdrücke aus Grundbau, Bodenmechanik, Tunnelbau
2. erweiterte Auflage, 1984

- | | | |
|----------|------------------------------|--|
| Nr. 76-1 | Scheffler, E. | : Die abgesteifte Baugrube berechnet mit nichtlinearen Stoffgesetzen für Wand und Boden, 1976 |
| Nr. 78-2 | Frank, H. | : Formänderungsverhalten von Bewehrter Erde - untersucht mit Finiten Elementen, 1978 |
| Nr. 79-3 | Schnell, W. | : Spannungen und Verformungen bei Fangedämmen, 1979 |
| Nr. 80-4 | Ruppert, F.-R. | : Bodenmechanische Eigenschaften der Lauenburger Serie - Ein Beispiel für Statistik in der Bodenmechanik, 1980 |
| Nr. 81-1 | Schuppener, B. | : Porenwasserüberdrücke im Sand unter Wellenbelastung auf Offshore-Bauwerke, 1981 |
| Nr. 6 | Wolff, F. | : Spannungen und Verformungen bei Asphaltstraßen mit ungebundenen Tragschichten, 1981 |
| Nr. 7 | Bätcke, W. | : Tragfähigkeit gedrungener Körper im geneigten Halbraum, 1982 |
| Nr. 8 | Meseck, H.
Schnell, W. | : Dichtungswände und -sohlen, 1982 |
| Nr. 9 | Simons, H.
Ruppert, F.-R. | : Entwicklung geeigneter Verfahren zum Messen der physikalischen Eigenschaften von Bentonitsuspensionen auf Baustellen, 1982 |
| Nr. 10 | Beckmann, U. | : Einflußgrößen für den Einsatz von Tunnelbohrmaschinen, 1982 |
| Nr. 11 | Papakyriakopoulos, P. | : Verhalten von Erd- und Steinschüttdämmen unter Erdbeben, 1983 |
| Nr. 12 | Sondermann, W. | : Spannungen und Verformungen bei Bewehrter Erde, 1983 |
| Nr. 13 | Meseck, H. | : Sonderheft zum 10-jährigen Bestehen des Institutes, 1984 |
| Nr. 14 | Raabe, W. | : Spannungs-Verformungsverhalten überkonsolidierter Tone und dessen Abhängigkeit von ingenieurgeologischen Merkmalen, 1984 |
| Nr. 15 | Früchtenicht, H. | : Zum Verhalten nichtbindigen Bodens bei Baugruben mit Schlitzwänden, 1984 |
| Nr. 16 | Knüpfer, J.
Meseck, H. | : Schildvortrieb bei flüssigkeitsgestützter Ortsbrust, 1984 |

Jahr	Ort	Projektart	Ausgeführte Arbeiten
1977 - 1979	Ochtrup	Sondermüll-Deponie	Untersuchung und Beurteilung der Dichtigkeit des Ochtruper Tones; Gutachten zur Standsicherheit und Dichtigkeit der hohen Tonböschungen.
1978	Kehl	Kulturwehr	Eignungsermittlung von Füllmassen für Dichtungsschlitzwand.
1978	Kanzem	Schleuse	Eignungsermittlung von Füllmassen für Dichtungsschlitzwand; Güteüberwachung.
1978	Grohnde	Kernkraftwerk	Eignungsermittlung von Füllmassen für Dichtungsschlitzwand; Bau- und Güteüberwachung.
1980	Wiesbaden	Hausmüll-Deponie	Gutachten zur Standsicherheit der Deponie bei Mit-einbau von entwässertem Klärschlamm.
1980	Pinneberg	Baugrube	Eignungsermittlung von Dichtwandmassen.
1980	Ingelheim	Industriemüll-Deponie	Eignungsuntersuchungen des anstehenden Tones. Berechnung Standsicherheit der Böschungen. Eignungsüberprüfung von Massen für Dichtungsschlitzwand; Vorschlag zur Deponie-Sanierung; Aufstellen des LV; Untersuchungen des Einflusses kontaminierter Wässer auf Dichtwandmasse in verschiedenen Zuständen; Baustellen- und Güteüberwachung bei Herstellung der Dichtungsschlitzwand.
1980 - 1982	Kl.Biewende/ Wolfenbüttel	Sondermüll-Deponie (Beton-Schacht)	Baugrundgutachten; Vorentwurf; Entwurf und konstruktive Bearbeitung; statische Berechnung; Bauüberwachung; Meßprogramm.
1981	Leverkusen	Industriemüll-Deponie	Eignungsermittlung von Füllmassen für Dichtungsschlitzwand; Aufstellung des LV; Baustellenüberwachung.
1981	Essenrode	Industriemüll-Deponie Erweiterung	Baugrunduntersuchungen und -Gutachten; Gutachtliche Stellungnahme zur Ausführung.
1981	Oberhausen	Schleuse	Eignungsermittlung von Füllmassen für die Dichtungsschlitzwand; Güteüberwachung.
1981	Peine	Erzschlamm-Deponie	Untersuchung der Eigenschaften des in eine ausbeutete Sandgrube geleiteten Schlammes einer Erzwäscherei; Gutachten zur Überschüttung des teilkonsolidierten Schlammes mit Bauschutt.
1981	Schwicheldt	Zentrale Hausmüll- Deponie	Gutachten Erweiterung Deponieraum; Standsicherheitsnachweis der Müllkörper (Bauzustände).
1981 - 1982	Höchststadt	Staustufe	Eignungsermittlung von Füllmassen für Dichtungsschlitzwand.
1981 - 1982	Köln	Hausmüll-Deponie	Eignungsermittlung von Füllmassen für Dichtungsschlitzwand

Jahr	Ort	Projektart	Ausgeführte Arbeiten
1981 - 1982	Geldern	Hausmüll-Deponie	Eignungsermittlung von Füllmassen für Dichtungsschlitzwand.
1981 - 1982 und ab 1984	Hohenzell	Kreismüll-Deponie	Eignungsermittlung des örtlich anstehenden Bodens zur Flächendichtung; Mitarbeit bei Planung, Ausführung und Überwachung.
1981 - 1982	Pfleidelsheim	Schmalwände	Eignungsermittlung von Füllmassen für Dichtungsschmalwände.
1981 - 1983 und ab 1984	Hailer	Kreismüll-Deponie	Baugrunduntersuchungen; Eignungsermittlung des örtlich anstehenden Bodens zur Flächendichtung; Mitarbeit bei Planung (Baubeschreibung, Angaben zur Dichtung der Sohle und Böschung, Anordnung Kontrolldrainage und Brunnen, Standsicherheiten), Ausführungsberatung; Überwachung der Dichtungsarbeiten.
1982	Framersheim	Hausmüll-Deponie	Bohrüberwachung und Überprüfung der Durchlässigkeit der Deponiesohle.
1982 - 1984	Hoheneggelsen	Sondermülldeponie Erweiterung	Mehrere Gutachten zum Baugrund (Ton); Standsicherheitsberechnungen der Böschungen. Untersuchung der Beständigkeit der Tone gegen Prüfflüssigkeiten und Sickerwässer.
1982	Himmelpforten	Regenrückhaltebecken	Untersuchung Dichtungsmöglichkeit mit Bentonit.
1982	Hattorf	Hausmüll-Deponie	Untersuchung Abdichtung Nachklärbecken.
1982	Sprendlingen	Sondermüll-Deponie	Ingenieurgeologisches Untersuchungsprogramm zur Sanierung einschl. Überwachung und Laboruntersuchungen; Wasserbilanzierung; erste Vorschläge zur Sanierung.
1982	Stedum	Abfallbeseitigungsanlage	Untersuchungsprogramm; Gutachten zur Standortwahl; Standsicherheitsberechnungen der Müllkörper und der Tonböschungen. Überwachung und Abnahme der Dichtungs- und Abdeckarbeiten.
1982 - 1984	Bornum	Zentrale Hausmüll-Deponie	Planung und Durchführung des Untersuchungsprogramms zur Eignung des Deponiestandortes; Planung der Dichtung; Standsicherheits- und Setzungsrechnungen; Beratung bei Entwässerung für rationelle Baudurchführung, Aufstellung LV, Festlegung Betriebsplan, Langzeitkontrolle; Überwachung aller fachspezifischen Arbeiten; Setzungsmessungen.
1983	Ochtrup	Sonderabfall-Deponie Erweiterungs-Becken	Berechnung der Böschungsstandsicherheiten; Untersuchung der hydrogeologischen, hydrologischen und geomechanischen Verhältnisse; Standsicherheit von Anlagenteilen; Güteüberwachung der Abdichtungsarbeiten.
1983	Wolfsburg	Zentral-Deponie	Ausarbeitung von Sondervorschlägen zur Lösung der Dichtung für Bietergruppe.

Jahr	Ort	Projektart	Ausgeführte Arbeiten
1984	Nonnweiler	Sondermüll-Deponie	Beurteilung des vorgesehenen Deponie-Standortes einschließlich aller dafür erforderlichen Untersuchungen.
1984	Georgswerder	Sondermüll-Deponie	Mitarbeit an Sanierungsvorschlägen für Baufirma.
1984	Breitscheid	Sondermüll-Deponie Erweiterung	Standort-Gutachten für Planfeststellung. Deponieplanung, Erarbeiten der Unterlagen für das Planfeststellungsverfahren.
1984	Gorleben	Salzhalde	Baugrunduntersuchung; Eignungsuntersuchungen an div. mineralischen Dichtungsmaterialien, Planung der Salzhalde als Ing.-Gemeinschaft mit einem weiteren Ing.-Büro.
1984	Malsch	Sondermüll-Deponie	Ermittlung geeigneter Massen für Deponiesanierung mit Schlitzwand.
1984	Heyden 4	Flugasche-Zwischenlager	Planung der Dichtung, Eignungsprüfungen für Dichtungsmaterial, Planung des Zwischenlagers für Planfeststellungsverfahren.
1984	Gorleben	Bohrschlammdeponie	Auswahl und Eignungsuntersuchungen an mineralischen Dichtungsmaterialien für salzhaltigen Bohrschlamm; Ausführungsüberwachung.

Veröffentlichungen von Mitarbeitern des Instituts

- 1.) Simons, H./
Hänsel, W./
Meseck, H.: Tone als Dichtungsmaterial von Deponien
veröffentlicht in: Texte des Umwelt
bundesamtes, Fortschritte der Deponie-
technik, Nov. 1980
- 2.) Simons, H./
Hänsel, W./
Meseck, H.: Beständigkeit von Deponieabdichtungen
aus Ton gegen Sickerwässer
Vortrag, gehalten am 24.06.81 auf der
ISWA
Symposium im Rahmen der IFAT - 81,
München
- 3.) Hänsel, W. Prüfung der Dichtungswirkung und Be-
ständigkeit von Deponieabdichtungen
mit Bentonit und natürlichen Tonen
Vortrag, gehalten am 08.04.81 im
Haus der Technik, Essen, auf der
Fachtagung der Fa. Südchemie AG
"Bentonite im Erd- und Spezial-
Tiefbau"
- 4.) Ruppert, F.-R./
Meseck, H.: Schlitzwandtechnologie, Beton-
Informationen,
Beton-Verlag, Heft 2, 1981
- 5.) Meseck, H.: Technologie der Dichtwandmassen
Betoninformationen, Montanzement-
Verband, Heft 3, 1981
- 6.) Meseck, H.: Entwicklung und physikalische
Eigenschaften von Dichtwandmassen
Vortrag, gehalten am 07.04.81 an
der Techn. Akademie Esslingen
- 7.) Meseck, H./
Ruppert, F.-R./
Simons, H.: Herstellung von Dichtungsschlitz-
wänden im Einphasenverfahren
Tiefbau, Heft 8, 1979
- 8.) Meseck, H.: Abdichtungsverfahren
Vortrag, gehalten am 06.04.81 an
der Techn. Akademie Esslingen
- 9.) Geil, M.: Entwicklung und Eigenschaften von
Dichtwandmassen und deren Überwachung
in der Praxis
Straßen- und Tiefbau, Heft 9, 1980

- 10.) Geil, M./ Meseck, H.: Dichtungsschlitzwände - Entwicklung, Prüfung und Eigenschaften der Dichtwandmassen
Polytechnisch Teidschrift, Holland 1982

- 11.) Meseck, H./ Schnell, W.: Dichtungswände und -sohlen
Mitteilung des Lehrstuhls für Grundbau und Bodenmechanik, Heft Nr. 8, 1982

 Geil, M.: Entwicklung und Eigenschaften von Dichtwandmassen und ihre Überwachung

 Hänsel, W.: Entwicklung und Eigenschaften von Basisabdichtungen ihre Überwachung

 Meseck, H.: Verfahren zur Abdichtung gegen und zum Schutz des Grundwassers durch mineralische Stoffe

 Schnell, W.: Entwurf und Berechnung großräumiger Baugurben

- 12.) Simons, H./ Geil, M./ Hänsel, W.: Tonige Stoffe zur Dichtung neuer und alter Deponien
Vortrag, gehalten am 22.09.1982 in Braunschweig, Baugrundtagung 1982

- 13.) Hänsel, W./ Schnell, W.: Abdichtung von Mülldeponien Möglichkeiten und Anforderungen
Entsorgungspraxis, Heft 1, 1983

- 14.) Simons, H./ Hänsel, W.: Eignung und Prüfung toniger Dichtungen für Sonderabfalldeponien
Vortrag, gehalten am 22.04.83
4. Nationale Tagung für Ingenieurgeologie in Goslar

- 15.) Simons, H./ Geil, M.: Dauerbeständigkeit von Bentonitdichtungen für Deponien und Altlasten
Vortrag, gehalten am 12.04.84
Süd-Chemie Fachtagung München

- 16.) Simons, H./ Sondermann, W./ Reuter, E.: Bodenmechanische Probleme bei Deponien und Sanierungsmaßnahmen bei Grundwasserverunreinigung
Vortrag, gehalten am 21.03.884
Vertiefungsseminar Abfall, Stuttgart

- 17.) Simons, H./
Reuter, E.: Physical and chemical behaviour of
clay-based barriers under percolation
with test liquids

Vortrag, gehalten am 28.05.84
Clay-Barrier-Symposium, Stockholm
- 18.) Simons, H./
Reuter, E./
Sondermann, W.: Erfahrungsstand bei der Abdichtung
von Deponien

Vortrag, gehalten am 18.09.84
auf der Baugrundtagung der DGEG
in Düsseldorf
- 19.) Meseck, H.: Möglichkeiten der Sanierung von
Altdeponien

Vortrag, gehalten am 24.10.84 auf
dem 8. Mülltechnischen Seminar der
TU München
- 20.) Knüpfer, J./
Simons, H.: Abdichtungssystem für Mülldeponien

Vortrag, gehalten am 24.10.84 auf
dem 8. Mülltechnischen Seminar der
TU München
- 21.) Reuter, E.: Eignungsuntersuchungen von natürlichen
Dichtungsmaterialien für Deponien

Vortrag, gehalten am 06.02.85 beim
Fachseminar "Ablagerung umwelt-
belastender Stoffe" der
TU Braunschweig
- 22.) Meseck, H./
Knüpfer, J.: Neue Technologien zur Abdichtung von
Deponien und zur Sanierung von
Altlasten

Vortrag, gehalten am 07.02.85 beim
Fachseminar "Ablagerungumweltbe-
lastender Stoffe" der TU Braunschweig



Reproduktion und Druck:

Beyrich Reprografie · Bültenweg 73 · 3300 Braunschweig · Telefon (05 31) 34 09 04

