



**INSTITUT FÜR GEOTECHNIK
STUTT GART**

1996

Heft 1

Herausgeber P.A. Vermeer

**2. Stuttgarter Geotechnik-Symposium
23. Januar 1996
Deponiebau und Geotechnik**



Herausgeber:

Prof. Dr.-Ing. P. A. Vermeer
Institut für Geotechnik
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 35
70569 Stuttgart
Telefon 0711 / 685-2436
Telefax 0711 / 685-2439
ISBN 3-921837-41-3

Gegen Vervielfältigung und Übersetzung bestehen keine Einwände, es wird lediglich um Quellenangabe gebeten.

Herausgegeben 1996 im Eigenverlag des Instituts für Geotechnik.



**INSTITUT FÜR GEOTECHNIK
STUTT GART**

1996

Heft 1

Herausgeber P.A. Vermeer

**2. Stuttgarter Geotechnik-Symposium
23. Januar 1996
Deponiebau und Geotechnik**

Vorwort des Herausgebers

Ein erstes Stuttgarter Geotechnik-Symposium mit dem Titel "Bauwerke in Wechselwirkung mit dem Baugrund" wurde im Jahre 1994 anlässlich der Emeritierung meines Vorgängers Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. Ulrich Smolczyk veranstaltet. Die große Resonanz des Symposiums war nicht nur eine Würdigung für meinen Vorgänger, sondern auch eine Ermunterung für mich, ein zweites Stuttgarter Geotechnik-Symposium zu veranstalten mit dem Thema "Deponiebau und Geotechnik". Dieses Thema wurde gewählt in einer Zeit der durchgehenden Minimierung und Vorbehandlung des abzulegenden Mülls und deshalb abnehmenden Neubauaktivitäten. Durch die neue technische Anleitung für Siedlungsabfall, nach der auch eine Oberflächenabdichtung aufzubringen ist, entsteht jedoch ein Nachrüstungsprogramm für Altdeponien. Ansonsten ergeben sich im Bereich der Basisabdichtungen und des ganzen Deponiebaus fortlaufend neue Entwicklungen, die einen Dialog zwischen den Experten verschiedener Disziplinen und Institutionen verlangen.

Das Wort "Dialog" stellt schlagwortartig das Ziel des Stuttgarter Geotechnik-Symposiums dar, und daraus ergab sich auch die Art und Weise der Gestaltung mit plenaren Vorträgen am Vormittag und kleinen parallelen Workshops am Nachmittag.

Die Deponietechnik mit Standortsuche, Planung, Bau, Unterhaltung und Kontrolle ist ein Aufgabengebiet mit vielen Facetten. Dabei reichen die Aufgaben über die Geotechnik hinaus und überschneiden sich mit denen der Wasserwirtschaft und der Abfallwirtschaft. Es hat mich deshalb sehr gefreut, daß meine Kollegen aus jenen Disziplinen, Herr Prof. Dr. h.c. Helmut Kobus und Herr Prof. Dr.-Ing. Oktay Tabasaran sich in Wort und Schrift an dem Symposium beteiligt haben. Ihre Beiträge werden in diesem Mitteilungsheft vervollständigt von tiefgehenden Aufsätzen über Abdichtungssysteme für Deponien und Altlasten.

Am Nachmittag wurde das Symposium fortgesetzt in der Form von drei zeitlich parallelen Workshops, so daß aufgrund der geringeren Teilnehmerzahl – etwa 40 pro Workshop – sehr eingehend diskutiert wurde. Hier haben die erhofften Dialoge zwischen Fachleuten stattgefunden, und somit hat dieses Symposium sein Ziel in vollem Umfang erreicht. Diese Diskussionen finden Sie leider nicht in diesem Mitteilungsheft. Stattdessen haben wir eine Reihe von Kurzbeiträgen zu mehreren Themen im Bereich des Deponiebaus aufgenommen. Ich hoffe, daß Sie in diesen Beiträgen die lebhafteste Diskussion noch einigermaßen erahnen können.

Pieter A. Vermeer

Grußwort
von Herrn Minister Harald B. Schäfer

Deponien haben innerhalb moderner Kreislaufwirtschaftskonzepte auch langfristig einen festen Platz, um Abfälle nach Minimierung, Verwertung und Behandlung umweltgerecht zu beseitigen. Sie bedürfen eines besonderen umweltpolitischen Augenmerks. Denn im Gegensatz zu umweltschädlichen Produktionsanlagen, die stillgelegt und auch entfernt werden können, greifen Deponien irreversibel in den Naturhaushalt ein. Nachlässigkeiten, Fehleinschätzungen und falsche Sparsamkeit bei Einrichtung und Betrieb gehen zu Lasten nachfolgender Generationen. Deshalb kommt neben dem Deponiestandort der technischen Ausstattung einer Deponie besondere Bedeutung zu und stellt hohe Anforderungen an die Ingenieure.

Ich freue mich, daß das Institut für Geotechnik diese Herausforderung mit so viel Engagement angenommen hat und hoffe, daß Ihre Fachtagung richtungsweisende Schwerpunkte darin setzen kann, praxistaugliche und finanzierbare Lösungen für die sichere Konstruktion von Abdichtungssystemen an Deponien und Altlasten zu finden. Die namhaften Referenten und das hohe Ansehen Ihres Instituts lassen mich in dieser Hinsicht zuversichtlich sein.

Harald B. Schäfer

Inhaltsverzeichnis **Seite**

Plenarbeiträge

Helmut Kobus, Hermann J. Lensing Deponiebau und Wasserwirtschaft – Anforderungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft an den Deponiebau –	5
Oktay Tabasaran Anforderungen der Abfallwirtschaft an die Geotechnik	33
Hermann Schad Basisabdichtungen	37
Walter Lächler Oberflächenabdichtungen	51

Workshop: Abdichtungssysteme für Altlasten

E. Schmid Einführungsreferat	61
Stefan Plaum Die Überwachungsgemeinschaft "Bauen für den Umweltschutz e. V."	83
Thomas Ertel Auswahl von Oberflächenabdichtungssystemen für Altablagerungen und Altdeponien	119
Helmut Schwarzmüller Oberflächenabdichtungssystem "Mineralische Abdichtung mit untenliegender Kapillarsperre" auf der Hausmülldeponie Karlsruhe West	125
Sylvia Schultheiß / Helmut Schwarzmüller Bau eines Oberflächenabdichtungssystems mit Drainagematte an einer steilen Böschung	137
Peter Huth Basisabdichtungsaufbau	143
Frank Wickert / A. Zimmermann Ein Beispiel für eine sich selbst abdichtende Altablagerung?	147
E. Robold Sanierung der ehemaligen Deponie Zielgasse in Rheinfelden	151

Workshop: Chemische und physikalische Eigenschaften

Irene Fiechter	165
Einsatz von Organobentonit im Deponiebau und dessen geotechnische Eigenschaften	

Workshop: Entwässerungseinrichtungen

Erwin Gartung	179
Entwässerungseinrichtungen bei AbfalldPONEN	
Andreas Maier	193
Erfahrungen beim Bau und dem Betrieb von Sickerwasserleitungssystemen bei Hausmülldeponien	
Gerold Buck	203
Dränsysteme aus Geoverbundstoffen als notwendige Ergänzung von Abdichtungen im Deponiebau	
H. Schneider	205
FEM-Berechnungen an Sickerwassersystemen	

Deponiebau und Geotechnik

23. Januar 1996

Veranstalter



Institut für Geotechnik
der
Universität Stuttgart
Prof. Dr.-Ing. P. Vermeer

Beirat:

Dr. H. Behmel

Institut für Geologie, Universität Stuttgart

Prof. Dr.-Ing. R. Buchmaier

Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik

Dr.-Ing. W. Lächler

Smolczyk & Partner, Stuttgart

Dr. S. Plaum

Überwachungsgem. Bauen für den Umweltschutz

Dr.-Ing. D. Salden

Institut für Geotechnik, Universität Stuttgart

Dr.-Ing. habil. H. Schad

FMPA Baden-Württemberg, Otto-Graf-Institut

Ltd. Baudirektor E. Schmid

LfU Baden-Württemberg

Programm

- 09.00 **Begrüßung und Einführung**
Prof. Dr.-Ing. P. Vermeer
Grußwort: Ministerialdirektor Dr. A. Wirsing
Umweltministerium Baden-Württemberg
- 09.30 **Deponiebau und Wasserwirtschaft**
Prof. Dr. h.c. H. Kobus, Ph.D.
Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart
- 10.10 **Anforderungen der Abfallwirtschaft
an die Geotechnik**
Prof. Dr.-Ing. O. Tabasaran
Institut für Siedlungswasserbau,
Wassergüte- und Abfallwirtschaft,
Universität Stuttgart
- 10.50 **Kaffeepause**
- 11.20 **Basisabdichtungen**
Priv.-Doz. Dr.-Ing. H. Schad
FMPA Baden-Württemberg, Otto-Graf-Institut
- 11.55 **Oberflächenabdichtungen**
Dr.-Ing. W. Lächler
Smolczyk & Partner, Stuttgart
- 12.30 **Vertikale Dichtungselemente**
Dr.-Ing. M. Geil
Prof. Jessberger und Partner, Bochum
- 13.00 **Gemeinsames Essen im Hotel FONTANA**
- 14.15 **Workshops (Arbeitsgruppen)**
 - Abdichtungssysteme für Altlasten
 - Chemische und physikalische Eigenschaften
 - Entwässerungseinrichtungen
- 16.00 **Abschlußtreffen im Foyer**

Workshops

Die drei Workshops finden zeitlich parallel zueinander statt, so daß aufgrund der geringeren Teilnehmerzahl auch spontan diskutiert werden kann. Nach einem Einleitungsreferat von etwa 20 Minuten soll einer größeren Zahl von Teilnehmern Gelegenheit gegeben werden, in kurzen Stellungnahmen (10 Minuten) über aktuelle Projekte oder Forschungsvorhaben zu berichten. Wer einen kurzen Bericht abgeben möchte, soll bitte bereits mit der Anmeldung die Stichworte seines Beitrags angeben, so daß der Diskussionsleiter den Ablauf des Workshops planen kann. Druckreife Ausarbeitungen der Kurzbeiträge, die bis zum 01.12.95 vorliegen, werden im Tagungsband gedruckt.

Abdichtungssysteme für Altlasten

Diskussionsleitung:

Dr. S. Plaum,

Überwachungsgem. Bauen für den Umweltschutz

Einführungsreferat:

Ltd. Baudirektor E. Schmid,

LfU Baden-Württemberg

Chemische und physikalische Eigenschaften

Diskussionsleitung:

Dr. H. Behmel, Institut für Geologie

Einführungsreferat:

G. Gay M.Sc. FMPA Baden-Württemberg

Entwässerungseinrichtungen

Diskussionsleitung:

Prof. Dr.-Ing. R. Buchmaier

Einführungsreferat:

Dr.-Ing. E. Gartung, LGA Nürnberg

Deponiebau und Wasserwirtschaft – Anforderungen einer nachhaltigen Wasserwirtschaft an den Deponiebau –

Prof. Dr. h.c. Helmut Kobus, Ph.D. / Dipl.-Ing. Hermann J. Lensing

Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart

1 Einleitung

Das Grundwasser gehört zu den Basisressourcen der Zivilisation. Aufgrund seiner engen funktionalen Verzahnung mit aquatischen und terrestrischen Ökosystemen ist sein Schutz und seine verantwortungsvolle und nachhaltige Nutzung von entscheidender Bedeutung im Umgang mit unseren Naturgütern. Die Tatsache, daß die Trinkwasserversorgung in der Bundesrepublik Deutschland vorwiegend durch die Entnahme von Grundwasser gedeckt wird, unterstreicht diese Feststellung.

Anthropogene Verunreinigungen beeinträchtigen in zunehmendem Maße die Wasserbeschaffenheit der normalerweise durch Deckschichten gut geschützten Grundwasservorkommen. Den größten Anteil an der Beeinträchtigung der Grundwasserqualität leisten der Nitrat- und Pflanzenschutzmitteleintrag durch die intensive Landwirtschaft (BGA, 1980; DVGW, 1985; UBA, 1987), Mineralölnfälle und Leckagen (BMI, 1980; Diesel & Lühr, 1982) und die weitverbreitete Verschmutzung durch leichtflüchtige, chlorierte Kohlenwasserstoffe (DVGW, 1981; WaBoLu, 1981). Neuere Erhebungen der Landesanstalt für Umweltschutz, Baden-Württemberg, zeigen exemplarisch, daß sich ca. 3/4 der lokal verursachten Schäden auf die leichtflüchtigen halogenierten Kohlenwasserstoffe sowie aliphatische und aromatische Kohlenwasserstoffe konzentrieren (LFU, 1994).

Derzeit werden die altlastverdächtigen Flächen in Baden-Württemberg erfaßt, um das resultierende Gefährdungspotential grob abschätzen zu können. Bei dieser systematischen Erhebung wurden auf 80 % der Landesfläche bisher 31.000 Objekte erfaßt, wovon ca. 17.500 Altablagerungen sind (Flittner, 1995). Die Einzelfallbearbeitung erfolgt mit einem mehrstufigen Verfahren, das aufeinanderfolgende Bearbeitungs- bzw. Erkundungsschritte vorsieht. Die Basis der Altlastenbearbeitung bildet dabei die vom Ministerrat beschlossene "Konzeption zur Behandlung altlastverdächtiger Flächen und Altlasten in Baden-Württemberg" (Landtagsdrucksache 10/831). Am Beginn der Er-

kundung steht die historische Erkundung. Es folgen – je nach Erfordernis – bis zu 2 Stufen einer technischen Erkundung, die – bei entsprechendem Handlungsbedarf – zu einer Sanierungsvorplanung überleiten. Auf dieser Basis werden dann die Sanierungsziele festgelegt und die Auswahl der geeigneten Sanierungsverfahren getroffen.

Die Deponietechnik mit Standortuche, Planung, Bau und Betrieb, Unterhaltung und Kontrolle ist ein Aufgabengebiet mit vielen Facetten. Dabei reichen die Aufgaben über die Fragestellungen der Geotechnik hinaus und überschneiden sich mit denen der Abfallwirtschaft und der Wasserwirtschaft (Abb. 1).

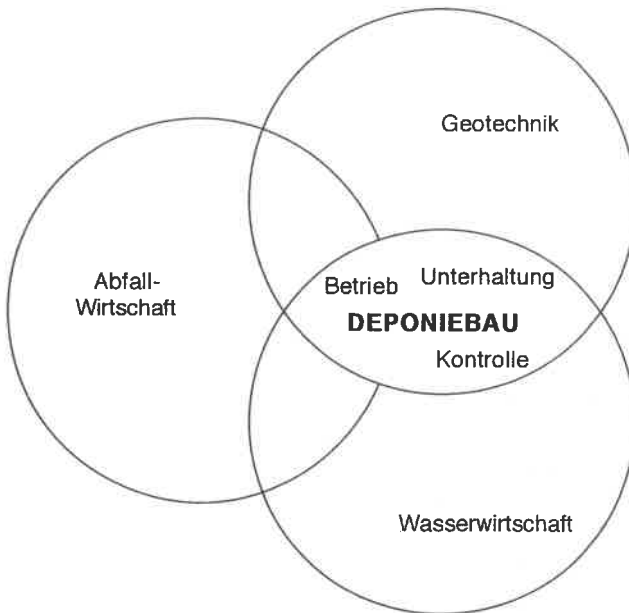


Abb. 1 Facetten des Deponiebaus

2 Grundwasserlandschaften in der Bundesrepublik Deutschland

Die Nutzungsmöglichkeiten des Grundwassers werden durch die fortlaufende Intensivierung der Flächennutzung von kommunaler, industrieller und landwirtschaftlicher Seite sowohl hinsichtlich seiner sich erneuernden Menge als auch seiner Qualität zunehmend begrenzt. Um eine weitere Gefährdung des Schutzgutes Grundwasser einschränken zu können und für fachübergreifende raumordnungspolitische Entschei-

dungen eine Planungsgrundlage zu schaffen, empfiehlt es sich, die Grundwasservorkommen nach einheitlichen Kriterien einzustufen. Dabei wurden in der Studie "Grundwasservorkommen in der Bundesrepublik Deutschland" (BRGS, 1980) die Bewertungsmerkmale Ergiebigkeit, Wasserqualität und Verschmutzungsempfindlichkeit gewählt.

Für die Abschätzung der **Ergiebigkeit** der Grundwasservorkommen wurde ihre Grundwasserhöflichkeit verwendet, die anhand der Mittelwerte von gemessenen oder zu erwartenden Brunnenergiebigkeiten und den Mittelwerten der Förderleistungen von Wasserwerken abgeschätzt wurden. In den Bereichen, in denen durch den Wasserwerksbetrieb verstärkt Uferfiltrat den Brunnen zufließt, wurde dies bei der Charakterisierung der Höflichkeit entsprechend berücksichtigt. Als Nebeninformation ist in der Karte der Ergiebigkeit der Grundwasservorkommen ebenfalls die dominierende Art der wasserführenden Gesteinsform: Lockergestein, klüftiges Felsgestein oder Karst aufgetragen. Diese Zuordnung erschließt wichtige Informationen hinsichtlich der Nutzung und der Erschließung der Grundwasserleiter und bildet eine der Grundlagen für die Einstufung ihrer Verschmutzungsempfindlichkeit.

Zur Bewertung der **Grundwasserqualität** wurden die für die Trinkwasserversorgung entscheidenden chemischen Eigenschaftsmerkmale herangezogen. Dabei liegt das Hauptgewicht auf Kriterien, die sich aus den großräumigen hydrogeologischen Verhältnissen ableiten lassen. Kleinräumige Heterogenitäten des Aquifermaterials sowie lokale anthropogene Verschmutzungen können in diesem Maßstab nicht erfaßt werden. Diese Informationen sollten in regionalen Karten berücksichtigt und aus ihnen bezogen werden. Für die Bewertung der Nutzungsmöglichkeiten von Grundwasser für die Trinkwasserversorgung wurden in der genannten Studie die in der Tabelle 1 aufgeführten Kriterien und Grenzwerte herangezogen.

Chlorid	200 mg/l
Sulfat	250 mg/l
Nitrat	50 mg/l
Erdalkalien (Ca + Mg)	20° - 30° d (bedingt geeignet) > 30° d (i. allg. nicht geeignet)
Eisen	> 0,1 mg/l (Aufbereitung erforderlich)
Mangan	> 0,05 mg/l (Aufbereitung erforderlich)

Tab. 1: Kriterien für die Charakterisierung der Grundwasserqualität der Grundwasservorkommen in der Bundesrepublik Deutschland (nach BRBS, 1980)

Bei der Festlegung der Kriterien für eine Abschätzung der **Verschmutzungsempfindlichkeit** wurde im Rahmen der Charakterisierung der Grundwasservorkommen auf hydrologische, geologische und bodenkundliche Merkmale zurückgegriffen. Für die Kon-

zeption der vorliegenden Karte wurde die Fragestellung weiter reduziert, indem nur die Möglichkeit des sickerwasserbürtigen Eindringens von Schadstoffen ins Grundwasser berücksichtigt wurde. Ergänzende Betrachtungen wie eine gute Verdünnung der Schadstoffe infolge hoher Fließgeschwindigkeiten oder hoher Neubildungsraten und geringe Verweilzeiten im Grundwasserleiter, die im Schadensfall eine raschere Sanierung und Wiedernutzung positiv beeinflussen würden, wurden hingegen ausgeklammert. Folgende hydrogeologischen Kriterien wurden herangezogen: Gesteinsart und vertikale Durchlässigkeit der einzelnen Schichten der ungesättigten Zone und Tiefe des Grundwasserspiegels unter der Geländeoberkante. Das resultierende Bewertungsschema ist in der Tabelle 2 dargestellt.

Verschmutzungs-empfindlichkeit	Tiefe des freien Grundwasserspiegels	Durchlässigkeit	Gesteinsarten
groß	< 2 m	groß bis mittel	alle außer Ton, Tonstein und Torf
groß bis mittel	> 2 m	groß	Karstgestein
	2 - 10 m	groß bis mittel	Lockergestein
	2 - 20 m	groß bis mittel	Kluftgestein
mittel bis gering	< 2 m	klein	Torf, Seemarsch
	> 10 m	groß bis mittel	Lockergestein
	> 20 m	groß bis mittel	Kluftgestein
gering	gespanntes Grundwasser mit Deckschichten (Ton, Tonstein) von sehr kleiner Durchlässigkeit		
sehr gering	schwer durchlässige Zwischenschichten, tiefes selbstständiges Stockwerk		

Tab. 2: Bewertungsschema der Deckschichten-Parameter zur Bestimmung der Verschmutzungsempfindlichkeit des Grundwassers von der Erdoberfläche her (aus BRBS, 1980)

Die vorliegende Studie ist sicherlich nur als ein Einstieg in die komplexe Thematik anzusehen. Die große Bandbreite möglicher Schadstoffe, die wasserlösliche und nicht wasserlösliche organische und anorganische Stoffe sowie Mikroorganismen und Viren, aber auch radioaktive Substanzen umfassen kann, erfordert an sich eine Einzelstoff- oder zumindestens stoffklassenorientierte Bewertung. Die möglichen Retardierungs-, Immobilisierungs- und Abbauprozesse sind ebenfalls stark vom jeweils betrachteten Schadstoff sowie den vorherrschenden biogeochemischen Milieubedingungen des jeweiligen Aquifers und der überliegenden ungesättigten Zone und der Bodenzone abhängig und entziehen sich daher ebenfalls einer einfachen Zuordnung, so daß ergänzende Kriterien bei einer systematischen Weiterentwicklung der Klassifizierung der Verschmutzungsempfindlichkeit zu berücksichtigen sind.

Die **Selbstreinigungskraft der Grundwasserleiter** wird wesentlich durch das Angebot an inneren Oberflächen und die auftretenden Fließgeschwindigkeiten beeinflusst. Porengrundwasserleiter besitzen einen großen wirksamen Hohlraumanteil und weisen i. d. R. geringe Fließgeschwindigkeiten auf, so daß sie für den Abbau und die Immobilisierung von Schadstoffen gute Voraussetzungen bieten. Kluffgrundwasserleiter weisen demgegenüber erheblich geringere am Wassertransport aktiv beteiligte Hohlräume auf. Damit ist ihr Adsorptionsvermögen gegenüber den Porengrundwasserleitern deutlich geringer. Zudem können in Kluffgrundwasserleitern deutlich höhere Fließgeschwindigkeiten auftreten. Die in Karstgrundwasserleitern durch Lösungsvorgänge geschaffenen Fließwege führen oft zu sehr hohen Fließgeschwindigkeiten, so daß sie hinsichtlich ihrer Selbstreinigungskraft die schlechtesten Voraussetzungen aufweisen. Eingetragene Schadstoffe können daher in kurzer Zeit über weite Strecken ohne eine effektive Verdünnung transportiert werden.

Seitens des Geologischen Landesamtes wurde für Baden-Württemberg ebenfalls eine Typisierung der **Grundwasserlandschaften Baden-Württembergs** durchgeführt. Dabei wurden die Grundwässer anhand der folgenden Kriterien charakterisiert: Art des Grundwasserleiters (Poren-, Kluff- und Karstgrundwasserleiter) und seine hydrochemischen Milieubedingungen, petrographische Gesteinsform des Aquifermaterials und Empfindlichkeit gegenüber anthropogener Belastung. Charakteristische Grundwasserlandschaften Baden-Württembergs sind der Oberrheingraben, die Schwäbische Alb und die süddeutsche Buntsandstein- und Muschelkalklandschaft.

Der **Oberrheingraben** gehört zu den ergiebigsten Grundwasserlandschaften der Bundesrepublik Deutschland. Für die Trinkwassergewinnung werden vorwiegend die Vorkommen in den quartären und pliozänen Sanden und Kiesen genutzt. Demgegenüber sind die Grundwässer in den präpliozänen Schichtfolgen nur von regionaler Bedeutung. Darüber hinaus ist der Rheinlauf im mittleren und nördlichen Bereich der Oberrheinebene prinzipiell für die Uferfiltration geeignet und erhöht damit die potentiell nutzbaren Wasserressourcen für die Trinkwassergewinnung. Nutzungseinschränkungen sind durch weitverbreitete natürliche Eisen- und Mangangehalte von häufig $> 0.1 \text{ mg/l}$ (Fe) und $> 0,05 \text{ mg/l}$ (Mn) gegeben, die jedoch, wie das Beispiel der Karlsruher Wasserwerke zeigt, durch effektive und kostengünstige Aufbereitungstechniken aus dem Rohwasser entfernt werden können.

Die starke Besiedlung der Oberrheinebene, verbunden mit einem hohen Grad der Industrialisierung und die intensive landwirtschaftliche Nutzung, haben jedoch zu weitreichenden Verschmutzungen der oberflächennahen Grundwasserleiter geführt. Dabei decken sich die bisher festgestellten Verschmutzungen nicht mit den Bereichen, in denen das Grundwasser eine große und mittlere Verschmutzungsempfindlichkeit aufweist, sondern korrelieren eng mit den großen Ballungsräumen (Karlsruhe, Mannheim, Ludwigshafen) und den Infiltrationsbereichen abwasserbelasteter Flußabschnitte.

Ein weitere bedeutende Grundwasserlandschaft Baden-Württembergs bilden die **Karstgrundwasserleiter der Schwäbischen Alb**. Die ergiebigsten Vorkommen befinden sich stratigraphisch betrachtet im Schichtverband des Malm (oberer Jura). Der

Grundwasserleiter ist 200 m bis 400 m mächtig. Nach Süden hin taucht er unter jüngere Schichten zum Molassebecken hin ab. Seine große Ergiebigkeit wird anhand der vielen bedeutenden Karstquellen am Südrand der Alb deutlich (z. B. Aachtopf und Blautopf). Man unterscheidet den Seichte Karst und den Tiefen Karst. Der Seichte Karst umfaßt das Gebiet, das zum Albnordrand hin entwässert. Im Bereich des Tiefen Karsts liegen die stauenden Schichten an der Basis der Grundwasserleiter unter der Geländeoberkante, so daß die Entwässerung allein auf das Niveau der Vorflutflüsse ausgerichtet ist. Während der Seichte Karst und die offenen Bereiche des Tiefen Karstes gegen Verschmutzungen sehr schlecht geschützt sind, stellen die mächtigen Molassesedimente im südlichen Bereich des Tiefen Karstes einen recht guten Schutz für die Grundwasserleiter dar.

Grundwasservorkommen mit eher regionaler Bedeutung bilden die **Grundwasserleiter der süddeutschen Buntsandstein- und Muschelkalklandschaft** nördlich und westlich der Alb-Gebiete (Tab. 3). Die Verschmutzungsempfindlichkeit der Kluft- und Karstgrundwasserleiter dieser Grundwasserlandschaft richtet sich nach der Dicke und Durchgängigkeit der vorhandenen Deckschichten, da sie selbst nur ein geringes Selbstreinigungsvermögen aufweisen. Die Grundwasserleiter am Ostrand des Schwarzwaldes weisen eine große Verschmutzungsempfindlichkeit auf, wo das abdeckende, tonige Röt fehlt. Im Bereich der Muschelkalk/Keupergrenze an Enz, Neckar und Murr zeigen die Gebiete eine geringe bis mittlere Verschmutzungsempfindlichkeit, in denen tonige Zwischenlagen des Unteren Keuper großflächiger auftreten. Die Grundwasserleiter im Muschelkalk werden nur durch geringmächtige und gut durchlässige Deckschichten geschützt. Die Porengrundwasserleiter der Region sind ebenfalls vorwiegend durch eine große bis mittlere Verschmutzungsempfindlichkeit charakterisiert.

Die vorgestellten Charakterisierungen der Grundwasserlandschaften auf Bundes- und Landesebene bieten eine erste Grundlage für die **Gefährdungsabschätzung** potentiell grundwassergefährdender Anlagen, zu denen die Deponien gehören. Für praktische Anwendungen müssen aber die Informationen auf regionaler und lokaler Ebene deutlich besser aufgelöst werden. Daher empfiehlt es sich, hydrogeologische Kartierungen um die vorgestellten Kriterien entsprechend zu erweitern, um für die Standort-suche geeignete Planungsgrundlagen zu schaffen. Seitens der TA-Siedlungsabfall (BUNR, 1993) werden folgende Ausschlußkriterien für Deponiestandorte genannt, an denen keine Deponien errichtet werden sollen: Karstgebiete und Gebiete mit stark klüftigen, besonders wasserwegsamem Untergrund, Bereiche innerhalb von bestehenden Trinkwasser- und Heilwasserschutzgebieten sowie Wasservorranggebieten, Gebiete innerhalb von Überschwemmungsbereichen, Gruben, die keine freie Ableitung des anfallenden Sickerwassers zu Schächten außerhalb der Ablagerungsbereiches zulassen und Bereiche von ausgewiesenen oder sichergestellten Naturschutzgebieten oder entsprechenden Vorranggebieten. Bezüglich der Lage der Deponien wird in der TA-Siedlungsabfall weiterhin gefordert, daß das Deponieplanum nach Abklingen der auflastbedingten Untergrundsetzungen mindestens einen Meter über der höchsten zu erwartenden Grundwasseroberfläche bzw. Grundwasserdruckfläche bei

freiem oder gespanntem Grundwasser liegen muß. Diese Anforderung gilt jedoch nur für das aktiv am Grundwasserkreislauf teilnehmende Wasser. Dabei bleibt offen, wie dieses zu definieren ist. Jeder Grundwasserkörper ist, wenn auch mit unterschiedlichen Austauschzeiten, mit dem Wasserkreislauf verbunden, so daß die letztgenannte Einschränkung mehr als Öffnungsklausel zu verstehen ist. Die erstgenannten planerischen Restriktionen (z.B. Ausschluß der Wasserschutzgebietszone IIIB) sind ebenfalls nicht zwingend vorgeschrieben und wurden bei der endgültigen Formulierung der TA-Siedlungsabfall von Muß- in Soll-Bestimmungen umgewandelt (Stolpe, 1993). Die für die Deponieklasse II vorgeschriebene geologische Barriere kann, falls sie am Standort nicht oder nicht flächendeckend vorhanden ist, durch den künstlichen Einbau einer undurchlässigen Schicht mit mindestens drei Meter Mächtigkeit bei einer maximalen Durchlässigkeit von k_f - Wert = $1 \cdot 10^{-7}$ m/s ersetzt werden.

Gesteinstypen und Art der Grundwasserleiter	Stratigraphisches Alter	Mittlere Mächtigkeiten (m)	Regionaler Bereich
Kies und Sand (Porengrundwasserleiter)	Pleistozän	10 - 30	Enz-, Neckar-, Tauber-, Main-Tal mit Fränk. Saale
Dolomite (teilverkarstete Kluffgrundwasserleiter)	Unterer Keuper	insgesamt max. 10	Enz- und Neckartal zwischen Böblingen und Heilbronn, mittleres u. unteres Murgtal
Kalksteine, untergeordnet Dolomite (Karstgrundwasserleiter)	Unterer, Mittlerer u. Oberer Muschelkalk	200 - 250	Oberer Neckar bis Ostschwarzwald, Tauberregion, Mainfranken
Sandsteine u. Konglomerate (Kluffgrundwasserleiter)	Unterer, Mittlerer u. Oberer Buntsandstein	im S: 50 - 100 im N max. 450 - 500	Südschwarzwald (Baar), Mittlerer u. Nordschwarzwald, Spessart

Tab. 3: Grundwasserleiter der süddeutschen Buntsandstein- und Muschelkalklandschaft (aus BRBS, 1980)

Die vorgestellten Charakterisierungen zeigen, daß die ergiebigen, für die Trinkwassergewinnung gut nutzbaren Grundwasservorkommen sehr ungleichmäßig verteilt sind, Bodenschichten, die die Anforderungen an eine geologische Barriere erfüllen, sind ebenfalls nicht überall vorhanden. Daher wurden die vorgestellten Restriktionen für die Standortauswahl in der TA-Siedlungsabfall entsprechend flexibel formuliert. Eine Festbeschreibung der Kriterien hätte zur Folge, daß das Prinzip der Entsorgung im Entste-

hungsgebiet der Abfälle nicht aufrechtzuerhalten wäre und damit ein Mülltourismus vorgeschrieben würde. Durch die TA-Siedlungsabfall wird die Deponie als technisch geprägtes, weitgehend standortunabhängiges Bauwerk zur Abfallentsorgung im Entstehungsgebiet definiert. Während diese Vorgehensweise hinsichtlich des Ersatzes der geologischen Barriere vertretbar ist, sollten die übrigen Kriterien nicht zugunsten politisch motivierter Standortentscheidungen geopfert werden. Die Wahl eines bezüglich des Grundwasserschutzes optimalen Standortes bildet ein wesentliches Glied in der Kette der Sicherungsmaßnahmen.

Weiterhin kann die Klassifizierung der Grundwasserlandschaften eine Prioritätsliste für die Erkundung und Sanierung von Grundwasserkontaminationen darstellen. In Anbetracht der hohen Sanierungskosten sowie der begrenzt zur Verfügung stehenden Mittel sollten Schadensherde, die eine sich schnell ausweitende, großflächige Grundwasserverschmutzung erwarten lassen, bevorzugt saniert werden. Diese Forderung bildet eine der Grundlagen der Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschadensfällen der Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (Lawa, 1993), die umfassende Richtlinien und einen detaillierten Maßnahmenkatalog beinhaltet.

3 Grundwasserbelastungen am Beispiel der Altlast Eppelheim

Da die weitere Erschließung von Grundwasservorkommen zur Trink- und Brauchwassergewinnung insbesondere in Verdichtungsräumen nur in begrenztem Umfang möglich ist, kommt, neben einer verstärkten Vorsorge, der Sanierung der belasteten Aquifere eine essentielle Bedeutung zu. Als lokale Verschmutzungsquellen für Grundwässer kommen neben Industrieanlagen, Umschlagplätzen für grundwassergefährdende Stoffe und den räumlich schwer einzugrenzenden Transportunfällen vor allem Altablagerungen und Deponien in Frage.

Eine gut untersuchte, das Grundwasser großflächig beeinträchtigende Altlast stellen die mit Abfällen aufgefüllten Kiesgruben in der Nähe der Stadt Eppelheim im Rhein-Neckar-Kreis dar, die sich im Einflußbereich mehrerer Wasserwerke befinden. Die Kiese wurden in diesem Gebiet mittels trockener Auskiesung gewonnen. Die verbliebenen Gruben, die bis zwei Meter über den mittleren Grundwasserspiegel reichten, wurden in den sechziger und siebziger Jahren mit Hausmüll, Bauschutt und Industrieabfällen bis zur Erdoberfläche aufgefüllt und anschließend rekultiviert. Die Kiesgruben weisen gegen das Grundwasser keine natürliche Abdichtung auf. Der anstehende obere Grundwasserleiter besitzt im Bereich der Altablagerung eine Mächtigkeit von 50 bis 60 m und besteht vorwiegend aus Kiesen und Sanden. Er wird bereichsweise durch ausgedehnte Ton- und Schlufflinsen unterteilt. Im Bereich des eigentlichen Kiesgrubengeländes ist in ca. 20 m Tiefe unter GOK ein durchgehender Trennhorizont ausgebildet, so daß die Kontaminationen auf den oberen Bereich des Grundwasserleiters beschränkt blie-

ben. In den Kiesgruben wurden in größerem Umfang Fässer mit CKW abgelagert. Die resultierenden Tri- und Tetrachlorethenfahnen im Abstrom der Altablagerung erstrecken sich über mehr als 10 km Länge, bei einer Breite zwischen 3 und 5 km, und reichen in das Gebiet der Gemeinde Plankstadt, dessen Wasserwerk aufgrund der hohen CKW-Konzentrationen stillgelegt werden mußte (Abb. 2). Hinsichtlich der notwendigen Sanierung des Schadensfalles lassen sich zwei Aufgabengebiete unterscheiden. Auf der einen Seite ist die unterstromig des Schadensherdes festgestellte Schadstofffahne, die im wesentlichen durch gelöste CKW gebildet wird, aus dem Grundwasser zu entfernen und auf der anderen Seite ist der eigentliche Schadensherd, in dem CKW in Phase zu erwarten sind, zu sanieren. In der Abbildung 3 sind das Nahfeld und das Fernfeld einer Kontamination im Untergrund einschließlich ihrer Charakteristika schematisch dargestellt.

Am Standort Eppelheim wurde im Grundwasserleiter ebenfalls eine großräumige cis-1,2-Dichlorethenfahne festgestellt. Da diese Substanz in der technischen Herstellung und Anwendung praktisch keine Rolle spielt, ist davon auszugehen, daß es sich dabei um ein Abbauprodukt handelt. Die cis-1,2-Dichlorethenfahne verläuft weitgehend parallel zur Trichlorethenfahne. Die Transformation chlorierter Kohlenwasserstoffe kann in natürlichen Systemen sowohl auf chemischen als auch auf biologischem Wege stattfinden (Bouwer, 1994; McCarty, 1988). Der abiotische Umbau dieser Substanzen findet unter aeroben und anaeroben Bedingungen in der Regel über eine Hydrolyse und eine Dehydrohalogenisierung statt, so daß bei diesen Prozessen neue Stoffe gebildet werden können (Fathepure et al., 1995). Der biologische Abbau halogener Kohlenwasserstoffe erfolgt ebenfalls unter aeroben und anaeroben Milieubedingungen. Der aerobe Abbau wird durch Oxidationsprozesse erreicht, wobei die anfallenden Abbauprodukte meistens stärker wasserlöslich und weniger toxisch sind. Unter anaeroben Bedingungen findet der mikrobielle Abbau i.d.R. über sequenzielle Dechlorierungsreaktionen statt, wobei sowohl weniger stark chlorierte Kohlenwasserstoffe als auch vollständig dechlorierte Abbauprodukte auftreten können (Bhatnagar and Fathepure, 1991; Bouwer, 1994; Mohn & Tiedje, 1992).

Im vorliegenden Fall einer Trichlorethen-Kontamination kann der mikrobielle Abbau prinzipiell auf drei Arten erfolgen. Unter aeroben Bedingungen kann Trichlorethen von methanotrophen Bakterien cometabolisch in der Anwesenheit von C1-Verbindungen wie Methan und Formiat abgebaut werden. Daneben ist ebenfalls ein cometabolischer Abbau in der Anwesenheit von gelöstem Sauerstoff sowie Aromaten wie Phenol und Toluol beobachtet worden (z.B. Lu et al., 1995). Sowohl Trichlorethen als auch das an diesem Standort im Grundwasser auftretende Perchlorethen werden unter anaeroben Bedingungen biologisch dechloriert. Verschiedene Untersuchungen haben gezeigt, daß die ersten Schritte der mikrobiellen Dechlorierung höher chlorierter Substanzen, wie Tri- und Tetrachlorethen, unter anaeroben Bedingungen sehr schnell erfolgt. Die dabei anfallenden Zwischenprodukte werden häufig nur sehr langsam umgesetzt und reichern sich daher wie im vorliegenden Fall der Altlast Eppelheim im Grundwasser an.

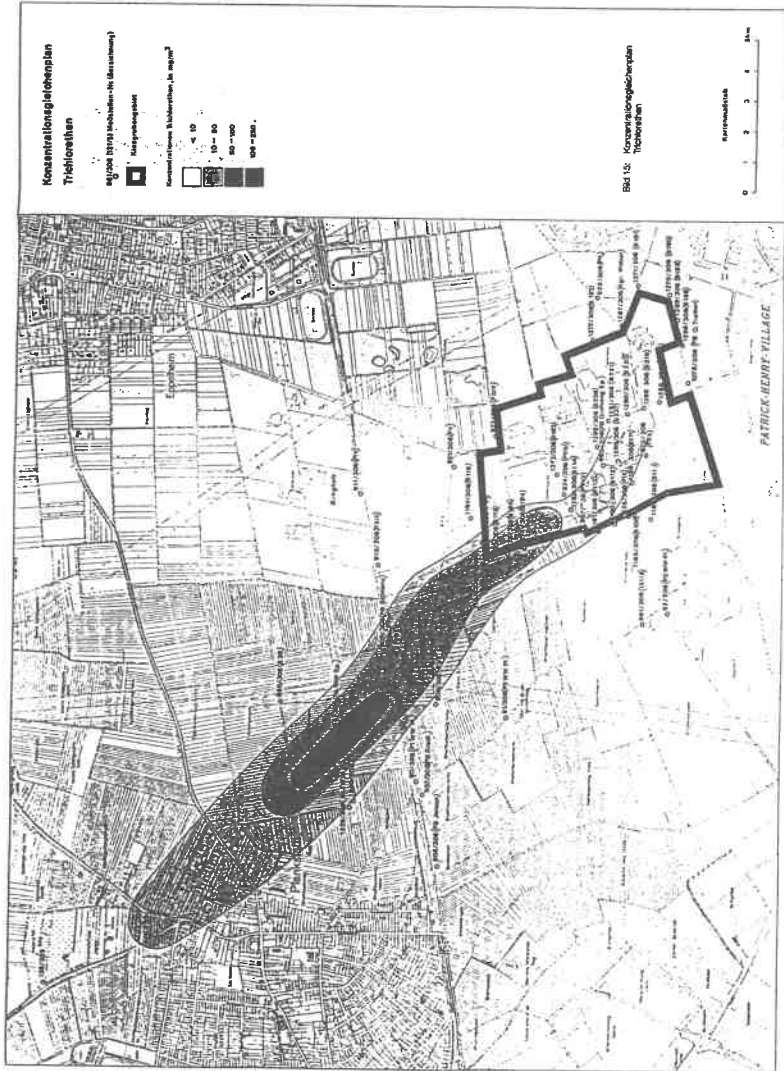
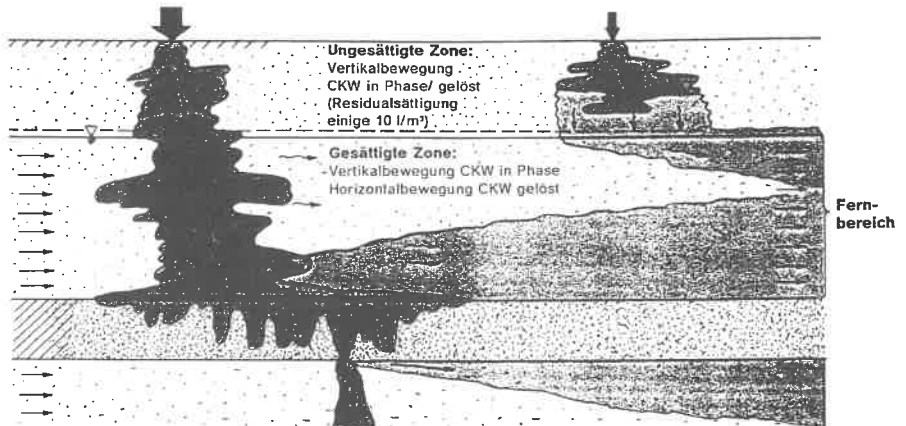


Abb. 2 Trichlorethenfahne im Abstrom der Altlast Eppelheim (aus MELUF, 1987)



	Bereich	Schadstoff	Strömung	typischer Zeitmaßstab	typischer Längen- maßstab
Nahfeld	ungesättigte gesättigte Zone	in Phase in Lösung	3D-Mehrphasen- strömung	Tage	Meter
Fernfeld	gesättigte Zone	in Lösung	Wasserströmung	Jahre	Kilometer

Abb. 3: Versickerung und Ausbreitung chlorierter Kohlenwasserstoffe im Untergrund

Anhand der Nitratkonzentrationsverteilungen konnte im Abstrom der Kiesgruben eine Reduktionszone nachgewiesen werden.

Da weniger stark chlorierte Kohlenwasserstoffe unter aeroben Bedingungen besser abgebaut werden als unter anaeroben Bedingungen, wird derzeit untersucht, ob die Kombination einer anaeroben Reinigungsstufe gefolgt von einer aeroben Reinigungsstufe für praktische Anwendungen sinnvoll und praktikabel ist (z.B. Meyer et al., 1995). So wäre es denkbar, den reduzierten Abstrom mit geeigneten Techniken zu belüften, um einen aeroben Sperrriegel zu schaffen. Dabei ist jedoch zu beachten, daß die maximale Lösungskonzentration von Sauerstoff im Wasser mit ca. 10 mg/l sehr gering ist und reduzierte Grundwasserleiter eine sehr hohe Reduktionskapazität aufweisen können.

Im Januar 1989 wurde der Altablagerungsstandort Eppelheim in die Liste der Modellstandorte der LfU Baden-Württemberg aufgenommen. Auf einem 0,7 ha großen Teilgebiet wurden verschiedene on site und in situ Sanierungsverfahren im halbertechnischen Maßstab entwickelt und hinsichtlich ihrer Sanierungseffizienz und ihrer Kosten miteinander verglichen. Die eingesetzten biologischen Verfahren nutzen alle gezielt die potentiell am Standort vorhandene mikrobielle Kapazität zur reduktiven Dechlorierung der Schadstoffe. Für die on site Sanierung ausgehobenen Bodenmaterials wurden ein Silofermenter und ein Terranox-System verwendet. Das anfallende Prozeßwasser und das bei der Fahnen-sanierung entnommene Grundwasser sowie die Prozeßluft wurden separat behandelt (v. Reis, 1993). Als mögliche in situ Techniken wurden ein Infiltrationsverfahren, ein Perkulationsverfahren und eine in situ Bodenwäsche getestet, wobei jeweils Bodensäulen mit einem Durchmesser von 2,4 m und einer Länge von 10 m benutzt wurden. Die anfallenden Prozeßwässer und die Abluft werden dabei on site gereinigt. Der Vergleich der verschiedenen Verfahren zeigte, daß für den Standort Eppelheim die in situ Infiltration in den Boden in Kombination mit einer on site Behandlung des Wassers in anaeroben und aeroben Festbettbioreaktoren und eine Luftbehandlung in Bioreaktoren das vielversprechendste Verfahren darstellt (Meyer et al., 1995). Bei der Anwendung im Feld wurde die Schadstofffracht im Boden um über 94,5 % und in den Bioreaktoren um mehr als 99% verringert.

4 Bautechnische Maßnahmen zur Verhinderung von Grundwasserbelastungen

Der Austritt von Schadstoffen wird bei Deponien, die nach den heute geltenden Vorschriften gebaut werden, durch die geologische Barriere, die Basisabdichtung und die Oberflächenabdichtung verhindert. Diese Systeme schließen die abgelagerten Stoffe vollständig ein, um sowohl die Entstehung von Sickerwasser als auch dessen Ableitung in den Untergrund zu unterbinden. Das Sicherheitssystem für Deponien wird durch zusätzliche Anforderungen an den Deponiestandort (s. Kap. 2), die Einbautechnik für die Abfälle und die abzulagernden Stoffe ergänzt. Dabei werden für den organischen Anteil des Trockenrückstandes der Originalsubstanz, gemessen als Glühverlust, mit 3 % für die Deponieklasse I und 5 % für die Deponieklasse II sehr niedrige Werte angesetzt, da in Deutschland Bio-Reaktor Deponien negativ eingeschätzt werden und man daher eine Behandlung der Abfälle vor der Ablagerung eindeutig bevorzugt (Stief, 1993). Die auf verschiedenen Ebenen ansetzenden Anforderungen an den Bau und den Betrieb von Deponien dienen dazu mehrere, unabhängig voneinander wirksame Sicherungen gegen einen Schadstoffaustrag zu schaffen.

Neben den eigentlichen Dichtungssystemen ist für die Sicherheit gegen Schadstoffausträge der **Wasserhaushalt** der Deponie von entscheidender Bedeutung. Seitens der TA-Abfall (BUNR, 1991) und der TA-Siedlungsabfall ist daher für die Regelabdichtungssysteme eine Entwässerungsschicht vorgeschrieben. Diese führt das anfallende

Sickerwasser im freien Gefälle zu Rohrleitungen und Schächten, an denen es gefaßt und behandelt werden kann. Insbesondere während der Betriebsphase einer Deponie, in der aufgrund der fehlenden Oberflächenabdichtung große Sickerwassermengen anfallen können, ist es besonders wichtig, daß das Basisentwässerungssystem funktioniert. Auf diese Weise läßt sich ein Wasserstau im Deponiekörper unterbinden, der mit unnötig großen Druckgradienten über die Basisabdichtung verbunden ist. Ein Wasserstau in der Deponie kann zudem die Standsicherheit nachteilig beeinflussen (Gartung, 1994).

Auch nach dem Abschluß der Betriebsphase und der Fertigstellung des Oberflächenabdichtung muß das **Entwässerungssystem** funktionieren, um das infolge der Konsolidierung des Abfallkörpers sowie biochemischer Prozesse anfallende Wasser abführen zu können. Mit der Zeit in der Oberflächenabdichtung auftretende Undichtigkeiten können ebenfalls zu einem Sickerwasserfluß beitragen, so daß das Entwässerungssystem auf Dauer funktionsfähig bleiben muß. Die Langzeitstabilität des Drainagesystems wird maßgeblich durch die Aufrechterhaltung der bei Baubeginn definierten hydraulischen Leitfähigkeit bestimmt. Diese kann durch die Einlagerung partikulärer Substanzen und Fällungsprozesse negativ beeinflusst worden. Beispielsweise wurden in verschiedenen Siedlungsabfalldeponien bereits nach kurzer Zeit Inkrustationen innerhalb des Basisentwässerungssystems infolge biologischer und chemischer Prozesse festgestellt. Turk et al. (1993) beobachteten in Schlacke/Aschedeponien Verkrustungen des Drainagesystems infolge der Ausfällung von Salzen und anderen Verbindungen. Auf der Basis dieser Beobachtungen wird die Notwendigkeit der Verwendung von mineralischen und geotextilen Stufenfiltern oberhalb der eigentlichen Dränschicht derzeit kontrovers diskutiert. In verschiedenen Untersuchungen zeigte sich, daß diese Filter insbesondere in Siedlungsabfalldeponien aber auch in Bauschutt- und Monodeponien zur Kolmation infolge mikrobieller Besiedlung neigen. Dem steht gegenüber, daß die direkte Ablagerung von feinkörnigen anorganischen Abfallstoffen oberhalb der grobkörnigen Dränschicht zur Einlagerung von feinkörnigen Fraktionen in der Dränschicht führen kann, so daß ihre hydraulische Leitfähigkeit sinkt. Derzeit lassen sich nicht alle Fragestellungen endgültig klären. Vergleichende Untersuchungen zur Langzeitstabilität von Basisentwässerungssystemen sollten den derzeitigen Wissensstand ergänzen. Dabei müssen die unterschiedlichen Randbedingungen – an der Basis von Hausmülldeponien herrschen andere Bedingungen als an der Basis von Monodeponien – berücksichtigt werden. Eine ausführliche Beschreibung der Anforderungen an Dränmaterialien, der notwendigen Eignungsprüfungen und der Qualitätssicherung beim Einbau ist in Gartung (1994) gegeben.

4.1 Sicherung von Altablagerungen und -deponien

Während Deponien, die nach den Anforderungen der TA-Siedlungsabfall bzw. TA-Abfall gebaut und betrieben werden, für das Grundwasser ein eher niedriges Gefährdungspotential aufweisen, können Altablagerungen und Altdeponien, wie das Fallbeispiel Eppelheim zeigt, zu massiven Grundwasserbelastungen führen. An Altdeponien,

d.h. Deponien, die zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der TA-Siedlungsabfall in Betrieb waren, werden in der TA-Siedlungsabfall nach einer sechsjährigen Übergangsfrist verschiedene Anforderungen hinsichtlich der Stabilität, dem Betrieb, der Deponiegasfassung und -verwertung und der Aufbringung einer Deponieoberflächenabdichtung gestellt um eine nachträgliche Sicherung zu gewährleisten. Falls möglich, sollten bei länger im Betrieb befindlichen Anlagen zur Reduzierung des Sickerwasserflusses zusätzlich Zwischenabdichtungen eingesetzt werden. Bei ausreichender Verdichtung des Auflagers lassen sie sich technisch herstellen. Obwohl sie einen zusätzlichen Schutz gegen Grundwasserbelastungen bieten, werden sie in der TA-Siedlungsabfall allerdings nicht zwingend vorgeschrieben.

Um die wesentliche antreibende Kraft für eine Grundwasserverschmutzung, den Sickerwasserfluß, zu reduzieren, muß weiterhin nach Abschluß der Deponierung an allen bestehenden Standorten eine effektive Oberflächenabdichtung erstellt werden. Die technischen Anforderungen an eine Oberflächenabdichtung sind in der TA-Abfall und der TA-Siedlungsabfall geregelt. Dabei kommen nach Burkhardt und Egloffstein (1994), die folgenden Ausführungen in Frage:

- Erdstoffdichtungen
- Kunststoffdichtungsbahnen
- Asphaltabdichtungen
- Bentonitmatten oder Bentonit-Dichtungsmatten
- Kapillarsperren
- Kontrollierbare Abdichtungen
- Kombinationsabdichtungen

Als Basisabdichtung ist die Kombinationsdichtung als Stand der Technik anzusehen. Bei ihrer Verwendung als Oberflächenabdichtung bestehen hingegen Bedenken hinsichtlich ihrer bautechnischen Ausführbarkeit, ihrer Standsicherheit im Böschungsbereich und ihrem Langzeitverhalten. Bei einem Vergleich der verschiedenen Varianten sollte bedacht werden, daß Oberflächenabdichtungen vorrangig dazu dienen, den niederschlagsbürtigen Sickerwasserzufluß zu verhindern und erst in zweiter Linie die Aufgabe haben, einen Schadstoffaustrag zu unterbinden. Die Aufbringung einer Oberflächenabdichtung wird seitens der TA-Siedlungsabfall auch bei schlecht verdichteten Altdeponien gefordert. Sie muß in diesem Fall nach dem Abklingen der Hauptsetzungen erfolgen, so daß es sinnvoll ist bereits beim Deponiebetrieb für eine ausreichende Verdichtung der Abfälle zu sorgen, um die mit einer Verzögerung verbundenen Mehrkosten einzusparen.

4.2 Kapselung des Deponiekörpers bzw. der Altlast

Reichen die durch die TA-Siedlungsabfall geforderten nachträglichen Sicherungen von Altdeponien nicht aus, um eine Grundwassergefährdung auszuschließen, oder liegt bereits eine Kontamination der ungesättigten Zone und / oder des Grundwassers vor, so ist der Standort weitergehend zu sichern. Dies kann durch die Einsatz von verti-

kalen Dichtwänden sowie dem nachträglichen Einbau einer Sohldichtung erfolgen. Eine Übersicht über die technischen Möglichkeiten geben Müller-Kirchenbauer et al. (1994) und Bayer et al. (1994). In der Abbildung 4 ist die Kapselung eines Schadensherdes im Untergrund schematisch dargestellt.

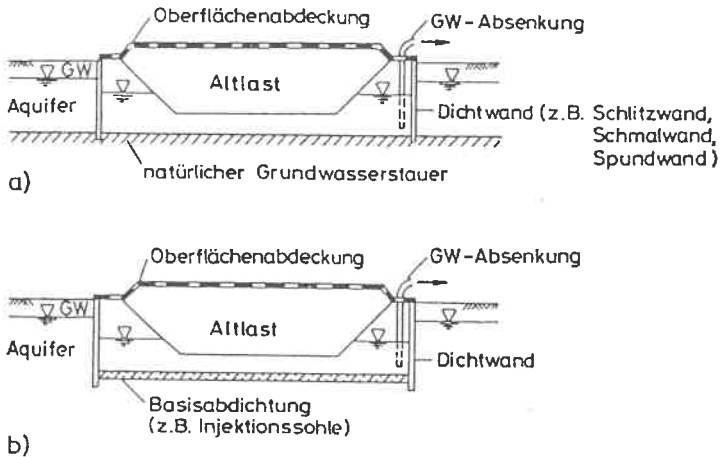


Abb. 4 Kapselung einer Altlast mit Dichtungswänden bei a) natürlicher und b) künstlicher Dichtungssohle (aus Müller Kirchenbauer et al., 1994)

Dabei wird die unterirdische Abdichtung durch die vertikalen Dichtwände sowie den natürlichen Aquitard bzw. eine künstlich eingebrachte Sohldichtung gewährleistet. Liegt die Altlast im Grundwasserbereich, so sollte die bautechnische Sicherung durch hydraulische Maßnahmen unterstützt werden, indem innerhalb der Einkapselung der Wasserspiegel unter den außerhalb anstehenden Grundwasserspiegel abgesenkt wird (Kobus, 1981). Für die Herstellung der vertikalen Dichtwände werden seitens des Arbeitskreises für Deponien und Altlasten (GDA, 1993) u.a. die folgenden Anforderungen gestellt:

- Geringe Wahrscheinlichkeit von herstellungsbedingten Schwachstellen in den Dichtungselementen und ihren Verbindungen
- Eignung bei inhomogenen Untergrundverhältnissen
- Kontrollierbarkeit der Verbindungsstellen zwischen den Dichtungselementen und ihrer Einbindung in die Sohldichtung
- ausreichende hydraulische Wirksamkeit
- Schadstoffresistenz und Beständigkeit der Materialien
- Kontrollierbarkeit und ,Reparierbarkeit der Dichtungswand

Im Bereich der Altlastensicherung haben sich die Bauverfahren mit Flüssigkeitsstüt-

zung durchgesetzt, seitens des GDA (1993) werden hauptsächlich Schlitz- und Schmalwandverfahren mit Suspensionsstützung präferiert (Müller-Kirchenbauer et al., 1994). Ein Vergleich der verfügbaren Techniken sowie der anfallenden Kosten ist in der Tabelle 4 gegeben (Strobl, 1989). Bei der Ausführung der Baumaßnahmen ist eine sorgfältige Ausführung und Kontrolle erforderlich. Verschiedene Arbeiten haben gezeigt, daß bereits kleine Schwachstellen in den Dichtungssystemen zu nennenswerten Schadstoffausträgen führen können.

Die größten Probleme bei der Sicherung von Altlasten und Altablagerungen treten beim nachträglichen Einbau einer Sohldichtung auf. Die verfügbaren Techniken befinden sich teilweise noch in der Erprobung (Bayer et al., 1994). Nachträgliche Sohldichtungen sind zudem bei großen Mächtigkeiten der Altlast sehr aufwendig und kostenintensiv herzustellen. Darüber hinaus können die verwendeten Dichtungsmaterialien selbst zu einer Beeinträchtigung der Grundwasserqualität beitragen. Hinsichtlich ihres Retardations- und Durchlässigkeitsverhaltens reichen nachträglich eingebrachte Sohldichtungen zudem nicht an die Qualitäten von Regelabdichtungen nach der TA-Abfall bzw. der TA-Siedlungsabfall heran, so daß bei ihrem Einsatz zusätzliche Sanierungsmaßnahmen wie eine dauernde Kontrolle des Wasserhaushaltes der Altlast erforderlich werden. Erschwerend kommt hinzu, daß infolge des fehlenden Entwässerungssystems nachträglich eingebrachte Dichtungen höher belastet werden als die Basisabdichtungen von neuangelegten Deponien. Die bisher verfügbaren Techniken bedürfen hinsichtlich ihrer Langzeitstabilität eingehender Untersuchungen, um die Kapselung von Altlasten als nachhaltige Sanierung einordnen zu können. Wird durch die Kapselung des Schadensherdes die Notwendigkeit für eine Sanierung nur auf der Zeitachse verschoben, so sollte vor dem Hintergrund der hohen Kosten dieses Verfahrens seine Anwendung nur dann erwogen werden, wenn andere Verfahren nicht eingesetzt werden können und eine unmittelbare Gefahr für die Umwelt vorliegt.

Eine weitere Sanierungsmöglichkeit für Altablagerungen und Altdeponien besteht darin, den Abfallkörper ganz oder teilweise schrittweise auszubauen, das Aushubmaterial gegebenenfalls on site zu behandeln und es danach wieder vor Ort nach den geltenden Richtlinien geordnet einzubauen. Diese direkte Sanierungsmethode scheitert häufig an der Größe der stark kontaminierten Fläche und der Mächtigkeit der betroffenen Schichten. Im Schadensfall Eppelheim wurde diese Sanierungsvariante verworfen, da die Standorte der Faßablagerungen nicht mehr bestimmt werden konnten. Darüber hinaus wurde in vergleichbaren Fällen bereits fünf Jahre nach der Ablagerung festgestellt, daß die Fässer zerquetscht, stark korrodiert und ausgelaufen waren. Am Standort Eppelheim lagen die Faßablagerungen bereits zwanzig Jahre zurück, so daß ein Aushub eines Großteils des Deponieareals notwendig gewesen wäre. Die verfüllten Kiesgruben weisen eine Gesamtfläche von ca. 49 ha auf. Unter diesen Umständen hätte diese Sanierungsvariante jeden Kostenrahmen gesprengt (MELUF, 1987).

Tab. 4: Einsatzbereiche von Schmal- und Schlitzwänden im Wasserbau (aus Strobl, 1989)

Art der Dichtungswand (d = 60 cm für (1), (2) und (4))	Anwendungsgebiete				Richtwerte für Wandtiefe ~ 15 m		
	Wasserbau (Talsperre, Damm, Dauerstau) ΔH < 15 m	Grundwasserschutz (Mülldeponie, Tanklager) ΔH ≥ 10 m	temp. Dichtung (Baugrube, Hochwasser- schutzdeiche)	Leistung m ² DW/h	Baustellen- einrichtung (BE) in DM	DM/m ² DW od. BE	
(1) Zweiphasen-Schlitzwand mit • Schlitzwandgreifer • Hydrofräse (ab 15 m Tiefe)	+ (+) ¹	+ (+) ¹	+ (+) ¹	12 15	300.000 400.000	250 350	
(2) Einphasen-Schlitzwand mit • Schlitzwandgreifer • Tieföffel • eingestellter Dichtungsbahn	+ + +	0 ₂ + +	+ + + ¹	12 24 12	150.000 100.000 200.000	150 100 250	
(3) Schmalwand (Stegdicke d = 8 cm)	+ -	0 -	+ -	30	150.000	50	
(4) Trockenschlitzwand (max. Schlitztiefe 4 m)	+ +	(+) 2	(+)	variabel	150.000	200	
(5) Dichtungswand mit Soilcrete • d ~ 10 cm • d ~ 60 cm	+ +	0 +	+ +	12 6	200.000 200.000	200 400	

Anwendung: + empfehlenswert
 0 mögliche
 - abzulehnen

¹ : unwirtschaftlich, ² : gerätetechnisch nicht möglich

Erschwerend kommt hinzu, daß Grabungen in einem Gemenge von Hausmüll und Gewerbemüll mit einem hohen Gesundheitsrisiko für das eingesetzte Personal sowie einem Emissionsrisiko für die Umwelt verbunden sind. Auch wenn vorwiegend unbelastetes Material ausgehoben wird, müßten strenge und damit aufwendige Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden (MELUF, 1987).

5 Sanierungsverfahren zur Beseitigung von Grundwasserbelastungen

Liegt wie im Schadensfall Eppelheim bereits eine großflächige Verschmutzung des Grundwassers vor, so ist damit zu rechnen, daß die Schadstoffe bereits in Phase in der ungesättigten Zone und im Grundwasserleiter unterhalb der Ablagerungsfläche vorliegen. In diesen Fällen reicht ein Aushub des eigentlichen Deponiekörpers für eine Sanierung nicht mehr aus. Die mit Schadstoffphase kontaminierten Boden- und Aquiferbereiche sind ebenfalls zum eigentlichen Schadstoffherd zu zählen und entsprechend zu sanieren. Hierbei muß zwischen der Sanierung der Schadstoffahne und des eigentlichen Schadstoffherdes unterschieden werden.

5.1 Hydraulische Sanierung des Schadstoffahne (Fernfeld)

Der weitverbreitete sorglose Umgang mit CKW führte dazu, daß mit dem Schadensfall Eppelheim vergleichbare Grundwasserkontaminationen mit gelösten CKW an zahlreichen Standorten anzutreffen sind. Insbesondere die oberflächennahen Aquifere in den großen Ballungsräumen weisen großräumig kritische Schadstoffbelastungen auf. Für ihre Sanierung werden i. d. R. hydraulische Verfahren eingesetzt, in denen mittels einer erzwungenen Strömung das Transportverhalten der Schadstoffe kontrolliert wird. Hierbei wird zumeist verunreinigtes Grundwasser abgepumpt, on site in geeigneten Anlagen gereinigt und in Vorfluter oder die Kanalisation geleitet. Da gelöste CKW nur in geringem Maße am Aquifermaterial sorbiert werden, haben sich numerische Strömungs- und Transportmodelle als ein geeignetes Hilfsmittel bei der Konzeption und Bemessung dieser "pump and treat"-Verfahren erwiesen.

Für ähnlich gelagerte Schadensfälle wurden in unserem Hause verschiedene Untersuchungen durchgeführt. Hierbei zeigte sich, daß je nach Anordnung der Brunnen und einer Optimierung hinsichtlich der Gesamtfördermengen und Sanierungsdauer Spielräume für eine geeignete Auslegung der Sanierungsstrategie existieren.

Ausschlaggebende Kriterien für die Konzeption der Sanierung bilden dabei neben den hydrogeologischen Randbedingungen und den gesetzlichen Auflagen die Investitions- und Betriebskosten sowie die Sanierungszeiten der einzelnen Varianten. In den Fällen, in denen eine schmale Schadstoffahne vorliegt und die Grundwasserfließrichtung von den hydrologischen Randbedingungen nur in geringem Maße beeinflusst wird, können

passive geochemische Barrieren zur in situ Sanierung der gelösten CKW sowie vertikale Zirkulationssysteme ebenfalls kostengünstige Alternativen darstellen.

Alle genannten Sanierungstechniken zur Entfernung von CKW-Schadstoffahnen aus dem Grundwasser lassen sich jedoch nur dann in einem überschaubaren Zeitrahmen durchführen, wenn der eigentliche Schadstoffherd ebenfalls saniert wird, so daß die fortlaufende Kontamination des Grundwassers verhindert wird. Andernfalls ist mit nahezu unbegrenzten Betriebszeiten und damit -kosten zu rechnen. Da lange Sanierungszeiten eher die Regel denn die Ausnahme sind, gewinnen passive geochemische Barrieren zunehmend an Interesse. Dabei handelt es sich um senkrecht zur Grundwasserströmung meist bis zum Grundwasserstauer reichende, in den Grundwasserleiter eingebrachte Materialien, die vom Grundwasser passiv durchströmt werden. Die eingebrachten Materialien sind auf den jeweiligen Schadstoff und die am Standort vorherrschenden hydraulischen Durchlässigkeiten abzustimmen. Dabei können z.B. metallische Katalysatoren für den Abbau organischer Schadstoffe, Chelatoren für die Immobilisierung von Metallen oder auch Nährstoffe und Elektronenakzeptoren für die gezielte Aktivierung der mikrobiellen Abbauaktivität im Untergrund eingesetzt werden (EPA, 1995a). Sind die einzusetzenden Materialien sehr teuer, so kann es günstiger sein vollständig undurchlässige Bereiche mit durchlässigen reaktiven Bereichen zu sogenannten "funnel and gate" Verfahren zu kombinieren. Beim Einsatz von passiven Sanierungsverfahren stehen den häufig hohen Investitionskosten niedrige Betriebskosten gegenüber, so daß sie mit zunehmender Sanierungsdauer deutliche Kostenvorteile aufweisen. Für den praktischen Einsatz fehlen derzeit jedoch Erfahrungen zur hydraulischen und geochemischen Langzeitstabilität dieser Anlagen (EPA, 1995a).

5.2 Sanierung des Schadensherdes (Nahfeld)

Im Gegensatz zur Fahnenanierung ist die Sanierung von Schadstoffherden, in denen CKW oder andere nicht oder schwer wasserlösliche Schadstoffe (im folgenden als NAPL = Non Aqueous Phase Liquids bezeichnet) in Phase auftreten können, mit zahlreichen Problemen behaftet. Selbst in den Fällen, in denen ein Teil der NAPL-Phase abgepumpt werden kann, reichen die verbleibenden Residualsättigungen aus, um über lange Zeiträume das Grundwasser zu kontaminieren.

Für die Herdsanierung wurden daher ebenfalls verschiedene **hydraulische Sanierungsverfahren** entwickelt. Zu ihnen gehören die horizontale Kombination von Einspeise- und Entnahmebrunnen zur Bildung eines intensiv durchspülten Sanierungsgebietes, die vertikale Anordnung von Entnahme und Einspeisung zur Überlagerung einer vertikalen Zirkulationsströmung über die normale Grundströmung (z.B. "Unterdruck-Verdampfer-Brunnen", "Luftinjektionsbrunnen" und "Hydroairlift"), die Kombination mehrerer Brunnen teilweise mit variablen Verfilterungsstrecken (z.B. "four spot", -"five spot"-Anordnungen) und demzufolge variablen Durchströmungsmöglichkeiten sowie Be- und Entwässerungsgräben. Alle genannten Verfahren werden jedoch durch die Heterogenität der Schadstoffverteilung und der Durchlässigkeiten sowie der gerin-

gen Lösungskonzentrationen der einzelnen NAPL in ihrer Wirkung limitiert, so daß keines der genannten Verfahren derzeit als besonders effektiv zu bezeichnen ist. Laut EPA (1995c) haben sich herkömmliche "pump and treat" Verfahren für die Sanierung NAPL-kontaminierter Standorte als nicht praktikabel herausgestellt.

Um die letztgenannte Limitierung, die geringe Löslichkeit der Schadstoffe, zu umgehen und damit die Effektivität hydraulischer Verfahren gezielt zu verbessern, werden derzeit verschiedene Technologien getestet und eingesetzt. Zu ihnen gehören der Einsatz thermischer Verfahren und die Verwendung von Lösungsvermittlern und Tensiden.

5.3 Thermische Sanierungsverfahren

Thermische Verfahren werden sowohl zur Sanierung der ungesättigten als auch der gesättigten Zone eingesetzt. Tonreiche Zonen lassen sich aufgrund ihrer elektrischen Eigenschaften bevorzugt mittels elektromagnetischer Anregung bis auf mehr als 100 °C erhitzen. Daher besteht die Möglichkeit, undurchlässige Tonlinsen und -horizonte, die oft stark kontaminiert sind, gezielt zu sanieren, da damit der Dampfdruck und die Diffusivität der Schadstoffe erhöht und die Permeabilität der tonreichen Horizonte gesteigert werden kann (EPA, 1995b).

In sandigen, stärker durchlässigen Formationen besteht die Möglichkeit, Heißdampf zu injizieren um das Wasser und die leichtflüchtigen Schadstoffe zu verdampfen. Die organischen Schadstoffe wandern dann in der Gasphase zur Temperaturfront, wo sie kondensieren und abgepumpt werden können. Eine dritte Sanierungsvariante besteht darin, Wasser mit einer Temperatur von 50 °C in den Untergrund einzuleiten, um die Löslichkeit der Schadstoffe zu erhöhen und ihre Viskosität zu verringern. Infolgedessen wird ebenfalls eine Reduzierung der Sanierungszeiten angestrebt. Alle genannten thermischen Verfahren, sind mit einem hohen Energieaufwand verbunden, und sind daher sicherlich bevorzugt auf kleinräumige, stark kontaminierte Schadensherde anzuwenden. Eine Überblick über Standorte, an denen diese Technologien eingesetzt und untersucht werden, gibt ein Statusbericht der EPA (1995b).

5.4 Verwendung von Lösungsvermittlern

Ein weiterer Ansatz zur Erhöhung der Löslichkeit und Mobilität von NAPL besteht darin, gezielt Lösungsmischungen wie z.B. eine Wasser-Alkohol-Lösung oberstrom des Schadstoffherdes mit NAPL in Phase in die gesättigte und /oder ungesättigte Zone einzubringen. Der Schadstoffaustrag wird dabei auf zwei Weisen gesteigert. Erstens erhöhen die Lösungsvermittler die Löslichkeit der Schadstoffe direkt und zweitens reduzieren sie die Oberflächenspannung zwischen Wasser und der NAPL-Phase, was zu einer direkten Mobilisierung der Schadstoffe führt. Das unterstrom entnommene, kontaminierte Wasser ist anschließend mit speziell angepaßten on-site Technologien zu reinigen. Um eine nennenswerte Erniedrigung der Oberflächenspannung erzielen zu können, ist es notwendig hohe Lösungsvermittlerkonzentrationen einzusetzen. Daher

führt die Verwendung von Lösungsmittlern ebenfalls zu hohen Betriebskosten, so daß der Einsatz dieser Technologie auf kleinräumige, stark kontaminierte Bereiche beschränkt bleiben wird.

Viele der verwendbaren Lösungsvermittler können von Mikroorganismen als Substrat genutzt werden. Solange ein toxisches Konzentrationsniveau nicht überschritten wird, wird daher mit der Verwendung dieser Stoffe die Aktivität der am Standort vorhandenen Mikroorganismen angeregt. Dies kann zu dem positiven Effekt eines verstärkten Bioabbaus der Schadstoffe führen. Auf der anderen Seite erreichen jedoch mit zunehmender Zeit infolge des verstärkten Mikroorganismenwachstums nur noch geringe Mengen der zugesetzten Stoffe den eigentlichen Schadstoffherd und das Verfahren kann auf die Effizienz herkömmlicher pump and treat Verfahren absinken. Darüber hinaus ist die mit einer Nährstoffzugabe verbundene Steigerung der mikrobiellen Aktivität im Untergrund nicht zwangsläufig mit einer Steigerung des Schadstoffabbaus verbunden, da den Mikroorganismen an natürlichen Standorten meist noch weitere abbaubare Substanzen zur Verfügung stehen. Die ungewollte Bildung teilweise toxischerer Zwischenprodukte ist in diesem Zusammenhang ebenfalls zu bedenken. In Abhängigkeit von den vorherrschenden Milieubedingungen kann das Ausmaß und der Grad des Abbaus unter natürlichen Bedingungen sehr stark variieren.

5.5 Verwendung von Tensiden

Zur Steigerung der Sanierungseffizienz hydraulischer Sanierungsverfahren werden an einer Reihe von Standorten anionische und nichtionische Tenside eingesetzt, da sie die Mobilität der Schadstoffe erhöhen können. Demgegenüber kann durch die Zugabe von kationischen Tensiden aber auch die Mobilität gewisser Schadstoffe verringert werden. Untersuchungen haben gezeigt, daß kationische, positiv geladene Tenside in der Lage sind, das Sorptionsvermögen von Böden für hydrophobe organische Stoffe, wie etwa polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK) zu erhöhen und damit die Gefahr einer Verlagerung dieser Schadstoffe zu reduzieren. Tenside sind wie die Lösungsvermittler ebenfalls in der Lage, den mikrobiellen Abbau der Schadstoffe zu verbessern.

Die Steigerung der Mobilität von Schadstoffen beim Einsatz von Tensiden beruht zum einen auf der Erhöhung ihrer Löslichkeit und auf der Erniedrigung der Oberflächenspannung zwischen der Wasser- und der NAPL-Phase. Der letztgenannte Prozeß erfordert im Vergleich mit dem ersten den Einsatz höherer Tensid-Konzentrationen. Dafür besteht aber die Möglichkeit, durch die Verringerung der Residualkonzentration an Schadstoffen die Sanierungszeiten effektiv zu beschleunigen. Verschiedene Autoren belegen mit ihren Arbeiten, daß in der Anwesenheit niedriger Tensid-Konzentrationen im Untergrund hydrophobe Schadstoffe beschleunigt mikrobiell abgebaut werden. Die für die Verwendung von Lösungsvermittlern zur Stimulierung des Bioabbaus genannten Limitierungen gelten hier ebenfalls. Aktuelle Forschungsarbeiten zum Einsatz von Lösungsvermittlern und Tensiden bei der Boden- und Grundwassersanierung sind in

EPA (1995c und 1995d) gegeben.

5.6 Limitierungen beim Einsatz hydraulischer in situ Verfahren

Die bisher vorliegenden Erfahrungen aus der Boden- und Grundwassersanierung zeigen deutlich, daß unabhängig von den jeweils genutzten Verfahren die Heterogenität der Schadstoff- und Durchlässigkeitsverteilung limitierend für die Sanierung ist. Insbesondere bei älteren Schadensfällen treten nach anfänglich hohen Austragsraten i. d. R. über lange Zeiträume niedrige Schadstoffkonzentrationen in der Bodenluft, dem Sickerwasser oder dem Grundwasser auf, ohne daß damit eine deutliche Verringerung des vorhandenen Schadstoffpools verbunden sein muß. Nachdem die hydraulisch gut zugänglichen Bereiche weitgehend abgereinigt sind, wird der Austausch zwischen den unkontaminierten gut durchlässigen und den kontaminierten hydraulisch undurchlässigeren Zonen zum limitierenden Faktor der Sanierung.

Daher wird mit verschiedenen Ansätzen versucht diesem Umstand bei der Auslegung der Sanierungsanlagen und im Betrieb zu begegnen. So wird an manchen Standorten zur Minderung der Betriebskosten die hydraulische Sanierung nach dem Abklingen der hohen Anfangskonzentrationen nur noch intermittierend betrieben. Aufgrund der Entstehungsgeschichte von Böden und Aquiferen weisen Durchlässigkeitsverteilungen natürlicher Standorte häufig geschichtete, vorwiegend horizontal verlaufende Strukturen auf. Daher wird teilweise versucht, durch die Anordnung der Verfilterungsstrecken der Zugabe- und Entnahmebrunnen eine vertikale Durchströmung der undurchlässigen Zonen zu erzwingen. Beispiele hierfür sind die oben genannten vertikalen Zirkulationssysteme und entsprechend ausgelegte Mehrbrunnensysteme. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, wie bei den thermischen Verfahren erläutert, die Durchlässigkeit tonreicher Zonen gezielt zu erhöhen. Bei der Sanierung von Aquiferen wird weiterhin der Einsatz von Schaumlösungen zur Sperrung der durchlässigen Bodenbereiche getestet. Ab einem gewissen Grad des technischen Aufwandes erreichen die Gesamtkosten einer Sanierung jedoch schnell den Kostenrahmen von alternativen Techniken, in denen der Boden ausgehoben, on site saniert und wieder eingefüllt wird, so daß ihre Anwendung nur für räumlich eng begrenzte Schadensfälle wirtschaftlich vertretbar ist. Andererseits können die äußeren Randbedingungen wie die am Standort vorliegende Bebauung und die Tiefe des Schadensfalles unter der Geländeoberkante eine in situ Sanierung unumgänglich machen. Letztendlich kann die Entscheidung für eine bestimmte Sanierungsstrategie nur anhand der standortspezifischen Rahmenbedingungen gefällt werden.

Die Ausführungen zeigen auf, daß die Sanierung von Boden und Grundwasserschadensfällen oft sehr aufwendig und teuer sind. Für viele Schadensfälle existieren derzeit keine effektiven Technologien, die eine vollständige Sanierung erwarten lassen. Dieser Umstand hat dazu geführt, daß die Sicherung und Teilsanierung bestehender Schäden häufig die einzig einsetzbaren Techniken darstellen. Die Sicherung von Schadensfällen wird heute als Sanierung definiert und akzeptiert.

6 Kontroll- und Überwachungsmaßnahmen

Deponien sind Bauwerke, die reparierbar und kontrollierbar sein müssen. Seitens der TA-Siedlungsabfall werden funktionsfähige Meßsysteme für die Überwachung des Grundwassers, zur Überwachung der Setzungen und Verformungen des Deponiekörpers sowie der Deponieabdichtungssysteme, für die meteorologische Datenerfassung, die Aufstellung der Wasserbilanz und der Temperatur an der Deponiebasis vorgeschrieben. Für die Grundwasserüberwachung werden dabei mindestens eine Meßstelle im Oberstrom und eine ausreichende Anzahl von Meßstellen im Grundwasserabstrom der Deponie gefordert. Diese Vorgaben sind unseres Erachtens nicht ausreichend.

Wie zuvor erläutert, lassen sich Kontaminationen nur dann mit einem vertretbaren Aufwand sanieren, wenn sie frühzeitig erkannt werden. Dabei ist zu bedenken, daß gerade in Gebieten, in denen die Aquifere eine geringe und mittlere Verschmutzungsempfindlichkeit aufweisen und damit meist durch eine mächtige ungesättigte Zone geschützt sind, die Zeiten, bis eine Grundwasserkontamination bemerkt wird, bedeutend sein können. Infolge der langen Durchsickerzeiten bis zum Grundwasser ist aber mit großen Schadstoffmengen in der ungesättigten Zone zu rechnen. Erschwerend kommt hinzu, daß der Bereich unterhalb des Deponiekörpers nicht zugänglich ist, und damit in einem solchen Schadensfall eine nahezu unbegrenzte Fahnen-sanierung des Abstroms durchzuführen ist. Das bedeutet, daß insbesondere im Falle mächtiger ungesättigter Bodenzonen über dem Grundwasser ein effektiver Grundwasserschutz bereits in den darüberliegenden Bodenschichten anfangen muß. Wird die Kontamination erst bei Erreichen der Grundwasseroberfläche bzw. unterstrom der Deponie erkannt, ist es für eine praktikable Sanierung bereits zu spät.

Weil Leckagen an Dichtungssystemen stets räumlich eng begrenzt sind, können auch im Falle geringer Flurabstände große Kontrollprobleme auftreten. Um einen Schadstoffaustrag frühzeitig zu erkennen, ist man bestrebt, die zur Kontrolle des Grundwassers dienenden Beobachtungspegel möglichst nahe an der Deponie anzuordnen. Damit ist jedoch die Gefahr verbunden, daß schmale Schadstoffahnen unbemerkt zwischen den Kontrollpegeln passieren. Werden die Kontrollpegel aus diesem Grund weit nach unterstrom verlegt, so wird die Leckage wiederum entsprechend spät erkannt. Eine effektive Kontrolle ist daher nur durch aktive Pumpmaßnahmen zu erreichen, welche einen hohen Betriebsaufwand und hohe Kosten verursachen.

Eine wirklich effektive Kontrolle ist somit nur über den Bau doppelwandiger Systeme erreichbar. Weder in der TA-Abfall noch in der TA-Siedlungsabfall werden doppelte, auf Leckagen kontrollierbare Deponiebasisabdichtungssysteme gefordert. Laut Stief (1993) sind Leckdetektionssysteme bei einwandfrei nach dem Stand der Technik ausgeführten Deponieabdichtungssystemen nicht erforderlich. Zudem seien die bekannten Techniken allenfalls für die Überprüfung der Funktionsfähigkeit der Dichtungssysteme kurz nach ihrem Einbau geeignet. Piepenburg (1993) schlägt deshalb vor, die Wirksamkeit der Oberflächenabdichtung und damit den Sickerwasserzufluß zu kon-

trollieren. Die notwendigen Leckdetektionssysteme lassen sich technisch einfacher realisieren, entdeckte Undichtigkeiten können mit begrenztem Aufwand behoben werden. Dabei ist jedoch zu bedenken, daß das Mobilitätsverhalten von Schadstoffen nicht nur vom Sickerwasserfluß gesteuert wird. DNAPL wie Tri- und Tetrachlorethen können nur durch die Schwerkraft durch den Deponiekörper und die ungesättigte Zone bis in die Grundwasserbereich vordringen, so daß die Kontrolle des Sickerwasserzuflusses alleine nicht ausreicht, um eine Schadstoffaustrag an der Deponiebasis auszuschließen. Restriktionen hinsichtlich der für die Ablagerung zulässigen Abfallstoffe bieten hier eine Möglichkeit, entsprechend mobile Schadstoffe von der Deponie fernzuhalten.

Wenn auch der mit der TA-Abfall und der TA-Siedlungsabfall beschrittene Weg, Deponien mit mehreren voneinander unabhängigen Sicherungstechniken zu bauen und zu betreiben, als richtig einzustufen ist, sollte die Entwicklung von effektiven Kontroll- und Reparaturtechniken nicht vernachlässigt werden. Insbesondere Altdeponien und Altablagerungen, die häufig garnicht oder nur mit wenigen Gliedern der heute vorgeschriebenen Sicherungsketten versehen sind, werden auf Dauer einen hohen Kontroll- und Reparaturbedarf aufweisen. In dieser Hinsicht besteht noch Entwicklungsbedarf für geeignete Techniken.

7 Literatur

- Bayer, H.-J. (1994): Nachträgliche Sohlabdichtung mit Montanwachs., in Burkhardt, G. & Egloffstein, T. (Hrsg.): Alternative Dichtungsmaterialien im Deponiebau und in der Altlastensicherung., Schriftenreihe Angew. Geol. Karlsruhe., Karlsruhe, 163-172
- BGA (1980): Atlas zur Trinkwasserqualität der Bundesrepublik Deutschland (Bibidat)., Bundesgesundheitsamt, Verlag E. Schmidt, Berlin
- Bhatnagar, L. & Fathepure, B.Z. (1991): Mixed Cultures in Detoxification of Hazardous Waste., in Zeikus, J.G. & Johnson, E. (Eds.): Mixed Cultures n Biotechnology., McGraw-Hill, New York, 293-240
- BMI (1980): Beurteilung und Behandlung von Mineralölunfällen auf dem Lande im Hinblick auf den Gewässerschutz. Arbeitskreis "Wasser und Mineralöle"., Bundesministerium des Inneren, Bonn, 2. Auflage 138 5.
- Bouwer, E.J. (1994): Remediation of Chlorinated Solvents Using Alternate Electron Acceptors., in Norris, E.D. et al. (Eds.): Mixed Cultures in Biotechnology., McGraw-Hill, New York, 293-340
- Bundesministerium für Raumordnung, Bauwesen und Städtebau (1980): Raumordnung - Grundwasservorkommen in der Bundesrepublik Deutschland., Schriftenreihe des BRBS, Waisenhaus Buchdruckerei und Verlag, Braunschweig

- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1991): Gesamtfassung der zweiten allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA-Abfall) - Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen vom 12.03.1991
- Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (1993): Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA-Siedlungsabfall, Kabinetsbeschuß vom 21.4.1993) -Bundesanzeiger, 45. Jahrg., Nummer 99a, 14.5.1993
- Burkhardt, G. & Egloffstein, T. (1994): Vergleich von Abdichtungssystemen – Gleichwertigkeit?, in Burkhardt, G. & Egloffstein, T. (Hrsg.): Alternative Dichtungsmaterialien im Deponiebau und in der Altlastensicherung., Schriftenreihe Angew. Geol. Karlsruhe., Karlsruhe, 217-268
- DVGW (1981): Halogenkohlenwasserstoffe in Grundwässern., DVGW-Schriftenreihe Wasser, 29
- DVGW (1985): Zu hohe Nitratkonzentrationen im Trinkwasser – Gesundheitliche Relevanz, Maßnahmen zur Verringerung., DVGW-Schriftenreihe Wasser, 46
- EPA (1995a): In Situ Remediation, Technology Status Report: Treatment Walls., EPA542-K-94-004, Eigenverlag
- EPA (1995b): In Situ Remediation, Technology Status Report: Thermal Enhancement., EPA542-K-94-009, Eigenverlag
- EPA (1995c): In Situ Remediation, Technology Status Report: Cosolvents., EPA542-K-94-006, Eigenverlag
- EPA (1995d): In Situ Remediation, Technology Status Report: Surfactant Enhancements., EPA542-K-94-003, Eigenverlag
- Fathpure B.Z.; Youngers, G.A.; Richter, D.L. & Downs, C.E. (1995): In Situ Bioremediation of Chlorinated Hydrocarbons Under Field Aerobic-Anaerobic Environments., in Hinchee R.E.; Leeson, A. & Semprini, L. (Eds): Bioremediation of Chlorinated Solvents., Batelle Press, Columbus, Richland (USA) 169-186
- Flittner, M. (1995): Stand der Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg., Vortragsunterlagen
- Gartung, E. (1994): Entwässerungssystem, Teil des Abdichtungssystems. in Burkhardt, G. & Egloffstein, T. (Hrsg.): Alternative Dichtungsmaterialien im Deponiebau und in der Altlastensicherung., Schriftenreihe Angew. Geol. Karlsruhe., Karlsruhe, 173-196
- Geologische Landesamt Baden-Württemberg (1985): Geologische Karte von Baden-Württemberg -Grundwasserlandschaften.

- GDA (1993): Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten", -GDA, Ernst & Sohn, Berlin
- Kobus, H. (1983): Vorgutachten zur Frage der Grundwassergefährdung durch die Deponie Ulm-Eggingen und zu Sanierungs- und Aufhöhungsmaßnahmen., Gutachten 83/23, Tiefbauamt der Stadt Ulm
- Kobus, H. & Rinnert, B. (1983): Hydraulische Möglichkeiten zur Grundwassersanierung im Bereich von Ablagerungen., Mitteilungsheft 54, Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart
- Kobus, H. & Spitz, R. (1991): Fachtechnische Voraussetzungen zur Festlegung von Sanierungsanordnungen., IWS Schriftenreihe Band Band 11, Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Kobus, H. (Hrsg.) (1992): Schadstoffe im Grundwasser 1: Wärme- und Schadstofftransport im Grundwasser., DFG-Forschungsbericht, VCH-Verlag, Weinheim
- Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (1994): Vortragsunterlagen zum Vortrag von BD Schmid anlässlich des VEGAS-Workshops 13.114. Oktober 1994, am Institut für Wasserbau, Universität Stuttgart
- Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (1993): Empfehlungen für die Erkundung, Bewertung und Behandlung von Grundwasserschäden.
- Lu, C.-J., Chang, C.-Y. & Lee, C.-M. (1995): Aerobic Biodegradation of Trichlorethylene by Microorganisms that Degrade Aromatic Compounds., in Hinchee R.E.; Leeson, A. & Semprini, L. (Eds): Bioremediation of Chlorinated Solvents., Batelle Press, Columbus, Richland (USA) 1-8
- McCarty, P.L. (1988): Bioengineering Issues Related to In Situ Remediation of Contaminated Soils and Groundwater., in Omenn, G.S. (Ed.): Environmental Biotechnology., Plenum Publishing Corp., New York, 143-162
- Meyer, O.; Warrelmann, J. & v. Reis, H. (1995): Pilot Plant Stage Bioremediation of CKW- and BTEX-Contaminated Soil by In Situ Infiltration in Combination With On Site Water and Air Treatment at the Model Site Eppelheim., in: Van der Brink, W.J.; Bosman, R. & Arendt, F. (Eds.): Contaminated Soil ,95, 843-852
- Ministerium für Ernährung, Landwirtschaft, Umwelt und Forsten Baden-Württemberg (1987): Grundwassergefährdung durch Altlasten am Beispiel Eppelheim (Stand Juli 1986)., Präzis-Druck GmbH, Karlsruhe
- Mohn, W.W. & Tiedje, J.M. (1992): Microbial Reductive Dehalogenation., Microbiol. Rev. 56: 482-507
- Müller-Kirchenbauer, H.; Schlötzer, C.; Rogner, J. & Friedrich, W. (1994): Dichtwände und Dichtwandmassen., in Burkhardt, G. & Egloffstein, T. (Hrsg.): Alternative Dichtungsmaterialien im Deponiebau und in der Altlastensicherung., Schrif-

tenreihe Angew. Geol. Karlsruhe., Karlsruhe, 198-216

- Piepenburg, A. (1993): Planungsgrundsätze bei neuen Deponien nach der TA-Siedlungsabfall., in: Pöppinghaus, K. & Lühr, H.-P. (Hrsg): Die neue TA-Siedlungsabfall und ihre Folgen., Verlag Mainz, Aachen
- Stief, K. (1993): Technische Anforderungen an die Errichtung von Deponien in der TA-Siedlungsabfall., in: Pöppinghaus, K. & Lühr, H.-P. (Hrsg): Die neue TA-Siedlungsabfall und ihre Folgen., Verlag Mainz, Aachen
- Stolpe, H. (1993): Anforderungen an die Standortauswahl für Deponien der Deponieklassen nach der TA-Siedlungsabfall., in: Pöppinghaus, K. & Lühr, H.-P. (Hrsg): Die neue TA-Siedlungsabfall und ihre Folgen., Verlag Mainz, Aachen
- Strobl, Th. (1989): Dichtungselemente im Wasserbau., Seminarunterlagen zur Veranstaltung, Haus der Technik, 2-3.10.1989
- Türk, M.; Wittmaier, M.; Collins, H.J.; Harborth, P. & Hanert, H.H. (1993): Inkrustationen (feste biogene Ablagerungen) im Entwässerungssystem von Deponien., Haus der Technik Essen, 14. Tagung: Fortschritte in der Deponietechnik., Essen
- UBA (1987): Untersuchungen auf Grundwasserkontaminationen durch Pflanzenschutzmittel., Umweltbundesamt, 3, E. Schmidt Verlag, Berlin
- v. Reis (1993): Entwicklung biologischer Verfahren zur Sanierung CKW-kontaminierter Böden, Grundwasser und Abluft am Modellstandort Eppelheim - Konzeption und Realisierung des Entwicklungsvorhabens., in Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Ed.): Das Modellstandortprogramm des Landes Baden-Württemberg., Präzis-Druck GmbH, Karlsruhe, 283-312
- WABOLU (1981): Gefährdung von Grund- und Trinkwasser durch leichtflüchtige Chlorkohlenwasserstoffe., Bericht des Instituts für Wasser-, Boden- und Lufthygiene des Bundesgesundheitsamtes, 3, Dietrich Reimer Verlag, Berlin

Anforderungen der Abfallwirtschaft an die Geotechnik

Prof. Dr.-Ing. Oktay Tabasaran

Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft, Universität Stuttgart

Die Abfallwirtschaft legitimiert sich in erster Linie, neben der Entwicklung und Anwendung von Maßnahmen zur Vermeidung, durch die Aufgabe der Behandlung von Abfällen; entweder mit dem Ziel, diese anschließend – wenn es technisch möglich ist, die dafür aufzubringenden Mehrkosten zumutbar sind, sowie die Nachteile für die Umwelt nicht überwiegen – zu verwerten, oder mit dem Ziel, die Abfälle in einen deponierfähigen Zustand zu bringen.

Gemäß der Technischen Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Abfällen (TaSi) vom 14.05.1993 gelten Abfälle erst dann als deponierfähig, wenn sie bestimmte Zuordnungskriterien, die auf Parametern wie Festigkeit, Gehalt an organischem Anteil und Gehalt an eluierbaren Stoffen basieren und in einem Anhang B zur TaSi aufgelistet sind, einhalten (s. Tab. 1).

Die Deponie wird in der TaSi sinngemäß als eine Stätte zur zeitlich unbegrenzten, oberirdischen Ablagerung von Abfällen definiert, mit der Gewährleistung, daß die Entsorgungsprobleme von heute nicht auf künftige Generationen verlagert werden. Diese Maxime soll dadurch erfüllt werden, daß mittels weitgehend voneinander unabhängig wirksamen Barrieren die Freisetzung sowie Ausbreitung von Schadstoffen nach dem Stand der Technik verhindert werden. Dazu gehören bei der Planung, der Entwicklung und dem Betrieb von Deponien die Auswahl geologisch und hydrogeologisch geeigneter Standorte, die Schaffung geeigneter Abdichtungssysteme, das Praktizieren einer geeigneten Abfalleinbautechnik und die Einhaltung der Zuordnungswerte des Anhangs B der TaSi.

Die Formulierung des Standes der Technik als der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen, der die praktische Eignung einer Maßnahme für eine umweltverträgliche Abfallentsorgung gesichert erscheinen läßt, ist überaus anspruchsvoll und führt bei der Realisierung von Abfallanlagen, auch Deponien, in der Regel zu einem hohen Aufwand, zumal bei der Bestimmung des Standes der Technik insbesondere vergleichbare geeignete Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen herangezogen werden müssen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind. Die Erfordernis der Einhaltung aller Zuordnungskriterien des Anhangs B der TaSi

bedingt nach dem Stand der Technik die thermische Behandlung, wobei die zuständige Behörde bei Siedlungsabfällen für den Zeitraum bis 01.06.2005 (bei Bodenaushub, Bauschutt und anderen mineralischen Abfällen bis 01.06.2001) Ausnahmen von der Zuordnung zulassen kann, wenn absehbar ist, daß der Abfall aus Gründen mangelnder Behandlungskapazität die Zuordnungskriterien nicht erfüllen kann.

Allein die oben kurz wiedergegebenen Bestimmungen der TaSi machen deutlich, daß insbesondere die Realisierung plus der Betrieb einschließlich der Nachsorge von Deponien sowie die Sanierung von Altlasten ohne grundlegende Beiträge der Geotechnik undenkbar sind.

Bei Deponien z. B. üben geologische, morphologische, hydrologische und hydrogeologische Gegebenheiten sowohl hinsichtlich der Standortoptimierung als auch der Vorgaben der Planung sowie der Organisation des Verfüll- und anschließenden Wartungsbetriebes die wichtigsten Einflüsse aus.

Die Standortoptimierung bedarf der Standorterkundung. Diese beinhaltet u. a. die Bestimmung der Untergrundmorphologie, der Ausbildung, der Verbreitung und des geologischen Alters der Schichten, eventueller Hohlräume der tektonischen Struktur, der Verteilung von Grundwasserleitern und -stauern, sowie die Ermittlung der hydrogeologischen Gegebenheiten wie Grundwasserstand, Fließrichtung und Geschwindigkeit, Grundwassermächtigkeit, Grundwasserbeschaffenheit, Entnahmen, Vorflutverhältnisse, Niederschlagshöhen, Schutzgebiete, Aufstellung von Grundwasser- und Stoffströmungsmodellen, u. ä. Hinzu kommt die Notwendigkeit der Festlegung der Beweissicherungs-, Kontroll- und Nachbesserungsmaßnahmen, wobei diese Aufzählung keineswegs vollständig ist.

Der Planung vorgelagert ist die Bestandsaufnahme im Deponiebereich plus in der Umgebung mit Bohrungen, Schürfen, Probeentnahmen aber auch mit geophysikalischen Verfahren, einschließlich der Laborversuche und Auswertung der Ergebnisse. Oft sind Meßstellen zu errichten, die eine kontinuierliche Datengewinnung ermöglichen. Es interessieren Erkenntnisse über den Zustand des Untergrundes, des Grundwasserhaushaltes, der Durchlässigkeitsbeiwerte, der Gebirgsdurchlässigkeit, usw.

Der Geotechniker ist als Partner ebenfalls unerlässlich bei der Beurteilung der natürlichen sowie eventuell künstlich herzustellenden Barrieren im Untergrund, dem Entwurf des Sohl- und des Oberflächenabdichtungssystems, der Eignungsprüfung von Materialien, der Abschätzung der Setzungen sowohl des Deponiekörpers als auch des Untergrundes, der Einrichtungen zur Sickerwasser- und Gasfassung und bei der Erarbeitung von Vorschlägen zum Abschluß bzw. Rekultivierung der Ablagerungsstätte und deren Langzeitüberwachung, so auch bei der Wahl entsprechender vorausgegangener Herstellungsverfahren und der Maßnahmen zur Qualitätssicherung.

Der Betrieb einer modernen Deponie ist ohne vorausgegangene sowie in Zeitabständen vorzunehmende Standsicherheits- sowie Verformungsuntersuchungen des Einbaumaterials, des Untergrundes und aller sonstigen ingenieurtechnischen Einrichtungen undenkbar. Auch hierin ist der Abfallwirtschaftler auf die Angaben des Geotechni-

kers angewiesen.

Zusammengefaßt läßt sich feststellen, daß die Abfallwirtschaft, die bei fast allen ihrer Interessenebenen auf Interdisziplinität angewiesen ist, insbesondere im Zusammenhang mit Abfalldeponien, Altlasten und kontaminierten Standorten, der intensiven Zusammenarbeit mit dem Geotechniker bedarf, ohne die der gegenwärtige hohe technische Stand von Problemlösungen nicht erreichbar gewesen wäre, und sich zukünftig nicht halten ließe.

Basisabdichtungen

Priv.-Doz. Dr.-Ing. Hermann Schad

FMPA Baden-Württemberg (Otto-Graf-Institut)

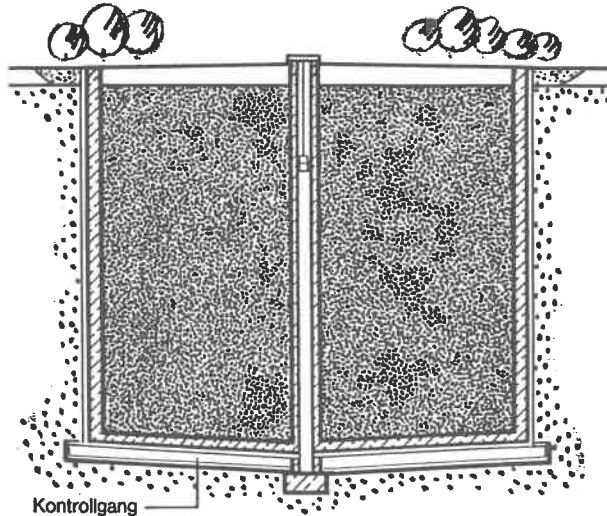
1 Einführung

Die Basisabdichtung ist das wichtigste Element der Abkapselung, da der konvektive Schadstofftransport – der Sickerwasserströmung folgend – überwiegend horizontal und nach unten gerichtet ist. Die Basisabdichtung muß aber nicht nur eine Barriere bilden gegen die Sickerwasserströmung, sondern auch gegen die Diffusion. Die gründlichste Lösung dieses Problems bieten die in den 80er Jahren diskutierten Hochsicherheitsdeponien, deren Basis zugänglich und reparierbar ist (Bild 1).

Nachdem politisch die Entscheidung für die thermische Vorbehandlung und gegen die Deponierung gefallen ist, wurde die Machbarkeit von Hochsicherheitsdeponien nicht weiter diskutiert, sondern man konzentrierte sich auf die Anforderungen an Deponien, die eher im Rahmen des Konventionellen bleiben, d. h. auf Abdichtungen wie sie aus anderen Bereichen des Bauwesens bekannt sind (Bauwerke im Grundwasser, Dammbau, Speicherbecken). Damit wurden die Deponien wesentlich billiger, was politisch und wirtschaftlich erwünscht ist, sie sind aber auch weniger sicher was unpopulär und möglicherweise ökologisch schädlich ist.

Mit Preisen in der Größenordnung von 200,- DM/m² für eine Abdichtung nach TA-Siedlungsabfall, Deponieklasse 2, und bis zu 600,- DM/m² wenn man die Standardabdichtung noch weiter verbessert (KRAJEWSKI 1994), liegt man natürlich eine Größenordnung niedriger als bei einem echten Deponiebauwerk und man erspart sich die Wartungskosten.

Die Tatsache, daß das was derzeit als optimal gilt – verglichen mit dem, was schon in der Diskussion war – ausgesprochen preiswert ist und keine absolute Sicherheit bietet, wird selten offen diskutiert. Diese Feststellung heißt nicht, daß unbedingt mehr Geld ausgegeben werden muß, sondern sie soll verdeutlichen, daß es keine perfekte Dichtung gibt, auch wenn man das aufgrund von Laboruntersuchungen suggerieren kann.



Endzustand mit begehbaren Kontrollgängen

Bild 1 Bauwerk für Sonderabfälle (Hochsicherheitsdeponie); SCHIFFER, W. / BECKMANN, U. (1986)

Wenn zum Beispiel in einem technischen Bericht angegeben wird $k_f = 10^{-\infty}$ (STEFFEN/SCHIFFER 1994), fragt man sich: warum die umständliche Schreibweise, und nicht einfach $k_f = 0$. Korrekt wäre doch gewesen " k_f liegt unterhalb der Nachweisgrenze von 10^{-n} m/s". Soll etwa durch die umständliche Schreibweise suggeriert werden "unendlich sicher"?

2 Sicherheitsphilosophie

Wenn etwas besonders sicher gebaut werden soll, bieten sich verschiedene Möglichkeiten:

1. Die Konstruktion wird so ausgelegt, daß sie auch bei einem Vielfachen der planmäßigen Einwirkung nicht versagt.
2. Mehrere Konstruktionen werden parallel oder hintereinander geschaltet, so daß beim Versagen einer Konstruktion die zweite wirkt (Gürtel und Hosenträger).

3. Die Konstruktion wird nach den üblichen Sicherheitskriterien errichtet und nach der Herstellung beobachtet (Beobachtendes Bauen).

Welches Konzept zum Erreichen einer besonders hohen Sicherheit das Richtige ist, kann nicht grundsätzlich festgelegt werden. Dem Laien scheint immer die 2. Möglichkeit die sicherste zu sein, da er glaubt, darauf vertrauen zu können, daß auch dann, wenn eine Konstruktion vollkommen untauglich ist, die zweite ausreichende Sicherheit bietet. Dies kann jedoch ein Trugschluß sein. Es ist von entscheidender Bedeutung, die Kompatibilität der beiden Konstruktionen nachzuweisen, da sonst sogar eine Reduzierung der Sicherheit eintreten kann. (Wenn z. B. eine auskragende Balkonplatte aus Stahlbeton, bei der die Bewehrung oben liegt, am freien Ende unterstützt wird, verliert sie ihre Tragfähigkeit.)

Im konstruktiven Ingenieurbau ist es im allgemeinen dem Bauherrn und seinem beratenden Ingenieur überlassen, welches Konzept er wählt. Vorgeschrieben sind die Einwirkungen, das Sicherheitsniveau und die Rechenverfahren. Die optimale Konstruktion ergibt sich aufgrund von Berechnungen.

Im Straßenbau dagegen ist es in Deutschland allgemein üblich, nur aus einem vorgegebenen Katalog, z. B. der RSTO (Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen), die Konstruktion auszuwählen. In anderen Ländern werden Straßenaufbauten aufgrund mechanischer Modelle berechnet.

Wenn nun bei der TA-Siedlungsabfall der Methode der Kataloglösungen der Vorrang eingeräumt wurde, so hat das weniger mit der Unsicherheit von Randbedingungen, Grenzwerten und dgl. zu tun, wie das AUGUST (1995), S. 2, ausführt, sondern eher mit den Gewohnheiten, die in den Tätigkeitsfeldern der Ausschußmitglieder vorherrschend sind. Das Argument, Modellrechnungen seien aufgrund der ungeklärten Fragen nicht möglich, ist wenig überzeugend, denn wie sollen gleichwertige Alternativen vorgeschlagen werden, wenn die Maßstäbe nicht feststehen.

3 Aufbau technischer Barrieren

Technisch interessant und in der Beurteilung besonders kontrovers sind die technischen Barrieren für die Deponieklasse 2. Daher beschränken sich die Ausführungen auf diese Deponieklasse.

Beim Vergleich der Regelungen von Deutschland und der Schweiz (Tabelle 1) fällt zunächst auf, daß die Ansprüche an die geologische Barriere sehr ungleich sind und daß in der Schweiz die Kombinationsdichtungen weniger Bedeutung zu haben scheinen. Wenn nun aber die geologische Barriere nicht ausreichend mächtig ist und dies durch Erdbaumaßnahmen kompensiert wird, gelangt man wieder zu Kombinationsabdichtungen oder einer sehr starken mineralischen Abdichtung. Wesentlich ist, daß in der Schweiz die Kunststoffdichtungsbahnen weniger im Vordergrund stehen und wenn

man die Spalten 3 und 4 miteinander vergleicht, ergibt sich, daß 2,5 mm KDB durch 30 cm mineralische Dichtung kompensiert werden können. Die Schweizer Regelung ist weniger starr, da zumindest aus 3 Varianten ausgewählt werden kann und so eine bessere Anpassung an die örtlichen Verhältnisse möglich ist, ohne daß ein Gleichwertigkeitsnachweis geführt werden muß.

Die Tendenz, Asphalt als Dichtungselement bei Deponien zu verwenden ist deutlich zu erkennen. Auch wenn der *Antrag auf Zulassung von Asphalt als Basisabdichtung* des Deutschen Asphaltinstitutes noch nicht genehmigt ist, werden doch zunehmend Dichtungen mit Asphalt ausgeführt. In Tabelle 2 sind die Empfehlungen des Gelbdruckes zum DVWK-Merkblatt *Deponieabdichtungen in Asphaltbauweise* und der Aufbau von zwei Ausführungsbeispielen zusammengestellt.

Deponieklasse 2 nach TA-Siedlungsabfall	Reaktordeponie nach der Technischen Verordnung über Abfälle (Schweiz)		
1. Dichtung			
Kunststoffdichtungs- bahn ($d \geq 2,5 \text{ mm}$)			Kunststoffd. bahn ($d \geq 2,5 \text{ mm}$)
2. Dichtung			
mineral. Dichtung $3 \cdot 25 \text{ cm}$ $k_f \leq 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	mineral. Dichtung $3 \cdot 27 \text{ cm} \approx 80 \text{ cm}$ $k_f \leq 10^{-9} \text{ m/s}$	Asphaltbelag $d \geq 7 \text{ cm}$ über Fundations- und Binderschicht	mineral. Dichtung $2 \cdot 25 \text{ cm}$ $k_f \leq 10^{-9} \text{ m/s}$
Geologische Barriere			
$d = 3 \text{ m}$; $k_f \leq 10^{-7} \text{ m/s}$ TASl, 10.3.2 (S. 40)	$d = 7 \text{ m}$; $k_f \leq 10^{-7} \text{ m/s}$		
Lage zum Grundwasser			
$a \geq 1,0 \text{ m}$ oder Nachweis, daß keine Beeinträchtigung des Grundwasserkreislaufs	Entwässerung unterhalb der Abdichtung, wenn vom Untergrund oder von der Seite Wasser zufließen kann		

Tab. 1 Deponieabdichtungssysteme nach der *TA-Siedlungsabfall* und der schweizerischen *Technischen Verordnung über Abfälle*

Nach den DVWK-Empfehlungen soll die Tragschicht ohne Bindemittel (TOB) durch Zugabe von Tonmehl "dicht gemacht werden". Dabei wird die Verwendung inaktiven, nicht quellfähigen Tonmehls empfohlen und als Maß für die Quellfähigkeit die Aktivitätszahl I_A erwähnt. Da es wichtig ist, nicht quellfähigen Ton zuzumischen, sollte man sich nicht mit der Aktivitätszahl I_A begnügen. Die Aktivitätszahl ist ausreichend für Bau-

grundgutachten, bei denen sie sich als "Abfallprodukt" aus den Bestimmungen der Plastizität und der Kornverteilung ergibt. Für Deponien sollten mindestens semiquantitative mineralogische Untersuchungen oder Quellversuche durchgeführt werden, zumal diese nicht wesentlich aufwendiger sind als die Bestimmung von Plastizitätszahl und Kornverteilung.

Standard-Abdichtungssystem nach DVWK-Merkblatt	Abdichtungssystem der Deponie Hamburg (Enzkreis)	Abdichtungssystem der Deponie Altenburg (Thüringen)
2 · 6 cm Asphaltbeton 0/11 mm Hohlraumgehalt ≤ 3 %	2 · 6 cm Asphaltb. 0/11 mm Hohlraumgehalt ≤ 3 %	2 · 6 cm Asphaltb. 0/16 mm Hohlraumgehalt ≤ 3 %
10 cm Asphalttragschicht nach ZTVT; Hohlraumgehalt ≤ 5 %	15 cm Asphalttragschicht Hohlraumgehalt ≤ 5 %	10 cm Asphalttr. 0/32 mm Hohlraumgehalt ≤ 5 %
Tragschicht ohne Bindemittel, damit $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ und $k_f \leq 10^{-8} \text{ m/s}$	3 · 25 cm mineralische Dichtung $k_f \leq 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	30 cm Schottertr. 0/45 mm mit Ton vergütet

Tab. 2 Asphaltabdichtungen: Entwurf zum DVWK-Merkblatt, Deponien Hamburg und Altenburg

Der Ausschluß quellfähiger Tonminerale ist anzustreben, um ein festes Planum zu haben. Kommt es zu starkem Quellen des zugegebenen Tonmehl, verlieren die Körner der TOB ihren Kontakt, sie schwimmen in weichem Ton und das Erdplanum ist kaum noch befahrbar.

KDB $d \geq 2,5 \text{ mm}$ 3 · 25 cm mineralische Dichtung	2 · 25 cm mineralische Dichtung
Kontrolldränage $d \geq 50 \text{ cm}$	
Kontrollbarriere $d \geq 50 \text{ cm}$	KDB $d \geq 2,5 \text{ mm}$ Kontrollbarriere $d \geq 75 \text{ cm}$

Tab. 3 Abdichtungssysteme mit Kontrolldränage (KRAJEWSKI 1994, S. 11)

Ein ganzer Katalog von Dichtungssystemen, die noch über die Anforderungen der TA-Siedlungsabfall hinausgehen, ist bei KRAJEWSKI (1994) zu finden. In Tabelle 3 sind zwei Varianten mit Kontrolldränage aus diesem Katalog dargestellt.

4 Zulässige Böschungsneigungen

Aus wirtschaftlichen Erwägungen heraus werden allgemein möglichst steile Böschungsneigungen angestrebt, um bei möglichst kleiner Grundfläche ein möglichst großes Deponievolumen zu erhalten. Damit stellt sich die Frage nach der Scherfestigkeit der mineralischen Abdichtung sowie der Adhäsion zwischen KDB bzw. Asphalt und mineralischer Dichtung. Bei der Diskussion über Asphalt dichtungen wird häufig darauf hingewiesen, daß Böschungsneigungen bis zu 1:1,5 (33°) möglich sind, da diese Neigungen im Asphaltwasserbau schon ausgeführt wurden. Ein Beispiel hierfür ist in Bild 2 dargestellt.

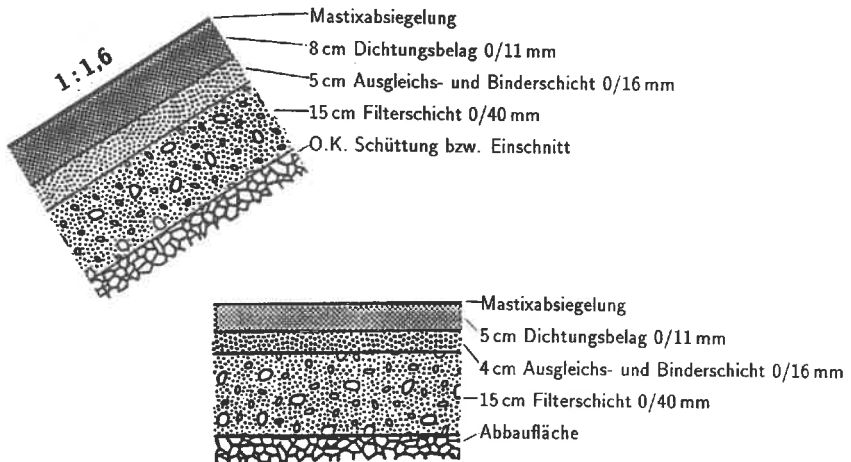


Bild 2 Dichtungsaufbau beim Hornbergbecken (Fläche 191.000 m²; Bauzeit 1971-1974)

Es darf nicht übersehen werden, daß Böschungsneigungen von 1:1,5 ein sehr standfestes Material – wie z. B. eine Felsschüttung – als Deponieauflager voraussetzen. Der dafür erforderliche hohe Reibungswinkel von $\varphi = \arctan(1,3/1,5) = 41^\circ$ kann nur erreicht werden, wenn die Steine Kornkontakt haben. Da aber bei Deponien für den Untergrund $k_f \leq 10^{-7} \text{ m/s}$ gefordert wird, müssen die Hohlräume der Schüttung durch Ton und Schluff geschlossen werden. Dadurch wird der Reibungswinkel abgemindert, so daß aus Gründen der bodenmechanischen Standsicherheit bei Deponien Böschungsneigungen steiler als 1:2 kaum realisiert werden können.

Für die Grenzfläche Dränschicht / Asphalt und Asphalt / Emulsion / Asphalt wurden Ka-

stenscherversuche an 30 cm / 30 cm Proben durchgeführt (GAY / SCHAD 1995). Für die Grenzfläche Dränschicht / Asphalt lagen die Reibungswinkel mit 35° bis 40° unterhalb des Reibungswinkels des Dränmaterials; in der Grenzschicht Asphalt / Emulsion wurde ein Reibungswinkel von 38° und eine Adhäsion von 50 kN/m² festgestellt. Diese Versuche wurden bei Temperaturen von 20°C bis 25°C durchgeführt. Mit zunehmender Temperatur ist mit einer deutlichen Abnahme der aufnehmbaren Scherbeanspruchung zu rechnen. Hinweise hierzu geben die Versuche von BRAUNS / REITH (1995), die ihre Versuche als Kriechversuche für eine Böschungsneigung von 20° konzipierten (Bild 3).

Da von BRAUNS/REITH keine Angaben zur Rezeptur des Asphaltbetons gemacht werden, ist nicht abschließend zu beurteilen, ob bei einer besseren Asphaltzusammensetzung das Kriechen bei der relativ flachen Neigung weniger ausgeprägt wäre.

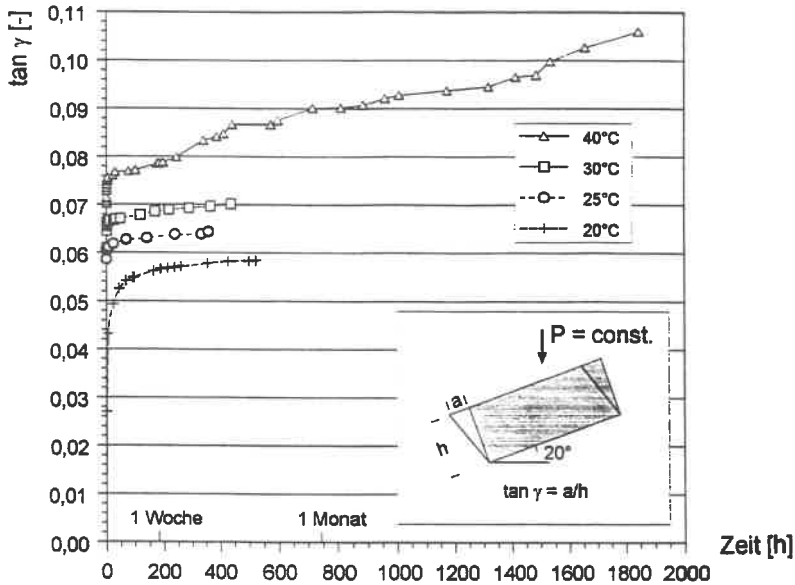


Bild 3 Kriechversuche mit Asphaltbeton bei einer Böschungsneigung von 20°

5 Bewertung von Basisabdichtungen

In den Vorschriften haben die Materialkennwerte zentrale Bedeutung. Dies ist insofern berechtigt als ein Dichtungssystem nie besser ist als das verwendete Material. Da je-

doch auch bei bestem Material das System undicht sein kann, werden im folgenden neben den Anforderungen an das Material auch die Dichtigkeit des Systems und die handwerkliche Seite der Bauausführung betrachtet.

5.1 Anforderungen an das Dichtungsmaterial

Für die Bewertung eines Dichtungsmaterials ist zum einen der Widerstand gegenüber dem Schadstofftransport zum anderen die Fähigkeit zur Schadstoffabsorption maßgebend.

Zur Beurteilung der Dichtigkeit wird allgemein der Durchlässigkeitsbeiwert des DARCYschen Gesetzen

$$v = k \cdot i \quad \text{bei Isotropie: } v = k \cdot i$$

verwendet.

Für die Bewertung der Sorptionsfähigkeit wird im Anhang E, Abschnitt 1.1 der TA-Siedlungsabfall gefordert: *der Anteil und die Art der Tonmineralien ist auf das im Einzelfall erforderliche Adsorptionsvermögen abzustimmen (mindestens 10 Gew.-%)*. Ein Parameter zur Quantifizierung der Sorptionsfähigkeit könnte die Ionenaustauschkapazität sein (EGLOFFSTEIN, TH. / MAINKA, A. / BURKHARDT, G. 1995, S. 3-9 ff). Die Kationen- (KAK) und Anionenaustauschkapazität (AAK) korreliert natürlich mit der bodenmechanischen Aktivitätszahl I_A .

	KAK [mval/100 g]	AAK [mval/100 g]	I_A
Kaolinit	3 - 15	7 - 20	0,3
Illit	10 - 40	7 - 14	0,9
Montmorillonit	80 - 120	20 - 30	1,5 - 7,5

KAK und AAK zitiert nach Egloffstein et. al.

I_A nach Huder / Lang (1982), S. 8

Tab. 4 Ionenaustauschkapazitäten und Aktivitätszahl

Während die Diskussion um eine schlüssige Beurteilung der Sorptionsfähigkeit noch nicht abgeschlossen ist, gibt es für die Bewertung der Dichtigkeit den genormten Durchlässigkeitsversuch nach DIN 18130, der mit einem Gradienten von 30 durchzuführen ist, obwohl die Gradienten in einer Deponiedichtung wesentlich geringer sind. Dies wäre unbedenklich, wenn die Linearität des DARCYschen Gesetzes experimentell abgesichert wäre. Aber gerade für kleine Gradienten und nahezu undurchlässige Böden ist bekannt, daß dies nicht der Fall ist (Bild 4).

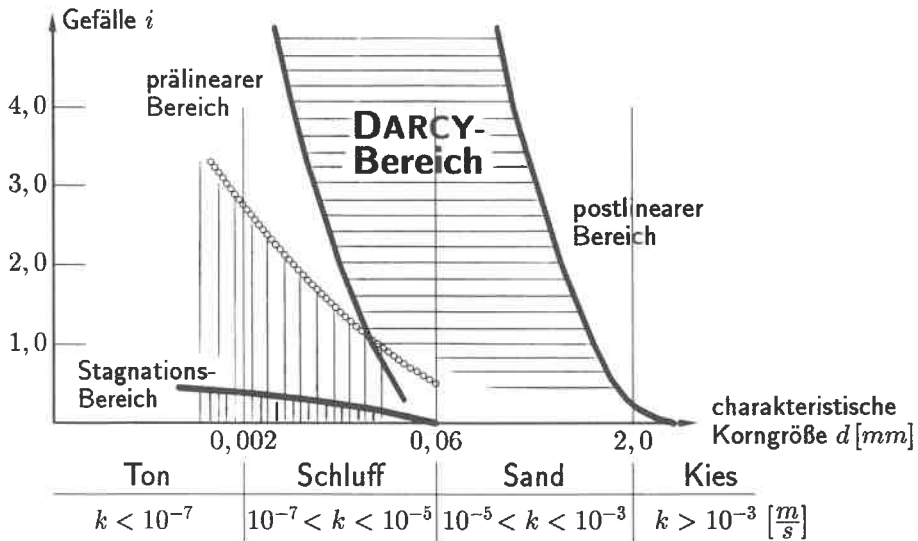


Bild 4 Geltungsbereich des Darcy'schen Gesetzes

5.2 Material- und Systemkennwerte

Die Parameter, die allgemein zur Beurteilung verwendet werden, beziehen sich auf Materialproben die im Labor unter definierten Bedingungen geprüft werden. Für die Beurteilung des Systems ist dann zu prüfen, ob die Anforderungen des Laborversuchs denen im Bauwerk entsprechen und ob die Materialeigenschaften der Probe auf das System übertragen werden können.

Für die Beurteilung einer Abdichtungsmaßnahme ist die "Systemdurchlässigkeit" entscheidend. Für Dichtungsschlitzwände wird von STOKKER / WALZ (1992) angegeben, daß für die gesamte Wand mit dem 10 bis 100-fachen k_f -Wert des Materials zu rechnen ist. Der Ansatz: "Systemdurchlässigkeit ist das zehnhundertfache der Materialdurchlässigkeit" beruht vermutlich eher auf einer Abschätzung als auf einer Fülle anerkannter wissenschaftlicher Untersuchungen. (Auch in der Felsmechanik gilt als anerkannte empirische Regel: Probenfestigkeit ist das zehnbis hundertfache der Gebirgsfestigkeit.)

Für "absolut dichte" oder "absperrende" Materialien wie Kunststoffdichtungsbahnen oder Dichtungsasphalt gibt es kaum Hinweise was als Systemdichtigkeit anzusetzen ist. Da das Material keinen meßbaren k_f -Wert hat, kann auch keine Abschätzung über die Materialdurchlässigkeit erfolgen. Um Hinweise über die Größenordnung eines

äquivalenten k_f -Wertes zu erhalten, sind in Tabelle 5 einige Daten über Asphaltabdichtungen aus der Veröffentlichung von SCHUHBAUER (1994) zusammengestellt.

Da bei SCHUHBAUER (1994) keine Daten zur Stärke der Dichtungsschicht und zur Stauhöhe angegeben sind und es nur um eine grobe Abschätzung geht, wird eine Stärke der Dichtungsschicht von 10 cm und eine Stauhöhe von 20 m angesetzt, so daß sich das Gefälle $i = 200$ ergibt.

Bauwerk	Fläche [m ²]	Wasserverlust		Durchlässigkeits- beiwert k_f [m/s]
		[l/s]	m/Jahr	
Wurtendamm	14.000	7	16	$2,5 \cdot 10^{-9}$
Galgenbichl	5.400	1	6	$9 \cdot 10^{-9}$
Hochwurtten	10.000	15	47	$7,5 \cdot 10^{-9}$
Gößkar	18.000	3,4	6	$9 \cdot 10^{-9}$
Großkar		4		

Tab. 5 Durchfluß durch die Dichtungen einiger Talsperren (nach SCHUHBAUER 1994, S. 573)

Ganz grob ergibt sich aus der Zusammenstellung, daß eine Fläche von 2.000 m² zu einem Wasserverlust von 1 l/s (3,6 m³/h) oder 31.536 m³ pro Jahr führt. Dies entspricht einer Spiegelabsenkung von 15,7 m. Unter der Annahme der Linearität der Beziehung zwischen Gefälle und Sickergeschwindigkeit – was natürlich sehr fragwürdig ist – resultiert bei $i = 1$ eine Spiegelabsenkung von 8 cm/Jahr. Bei einer Fläche von 1 000 m² treten also 80 m³ Sickerwasser pro Jahr durch die Asphaltabdichtung. Bei einer Fläche von 100 000 m² sind das 22 m³ pro Tag. Dieser Wert liegt in der Größenordnung der Sickerwassermengen, mit denen man bei Deponien rechnet.

Die relativ hohen Werte der Wasserverluste sind sicher auch durch die schwierigen Verhältnisse bedingt, unter denen im Gebirge Dichtungsarbeiten durchgeführt werden müssen. Die Ergebnisse der Kontrolluntersuchungen des Beckens Geeste (HUTH / DITTER / HEIDBRINK 1988), bei dem an etwa 1000 Proben ein mittleres Porenvolumen von 1,5% bei einer Standardabweichung von 0,3% festgestellt wurde, sprechen dafür, daß unter günstigen Bedingungen eine nahezu perfekte Asphaltabdichtung hergestellt werden kann.

5.3 Qualität der Ausführung

Die Schwächen von Dichtungssystemen liegen meist nicht in unzureichenden Durchlässigkeitsbeiwerten der verwendeten Materialien, sondern in Ausführungsmängeln:

- Anschlüsse an Bauwerke und Durchlässe;
- Fehler bei der Ausbildung von Fugen und Nähten;
- inhomogene Materialverteilung und Verdichtung.

Einen Eindruck von den Schwierigkeiten beim Verlegen der Dichtung an steilen Randaufbauten geben die Fotos von Bild 6.

Ein weiteres Problem ist darin zu sehen, daß bei Kombinationsabdichtungen die Produkte zweier Gewerke zusammenwirken sollen, die mit unterschiedlichen Genauigkeiten arbeiten. An das Verlegen einer Asphaltbetonschicht oder einer Kunststoffdichtungsbahn werden wesentlich höhere Genauigkeitsanforderungen gestellt als sie im Erdbau üblich sind.

Bevor ein Belag mit hoher Genauigkeit verlegt werden kann, wird allgemein eine Zwischenschicht (Sauberkeitsschicht, Estrich, Unterbau) eingebaut. Zwei typische Beispiele für einen solchen Aufbau zeigt Bild 5. Die Tragschicht ohne Bindemittel ist im Straßenbau nicht nur wegen der Tragfähigkeit und der Frostsicherheit wichtig, sondern sie bietet auch die Voraussetzung für den exakten Einbau der Beton- oder Asphalt-schichten.

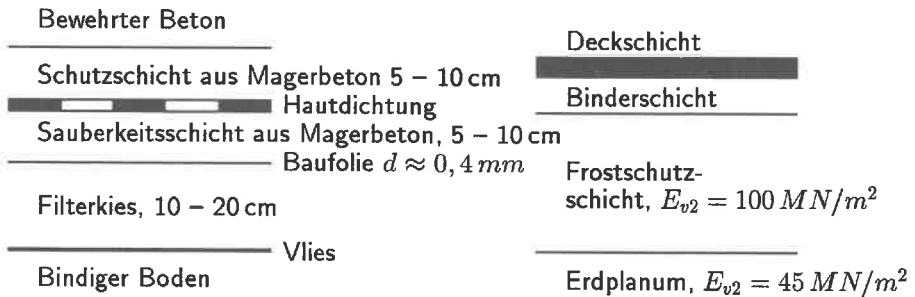


Bild 5 Schichtaufbau unterhalb einer wasserdichten Wanne und einer Straße

Die für eine saubere handwerkliche Ausführung allgemein als notwendig angesehene Sauberkeitsschicht fehlt bei den Kombinationsabdichtungen so daß Ausführungsmängel kaum zu vermeiden sind.



Herstellen der Asphalttragschicht an einer kurzen, steilen Böschung



Schweißarbeiten an einer KDB von der Leiter aus

Bild 6 Verlegen von Dichtungsschichten unter erschwerten Bedingungen

6 Nachträglicher Einbau von Basisabdichtungen

Seit Beginn der 80er Jahre werden Lösungen zum nachträglichen Einbau von Basisabdichtungen diskutiert. Relativ weit fortgeschritten ist ein Vorschlag von HERTLE / HAUSNER / HÄRLE (1993), die über eine angebotsmäßige Planung und Kostenermittlung berichten. Das Projekt scheint aber nicht zur Ausführung zu kommen. Wenn aufwendige Lösungen realisiert werden müssen, so scheint eher ein Rückbau angebracht als der nachträgliche Einbau einer Basisabdichtung.

7 Zusammenfassung

Mit der durch die TA-Siedlungsabfall vorgegebenen Kombinationsabdichtung werden hohe Anforderungen gestellt, die nicht immer leicht realisiert werden können. Aufgrund der Untergrundverhältnisse und der Marktsituation können Alternativen besser und wirtschaftlicher sein, so daß zunehmend auch Basisabdichtungen aus Asphaltbeton zur Ausführung kommen. Dabei ist allerdings nicht immer offenkundig, ob sich die Alternative durch die Marktsituation und die Untergrundverhältnisse oder durch die Einschätzung von Planern, Bauherrn, Genehmigungsbehörden etc. ergeben hat, wobei der subjektive Faktor eine große Rolle spielt.

Um zu einer objektiveren Bewertung von Abdichtungssystemen zu kommen, sollten vor allem folgende Fragen geklärt werden:

- Gibt es einen besseren Index für die Bewertung der Durchlässigkeit mineralischer Dichtungen als den Durchlässigkeitsbeiwert k_f bei $i = 30$?
- Kann der Einfluß des Bauverfahrens auf die Systemkennwerte quantifiziert werden?
- Welche Kenngröße ist für die Quantifizierung der Sorptionsfähigkeit maßgebend?
- Wie muß das Bauvorhaben ausgeschrieben und realisiert werden, um die gewünschte Qualität zu erhalten?
- Ist das häufig bestehende System der Bestellung des Fremdüberwachers durch Preisanfrage (Angebot) geeignet, eine kritische Überwachung sicherzustellen?

8 Literatur

AUGUST, H. (1995): Stand der Gleichwertigkeitsbetrachtungen von Deponieabdichtungen aus der Sicht der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Workshop NEUE FASERTECHNIK, 08.02.1995 Erlangen-Tennenlohe *Innovative Lösungen mit Geokunststoffen im Erd- und Dammbau*.

BECKMANN, U. / SCHIFFER, W. (1986): Tiefe-Behälter Deponie für Sonderabfälle.

Vorträge der Baugrundtagung Nürnberg, 113 - 127.

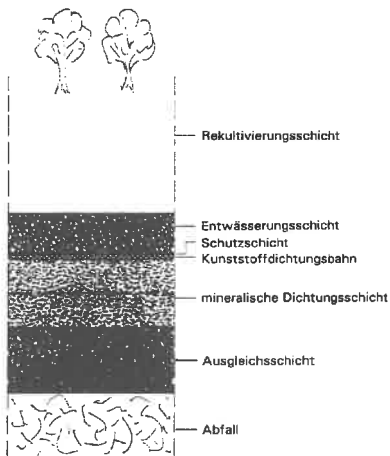
- BRAUNS, J. / REITH, H. (1995): Eignungsprüfung an Asphaltabdichtungen unter anhaltender Schubbelastung. Unveröffentlichte Notiz.
- DAI (1994): Antrag auf Zulassung von Asphalt als Basisabdichtung von Deponien. Deutsches Asphaltinstitut e. V. Bonn.
- DVWK 1994: Gelbdruck zum DVWK-Merkblatt *Deponieabdichtungen in Asphaltbauweise*.
- EGLOFFSTEIN, TH. / MAINKA, A. / BURKHARDT, G. (1995): Geotechnische Standortuntersuchung in Theorie und Praxis. Schriftenreihe Angewandte Geologie, Karlsruhe, Heft 35.
- GAY, G. / SCHAD, H. (1995): Asphalt-soil sealing systems and some of their mechanical properties. Otto Graf Journal, Vol. 6, 221 - 225.
- HERTLE, E. / HAUSNER, S. / HÄRLE, D. (1993): Vorschlag zur nachträglichen Basisabdichtung einer Altlast bei Leonberg. 9. Bochumer Altlasten-Seminar 1993, 85 - 92.
- HUTH, P. / DITTER, K. / HEIDBRINK, W. (1988): New placing techniques for asphaltic concrete linings at the Geeste reservoir. 16. Int. Congress on Large Dams, San Francisco 1988, 177 - 188.
- LANG, H.-J. / HUDER, J. (1982): Bodenmechanik und Grundbau. Springer Verlag, Berlin Heidelberg New York.
- SCHUHBAUER, A. (1994): Asphaltbeton als Basisabdichtung von Deponien ?. Bau-technik 71, 566 - 581.
- STEFFEN, H. / SCHIFFER, J. (1994): Asphalt für die Herstellung von Deponieabdichtungen. Bitumen 1/94, 32 - 35.
- STOCKER, M. / WALZ, B. (1992): Pfahlwände, Schlitzwände, Dichtwände. Grundbau-taschenbuch, 3. Band, Abschnitt 2.9.2. Ernst & Sohn, Berlin.
- TA-SIEDLUNGSABFALL (1993): Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz. Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstige Entsorgung von Siedlungsabfällen. Bundesanzeiger Verlags-Ges. mbH, Köln.

Oberflächenabdichtungen

Dr.-Ing. Walter Lächler

Smoltczyk & Partner GmbH, Stuttgart

Nachdem noch vor wenigen Jahren im Deponiebau, insbesondere über den Aufbau von Basisabdichtungen und hierfür geeignete Materialien diskutiert wurde, konzentrierten sich in den letzten beiden Jahren die Fragestellungen verstärkt auf die Problematik der Oberflächenabdichtungen. Ursache dafür sind, zumindest was Baden-Württemberg betrifft, die Auswirkungen der Gesetzgebung, die zum einen zu einem erheblichen Rückgang des Abfallaufkommens beim Gewerbemüll geführt haben, die "geplanten" Kapazitäten für Verbrennung, die die Notwendigkeit zur Schaffung zusätzlicher neuer Deponiekapazitäten fraglich erscheinen lassen, aber insbesondere auch die Forderung der TA-Siedlungsabfall (TA-Si), Nachrüstungsprogramme für Altdeponien zu erstellen, wonach auch ein Oberflächenabdichtungssystem aufzubringen ist.



Oberflächenabdichtung
nach TA-Siedlungsabfall

Die "Maßstäbe" für Oberflächenabdichtungssysteme sind in der TA-Abfall und der TA-Siedlungsabfall definiert, wobei, wenn man von der Deponieklasse I (TA-Si) absieht, es sich in beiden Fällen um eine Kombinationsdichtung handelt und die beiden Vorschläge sich im wesentlichen nur durch die höheren Anforderungen an die mineralische Dichtung in der TA-Abfall ($k \leq 5 \cdot 10^{-10}$ m/s anstelle von $k \leq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s) unterscheiden.

Von Beginn an war die Kombinationsdichtung an der Oberfläche selbst bei den beschlußfassenden politischen Gremien, wie zum Beispiel dem Bundesrat, umstritten. Dabei wurden Bedenken hinsichtlich der **bautechnischen Machbarkeit**, der **Standsicherheit** und dem **Alterungsver-**

halten formuliert. Logische Konsequenz war deshalb, daß eine Vielzahl alternativer "gleichwertiger" Systeme entworfen wurde. Nachfolgend soll nun ein prinzipieller Überblick über diese Entwicklungen gegeben werden, wobei zum besseren Verständnis vorab die wesentlichen Anforderungen an die Oberflächenabdichtung zusammengestellt werden:

- Dichtigkeit gegen Eindringen von Niederschlagswasser in den Deponiekörper bzw. gegen Austritt von Schadstoffen.
- Dauerhafte Beständigkeit gegen physikalische, biologische und chemische Angriffe (Frost, Austrocknung, Wurzeln, Nagetiere, Gase, Sickerwasser).
- Ausreichende mechanische Eigenschaften zur Aufnahme möglicher Verformungen und Gewährleistung der Standsicherheit
- Herstellbarkeit

Die genannten Anforderungen lassen sich wegen der teilweise gegensätzlichen Aufgabenstellungen nur durch eine **Kombination** unterschiedlicher technischer Komponenten erfüllen:

- **Rekultivierungsschicht**
Neben der originären Aufgaben die Rekultivierbarkeit der Deponie sicherzustellen, übernimmt sie die Aufgaben einer Schutz und Retardationsschicht.
- **Dränschicht** (technische Komponente)
Zur Ableitung des durch die Rekultivierung hindurchsickernden Wassers, um ein Aufstau auf der Dichtung zu vermeiden.
- **Dichtungsschicht**
Zur Minimierung des Zutritts von Niederschlagswasser in die Deponie und des Schadstoffaustrags aus der Deponie.
- **Gasdrän-/Ausgleichsschicht** (technische Komponente)
Zur gezielten Fassung bzw. Ableitung von Gas- bzw. Sickerwasser übernimmt in der Regel auch die Aufgabe einer Ausgleichs- und Tragschicht.

Naturgemäß können die Aufgaben der einzelnen Komponenten nur durch Kombination unterschiedlicher Baumaterialien erfüllt werden. Für die primäre Aufgabe des Abdichtens werden derzeit folgende Materialien zum Einsatz empfohlen:

- mineralische Dichtmaterialien
(bindige und kornabgestufte Erdbaustoffe)
- Kunststoffdichtungsbahnen
- Geokunststoff-Ton-Dichtungen (Bentonitmatten)
- Asphalt dichtungen
- Kapillarsperren

Nachfolgend soll ein vereinfachter Überblick über die wesentlichen Eigenschaften dieser Materialien gegeben werden.

	Dichtigkeit		Beständigkeit gegen Angriffe	mechan. Eigenschaften		Langzeit- verhalten
	Wasser	Gas		Setzungen	Standsicherheit	
mineral. Dichtung	***
KDB	***	***	***	..	(*)	.
GTD	***	(*)	.
Asphalt	***	***	***	.	***	(*)**
Kapillarsperre	.	-	***	***

Tabelle: (Positiv-) Bewertung für Dichtungselemente

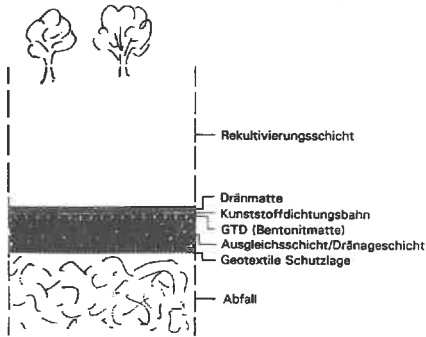
Ergänzend ist in diesem Zusammenhang zu erwähnen, daß auch bei den Dränschichten verschiedene Varianten denkbar sind:

- mineralische Dränschichten
- Geotextile Dränelemente (Geokomposite)
- (- Dränasphalte)

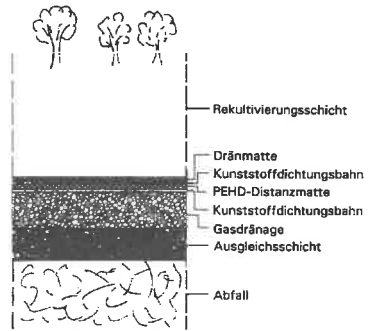
Die überwiegende Anzahl der in der Literatur vorgestellten bzw. in der Praxis bereits hergestellten Oberflächenabdichtungssysteme wurde durch (beliebige) Kombination der oben genannten Einzelkomponenten zusammengesetzt. Im folgenden werden nur Alternativsysteme dargestellt, die sich grundsätzlich von der in den technischen Anleitungen vorgegebenen Kombinationsdichtung unterscheiden. Dabei wird auch nur auf Systeme eingegangen, die die Redundanzforderung zweier unabhängiger Dichtungen erfüllen.

Abdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen (KDB)

Am konsequentesten wurde die Abdichtung allein mit Hilfe von Kunststoffdichtungsbahnen für die Sonderabfalldeponie Karsau durchgeführt. Dabei wurde ein Dichtungssystem mit zwei übereinander angeordneten Kunststoffdichtungsbahnen konzipiert. Bei anderen Lösungsvorschlägen wird die Kunststoffdichtungsbahn stets mit anderen Dichtelementen kombiniert also zum Beispiel mit Bentonitmatten oder einer Kapillarsperre.



Abdichtung mit
Kunststoffdichtungsbahn und Bentonitmatte



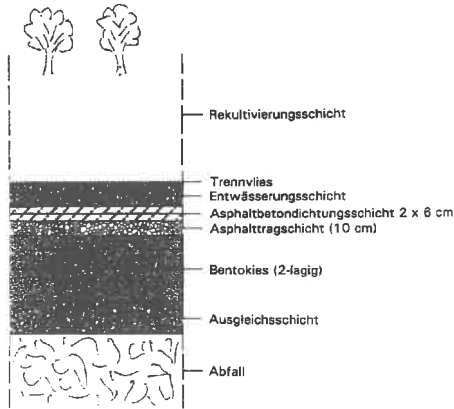
Doppeldichtung mit
Kunststoffdichtungsbahnen

Abdichtung mit Geokunststoff-Ton-Kompositen (GTD)

In aller Regel wird das Dichtelement Bentonitmatte mit anderen Dichtungsmaterialien kombiniert. Häufigste Variante stellt die Anwendung als Ersatz einer Kunststoffdichtungsbahn (KDB) dar. Neben der Variante in Anlehnung an die Kombinationsdichtung seien hier nun beispielhaft zwei weitergehende Vorschläge vorgestellt.

Abdichtung mit Asphaltbeton (ABD)

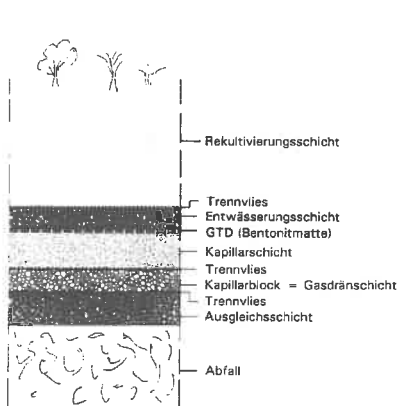
Dichtungen aus Asphaltbeton setzen sich derzeit verstärkt bei Basisabdichtungen durch, nachdem vom DIBt eine positive Entscheidung hinsichtlich der Gleichwertigkeit mit einer Kombinationsdichtung in Aussicht gestellt wurde. Zwischenzeitlich liegen bereits auch Vorschläge mit Asphalt dichtungen für Oberflächenabdichtungen vor. Da der Vorschlag in der Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umweltschutz aus Gründen fehlender Redundanz hier auszuschneiden ist, soll ein Vorschlag in Anlehnung an das DVWK-Merkblatt "Deponieabdichtungen in Asphaltbauweise" vorgestellt werden.



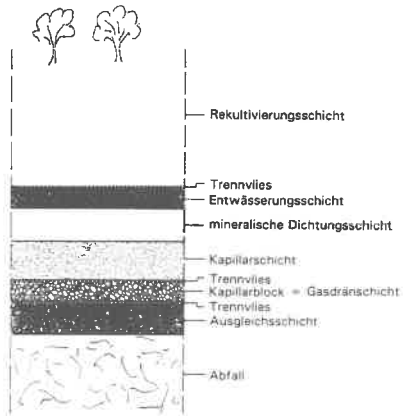
Asphaltbetondichtung

Abdichtung mit Kapillarsperren

Kapillarsperren stellen ein alternatives Abdichtungssystem auf der Grundlage rein mineralischer Baustoffe dar. Am Nachweis der Wirksamkeit wurde in den letzten Jahren im Rahmen von Labor- und Feldversuchen intensiv gearbeitet. Eine abschließende Bewertung steht allerdings noch aus. Da sie eine interessante Alternative darstellt wird hier ein möglicher Aufbau aufgezeigt.



Erweiterte Kapillarsperre mit Bentonitmatten



Erweiterte Kapillarsperre mit mineralischer Dichtung

Ergänzend sind noch kontrollierbare Abdichtungssysteme zu erwähnen, die zumindest nach TA-Abfall gefordert werden. Prinzipiell basieren diese Systeme auf Doppelabdichtungen mit zwischenliegender Dränschicht oder es handelt sich um Sensoren die auf physikalischem oder chemischem Wege direkt oder indirekt Feuchtigkeit detektieren. Wegen der Vielzahl der auf dem Markt bereits angebotenen Systeme soll auf einzelne Produkte hier nicht eingegangen werden.

Eine allgemeine Bewertung der dargestellten oder ähnlicher Abdichtungssysteme erfolgt hier bewußt nicht, da die generelle Aufsummierung positiver oder negativer Eigenschaften bzw. deren verbalargumentativer Vergleich letztendlich nur stark eingeschränkt auf den konkreten Einzelfall übertragbar ist und eher zu Fehlschlüssen führt. Wichtig ist, daß für jeden Einzelfall die äußeren Randbedingungen konkret zusammengetragen werden und daraus das Anforderungsprofil an das Abdichtungssystem definiert wird. Hierbei sind insbesondere zu beachten:

- geologische und hydrogeologische Randbedingungen
- Schadstoffpotential
- Deponieverhalten
- geometrische Randbedingungen die Einfluß auf das mechanische Verhalten haben (Setzungen, Standsicherheit)
- Forderungen aus der Rekultivierung

Allein in Kenntnis der konkreten Randbedingungen ist es möglich Sicherungsprioritäten zu setzen und das optimal angepaßte Oberflächenabdichtungssystem zum Beispiel im Rahmen einer Bewertungsmatrix zu entwerfen. Die Vergleichbarkeit mit den Abdichtungssystemen der technischen Anleitungen ist immer dann gegeben, wenn die gewählte Lösung den Forderungen des Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetzes nach Erfüllung des Wohls der Allgemeinheit genügt. Nur im Rahmen dieser Forderungen ist es möglich die Komponente Wirtschaftlichkeit voll auszuschöpfen. Es darf jedoch nicht sein, daß versucht wird die Oberflächenabdichtungen nach dem Motto billig, billiger, am billigsten unter Verzicht auf wesentliche Komponenten zu optimieren.

In diesem Zusammenhang ist anzumerken, daß in unserem Hause durchgeführte Kostenvergleiche zeigten, daß sich "wirklich" vergleichbare Abdichtungssysteme in aller Regel preislich nicht signifikant unterscheiden. Der im Rahmen einer solchen Kostenschätzung ermittelte scheinbare Kostenvorteil der einen oder anderen Abdichtungsvariante kann sich bei dem derzeitigen Preisdruck auf dem Baumarkt durch entsprechende Unternehmerekalkulationen in der Ausschreibung sehr schnell umdrehen.

Literatur

- TA Abfall: Gesamtfassung der zweiten allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz, Teil 1: Technische Anleitung; Köln: Bundesanzeiger, 1991
- TA Siedlungsabfall: dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz; Köln: Bundesanzeiger, 1993
- Umweltverträglichkeit von Oberflächenabdichtungen zur Sicherung von Altablagerungen mit überwiegendem Hausmüllanteil; Untersuchungen im Auftrag der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg erarbeitet am Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte- und Abfallwirtschaft der Uni Stuttgart, 1994
- Alternative Oberflächenabdichtungssysteme für Thüringer Altdeponien und Altablagerungen, Schriftenreihe der Thüringer Landesanstalt für Umweltschutz Nr. A 1/94
- Oberflächenabdichtungen für Deponien und Altlasten Abdichtung oder Abdeckung? Schriftenreihe AGK Angewandte Geologie Karlsruhe, Uni Karlsruhe, Heft 37, 1995
- Asphaltdichtungen im Deponiebau; eine Standortbestimmung G. Burkhardt, T. Egloffstein; Renningen-Malmsheim: expert-Verlag, 1995

Workshop

Abdichtungssysteme für Altlasten

Workshop
Abdichtungssysteme für Altlasten
– Einführungsreferat –

LBD E. Schmid

Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg

1 Einführung

Deponien spielen die zentrale Rolle in der Abfallbeseitigung. Sie sollen so angelegt bzw. ertüchtigt werden, daß künftig keine neuen Altlasten entstehen. Dies ist durch Anforderungen an die technische Anlage, durch Einhaltung bestimmter Regeln im Betrieb und die Nachsorge zu erreichen.

Altlasten hingegen sind eine unbewältigte Hinterlassenschaft unserer industriellen Entwicklung und einer früher ungeordneten Abfallbeseitigung. Ein Blick auf die unterschiedlichen Fallzahlen und die Vielfalt bei den Altlasten macht bereits deutlich, daß Regelwerke, wie die TA Abfall und die TA Siedlungsabfall sich nicht ohne weiteres auf die Altlastenbearbeitung übertragen lassen. Um die spezifischen Anforderungen, die die Altlastenbearbeitung stellt, definieren zu können, mußte sich der planende Ingenieur zunächst mit den Anforderungen aus der Altlastenbearbeitung vertraut machen.

Dazu soll zunächst ein Überblick über die Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg und die allgemeinen Vorgaben an die Sanierung von Altlasten gegeben bzw. dargestellt werden, um dann auf spezielle Anforderungen an Abdichtungssysteme bei der Sanierung von Altlasten eingehen zu können.

2 Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg im Überblick

2.1 Allgemeines

Grundlage für die Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg ist die vom Ministerrat am 17. Oktober 1988 beschlossene "Konzeption zur Behandlung altlastverdächtiger Flächen und Altlasten in Baden-Württemberg" (Landtagsdrucksache 10/831). Durch eine systematische Bearbeitung – Erhebung, Erkundung, Bewertung und ggfs. Sanierung – von Altlasten soll sichergestellt werden, daß von ihnen keine Gefahren ausgehen. Lokalisierte Einzelfälle werden auf der Grundlage des Altlastenhandbuchs systematisch bearbeitet, parallel dazu werden flächendeckende Erhebungen aller altlastverdächtigen Flächen durchgeführt.

2.2 Flächendeckende Erhebung altlastverdächtiger Flächen

Ziel dieser Erhebung ist es, altlastverdächtige Flächen möglichst vollständig zu erfassen, das Gefährdungspotential für Mensch und Umwelt grob abzuschätzen und den sich daraus ergebenden Handlungsbedarf für jeden Einzelfall zu ermitteln. Die historische Erhebung ist für bereits 80 % der Landesfläche in Arbeit bzw. abgeschlossen. Bei der systematischen Erhebung wurden bislang ca. 31.000 Objekte erfaßt. Der Kostenaufwand bislang betrug ca. 65 Mio. DM. Bis zum Jahr 2000 soll die flächendeckende Erhebung in Baden-Württemberg abgeschlossen sein. Insgesamt ist von einer Gesamtzahl von ca. 35.000 - 40.000 Objekten, darunter ca. 18.000 Altablagerungen auszugehen.

2.3 Einzelfallbearbeitung und -bewertung

Die Bearbeitung des Einzelfalls erfolgt stufenweise. Am Beginn der Erkundung steht die beprobungslose Archivrecherche (historische Erkundung). Je nach Erfordernis erfolgen bis zu zwei technische Erkundungsstufen (orientierende Erkundung und nähere Erkundung), die bei entsprechendem Handlungsbedarf in die sogenannte Sanierungsvorplanung einmündet. Hier werden alle Grundlagen erarbeitet, um die Sanierungsentscheidung, die insbesondere die Festlegung der Sanierungsziele und die Auswahl der geeigneten Sanierungsverfahren beinhaltet, treffen zu können. Aufeinanderfolgende Erkundungsschritte sind eng verknüpft mit einer dem jeweiligen Erkundungsschritt folgenden abschließenden Bewertung. Diese enge Verknüpfung des Erkundungsschrittes mit der jeweiligen Bewertung garantiert, daß auf jeder Stufe der Altlastenbearbeitung festgelegt werden kann, wie im Einzelfall vorzugehen ist. Ziel dieser Vorgehensweise ist es, erkennbar ungefährliche Standorte möglichst frühzeitig von der weiteren Bearbeitung auszuschalten und für die Standorte, die weiter bearbeitet werden müssen, die jeweils notwendigen Maßnahmen festzulegen.

Die formale Bewertung wird von Bewertungskommissionen vorgenommen. Diese Kommissionen haben die Aufgabe, im Rahmen der systematischen stufenweisen Alt-

lastenbearbeitung die Ergebnisse der Erkundung zu bewerten und die Wasserbehörden bei der Entscheidung über Sanierungsmaßnahmen zu beraten. Mitglieder der landesweit 44 Kommissionen sind Vertreter der Unteren Wasserbehörde, der Landesanstalt für Umweltschutz, des Regierungspräsidiums, des Gesundheitsamtes, des Gewerbeaufsichtsamtes, des Geologischen Landesamtes sowie weitere Behörden, falls erforderlich.

Das zugrundeliegende Bewertungsverfahren ist ein vergleichendes Verfahren. Es dient dazu, das Gefahrenpotential das von einer Altlast ausgeht, im Vergleich mit vorgegebenen Standards zu ermitteln. Somit können auch völlig unterschiedliche Fälle miteinander verglichen werden. Als Ergebnis hierfür wird für das jeweilige Objekt eine Bewertungsziffer festgelegt. Diese Ziffer bestimmt mit Hilfe der Handlungsmatrix das weitere Vorgehen und weist unter Berücksichtigung der Bedeutung des Schutzgutes dem Objekt einen Platz in der Prioritätenliste zu. Die Bewertungskommission legt die Ziffer für die Bewertung fest und damit entscheidet sie über den weiteren Handlungsbedarf. Eine wesentliche Aufgabe der LfU ist dabei, die Unterstützung des Verwaltungsvollzugs und damit auch eine Sicherstellung der einheitlichen Bewertung von Altlasten bzw. altlastverdächtigen Flächen im Lande.

Da die Gefährlichkeit einer Altlast von einer Vielzahl von Einflußgrößen bestimmt wird, wurde eine "Standardaltlast" in Vergleichslage – Hausmülldeponie nach den Regeln der Technik – definiert. Das Schadstoffinventar wird nach seiner Ablagerbarkeit bewertet, d. h. mit einer Bewertungsziffer (Müll = Stoffgefährlichkeit) zwischen 0,2 und 6,0 belegt, wobei die Stoffgefährlichkeit stufenweise ansteigt über Erdaushub, Bauschutt, Hausmüll mit wachsendem Industrieabfallanteil, Sonderabfall bis hin zu nur noch untertage deponierbarem Sonderabfall. Abweichungen von der Vergleichslage werden durch standortspezifische Faktoren berücksichtigt, die sich vermindern ($m < 1$) oder erhöhend ($m > 1$) auf das von einer Altlast ausgehende maßgebliche Risiko auswirkt.

Derzeit befinden sich mehr als 5.000 Fälle in der Einzelfallbearbeitung, d. h. sie wurden – mit unterschiedlichem Beweisniveau – formal bewertet. Für mehr als 700 dieser Fälle wurde bereits eine technische Erkundung durchgeführt. Letztendlich wird hiervon nur ein relativ kleiner Anteil tatsächlich auch saniert werden müssen; Ziel der stufenweisen Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg ist ja gerade, die nicht relevanten Fälle möglichst frühzeitig aus der weiteren Bearbeitung auszuschalten.

Altablagerungen wurden bislang ca. 3.900 bewertet; 279 Fälle konnten bereits aufgrund historischer Daten auf Beweisniveau 1 (BN 1) aus der aktuellen Bearbeitung ausgeschieden werden – Handlungsbedarf "A" –. Ohne derzeit aktuellen Handlungsbedarf "B" wurden 1.121 Fälle eingestuft; für 1.667 Fälle ist eine orientierende Erkundung notwendig.

Von 691 Fällen auf Beweisniveau 2 (BN 2) wurden 25 in "A", 267 Fälle in "B" eingestuft. Bei 144 Fällen ist eine fachtechnische Kontrolle, – Handlungsbedarf – "C", notwendig, 255 Fälle gelangen in die nähere Erkundung.

Beweisniveau 3 (BN 3) haben 316 Fälle erreicht. Für 60 dieser Fälle besteht kein weite-

rer Handlungsbedarf ("B"). Fachtechnische Kontrollmaßnahmen ("C") sind für 46 Fälle erforderlich. Für 53 Fälle wurden eine eingehende Erkundung für die Sanierungsmaßnahmen beschlossen.

Auf BN 4 wurden bisher 30 Altablagerungen bewertet.

Für die 1.086 bewerteten Altstandorte zeigt sich ein anderes Bild:

Auf BN 1 wurden bisher 905 Altstandorte bewertet, wovon 101 der Fälle auf "A" sowie 233 Fälle auf "B" entfallen. Die orientierende Erkundung ist für 571 Fälle erforderlich.

Das Beweinsniveau 2 haben bisher 90 Altstandorte erreicht. Davon sind 8 mit "A", 19 Fälle mit "B" sowie 4 Fälle mit "C" bewertet. 58 Fälle gelangen in die nähere Erkundung.

Die Bewertung auf BN 3 wurde bisher für 56 Flächen durchgeführt. Davon wurden 5 Fälle mit "B", 6 weitere Fälle mit "C" bewertet. Die eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen wurde hier immerhin für 45 Fälle beschlossen.

Bisher wurden 32 Flächen oder Teilflächen auf BN 4 bewertet.

Soweit ein Überblick über die Fallzahlen.

2.4 Modellstandortprogramm und Vorhaben mit Modellcharakter

Für eine effiziente Altlastenbearbeitung sind praktische Erfahrungen unabdingbar. Mit dem Modellstandortprogramm und dem Vorhaben mit Modellcharakter sollen sowohl praktische Erfahrung als auch Fachwissen gewonnen werden.

1987 wurde mit dem Modellstandortprogramm begonnen. Dieses Programm wurde 1992 ergänzt durch "Vorhaben mit Modellcharakter". Die insgesamt 12 Standorte wurden so ausgewählt, daß sie möglichst repräsentativ für die in Baden-Württemberg vorhandenen kommunalen und nicht kommunalen Altlasten sein sollen. An allen Standorten wurden und werden unterschiedlichste, mitunter neuartige Methoden, Geräte und Techniken zur Erkundung, Sicherung, Dekontamination, Überwachung und Kontrolle erprobt. Dazu werden auch Spezialisten aus Wissenschaft und Technik eingeschaltet.

Die Ergebnisse der Maßnahmen an den Modellstandorten und den Vorhaben mit Modellcharakter tragen dazu bei, die Altlastenbearbeitung einheitlicher, gezielter, sachgerechter, rascher und kostengünstiger durchführen zu können. Die Landesanstalt für Umweltschutz organisiert und koordiniert die Arbeit an den Modellstandorten, wertet die Ergebnisse und Erfahrungen aus und erarbeitet die unterschiedlichsten Arbeitshilfen: Merkblätter, Checklisten, Leitfäden, Handbücher usw.. Alle haben das Ziel, die Fachverwaltung bei der Erkundung und Sanierung von Altlasten zu unterstützen. Außerdem werden sie einem breiteren Fachkreis, Kommunen und Ingenieurbüros zugänglich gemacht.

Die Finanzierung erfolgt aus dem Altlastenfonds und der Abfallabgabe. Bislang wurden ca. 50 Mio. DM an den insgesamt 12 Modellstandorten und den Vorhaben mit Modell-

charakter ausgegeben. Für drei dieser Standorte ergab sich als Handlungsbedarf die fachtechnische Kontrolle, drei Standorte befinden sich noch in der Erkundung, für drei Standorte läuft zur Zeit die Sanierungsplanung; ein Standort wird zur Zeit saniert, bei den weiteren zwei Standorten ist die Sanierung zwischenzeitlich abgeschlossen.

2.5 Rechtsgrundlage

In Baden-Württemberg steht mit Inkrafttreten des Landesabfallgesetzes vom 08.01.1990 ein einheitliches, rechtliches Instrumentarium zur Behandlung von Altlasten zur Verfügung.

Zusammengefaßt regeln die Vorschriften in erster Linie

- die **begriffliche Klärung** dessen, was altlastverdächtige Flächen (§ 22, Abs. 1, Satz 1) und "Altlasten" (§ 22, Abs. 4) selbst charakterisiert,
- die **Aufgabenverteilung** bei der Erfassung altlastverdächtigter Flächen (§ 23),
- Umfang und **Inhalt der Erkundung** von Altlasten (§ 24),
- die **inhaltliche Bestimmung** des Sanierungsziels (§§ 25, 27) und
- das **Verfahren zur Bewertung** von Altlasten durch Institutionalisierung einer Bewertungskommission (26)

Das Landesaltlastenrecht enthält selbst keine Regelung für Verantwortlichkeit und für Kostentragung bei Altlastenbehandlungsmaßnahmen. Insoweit ist ein Rückgriff auf die Regelung des Polizeirechts (PolR) erforderlich.

Nach dem Altlastengesetz wird unterschieden zwischen altlastverdächtigen Flächen (§ 22, Abs. 1 LAbfG) und Altlasten (§ 22, Abs. 4 LAbfG). Altlastverdächtige Flächen oder Altlasten können **Alttablagerungen** oder **Altstandorte** sein.

Bei **ALTABLAGERUNGEN** handelt es sich um Flächen, auf denen vor dem 1. März 1972 Abfallentsorgungsanlagen stillgelegt worden sind oder Abfälle behandelt oder abgelagert wurden. Alttablagerungen sind auch sonstige vor dem 08.01.1990 abgeschlossene Aufhaldungen und Verfüllungen.

ALTSTANDORTE sind Flächen stillgelegter Anlagen, in denen mit gefährlichen insbesondere wassergefährdenden Stoffen umgegangen worden ist.

Eine **VERDACHTSFLÄCHE** liegt vor, soweit die Besorgnis besteht, daß durch sie das Wohl der Allgemeinheit beeinträchtigt ist oder künftig beeinträchtigt wird.

Eine **ALTLAST** liegt erst dann vor, wenn durch die Alttablagerung oder den Altstandort das Wohl der Allgemeinheit beeinträchtigt wird.

Eine Beeinträchtigung des "**WOHLS DER ALLGEMEINHEIT**" und damit eine Altlast liegt nach § 2, Abs. 1, Satz 2 Abfallgesetz immer dann vor, wenn

- die Gesundheit der Menschen gefährdet und ihr Wohlbefinden beeinträchtigt,
- Gewässer, Boden und Nutzpflanzen schädlich beeinflusst,
- schädliche Umwelteinwirkungen durch Luftverunreinigung herbeigeführt,

- die Belange des Naturschutzes und der Landschaftspflege sowie des Städtebaus nicht gewahrt oder
- sonst die öffentliche Sicherheit und Ordnung gefährdet oder gestört

wird.

Nach der Definition des Gesetzes umfaßt der Altlastenbegriff somit im wesentlichen stillgelegte Müllkippen und auch stillgelegte Anlagen kontaminierter Betriebsflächen.

§ 25, Abs. 1 LAbfG definiert als **SANIERUNGSZIEL** für Altablagerungen die **Herstellung** eines dem **Wohl der Allgemeinheit** entsprechenden Zustandes, für Altstandorte darüber hinaus die Beseitigung der Besorgnis der Verunreinigung des Wassers.

Durch den Bezug auf § 2, Abs. 1, Satz 2 AbfG wird zum Ausdruck gebracht, daß bei der Sanierung von Altablagerungen keine strengere Anforderungen gestellt werden, als bei der Neuzulassung von vergleichbaren Anlagen. Die Sanierungszielbestimmung für Altstandorte ist weitreichender als für Altablagerungen, sie kann auch die Beseitigung der Besorgnis einer Wasserverunreinigung beinhalten. Sie orientiert sich am Besorgnisgrundsatz des Wasserhaushaltsgesetzes.

Aus § 24 LAbfG läßt sich nicht unmittelbar entnehmen, wie festgestellte Schadstoffbelastungen zu beurteilen sind (Risikobewertung) und ab welcher Konzentration Erkundungsmaßnahmen einzuleiten sind. Ebenso läßt sich aus der Sanierungszielvorschrift § 25, Abs. 1 LAbfG unmittelbar noch kein konkretes Sanierungsziel ableiten. Es ist nicht dargetan, wie der unbestimmte Rechtsbegriff "Wohl der Allgemeinheit" auszuführen ist. Hierzu bedarf es der Konkretisierung durch untergesetzliche Regelungen. Wurde früher bei der Altlastenbearbeitung oft diverse Regelwerke (z.B.: CKW-Erlaß, Hollandliste, ...) zurückgegriffen, ist heute insbesondere die **"Gemeinsame Verwaltungsvorschrift des Umweltministeriums und des Sozialministeriums über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten in Schadensfällen"** (GAbI Amtsblatt Nr. 33, vom 30.11.993, Seite 1115) heranzuziehen. Die Verwaltungsvorschrift Orientierungswerte beinhaltet u. a. Werte für die Beurteilung

- der Notwendigkeit weiterer Erkundungsmaßnahmen,
- der Notwendigkeit einer eingehenden Erkundung / Sanierungsvorplanung,
- der Notwendigkeit und Ziel von Sanierungsmaßnahmen.

Sie gibt insbesondere Hinweise zur schutzgutabhängigen und nutzungsbezogenen Sanierungszielbestimmung. Die enthaltenen Orientierungszielwerte dienen als Entscheidungshilfe für die Abwägung aller Umstände des jeweiligen Einzelfalles.

2.6 Kostenverantwortlichkeit, Fördermöglichkeiten

Wer nach dem Polizeirecht zur Erkundung und Sanierung von Altlasten verpflichtet ist, hat grundsätzlich auch die Kosten zu tragen. Ist eine kommunale Körperschaft verantwortlich, erfolgt jedoch in der Regel eine umfangreiche Förderung aus dem Altlasten-

fonds.

Zur finanziellen Unterstützung der betroffenen Städte und Gemeinden bei der Erkundung, Sanierung und Überwachung von altlastverdächtigen Flächen und Altlasten haben Land und Kommunen 1988 den sogenannten

"**ALTLASTENFOND**" gebildet. Der Altlastenfond dient der Finanzierung kommunaler Altlasten; Zuwendungsempfänger sind Gemeinden, Landkreise, Zweckverbände und Verwaltungsgemeinschaften. Gefördert wurden bis 1994 vorrangig kommunale Altablagerungen. Für die Förderung kommunaler Altstandorte konnte bis 1991 lediglich 10 % und ab 1992 20 % des jährlichen Haushaltsansatzes des Altlastenfond verwendet werden. Das Mittelaufkommen betrug in den Jahren 1989 bis 1993 ca. 100 Mio. DM jährlich. Für die Jahre 1994/95 standen jeweils ca. 85 Mio. DM deutlich reduzierte Haushaltsansätze zur Verfügung.

Die Förderung erfolgt nach den "Grundsätzen des Umweltministeriums über die Finanzierung der Behandlung kommunaler Altlasten" (GAbI. 1995, Seite 43) und nach den Förderrichtlinien Altlasten vom 2. November 1994 (FrAl; ebenda) Gefördert werden

- Erhebungs- und Erkundungsmaßnahmen (Regelfördersatz 100 %)
- Sicherungs- und Sanierungsmaßnahmen (Regelfördersatz 50 %)
- Überwachungsmaßnahmen (Regelfördersatz 35 %).

Seit Inkrafttreten des LAbfAG am 01.04.1991 besteht die Möglichkeit, die Behandlung industriell und gewerblich verursachter, privater Altlasten aus Mitteln der Sonderabfallabgabe zu fördern. Zuwendungsfähig sind:

- Kosten der Gefahrverdachtserforschung,
- Polizeikosten der unteren Verwaltungsbehörden,
- die Erkundung und Sanierung von Altlasten und altlastverdächtiger Flächen,
- Altlastenvorhaben mit Modellcharakter und
- die Behandlung benachbarter Flächen von Anlagen

Die Förderung hier erfolgt nach den Grundsätzen des Polizeirechts, d. h. eine Förderung kann nur gewährt werden, soweit keine Polizeipflicht in Anspruch genommen werden kann. Besonders hervorzuheben ist jedoch die Förderung von **HÄRTEFÄLLEN**: Überfordert die (volle) Kostentragung die finanzielle Leistungsfähigkeit einer Privatperson oder eines Unternehmens und wird dadurch die wirtschaftliche Existenz des Polizeipflichtigen gefährdet, können Zuwendungen aus der Abfallabgabe zur Abwendung der Existenzgefährdung gewährt werden.

3 Sanierung von Altlasten – allgemeine Anforderungen

Im Anschluß an die technischen Erkundungen erfolgt die Bewertung auf Beweishiveau 3. Hier wird auf der Grundlage einer Einzelfallentscheidung festgestellt, ob eine eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanungen (E₃₋₄) not-

wendig ist. Für die Sanierungsentscheidung auf Beweisniveau 3 ist die Klärung der Sanierungsnotwendigkeit, die Festlegung der Sanierungsziele und der zu seiner Einhaltung erforderlichen Maßnahmen bestimmend. Grundlage der eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsplanung sind die Ergebnisse der vorausgegangenen Erkundungsstufen und standortspezifischen Rahmenbedingungen. Im einzelnen sind dies:

Ergebnisse der historischen und technischen Erkundung

- Standortbeschreibung
- geologische Verhältnisse
- hydrogeologische Verhältnisse
- Schadensbild (Konzentration)
- Schadstoffverteilung (Fläche, Tiefe, Ausbreitung)
- betroffene Schutzgüter bzw. Emissions-/Immissionsverhältnisse

Rahmenbedingungen

- planungsrechtliche Vorgaben, z. B. Naturschutz
- aktuelle Nutzung ggfs. Nutzungsabsichten
- besondere Hinweise für die eingehende Erkundung
- Bearbeitungsziel für die eingehende Erkundung (E_{3-4})

Nachdem die Ermittlung der Grundlagen erfolgt ist, folgt die Verfahrensvorauswahl. Diese steht in engem Zusammenhang mit der Fachdiskussion der Sanierungsziele. Bei der Verfahrensvorauswahl sind folgende Kriterien heranzuziehen:

- | | |
|-------------------------------------|--|
| - Schadstoffinventar | (organisch, anorganisch; löslich; flüchtig; abbaubar; toxisch u. a.) |
| - Schadstoffbilanz | (Menge, Konzentration, u. a.) |
| - Schadstoffverteilung | (ungesättigte, gesättigte Zone; heterogene, homogen, u. a.) |
| - Untergrundverhältnisse | (Fest-, Lockergestein; Bodenart; Auffüllung; Abfall; Durchlässigkeit u. a.) |
| - Nutzung am Standort | (Bebauung u. a.) |
| - Grundsätzliche Funktionsfähigkeit | (Entwicklungsstand u. a.) |
| - Grundsätzliche Verfügbarkeit | (Genehmigungsstand u. a.) |
| - Erreichbare Sanierungsziele | (Grundsätzliche Anforderung, Allgemeine Mindestanforderung, Einzelfallbezogene Mindestanforderung) |

Die Verfahrensvorauswahl muß darüber hinaus die Fachdiskussion der Sanierungsziele berücksichtigen. Verfahren, die nicht einmal die 3. Sanierungszielstufe (einzelfallbezogene Mindestanforderungen) erreichen können, werden ausgeschlossen. Für die

grundsätzlich einsetzbaren Verfahren muß die erreichbare Sanierungszielstufe (grundsätzliche Anforderung, allgemeine Mindestanforderung oder einzelfallbezogene Mindestanforderung) angegeben werden.

Zur Festlegung von Sanierungszielen gelten folgende drei Stufen

1. Stufe: Grundsätzliche Anforderung (Hintergrundwerte; H-Werte)
2. Stufe: Allgemeine Mindestanforderung (Prüfwerte; P-Werte)
3. Stufe: Einzelfallbezogene Mindestanforderung (eM-Werte)

Die grundsätzliche Anforderung und die allgemeine Mindestanforderung sind durch Konzentrationswerte festgelegt. In der 3. Stufe sind Werte zur Berücksichtigung der einzelfallbezogenen Mindestanforderung (eM-Werte) einzelfallspezifisch zu ermitteln. Die VwV "Orientierungswerte" enthält Hinweise, wie dies erfolgen soll. Die Grundlagen hierzu werden bereits im Zuge der $E_{2,3}$ -Bearbeitung ermittelt.

Im Rahmen der Fachdiskussion der Sanierungsziele sind die Entscheidungsgrundlagen zu erarbeiten, die eine Abwägung ermöglichen, ob H-, P- oder eM-Werte als Sanierungsziele heranzuziehen sind.

Bei der vorläufigen Festlegung von Sanierungszielen ist anhand einer Abwägung unter Berücksichtigung der Angemessenheit des Aufwandes und der Umweltbilanz zu entscheiden.

Das Ziel von Sanierungsmaßnahmen sollte grundsätzlich sein, einen Zustand zu schaffen, der im ehemals kontaminierten Boden, Bodeneluat oder Grundwasser nur noch Schadstoffkonzentrationen aufweist, die den natürlichen oder anthropogenen Hintergrundwerten oder diesen nahe kommen (1. Stufe, grundsätzliche Anforderungen).

Ergibt sich aus der Abwägung, daß Hintergrundwerte nicht als Sanierungsziele herangezogen werden können, sind zur Sicherstellung eines angemessenen Schutzes für den Menschen, unter Beachtung seiner wichtigsten Umweltnutzungen und des Grundwassers, zumindest die folgenden Schutzgüter zu berücksichtigen:

- Grundwasser
- Grundwassernutzung
- Gesundheit von Menschen auf kontaminierten Flächen
- Boden, Schutzgut Pflanzen

Die allgemeine Mindestanforderung an das Sanierungsziel (2. Stufe) ist es, diese Schutzgüter zu berücksichtigen, ohne daß dabei die Wirkung von Barrieren gegen Schadstoffausbreitung, Verdünnung, Nutzungsverzicht oder sonstige Besonderheiten des jeweiligen Einzelfalls berücksichtigt werden. In der Verwaltungsvorschrift sind dazu Prüfwerte angegeben. Werden diese Prüfwerte unterschritten, ist ein ausreichender Schutz für die Schutzgüter gewährleistet.

Wenn die Abwägung ergibt, daß es nicht möglich ist, die Werte zur Berücksichtigung

der allgemeinen Mindestanforderung bei der Festlegung von Sanierungszielen zu berücksichtigen, können die Sanierungsziele aus der einzelfallbezogenen Mindestanforderung (3. Stufe) abgeleitet werden. Diese Werte berücksichtigen alle Umstände des Einzelfalls, wie Barrieren gegen Schadstoffausbreitung, mögliche und akzeptable Verdünnung, die Frage der Nutzungswürdigkeit und der vorhandenen bzw. aufgegebenen Nutzung.

Diese Werte können demzufolge nicht als feste Werte aus einer Liste entnommen werden.

Die Verwaltungsvorschrift gibt Hinweise, wie diese Werte unter Berücksichtigung der Umstände des jeweiligen Einzelfalls zu berechnen oder festzulegen sind.

Im Rahmen der Sanierungsvorplanung erfolgt dann die vorläufige Festlegung auf eine Sanierungszielstufe. Für die ausgewählten Verfahren sind die Kosten abzuschätzen. Darüber hinaus sind zur Herbeiführung einer Sanierungsentscheidung auch die Kriterien heranzuziehen, die monetär nicht oder nur sehr schwierig zu fassen sind.

Die nicht monetäre Beurteilung beinhaltet technische und organisatorische Kriterien sowie Kriterien zu den Umweltauswirkungen bzw. der Umweltverträglichkeit. Eine Übersicht über die nicht monetäre Kriterien ergibt folgende Darstellung

Technische Kriterien

- Entwicklungsstand/Referenzen
- Betriebssicherheit
- Verfügbarkeit
- Reparatur-/Wartungsfreundlichkeit
- Regelbarkeit der Inputschwankungen
- Kompatibilität zu anderen Maßnahmen
- Komplexität
- Flexibilität
- Arbeitsschutzmaßnahmen
- Automatisierbarkeit

Organisatorische Kriterien

- öffentliche/politische Akzeptanz
- Flächenbedarf
- Infrastrukturbedarf
- zusätzliche Verkehrsbelastung
- Genehmigungsanforderungen
- Koordinationsbedarf

Umweltauswirkungen/-verträglichkeit

- Dauer bis Erreichen der vollen Wirksamkeit
- Dauer der vollen Wirksamkeit/Langzeitverhalten
- Kontroll-/Reparaturmöglichkeit
- Auswirkungen auf Biotop und Landschaft
- Emission Lärm

- Emission Abgas, Staub, Geruch
- Emission Schadstoffkonzentrat
- Eingriff in den Untergrund/Störung der Untergrundverhältnisse
- Energieverbrauch
- Bilanz: Schadstoffaufkonzentrierung,
 - vernichtung, -verdünnung,
 - verlagerung, -metabolisierung
- Restprodukte: Anfall und Verwertbarkeit
- Störfallsicherheit

Für die nach der nicht monetären Beurteilung zur Sanierung übriggebliebenen Verfahren werden in der Kostenwirksamkeitsabschätzung die Kosten und die Wirksamkeit gegenübergestellt. Die Wirksamkeit steht für die Reduzierung der Schadstoffkonzentration bzw. -frachten auf ein durch das Sanierungsverfahren erreichbaren Wert. Sie ist schadstoffspezifisch. Im einfachen Fall bezieht sich die Wirksamkeit eines Sanierungsverfahrens nur auf ein Schutzgut. Meistens muß die Wirksamkeit für mehrere Schutzgüter betrachtet werden, was in der Regel nur mit Hilfe von mehreren Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen möglich ist.

So wird die Wirksamkeit von Dekontaminationsverfahren je nach Schutzgut als wassergetragene Schadstoffaustragsrate (Eluat, Sickerwasser) oder als Restkonzentration in der Originalsubstanz gemessen. Wirksamkeit von Sicherungsmaßnahmen drückt sich dadurch aus, in welchem Maß der Schadstofftransport aus der Altlast heraus unterbrochen wird. Die Reduzierung des Schadstoffaustrags aus einer Altlast durch die Sicherungsmaßnahme (verminderte Durchlässigkeit, Transport u. a.) muß berechnet werden oder zumindest abgeschätzt werden.

Bei Sicherungsmaßnahmen einer Altlast muß grundsätzlich auch die Langzeitwirksamkeit betrachtet werden. In vielen Fällen wird jedoch bei der eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen und Sanierungsvorplanung die Wirksamkeit vor allem in Form des Langzeitverhaltens nicht zu quantifizieren sein. Somit sind die Wirksamkeiten von Dekontaminations- und Sicherungsmaßnahmen häufig nur unzureichend vergleichbar. In solchen Fällen muß das mit Langzeitmaßnahmen verbundene Risiko (eventuell nachlassende Wirksamkeit) bei der nicht monetären Betrachtung in die Beurteilung aufgenommen werden.

Um eine Sanierungsentscheidung treffen zu können ist es notwendig, die voraussichtliche Wirksamkeit der Verfahren den jeweiligen Kosten gegenüberzustellen. Dazu eignen sich ein Diagramm. Auf der Ordinate wird die Wirksamkeit der Verfahren bzw. Verfahrenkombination abgetragen. Die Abszisse gibt die jeweiligen Kosten des Verfahrens bzw. der Verfahrenskombination wieder.

Abhängig von der Sanierungszielstufe kann das Verfahren bzw. die Verfahrenkombination ausgewählt werden, mit dem bei Erreichen des Sanierungsziels die geringsten Kosten auftreten ("Verfahren höchster Effizienz").

Für den endgültigen Sanierungsvorschlag sind die monetäre und die nicht monetäre

Beurteilung der Einzelverfahren bzw. Verfahrenskombinationen in einer Gesamtbeurteilung abzuwägen. Aus der Kostenwirksamkeitsabschätzung kann eine Abfolge mehrerer Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen bezüglich ihrer Effizienz aufgestellt werden. Für die nicht monetären Kriterien kann ebenso eine Abfolge angegeben werden. Die Entscheidung für ein Verfahren bzw. eine Verfahrenskombination erfolgt durch Gegenüberstellung beider Abfolgen. Die Gesamtbeurteilung kann dann in Form einer Prioritätenliste erfolgen. Auf der Grundlage des Berichts zur eingehenden Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung wird dann die Sanierungsentscheidung getroffen. Im Falle der Notwendigkeit einer Sanierung wird das Sanierungsziel bzw. die Sanierungsziele endgültig festgelegt und das Sanierungsverfahren ausgewählt.

4 Abdichtungssysteme für Altlasten – eine Technik mit Zukunft

Die gesamte Palette der Abdichtungssysteme – nämlich Basisabdichtungen, Oberflächenabdichtungen und vertikale Dichtungselemente – stehen bei der Altlastensanierung in direkter Konkurrenz zu anderen Verfahren. Sie haben, was ihre Verfügbarkeit und ihre Einsatzmöglichkeiten insbesondere bei der Sanierung von Altablagerungen betrifft, zur Zeit wenig Alternativen; sie sind jedoch nicht – wie im Deponie Neubau – quasi von vornherein das "Verfahren der Wahl". Daher gilt es weitergehende Lösungsansätze aufzuzeigen. Die Anwendung der "Verwaltungsvorschrift Orientierungswerte" für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen hat gezeigt, daß bei der Auswahl von geeigneten Sanierungstechniken der notwendige Spielraum gegeben ist. Dies soll an konkreten Beispielen verdeutlicht werden:

Modellstandort Herten

Die Sanierungsvorplanung ($E_{3,4}$) der damaligen Hausmüll- und Bauschuttdeponie wurde im Jahr 1994, insbesondere im Hinblick auf die "VwV Orientierungswerte", noch einmal überarbeitet. An dem Ergebnis, daß sich bei der Erhöhung der derzeitigen Grundwasserentnahme der Stadt Rheinfelden eine Umkehr der Grundwasserfließrichtung und somit ein Zufließen von Schadstoffen aus der Altablagerung zu befürchten ist, hat sich nichts geändert.

Die Überarbeitung hat jedoch für den Fall einer zukünftigen Fließrichtungsumkehr eine weitere Sanierungsmöglichkeit in Gestalt einer zum Vorfluter Rhein halboffenen Umschließung ergeben. Die halboffene Bauweise erspart Betriebskosten für die Wasserhaltung und Reinigung. Die Variante wurde im Rahmen des Modellstandortarbeitskreises diskutiert und aufgrund der besonderen Gegebenheiten am Standort für möglich gehalten. Die Bewertung auf Beweinsniveau BN4 wurde im Frühjahr 1995 durchgeführt. Es ist eine Sanierung erforderlich. Die vorgesehenen Maßnahmen sind eine Oberflächenabdichtung und die Umschließung mittels einer dreiseitigen Dichtwand.

Vorhaben mit Modellcharakter Sinsheim

Es handelt sich um ein stillgelegtes Sägewerk, bei dem durch unsachgemäßen Gebrauch von Holzimprägnierungsmitteln der Untergrund kontaminiert wurde. Die Bewertung auf Beweisniveau BN4 hat stattgefunden. Als Ergebnis wurde zum Schutz des Grundwassers eine "fachtechnische Kontrolle" und zum Schutz vor Gefahren durch Bodenkontaminationen eine Sanierungsmaßnahme für erforderlich gehalten. Die Sanierungsmaßnahme besteht aus einer Umlagerung und gesicherten Einlagerung des kontaminierten Bodens unter Berücksichtigung des räumlichen Nutzungskonzeptes. Die Sanierungsmaßnahme ist zwischenzeitlich durchgeführt.

5 Fazit

Die Sanierung von Altlasten steht in engem Zusammenhang mit raumordnerischen Gesichtspunkten, der geplanten Nutzung, der Umweltverträglichkeit, und ihrem Langzeitverhalten. Dabei gilt es insbesondere das Augenmerk auch auf den letztgenannten Punkt zu richten. Verfahren, die das zu lösende Problem lediglich in die Zukunft verlagern, genügen nicht dem Anspruch "gleichwertiges Sanierungsverfahren".

Verfahren bzw. Verfahrenskombinationen, die nach Unwirksamwerden der Dichtungsmaßnahme eine Erneuerung dieser nicht mehr erforderlich machen, könnten hier Lösungsansätze für die Zukunft aufzeigen. Die Erarbeitung solcher Ansätze erfordert zunehmend eine interdisziplinäre Zusammenarbeit. Die Voraussetzungen hier an der Universität Stuttgart sind – mit Blick auf VEGAS – geradezu ideal.

"Umweltschutz bei knappen Kassen" ist ein Spannungsfeld zwischen "was müssen wir tun" und "was können wir leisten". Dies bedeutet eine zunehmende Herausforderung an die Forschung, die Industrie und insbesondere auch an die Ingenieurbüro's.

6 Literatur

Stand der Altlastenbearbeitung in Baden-Württemberg - BD Manfred Flittner, LfU Baden-Württemberg, Nov. 1995

Altlastenbehandlung in Baden-Württemberg – rechtliche Grundlagen, Finanzierung und Fördermöglichkeiten – Dipl.-Verw. Wiss. Ludwig Hipp, Umweltministerium Baden-Württemberg, Nov. 1995

Erfahrungen mit der Anwendung der Baden-Württembergischen Orientierungswerte – BD Joachim Ruf, LfU Baden-Württemberg, Nov. 1995

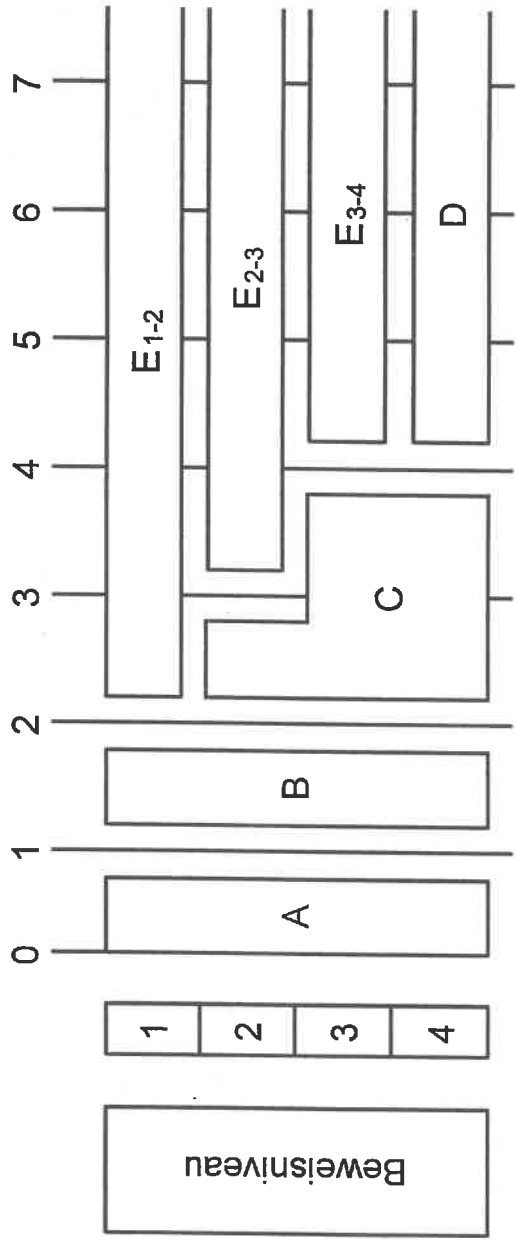
Diverse Veröffentlichungen aus dem Altlastenbereich der LfU Baden-Württemberg

7 Anlagen

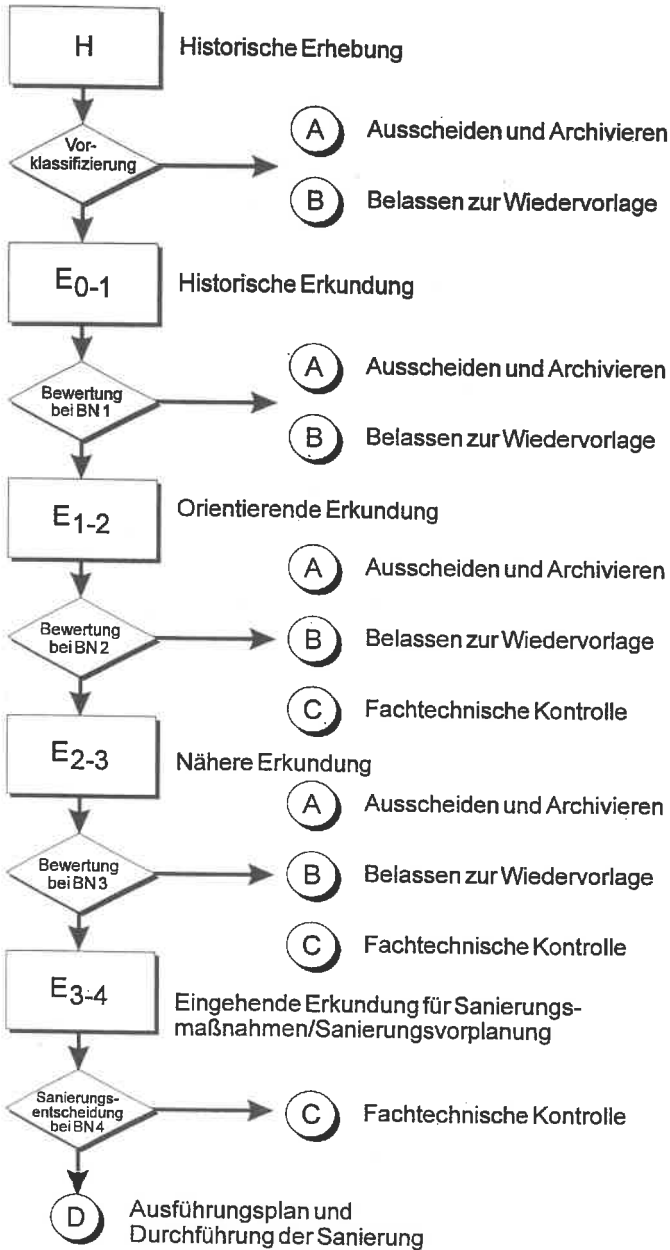
- Historische Erhebung altlastverdächtiger Flächen
- Handlungsmatrix
- Ablaufschema stufenweise Erkundung und Bewertung eines Einzelfalles
- Förderung kommunaler Altlasten aus dem Altlastenfonds 1988-1994
- Anzahl bewerteter Altablagerungen auf den Beweisniveaus 1-4 mit resultierendem Handlungsbedarf
- Anzahl bewerteter Altstandorte auf den Beweisniveaus 1-4 mit resultierendem Handlungsbedarf
- Ablaufschema für die eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/Sanierungsvorplanung, die Durchplanung und Durchführung der Sanierung

Handlungsmatrix

Maßgebliches Risiko für Handlungsbedarf (R_{HB})



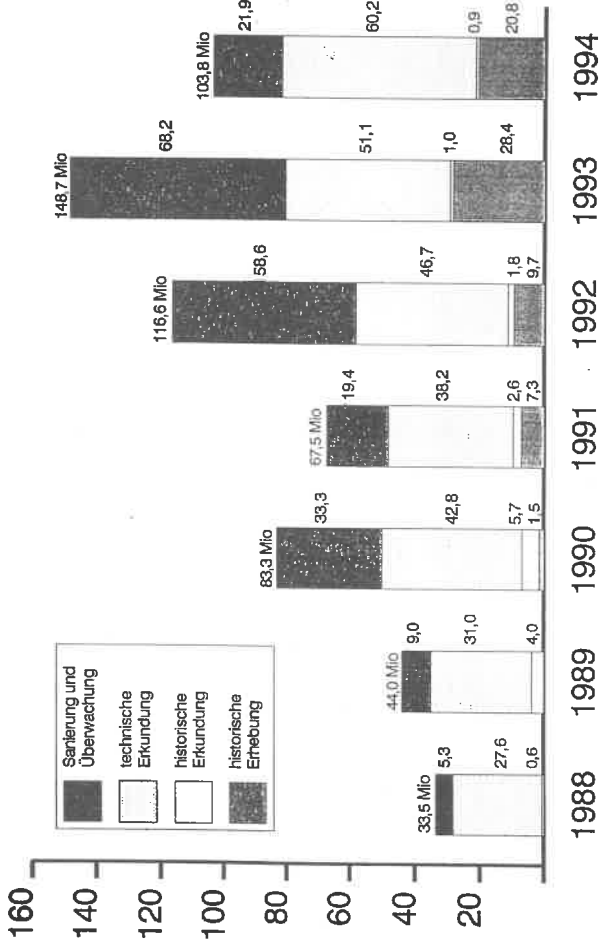
- A Ausscheiden und Archivieren
- B Belassen und Wiedervorlage
- C Fachtechnische Kontrolle
- D Durchführung der Sanierung
- E Erkundung



Ablaufschema stufenweiser Erkundung eines Einzelfalls

Förderung kommunaler Altlasten aus dem Altlastenfonds 1988 - 1994

Bereitgestellte Mittel (Mio DM) einschl. Modellstandorte



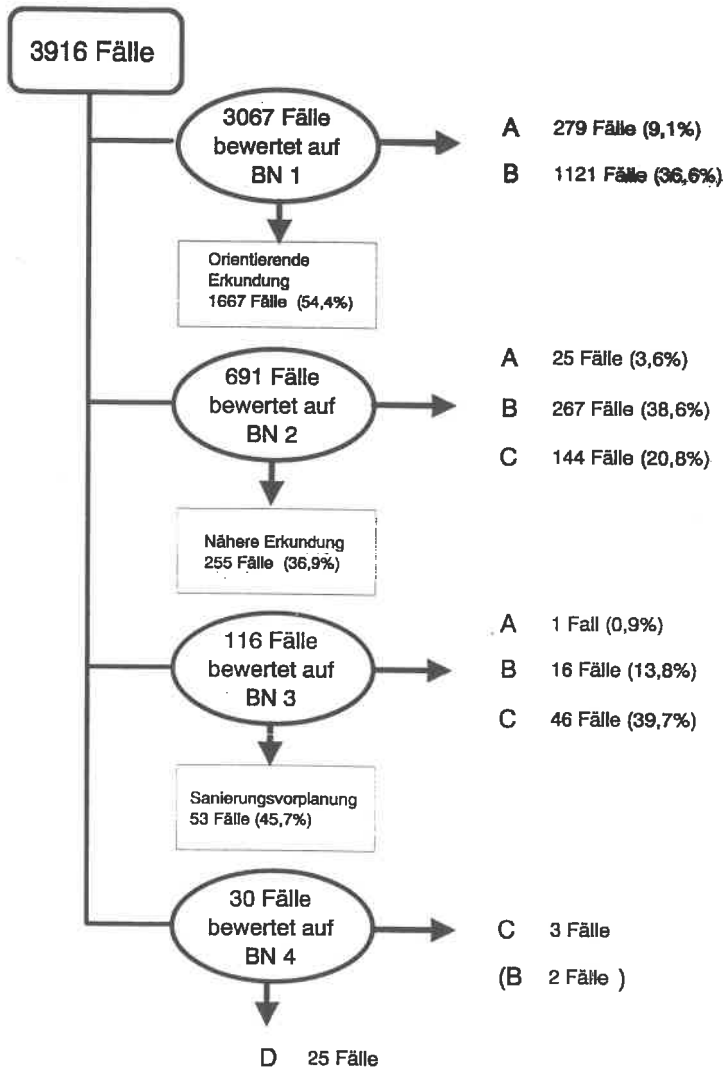


Abb. 2 Anzahl bewerteter Altablagerungen auf den Beweismiveaus 1-4 mit resultierendem Handlungsbedarf

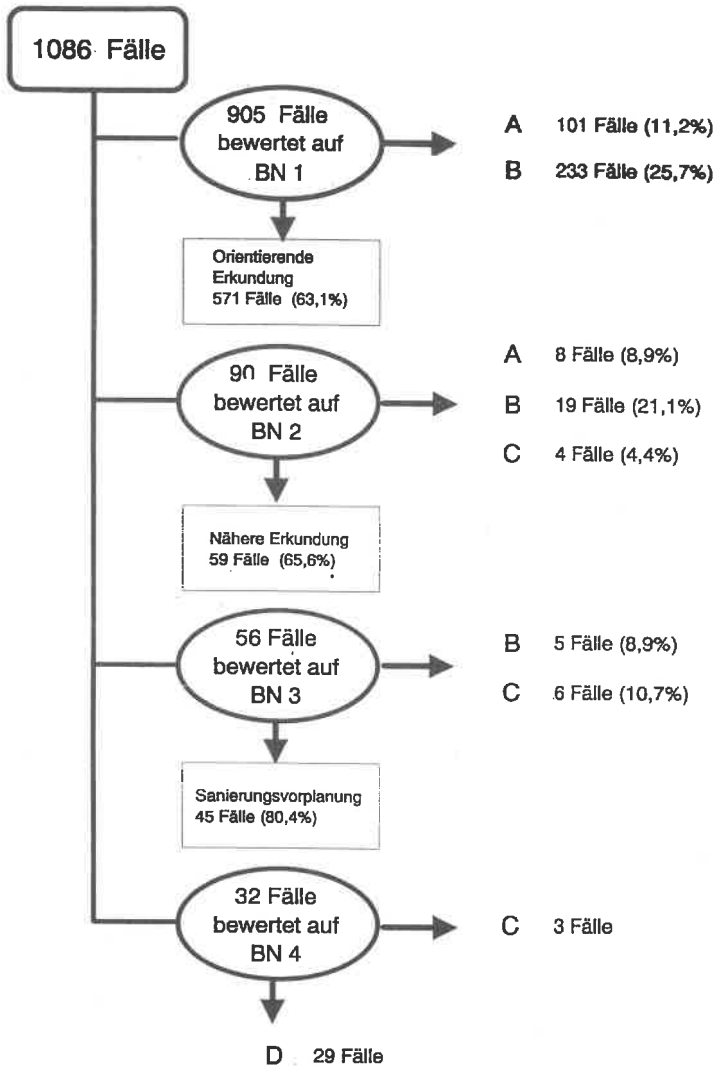
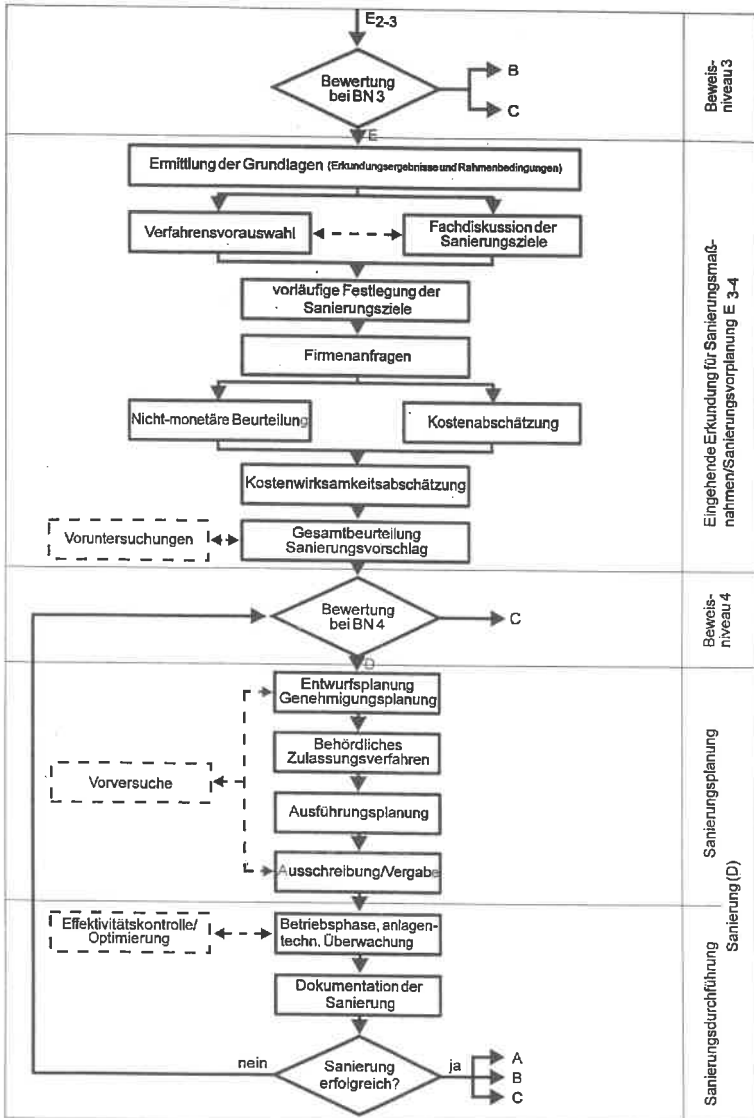


Abb. 3 Anzahl bewerteter Altstandorte auf den Beweismustern 1-4 mit resultierendem Handlungsbedarf



Ablaufschema für die eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahmen/
Sanierungsvorplanung, die Planung und Durchführung der Sanierung

Die Überwachungsgemeinschaft "Bauen für den Umweltschutz e. V."

Dr.-Ing. Stefan Plaum

1 Allgemeines

Bauen für den Umweltschutz als Oberbegriff für die Tätigkeiten beim Bau von Abfallentsorgungsanlagen sowie bei der Sicherung und Sanierung von Altlasten ist ein aktuelles Thema unserer Zeit. Vor- und nachsorgend sind hier qualifizierte Leistungen mehr als in anderen Bereichen eine zwingende Notwendigkeit.

Die Unternehmen der Bauwirtschaft erbringen einen Großteil der in diesen Bereichen nachgefragten Leistungen, da diese in der Regel aus traditionellen Aufgaben, wie z. B. dem Erd- und Tiefbau bzw. dem Spezialtiefbau, hervorgegangen sind. Aber auch die notwendigen Verfahren und Anlagen, z. B. für die Bodenbehandlung bei der Altlastensanierung, wurden von Bauunternehmen maßgeblich mitentwickelt.

Umweltrechtliche Regelungen, wie das Abfallgesetz, das zukünftige Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, das Wasserhaushaltsgesetz, die Gefahrstoffverordnung und das in Vorbereitung befindliche Bundes-Bodenschutzgesetz enthalten Festlegungen zur qualifizierten Ausführung diesbezüglicher Leistungen und bestimmen damit den aktuellen Technik- und Umweltstandard.

Als freiwillige Eigeninitiative der bauausführenden Wirtschaft wurde 1989 die Überwachungsgemeinschaft "Bauen für den Umweltschutz" gegründet. Die von der Überwachungsgemeinschaft zertifizierten Fachbetriebe stellen durch den Einsatz von qualifiziertem Personal, geeignetem Gerät und einer definierten betrieblichen Organisation eine qualitativ hochwertige Ausführung in den Bereichen

des Baus von Abfallentsorgungsanlagen,
der Sicherung und Sanierung von Altlasten

sicher.

2 Eigen- und Fremdüberwachung

Anerkannte Fachbetriebe der Überwachungsgemeinschaft verpflichten sich zur **Eigen- und Fremdüberwachung**. Die Eigenüberwachung obliegt dem jeweilig vom **Fachbetrieb** bestellten Überwachungsbeauftragten. Seine Tätigkeit beinhaltet umfangreiche **Kontroll- und Überwachungspflichten**, auf deren Einhaltung der Überwachungsbeauftragte, aber auch der anerkannte Fachbetrieb, im Rahmen der Fremdüberwachung **durch unabhängige Sachverständige** überprüft werden.

Nach erfolgreicher Aufnahmeüberwachungsprüfung bzw. nach regelmäßigen Wiederholungsprüfungen verleiht der Überwachungsausschuß dem anerkannten Fachbetrieb ein **betriebsstättenpezifisches Überwachungszeichen**. Durch die Unterteilung des Überwachungszeichens in 12 definierte Leistungsgruppen wird die **Fachkunde, Leistungsfähigkeit und Zuverlässigkeit** des Auftragnehmers dokumentiert, zertifiziert und damit gegenüber dem Auftraggeber transparent dargestellt. Die in der **Verdingungsordnung für Bauleistungen (VOB/A, § 9)** vom Auftraggeber bei Ausschreibung und Vergabe geforderte Prüfung der Eignung (**Fachkunde, Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit**) der Bewerber wird damit wesentlich vereinfacht.

3 Leistungsbereiche

Der **Leistungsbereich A** ist Pflicht für alle Fachbetriebe und stellt eine gewerk- und leistungsunabhängige, betriebliche Grundqualifikation sicher. Damit qualifiziert sich ein **Fachbetrieb** für die, die **allgemeine Bautechnik** ergänzenden, besonderen Belange des **Umweltschutzes**. Die Einhaltung von Vorgaben aus dem Bereich des Arbeitsschutzes und der **Arbeitssicherheit** sind Teil der betrieblichen Grundqualifikation, so z. B. die **Einhaltung** der Vorgaben der "Richtlinie für Arbeiten in kontaminierten Bereichen, ZH 1/183" des Hauptverbandes der Gewerblichen Berufsgenossenschaften sowie der dort genannten Vorschriften.

Leistungsbereich B "Bauausführung" erfaßt in den Leistungsgruppen B1 bis B5 die **typischen Bauleistungen** aus dem Bereich des Baus von Abfallentsorgungsanlagen. **Beispiele** hierfür sind der Bau von Oberflächen- und Basisabdichtungen (B1), der Bau von **Deponiegasfassungen** (B3) oder der Bau von **Sickerwasserfassungen** (B4). Die Leistungsgruppen B2 "Bau vertikaler Abdichtungen", B5 "Hydraulische Maßnahmen", B6 "Rückbau und Sanierung kontaminierter Standorte" und B7 "Sonderbauweisen" **repräsentieren** Gewerke, die auch im Bereich der Altlastensicherung und -sanierung zur **Ausführung** gelangen.

Leistungsbereich C "Verfahrenstechnik" ist mit den Leistungsgruppen C1 "Chemisch-physikalische Verfahren", C2 "Thermische Verfahren" und C3 "Biologische Verfahren" nach den grundlegenden Technologien gegliedert. In diesen Leistungsgruppen **werden** Verfahren zur Boden- und Grundwasserreinigung sowie Verfahren zum

Immobilisieren von Schadstoffen erfaßt.

Leistungsbereich D "Sonderleistungen" erfaßt Leistungen, die zusätzlich im Bereich der "Projektierung" (D1) oder der "Analytischen Untersuchungen" (D2) von Fachbetrieben erbracht werden.

Im Rahmen von Projekten bzw. auszuführenden Leistungen können unterschiedliche Leistungsbereiche und Leistungsgruppen kombiniert vorkommen.

Im Januar 1996 waren 69 Betriebsstätten als Fachbetriebe der Überwachungsgemeinschaft "Bauen für den Umweltschutz" anerkannt. Mehrere hundert Baumaßnahmen im Bereich des Deponiebaus und der Altlastensanierung wurden seit Ihrer Fachbetriebsanerkennung von diesen anerkannten Fachbetrieben unter Eigen- und Fremdüberwachung bearbeitet.

Nachfolgend werden die von anerkannten Fachbetrieben der Überwachungsgemeinschaft "Bauen für den Umweltschutz" angebotenen Leistungen, gegliedert nach den zu zertifizierenden Leistungsgruppen, näher erläutert.

Leistungsgruppe B1

Ziel:

Flächenabdichtungen für Deponien müssen heute einer Vielzahl von technischen Anforderungen genügen, um ihren Aufgaben, z. B. dem Schutz des Bodens und des Grundwassers vor Schadstoffen, gerecht werden zu können.

Der Bau, dieser als Oberflächen- und Basisabdichtungen bezeichneten, technischen Barrieren stellt an Planer und Bauausführende höchste technische und fachliche Anforderungen.

Für die Ausführung geben die TA-Abfall und TA-Siedlungsabfall als hierfür maßgebliche Verwaltungsvorschriften zum Abfallgesetz die Anforderungen sehr detailliert vor. Insbesondere sind Aufbau, Zusammensetzung und Beschaffenheit der Dichtungselemente weitgehend festgelegt (u. a. Vorgaben an die Material- und Einbauparameter, an die Eignungsprüfungen der Baustoffe und Bauprodukte sowie zu den Qualitätssicherungsmaßnahmen beim Bauen und der Abnahme).

Sowohl die TA-Abfall als auch die TA-Siedlungsabfall haben Rahmencharakter, d. h. die einzelnen Bundesländer können eigene Vorschriften erlassen, die über die Anforderungen der beiden Verwaltungsvorschriften hinausgehen.

Beide Verwaltungsvorschriften lassen "gleichwertige Systeme von Deponieabdichtungen" zu. Die Bewertung der Gleichwertigkeit verschiedener Dichtungssysteme wird beim Deutschen Institut für Bautechnik durch den Arbeitskreis "Grundsätze der Deponietechnik und Sicherung von Altlasten" (GDSA) erarbeitet.

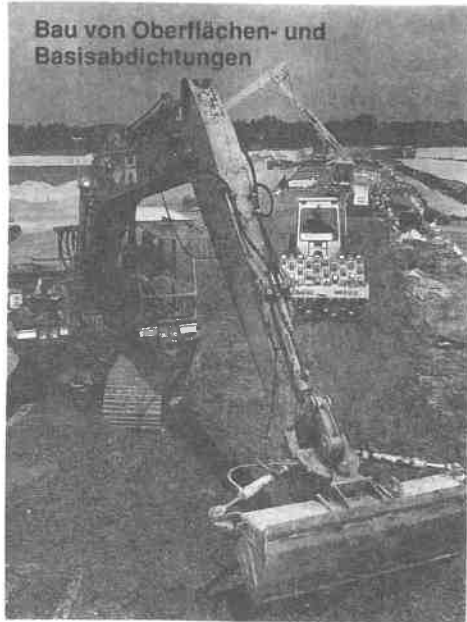
Die Abdichtungssysteme haben primär folgende Aufgaben:

Oberflächenabdichtungen

- Verhinderung des Eindringens von Niederschlägen und der damit verbundenen Auslaugung von schädlichen Abfallinhaltsstoffen
- Verhinderung des Austritts von Deponiegasen

Basisabdichtungen

- Ableitung von Deponiesickerwasser zu Sammelstellen (Dränagen)
- Verhinderung des Austrages von Schadstoffen in den Untergrund



Um diese Aufgaben leisten zu können, müssen die Abdichtungssysteme folgende Anforderungen erfüllen:

- Beständigkeit gegenüber chemisch/physikalischen Beanspruchungen
- Ausreichendes Verformungsvermögen
- Ausreichendes Stoffrückhaltevermögen bei Basisabdichtungen
- Beständigkeit gegenüber Einwirkungen aus Folgenutzungen und Erosionsvorgängen, speziell bei Oberflächenabdichtungen

Technische Ausführung:

Unverzichtbare Elemente eines Deponieabdichtungssystems sind nach TA-Abfall und TA-Siedlungsabfall die geologische Barriere, die Basisabdichtung, eine vorgegebene Vorbehandlung und Einbautechnik des Abfalls sowie die Oberflächenabdichtung.

Diese Forderungen zum Schutz der Umwelt durch mehrere unabhängig voneinander wirkende Sicherungselemente werden auch als Multibarrierenkonzept bezeichnet. Beim Multibarrierenkonzept wird von einer endlichen Wirksamkeit der technischen Einzelmaßnahmen ausgegangen. Bei Versagen einer Einzelmaßnahme ist dafür gesorgt, daß bei Bedarf andere technische Barrieren wirksam werden und damit eine geringere Versagenswahrscheinlichkeit des gesamten Sicherungssystems erreicht wird.

Bei Oberflächen- und Basisabdichtungen unterscheidet man bei der Ausführung von Flächenabdichtungen zwischen der rein mineralischen Dichtung – z. B. aus natürlichen bindigen oder aufbereiteten Böden – der Abdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen und den Kombinationsdichtungen, bestehend aus den beiden vorgenannten Dichtungstypen.

Oberflächenabdichtung

Bei Sonderabfalldeponien und Deponien der Deponieklasse 2 (Hausmülldeponie) werden die gleichen technischen Anforderungen an die Oberflächenabdichtung gestellt (u. a. Gasdränageschicht, mineralische Dichtungsschicht, Kunststoffdichtungsbahn). Die Anforderungen an die Oberflächenabdichtung bei Deponien der Deponieklasse 1 (Monodeponie, Bauschutt, Bodenaushub etc.) sind geringer; u. a. wird in der Deponieklasse 1 keine zusätzliche Kunststoffdichtungsbahn gefordert.

Im Gegensatz zur Basisabdichtung ist die Oberflächenabdichtung später gut zugänglich, falls Reparaturen erforderlich sein sollten. Die Abdeckung der Oberflächenabdichtung mit Deckschicht und eine nachfolgende Begrünung schützen die Oberflächenabdichtung vor mechanischer Beschädigung (u. a. Erosion) und Frostschäden.

Basisabdichtung

Bei der Sonderabfalldeponie sind die Anforderungen an das System der Basisabdich-

tung hinsichtlich Durchlässigkeit gegen umweltschädliche Medien (Sickerwasser, Deponiegas) am höchsten. Die Anforderungen an Deponieklasse 2 sind geringer; an das Deponieabdichtungssystem der Deponieklasse 1 werden die geringsten Anforderungen gestellt; wie bei den Oberflächenabdichtungen wird bei Deponieklasse 1 keine zusätzliche Kunststoffdichtungsbahn vorgeschrieben.

Sonderlösungen

Schäden an der Basisabdichtung sind in der Regel nur unter erheblichem Arbeitsaufwand und unter umfangreichen Arbeitsschutzmaßnahmen zu beheben.

Dies hat bei Fachbetrieben der Überwachungsgemeinschaft zur Entwicklung von reparierbaren bzw. nachträglich zugänglichen Basisabdichtungen geführt. U. a. werden kontrollierbare Dichtungssysteme mit integrierten Verpreßmöglichkeiten für Dichtstoffe, begehbare Dichtungsstollen und -systeme sowie die Einbringung oder ggf. nachträgliche Erneuerung von Basisabdichtungen im bergmännischen Verfahren angeboten (s. auch B7).

Leistungsgruppe B2

Ziel:

Der Bau vertikaler Abdichtungen dient als Sicherungstechnologie bei der Abdichtung von Deponien und Altlasten. Mit dem Einbringen von vertikalen Abdichtungen werden durch Unterbindung der Schadstofftransportvorgänge Emissionen verhindert bzw. auf ein zulässiges Maß reduziert.

Dazu werden Dichtungswände in der Regel in einen horizontalen, natürlichen Dichtungshorizont eingebunden; geologisch nicht vorhandene Dichtungshorizonte können unter Umständen durch nachträglich eingebrachte Dichtungssohlen ersetzt werden. Zusammen mit einer geringdurchlässigen Bodenschicht bildet die Dichtwand eine wasser- und schadstoffrückhaltende Umschließung. Ggf. sind diese Maßnahmen mit hydraulischen Verfahren (vgl. B5) kombinierbar.



Die Erstellung von vertikalen Dichtwänden ist von nachfolgenden Randbedingungen abhängig:

- Abstimmung der Baustoffe und Bauverfahren auf die Bodenverhältnisse
- Beständigkeit / Dichtigkeit gegen Schadstoffe
- Stabilität gegenüber mechanischen Beanspruchungen
- Qualitätssicherung bei der Herstellung
- Nachträgliche Kontrollierbarkeit der Dichtigkeit

Insbesondere Maßnahmen der Qualitätssicherung (ständige Eigenüberwachung zusätzlich zur Fremdüberwachung) gehören dabei zur Leistung eines Fachbetriebes.

Technische Ausführung:

Die Erstellung vertikaler Dichtwände basiert auf verschiedenen Verfahren des Spezialtiefbaus, die angepaßt an die jeweiligen Anforderungen und an den Standort eingesetzt werden. Dabei ist zwischen Maßnahmen der Bodenverdrängung, des Bodenaushubs und Verfahren zur Verringerung der Durchlässigkeit des anstehenden Bodens zu unterscheiden.

Bodenverdrängungsverfahren

- **Schmalwand**
Einrütteln oder Einrammen einer Spezialbohle und Einpressen von Dichtungsmaterial in den freiwerdenden Hohlraum beim Ziehen der Bohle
- **Spundwand**
In den Boden eingetriebene Flächentragwerke aus einzelnen Stahlspundbohlen
- **Gerammte Schlitzwand**
Einrammen eines unten geschlossenen Hohlkastens und Ausfüllen des verdrängten Bodenquerschnittes beim Ziehen des Hohlkastens mit Dichtwandmasse

Bodenaushubverfahren

- **Einphasenschlitzwand**
Lamellenweiser Aushub des Bodens im Schutz einer nach dem Ende des Aushubs im Schlitz verbleibenden und erhärtenden Stützsuspension
- **Zweiphasenschlitzwand**
Lamellenweiser Aushub des Bodens im Schutz einer Stützsuspension, die nach Beendigung des Lamellenaushubs abgepumpt und im Kontraktorverfahren durch die eigentliche Dichtwandmasse ersetzt wird
- **Schlitzwand mit Kombinationsdichtung**
Einphasendichtwand, bei der zusätzliche Dichtelemente in die Dichtwandmasse eingebaut werden (Kunststoffdichtungsbahnen, Stahlspundwände, Glaspaneele)
- **Überschnittene Bohrfahlewand**
Überschnittene Herstellung von Bohrpfählen ($d = 90 - 120 \text{ cm}$) unter Anordnung eines ausreichenden Überschneidungsmaßes und Verfüllung mit Dichtungsmaterial
- **Verfahrenskombinationen**

Die bei Bodenaushubverfahren eingesetzten Stützflüssigkeiten besitzen physikalische Eigenschaften, die ein Zusammenfallen des ausgehobenen Bodenschlitzes verhindern. Die Überwachung der Zusammensetzung der auch als Suspension bezeichneten Stützflüssigkeiten wird von geschulten Fachleuten in speziell eingerichteten Baustellenlabors vorgenommen. Die eingesetzte Stützflüssigkeit kann bei der Zweiphasenschlitzwand abgepumpt, regeneriert und einer Wiederverwendung zugeführt werden.

Bodenverfestigungsverfahren

- **Injektionswand**
Es wird Injektionsgut unter Druck in Poren und Klüfte des Untergrundes eingebracht. Als Injektionsgut finden z. B. Zementsuspensionen, chemische Substanzen auf Wasserglasbasis oder Kunstharze Verwendung.
- **Hochdruckinjektionswand**

Einbringen eines Bohrgestänges mit speziellen Düsenköpfen in den Boden. Energiereiche Flüssigkeitsstrahlen überführen den Boden in eine Suspension. Durch Vermischen der Suspension mit Bindemitteln entstehen nach der Aushärtung säulen- oder scheibenförmige Verfestigungskörper.

- **Gefrierwand**

Die Gefrierwand ist eine temporäre Maßnahme zur Vermeidung des Schadstoffaustrittes; durch Einbringen von Gefrierrohren in den Boden, in denen Kühllauge oder flüssiger Stickstoff zirkuliert, wird eine Vereisung und damit Verfestigung der Bodenmatrix erzielt.

Leistungsgruppe B3

Ziel:

Die bislang in Abfalldeponien abgelagerten Abfälle enthalten in großen Mengen organische Bestandteile, wie Haushaltsabfälle, Papier, Holz usw. (Vorgaben der TA-Abfall und TA-Siedlungsabfall begrenzen zukünftig die organischen Anteile).

Aus abgelagerten organischen Abfällen können durch mikrobielle Stoffwechselforgänge erhebliche Mengen an Deponiegas entstehen.

Sind keine Vorrichtungen zum Sammeln und Ableiten des Gases vorhanden, entweicht es aus dem Deponiekörper in die Atmosphäre und kann zur Bildung von explosionsfähigen Gas-Sauerstoffgemischen, zu erheblichen Geruchsbelästigungen und zur Schädigung des Öko-Systems führen.

Es stellt sich somit die Aufgabe, das Deponiegas gezielt dem Deponiekörper zu entziehen und einer Behandlung zuzuführen.

Während bei älteren Deponien ohne Gasfassung der Überdruck im Deponiekörper das Gas unkontrolliert entweichen ließ, geht man bei Deponie Neubauten und -sanierungen dazu über, "aktive" Entgasungssysteme einzubauen. Bei der aktiven Entgasung wird ein Unterdruck im Deponiekörper erzeugt, der dem Gas einen Zwangsweg zu den Entnahmestellen vorgibt.

Technische Ausführung:

Zum Neubau eines Entgasungssystems in einer Deponie müssen Tätigkeiten des Erdbaus, konstruktiven Ingenieurbaus, Brunnenbaus und vor allem des Rohrleitungsbaus ausgeführt werden. Für den letztgenannten Bereich ist die Anerkennung als Rohrleitungsbauunternehmen nach den "Technischen Regeln, Arbeitsblatt GW 301" des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs, eine grundlegende Qualifikation anerkannter Fachbetriebe. Die TA-Abfall und die TA-Siedlungsabfall geben detaillierte Anforderungen an die Ausführung und den Betrieb von Deponiegasfassungen vor. U. a. werden Vorgaben zu Arten und Anordnungen der Fassungselemente, zu Sammel- und Regelungssystemen und zur Wirkungskontrolle der Entgasung gemacht.

Fassungselemente

Bei den Fassungselementen wird zwischen punktförmigen (Entgasungskammern),



vertikalfächigen (Dränagewände), vertikallinienförmigen (Entgasungsschächte, Kies- oder Schottersäulen, Gasbrunnen), horizontalfächigen (Dränagesysteme) und horizontallinienförmigen (kiesummantelte Dränageleitungen) Elementen unterschieden.

Die eingesetzten Leitungssysteme werden zumeist aus Polyethylen hoher Dichte (HDPE) oder Polypropylen (PP) hergestellt. Die Einzelsegmente der Rohrleitungen oder Schachtbauwerke werden z. B. durch Stumpf- oder Spiegelschweißen zusammengefügt.

Ableitung des Deponiegases

Da das Deponiegas einen hohen Wasseranteil aufweist, kommt es beim Absaugen des Gases zu einem erheblichen Kondensatanfall. Um dieses Kondensat kontrolliert abführen zu können, sind sämtliche Leitungen mit Gefälle zu verlegen. In der Regel wird das Gefälle zu einem Tiefpunkt in der Gassammelleitung hergestellt. Dort kann das Kondensat über einen Kondensatabscheider abgeleitet werden.

Das Deponiegas wird über Regelsysteme an die Fackel- oder Verwertungsanlage weitergeführt und dort entweder mit Umgebungsluft vermischt bei über 1.000 °C kontrolliert verbrannt oder in Blockkraftwerken bzw. Blockheizkraftwerken verwertet. Die Entscheidung, ob das Deponiegas abgefackelt oder verwertet werden kann, hängt von der Qualität, Fördermenge und Ergiebigkeit des Gases ab.

Leistungsgruppe B3/B4

Ziel:

Beim Bau älterer Deponien, die vor einigen Jahrzehnten nach dem damaligen Stand der Technik errichtet wurden, entsprachen Rohrmaterialien, Dimensionierung und Verlegung oftmals nicht den heutigen Deponieanforderungen. Die vielfach großen Setzungen des Deponiekörpers verschärften die auftretenden Probleme. So kam es im Laufe der Jahre zu Deformierungen, Einbrüchen und Abrissen von Leitungen sowie zum Versatz von Sickerwasser- und Deponiegaschächten in Altdeponien.

Eine Sanierung der beschädigten Sickerwasser- und Deponiegasfassungssysteme ist damit zwischenzeitlich unumgänglich. In der Regel kommen die gleichen Bauverfahren, Fassungselemente und Baustoffe zur Anwendung wie beim Neubau von Deponien. Zur Sanierung der Leitungssysteme bieten Fachbetriebe der Überwachungsgemeinschaft Verfahren der offenen und geschlossenen Bauweise an.



Technische Ausführung

Offene Bauweise

Die offene Bauweise wird bei oberflächennahen Arbeiten oder bei starken Krümmungen der Sickerwasserleitungen gewählt. Sie kommt außerdem zur Anwendung, wenn das Herstellen der für die geschlossene Bauweise notwendigen technischen Vorrichtungen durch die alte Leitung hindurch nicht mehr möglich ist.

Bei der offenen Bauweise wird im Schutz eines Verbaus gearbeitet. Vorteile der offenen Bauweise sind der mögliche Austausch der alten Leitungen, der Einbau größerer Rohrdurchmesser und die Kontrolle der Oberflächen- und Basisabdichtungen im Leitungsbereich.

Grabenlose Verfahren

Das ohne den Aushub von Abfällen durchführbare grabenlose Verfahren wird – da in größerer Tiefe wirtschaftlicher – überall da eingesetzt, wo es technisch möglich ist. Es

kann zwischen verschiedenen Verfahren gewählt werden, z. B. dem Relining- und dem Berstlining-Verfahren.

Bei dem seit den sechziger Jahren bekannten Relining-Verfahren werden z. B. zu einem Rohrstrang zusammengeschweißte Kunststoffrohre in die zu sanierende Leitung eingezogen.

Beim Berstlining-Verfahren wird ein Verdrängungskörper mit Aufweitkonus durch die defekte Rohrleitung gezogen, die Rohrwandung zerstört und in die umgebende Leitungszone verdrängt. Unmittelbar hinter dem Verdrängungskörper wird eine neue Rohrleitung gleicher oder ggf. größerer Nennweite eingezogen.

Mit dem Berstlining-Verfahren können Leitungen im Durchmesser von DN 100 mm bis DN 400 mm erneuert werden. Vorteile der geschlossenen Bauweise sind z. B. kurzzeitiger Personaleinsatz im Abfallkörper, geringe Geruchsbelästigungen, geringer Platzbedarf und nur unwesentliche Störungen des laufenden Deponiebetriebes.

Leistungsgruppe B4

Ziel:

Menge und Beschaffenheit der Deponiesickerwässer hängen – neben den klimatischen Randbedingungen – von der Art der abgelagerten Abfälle, der Zeitdauer der Einlagerung sowie der baulichen und technischen Ausrüstung der Deponie (verdichteter Einbau, Abdichtungssysteme, Abdeckungen etc.) ab.

Beim Durchsickern des Deponiekörpers nimmt das Sickerwasser Schadstoffe auf. Damit ggf. kontaminiertes Sickerwasser nicht zu einer Gefährdung der Umwelt führt, wird es über der Deponiebasisabdichtung vom Sickerwassersystem erfaßt und zur Sickerwasserbehandlungsanlage abgeleitet. Das Erfassungssystem besteht im Regelfall aus folgenden Fassungselementen:

- vertikalflächigen (z. B. Dränagewände aus grobstückigem Material),
- vertikallinienförmigen (z. B. Sickerwasserschächte, Kies- / Schotterssäulen, Brunnen),
- horizontalflächigen (z. B. Dränageschichten, ergänzt durch Dränagesysteme),
- horizontallinienförmigen (z. B. kiesummantelte Dränageleitungen)
- Kombinationen aus horizontalen und vertikalen Elementen.

Technische Ausführung:

Bei der Planung und Ausführung der Entwässerungssysteme sind folgende Punkte zu beachten:

- Verfügbarkeit und Auswahl von Dränagematerial, Vorgaben zum Einbau des Flächendröns
- Bemessung des Dränagesystems (s. auch DIN 19666 und 19667, ATV Merkblatt A 127). Die entsprechenden Rohrdurchmesser und Haltungslängen sind zu ermitteln. Der Nachweis der statischen und dynamischen Belastungen der Dränagerohre ist zu führen.
- Vorgaben zum Verlegen der Sammler (Verlegeplan, Anschlußverbindungen, Bettungsart der Rohre etc.)
- Bau von statisch geprüften Kontrollschächten

Bau von Sickerwasserfassungen Neubau



- Einbau von Revisions- und Reinigungsöffnungen.

Grundsätzlich gilt bei der Erstellung eines Sickerwassersammelsystems, daß ein beständiges und wirksames System geschaffen werden soll. Hierzu machen die TA-Abfall und die TA-Siedlungsabfall umfangreiche Vorgaben zur Ausführung der Dränageschicht, dem zu verwendenden Material und den einzubauenden Sammlern zur Sickerwasserfassung und -ableitung. U. a. muß die Kornverteilung des Materials für die Dränageschicht im Bereich 16/32 mm liegen; es sind entsprechend gelochte oder geschlitzte Sickerrohre zu verwenden; diese müssen mindestens einen Durchmesser DN 300 mm haben.

Das Sickerwasser muß im freien Gefälle abgeleitet werden können. Im Bereich von Entwässerungsschächten darf sich das Setzungsverhalten der Schächte nicht von dem des Deponiekörpers unterscheiden. Mantelreibungsbedingte Lastkonzentrationen an den Schächten auf die Dichtungsschicht sind durch konstruktive Maßnahmen zu verhindern.

Für die beim Bau von Sickerwasserfassungen oftmals notwendigen Brunnenbohrungen ist die Anerkennung als Brunnenbauunternehmen nach dem Qualifikationsverfahren des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs (DVGW-Arbeitsblatt W 120, "Verfahren für die Erteilung der DVGW-Bescheinigung für Bohr- und Brunnenbauunternehmen") eine grundlegende Qualifikation anerkannter Fachbetriebe.

Leistungsgruppe B5

Ziel:

Hydraulische Maßnahmen stellen eine traditionelle bautechnische Lösung zur Absenkung oder Anhebung des Grundwasserspiegels dar.

Beim Bauen für den Umweltschutz sind hydraulische Maßnahmen in den letzten Jahren zu einem erprobten Mittel zur Sicherung und – in Verbindung mit Reinigungstechnologien (vgl. C1) – zur Sanierung von kontaminierten, vom Grundwasser durchströmten Bereichen geworden.

Sie finden in der Regel auch dann Anwendung, wenn es sich bei dem Sicherungs- oder Sanierungsfall um eine sehr weitflächige und großvolumige Verunreinigung handelt, bei der eine komplette Beseitigung der Kontamination wirtschaftlich oder technisch nicht zu realisieren bzw. erst später möglich ist.

Hydraulische Maßnahmen



Technische Ausführung:

Sicherungsmaßnahmen

Hydraulische Sicherungsmaßnahmen zur Gefahrenabwehr dienen der örtlichen Eingrenzung des kontaminierten Bereichs oder der Umleitung des Grundwasserstroms um die Kontamination. Es kommen Entnahmebrunnen im Grundwasserabstrom einer Kontamination oder Abwehrbrunnen im Oberstrom, z. B. eines bedrohten Grundwasserschutzgebietes, zur Anwendung. Die flächige Absenkung des Grundwasserspiegels ist eine Maßnahme, um das Durchströmen eines kontaminierten Bereichs und damit das Auslaugen von Schadstoffen zu verhindern.

Sanierungsmaßnahmen

Hydraulische Sanierungsverfahren kommen zur Anwendung, wenn die Schadstoffe prinzipiell im Grundwasser verfügbar sind, d. h. daß sie sich im Grundwasser befinden bzw. durch das strömende Grundwasser eluiert werden.

Die zu treffenden Maßnahmen basieren bautechnisch auf Entnahmebrunnen zur Förderung des kontaminierten Grundwassers oder auf Dränagen bei geringem Flurabstand. Die Reinigung des Grundwassers von Schadstoffen erfolgt in on-site- oder off-

site-Anlagen, in-situ unter Substanzzugaben oder on-site durch Stripppverfahren (s. Leistungsgruppe C1). Welche Maßnahmen zur Erreichung eines bestimmten Sanierungsziels zu ergreifen und wie lange diese Maßnahmen durchzuführen sind, ist abhängig

- vom Aggregatzustand des Schadstoffes im Untergrund
- von der Form des Schadstoffeintrags in den Untergrund
- von der Verteilung und Konzentration der Schadstoffe im Grundwassersystem.

Zur Durchführung aller hydraulischen Maßnahmen sind – neben genauen Kenntnissen über die örtlichen, spezifischen hydrologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten – auch spezielle Gerätschaften zur Ausführung und geschultes Personal unabdingbar.

Die Anerkennung als Brunnenbauunternehmen nach dem Qualifikationsverfahren des Deutschen Vereins des Gas- und Wasserfachs nach DVGW-Arbeitsblatt W 120 "Verfahren für die Erteilung der DVGW-Bescheinigung für Bohr- und Brunnenbauunternehmen" ist eine grundlegende Qualifikation anerkannter Fachbetriebe.

Leistungsgruppe B6

Ziel:

Die hier zusammengefaßten Tätigkeiten beziehen sich in der Regel auf folgende Bereiche:

- a) Bauarbeiten auf ehemals industriell oder gewerblich genutzten Flächen, auf denen mit dem Vorhandensein von Gefahrstoffen bzw. kontaminierten Bereichen gerechnet werden muß (z. B. ehemalige Gaswerks-/Kokereistandorte, Galvanikbetriebe, Ölverarbeitungsbetriebe, Öllager und Zechengelände).
- b) Rückbau und/oder Sanierung von baulichen Anlagen, die mit Gefahrstoffen kontaminiert sind (z. B. auch Rückbau von oberflächlich kontaminierten Bauteilen, Fraktionierung der Baustoffe usw.).
- c) Rückbau von Haus- und Sonderabfalldeponien, Umlagerung von Deponiegut (z. B. im Rahmen von Deponiesanierungen oder -erweiterungen, nachträglichen Abfallverwertungsmaßnahmen).



Rückbau und Sanierung
kontaminierter Bauwerke
und Standorte

Technische Ausführung:

Wesentliche Tätigkeiten in der Leistungsgruppe B6 sind

- der Abbruch von Gebäuden und Bauteilen (mechanische Abbruchtechnik, Sprengtechnik),
- der gezielte Rückbau von Gebäuden und Bauteilen (mechanische Abbruchtechnik, Schweißtechnik), ggf. ergänzt um Reinigungstechniken (z. B. von Oberflächen),
- das Auskoffern von kontaminierten Böden und Abfällen mit Verfahrenstechnologien des Erdbaus,
- das Trennen von kontaminierten Materialien und Stoffgruppen.

Die Aufbereitung der kontaminierten Materialien (Leistungsbereich C) beinhaltet u. a. das Aufgliedern der Stoffströme (z. B. Differenzierung nach verschiedenen Reinheitsgraden sowie Abfall- und Wertstofffraktionen). Findet "vor Ort" keine Aufbereitung der Restmassen statt, werden diese mit auf die jeweilige Kontamination abgestimmten Fahrzeugen (Spezialfahrzeuge mit z. B. gasdichten und abschließbaren Containern) zu geeigneten Verwertungs- oder Entsorgungsanlagen transportiert.

Diese Leistungen erfordern in kontaminierten Bereichen eine Zusatzqualifikation des ausführenden Unternehmens (vgl. Abschnitt A), da – je nach anzutreffendem Schadstoffspektrum – die Arbeiten z. B. unter großem organisatorischen Aufwand hinsichtlich der Maßnahmen zum Arbeits- und Umweltschutz erfolgen müssen (u. a. Einsatz von Atemschutz, Ausstattung zur umgebungsluftunabhängigen Atemluftversorgung auf Erdbaumaschinen und Spezialmaschinen des Tiefbaus, Einhausungen usw.).

Leistungsgruppe B7

Ziel:

In dieser Leistungsgruppe werden spezielle Baukonstruktionen und z. T. Bauverfahren im Zusammenhang mit dem Bau von Abfallbehandlungs- und -entsorgungsanlagen erfaßt, die nicht als Regelausführung gemäß TA-Abfall und TA-Siedlungsabfall gelten.

Beispiele für solche Konstruktionen und Verfahren sind u. a. Mineralkavernen, Schachtdeponien, Überdachungen von Deponien, nachträgliche Basisabdichtungen und begehbare Sohlen von Deponien (z. B. auch Kontroll- oder Dränagestollen in Deponien). Weiter fallen der Einbau von

Überwachungssystemen zur Prüfung der Funktionstüchtigkeit der obigen Bauwerke und Verfahren zur Intensivverdichtung unter diese Leistungsgruppe.



Technische Ausführung:

An ausgewählten Beispielen werden nachfolgend einzelne Baukonstruktionen und -verfahren näher erläutert.

- **Stollen- bzw. Tunnelbauwerke in Deponien**

In Anlehnung an den Staudambau werden bei Deponieneubauten im Bereich der Basisabdichtungen zunehmend begehbare Stollenbauwerke eingesetzt. In diesen Stollenbauwerken laufen die Sickerwasser- und Kontrolleitungen zusammen. Es können auch die zur Beförderung des Sickerwassers notwendigen Pumpstationen integriert werden. Die Stollenbauwerke werden in der Regel aus Stahlbeton hergestellt. Die Abdichtung der Außenwandung des Stahlbetonbauwerks gegen aggressive Sickerwässer kann z. B. durch beidseitig mit Geotextilien geschützte Dichtungsbahnen erfolgen.

Besondere Anforderungen stellen die konstruktive Ausbildung der Anschlüsse und Durchführungen (z. B. Dichtigkeit der Rohrdurchführungen in das Stollenbauwerk).

- **Spritzbetontechnologie für Sanierungsmaßnahmen im Deponiekörper**

Herkömmliche Verbaumethoden sind bei der Sicherung von Baugrubenwänden in der Deponiesanierung mit dem Nachteil von massiven Ausgasungen in die Baugrube und dem Austreten von Sickerwasser an den Baugrubenwänden verbunden.

Als Alternative zu herkömmlichen Verbaumethoden kommt deshalb die Sonderbauweise einer zylindrisch im Deponiekörper verbleibenden Spritzbetonschale zur Anwendung. Im Schutz der Spritzbetonschale können alte Schachtbauwerke unter günstigeren Arbeitsschutzbedingungen abgebrochen und neue Schachtbauwerke errichtet werden.

- **Nachträgliche Basisabdichtung von Altstandorten**

Nach dem heutigen Stand der Technik ist im allgemeinen eine Einkapselung von Altstandorten nur möglich, wenn in einer für Dichtwände erreichbaren Tiefe natürliche, dichte Schichten anstehen. Fehlt eine solche natürliche Abdichtung, können nachfolgende Lösungen angeboten werden:

a) Bergmännische Verfahren zum nachträglichen Einbringen einer Basisabdichtung:

Als technisch aufwendige Alternative zur Umlagerung des gesamten schadstoffbelasteten Materials eines Altstandortes wurden auf der Basis von bergmännischen Verfahren Lösungen entwickelt, die den nachträglichen Einbau einer Basisabdichtung ermöglichen. Verfahren mittels Schildvortrieb oder Schwerteinbau gestatten die Ausführung einer mineralischen Dichtungsschicht mit einer Kunststoffdichtungsbahn und einem darüberliegenden Entwässerungssystem nach TA-Abfall oder TA-Siedlungsabfall.

Diese Verfahren sind für die Durchörterung einer breiten Palette geologischer Schichten von Locker- bis Festgestein geeignet und können auch im anstehenden Grundwasser eingesetzt werden. Die notwendigen Arbeitsschutzmaßnahmen für kontaminierte Bereiche sind in die Verfahrenstechnik integriert. Ergänzt wird die Einkapselung des Altstandorts durch Dichtwände, z. B. hergestellt mit einem der Spezialtiefbauverfahren aus Leistungsgruppe B2.

b) Injektionsabdichtungen zum Herstellen einer nachträglichen Basisabdichtung

Injektionsabdichtungen können sowohl horizontal (Injektionssohlen) als auch vertikal zur Einkapselung von Altstandorten eingesetzt werden. Sie werden durch das Einpressen von Injektionsmitteln in Boden oder Fels hergestellt. Durch Optimierung der Bohrabstände und Überschneidung der einzelnen eingebrachten Dichtungs- bzw. Verfestigungskörper wird ein zusammenhängender Dichtungsschirm als "nachträgliche Basisabdichtung" erzeugt, wobei die Materialkennwerte hinsichtlich Festigkeit und Abdichtungswirkung durch Eignungsversuche festgelegt werden.

- **Dynamische Intensivverdichtung**

Das Ziel der dynamischen Intensivverdichtung ist die nachträgliche Verdichtung des anstehenden Bodens bzw. Abfalls in größeren Schichtdicken, z. B. bei bestehenden Deponien.

Durch fallende Gewichte aus großer Höhe werden Luft und Porenwasser aus dem Bodenkorngefüge verdrängt, sperrige Gegenstände zertrümmert bzw. komprimiert und Inhomogenitäten im Untergrund ausgeglichen. Mit dieser nachträglichen Verdichtung nimmt die Tragfähigkeit des anstehenden Materials zu. Dadurch können beispielsweise bei einem anschließenden Einbau einer Zwischen- oder Oberflächenabdichtung Setzungen vorweggenommen und damit geringere Beanspruchungen dieser Dichtungssysteme erreicht werden. Weiterhin bewirkt die stärkere Verdichtung eine Volumenreduzierung und dient damit z. B. der Gewinnung von zusätzlichen Aufnahmekapazitäten einer Deponie.

Die Qualitätskontrolle der erbrachten Leistung erfolgt durch dynamische Setzungsaufzeichnungen, Porenwasserdruckmessungen, Pressiometertests und diverse Sondierungsmethoden.

Leistungsgruppe C1

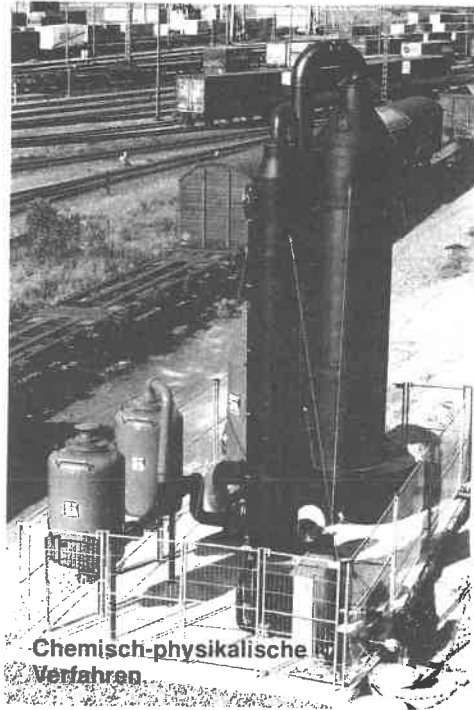
Ziel:

Das breite Spektrum chemisch-physikalischer Verfahren umfaßt die Immobilisierung, Inertisierung und das Verfestigen als Sicherungsmaßnahmen sowie Verfahren zum Extrahieren von Stoffen (Trennverfahren bzw. Adsorptionsverfahren, Bodenwaschverfahren, Strippen, Destillation, Bodenluftbehandlung), die Wasseraufbereitung, Gasbehandlung und elektrolytische Verfahren als Sanierungsmaßnahmen.

Beispielhaft werden für die chemisch-physikalischen Verfahren nachfolgend die

- Schadstoffimmobilisierung (temporäre Maßnahme)
- Bodenwaschverfahren (dauerhafte Maßnahme)
- Bodenluftabsaugung (dauerhafte Maßnahme)
- Grundwasserreinigungsverfahren (dauerhafte Maßnahme)

näher erläutert.



Technische Ausführung:

- Verfahren zur Schadstoffimmobilisierung

Zielsetzung der Verfahren zum Immobilisieren von Schadstoffen ist die Einbindung der im Abfall, Boden oder Schlamm enthaltenen Schadstoffe in eine feste, chemisch stabile Matrix. Die Eluierbarkeit der Schadstoffe wird dadurch erheblich herabgesetzt und durch die gleichzeitige Minimierung der Wasserdurchlässigkeit entsteht ein im technischen Sinn undurchlässiges Stoffgefüge. Die Immobilisierung von Schadstoffen wird durch eine Durchmischung des kontaminierten Mediums mit organischen oder hydraulischen Bindemitteln sichergestellt. Die Durchmischung erfolgt in einem intensiven Zwangsmischprozeß und einem darauf folgenden kontrollierten Einbau unter Verdichtung. Durch Eignungsversuche sind die Parameter Verarbeitungszeitpunkt, Verdichtung, Mischenergie und Rezeptur der

Bindemittel festzulegen, damit vorhandene Schadstoffe langfristig verfestigt und eine große Anzahl von Schadstoffen durch die Zugabe von Reaktionsmitteln sicher neutralisiert werden können.

- **Bodenwaschverfahren**

Eine besonders vielseitig einsetzbare Methode zur Bodenreinigung ist die Bodenwäsche. Je nach Verfahren wird bei der Bodenwäsche zur Abtrennung der Kontamination vom Bodenkorn mechanische Energie, ggf. unter Zusatz von Additiven, zugeführt. Sonderformen der Bodenwäsche sind die Auflösung der Bodenmatrix in vorgeschalteten Suspensionsreaktoren oder die in-situ-Hochdruckbodenwäsche im Hüllrohrverfahren. In der Regel erfolgt die Bodenwäsche jedoch on- oder off-site. Die Verfahren eignen sich zur Reinigung des Bodens von Mineralölkohlenwasserstoffen, aromatischen Kohlenwasserstoffen, chlorierten Kohlenwasserstoffen, polyzyklischen Kohlenwasserstoffen, Phenolen, Zyaniden und Schwermetallen.

Die je nach Verfahren anfallenden feinkörnigen Restmassen, wie kontaminierter Schluff oder Schlamm aus der Wasserreinigungsphase, können entweder einer weitergehenden Behandlung oder der Entsorgung zugeführt werden.

Stand der Technik bei Bodenwaschanlagen ist weiterhin eine gekapselte Stoffstromführung. Luftabsauganlagen leiten die z. B. mit leicht flüchtigen Kontaminationen belastete Luft über Filtereinheiten. Die Abluft muß die geforderten Werte der gesetzlichen Regelwerke (z. B. TA-Luft) einhalten. Das für die Bodenwäsche benötigte Wasser wird innerhalb der Anlage im Kreislauf geführt und vor der Wiederverwendung einer Aufbereitung unterzogen.

- **Bodenluftabsaugung**

Das Verfahren der Bodenluftabsaugung ist ein weniger aufwendiges in-situ-Sanierungsverfahren, das zur Reinigung der wasserungesättigten Bodenzone von leicht flüchtigen Schadstoffen geeignet ist.

Dazu werden z. B. in das verunreinigte Erdreich Brunnen abgeteuft. Durch Absaugen der Luft entsteht ein Unterdruck, der leichtflüchtige Verbindungen (z. B. chlorierte Kohlenwasserstoffe) im Porenraum der wasserungesättigten Bodenzone in die Gasphase übergehen läßt. Die mit schädlichen Verbindungen beladene Bodenluft wird durch den Brunnenschacht in eine Filteranlage gezogen (z. B. Aktivkohlefilter).

Anzahl und Reichweite der einzubauenden Brunnen sowie die Dimensionierung der Luftabsauganlagen und der Filtereinheiten müssen genau auf die Kontaminationsbereiche, Kontaminationsarten und die Bodenbeschaffenheit abgestimmt sein.

Eine wirksame Versiegelung der Geländeoberfläche bzw. im Boden bereits vorhandene, stauende Tonschichten unterstützen die angestrebte Luftströmung im Boden in Richtung der Vakuumburgen (Vermeidung von Luftfehlschlüssen).

- Grundwassersanierung

Grundwasserverunreinigungen unterscheiden sich aufgrund ihrer Mobilität erheblich von den eher als stationär zu bezeichnenden reinen Bodenkontaminationen. Grundsätzliches Ziel einer Sanierung des kontaminierten Grundwassers ist die Beseitigung der Schadstoffe bzw. die Reduzierung auf behördlich festgelegte Sanierungswerte.

In der Regel werden bei Kontaminationen in der wassergesättigten Bodenzone folgende Sanierungstechniken angewandt:

- Adsorptionsanlagen (on-site)
- ein- bis zweistufige Strippanlagen (Desorption, on-site oder in-situ)
- Hydro- bzw. Geoschockverfahren (in-situ)

Neben der Adsorption an Aktivkohle (bei der der gesamte kontaminierte Grundwasserstrom über ein Adsorptionsmedium geleitet wird) haben sich vor allem bei leichtflüchtigen Schadstoffen sogenannte Stripppverfahren (Desorptionsverfahren) bewährt.

Das kontaminierte Grundwasser wird in der Strippanlage nach oben gepumpt und dort mittels Düsen fein verrieselt. Im Gegenstrom wird Luft eingeblasen und durchströmt die Kolonne von unten nach oben. Die Schadstoffe gehen dabei von der wässrigen Phase in die Gasphase über und können anschließend wirtschaftlicher als beim reinen Adsorptionsverfahren über Aktivkohle adsorbiert werden. Eine Sonderform der Stripppverfahren ist das sogenannte in-situ-Strippen, bei dem der Strippvorgang im Boden selbst abläuft. Die in die Gasphase überführten Schadstoffe werden abgesaugt und on-site über Filter gebunden.

Beim Hydroschockverfahren werden über die Bohrlöcher, z. B. der Grundwasserförderung im Grundwasser, Druckwellen erzeugt, die die leicht flüchtigen Verbindungen aus der Bodenmatrix herauslösen. Das Geoschockverfahren wirkt dagegen direkt auf die Bodenmatrix.

Leistungsgruppe C2

Ziel:

Thermische Verfahren zur Bodenreinigung sind z. B. das Pyrolyseverfahren, die Hochtemperaturverbrennung, Verfahren zum Ausglühen und Sonderverfahren, wie die Plasmapyrolyse, die Niedertemperaturkonvertierung, Naßoxidationen und Verglasungen.

Die hauptsächlich zur Anwendung kommenden und seit ca. 1982 erfolgreich eingesetzten Verfahren sind die direkt und indirekt beheizten Hochtemperaturverbrennungsanlagen in Drehrohr- und Wirbelschichtöfen mit oder ohne thermischer Nachverbrennung.

Das Anwendungsgebiet für diese thermischen Anlagen zur Reinigung kontaminierter Böden umfaßt vom Schadstoffspektrum insbesondere BTX, PAH, komplexgebundene Zyanide und halogenierte organische Verbindungen. Schwermetalle werden mit Ausnahme von Cadmium und Quecksilber, die einen geringen Siedepunkt haben, mit thermischen Verfahren in der Regel nicht entfernt. Die Höhe der erforderlichen Behandlungstemperatur richtet sich nach den im jeweiligen Schadensfall vorhandenen Schadstoffen.

Für leicht flüchtige organische Verbindungen genügen geringere Behandlungstemperaturen (ca. 350 °C bis 400 °C). Bei schwer flüchtigen Verbindungen werden Behandlungstemperaturen von ca. 600 °C bis 650 °C benötigt. Ist bei der Verbrennung die Bildung von Dioxinen oder Furanen zu erwarten, kommen nur Verfahren mit einer Nachverbrennungstemperatur von mehr als 1.200 °C in Frage.

Technische Ausführung:

Nachfolgend wird die Technologie der thermischen Bodenreinigung im Drehrohröfen näher erläutert.

Beheizte Drehrohre werden zur Verbrennung von Sonderabfällen, hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen und ähnlichen Stoffen eingesetzt. Die Übertragung dieser Technologie auf die thermische Bodenreinigung führte zu guten Reinigungsergebnissen.

Die Anlagentechnik besteht im wesentlichen aus drei Hauptanlagenkomponenten. In



der ersten Stufe erfolgt die mechanische Aufbereitung (Zerkleinerung) des Bodenmaterials auf bestimmte Korngrößen, um die Oberfläche und damit die Wirksamkeit des thermischen Prozesses zu erhöhen. Danach werden die verunreinigten Stoffe einer ersten Trocknung unterzogen, bei der die leicht flüchtigen Bestandteile ausgetrieben und der Boden auf eine bestimmte Restfeuchte konditioniert wird.

In der zweiten, eigentlichen Reinigungsstufe werden im Bodenmaterial bei 400 °C bis 600 °C die schwer flüchtigen Verbindungen "verschwelt" und mit den Rauchgasen ausgetrieben. Abschließend wird der erhitzte Boden, z. B. durch Wasserzudüsung, abgekühlt und aus der Anlage ausgetragen. Bei Hochtemperaturverfahren werden die Rauchgase in einer dem Drehrohr nachgeschalteten Nachverbrennungskammer bei 1.200 °C ausgebrannt. In einer mehrstufigen Rauchgasreinigung werden die Rauchgase abschließend auf Konzentrationswerte unterhalb der gültigen Genehmigungsgrenzwerte (17. BImSchV, TA-Luft) gereinigt. Es kommen dazu – je nach Anlagentypen – verschiedene Rauchgasreinigungsverfahren von Waschstufen über Sprühtrockner, Gewebefilter bis hin zu Aktivkohlefiltern zur Anwendung. Die Filterrückstände werden entweder deponiert oder weiter behandelt. Besonderes Merkmal thermischer Bodenreinigungsanlagen ist ein Sicherheitskonzept, das durch Anwendung mehrerer unabhängiger Sicherungsmaßnahmen (z. B. mehrere Antriebe der sicherheitsrelevanten Motoren) ein unkontrolliertes Entstehen von Emissionen verhindert und damit aktiven Arbeits- und Umweltschutz verwirklicht.

Leistungsgruppe C3

Ziel:

Der Abbau organischer Bestandteile durch Mikroorganismen ist aus der Abwasser- und Abfallbehandlung bekannt. Biologische Verfahren zur Bodenreinigung nutzen diese Abbauprozesse und haben in den letzten Jahren vor allem wegen ihrer Leistungsfähigkeit bei Kohlenwasserstoffverunreinigungen eine weit verbreitete Anwendung gefunden. Aber auch andere Schadstoffe, wie z. B. einfache Aromaten (Benzol, Toluol, Xylol etc.), Phenole und polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe ("Teeröle") mit niedriger Ringzahl können mittlerweile gezielt durch mikrobielle Vorgänge abgebaut werden.



Während durch chemisch-physikalische Sanierungsverfahren die Schadstoffbelastung in der Regel nicht eliminiert, sondern aufkonzentriert wird, bietet die biologische Bodensanierung den Vorteil, daß Mikroorganismen viele organische Schadstoffe als Energiequelle zum Aufbau von Biomasse verwenden und damit direkt verwerten. Bei der biochemischen Umsetzung entstehen dann über Zwischenprodukte (ggf. Abluftreinigung erforderlich) lediglich Biomasse, Kohlendioxyd und Wasser.

In nahezu jedem Boden sind schadstoffabbauende Mikroorganismen vorhanden. Diese sind aber in der Regel durch bestimmte Randbedingungen (z. B. Nähr- und Sauerstoffmangel) von ihrer Anzahl und Populationsdichte her begrenzt. Die Beeinflussung der Randbedingungen zum biologischen Wachstum kann man sich bei der biologischen Bodenreinigung zu Nutze machen und das Bakterienwachstum durch Zugabe von Sauerstoff und Nährstoffen steuern. Weiterhin setzt man ggf. Mikroorganismenkulturen ein, die für ihre Stoffwechselfvorgänge die betreffenden Schadstoffe benötigen.

Im Rahmen von großtechnischen Sanierungen werden zunächst in Laborversuchen die biologischen, chemischen und physikalischen Randbedingungen bestimmt. Die Laborversuche geben Auskunft über die grundsätzliche mikrobiologische Abbaubarkeit der Schadstoffe, über das zu erwartende Reinigungsergebnis und über die notwendigen technischen und biologischen Parameter der Reinigung. U. a. wird bei der mikrobiologischen Untersuchung der kontaminierten Bodenmatrix festgestellt, ob keine oder zu wenig der zum Abbau der Kontaminationen notwendigen Mikroorganismen vorhanden sind. Im Bedarfsfall können dem Boden speziell für die jeweilige Anwen-

dung gezüchtete Kulturen beigegeben werden.

In vielen Fällen wird der kontaminierte Boden zur Reinigung ausgehoben, insbesondere, wenn eine weitere Gefährdung der Umwelt durch Schadstoffausbreitung im Boden in der grundwassergesättigten Zone befürchtet werden muß. Der ausgekofferte Boden wird dann entweder on-site oder off-site im Mietenverfahren gereinigt oder einer speziellen biologischen Bodenbehandlungsanlage zugeführt.

Technische Ausführung:

Man unterscheidet in der biologischen Bodenreinigung zwischen on-site-, off-site- und in-situ-Verfahren. Im einzelnen sind dies:

- Mietenverfahren (on-/off-site)
- Landfarmingverfahren (on-/off-site)
- in-situ-Sanierung
- Bioreaktoren (on-/off-site)

Oftmals kommt das **Mietenverfahren** zur Anwendung. Die Mieten werden mit einer Höhe von ca. 1 bis 2,5 m aus dem kontaminierten Bodenmaterial aufgeschichtet. Zum Verhindern der Ausgasung bei leicht flüchtigen Kontaminationen wird eine Folienabdeckung aufgebracht. Der Unterbau der Mieten besteht aus einer Kunststoffdichtungsbahn und/oder Tondichtung und gewährleistet eine wirksame Trennung zwischen kontaminiertem Boden und Untergrund. Die Nähr- und Sauerstoffzufuhr in die Miete erfolgt durch geeignete Einbauten (Bewässerungssystem, semipermeable Membranen, Zwangsbelüftung). Die bei der Zwangsbelüftung durch Verdunstung entstehenden Feuchtigkeitsverluste werden durch das Bewässerungssystem ausgeglichen. Das anfallende Sickerwasser wird im Kreislauf geführt. Die Abluft der Miete kann über Bio- oder Aktivkohlefilter gereinigt werden.

Das "**Landfarmingverfahren**" kommt ebenso on-site und off-site zur Anwendung. Dabei wird der kontaminierte Boden auf einer abgedichteten Fläche aufgebracht und in regelmäßigen Abständen gewendet. Dadurch wird der Boden gelockert und Nährstoffe, Sauerstoff und Wasser können gezielt in den Boden eingebracht werden. Die optimalen Milieubedingungen zum Schadstoffabbau werden durch ständige Kontrollen gewährleistet. Gegebenenfalls kann eine Abluftreinigung notwendig sein.

Ähnlich wie bei den vorgenannten Verfahren gilt es bei der mikrobiologischen **in-situ-Sanierung**, die Milieubedingungen für den Schadstoffabbau zu optimieren. Bei der in-situ-Sanierung werden deshalb zusätzliche Stoffe über die Gas- und Wasserphase in den kontaminierten Bodenbereich eingebracht. In der wassergesättigten Zone wird über die Luftphase Sauerstoff eingeblasen. Dabei ist es für die Wirksamkeit der biologischen Bodensanierung von größter Wichtigkeit, daß alle kontaminierten Bodenpartien von Luft angeströmt werden können. pH-Wert, Bodenfeuchtigkeit und Nährstoffversorgung werden über das Versickerungswasser bzw. spezielle Sensoren gesteuert.

Bei der in-situ-Sanierung in der wassergesättigten Zone wird der mikrobielle Abbau der

Schadstoffe komplett über die Wasserphase gesteuert. Dies geschieht über ein Entnahme- und Schluckbrunnensystem, wobei über die Schluckbrunnen die entsprechenden Zusatzstoffe (z.B. Sauerstoffdonatoren, eventuelle Chemikalien zur pH-Wert-Steuerung) zugeführt werden. Da in-situ-Sanierungen in der Regel nur bei einem homogenen Bodenaufbau Erfolg versprechen, ist im Vorfeld der Sanierung sehr sorgfältig zu klären, ob ein solcher Bodenaufbau vorliegt.

Verfahrenstechnisch am besten beherrschbar ist die biologische on- und off-site-Bodensanierung im geschlossenen System des **Bioreaktors**. Dabei wird der kontaminierte Boden nach einer Vorbehandlung in einen Reaktor überführt. Im Rahmen der Vorbehandlung wird der Boden mit Nähr- und Zuschlagsstoffen angereichert und gegebenenfalls mit einer Starterkultur geimpft. Im Reaktor verbleibt der Boden bis zur Erreichung des gesetzten Sanierungsziels. Der besondere Vorteil dieses Verfahrens liegt in der effektiven Überwachung und Steuerung der Sauerstoff- und Nährstoffkonzentrationen, des Feuchtegehaltes, der Temperatur und des pH-Wertes des kontaminierten Bodens. Bioreaktoren finden deshalb zunehmend Verwendung in stationären Bodenreinigungszentren.

Zusammenfassend kann die Aussage getroffen werden, daß biologische Sanierungsmaßnahmen für ein breites Schadstoffspektrum geeignet sind. Um sie mit Erfolg durchführen zu können, sind umfangreiche Voruntersuchungen des kontaminierten Bodens und der zu wählenden Verfahrenstechnik notwendig. Mit der erforderlichen Fachkenntnis und Erfahrung durchgeführt, präsentieren sich biologische Bodensanierungsverfahren als effektiv, umweltfreundlich und kostengünstig.

Leistungsgruppe D1

Ziel:

Als **Zusatz**qualifikation von Fachbetrieben steht Leistungsgruppe D1 für eine eigenständige, im Fachbetrieb vorhandene Planungsabteilung, die für Projektierungsaufgaben über qualifiziertes Fachpersonal aus den erforderlichen technischen und naturwissenschaftlichen Fachdisziplinen verfügt. Aufgrund langjähriger praktischer Erfahrungen der Fachbetriebe im Bereich der Bauausführung können kompetente praxisgerechte Planungen angeboten werden.



Oftmals präsentiert sich diese vorhandene Planungskompetenz auch durch Sonderanschläge zur ausgeschriebenen Leistung oder durch die eigenständige Entwicklung neuer Bau-, Sicherungs- oder Sanierungsverfahren.

Weiterhin umfassen die Leistungen im Projektierungsbereich das Projekt- und Vertragsmanagement, die Dokumentation der Projektvorgaben, der Kostenermittlung und Kostenkontrolle, die Terminplanung und -steuerung sowie die Überwachung von Ausschreibung, Vergabe und Bauabwicklung.

Es wird grundsätzlich zwischen den Planungsbereichen des Neubaus von Abfallentsorgungsanlagen und der Sicherung und Sanierung von kontaminierten Standorten unterschieden.

Technische Ausführung:

a) Neubau von Abfallentsorgungsanlagen

Im Rahmen der durchzuführenden allgemeinen Planungsaufgaben müssen z. B. Standortanforderungen definiert, der genaue Flächenbedarf ermittelt, die geologischen und hydrogeologischen Gegebenheiten erkundet, Bauwerkskonzepte entwickelt sowie die darauf aufbauende Ausführungsplanung festgelegt werden. Als Vorgaben zur Planung des Neubaus von Abfallentsorgungsanlagen aber auch zur Nachrüstung von Altdeponien enthalten die TA-Abfall und die TA-Siedlungsabfall als zugehörige Verwaltungsvorschriften umfangreiche Vorgaben. Diese beziehen sich z. B. auf die Lage des Deponiekörpers zum Grundwasser, die Deponieabdichtungssysteme, die Sickerwasser- und Gasfassung sowie die entsprechenden Behandlungsanforderungen und die Stabilität des Deponiekörpers.

b) Sicherung und Sanierung von kontaminierten Standorten

Die Planungsaufgaben bei der Sicherung und Sanierung von kontaminierten Standorten gliedern sich in mehrere Verfahrensschritte. In **Voruntersuchungen** (orientierenden Untersuchungen) werden die bodenkundlichen, geologischen und hydrogeologischen Verhältnisse erfaßt. Im Rahmen der darauf folgenden **Zwischenbewertung** werden das Gefährdungspotential und die Mobilität der vorhandenen Kontamination abgeschätzt. Die sich anschließende **Detailuntersuchung** umfaßt das Einbringen von Grundwassermeßstellen und Erkundungs- bzw. Aufschlußbohrungen zur Gewinnung von Bodenproben. Im Rahmen der **abschließenden Bewertung** werden mögliche Sicherungs- oder Sanierungsmaßnahmen unter technischen, ökologischen und ökonomischen Aspekten erörtert. Die Auswahl des letztendlich zur Anwendung kommenden Sicherungs- oder Sanierungsverfahrens erfolgt unter Beachtung der in den vorangegangenen Untersuchungen definierten Randbedingungen in Abstimmung mit den zuständigen Genehmigungsbehörden.

Leistungsgruppe D2

Ziel:

Die Bewertung des Gefährdungspotentials von Altablagerungen und Altstandorten ist direkt abhängig von chemischen und physikalischen Faktoren, wie z. B. Wasserlöslichkeit der Schadstoffe, Flüchtigkeit, Reaktionsfähigkeit, pH-Wert und Temperatur des Bodens sowie Durchlässigkeit und Bindungsvermögen des Bodens.

Bodenphysikalische und chemisch-analytische Untersuchungen sind daher in Verbindung mit Planungsleistungen Voraussetzung zur Erstellung von Sicherungs- und Sanierungskonzepten (vgl. D1) von Altstandorten und Altablagerungen.



Das Wissen um die bodenphysikalischen und chemisch-analytischen Randbedingungen wird aber auch benötigt, um die Arbeitsschutzmaßnahmen der in kontaminierten Bereichen Beschäftigten auf das vorhandene Schadstoffspektrum abzustimmen.

Im Bereich des Baus von Abfallentsorgungsanlagen sind bodenphysikalische Untersuchungen zur Kontrolle der ausgeführten Leistung (Eigen- und Fremdüberwachung) erforderlich.

Insbesondere werden die Verdichtung bzw. das Stoffrückhaltevermögen der eingebauten Dichtungslagen (Oberflächen- und Basisabdichtungen) von Deponien definierter Untersuchungen unterzogen. Die TA-Abfall und TA-Siedlungsabfall machen hierzu entsprechende Vorgaben.

Nachfolgend wird die technische Ausführung in Leistungsgruppe D2 im Hinblick auf

- a) Bodenphysikalische Untersuchungen
- b) Chemisch-analytische Untersuchungen.

näher erläutert.

Technische Ausführung:

- a) Bodenphysikalische Untersuchungen

Zu den im Deponiebau aber auch bei der Altlastensicherung und -sanierung notwendigen bodenphysikalischen Untersuchungen gehören u. a. Wassergehalts-, Raumgewichts-, Porenziffer- und Stoffgewichtsbestimmungen. Weiterhin können Durchlässigkeit, Druckfestigkeit, Kornverteilung, Fließ- und Ausrollgrenzen, Zusammendrückbarkeit und Scherfestigkeit der gewählten Dichtungsstoffe überprüft werden. Sondier- und Handbohrgeräte sowie weitere in Erdbaulaboratorien übliche Gerätschaften gehören zur Grundausrüstung.

b) Chemisch-analytische Untersuchungen

Um umfassende Untersuchungen im Bereich der chemischen Wasser-, Boden- und Luftanalytik durchführen zu können (z. B. Untersuchungen des Schadstoffspektrums, der Schadstoffintensität und des Migrationsverhaltens der Schadstoffe), benötigt ein Labor z. B. an Geräteausstattung:

- Gaschromatographen und Detektoren
- Infrarotspektrometer zur Kohlenwasserstoffbestimmung
- Photometer
- Gerät zur AOX-Bestimmung (organische Halogene)
- pH-Meter
- Leitfähigkeitsanalysatoren
- Emissionsspektrometer zur Schwermetallbestimmung oder Absorptionsspektrometer (AAS)
- UV-Spektrometer zur Bestimmung von Zyaniden, Chromverbindungen und Ammonium.

Mit einer solchen Geräteausstattung lassen sich in der Regel alle vorhandenen Kontaminationen bestimmen, wie z. B.

- aliphatische Kohlenwasserstoffe
- phenolische Kohlenwasserstoffe
- polyzyklische aromatische Kohlenwasserstoffe (PAK)
- leicht und schwer flüchtige Chlorkohlenwasserstoffe (PCB, CKW)
- organische Kohlenstoffe (TOC, DOC)
- organisch gebundenes Halogen (AOX, EOX)
- Pestizide
- Schwermetalle
- Anionen.

Die Untersuchungen werden je nach Vorgabe nach den Forderungen der betreffenden DIN-Normen, DIN 38409 - 38414 (chemische Analyse der Einzelsubstanzen), der EPA 610 (Bestimmung der 16 polyzyklischen aromatischen Kohlenwasserstoffe des EPA-Standards -USA-), der LAGA-Richtlinie PN 2/78 K (Entnahme von Proben aus Abfällen und abgelagerten Stoffen) und der DIN 18123 und DIN 18196 (Korngrößenverteilung, Wassergehalt, Bodenklassifizierung) durchgeführt.

Wichtiges Element der Qualitätssicherung im Analytik- und Laborbereich ist die Akkreditierung des Labors durch die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM). Die Bundesanstalt bestätigt akkreditierten Laboreinheiten, daß sie die festgelegten personellen, räumlichen und apparativen Anforderungen in den von ihnen angebotenen Prüfgebieten erfüllen. Die Fachbetriebsqualifikation in Leistungsgruppe D2 nimmt Bezug auf diese Akkreditierung.

Auswahl von Oberflächenabdichtungssystemen für Altablagerungen und Altdeponien

Dipl.-Geol. Thomas Ertel

UW Umweltwirtschaft – Wasser, Boden, Luft, Abfall GmbH, Stuttgart

1 Einleitung

Während für im Betrieb befindliche Deponien die TA Siedlungsabfall [1] präzise Vorgaben zur Gestaltung von Oberflächenabdichtungssystemen gibt, existiert ein derartiges Regelwerk für Altablagerungen im Sinne des Altlastenbegriffes nicht. Altdeponien im Sinne des Abschnittes 11.2 der TA Siedlungsabfall unterscheiden sich in der konkreten Situation am Deponiestandort oftmals nur dadurch von Altablagerungen, daß ihre Verfüllung nach dem im Landesabfallgesetz Baden-Württemberg gegebenen Stichtag 01.03.1972 endete. Hinsichtlich des Ablagerungsgutes und der verfüllten Kubatur sowie baulichen Einrichtungen wie Basisabdichtung oder funktionierender Sickerwasserfassungssysteme sind dabei oft keine signifikanten Unterschiede auszumachen. Zur Definition von Anforderungen an in heutiger Zeit zu installierende Oberflächenabdichtungssysteme bestehen jedoch große Unterschiede. Diese zeigt Tabelle 1.

Typ	Altablagerung	Altdeponie
Definition	Landesabfallgesetz Baden-Württemberg	TA Siedlungsabfall
Ziel	Sanierung eines Schadensherdes	Abschluß eines Bauwerkes
Vorgabe	Sanierungsziel gem. VwV Orientierungswerte [2]	TA Siedlungsabfall definiert techn. Standard
Kriterium z. Festlegung des geeigneten Systems	Kosten-Nutzen-Bewertung u. nicht-monetäre Bewertung gem. E _{3,4} -Leitfaden [3]	Standard oder Gleichwertigkeit gem. DiBT [4]

Tab. 1: Unterschiede zwischen Altablagerungen u. Altdeponien hinsichtlich der Anforderungen an Oberflächenabdichtungssysteme

Allgemein kann die Kombinationsdichtung nach TA Siedlungsabfall als Standardoberflächenabdichtungssystem angesehen werden. Will bei Altdeponien dabei abgewichen werden, so ist die Gleichwertigkeit des alternativen Systems gegenüber dem Standard nachzuweisen. Ganz anders ist dies jedoch bei Altablagerungen. Hier gibt der E_{3,4}-Leitfaden vor, wie eine Bewertung in Frage kommender Systeme unter Kosten-Nutzen-Aspekten sowie nicht-monetären Gesichtspunkten vorzunehmen ist. Diese Vorgehensweise wird im folgenden anhand eines Fallbeispiels erläutert.

2 Standortspezifische Erkundung und Bewertung

Die Ergebnisse der Erkundung der Altablagerung zeigt Abb. 1.

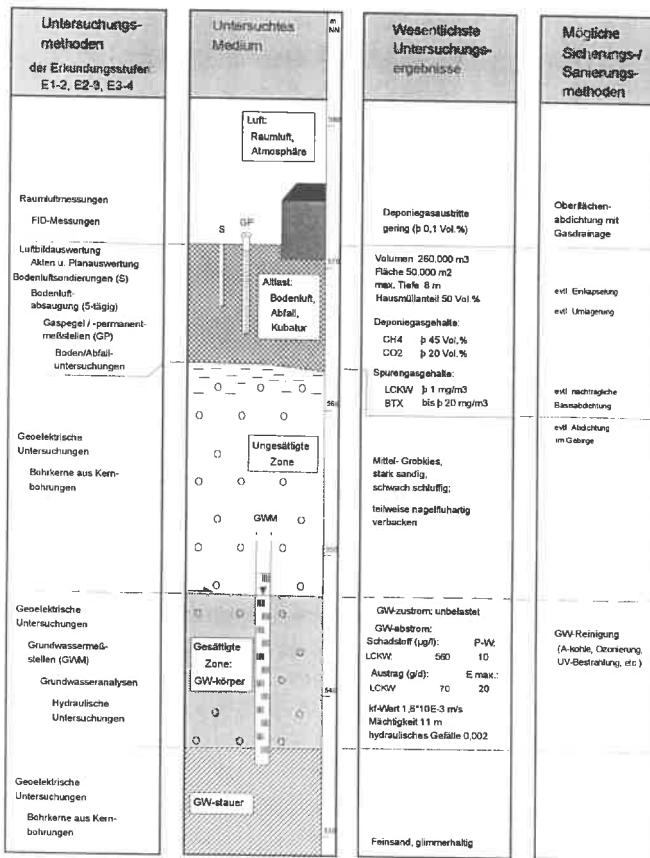


Abb. 1: Zusammenfassung der Ergebnisse der Erkundung

Da kein Sickerwasser in der Altablagerung angetroffen wurde, ist aus der Grundwasserbelastung im Abstrom auf die Schadstoffemission aus dem Schadensherd zu schließen. Bei der Erkundung hinsichtlich Deponiegas ist zu beachten, daß einerseits die tatsächliche Gefährdung für die Bebauung und darin befindlicher Personen zu bewerten ist. Andererseits muß der Gasanfall an sich erfaßt werden. Er ist eine wichtige Kenngröße für die Gestaltung der baulichen Einrichtungen zur Gasfassung im Oberflächenabdichtungssystem.

Die Bewertung ergibt Handlungsbedarf für das Schutzgut Grundwasser sowie hinsichtlich der Gefährdung durch Deponiegas.

Als Sanierungsziel für das Grundwasser wird gemäß VwV Orientierungswerte eine maximal zulässige Schadstoffkonzentration im Abstrom sowie eine maximale tägliche Schadstoffemission aus der Altablagerung festgelegt. Für das Deponiegas gilt, daß ein Übertritt von Deponiegas in die Bebauung auszuschließen ist.

Ob hinsichtlich des Deponiegases eine Absperrung gegen die Oberfläche ausreicht oder Gas abgeleitet werden muß, kann durch Deponiegasabsaugversuche geklärt werden. Bei der Durchführung derartiger Versuche ist folgendes zu beachten:

Bei der Absaugung von Bodenluft/Deponiegas auf bzw. in der Umgebung von Altablagerungen besteht die Gefahr, daß im angesaugten Gasstrom ein explosives Gasgemisch auftritt. Liegt der Methan-Gehalt im geförderten Gas zwischen 5 - 15 Vol.-%, muß von der Explosionsfähigkeit des Gemisches ausgegangen werden, so daß bei sämtlichen Absaugversuchen auf Altablagerungen dem Explosionsschutz eine bedeutende Rolle zukommt. Die entsprechenden Sicherheitsvorschriften, wie u. a. Sicherheitsregeln für Deponien (Gemeindeunfallversicherungsverband GUV 17.4) und Richtlinien für die Vermeidung der Gefahren durch explosionsfähige Atmosphäre – Explosionsschutz-Richtlinien (GUV 19.8, ZH 1/10) sind unbedingt einzuhalten. Dies stellt in der Praxis jedoch erhebliche Schwierigkeiten dar. Da die von der GUV 17.4 vorgesehene einzelfallspezifische Abnahme durch einen Sachverständigen für kurzzeitig betriebene Versuchsanlagen organisatorisch nicht durchführbar ist, muß eine mobile Anlage verwendet werden, die eine bauartbedingte sicherheitstechnische Abnahme besitzt. Dies ist nur möglich, wenn alle Komponenten als kompakte Einheit fest auf einem Rahmen montiert sind.

Herkömmlich verfügbare Anlagen lösen die Explosionsproblematik dadurch, daß sie

- a) im Ex-Bereich automatisch abschalten oder
- b) das Gasgemisch durch Ansaugen von Luft

unter den Ex-Bereich verdünnen.

Bei bestehender Bebauung im direkten Umfeld verbietet sich die Verdünnungsstrategie von selbst. Automatisch abschaltende Anlagen liefern nur ungenügende Versuchsergebnisse, da gerade der Bereich um 15 Vol.-% Methan in Altablagerungen sehr oft auftritt und auch der Konzentrationsverlauf im Ex-Bereich für die Beurteilung von großer Bedeutung ist. Eine eigens für derartige Versuchszwecke konzipierte Anlage zeigt

Abb. 2. Sie genügt sämtlichen altlastenspezifischen Anforderungen sowohl in technischer als auch in praktischer Hinsicht.



3 Beurteilung verschiedener Sanierungsvarianten

Gemäß E_{3,4}-Leitfaden wurde in diesem Fall die Bewertung in Frage kommender Sicherungs- und Sanierungsverfahren vorgenommen. Dies zeigt zusammenfassend Abb. 3. Die Gesamtbewertung ergibt, hinsichtlich der Oberflächenabdichtungssysteme, daß alle untersuchten Oberflächenabdichtungssysteme für die Sanierung der betrachteten Altablagerungen empfehlenswert sind. Mit allen Systemen lassen sich die definierten Sanierungsziele erreichen.

Verfahren	Gesamtkosten		Wirksamkeit am Standort		Technisches Risiko			Spätere Nutzung des Standortes			Zeitliche Umsetzung des Verfahrens			Folgekosten		Gesamtwertung	
	relativ gering < 500 Mio	relativ hoch > 2000 Mio	hoch	mittel	gering	mittel	hoch	unzureichend geschr.	eingeschr.	nicht möglich	kurzfristig	mittelfristig	langfristig	nein	ja	empfehlenswert	nicht empf.
(Thermische Verfahren Verbrennung, Pyrolyse (Immobilisierung))																	
Umlagerung auf andere Flächen																	
Kombinations- OAD Klasse II mit Entlastung																	
Mineralische- OAD Klasse I mit Entlastung																	
Asphaltabdichtung mit Entlastung																	
Bentonitabdichtung mit Entlastung																	
Nachträgliche Basisabdichtung, vollkommen																	
Nachträgliche Basisabdichtung, teilweise																	
GW-Reinigung im Abstrom der Alllast																	

Abb. 3 Beurteilung der Sicherungs-/Sanierungsverfahren

4 **Schlußfolgerung**

Das Beispiel zeigt, nach welchen Kriterien in Baden-Württemberg Oberflächenabdichtungssysteme für Altablagerungen beurteilt werden. Die Auswahl des geeigneten Systems erfolgt einzelfallspezifisch unter Würdigung der jeweiligen Umweltauswirkungen und berücksichtigt dabei sowohl monetäre als auch nicht-monetäre Gesichtspunkte. Eine Regelabdichtung wie mit der Kombinationsdichtung in der TA Siedlungsabfall gibt es nicht. Demnach ist auch keine Gleichwertigkeitsdiskussion zu führen.

Weiter zeigt das Beispiel, daß sich Altablagerungen und Altdeponien bzw. Altteile von noch betriebenen Deponien hinsichtlich ihrer Umweltauswirkungen weitgehend ähnlich sind. Es ist nicht ohne weiteres einzusehen, daß die TA Siedlungsabfall völlig andere Anforderungen an ein Oberflächenabdichtungssystem für Altdeponien definiert. Die sture Verwendung strenger Standards ist heute nicht mehr zeitgemäß. Die für Altablagerungen praktizierte Vorgehensweise berücksichtigt einzelfallspezifisch die jeweiligen Umweltauswirkungen. Dadurch ergeben sich deutlich bessere Kosten-Nutzen-Verhältnisse als bei Anwendung der TA Siedlungsabfall. Diese Vorgehensweise sollte daher nicht nur auf die Anwendung bei Altablagerungen beschränkt bleiben.

5 **Literatur**

- [1] TA Siedlungsabfall:
Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz. Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen, Bundesanzeiger Verlag, Köln 1993.
- [2] Gemeinsame Verwaltungsvorschrift des Umwelt- und Sozialministeriums über Orientierungswerte für die Bearbeitung von Altlasten und Schadensfällen (VwV Orientierungswerte) – Gemeinsames Amtsblatt des Landes Baden-Württemberg GABl. 33, 1993, S. 1115 - 1123.
- [3] Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg (Hrsg.), 1994:
Eingehende Erkundung für Sanierungsmaßnahme/Sanierungsvorplanung, 76 S., Karlsruhe 10/94.
- [4] Deutsches Institut für Bautechnik (DIBT):
Grundsätze für den Eignungsnachweis an Deponiedichtungssystemen, Entwurfsfassung, Berlin, August 1995.

Oberflächenabdichtungssystem "Mineralische Abdichtung mit untenliegender Kapillarsperre" auf der Hausmülldeponie Karlsruhe West

Dipl.-Ing. Helmut Schwarzmüller

Ingenieurbüro Roth & Partner, Karlsruhe

1 Allgemeines zur Sanierung der Hausmülldeponie Karlsruhe West

Als Teil der Sanierung der Hausmülldeponie Karlsruhe West ist eine Oberflächenabdichtung aufzubringen.

Aufgrund der Oberflächenneigung (bis 1 : 2,1) ist u.a. aus Standsicherheitsgründen keine Kombinationsabdichtung entsprechend der TA-Siedlungsabfall möglich. Das gewählte System muß den DK II-Anforderungen (entspr. der TA-Siedlungsabfall) genügen.

Als Oberflächenabdichtungssystem wurde die sogenannte "Mineralische Abdichtung mit untenliegender Kapillarsperre" gewählt und 1993 in einem Testfeld (Größe: 23.000 m²) mit Großlysimeter, in welchem die Eignung für die Gesamtdeponie nachgewiesen werden sollte, realisiert.

Mit Ende 1995 liegen nun 2 Jahre Erfahrungen und Meßergebnisse vor.

2 Aufbau des Oberflächenabdichtungssystems "Mineralische Abdichtung mit untenliegender Kapillarsperre"

Der Aufbau wurde wie folgt ausgeführt (von oben nach unten):

- | | | |
|-----------------------------|------------|-------------------------------|
| - Wurzelboden | d = 1,00 m | S, u - S, t |
| - Oberer Flächenfilter | d = 0,15 m | Körnung 2/32 |
| - Mineral. Abdichtung | d = 0,6 m | $k_f \leq 10^{-9}$ m/s |
| - Kapillarschicht | d = 0,3 m | $d_{10} = 10^{-4}$ U ≤ 5 |
| - Kapillarbrechende Schicht | d = 0,15 m | Körnung 0/32 |

Zwischen den einzelnen Schichten liegt jeweils ein Trenngeotextil mit einem Gewicht von 150 g/m^2 - 200 g/m^2 , Material PP.

Die Maßnahme ist in Anlage 1 als Lageplan und in Anlage 2 als Regelschnitt dargestellt.

Angemerkt sei, daß die Durchlässigkeit der Kapillarbrechenden Schicht (KBS) einen Wert von $k_f = 4,3 \cdot 10^{-5} \text{ m/s}$ aufweist, bei einem Sättigungsgrad von $S = 1$ und einem Porengehalt von $n = 27 \%$. Die Werte der Kapillarschicht (KS) liegen bei $k_f = 5,6 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$, $S = 1$ und $n = 43 \%$ (Mittelwerte).

In der Anlage 3 sind die Körnungslinien der beiden Materialien dargestellt.

Die wesentlichen Vorteile der Kapillarsperre liegen darin, daß sie unempfindlich ist gegenüber Wassergehaltsänderungen (keine Austrocknungsgefahr). Sie ist durchwurzelbar, die Materialverfügbarkeit ist gegeben (auch Einsatz von inerten Reststoffen) und sie ist wirtschaftlich (Kostensparnis).

3 Meßprogramm zur Ermittlung der Eignung des Oberflächenabdichtungssystems

Neben Laborversuchen (z. B. Tankversuche zu den Materialien für die Kapillarschichten) wurde als wesentliches Element für die Ermittlung der Leistungsfähigkeit des Abdichtungssystems ein Großlysimeter ($10 \times 40 \text{ m}$) eingerichtet. Um eine vollständige Wasserhaushaltsbilanzierung des Schichtensystems zu erhalten, wurde folgendes Meßprogramm durchgeführt:

- Kontinuierliche Wasserabflußmessung der einzelnen Schichten
- Tracerversuche in verschiedenen Schichten
- Durchführung von kontinuierlichen Wassergehaltsmessungen im Schichtensystem mittels Neutronensonden und Kryosonden
- Saugspannungs- und Temperaturmessungen mittels Tensiometer
- Durchführung von Flutungsversuchen
- Ermittlung von Meteorologiedaten direkt im Lysimeterfeld

4 Meßergebnisse

Diese sind in den Anlagen 4 bis 7 dargestellt.

Mit Stand Ende '95 (Vorabauswertung der Daten) zeigt sich, daß die Kapillarschicht 90 % der bis zu der Kapillarsperre durchdringenden Wasserabflüsse faßt und lateral ableitet.

Insgesamt kam in 1995 0,67 % des Niederschlages in der Kapillarsperrschicht an. Die Wirksamkeit und Eignung des Oberflächenabdichtungssystems wurde damit nachge-

wiesen.

Die Auswertung sämtlicher Untersuchungen liegt im Frühjahr 1996 vor.

5 Anlagen

Anlage 1: Übersichtslageplan

Anlage 2: Schnitt durch die Oberflächenabdichtung

Anlage 3: Körnungslinien der Kapillarbrechenden Schicht und der Kapillarschicht

Anlage 4: Abflüsse Lysimeter (l/h)

Anlage 5: Abflüsse aus der Kapillarsperre (l/h)

Anlage 6: Wasserhaushaltsdaten 1995

Anlage 7: Wassergehaltsdifferenzen

DEPONIE KARLSRUHE WEST / TESTFELD

STADT KARLSRUHE AMT FÜR ABFALLWIRTSCHAFT

KÖRnungSLINIEN : Kapillarbrechende Schicht (KBS) - Kapillarschicht (KS)

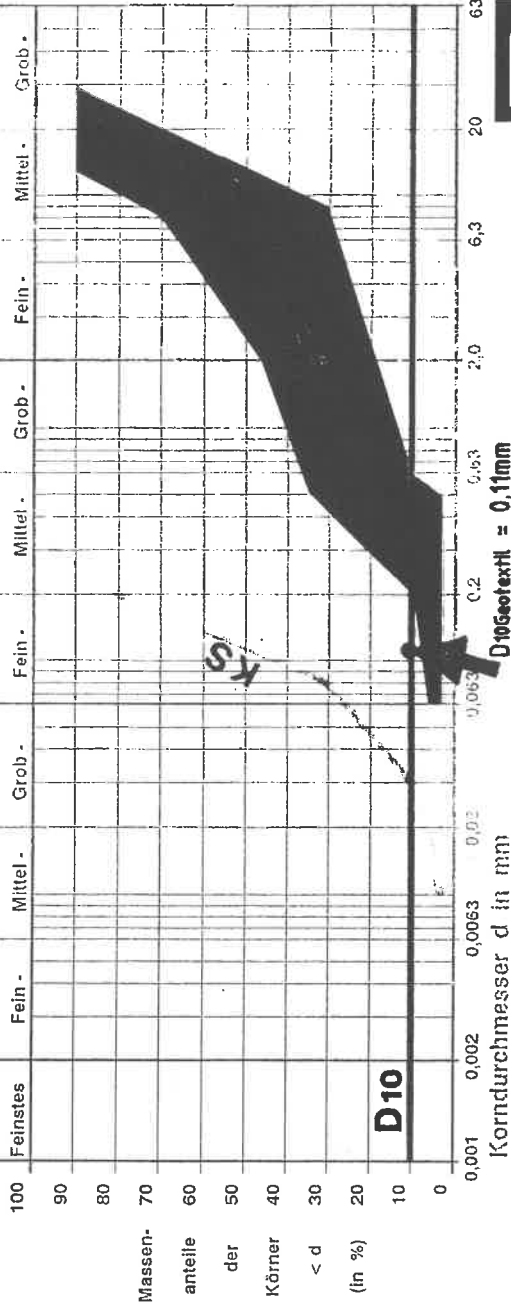
KÖRnungSLINIE

SCHLammKORn

SchluffKORn

SIEBKORn

KiesKORn

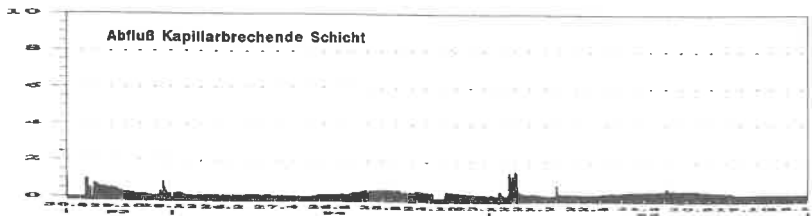
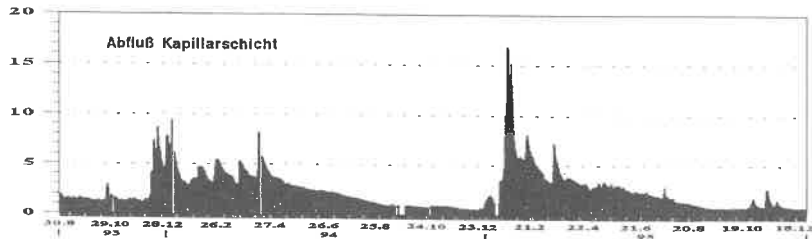
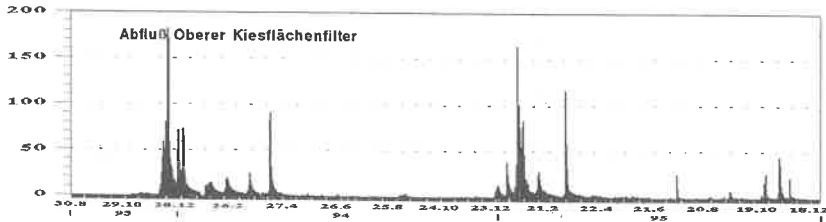
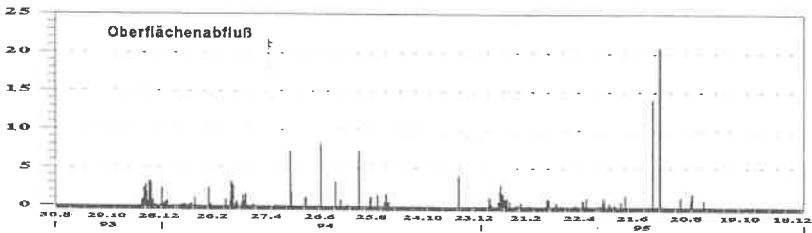
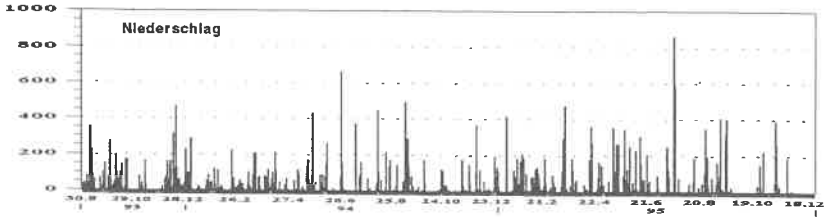


Ingenieurbüro ROTH UND PARTNER
 Hauptstraße-Süd 9 7500 Karlsruhe 1
 Tel. 0721 / 98453-0 Fax 0721 / 853417



Abflüsse Lysimeter (l/h)

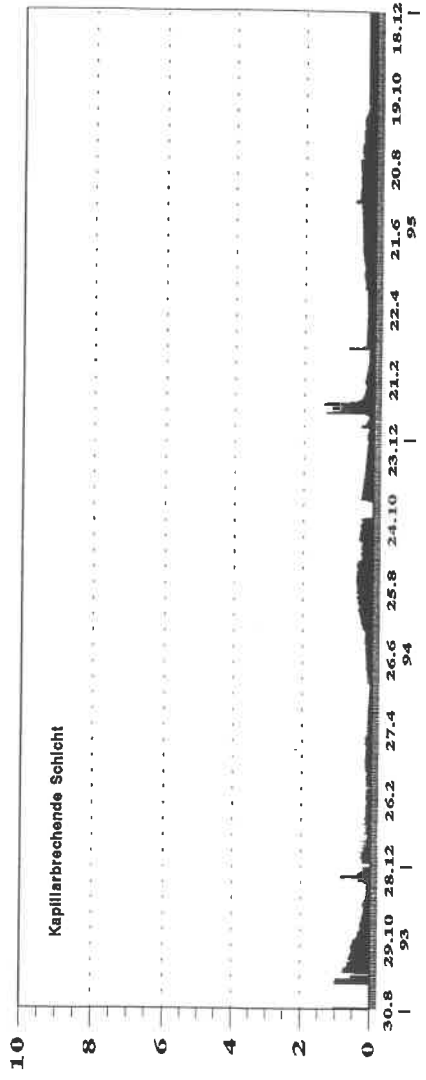
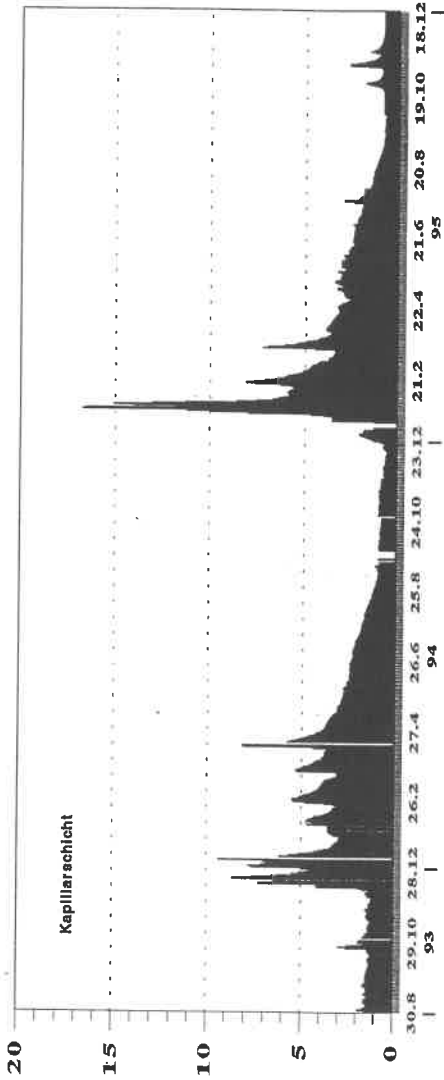
Anlage 4



Abflüsse aus der Kapillarsperre [l/h]



Anlage 5





Wasserhaushalt auf der Hausmülldeponie Karlsruhe-West

Tab.1: Vergleich der Monatssummen mit dem langjährigen Mittel in [mm]

Zeitraum	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Meßperiode (1995)	133,62	63,21	90,33	77,24	123,35	96,58	136,79	71,11	106,37	13,69	79,90	
Deponie-Betreiber	134,4	50,00	90,00	63,00	106,20	80,80	89,0	56,20	97,50	32,0	75,00	
Langjähr. Mittel	54	55	46	55	71	88	70	76	52	49	64	59

Tab. 2: Monatliche Bilanzgrößen für das Jahr 1995 in [mm]

	JAN	FEB	MRZ	APR	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	OKT	NOV	DEZ
Niederschlag	133,62	63,21	90,33	77,24	123,35	96,58	136,79	71,11	106,37	13,69	79,90	
Q _{Oberfläche}	0,89	0,12	0,18	0,16	0,23	0,16	2,30	0,25	0,06	0,00	0,00	
Q _{Kiesflächenfilter}	63,29	19,44	21,36	4,74	1,89	1,44	2,83	0,34	1,65	4,05	11,45	
Q _{Kapillarschicht}	12,58	13,40	10,13	7,47	6,04	4,39	3,69	2,65	1,58	1,81	2,59	1,74
Q _{Kapillarbrec. Schicht}	1,05	0,55	0,40	0,37	0,49	0,63	0,76	0,84	0,68	0,48	0,44	0,45
Summe Q	77,81	33,51	32,07	12,74	8,65	6,62	9,58	4,08	3,97	6,34	14,48	
S _{Bodenfeuchte}	+62,50	-15,48	+6,23	-15,91	-3,66	-25,54	-30,30	-22,58	+40,26	+21,23	+8,80	+22,63
ET=N-Sum _Q -S _B	-6,73	45,58	52,03	80,41	118,37	115,61	159,14	89,61	62,14	-13,88	56,62	
ET _{Haude} (DIN 19685)	13,40	21,56	39,82	65,65	98,36	109,71	163,69	127,57	60,87	40,90	20,14	12,62
*Fehltag	6	4	4	7	6	6	5	4	4	6	5	7

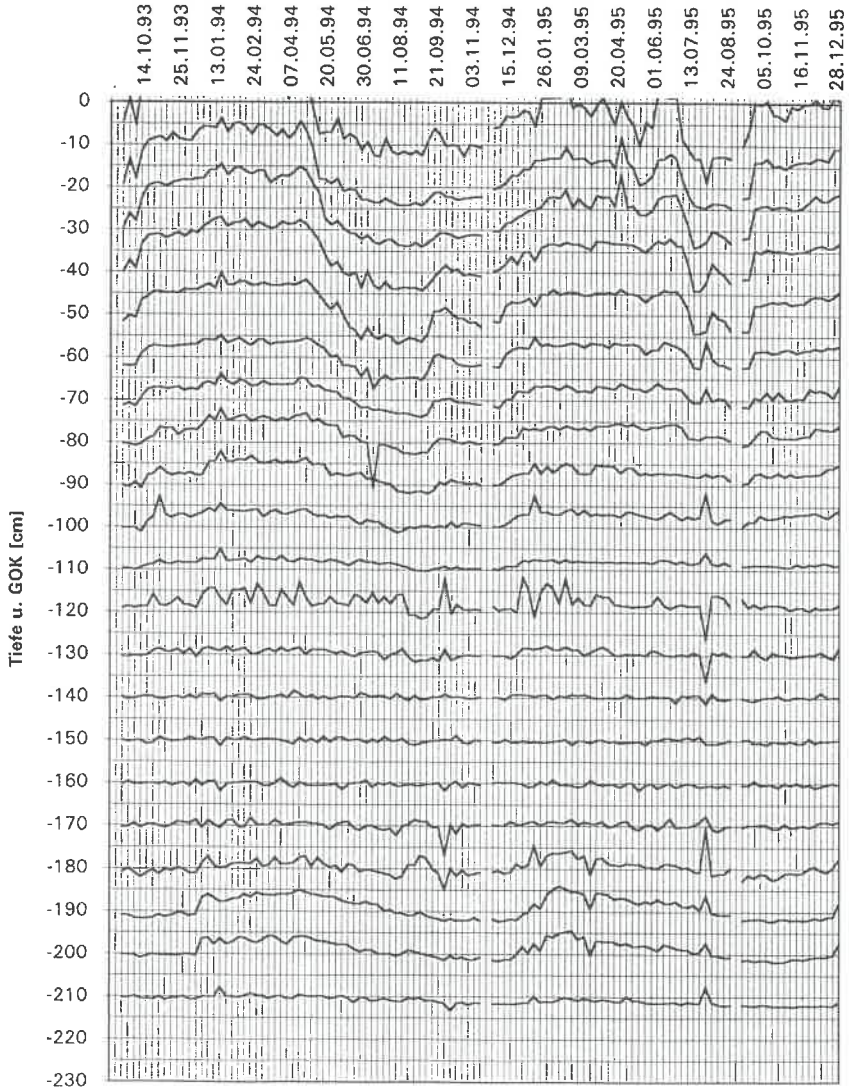
Tab. 3: Bilanzgrößen des Lysimeterfeldes für Jahr 1995

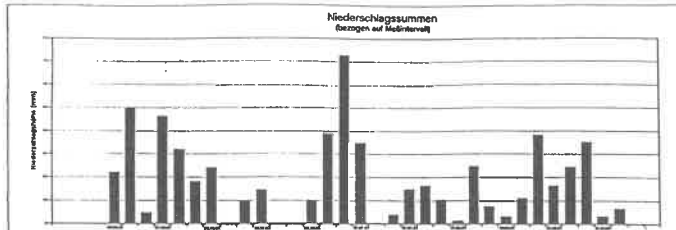
01.01.95 - 30.11.95	[mm]	[% von N]
Niederschlag	992,19	
Q _{Oberfläche}	4,35	0,44
Q _{Oberer Kiesflächenfilter}	132,48	13,35
Q _{Kapillarschicht}	66,33	6,69
Q _{Kapillarbrec. Schicht}	6,69	0,67
Summe Q	209,85	21,15
S _{Bodenfeuchte}	+22,55	2,27
ET = N - Sum _Q - S _B	759,79	76,58
ET _{Haude} (nach DIN 19685)*	761,67	76,77

*Meßreihe nicht vollständig (38 Fehltag)

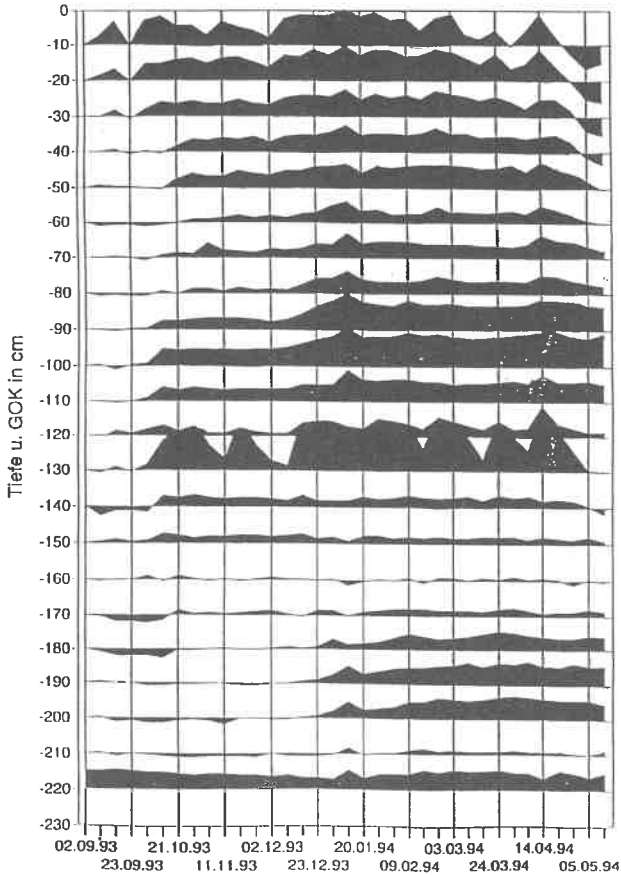


Wassergehaltsdifferenzen NS 2





NS1 Wassergehaltssdifferenzen (Vol-%)
(Stichtag 02.09.93)



Bau eines Oberflächenabdichtungssystems mit Drainagematte an einer steilen Böschung

Dr. rer. nat. Sylvia Schultheiß / Dipl.-Ing. Helmut Schwarzmüller

Amt für Stadtentsorgung Pforzheim / Ingenieurbüro Roth & Partner, Karlsruhe

1 Situation

Eine ehemalige Erdaushub- und Bauschuttdeponie ist gemäß behördlicher Auflage mit einer Oberflächenabdichtung zu versehen. Es müssen ca. 9 ha Fläche in drei Teilschritten abgedeckt werden, der erste Bauabschnitt umfaßte rund 2 ha. Dabei erreichte die Böschung eine Länge von rund 80 Metern und eine maximale Neigung von 1 : 2,2 (siehe Abb. 1).

Das im Böschungsbereich auszuführende Abdichtungssystem besteht vom Liegenden zum Hangenden aus folgenden Komponenten (siehe Abb. 2):

- Stüttschicht
Der Einbau einer Stüttschicht ist nicht obligatorisch, sondern nur in Bereichen notwendig, in denen eine ausreichende Verdichtung des Planums nicht zu erreichen war ($D_{Pr} = 95\%$).
- Mineralische Abdichtungsschicht
Gefordert war der Einbau von zwei Lagen zu je 30 cm Stärke mit einem Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f < 5 \cdot 10^{-9}$ m/s.
- Drainagematte
Zum Einsatz kam eine Matte mit zwei Deckvliesen, welche durch ein Wirrgelege gegenseitig vernadelt sind.
- Durchwurzelungsfähiger Boden
Dieser war mit einer Stärke von 1,5 m im Böschungsbereich aufzubringen, wozu der derzeitige Oberboden abgeschoben und zwischengelagert werden konnte und anschließend wieder aufgebracht wurde.

2 Gewährleistung der Standsicherheit

Durch die steile Neigung der abzudichtenden Böschung waren hohe Anforderungen an

die Standsicherheit des Systems zu stellen. Technisch wurde den Standsicherheitsanforderungen durch folgendes Vorgehen Rechnung getragen:

2.1 Theorie und Laborversuche

2.1.1 Berechnung der erforderlichen Verbundscherparameter im gesamten Abdichtungssystem

Entsprechend der GDA-Empfehlung E 2-7 wurden die erforderlichen Scherparameter rechnerisch sowohl für die Materialien selbst als auch für die Fugen zwischen den einzelnen Komponenten des gesamten Abdichtungssystems bestimmt. Um eine ausreichende Sicherheit der Werte zu gewährleisten, wurde ein Sicherheitsansatz von 1,3 gem. DIN 4084 gewählt. Rechnerisch ermittelt wurde ein erforderlicher Scherparameter von $\varphi_{\text{ges}} > 31^\circ$ bei einer Hangneigung von 1 : 2,2.

2.1.2 Ermittlung der kritischen Scherfugen

In zwei Bereichen waren Probleme mit der Scherfestigkeit zu erwarten, so daß an die Ermittlung der Scherparameter besondere Qualitätsanforderungen zu stellen waren:

- Scherparameter innerhalb der Drainagematte
- Scherparameter zwischen Drainagematte und mineralischer Abdichtung.

2.1.3 Nachweis der Scherparameter in Laborversuchen

Die Untersuchungen wurden in Anlehnung an die GDA-Empfehlung E 3-8 durchgeführt. Zur Durchführung einer den realen Verhältnissen soweit wie möglich nahekommende Untersuchung wurden die Versuche auch in Großscherkästen gefahren. Für die beiden kritischen Scherfugen wurden folgende Ergebnisse ermittelt:

a) Scherversuch Drainagematte

Die Versuchsdurchführung im Großscherkasten 30 x 30 cm ergab einen Scherparameter $\varphi \gg 31^\circ$ und damit die geforderte Sicherheit.

b) Scherversuch Drainagematte – mineralische Abdichtung

Dieser Versuch wurde sowohl im Scherkasten \varnothing 10 cm als auch im Großscherkasten 30 x 30 cm gefahren.

Um praxisrelevante Ergebnisse zu erhalten und ebenfalls Aussagen zum Verhalten des Systems unter schlechtesten Bedingungen zu erhalten wurden folgende Versuchsrandbedingungen gewählt:

- Anlegen eines realen Spannungsbereiches von 10 - 50 kN
- Durchführung bei Wassersättigung
- Abschergeschwindigkeit: 0,05 mm/min.

Die Versuchsdurchführung im Scherkasten \varnothing 10 cm ergab einen Scherparameter von

$\varphi_{\text{ges}} > 31^\circ$ ($\varphi_{\text{eff}} = 28^\circ$, $c = 30 \text{ kN/m}^2$).

Im Großscherkasten wurden ein φ_{ges} von 31° ($\varphi_{\text{eff}} = 24,7^\circ$, $c = 9,9 \text{ kN/m}^2$) und ein zulässiger Wassergehalt von 18,5 - 21 % ermittelt.

Damit ergab sich aus den Laborversuchen eine ausreichende Standsicherheit auch für die als kritisch einzustufenden Scherfugen und damit für das gesamte Abdichtungssystem bei einer Böschungsneigung von 1 : 2,2.

Zur Überprüfung der rechnerisch und im Laborversuch ermittelten Parameter wurde vor Ausführung der Abdichtung ein Probefeld eingerichtet.

2.2 Realisierung auf der Deponie

2.2.1 Einrichtung eines Probefeldes

Zur Absicherung der im Laborversuch ermittelten Scherparameter wurde über eine Zeit von gut drei Wochen ein Probefeld auf der Deponie eingerichtet, das den Witterungsverhältnissen in vollem Umfang ausgesetzt war. Das Feld wurde mit einer Größe von 10 x 10 m auf der 1 : 2,2 steilen Böschung angelegt und eine 2 m mächtige Lage durchwurzelungsfähigen Bodens als Belastung aufgebracht, auf eine Fußabstützung wurde verzichtet.

2.2.2 Ergebnisse des Feldversuches

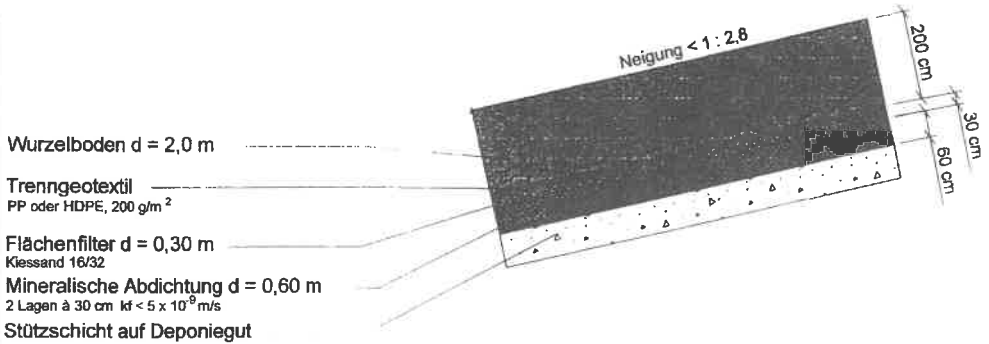
Das Probefeld wurde mit Baugeräten befahren und zeigte keine Beeinträchtigungen durch diese, so daß von einer Gewährleistung der Standsicherheit auch bei Spitzenbelastungen ausgegangen werden kann. Durch Aufgrabungen an mehreren Stellen wurde das Versuchsfeld kontrolliert und zeigte keine Beschädigungen des Abdichtungssystems.

2.2.3 Einbau des Abdichtungssystems – Standsicherheitsaspekt

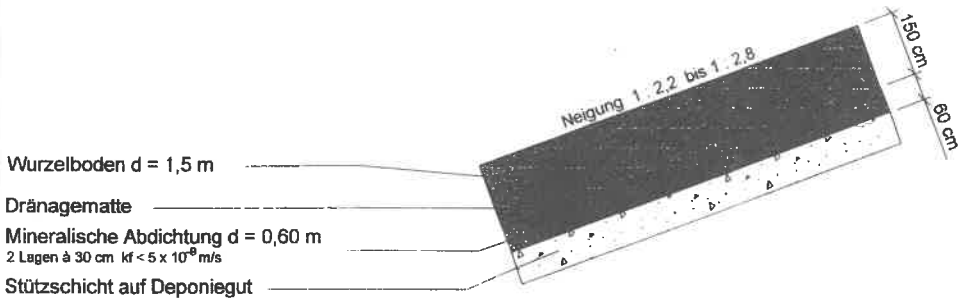
Zur Herstellung eines geeigneten Planums war wegen der nicht an allen Stellen gewährleisteten Verdichtbarkeit der Deponieoberfläche durch vernässte Bodenbereiche der Auftrag einer Stüttschicht teilweise erforderlich. Auf diese wurde die mineralische Abdichtung aufgebracht. Während des Einbaus erfolgte eine permanente Kontrolle des standsicherheitsrelevanten Wassergehaltes in der mineralischen Abdichtung.

Während der Bauzeit konnten durch entsprechende Überwachungen des Systems keine Schäden nachgewiesen werden. Zur Sicherung vor Abschwemmungen wurde die Oberflächenabdichtung mit einer Anspritzbegrünung versehen.

Oberflächenabdichtung im Kuppenbereich



Oberflächenabdichtung im Steilbereich



Projekt			
Oberflächenabdichtung			
Planungsstand		Projektnummer	
Plantheft		Messstab	Plan-Nr.
Regelprofile Oberflächenabdichtung		---	---
Beschriftung			
Ingenieurbüro Roth & Partner Gesellschaft m b H Roth-Engel-Platz 6, 50229 Langerhahn Tel. 02224-90-0, Fax 02224-90-100		Kleinsteube, den	
Datum	Name	Erstellt von	Erstellt durch
07.11.05	s. n/v		
Umg.			

Beitrag Basisabdichtungsaufbau

als Beispiel: 2 Systeme zur Zeit in Anwendung:

- Regelsystem nach TA Siedlungsabfall mineralische/KDB + Schutzschicht
- Alternativsystem mineralische/Asphaltdichtung, 3-lagig (DAV/DVWK)

Dipl.-Ing. Peter Huth

FMPA Stuttgart (Otto-Graf-Institut)

hierzu: Betrachtungen aus der Praxisberatung zur Planung und Qualitätssicherung und aus der Überwachung

Voraussetzung zur Ausführung:

Beide Dichtungselemente innerhalb des sog. "Kombinationsdichtungsaufbaues" sind prinzipiell als "Maßkonfektion" bei der Planung und Ausführung zu betrachten. Deshalb bedürfen sie einer intensiven Bauüberwachung und einer ausgesprochen handwerklichen Ausführungsfertigkeit. Diese Konzeptionsphilosophie ist im Bauwesen nicht neu, sondern Regel und Stand der Technik, wo Haut- bzw. Membranabdichtungen gegen von außen drückendes Wasser angewendet werden.

- im Tunnelbau
- in unterirdischen Verkehrsanlagen, wie U-Bahnbau, Straßenunterführungen, kerntechnischen Anlagen (Atomkraftwerke)
- tiefgründenden Gebäuden im Grundwasserbereich
- Talsperren- und Speicherbeckenanlagen im Wasserbau.

Bautechnisch jung ist deren Anwendung als Deckelement einer Kombinationsdichtung auf flächenhaften, dickschichtigen, mineralischen Dichtungsaufbauten für Deponieanlagen von Abfallstoffen. Hierbei ist aus der Sicht der bestehenden Anforderung auf sehr langfristige Funktionssicherheit, die realisierbare Füge- und Nahtverbindungstechnik so wie die Anschlußtechnik an andere Bauteile (Einbauten, Rohrdurchdringungen) von zentraler Bedeutung. Die Wirksamkeit des gesamten Haut- bzw. Membransystems hängt allein vom Gelingen dieses Ausführungsdetails ab, wenn man äußere mechanische Beschädigungen bei der KDB-Verlegung hierbei außer Betracht läßt.

In der Oberbekleidungsindustrie ist die "Maßkonfektion" die Ausstattungssteigerung vom "Anzug von der Stange" und der Superlativ der "Maßanzug", der dann noch ausge-

stattet meist mit zusätzlichen nähtechnischen Applikationen vom "Designmodell" übertroffen werden kann.

In der groben Erdbautechnik muß dagegen geradezu die umgekehrte Konzeptionsphilosophie gelten: Das Haut- bzw. Membrandichtungselement ist am funktionssichersten ausführbar, wenn die Voraussetzungen für den "Anzug von der Stange" vorhanden sind, die idealsten Verhältnisse sind:

- Abdichtungsfläche gefällelos, rechteckig und von großer Flächenausdehnung (> 25.000 m²), Neubauverhältnisse
- reale Verhältnisse sind:

Erweiterungsbereiche vorhandener Deponieanlagen mit Hangverschnitten und Bauabschnittsgrößen zwischen 3.000 und 10.000 m², teilweise mit Bauabschnittsunterbrechungen wegen fehlendem Feinmüllgut zur Überschüttung der Entwässerungsschicht mit Bauzeitverschiebungen in die kalten Jahreszeitschnitte, die den Einbau in den Grenzbereich der thermisch bedingten Verarbeitbarkeit der Dichtstoffe verschieben.

Die realen Verhältnisse erfordern deshalb ein enges Zusammenwirken von Planung, Bauleitung, Qualitätssicherung und Bauausführung. Sie sollten sich im Idealfalle gegenseitig befruchten, dem jedoch meistens die Vergabemodalitäten entgegen stehen.

Es ist aber zu betonen, daß ja eigentlich ein Dauerhaftigkeitsanspruch an das Gelingen der fertigen Bauleistung gestellt wird, der weit über denjenigen der übrigen Bautechnik hinausgeht, höchstens noch vergleichbar mit den Ansprüchen an kerntechnische Anlagen (Atomkraftwerke).

Kritische Punkte im "Maßkonfektionsanzug" von Haut- und Membrandichtungselementen sind, wie schon ausgeführt:

- Fügenähte in Bahnen
- Nähte in Asphaltbelägen
- Anschlüsse an andere Bauteile
- Dichtungsdurchdringungen wie Rohrdurchführungen.

Sie sind deshalb so kritisch, weil alle diese Ausführungsdetails nur dann funktionssicher ausführbar sind, wenn sich alle verantwortlich Beteiligten über deren Abhängigkeit von den jeweilig erforderlichen thermischen Verarbeitungsbedingungen und deren Auswirkungen im Einzelnen im Klaren sind.

Zum Beispiel:

- Geländeverhältnisse mit Hangverschnitten führen bei KDB-Verlegungen zu einer beträchtlichen Erhöhung des Fügenantanteiles und damit zu einer Steigerung der Kerbempfindlichkeit des Gesamtdichtungsbaus, abgesehen davon, daß unvermeidbare Wellenbildungen zusätzliche Faltenaufschnitte und Nachschweißungen erfordern.

- Randwalle und Randdämme mit höheren Böschungsneigungen $1 : < 4$ sind durchaus geeignet für den Einbau von Asphaltbelägen. Sie sind aber nur dann realisierbar, wenn deren Geometrie auf die entsprechenden maschinentechnischen Ausrüstungen aus der Asphaltichtungstechnik abgestimmt sind (gezogene Fertiger und Walzen bzw. Verdichtungsplatten). Dies ist deshalb bisher recht ungenügend planerisch einschätzbar, weil die Anbieter für derartige Membrandichtungen vorwiegend aus dem Asphaltstraenbau kommen und mit den anders gearteten Verdichtungsanspruchen an Asphaltichtungsbelage wenig vertraut und wenig planunterstutzend sind. So werden selbst detaillierte Qualitatssicherungsplane unterlaufen, indem der Versuchsfeldaufwand während der Gesamtbauausfuhrung nur mehr oder weniger lückenhaft eingehalten wird.
- Generell ist auch meist über die Versuchsfeldvorbereitung nicht zu klären, ob die Tragfahigkeitsvoraussetzungen der mineralischen Dichtung später beim Einbau so gleichmäßig sind wie beim Versuch. So sind die vorgesehenen Versuchsfeldabmessungen für KDB-Verlegungen und Asphaltbelagarbeiten für sich allein durchaus ausreichend, lassen aber alle baubetrieblichen Randbedingungen wie Zu- und Abfahrtsverhaltnisse unberücksichtigt. Hier wäre das aus eigener Erfahrung bewährte Verfahren aus der Talsperrendichtungstechnik empfehlenswerter: Ausführung einer vollen Tageseinbauleistung mit allen Randbedingungen mit vertraglicher Abnahmezusage bei einwandfreiem Gelingen. Das Versuchsfeld außerhalb des Baubereiches bleibt erfahrungsgemäß ein absichtlich erzeugter Torso.

Zusammenfassung

- KDB und Asphaltbelags-Dichtungselemente in einer Deponie-Kombidichtung scheinen von außen betrachtet unvereinbar mit dem rauen Erdbaubetrieb für die mineralische Dichtung.
- Dies hängt jedoch damit zusammen, daß der Stand ihrer Technik in ihrer Gesamtheit in Kombination mit der Erdbautechnik jung ist, daran erkennbar, daß es eine "Makonfektionstechnik" ist.
- Der Aufwand für die Verlegetechnik steigt überproportional für alle Beteiligten je kleiner die Verlegeflache und je komplexer deren geometrische Gestalt ist (Verlegeflachen $\leq 5.000 \text{ m}^2$).
- Die Verlegung setzt eine ständig gegenwärtige Überwachung und sofortige Mängelbeseitigung voraus; wie es in den bautechnischen Bereichen mit Abdichtungen gegen drückendes Wasser Regel der Technik ist und sein muß.

Das Modellvorhaben Kürzell – Ein Beispiel für eine sich selbst abdichtende Altablagerung?

Dr. rer. nat. Frank Wickert & Dipl. Geol. A. Zimmermann

IUT-Ingenieurgesellschaft für Umwelttechnik mbH, Karlsruhe

1 Zusammenfassung

In vier kleinen ehemaligen Kiesgruben westlich von Meißenheim-Kürzell, Oberrhein-graben, wurden stark öl- und schwermetallhaltige Textilien einer Reinigungsfirma Mitte der 60er Jahre eingelagert.

Die Altablagerung, die keine Oberflächen- und Basisabdichtung hat, weist hohe Gehalte an EBTX, KW, Schwermetallen und untergeordnet LHKW auf. Bei hohen Grundwasserständen liegt die Basis der Altablagerung im Grundwasser.

Trotz des hohen Schadstoffinventars und der hydrogeologischen Verhältnisse konnten im Grundwasser nur vergleichsweise geringe Verunreinigungen mit EBTX nachgewiesen werden. Die Altablagerung wird von einer bis zu 1 m mächtigen Schicht aus "schwarzen Kiesen" unterlagert. Diese Schicht entstand wahrscheinlich während der Ablagerung durch mikrobiellen Umbau. Eine starke Durchlässigkeitsverminderung dieser Sedimente bewirkte eine Selbstabdichtung der Altablagerung.

2 Einführung

Die Altablagerung Meißenheim-Kürzell befindet sich an der B36 ca. 10 km nordwestlich von Lahr. Im Zeitraum zwischen 1963 und 1968 wurden stark öl- und schwermetallhaltige Textilien einer Reinigungsfirma in 4 Gruben eingelagert.

Seit 1985 laufen die Erkundungsmaßnahmen am Standort. 1987 wurde der Standort von der Landesanstalt für Umweltschutz Baden-Württemberg als "Vorhaben mit Modellcharakter" des Landes Baden-Württemberg ausgewiesen. Ziel ist, exemplarisch Erkundungstechniken am Modellvorhaben zu erproben und die gewonnene praktische Erfahrung auf andere Standorte zu übertragen.

3 Altablagerung, Geologie und Hydrogeologie

Die Altablagerungsfläche beträgt ca. 1100 m². Bei einer durchschnittlichen Mächtigkeit von 0,75 m ergibt sich ein Altablagerungsvolumen von 825 m³.

Das Altablagerungsgut besteht aus Textilfasern, Filz, Flusen und Plastik in einer schluffigen bis kiesigen Matrix. Organoleptische Auffälligkeiten ergaben sich durch starken Geruch nach Mineralölkohlenwasserstoffen und aromatischen Kohlenwasserstoffen. Nach der Ablagerung wurde eine bis 1 m mächtige Abdeckung aus schluffigem, sandigem und kiesigem Sediment mit hausmüllartigen Anteilen und Bauschutt aufgebracht. Unterhalb der Altablagerung ist lithologisch kein dichtender Untergrund vorhanden.

In der Altablagerung wurden Gehalte an Schwermetallen, KW und EBTX im 10er g-Bereich pro kg und LHKW im mg/kg Bereich nachgewiesen. Direkt unterhalb der Altablagerung wurden noch Verunreinigungen an EBTX und langkettigen KW festgestellt. Diese weisen immer noch 30-40 % der in der Altablagerung angetroffenen Gehalte an Schadstoffen auf.

Untersuchungen im Eluat an Proben aus und unterhalb der Altablagerung zeigten, entsprechend den hohen Feststoffwerten, gute Mobilität von KW und Blei, untergeordnet von Ni, Cu und Zn.

Der Untergrund im Bereich der Altablagerung besteht aus sandigen Kiesen des oberen Kieslagers. Es herrschen freie Grundwasserverhältnisse vor. Die Flurabstände liegen zwischen 1,35 und 3,00 m. Die Basis der Altablagerung liegt zeitweise im Grundwasser.

Horizontierte Grundwasseruntersuchungen im Abstrom der Altablagerung ergaben EBTX-Gehalte über dem P-W-Wert im oberen Aquiferbereich. Punktuell konnten Gehalte an KW, PAK und Nickel festgestellt werden.

In Anbetracht der hydrogeologischen und lithologischen Rahmenbedingungen sind die nachgewiesenen Verunreinigungen im Grundwasser im Vergleich zu den Schadstoffgehalten in der Altablagerung bemerkenswerterweise gering. Dies deutet auf eine geringe Emission von Schadstoffen aus der Altablagerung hin.

4 "Schwarze Kiese"

Bei Untergrunduntersuchungen 1994 wurde unterhalb der Altablagerung ein ca. 1 m mächtiger Bereich aus "schwarzen Kiesen" angetroffen. Diese "schwarzen Kiese" zeigen ein mit der Altablagerung vergleichbares Spektrum an Verunreinigungen mit langkettigen KW, und EBTX zwischen 2 und 7 g/kg, Schwermetalle und LHKW im mg/kg Bereich.

Bei Laborversuchen wurde eine geringe Durchlässigkeit der "schwarzen Kiese" von durchschnittlich $1,5 \cdot 10^{-8}$ m/s ermittelt. Die im Labor ermittelten Durchlässigkeiten ent-

sprechen den im Altablagerungskörper bestimmten mit $1,3 - 2,3 \cdot 10^{-9}$ m/s.

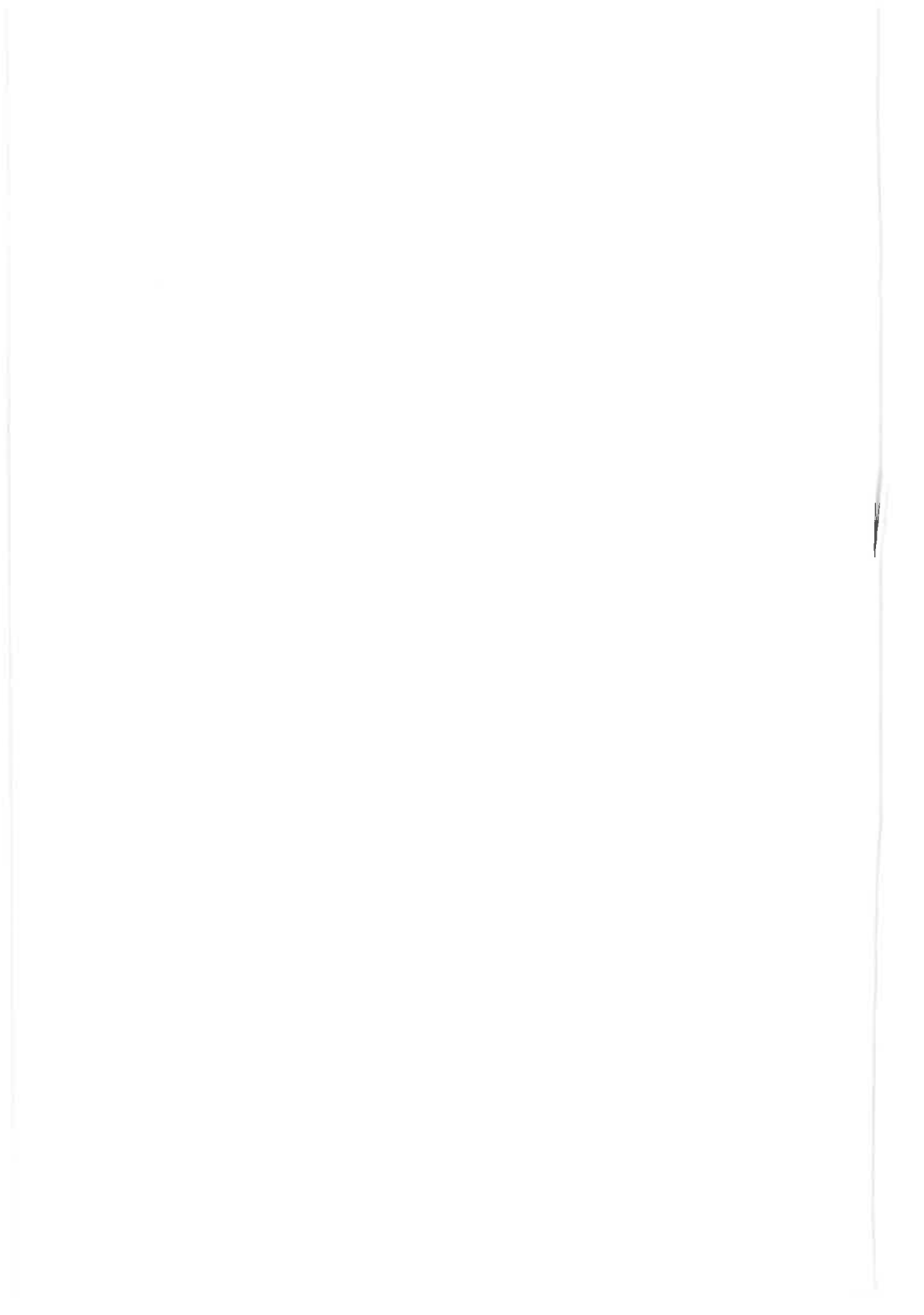
Mikrobiologische Untersuchungen in und unterhalb der Altablagerung ergaben, daß sich die Mikroorganismenflora bereits der Kohlenwasserstoffkontamination des Bodens angepaßt hat und die bioverfügbaren Kontaminanten grundsätzlich abbauen kann.

Sowohl die Altablagerung als auch die "schwarzen Kiese" unterhalb der Altablagerung weisen eine vergleichbar hohe mikrobiologische Aktivität auf

5 Die "schwarzen Kiese" als Selbstabdichtung der Altablagerung

Der Prozeß der Bildung der "schwarzen Kiese" mit der Durchlässigkeitsverminderung durch biologischen Abbau der Kohlenwasserstoffe ist noch genauer zu untersuchen. Es wird vermutet, daß bereits während der Altablagerung eine Verlagerung der Schadstofffront in den Untergrund mittels Sickerwasser erfolgte. Nach Beendigung der Ablagerung entstand vermutlich durch Einbringen der Abdeckung und natürlicher Verfestigung des Ablagerungskörpers nur noch wenig Sickerwasser.

Während und nach der Ablagerung erfolgte die Anpassung der Mikroorganismenflora an die vorhandenen Schadstoffe. Der mikrobielle Umbau bewirkte eine Verringerung der Durchlässigkeit der "schwarzen Kiese". Die geringe Durchlässigkeit verhindert weitgehend einen Austrag von Schadstoffen aus der Altablagerung. Während Grundwasserhochständen herrschen örtlich gespannte Grundwasserverhältnisse vor, wirken möglicherweise als geologische Barriere und verzögern einen Kontakt von Grundwasser mit der Altablagerung. Die "schwarzen Kiese" könnten somit als Selbstabdichtung der Altablagerung angesehen werden.



Sanierung der ehemaligen Deponie Zielgasse in Rheinfeldern

Dipl.-Ing. E. Robold

Trischler und Partner GmbH, Karlsruhe

1 Die Problemstellung

Bei der ehemaligen Deponie Zielgasse in Rheinfeldern handelt es sich um eine industrielle Altablagerung in Form der Betriebsdeponie eines ortsansässigen Chemieunternehmens. Bis Inkrafttreten des Abfallgesetzes 1972 wurde hier seit Ende der 30er Jahre die Ablagerung verschiedenster Chemieabfälle in einer trocken ausgebeuteten Kiesgrube behördlich geduldet. Umfangreiche, zunächst Historische, dann Technische Erkundungsmaßnahmen haben gezeigt, daß die enthaltenen Schadstoffe, vor allem leichtflüchtige chlorierte Kohlenwasserstoffe, aber auch andere chlorierte Verbindungen, wie z. B. Hexachlorbenzol, Pentachlorphenol, polychlorierte Biphenyle und Dioxine, über den Sickerwasseraustritt bis heute das Grundwasser gefährden, so daß eine Sanierung erforderlich war (Abbildung 1).

2 Die Untergrundverhältnisse

Die im Untersuchungsgebiet angetroffenen Bodenschichten lassen sich zunächst in eine, abhängig von der Geländemorphologie, bis zu 26 m mächtige Lockergesteinsfolge und eine darunter liegende Festgesteinsfolge gliedern. In der Lockergesteinsfolge lassen sich folgende Bodenschichten unterscheiden:

- anthropogene Deckschicht (kiesig, feinsandig, schluffig), Mächtigkeit bis 4 m,
- Auffüllung (kiesig, feinsandig, schluffig, Betonreste), Mächtigkeit bis 10 m,
- Rheinkies (sandig, grobe Geröllagen, Leerkieslagen), Mächtigkeit je nach Geländeniveau 11 bis 23 m (vgl. Abbildung 2 a),
- vereinzelt Schlufflinsen, Mächtigkeit bis 2 m.

Die Festgesteinsfolge wird nach lithologischen Gesichtspunkten wie folgt untergliedert:

- entfestigter Sand- und Schluffstein (Auflockerungszone), Mächtigkeit bis 2,5 m.
- Sandstein von hoher (bis sehr hoher) Härte bzw. Festigkeit (teilweise verkieselt),

Karneollagen und -nester, poröse Lagen und wasserführende Klüfte), z. T. mehrere Meter mächtige Schichtpakete, unterbrochen durch tonreicheren Sandstein oder Schluffsteinlagen.

- mürber, tonreicher Sandstein geringer Härte (dicht, ungeklüftet).

Aus Langzeitbeobachtungen des Grundwasserspiegels im kiesigen Grundwasserleiter resultiert im Westen des Baugrundstücks (Straßenniveau) ein Flurabstand von 13,5 bis 19,5 m und im Osten des Baugrundstücks ein Flurabstand von 0 bis 6 m (Abbildung 2 a).

Die Grundwasserverhältnisse im Kies lassen sich wie folgt charakterisieren:

- Der Kies weist eine außergewöhnlich hohe Durchlässigkeit auf ($k_F = 1 \cdot 10^{-2}$ m/s).
- Die "normale" Grundwasserfließrichtung weist nach Südosten bei einem sehr geringen Fließgefälle von i. M. ca. 0,3 ‰.
- Im Kies ist eine markante Schadstofffahne ausgebildet.
- Abhängig vom Grundwasseraufkommen und von der Entnahmeleistung der Trink- und Brauchwasserbrunnen kann eine Umlenkung des kontaminierten Grundwasserstromes zu den Trinkwasserbrunnen (nach Westen) erfolgen.

Das unterhalb der Auflockerungszone anstehende Festgestein kann unter gewissen Voraussetzungen als hinreichend dicht eingestuft werden.

3 Die Randbedingungen für die Planung

Die Besonderheiten der beschriebenen Baugrundverhältnisse, die mit besonderen Maßgaben für die Planung verbunden sind, lassen sich stichpunktartig wie folgt zusammenfassen:

- große zu überwindende Morphologieunterschiede,
- geringer (bei Höchstgrundwasserstand nicht vorhandener) Flurabstand im Osten der Deponie,
- bindige, nicht tragfähige Bodenschichten im Bereich der Arbeitsebenen und Baustelleneinrichtung
- Möglichkeiten von Auffüllungen unbekannter Qualität im gesamten Untersuchungsgebiet
- schadstoffhaltiges Material bereichsweise unmittelbar unter der Deponieoberfläche
- hohe Durchlässigkeit im Kies (Leerkieslagen)
- Felshorizont (Buntsandstein) mindestens bereichsweise sehr hart

Den vorgenannten Besonderheiten wurde im Rahmen der Planung in Form besonderer Standsicherheitsnachweise bzw. Materialanforderungen, besonderer Anforderungen an das Bauverfahren und besonderer Anforderungen hinsichtlich des Arbeits- und Emissionsschutzes Rechnung getragen.

Es ist zu betonen, daß die gesamte Sanierungsplanung darauf ausgerichtet ist, wäh-

rend der Baumaßnahme einen Kontakt mit Schadstoffen oder dem Deponat weitestgehend zu vermeiden bzw. auszuschließen und nach Möglichkeit alle verwendeten Materialien (Baustoffe, Erdaushub etc.) auf der Deponie zu belassen.

4 Das Sanierungskonzept

Das von Trischler und Partner erarbeitete Sanierungskonzept sieht als technisch sinnvollste und wirtschaftlichste Lösung eine vollständige Umschließung der Altlast mit einer Dichtwand vor. Die Dichtwand unterbricht allseitig den Schadstoffpfad im Kies und bindet in den überwiegend tonigen Buntsandstein als dichten Basishorizont ein (Abbildung 2 b). Über zwei großformatige Deponiebrunnen erfolgt nach Fertigstellung der Umschließung eine Spiegelabsenkung im Innern der Dichtwand zur Erzeugung eines hydraulischen Inversionsgefälles als zusätzliches Sicherungselement. Nach Fertigstellung der Dichtwand ist zur Vermeidung des Niederschlagswassereintritts eine mineralische Oberflächenabdichtung geplant (Abbildung 3). Nach behördlicher Genehmigung Ende 1994 ist nach Ausschreibung und Vergabe seit Herbst 1995 die Ausführung der Sanierungsmaßnahme im Gang.

5 Das Dichtwandverfahren

Aufgrund der besonderen Baugrundverhältnisse und der benötigten Wandtiefe von bis zu 30 m ist die Herstellung der Dichtwand nach dem 2-Phasen-Schlitzwandverfahren vorgesehen. Bei diesem Verfahren werden bekanntlich zunächst Primärlamellen in Pilgerschritten (1 - 3 - 5 - ...) ausgehoben und während und nach dem Aushub mit einer Bentonitsuspension (1. Phase) gestützt. Nach Erreichen der Endtiefe der Lamellen wird die Bentonitsuspension im Kontraktorverfahren gegen die eigentliche Dichtwandmasse (2. Phase) ausgetauscht. Wenn die Dichtwandmasse in den Primärlamellen eine ausreichende Festigkeit aufweist, können die zwischen den Primärlamellen liegenden Sekundärlamellen in der oben beschriebenen Art und Weise hergestellt werden.

Um die bis zu 5 m tiefe Einbindung in den Buntsandstein, die sich aus den geologischen Untersuchungen und hydraulischen Modellrechnungen als erforderlich erwiesen hatte, zu gewährleisten, war seitens der Planung vorgesehen, den gesamten Schlitzwandaushub mit einer Hydrofräse zu tätigen (Abbildung 4). Dabei wird das gelöste Boden- und Felsmaterial zusammen mit der Stützflüssigkeit abgepumpt und in einer Regenerierungsanlage von der Suspension getrennt. Die gereinigte Suspension wird dann im Kreislauf dem Schlitz wieder zugeführt.

Die Dichtwandtrasse wurde unter Berücksichtigung eines möglichst großen Abstandes zum Deponiekörper festgelegt. Die gesamte Länge der Umschließung beträgt rund 570 m, die erforderliche Dichtwandtiefe schwankt zwischen rd. 17 und 30 m, je nach Lage und Felseinbindung, als Dichtwandbreite wurde ein Maß von 0,8 m festgelegt.

6 Die Dichtwandmasse

Als Dichtwandbaustoff wird eine zementfreie, feststoffreiche Zweiphasen-Dichtwandmasse eingesetzt. Diese Masse besteht zu 90 Gew-% aus inerten Feststoffen wie Kies, Sand, nicht quellfähigen Tonen (Kaolinit) sowie geringen Anteilen von Steinkohleflugaschen als Füller und zur Festigkeitserhöhung. Die Einzelkomponenten sind so auszuwählen und in der Rezeptur so abzustimmen, daß die Korngrößenzusammensetzung der Feststoffe der sog. Fuller-Parabel folgt. Dadurch wird der zwischen den Feststoffen bestehende Porenraum minimiert. Der verbleibende Porenraum wird mit einer Lösung aus Wasser, Wasserglas und zwei Dichtwandreaktiven der Hüls AG, DYNAGROUT DWR-A und DYNAGROUT DWR-B, gefüllt (vgl. Abbildung 5). Diese Lösung geliert nach einer gewissen, einstellbaren Zeit und verkittet die Feststoffe so miteinander, daß ein Baustoff mit extrem geringer Materialdurchlässigkeit entsteht. Die DYNAGROUT-Zweiphasen-Masse hat eine Dichte von $\rho \geq 2,0 \text{ g/cm}^3$ und gleicht im flüssigen Zustand optisch am ehesten einem Frischbeton der Konsistenz KF. Im ausreagierten Zustand weist die Masse eine lediglich geringe (einaxiale Druck-) Festigkeit von rd. 50 kN/m^2 auf, die im Endzustand (vollständige Verfüllung der Lamellen) zwar ausreichend ist, die für die verschiedenen Bauzustände aber gewisse Überlegungen erforderlich macht.

Die Eignung der DYNAGROUT-Zweiphasen-Masse wurde hinsichtlich ihrer Verarbeitbarkeit, ihres Festigkeitsverhaltens, hinsichtlich ihrer Dichtheit und Schadstoffresistenz aber auch ihrer grundwasserhygienischen Verträglichkeit durch umfangreiche Versuchsreihen nachgewiesen.

7 Die Qualitätssicherung

Die Wirksamkeit der geplanten Sicherungsmaßnahme hängt stark von der Qualität der eingesetzten Materialien und der ordnungsgemäßen Ausführung der einzelnen Bauelemente ab. Eine die Baumaßnahme begleitende Qualitätssicherung ist daher unverzichtbar. Sie muß sicherstellen, daß die dem Stand der Technik entsprechend festgelegten Qualitätskriterien eingehalten und damit Material- und Herstellungsfehler vermieden werden.

Die qualitätssichernden Maßnahmen beginnen bereits mit der fachtechnischen Prüfung der zur Genehmigung eingereichten Planunterlagen durch die Fachbehörden und einen unabhängigen Sachverständigen (Prüfgutachter).

Der Prüfgutachter übernimmt dabei die geotechnische Beratung der Fach- und Genehmigungsbehörden und begleitet die Fremdprüfung während der Bauausführung.

Die Qualitätssicherung während der Bauzeit wird zum einen von der Eigenüberwachung durch den Hersteller, zum anderen von der Fremdüberwachung durch ein unabhängiges Fachinstitut wahrgenommen, das im Einvernehmen zwischen Auftraggeber und Genehmigungsbehörde beauftragt wurde.

Die Eigen- und Fremdüberwachung sehen laufende Kontrollen und Materialuntersu-

chungen während der gesamten Bauzeit vor. Art und Umfang der Untersuchungen sind in einem umfangreichen Qualitätssicherungsplan festgelegt, der in enger Abstimmung zwischen Planer und Prüfgutachter erstellt wurde. Der Qualitätssicherungsplan legt Grenzwerte und Toleranzbereiche für die Ausgangskomponenten, aber auch für die eigentlichen Baustoffe (Stützsuspension, Dichtwandmasse) fest und regelt das Vorgehen bei Abweichungen von den Toleranzbereichen.

Neben den Materialprüfungen regelt der Qualitätssicherungsplan die Kontrolle der Schlitzherstellung (Geometrische Vermessung der Lamellen, Überschneidung der einzelnen Lamellen, Vertikalität, Einbindung etc.).

Ein wesentliches Element der Qualitätssicherung ist die Herstellung eines Versuchskastens vor Beginn der eigentlichen Maßnahme. Damit sollen Bauverfahren und -materialien für den Einsatz unter den vorliegenden Randbedingungen, aber auch das "Überwachungswesen" (Meßgrößen, Meßzyklen, Datenverwaltung etc.) getestet und optimiert werden.

8 Projektbeteiligte

Bauherr:	Hüls AG, Rheinfelden
Bauoberleitung:	Hüls AG, Marl
Planung und Bauüberwachung:	Trischler und Partner GmbH, Karlsruhe
Genehmigungs- und Fachbehörde:	Landratsamt Lörrach
Prüfgutachter:	Ingenieurgemeinschaft für Umwelt- und Geotechnik (Prof. Brauns, Dr. Kast) Karlsruhe / Ettlingen
Fremdüberwachung:	Geotechnisches Institut Weil
Ausführende Firma:	Bilfinger und Berger, HNL Essen/NL Freiburg
Eigenüberwachung:	Jessberger und Partner, Bochum

9 Stand der Arbeiten (Januar 1996)

Derzeit wird der Versuchskasten in der südwestlichen Ecke der Dichtwandtrasse hergestellt. Besonderes Augenmerk gilt hierbei dem Aushubverfahren für die Primärlamellen. Einem Sondervorschlag des Unternehmers folgend, werden die Primärlamellen bis zum Felshorizont mit einem Schlitzwandgreifer ausgehoben. Das anstehende Festgestein wird anschließend (unter Suspensionsstützung des Schlitzes) mit großformatigen Loch-an-Loch-Bohrungen gelöst und zermahlen und mittels Schlitzwandgreifer ausgehoben. Nach Erreichen der Endtiefe (ausreichende Einbindung in den Fels!) erfolgt der Austausch 1. Phase gegen 2. Phase. Die Sekundärlamellen werden – wie

geplant – mit der Fräse hergestellt. Eine umfangreiche Dokumentation der Herstellung des Versuchskastens soll Planer und Prüfgutachter Aussagen über die weitere Vorgehensweise (Aushubverfahren, Qualitätskontrolle etc.) ermöglichen.

Sanierung der Deponie Zielgasse in Rheinfelden

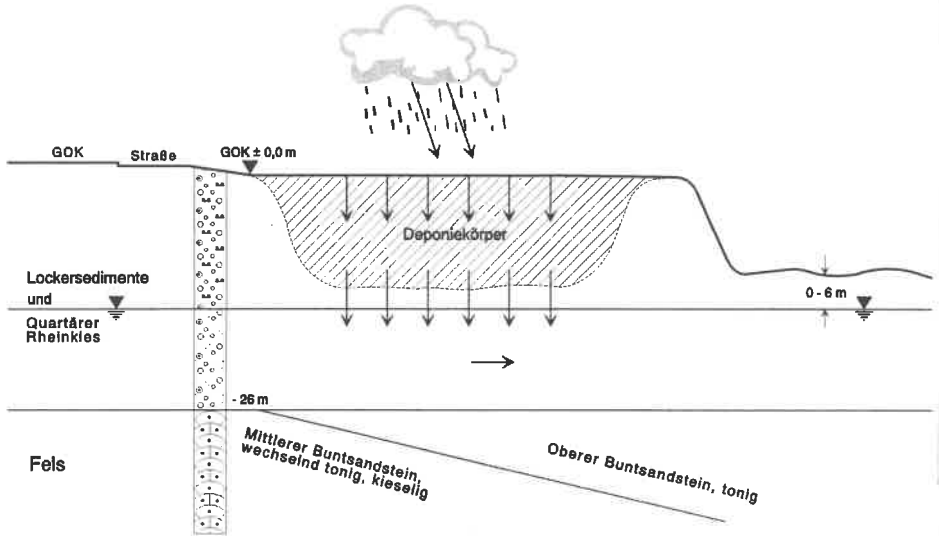


Abbildung 2a: Schnitt durch die Deponie

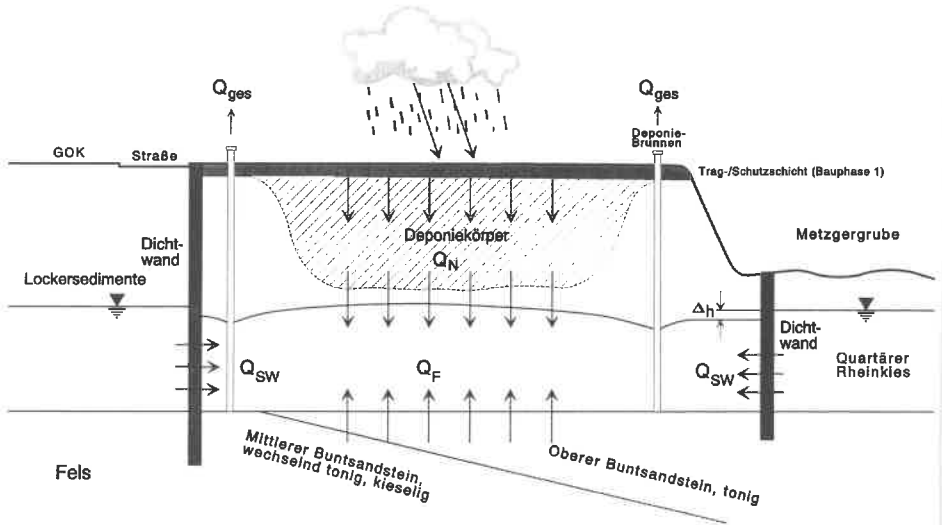


Abbildung 2b: Schnitt mit Dichtwandumschließung der Deponie

322672vortragb0EPGEO PMS a.a./Jan 96

Sanierung der Deponie Zielgasse in Rheinfelden

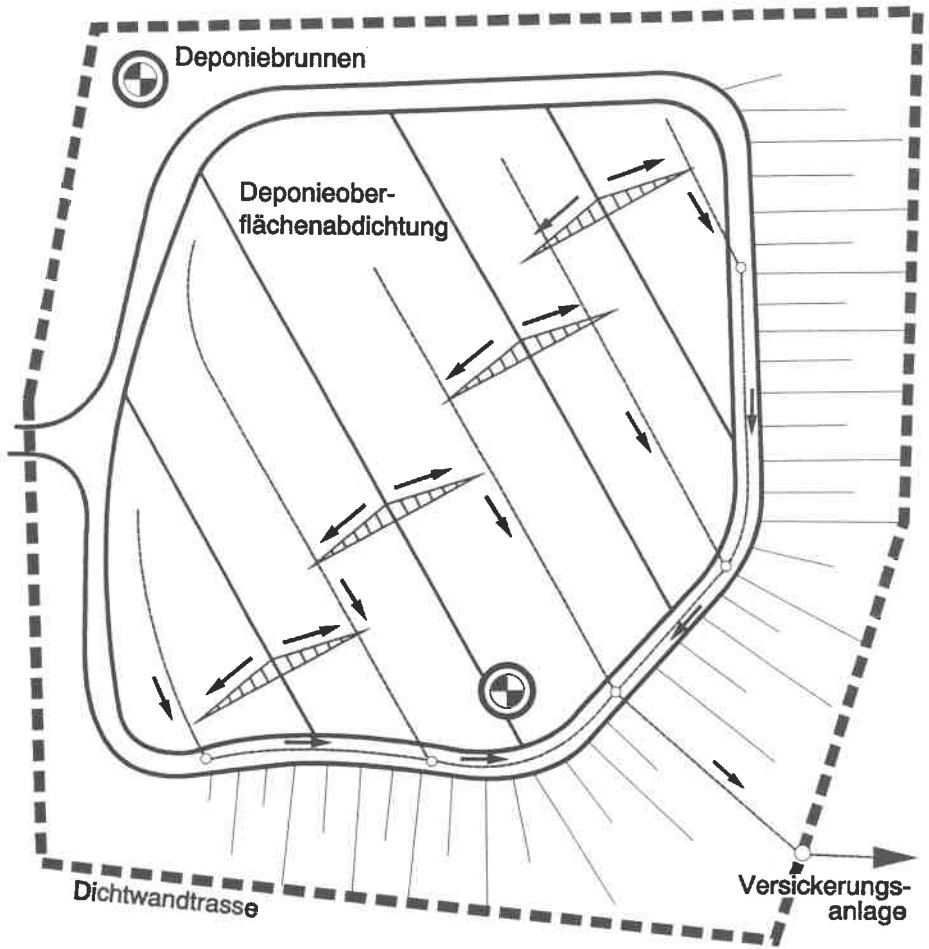


Abbildung 3: Dichtwandtrasse und Oberflächenabdichtung



Sanierung der Deponie Zielgasse in Rheinfelden

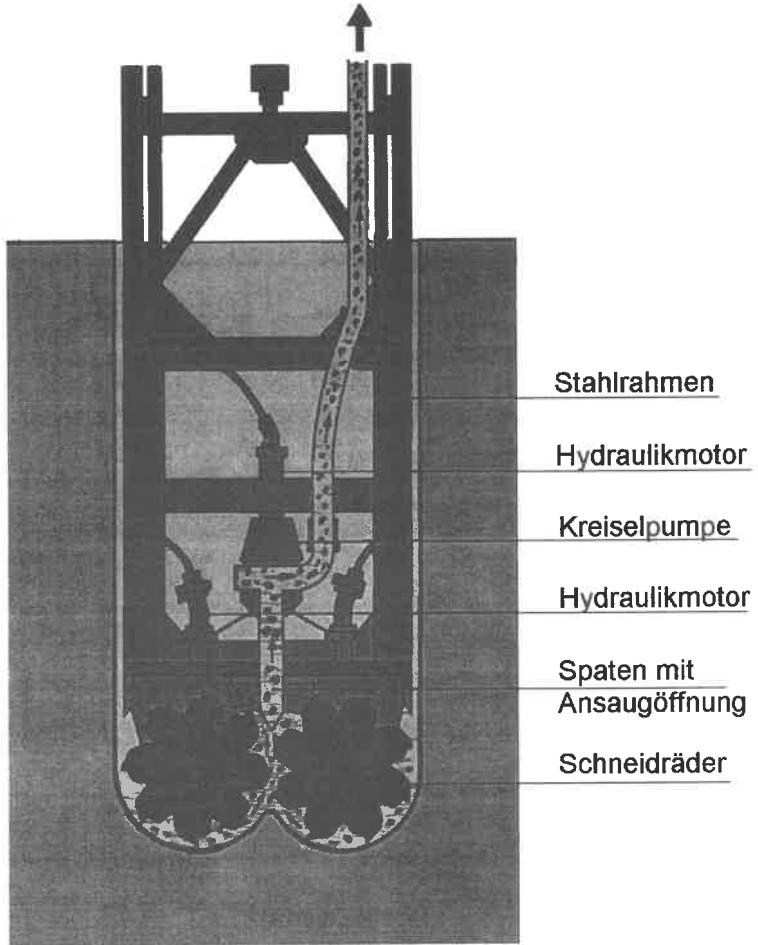


Abbildung 4: Prinzipskizze der Fräse

Sanierung der Deponie Zielgasse in Rheinfelden

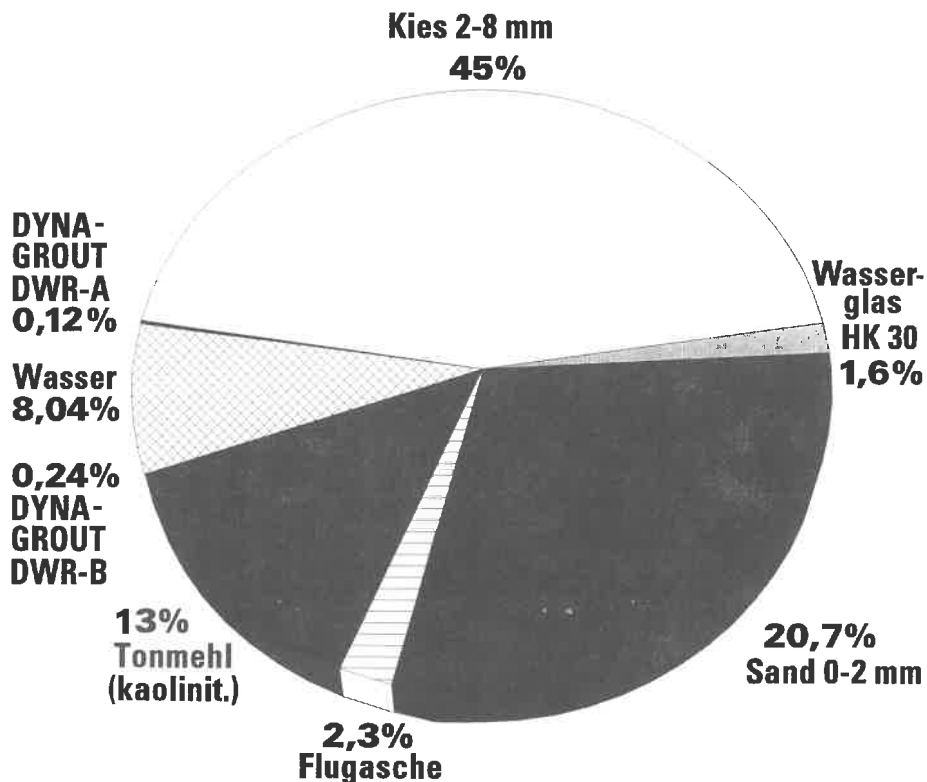
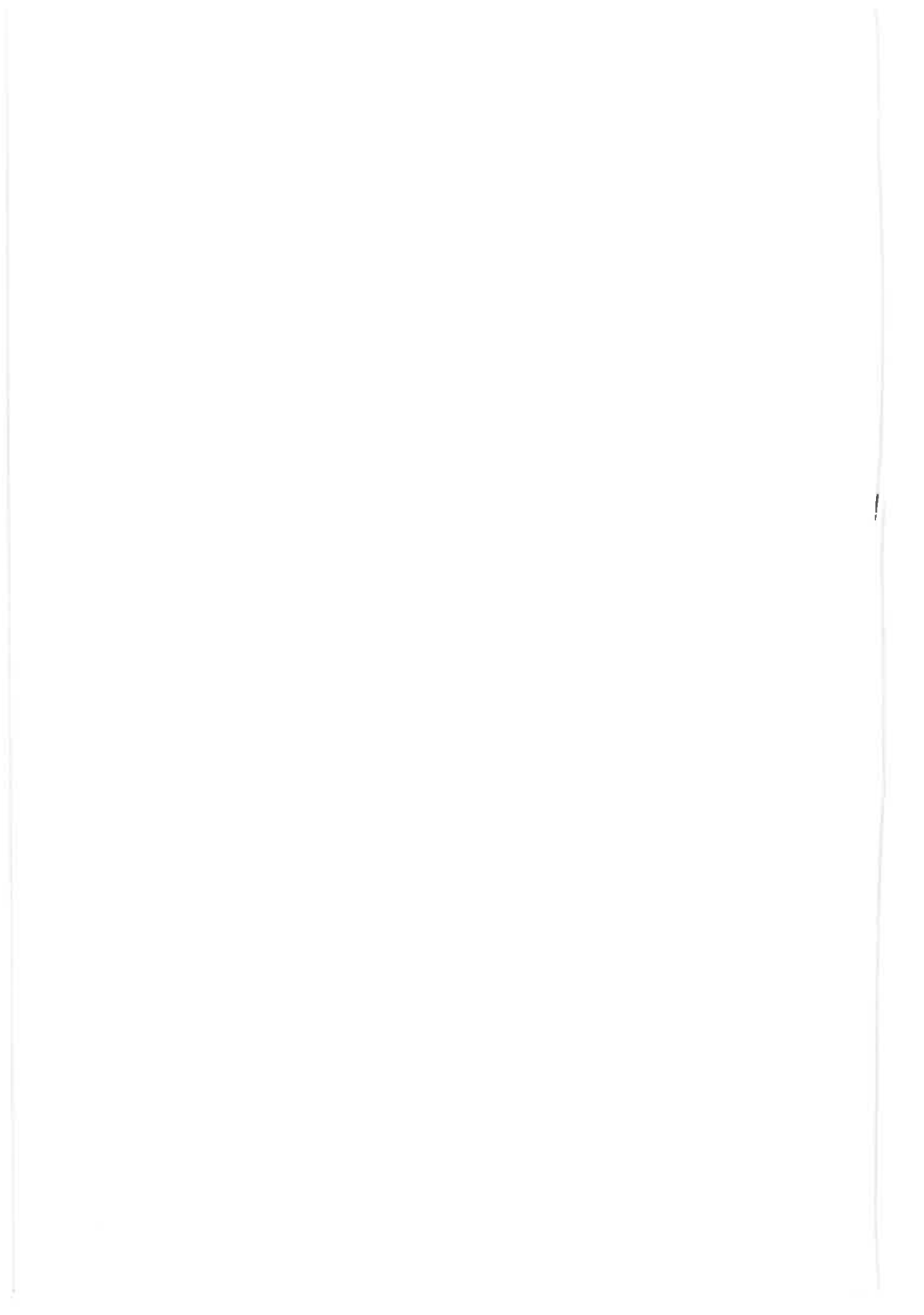


Abbildung 5: Zusammensetzung der DYNAGROUT® - Zweiphasenmasse



Workshop

**Chemische und physikalische
Eigenschaften**

EINSATZ VON ORGANOBEENTONIT IM DEPONIEBAU UND DESSEN GEOTECHNISCHE EIGENSCHAFTEN

Dipl.-Ing. Irene Fiechter

Institut für Geotechnik, Universität Stuttgart

ZUSAMMENFASSUNG

Um das Adsorptionsvermögen und das Adsorptionsspektrum von mineralischen Abdichtungsmaterialien zu vergrößern, kann eine Vergütung mit Organobentonit erfolgen. Die Auswirkungen einer 3 und 6%igen Zugabe auf die geotechnischen Eigenschaften werden an Mischungen mit Lößlehm, Opalinuston und Tertiärem Ton untersucht. Dazu wurden im Rahmen der Eignungsuntersuchungen im Labor die Atterberggrenzen der Mischungen mit Wasser und verschiedenen organischen Prüfflüssigkeiten bestimmt und das Durchlässigkeitsverhalten in Dreiaxialzellen bei konstantem hydraulischen Gefälle beobachtet.

1 EINLEITUNG

Deponiebasisabdichtungen unterliegen im Vergleich zu herkömmlichen Erdbauwerken vielfältigeren Einwirkungen:

- Frost und Austrocknung während der Herstellung,
- Wärme infolge Müllumsetzung,
- Spannungen und Verformungen infolge ungleichmäßiger Auflast und Untergrundsetzungen,
- chemische, physikalische und biochemische Einwirkungen infolge Sickerwasserkontakt.

Diese komplexen Beanspruchungen der Deponiebasis und der hohe Sicherheitsanspruch machen eine intensive Erforschung geeigneter Dichtstoffe auch für die Zukunft notwendig.

Langfristige Dichtigkeit und Beständigkeit der Abdichtungen gegenüber anfallendem Deponiesickerwasser sind Hauptforderungen bei der Problemlösung in der Mülldeponierung. Eine Verringerung des Schadstoffaustrags aus einer Deponie kann nur dann erzielt werden, wenn der konvektive, diffusive und sorptive Transport und deren Wech-

selwirkungen erkannt und für die jeweiligen Belange optimal ausgenutzt werden (d.h. geringe Durchlässigkeit und Diffusion bei hohem Adsorptionsvermögen). In der TA Siedlungsabfall [1] wird für das mineralische Abdichtungsmaterial lediglich ein Grenzwert der Durchlässigkeit gefordert, der allein keine ausreichende Dichtigkeit garantiert. Es gibt keine Vorgaben für die Schadstoffdiffusion durch die mineralische Abdichtung und, "... der Anteil und die Art der Tonminerale ist auf das im Einzelfall erforderliche Adsorptionsvermögen abzustimmen (mind. 10 Gew.%)“ [1].

Bild 1 zeigt verschiedene Abdichtungssysteme, die sich in den Baustoffen, der Herstellung und den Abmessungen unterscheiden und somit nur bedingt als gleichwertig gemäß TA Siedlungsabfall einzustufen sind. Der grundlegende Aufbau besteht aus einer künstlichen Abdichtung als Konvektionssperre über einer mineralischen Dichtung, die sowohl abdichtende als auch adsorbierende Funktionen übernehmen muß. Sickerwässer können sowohl durch herstellungs- und alterungsbedingte schadhafte Stellen der künstlichen Abdichtung sickern als auch durch intakte Abdichtungen diffundieren und mit dem mineralischen Dichtstoff in Wechselwirkung treten. Zur Verbesserung des Sorptionsvermögens der mineralischen Abdichtung wird bereits vielfach der Einsatz von Organobentonit in der obersten Schicht empfohlen ([2], [3]).

Um den Materialanforderungen, wie Feinstanteil, Plastizität und Durchlässigkeit gerecht zu werden, gehört das Einmischen von Bentonit in die mineralische Abdichtung im Deponiebau seit langem zum Stand der Technik. Wissenschaftliche Untersuchungen der letzten Jahre haben jedoch gezeigt, wie veränderlich die Eigenschaften der Dichtungsmaterialien in Kontakt mit Deponiesickerwasser und Prüfchemikalien sein können [4]. Anorganische und organische Verbindungen können durchaus die Plastizität und die Quellfähigkeit von Abdichtungsmaterialien reduzieren und die Schrumpftendenz und Durchlässigkeit der Tone bzw. Bentonit-Boden-Mischungen erhöhen.

Organobentonite sind technisch modifizierte Bentonite, welche ein hohes Adsorptionsvermögen und breites Adsorptionsspektrum gegenüber organischen Verbindungen und Schwermetallen aufweisen [6]. Diese besondere Eigenschaft wird in einigen Gebieten der Umwelttechnik ausgenutzt: Abwasser- und Abluftreinigung, Stabilisierung und Verfestigung flüssiger, organischer Abfälle und Immobilisierung organischer Schadstoffe in kontaminierten Bodenaushub und Bauschutt. Eine praktische Anwendung in der Deponietechnik zur Erhöhung des Schadstoffrückhaltevermögens in der mineralischen Dichtschicht oder in der geologischen Barriere fand bisher noch nicht statt.

Für alle Baustoffe bzw. Mineralgemische, die als Abdichtungsmaterial zum Einsatz kommen, ist u.a. die geotechnische Eignung nachzuweisen. Dazu ist für die Anwendung von Organobentoniten von besonderem Interesse, wie sich die bodenmechanischen und bodenphysikalischen Eigenschaften der Mischungen nach einer Vergütung verhalten, und ob sich diese Eigenschaften nach längerem Schadstoffkontakt verändern.

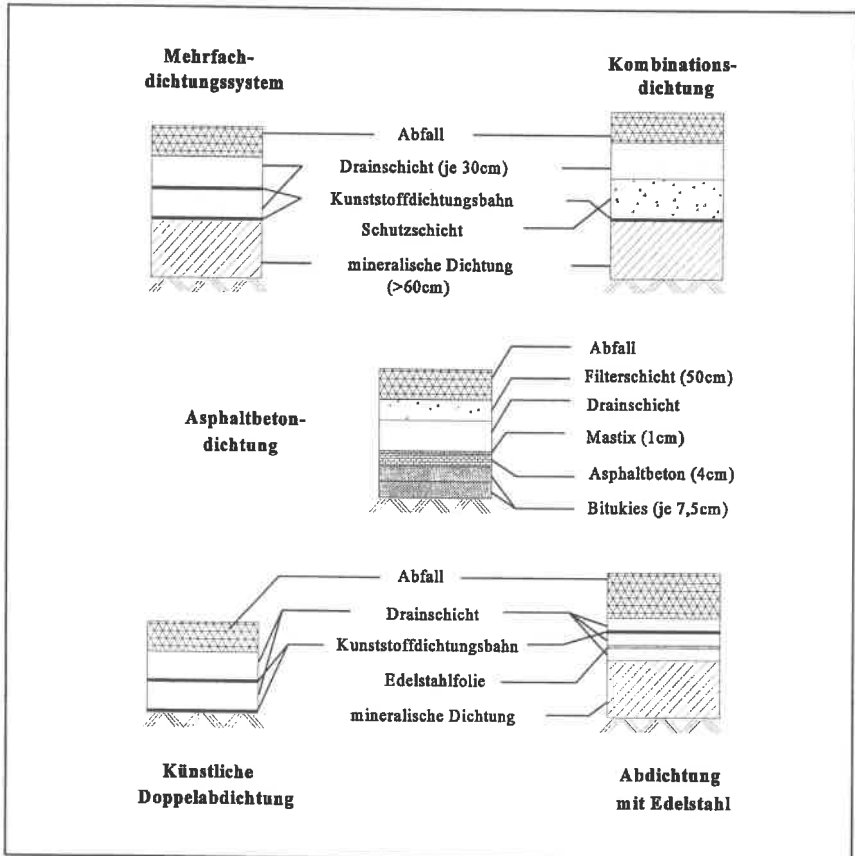


Bild 1: Verschiedene Ausführungen von Deponiebasisabdichtungen [5]

2 UNTERSUCHUNGSMATERIALIEN

Für die Laboruntersuchungen wurde ein halborganophiler Bentonit (TIXOSORB der Firma Süd-Chemie AG) verwendet, der im Vergleich zu anderen Organobentoniten und im Hinblick auf örtliche und zeitliche Schwankungen in der Sickerwasserzusammensetzung das breiteste Adsorptionsspektrum aufweist [6]. Bei diesem Organobentonit werden 50% der natürlichen Gegenionen des Rohbentonits durch organische Kationen (Dimethyldialkylammonium, C-18-Ketten) ersetzt. Die ursprünglich hydrophilen Zwischenschichten werden durch die Einlagerung hydrophob und gleichzeitig organophil (organische Verbindungen anziehend). In diesen modifizierten Zwischenschicht-

ten können nun sehr gut unpolare organische Verbindungen adsorbiert werden (Bild 2). Weitergehende Beschreibungen der Adsorptionsphänomene finden sich in [7], [8].

Als Ausgangsmaterialien wurden entsprechend ihrer Praxisrelevanz drei verwitterte Tone aus dem südwestdeutschen Raum ausgewählt: ein Lößlehm aus Talheim bei Heilbronn, ein Opalinuston aus Frickenhausen bei Nürtingen und ein Tertiärer Ton aus Malsch bei Heidelberg. Alle Böden sind ohne zusätzliche Vergütung als Abdichtungsmaterial gemäß TA Abfall, Anhang E [1] einsetzbar und unterscheiden sich deutlich in ihrer Tonmineralzusammensetzung (Tab. 1).

	Lößlehm	Opalinuston	Tertiärer Ton
nat. Wassergehalt w_n [%]	18	22,2	17,8
Fließgrenze w_L [%]	35,2	47,5	51,1
Ausrollgrenze w_P [%]	15,8	19,5	21
Plastizitätszahl I_P [%]	19,4	28,1	30,1
Zustandsform	steif	steif	steif - halbfest
Schrumpfgrenze w_s [%]	13,7	17,9	16
Feinstanteil $<2\mu\text{m}$ [%]	25	47	49
Aktivitätszahl I_A [-]	0,8	0,6	0,6
Kalkgehalt V_{ca} [%]	1,9	0	3,6
Glühverlust V_{gl} [%]	3,7	6,9	7,3
Zusammensetzung der Tonfraktion:			
Quarz	2	8	4
Kaolinit	2	19	13
Chlorit	10	<10	20
Mixed Layer Illit/Smektit	45	30	30
Illit	<40	35	<30
Anteil quellfähiger Tonminerale am Gesamtmaterial	15	19	25

Tab. 1: Klassifikationsergebnisse und Tonmineralzusammensetzung der Ausgangsmaterialien

Da Deponiesickerwässer i. d. R. verdünnte wässrige Lösungen von Schadstoffen darstellen und nur für einen bestimmten Zeitpunkt und einen bestimmten Ort repräsentativ sind, wurden für alle durchgeführten Eignungsuntersuchungen entsprechende Konzentrationen organischer Prüflösungen gewählt. Die Auswahl erfolgte nach Gesichtspunkten wie Toxizität, Wasserlöslichkeit, Änderung der Zusammensetzung während der Versuche und repräsentative Schadstoffklasse im natürlichen Deponiesickerwasser. Tab. 2 zeigt die verwendeten Vergleichs-, Einstoff- und Mehrstofflösungen. Sie unterscheiden sich deutlich in der Wasserlöslichkeit, der Polarität, dem pH-Wert und der elektrischen Leitfähigkeit.

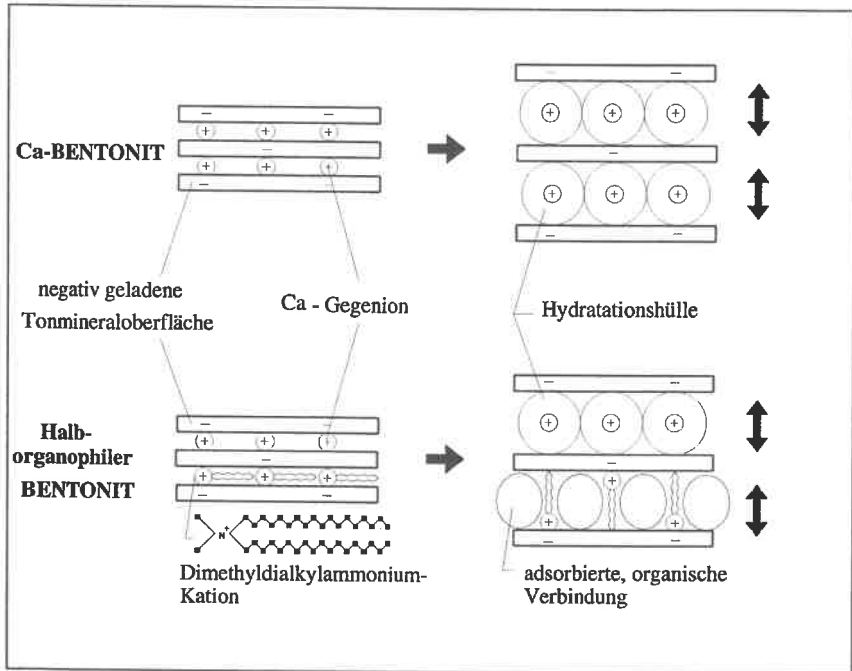


Bild 2: Adsorptionsmechanismen bei gleichzeitigem Quellvorgang (modifiziert nach [6])

	pH-Wert (20°C)	el. Leitfähigkeit [$\mu\text{S}/\text{cm}$] (25°C)
Vergleichslösungen:		
Entionisiertes Wasser	6,8	7
Leitungswasser	7,0	329
Einstofflösungen:		
1% Phenollösung	6,8	27
1% Triethanolaminlösung	9,3	134
Mehrstofflösungen:		
10% Essig- Propionsäure (1:1)	2,4	1.400
synthetisches Sickerwasser *	4,7	11.100
Hausmüllsickerwasser	8,0	23.700

Tab. 2: Verwendete organische Prüflösungen (* vom Arbeitskreis GDA empfohlen: 0,15 mol/l Natriumacetat, 0,15 mol/l Essigsäure, 0,05 mol/l Glyzin, 0,007 mol/l Salizylsäure)

3 PLASTIZITÄT DER MISCHUNGEN

Fließ-, Ausrollgrenze bzw. Plastizitätszahl stellen Grundkenngrößen für Korrelationen in der Geotechnik dar. So können daraus überschlägig die Proctordichte, der optimale Wassergehalt, die Durchlässigkeit, der Kompressionsbeiwert, der Reibungswinkel und die Scherfestigkeit des undrainierten Bodens abgeschätzt werden.

Um Aussagen treffen zu können, inwieweit das hydrophobe Verhalten des Organobentonits Einfluß auf das Plastizitätsverhalten hat, wurden die Ausgangsböden mit 3 und 6% Organobentonit vermischt und deren Atterberggrenzen nach DIN 18122 bestimmt. Eine detaillierte Versuchsbeschreibung findet sich in [9]. Die Ergebnisse sind in Tab. 3 zusammen mit Standardabweichung und Versuchsanzahl angegeben.

Organobentonitanteil	Plastizitätszahl I_p [%] (Standardabweichung / Anzahl)		
	Lößlehm	Opalinuston	Tertiärer Ton
0 %	19,4 (1,3 / 8)	28,1 (2,7 / 5)	30,1 (4,6 / 12)
3 %	19,4 (0,9 / 6)	28,2 (2,4 / 7)	30,1 (4,4 / 10)
6 %	20,8 (1,4 / 7)	28,4 (2,6 / 5)	26,5 (1,8 / 5)

Tab. 3: Plastizitätszahlen der Boden-Organobentonit-Mischungen

Die Plastizitätszahlen der drei unvergüteten Ausgangsmaterialien nehmen erwartungsgemäß mit abnehmender Korngröße und zunehmenden Anteil an quellfähigen Tonmineralen zu (s. Tab. 1). Dabei sind die Streubreiten der Ausrollgrenzen bei allen Versuchen geringer, als die der Fließgrenzen bei gleichem Boden. Die Streubreiten der Plastizitätszahlen nehmen in der Reihenfolge Lößlehm - Opalinuston - Tertiärer Ton zu.

Eine Zugabe von 3% Organobentonit verändert die Plastizität aller Böden nicht wesentlich. Erst die Zugabe von 6% zeigt eine geringe Änderung der Plastizität:

Eine Erhöhung bei Lößlehm um 7%, bei Opalinuston um 1%, eine Reduzierung bei dem Tertiären Ton um 12%. Die Atterberggrenzen reagieren unterschiedlich auf das Verhältnis der vorhandenen Tonminerale zu dem zugegebenen Organobentonit. So erhöht der Organobentonit die Fließgrenze des Lößlehms (vorwiegend illitischer Ton, wenig quellfähige Tonminerale, s. Tab. 1) deutlich, während die Ausrollgrenze weit weniger beeinflußt wird. Die hydrophilen Adsorptionsplätze des Organobentonits erhöhen die Wasseranlagerungsmöglichkeiten und somit die Quellfähigkeit und die Plastizität des Lößlehms. Die Zugabe von 6% Organobentonit zu dem stärker quellfähigen Tertiären Ton (25% quellfähige Tonminerale) reduziert die Fließgrenzen beträchtlich, während die Ausrollgrenzen nahezu konstant bleiben. Die Bildsamkeit wird stärker durch die hydrophoben Adsorptionsplätze des Organobentonits beeinflußt.

Um die Auswirkungen verschiedener organischer Prüflüssigkeiten auf die Plastizität der unvergüteten und mit Organobentonit vergüteten Tonen festzustellen, wurde das Ausgangsmaterial auf einen Wassergehalt $<w_p$ (Wassergehalt an der Ausrollgrenze) getrocknet und anschließend mindestens 4 Tage in die Prüflüssigkeit eingeweicht, ehe die Atterberggrenzen konventionell bestimmt wurden ($I_{p\text{Chem}}$). Bild 3 zeigt die Ergebnisse. Die bezogene Plastizität ist der Quotient aus der Plastizitätszahl mit Chemikalie ($I_{p\text{Chem}}$) durch die Plastizitätszahl mit Wasser (I_p) bei gleichem Material.

Die Plastizität des unvergüteten Lößlehms vergrößert sich mit allen organischen Testlösungen, wobei eine leichte Zunahme mit steigendem pH-Wert festzustellen ist. Ein Organobentonitanteil von 3% verändert die Plastizität $I_{p\text{Chem}}$ je nach Testlösung unterschiedlich. Die Plastizitätszahlen $I_{p\text{Chem}}$ liegen deutlich über denen mit Wasser I_p . Die 6% Vergütung bei Lößlehm zeigt mit allen Testlösungen eine erhebliche Reduzierung des Plastizitätsbereichs im Vergleich zur 3% Vergütung, wobei die "Chemikalien-Plastizität" ($I_{p\text{Chem}}$) der Essig-Propionsäure und des synthetischen Sickerwassers geringer als die "Wasser-Plastizität" (I_p) der Mischung ist.

Ein Vergleich mit den beiden anderen Böden zeigt, daß der Lößlehm eine geringere Empfindlichkeit in Bezug auf die chemischen Wechselwirkungen mit den organischen Testlösungen aufweist, was auf den geringeren Feinstanteil und auf den Tonmineralbestand (geringer Smektitanteil) zurückzuführen ist. Die Empfindlichkeit nimmt mit zunehmendem Feinstanteil und zunehmendem Anteil an quellfähigen Tonmineralen zu.

Das natürliche Sickerwasser einer Hausmülldeponie erhöht bei allen unvergüteten Böden und deren Mischungen die Plastizität. Das synthetische Sickerwasser, womit die Anfangsphase einer Deponie simuliert werden soll, bewirkt bei allen Mischungen eine deutliche Reduktion der Plastizität im Vergleich zu Wasser. Den größten und den dem natürlichen Sickerwasser ähnlichsten Einfluß auf die Plastizität aller Böden hatte die 1%ige Triethanolaminlösung. Sie wurde deshalb für alle weiteren Eignungsuntersuchungen, wie Durchströmungsversuche und Quellversuche, verwendet.

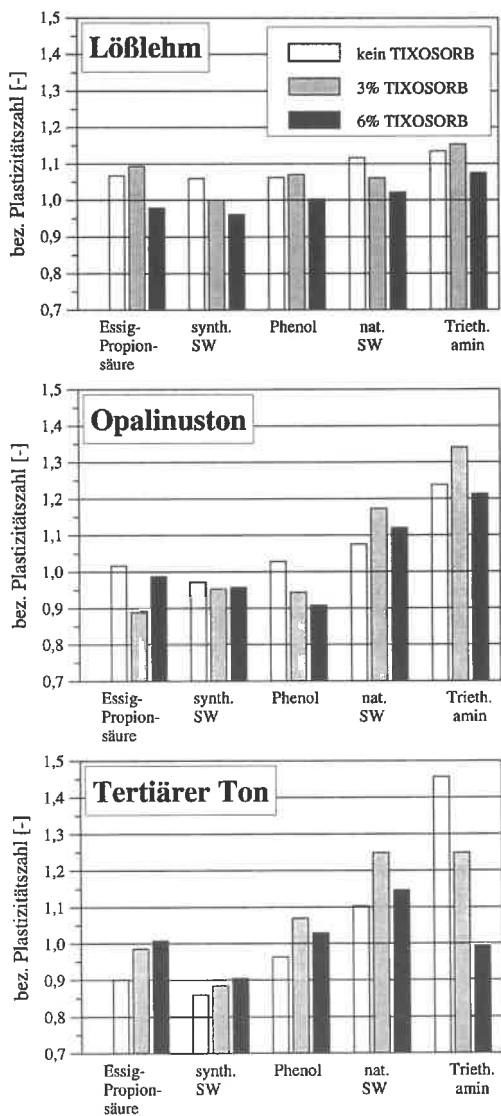


Bild 3: Bezogene Plastizität der Ausgangsböden und der Mischungen mit Organo-bentonit

4 DURCHSTRÖMUNGSVERHALTEN

Um das Durchlässigkeitsverhalten der mit Organobentonit vergüteten Dichtungsmaterialien ausreichend beurteilen zu können, wurden Durchströmungsversuche mit Leitungswasser und 1 %iger Triethanolaminlösung durchgeführt. Das austretende Porenwasser wurde auf elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert untersucht, um eine evtl. auftretende Gleichgewichtsphase zu registrieren. Mögliche Ionenanlagerungen bzw. Ionenausspülungen können somit qualitativ erfaßt werden [10].

Die Proben ($d = 9,6 \text{ cm}$, $h = 8 \text{ cm}$) wurden in Dreiaxialzellen mit isotroper statischer Belastung und konstantem hydraulischen Gefälle unter Verwendung eines Sättigungsdrucks durchströmt. Eine genaue Beschreibung des Versuchsaufbaus findet sich in [9]. Nach gezielter Wasserzugabe im Labormischer wurden die Mischungen im Ausstechzylinder verdichtet, ausgepreßt, eingebaut und einige Tage mit einem Druck zwischen 200 und 300 kPa gesättigt. Für die durchgeführten Untersuchungen wurde der hydraulische Gradient zwischen 30 und 700 eingestellt, damit mindestens ein zweimaliger Porenvolumenaustausch während der vorgegebenen Durchströmungsdauer erfolgte. Zu Versuchsbeginn wurden alle Proben mit entlüftetem Leitungswasser von unten nach oben durchströmt. Nachdem Sättigung und Konsolidation abgeschlossen war, wurde teilweise das Wasser durch die Triethanolaminlösung ausgetauscht. Das Ende der Sättigung wurde dadurch festgestellt, daß die ein- und ausströmende Wassermengen in bestimmten Zeitintervallen konstant waren.

In Bild 4 sind beispielhaft die Durchströmungsversuche von Opalinuston ohne, mit 3% und mit 6% Organobentonit dargestellt. Die Einbaudaten aller Proben liegen auf der jeweiligen Proctorkurve und unterscheiden sich lediglich im Verdichtungsgrad. In die Diagramme ist der k_{10} -Wert-Verlauf und die elektrische Leitfähigkeit des entnommenen Eluats an der Ausströmseite über die Versuchsdauer aufgetragen.

Man erkennt, daß zu Beginn aller Versuche die Durchlässigkeit infolge Sättigung und Konsolidation abnimmt. Diese Abnahme ist größer, je geringer der Verdichtungsgrad der Proben ist. Mit steigendem Organobentonitanteil und bei gleichen Einbaudaten (entsprechender Wassergehalt bei gleichem Verdichtungsgrad) steigt die Durchlässigkeit an. Ursache dieser Erscheinung wird in einer möglichen Gefügeänderung in Richtung Kartenhausstruktur gesehen, wie sie STOCKMEYER bereits 1992 [6] während seiner Durchlässigkeitsuntersuchungen im Kompressionsdurchlässigkeitsgerät festgestellt hat.

Auffallend ist, daß die elektrische Leitfähigkeit des Eluats bei den Proben ohne Organobentonit kein Maximum aufweist, wo hingegen bei den 3%- und 6%-Mischungen ein deutlicher Anstieg zu verzeichnen ist. Dies läßt auf eine erhöhte Ionenausspülung infolge Organobentonit-Zugabe schließen. Eine erhöhte Ionenausspülung ändert den Durchlässigkeitsbeiwert jedoch nicht. Der Austausch von Wasser durch die Triethanolaminlösung zeigt eine geringfügige Änderung im k -Wert-Verlauf bei der 3%- und 6%-Mischung, was auf das erhöhte Quellvermögen bezüglich organischen Chemikalien zurückzuführen ist. Trotz mehrmaligem Porenvolumenaustausch mit der Prüflösung wur-

de bei allen Versuchen kein Schadstoffdurchtritt registriert. Die Triethanolaminlösung wurde zumindest während dieser Versuchsdauer durch das Organobentonit adsorbiert.

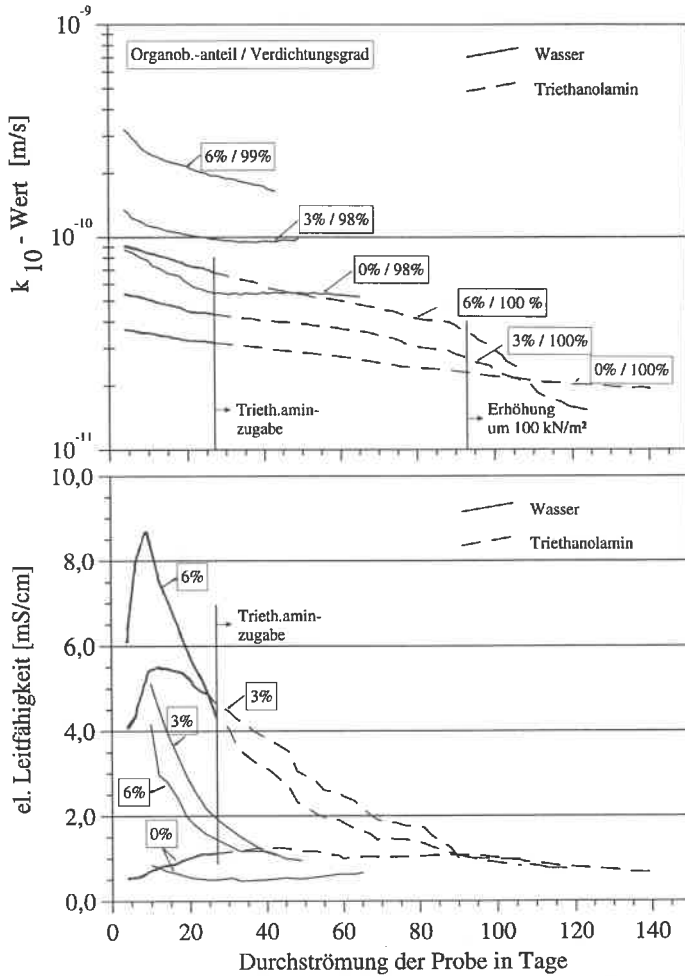


Bild 4: Durchströmungsversuche von Opalinuston und dessen Organobentonit-Mischungen

LITERATUR

- [1] TA SIEDLUNGSABFALL (1993): Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz. - Bundesanzeiger, Verlagsges. mbH, Köln.
TA ABFALL, TEIL 1(1991): Gesamtfassung der Zweiten allgemeinen Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz. - Bundesanzeiger, Verlagsges. mbH, Köln.
- [2] WEISS, A. (1989): About sealing of waste disposals by clays with special consideration of organic compounds in percolation water. - Applied Clay Science, 4, S. 193-209.
- [3] SCHALL, N., SIMMLER-HÜBENTHAL, H. (1994): Organophile Bentonite zur Sicherung von Altlasten. - in H.L. Jessberger (Hrsg.) Sicherung von Altlasten, 10. Bochumer Altlasten Seminar, Balkema, Rotterdam, S. 203-212.
- [4] MADSEN, F.T., MITCHELL, J.K. (1989): Chemical Effects on Clay Hydraulic Conductivity and their Determination. - Mitt. Nr. 135, Inst. f. Grundbau u. Bodenmechanik, ETH Zürich.
- [5] PREGL, O. (1994): Deponietechnik. - Handbuch der Geotechnik, Band 19/2, 435 S., Inst. f. Geotechnik, Uni. f. Bodenkultur, Wien.
- [6] STOCKMEYER, M.R. (1993): Organophile Bentonite als Komponente in Deponiebarriere-Systeme. - Band 202, 90 5., Inst. f. Geotechnik, ETH Zürich
- [7] LAGALY, G. (1987): Clay-organic interactions: Problems and recent results. - Proc. o. the Int. Clay Conf., Denver, 1985, Schultz, L.G., Van Olphen, H., Mumpton, F.A., eds., The Minerals Society, Bloomington, Indiana, 343-351.
- [8] WOLFE, T.A., DEMIREL, T., BAUMANN, E.R. (1986): Adsorption of organic pollutants on montmorillonite treated with amines. Journal WPCF, Vol. 58, Nr.1, 68-76.
- [9] FIECHTER, 1., SMOLTCZYK, U. (1995): Veränderung der bodenmechanischen Eigenschaften von bindigen Erdbaustoffen nach Zugabe von organophilem Bentonit, vor und nach einer Beaufschlagung mit organischer Prüfflüssigkeit, Forschungsbericht PD 93124, Forschungszentrum Karlsruhe.
- [10] REUTER, E. (1988): Durchlässigkeitsverhalten von Tonen gegenüber anorganischen und organischen Säuren. - Mitt. Nr.26, Inst. f. Grundbau u. Bodenmechanik, Braunschweig.



Workshop

Entwässerungseinrichtungen

Entwässerungseinrichtungen bei Abfalldeponien

Dr.-Ing. Erwin Gartung

LGA-Grundbauinstitut, Nürnberg

1 Einleitung

Alle Anstrengungen im Deponiebau dienen dem Zweck, den Austritt von Schadstoffen aus dem Abfall in die belebte Natur zu verhindern. Da Wasser als Transportmedium für die Schadstoffe die entscheidende Rolle spielt, ist die technische Grundaufgabe des Deponiebaus die Verhinderung der unkontrollierten Wasserströmung aus der Deponie heraus. Die Mittel, die dem Ingenieur zur Lösung dieser Aufgabe zur Verfügung stehen, sind Abdichtungselemente, die Wasserwege absperren und Entwässerungselemente, die die Fassung und Ableitung des Wassers ermöglichen. Eine Abdichtung ohne entlastende Wasserableitung führt bei ständiger Wasserzufuhr zu einem immer größer werdenden Aufstau und ist deshalb im Deponiebau nicht brauchbar. Dichtungen und Entwässerungen müssen in Verbindung miteinander gesehen werden. Die Konstruktionselemente, die diese beiden Funktionen übernehmen, beeinflussen sich gegenseitig. Eine Flächendrainage ist bekanntlich nur wirksam, wenn sie ausreichendes Gefälle besitzt. Die Forderung nach ausreichendem Gefälle für das Entwässerungssystem bedingt die geometrische Ausbildung der darunter liegenden Abdichtung. Das gesammelte Wasser muß aus dem dichten Behälter, der den Deponiekörper umschließt, herausgeführt werden. Deshalb müssen die Ableitungsrohre die Dichtung durchdringen. Damit die Durchdringungen von Rohrleitungen nicht unnötig viele Schwachstellen in der Abdichtung verursachen, muß der Entwurf des Entwässerungssystems unter dem Gesichtspunkt optimaler Funktion der Dichtung erstellt werden. Diese Beispiele zeigen, daß Abdichtung und Entwässerung im Deponiebau eng miteinander verknüpft sind und dementsprechend bei Entwurf und Bauausführung gemeinsam betrachtet werden.

Eine Abfalldeponie verfügt in der Regel über drei weitgehend voneinander unabhängige Entwässerungssysteme:

- Vorkehrungen zur Fassung und schadlosen Ableitung des Oberflächen- und Fremdwassers
- Einrichtungen zur Fassung und Ableitung des infiltrierten Niederschlags aus dem Oberflächenabdichtungssystem

- Basisentwässerungssystem

Die Einrichtungen, die dazu dienen, den Wasserzutritt von außerhalb der Deponie zu unterbinden, z.B. die Oberflächenwasserfassung, Hanggräben und ähnliches, sind wie bei anderen Bauwerken vom Beginn der Baumaßnahmen notwendig. Sie müssen während der Bauzeit und auch danach auf unbegrenzte Zeit gewartet und unterhalten werden. Sie werden im Deponiebau ebenso ausgebildet wie im übrigen Erdbau und werden daher hier nicht weiter betrachtet.

Oberflächenentwässerungssysteme für das infiltrierte Niederschlagswasser werden erst eingebaut, wenn der eigentliche Deponiebetrieb beendet ist. Sie müssen auf unbegrenzte Zeit ihren Zweck erfüllen, sind aber im Versagensfall mit erträglichem Aufwand reparierbar oder auch ersetzbar. Basisentwässerungen hingegen werden bereits mit der Basisabdichtung vor dem Beginn des Deponiebetriebs eingerichtet. Ihre Funktionszeit beginnt bereits im Bauzustand. Die hydraulische Belastung der Basisentwässerung ist während der Betriebsphase der Deponie am größten. Nach Fertigstellung der Oberflächenabdichtung nimmt die Sickerwasserrate an der Deponiebasis deutlich ab. Dennoch ist auch für das Basisentwässerungssystem eine langfristige, ja, eine Dauerwirksamkeit zu fordern, denn spätere Reparaturen an Elementen des Basisentwässerungssystems sind außerordentlich aufwendig.

2 Basisentwässerung

Zur Sammlung und Ableitung des Sickerwassers aus dem Deponiekörper wird an dessen Basis eine vollflächig ausgebildete Entwässerungsschicht angeordnet. Sie besteht aus grobporigem, sehr gut durchlässigem mineralischem Material, das das Sickerwasser im freien Gefälle Sickerrohren zuführt, die es sammeln und ableiten. Die Rohre müssen zum Zweck der Reinigung und Inspektion zugänglich sein. Deshalb enden sie in begehbaren Schächten oder Stollen, die zugleich die Funktion der Sickerwassersammlung übernehmen. Von hier aus wird das Sickerwasser einer Behandlungs- oder Kläranlage zugeführt.

Neben den genannten Elementen, Entwässerungsschicht, Sickerrohre, Schächte und Stollen können dem Basisentwässerungssystem noch die Schutzlage zur Verhinderung von mechanischen Beschädigungen der Kunststoffdichtungsbahn an der Unterseite der Flächendrainage und eine Filterlage an ihrer Oberseite zugeordnet werden.

Für die Planung und die Bauausführung von Basisentwässerungssystemen sind derzeit folgende Regelwerke zu berücksichtigen:

- TA-Abfall, insbesondere Anhang E
- TA-Siedlungsabfall
- DIN 19 667 Dränung von Deponien
- GDA E 2-9 Grundsätze für die Anwendung von Geotextilien

- GDA E 2-14 Entwurfsgrundsätze zu Basis-Entwässerungssystemen für Siedlungsabfalldeponien
- GDA E 3-9 Eignungsprüfung für Geotextilien
- GDA E 3-12 Eignungsprüfung für mineralische Entwässerungsschichten
- GDA E 4-2 Herstellung von mineralischen Entwässerungs- und Schutzschichten
- GDA E 5-5 Qualitätssicherung für Geotextilien
- GDA E 5-6 Qualitätssicherung beim Bau mineralischer Entwässerungsschichten

2.1 Entwässerungsschicht

In den Verwaltungsvorschriften TA-Abfall und TA-Siedlungsabfall werden die Rahmenanforderungen festgelegt. Die Entwässerungsschicht an der Basis der Deponie ist in einer Dicke von mindestens 30 cm herzustellen, sie ist flächig aufzubringen und soll einen Durchlässigkeitsbeiwert von $1 \cdot 10^{-3}$ m/s nicht unterschreiten. Durch die Vorgabe des Mindestgefälles von 3 % in Richtung auf die Sickerrohre und 1 % in der Längsrichtung der Sickerrohre ist gewährleistet, daß das Sickerwasser im freien Gefälle abfließen kann.

Vor Jahren, zu Beginn des Baus und Betriebs geordneter Deponien, wurden für die Basisentwässerung noch Grobsand- Feinkieslagen eingebaut. Systematische Untersuchungen von RAMKE und BRUNE (1990) an verschiedenen Hausmülldeponien haben zu der Erkenntnis geführt, daß Dränschichten an der Basis biologisch aktiver Abfalldeponien infolge biogener Verkrustung in relativ kurzer Zeit ihre volle Wirksamkeit verlieren, wenn sie nicht von Beginn an sehr grobporig ausgebildet sind. Bei Dränmaterial aus Kalkstein wurde darüber hinaus eine deutliche Verlehmung infolge der chemischen Umsetzung des Kalks im sauren Sickerwassermilieu beobachtet. Diese Erkenntnisse wurden bei der Formulierung der TA-Abfall und der TA-Siedlungsabfall berücksichtigt. Über die Materialeigenschaften der Entwässerungsschicht machen die Verwaltungsvorschriften die allgemeinen Angaben, daß sie gegenüber den chemischen und physikalischen Einwirkungen an der Deponiebasis dauerhaft beständig sein muß und daß der Kalziumkarbonatanteil nicht größer sein darf als 20 %. Das Dränmaterial soll vorzugsweise aus Rundkorn der Fraktion 16/32 mm bestehen, alternative Entwässerungsschichten können zugelassen werden, wenn sie in ihrer dauerhaften Funktion der Regelausführung mindestens gleichwertig sind. Weitere Einzelheiten zu Entwässerungsmaterial für die Basisentwässerung enthalten die GDA-Empfehlungen.

In GDA E 2-14 sind Angaben über die Viskosität des Sickerwassers, über seine Temperatur und die Bandbreite seiner Zusammensetzung enthalten. Ferner wird für die Beanspruchung der Basisentwässerungsschicht empfohlen, einen Sickerwasseranfall von 10 mm/d in etwaigen hydraulischen Berechnungen anzunehmen. Es wird gefordert, daß der Sickerwassereinstau die Dicke der Entwässerungsschicht nicht überschreiten darf. Untersuchungen von RAMKE (1991) haben ergeben, daß diese Forderung bei Einhaltung aller Randbedingungen der Verwaltungsvorschriften für die Regelausbildung der Basisentwässerungsschicht erfüllt wird, so daß es nicht erforderlich ist,

im Einzelfall hydraulische Berechnungen für die Deponie Basisentwässerung aufzustellen.

Die GDA-Empfehlung E 3-12 präzisiert die Qualitätsanforderungen an das Material der mineralischen Entwässerungsschicht hinsichtlich der zulässigen Unterkornanteile. Danach gelten als Grenzwerte im eingebauten Zustand 15 % für das gesamte Unterkorn < 16 mm, 4 % < 8 mm, 2 % < 2 mm und 1 % < 0,06 mm. Für die Berücksichtigung der unvermeidbaren Kornzertrümmerung beim Einbau werden beim Eignungsnachweis des Entwässerungsmaterials etwas strengere Forderungen gestellt. Die Grenzwerte, die bei der Eignungsprüfung einzuhalten sind, werden angegeben mit 10 % < 16 mm, 2 % < 8 mm, 1 % < 2 mm und 0,5 % < 0,06 mm. Es kann allerdings nicht davon ausgegangen werden, daß bei Einhaltung dieser Grenzwerte im Eignungsnachweis automatisch auch die Anforderungen hinsichtlich der Kornzusammensetzung im eingebauten Zustand erfüllt werden. Einerseits gibt es bei grobkörnigem Material hinsichtlich der Empfindlichkeit gegenüber mechanischen Einwirkungen und der Neigung zur Kornzertrümmerung recht bedeutende Unterschiede, andererseits ist die tatsächlich bei der Bauausführung auftretende Kornzertrümmerung davon abhängig, ob und in welchem Umfang die Entwässerungsschicht von Baugeräten und -fahrzeugen überfahren wird.

Systematische Untersuchungen verschiedener mineralischer Entwässerungsmaterialien in Probeschüttungen von PRÜHS et al. (1995) haben ergeben, daß gerade sprödes Material wie z.B. quarzitische Kies beim Überfahren stark zur Kornzertrümmerung neigt. Es ist deshalb angezeigt, die Empfindlichkeit des Entwässerungsmaterials durch einen einfachen Labortest zu prüfen und das Einbauverfahren nach dem Versuchsergebnis festzulegen. Da die Kornzertrümmerungsversuche aus dem Straßenbau für die Beurteilung des Dränmaterials im Deponiebau ungeeignet sind, wurde ein spezieller Versuch mit den Geräten der Verdichtungsprüfung nach Proctor von PRÜHS und QUENZLER entwickelt. Das Versuchsverfahren ist in GDA E 3-12 beschrieben.

Bevor die einschlägigen, oben genannten GDA-Empfehlungen zu den Entwässerungsschichten existierten, wurde vielfach zwar Kies der Korngruppe 16/32 mm geliefert und eingebaut. Überprüfungen im Zuge der Abnahme zeigten jedoch, daß oft infolge der Zertrümmerungsempfindlichkeit der Mineralstoffe und des sorglosen Überfahrens mit Baufahrzeugen eine außerordentlich starke Veränderung der Kornzusammensetzung aufgetreten war. Die Erhöhung des Unterkornanteils von 10 % bei der Anlieferung auf > 30 % bei der Abnahme der mineralischen Entwässerungsschicht war keine Seltenheit. Inzwischen wird dem Einbau und dem Schutz der eingebauten Basisentwässerungsschicht auf vielen Baustellen größere Aufmerksamkeit gewidmet. Es ist anzuraten, die Angaben der GDA E 5-6 für die Qualitätssicherung der Basisentwässerungsschicht zu befolgen und vor der Abnahme die Prüfungen an dem eingebauten Material vorzunehmen. Die GDA-Empfehlungen geben auch Hinweise für geeignete Einbauverfahren. Für wenig empfindliches Material sind die in GDA E 4-2 empfohlenen Maßnahmen ausreichend. In manchen Fällen kann es jedoch erforderlich werden, darüber hinaus gehende Schutzvorkehrungen zur Begrenzung der Kornzertrümmerung zu treffen. Da die Untersuchungen zur Frage der mechanischen Festigkeit der Dränkie-

se noch nicht ganz abgeschlossen sind, ist damit zu rechnen, daß in dieser Hinsicht noch Änderungen in den Regelwerken notwendig werden können.

2.2 Filter

Wegen der Beeinträchtigung ihrer hydraulischen Wirksamkeit infolge biogener Verkrustung werden an der Basis von Hausmülldeponien keine speziellen Filter an der Oberseite der Flächendrains angeordnet. Damit sich im oberen Bereich der Dränschicht bei Eintrag feinerer Kornfraktionen von selbst ein Filter aufbauen kann, empfiehlt RAMKE (1991), die Dränschicht 50 cm dick auszuführen und nicht in der vorgeschriebenen Mindestdicke von 30 cm. Bei Deponien, in denen überwiegend körnige Stoffe abgelagert werden, z. B. bei vielen Sonderabfalldeponien und bei den Deponien für Reststoffe aus der Müllverbrennung ist es dagegen erforderlich, zwischen dem Müll und der grobkörnigen Dränschicht planmäßig einen Filter anzuordnen. Hierfür kommen entweder Mineralstoffe oder Geotextilien in Frage. Untersuchungen von KOSSENDEY et al. (1996) über die Langzeitwirksamkeit von Geotextilfiltern haben gezeigt, daß das Wachstum von Mikroorganismen in Geotextilfiltern im wesentlichen von dem Nährstoffangebot abhängt. Aus der experimentellen Studie kann der Schluß gezogen werden, daß die hydraulische Wirksamkeit von Filtervliesen an der Basis von biologisch wenig aktiven Abfalldeponien zwar durch mikrobielle Einflüsse reduziert wird, daß ihre Durchlässigkeit jedoch immer noch ausreicht, um eine einwandfreie Entwässerung des Abfallkörpers zu gewährleisten. Das Durchlässigkeitskriterium ist für den Filter also erfüllt. Bezüglich des Retentionskriteriums können für Filter an der Deponiebasis die üblichen Regeln angewendet werden, die in Deutschland vom DVWK veröffentlicht worden sind. Im Hinblick auf die Bedeutung, die Filter für die Mehrzahl der neuen Deponien der Kategorie II nach TA-Siedlungsabfall haben werden, wenn nur noch Reststoffe aus der Müllbehandlung mit < 5 % Kohlenstoff eingelagert werden, wäre es sehr zu begrüßen, wenn die Forschungsarbeiten über das Langzeitverhalten von Geotextilfiltern in Abfalldeponien, die seit einigen Jahren im Grundbauinstitut der LGA durchgeführt werden, fortgesetzt werden könnten.

2.3 Sickerrohrleitungen

An der Deponiebasis werden teilperforierte Rohrleitungen aus PEHD verlegt, die für eine schnelle Ableitung des gesammelten Sickerwassers sorgen sollen. Die Tragwirkung der Rohre im Zusammenwirken mit dem umgebenden Dränkies und dem Rohraufleger auf der mineralischen Abdichtungsschicht unter der zum Teil sehr hohen Auflast des Abfallkörpers ist nach wie vor nicht hinreichend bekannt. In der deutschen Entwurfspraxis werden für die Bemessung statische Berechnungen nach ATV-Regeln oder nach der Methode der finiten Elemente durchgeführt. Daraus ergeben sich Wandstärken von etwa 15 bis 40 mm. Bei derart dickwandigen, gelochten oder geschlitzten Rohren erscheint die dauerhafte Wirksamkeit der Wassereintrittsöffnungen zweifelhaft. Andererseits sind bei vielen Rohrleitungen Schäden aufgetreten, die darauf hin-

weisen, daß die statische Beanspruchung der Rohre an der Deponiebasis sehr groß ist und damit Rohre mit ausreichender Tragfähigkeit erforderlich sind. ZANZINGER und GARTUNG (1995) berichten über großmaßstäbliche Modellversuche, mit denen die derzeitigen Berechnungsverfahren überprüft werden. Die Ergebnisse sind noch nicht abschließend ausgewertet, sie lassen jedoch bereits erkennen, daß die Rohrverformung der entscheidende Bemessungsparameter ist und daß die derzeit angewandten Berechnungsverfahren die wirklich auftretenden Rohrverformungen unterschätzen. Hier besteht nach wie vor wissenschaftlicher Klärungsbedarf. Mit einer Verbesserung des Kenntnisstandes ist zu rechnen, wenn die im LGA-Grundbauinstitut laufenden Untersuchungen abgeschlossen sind. Das Deutsche Institut für Bautechnik in Berlin (DIBt) hat einen Sachverständigenausschuß eingerichtet, der einen Kriterienkatalog für die Zulassung von Sickerrohren und anderen Konstruktionselementen für den Deponiebau vorbereitet. In einiger Zeit ist also damit zu rechnen, daß ähnlich wie bereits seit langem bei den Kunststoffdichtungsbahnen, Zulassungen für Kunststoffrohre im Deponiebau erteilt werden.

Für die Herstellung der Basisabdichtungsschichten sind die Rohrleitungen eine Erschwernis. Die Ausbildung des Rohraufagers erfordert sehr akribische Detailarbeit. Sie beeinträchtigt insbesondere die Verlegung der Kunststoffdichtungsbahn und der darauf liegenden Schutzschicht. Trotz größter Sorgfalt bei der Bauausführung stellen die Bereiche unter den Rohrleitungen und die Rohrdurchdringungen Schwachstellen im Basisabdichtungssystem dar, ebenso tiefer geführte Gräben für irgendwelche Sammel-Rohrleitungen und die Anschlüsse an Schächte oder Stollen.

2.4 Schächte und Stollen

Schächte für die Reinigung und Wartung der Rohrleitungen sollen außerhalb des Deponiekörpers angeordnet werden. Bei zahlreichen alten Deponien gibt es jedoch Schächte innerhalb des Deponiekörpers. Viele davon sind infolge mechanischer Überlastung oder Korrosion beschädigt und müssen ersetzt werden. Derartige Bauarbeiten sind außerordentlich schwierig. Sie erfordern die Herstellung zum Teil sehr tiefer Baugruben im Müll unter erheblichen Erschwernissen für die Bauarbeiter. GDA E 4-3 gibt Hinweise hierzu. Gesundheitliche Risiken müssen minimiert werden und die Explosionsgefahr ist zu beherrschen.

Die Planung von Schachtbauwerken in Deponien ist mit einer Reihe von Unbekannten behaftet. Für Standsicherheitsberechnungen gibt es zwar theoretisch begründete Lastansätze, sichere Erkenntnisse über die Mechanismen im Müllkörper liegen aber nicht vor. Messungen an Schächten, über die GARTUNG et al. (1993) berichten, geben Hinweise für die statische Berechnung von Bauwerken, die unter vergleichbaren Bedingungen erstellt werden sollen.

Neuerdings werden als wesentliche Teile der Basisentwässerungssysteme auch Stollen an der Deponiesohle angeordnet. Wenn sie unterhalb der Basisabdichtung liegen, ergeben sich viele Durchdringungspunkte für Rohrdurchführungen, und die Abdich-

tung muß in der Umgebung des Stollens verstärkt werden. Liegen die Stollen dagegen oberhalb der Basisabdichtung, wird die Sicherung der Begehbarkeit für Inspektionen zum Problem. Das Stollenbauwerk muß dann gegen Korrosion im Deponiemilieu geschützt werden, und es müssen entsprechende Vorkehrungen getroffen werden, die einen Aufenthalt des Wartungspersonals im Stollen ohne Gesundheitsgefährdung ermöglichen. Die bisher an der Basis von AbfalldPONIEN angelegten Stollen sind im Hinblick auf den ingenieurmäßigen Aufwand und die Bau- und Betriebskosten sehr ein-drucksvoll. Ob sie sich langfristig als Betriebseinrichtungen und Komponenten der Ent-wässerungssysteme bewähren, wird die Zukunft zeigen. Unter dem Aspekt, daß Ab-falldPONIEN nach der Nachsorgephase sich selbst überlassen werden sollen, sind Stollen an der Deponiebasis nicht besser zu bewerten als Schächte innerhalb des De-poniekörpers.

3 Oberflächenentwässerungssysteme

Niederschlagswasser, das die Rekultivierungsschicht durchsickert, wird von der Ent-wässerungsschicht des Oberflächenabdichtungssystems abgeführt. In TA-Abfall und TA-Siedlungsabfall wird für den Regelaufbau das Mindestgefälle der Oberflächen-abdichtung mit 5 % vorgegeben. Ferner wird bestimmt, daß eine mineralische Entwässe-rungsschicht von mindestens 30 cm Dicke mit einem Mindestwert für die hydraulische Leitfähigkeit von $k = 1 \cdot 10^{-3}$ m/s anzuordnen ist. Diese Vorgaben müssen eingehalten werden, oder die Gleichwertigkeit anderer Entwässerungsschichten ist nachzuweisen. Die Festlegungen der Verwaltungsvorschriften ersetzen jedoch nicht eingehende Un-tersuchungen für den Entwurf des Oberflächenentwässerungssystems. Anders als an der Deponiebasis, wo man davon ausgehen kann, daß unabhängig von den Details des einzelnen Projekts mit korrekter Ausführung des Regelsystems eine ausreichende hy-draulische Funktion gewährleistet ist, sind für das Oberflächenentwässerungssystem die folgenden projektspezifische Nachweise zu führen:

- Hydrologische Ermittlung der unterhalb der Rekultivierungsschicht abzuführenden Entwurfswassermenge, d.h. der für die hydraulische Bemessung maßgebenden Sickerwasserspende
- Hydraulische Bemessung der Entwässerungsschicht für die Sickerwasserspende
- Böschungsstandsicherheit unter Berücksichtigung der hydraulischen Gegeben-heiten

Hinweise für die Berechnungen und für den Entwurf des Oberflächenentwässerungs-systems werden in GDA E 2-20 "Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungs-systemen" gegeben.

3.1 Hydrologische und hydraulische Berechnungen

Die Sickerwasserspende, die unterhalb der Rekultivierungsschicht abzuführen ist, ergibt sich als Differenz aus den Niederschlägen, dem Oberflächenabfluß, der Evapotranspiration und der Wasserspeicherung in der Rekultivierungsschicht. Offensichtlich spielen hierbei standortspezifische Parameter eine wichtige Rolle, und es ist nicht möglich, Daten von einem Projekt auf ein anderes zu übertragen. Für die Ermittlung der Sickerwasserspende werden neben der Böschungsgeometrie Informationen über den Schichtaufbau der Rekultivierungsschicht, deren Dicke, Verdichtungsgrad, Porenzahl, hydraulische Leitfähigkeit und Wasserspeichervermögen benötigt. Ferner müssen die Eigenschaften und das Verhalten des Bewuchses beschrieben werden, z. B. Blattflächenzahl, Durchwurzelungstiefe und Wasserverbrauch. Schließlich gehen die wichtigsten lokalen Klimadaten in die hydrologischen Berechnungen ein. Es ist deshalb zweckmäßig, an einem vorgesehenen Deponiestandort so früh wie möglich eine Wettermeßstation einzurichten und bereits für den Entwurf eigene Wetterdaten zu gewinnen. Wenn keine standortspezifischen Wettermessungen vorliegen, sind aus den Aufzeichnungen der nächstgelegenen Wetterstation, bei Bedarf mit Ergänzung durch Daten aus dem Deutschen Klimaatlas, die Tagesmittelwerte der Temperatur, Tagessummen des Niederschlags und der Globalstrahlung, Werte der Luftfeuchte und Temperatur um 14:00 Uhr zu beschaffen. Wie aus allen Daten dann unter Zuhilfenahme geeigneter Rechenverfahren die für die hydraulische Bemessung der Oberflächenentwässerungsschicht maßgebende Sickerwasserspende ermittelt wird, beschreibt RAMKE (1995).

In der bisherigen Praxis des Deponiebaus sind in Deutschland genauere hydrologische Untersuchungen für das Oberflächenentwässerungssystem noch eher die Ausnahme als die Regel. Die GDA-Empfehlung E 2-20 gibt Anregungen für die erforderlichen Untersuchungen. Sie folgt weitgehend der Veröffentlichung von RAMKE (1995) und empfiehlt das amerikanische Rechenprogramm HELP 3 (Hydraulic evaluation of landfill performance). Das HELP Programm wurde von SCHROEDER et. al. (1994) für die amerikanische Umweltbehörde US Environmental Protection Agency (US EPA) entwickelt. Es ist bei US EPA kostenfrei erhältlich. In den USA werden von den Genehmigungsbehörden Berechnungen mit dem HELP Programm für jede Deponie verlangt. Ein vergleichbares Rechenprogramm speziell für die hydrologischen Verhältnisse bei Abfalldeponien in Mitteleuropa ist derzeit nicht für die Fachwelt verfügbar, agrarmeteorologische Rechenprogramme existieren wohl, sind aber den planenden Ingenieuren nicht zugänglich. Das HELP Rechenmodell enthält eine Wetterdatenbasis für eine Vielzahl amerikanischer Standorte. Es ist deshalb nicht kritiklos auf deutsche Verhältnisse direkt anwendbar. Von einer Unterarbeitsgruppe des Arbeitskreises AK 6.1 "Geotechnik der Deponiebauwerke" der DGGT wird das HELP Programm derzeit genauer geprüft. Es ist vorgesehen, das HELP Programm für die Anwendung in Deutschland anzupassen und dann für die allgemeine Verwendung zur Verfügung zu stellen.

Mit der rechnerisch ermittelten Sickerwasserspende wird die hydraulische Berechnung für die Oberflächenentwässerungsschicht durchgeführt. Die hydraulische Be-

rechnung ist in das HELP Modell bereits integriert. Falls die maßgebende Sickerwasserspende auf andere Weise bestimmt wird, ist eine eigene hydraulische Berechnung erforderlich. Entsprechende Rechenverfahren zur Bestimmung der Sickerlinie in mineralischen Entwässerungsschichten sind in GDA E 2-20 angegeben. Dort wird auch anhand von Ergebnissen vergleichender rechnerischer Parameterstudien die Bedeutung einiger relevanter Kenngrößen, wie der Böschungsneigung und des Abstandes der Sickerrohre, gezeigt. Während an der Deponiebasis auszuschließen ist, daß die Sickerlinie höher liegt als Oberkante Entwässerungsschicht, wird für die Oberflächenentwässerungsschicht ein vorübergehender, teilweiser Einstau der Rekultivierungsschicht zugelassen, vorausgesetzt, ausreichende Standsicherheit der Böschung ist gewährleistet. Der Beurteilung der Zulässigkeit eines teilweisen Wasserdruckaufbaus in der Entwässerungsschicht ist eine projektbezogene Risikostudie zugrunde zu legen. Ferner ist im Zusammenhang mit dem Entwurf des Oberflächenentwässerungssystems auch die Böschungsstandsicherheit der beteiligten Schichten nachzuweisen.

Filter zwischen dem Rekultivierungsboden und der Dränschicht sind nach den bekannten Regeln für Kornfilter oder für Geotextilfilter zu bemessen. Dazu ist die Kenntnis der Kornzusammensetzung des Rekultivierungsbodens notwendig. Oft wird in der Praxis der Auswahl des Rekultivierungsbodens wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Es wird ein Bodenmaterial eingebaut, das gerade verfügbar ist, ohne daß seine Eignung genauer geprüft wird oder daß darauf geachtet wird, daß seine Eigenschaften mit den Annahmen für die hydrologischen und die hydraulischen Berechnungen des Oberflächenentwässerungssystems übereinstimmen. Solche Praxis wird dem Einfluß, den die Rekultivierungsschicht auf die Funktion der Oberflächenentwässerung hat, nicht gerecht.

3.2 Mineralische Entwässerungsschichten

Die Verwaltungsvorschriften TA-Abfall und TA-Siedlungsabfall enthalten außer der bereits genannten Mindestdicke und dem Mindestwert der hydraulischen Leitfähigkeit für die mineralischen Entwässerungsschichten im Oberflächenabdichtungssystem keine besonderen Angaben. Sie verweisen auf die Forderungen für die Basisentwässerung. Demzufolge wird bei manchen Deponien auch für Oberflächenentwässerungen Kies der Körnung 16/32 mm verwendet. Die GDA Empfehlung E 2-20 weist ausdrücklich darauf hin, daß dies nicht notwendig ist. Die Oberflächenentwässerung unterliegt nicht den gleichen mikrobiologischen Bedingungen wie die Basisentwässerung, die das Deponiesickerwasser abführen muß. Demzufolge muß sie auch nicht so grobporig sein. Jedes beständige, körnige Material, das dauerhaft ausreichend durchlässig ist und den Anforderungen der hydraulischen Bemessung genügt, kann verwendet werden. Auch eine Beschränkung des Karbonatgehalts ist nicht angezeigt. Die Einwirkung des sauren Regens wird nicht als gravierend eingestuft. Es ist jedoch erforderlich, daß die Eignung des mineralischen Entwässerungsmaterials nach GDA E 3-12 untersucht wird und daß auch der Einbau im Qualitätssicherungsprogramm entsprechend GDA E 5-6 erfaßt wird. Dies ist von besonderer Wichtigkeit, wenn industrielle Reststoffe, z.B.

Schlackengranulate verwendet werden.

Bei langen und steilen Böschungen wird oft im unteren Bereich eine gröbere Körnung eingebaut als im oberen. Die Anordnung grobkörniger Rigolen oder Sickerrohre zur Entlastung des Flächendröns ist bei großen zu entwässernden Flächen und bei geringem Gefälle erforderlich. Die Abstände derartiger Sickerstränge ergeben sich aus der hydraulischen Berechnung. Am Fuß der Deponieböschung ist eine Sammelleitung anzuordnen, die das Wasser einem Vorfluter zuführt.

3.3 Geosynthetische Drönschichten

Für die Oberflächenentwässerung bei Abfalldöponien werden wie im übrigen Erdbau als Alternative zu mineralischen Entwässerungsschichten auch Drönmatten aus Kunststoffen eingesetzt. Sie sind leicht zu transportieren und werden deshalb gern verwendet, wenn an einem Standort die erforderlichen Mengen an geeigneten Kiesen nicht zur Verfügung stehen.

Ein Vorteil ist der leicht zu handhabende Einbau und die gleichbleibende Qualität des industriell gefertigten Produkts. Voraussetzung für die Verwendung von geosynthetischen wie mineralischen Entwässerungsschichten ist ihre Eignung für die vorgesehene Funktion, die durch entsprechende Prüfungen nachzuweisen ist.

Drönmatten aus Kunststoffen bestehen in der Regel aus einem sehr durchlässigen Kern und Filterlagen. Derartige Verbundstoffe werden auch als Geokompositen bezeichnet. Neu auf dem Markt ist eine Drönmatte aus granulierten PEDH-Produktionsabfällen. Geosynthetische Drönmatten müssen aus Kunststoffen gefertigt sein, die in Erdbauwerken dauerbeständig sind. Ihr Wasserableitvermögen ist von dem hydraulischen Gefälle, den Einbaubedingungen und der Auflast, der sie ausgesetzt sind, abhängig. Es muß daher realitätsnah im Versuch ermittelt werden. ZANZINGER und BERKHOUT (1995) haben die wichtigsten Aspekte der experimentellen Untersuchung von geosynthetischen Drönmatten zusammengestellt. Geeignete Versuchsgöeräte stehen in den Labors der Hersteller solcher Produkte und in einigen neutralen, unabhängigen Prüfinstituten, z.B. im LGA Grundbauinstitut zur Verfügung. Die Versuchsverfahren werden international genormt. Für den hydraulischen Nachweis auf der Basis experimentell ermittelter Werte für die Wasserableitkapazität enthält die GDA Empfehlung E 2-20 Sicherheitsbeiwerte für verschiedene Einflüsse.

Neben den hydraulischen sind in der Eignungsprüfung geosynthetischer Drönmatten auch ihre mechanischen Eigenschaften zu prüfen. Die Festigkeit ist von besonderer Bedeutung im Hinblick auf die Böschungsstandsicherheit. Dazu werden zuverlässige Angaben über die innere Scherfestigkeit der Verbundprodukte benötigt und über den Scherwiderstand im Kontakt zu den angrenzenden Schichten. Dies sind in vielen Fällen an der Unterseite Kunststoffdichtungsbahnen, und immer sind es an der Oberseite die aufliegenden Bodenschichten. Daraus ergibt sich die Forderung, daß die Scherfestigkeit in den Kontaktflächen mit den projektspezifischen Baustoffen nachzuweisen

ist. Dabei ist zu berücksichtigen, daß die Kunststoffe in der Regel deutlich zeitabhängige Verformungen unter Dauerlast erfahren, der Kriecheinfluß also eine Rolle spielt. Ferner zeigen die meisten Geokomposits im Kontakt mit anderen Stoffen bei geringen Scherwegen einen ausgeprägten maximalen Scherwiderstand, der bei zunehmender Verschiebung in der Kontaktfläche auf einen Restwert absinkt. Maßgebend für die Standsicherheitsberechnung ist in der Regel der Wert der Restscherfestigkeit, weil bereits beim Einbau des Bodens auf der Dränschicht so große unvermeidbare Verschiebungen in der Kontaktfläche auftreten, daß nur die Restscherfestigkeit übrig bleibt.

Bei steileren Böschungen empfiehlt es sich, vor der Entscheidung für eine bestimmte geosynthetische Dränmatte einen Probeeinbau auszuführen, wenn nicht bereits ausreichende Erfahrungen mit dem Produkt vorliegen. Dabei können neben den Erkenntnissen über die Standsicherheit wichtige Hinweise bezüglich der Robustheit gewonnen werden. Geokunststoffe sind beim Einbau besonders hohen mechanischen Beanspruchungen ausgesetzt. Eine Dränmatte ist nur dann geeignet, wenn sie den Transport zur Baustelle und den Einbau sowie die nachfolgenden Bauarbeiten bei der Überschüttung mit Rekultivierungsboden zuverlässig schadenfrei übersteht. Die Forderung nach ausreichender Festigkeit ist unter diesem Aspekt von großer Bedeutung.

4 Zusammenfassung

Abfalldeponien verfügen über Entwässerungseinrichtungen zur Fassung und Ableitung von oberflächlich zufließendem Fremdwasser, von infiltriertem Niederschlagswasser im Oberflächenabdichtungssystem und von Sickerwasser an der Deponiebasis. Die beiden letztgenannten Entwässerungssysteme sind in enger Verbindung mit den Abdichtungsschichten an der Deponieoberfläche und an der Deponiebasis zu sehen. Entwässerungs- und Abdichtungselemente beeinflussen sich gegenseitig, sie sind zusammen zu entwerfen und auszuführen.

Basisentwässerungsschichten werden aus mineralischen Baustoffen hergestellt. Sie sollen möglichst grobporig sein, deshalb müssen die körnigen Materialien so ausgewählt werden, daß sie wenig zur Kornzertrümmerung neigen. Beim Einbau und danach sind sie schonend zu behandeln. Auf die Eignungsprüfung und auf die Qualitätssicherung der mineralischen Entwässerungsschichten ist die gleiche Sorgfalt zu verwenden wie auf die Abdichtungsschichten.

Sickerrohre an der Deponiebasis, Schächte im Deponiekörper und Stollen sind komplizierte Konstruktionsteile, deren Beanspruchung und Tragwirkung vom mechanischen Verhalten des Abfalls beeinflußt werden. Bei ihrem Entwurf gibt es noch einige ungeklärte Fragen. In der Bauausführung erfordern sie besondere Sorgfalt, damit im Abdichtungssystem keine Schwachstellen entstehen.

Für Oberflächenentwässerungssysteme sind hydrologische und hydraulische Berech-

nungen durchzuführen. Die Entwässerungsschichten können entweder aus mineralischen Baustoffen oder aus Geokunststoffen hergestellt werden. In jedem Fall sind Eignungsprüfungen für das vorgesehene Material durchzuführen. Die Maßnahmen und Prüfungen zur Qualitätssicherung müssen sorgfältig ausgeführt werden.

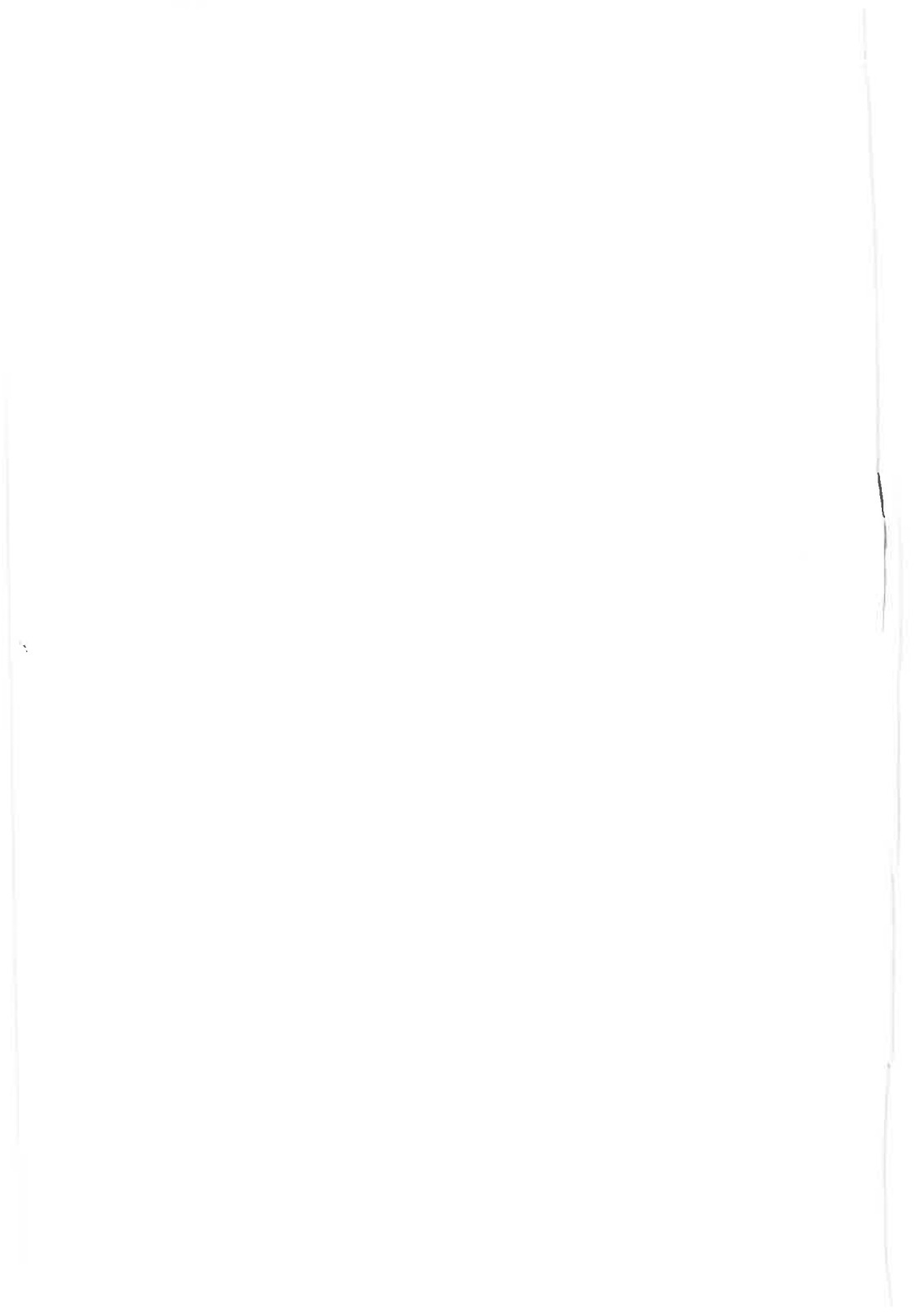
5 Literatur

- DGGT, Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten" - GDA, 2. Auflage, Ernst & Sohn, 1994
- TA-Abfall, (1991). Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz, Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen vom 12. März 1991, GMBL., 42. Jahrg., Nr. 8, S. 139 ff, Carl Heymanns-Verlag, Köln
- Bundesanzeiger, TA-Siedlungsabfall, Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen, 1. Auflage 1993
- Gartung, E., Prühs, H., Nowack, F. (1993). *Measurements on vertical shafts in landfills. Sardinia 93*, Fourth International Landfill Symposium, Proceedings, pp. 461 - 468
- Kossendey, Th., Gartung, E., Schmidt, St. (1996). *Microbiological Influences on the Long-Term Performance of Geotextile Filters*. Geofilters Montreal 1996
- Prühs, H., Quenzler, H. (1995). *Mechanische Widerstandsfähigkeit von Dränkiesen. Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts*. Heft 74, S. 291 - 327
- Ramke, H., G., Brune, M. (1990). *Untersuchungen zur Funktionsfähigkeit von Entwässerungsschichten in Deponiebasisabdichtungen*. Abschlußbericht BMFT, FKZ 14504573
- Ramke, H., G. (1991). *Hydraulische Beurteilung und Dimensionierung der Basisentwässerung von Deponien fester Siedlungsabfälle – Wasserhaushalt, hydraulische Kennwerte, Berechnungsverfahren* – Dissertation, Mitteilungen aus dem Leichtweiss Institut für Wasserbau, Heft 114, Technische Universität Braunschweig
- Ramke, H.-G., (1995). *Oberflächenentwässerung von Deponien – Ansätze zur hydraulischen Berechnung*. Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Nürnberg, Heft 74, Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien - 1995 - 11. Nürnberger Deponieseminar
- Schroeder, P.R.; Lloyd, C. M.; Zappi, P.A., (1994). *The hydrologic evaluation of landfill performance (HELP) model, Documentation of Version 3*, EPA/600/9-

94/xxx, U. S. EPA Risk Reduction Engineering Laboratory, Cincinnati, OH

Zanzinger, H., Berkhout, H. (1995). *Bestimmung des Wasserleitvermögens und deren Deutung*. Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, Heft 75, S. 331 - 344

Zanzinger, H., Gartung, E. (1995). *Large-scale model test of leachate pipes in landfills under heavy load*. ASCE Advances in Underground Pipeline Engineering, pp. 114 - 125



Erfahrungen beim Bau und dem Betrieb von Sickerwasserleitungssystemen bei Hausmülldeponien

Andreas Maier

UW Umweltwirtschaft – Wasser, Boden, Luft, Abfall – GmbH, Geschäftsstelle Stuttgart

1 Einleitung

Die Notwendigkeit bei Hausmülldeponien zur Sickerwasserfassung und -ableitung eine Entwässerungsschicht und Sickerrohre einzurichten ist zwischenzeitlich unzweifelhaft. Im Hinblick auf eine möglichst geringe hydraulische Belastung der Basisabdichtung und die Anforderungen an die Stabilität des Deponiekörpers wurde in den letzten 25 Jahren die Ausführung der Entwässerungseinrichtungen immer weiter verbessert.

Wurde früher teilweise auf Sickerwasserdrainagen ganz verzichtet, entwickelte sich über verschiedene Zwischenstadien der Ausführungsstandard zur heutigen Form mit einer flächenhaften Entwässerungsschicht und Sickerrohren. Die jeweils konkreten Abmessungen und Materialanforderungen sind in den geltenden Richtlinien und Vorschriften vorgegeben [1, 2, 3]. Darüberhinaus wurden, um beim Betrieb eine geordnete und wirkungsvolle Entwässerung auf der Deponiebasis sicherzustellen, zur Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit eine regelmäßige Kontrolle und Spülung der Sickerrohre festgelegt.

Mit diesen Vorgaben stehen nun zwar die Randbedingungen für die Ausbildung und den Betrieb von Entwässerungseinrichtungen bei Deponie fest. Die Umsetzung ist jedoch auch weiterhin anlagenspezifisch durch einen Fachplaner zu begleiten.

Aus dem komplexen Gesamtsystem Entwässerungseinrichtungen bei Deponien werden einige einzelne Detailpunkte bezüglich der Planung, der Bauüberwachung und der Betriebsbetreuung des Sickerwasserleitungssystems herausgegriffen und nachfolgend dargestellt.

2 Planung und Bau

2.1 Leitungsführung von Sickerwasserdrainagen bei schwierigen topographischen Verhältnissen

Entsprechend den geltenden Vorschriften sind alle Sickerwasserdrainagen so zu errichten, daß eine Kontrolle und Wartung möglich ist. Die damit verbundene Forderung auf geradlinige, maximal 300 m lange Drainageleitungen ohne Gefälleänderungen und ohne Schachtbauwerke im Ablagerungsbereich ist oftmals schwierig umzusetzen. Es gibt viele Deponien die diesen Standortanforderungen nicht genügen da, zum Zeitpunkt ihrer Genehmigung die vorhandene schwierige topographische Verhältnisse (z.B. Abmessungen oder enge und steile Klingen) kein Ausschlußkriterium darstellten.

Ein Verzicht auf die Erweiterung der vorhandenen Ablagerungsfläche bis zur ursprünglich geplanten und genehmigten Ablagerungsgrenze wird im Hinblick auf die sehr schwierige Standortsuche für neue Deponien nicht in Betracht gezogen.

Bei engen Klingen, die oftmals große Hangneigungen aufweisen, besteht die Möglichkeit, durch die Profilierung des Geländes ein Deponieplanum mit maximal 1:3 geneigten Böschungsf lächen herzustellen und somit den Bau einer Kombinationsdichtung und Sickerwasserdrainagen entsprechend den genannten Forderungen zu ermöglichen.

Ein Ausführungsbeispiel ist in Abbildung 1 dargestellt. Für die maximal bis 1:3 geneigten Böschungen des Planums mußten ca. 400.000 m³ Boden umgelagert werden. Das neu erstellte Deponieplanum wurde durch Zwischenbermen – auf denen dann die Sickerwasserdrainagen verlegt werden – gegliedert. Die Krümmung der Sickerwasserdrainagen beeinträchtigte die Durchführung der Kontrolle und Reinigung nicht. Nach den hierbei gemachten Erfahrungen sollte jedoch der Krümmungsradius 50 m nicht unterschreiten und jede Sickerwasserleitung mit einem Anfangs- und Endschacht ausgestattet sein. Bei der Gestaltung der Schächte sind besonders die sicherheitstechnischen Vorgaben [4] zu beachten.

Die gewählte Bermenanordnung hat sich bei der Bauausführung sehr gut bewährt. Durch die Bermen ergeben sich Baufelder, bei denen nacheinander die einzelnen Lagen der Kombinationsdichtung aufeldunabhängig hergestellt werden können. Über die Bermen sind die großen Mengen an erforderlichen Baumaterialien (mineralisches Dichtungsmaterial, Kunststoffdichtungsbahnen, Vlies, Rohre und Kies) leicht in die einzelnen Baufelder zu transportieren und während des Bauzustandes verhindern die weiter oben liegenden Bermen den Oberflächenwasserzutritt zu den Baufeldern.

Nach der Fertigstellung der Basisabdichtung ermöglichen die Bermen den jeweils separaten Anschluß der mit Müll zu belegenden Baufelder an das Sickerwassersystem.

Die Profilierung wurde durch Abtrag der Verebnungsflächen und durch Auffüllen der tiefen Klingen erreicht und mit einem Massenausgleich ausgeführt (siehe Abb. 2).

Bei der Durchführung von vergleichbaren Vorhaben ist zu beachten, daß der vorhandene Untergrund im Hinblick auf die gewünschte bzw. geforderte möglichst mächtige geo-

logische Barriere erhalten bleibt. Unter Umständen muß gemeinsam mit der Fach- und Genehmigungsbehörden ein Kompromiß zwischen den Anforderungen an den Untergrund sowie an die Kontrollier- und Spülbarkeit des Drainagesystems gefunden werden.

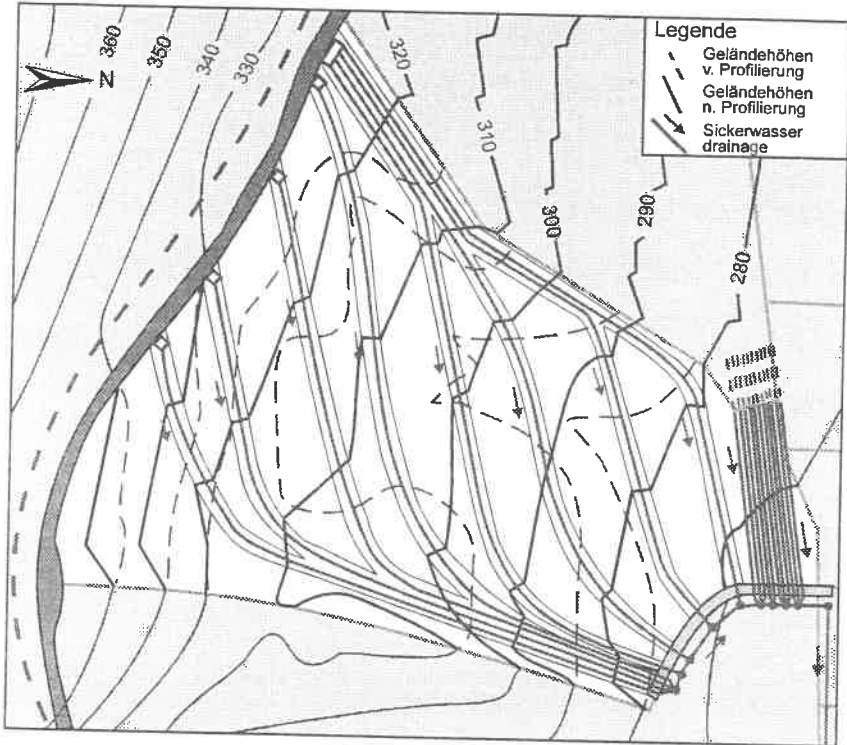


Abb. 1: Ausführungsbeispiel für ein Sickerwasserdrainagesystem bei schwierigen topographischen Verhältnissen.

Sofern die Möglichkeit einer umfangreichen Profilierung des Deponieplanums nicht gegeben ist oder für die Sickerwasserdrainagen Längen größer als 500 m notwendig werden, sind zur gesicherten Entwässerung der Deponiebasis begehbare Erschließungsbauwerke in Betracht zu ziehen. Durch den hohen bau- und betrieblichen Aufwand, auch während der Nachsorgephase der Deponie, werden diese Bauwerke jedoch auch weiterhin die Ausnahme bleiben.

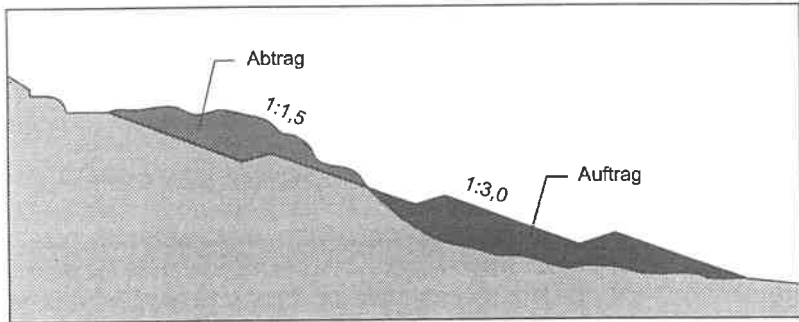


Abb. 2: Prinzipdarstellung der Geländeprofilierung mit Massenausgleich

2.2 Gestaltung der Leitungszone

Das auf die Deponiebasis treffende Sickerwasser soll durch die Entwässerungsschicht zu den Drainageleitungen und dann über diese aus der Deponie geleitet werden. Da jedoch das Drainagerohr nicht direkt auf der Kunststoffdichtungsbahn verlegt werden kann, ist der Einbau eines Auflagers erforderlich. Das Material für das Auflager soll schwachdurchlässig und standfest sein.

Die Ausbildung des Rohrauflegers mit einem Sand-Bentonit-Gemisch hat sich nur eingeschränkt bewährt, da bereits bei feuchter Witterung der Einbau des Materials deutlich schwieriger wurde. Sofern das Rohrauflager nicht durch eine Folie oder ähnlichem während der Bauzeit geschützt wurde, konnte nach Regenfällen ein deutliches Aufweichen festgestellt und eine damit verbundene zeitintensive Nachbearbeitung erforderlich werden.

Besser bewährt hat sich ein Kies-Sand-Gemisch, das bei allen Witterungsverhältnissen problemlos als Rohraufleger einzubauen war. Einer gesicherten Standfestigkeit des Rohrauflegermaterials sollte eine höhere Priorität als die Schwachdurchlässigkeit des Materials eingeräumt werden. Darüber hinaus kann durch seitlich angeschweißte Kunststoffdichtungsbahnstreifen (siehe Abbildung 3) die Unterläufigkeit des Sickerwasserdrainagerohres weitgehend eingeschränkt werden.

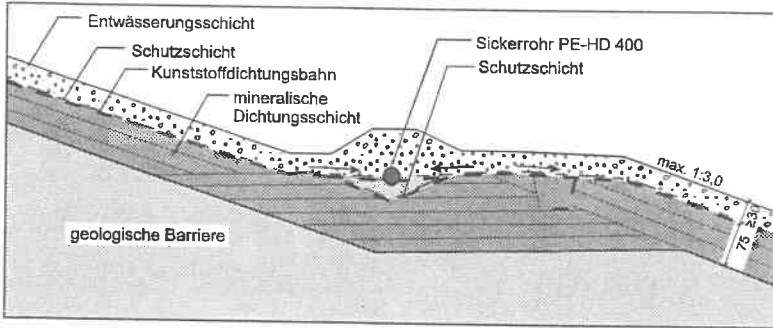


Abb. 3: Ausführungsbeispiel für die Leitungszone bei stark geneigter Deponiebasis mit Kombinationsdichtung

Unabhängig von der Wahl des Materials für das Rohraufleger sind bereits bei der statischen Berechnung für die Sickerwasserdrainagen die Abmessungen, Einbaubedingungen, Auflasten und Werkstoffkennwerte der Leitungszone zu berücksichtigen. Beim Bau der Leitungszone ist durch die örtliche Bauüberwachung darauf zu achten, daß neben der Einhaltung der Parameter, die dem statischen Nachweis zugrundeliegen, insbesondere das Rohrauflegermaterial vorsichtig eingebaut wird. Gegebenenfalls ist zum Schutz der Kunststoffdichtungsbahn vor den Einbaugeräten eine gesonderte Schutzschicht vorzusehen.

2.3 Verbindungsart der Sickerwasserdrainagen

Die bei Sickerwasserdrainagen aus PE-HD häufig angewandte Art der Rohrverbindung durch Heizelementstumpfschweißen hat gegenüber der Verbindung mit Steckmuffen die Vorteile, daß der Sickerwasserdrainagestrang Zugkräfte aufnehmen kann und eine durchgängig wasserdichte Fließsohle entsteht.

Lediglich die teilweise schwierige Schweißung am Einbauort des Sickerrohrs und die beim Heizelementstumpfschweißen von PE-HD Rohren entstehende Schweißwulst stellen gewisse Nachteile dar. Je nach Rohrwandungsstärke entsteht ein bis zu 20 mm hoher und 25 mm breiter Schweißwulst an der Rohraußen- und Rohrinne-seite. Hieraus ergeben sich Nachteile bei der Kamerabefahrung. Es hat sich insbesondere bei Leitungen aus PE-HD 400 PN 16 gezeigt, daß der Fahrwagen nur mit Mühe über diese Wülste fahren kann. Zwischenzeitlich werden von verschiedenen Firmen Geräte zur Entfernung der Schweißwülste entwickelt, so kann davon ausgegangen werden, daß zukünftig dieser Nachteil nicht mehr bestehen wird.

3 Betrieb und Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit

3.1 Inbetriebnahme neuer Deponieflächen

Nach der baulichen Errichtung der Basisabdichtung ist ein besonderes Augenmerk auf den Einbau der ersten Abfallschicht bis zu einer Überdeckungshöhe von c.a. 2 m erforderlich.

Um einer Beschädigung der Entwässerungseinrichtung zu vermeiden hat sich der Einbau von Feinmüll (Müll aus Haussammlungen ohne Grobstoffe) vor Kopf durch die Baufirma, die die Basisabdichtung gebaut hat, bewährt. Hierbei werden erst nach dem Einbau der ersten Müllschicht und einer Kontrolle der Sickerwasserdrainagen die gesamten Bauleistungen abgenommen.

3.2 Einwirkungen auf die Funktionsfähigkeit durch erhöhte Temperaturen an der Deponiebasis

Die Anfälligkeit von Sickerwasserdrainagen aus PE-HD auf erhöhte Temperaturen (> 40 °C) zeigte sich bei einer Erweiterung einer vorhandenen Ablagerungsfläche mit mineralischer Dichtung. Die bereits mit bis zu 18 m Müll überschütteten sechs Drainageleitungen aus PE-HD wurden für die Deponieerweiterung verlängert. Für den Anschluß der Leitungen wurde der Abtrag der provisorisch abgedeckten Müllböschung erforderlich. Bei einer nach der Baufertigstellung durchgeführten Reinigung der Sickerwasserdrainagen wurden geschmolzene Teile des PE-HD Rohres herausgespült. Bei einer daraufhin durchgeführten Kamerabefahrung mit Temperaturmessung wurde bei einer der Sickerwasserdrainagen einen Rohreinbruch auf einer Länge von ca. 45 m und Temperaturen bis zu 79 °C festgestellt.

Bei den restlichen Sickerwasserleitungen konnte ein ordnungsgemäßer Zustand und Temperaturen zwischen 10 °C und 42 °C festgestellt werden. Zur Eindämmung eines eventuell noch vorhandenen Schwelbrandes wurden die offenen Böschungen mit Erde abgedeckt und die Entgasung der Ablagerungsfläche reduziert. Nachdem keine weiteren Beeinträchtigungen der Sickerwasserdrainagen festgestellt werden konnte und neben der Entwässerungsschicht in unmittelbarer Nähe des Rohreinbruches zwei weitere funktionstüchtige Sickerwasserdrainagen vorhanden waren, wurde in Abstimmung mit der Behörde vorerst auf eine Sanierung der beschädigten Sickerwasserdrainage verzichtet.

3.3 Kontrolle und Erhaltung der Funktionsfähigkeit

3.3.1 Anforderungen

Die Aufrechterhaltung der Funktionsfähigkeit des Sickerwasserleitungssystems einer Deponie ist von entscheidender Bedeutung, um eine geordnete Entwässerung auf der Deponiebasis sicherzustellen.

In den Sickerwasserleitungen entstehen durch Einschwemmung von Feinstbestandteilen sowie durch Verockerung und Versinterung Inkrustationen. Erfahrungen haben gezeigt, daß diese Inkrustationen im Laufe der Zeit aushärten und zu einem völligen Verschuß von Sickerwasserleitungen führen können.

Um dies zu verhindern sowie kostenintensiven Sanierungsmaßnahmen vorzubeugen, ist eine regelmäßige Reinigung (Hochdruckspülung) mit optischer Inspektion (Kamerabefahrung) unbedingt erforderlich. In der TA-Siedlungsabfall werden hierfür jährliche Intervalle vorgegeben. Gemäß der Eigenkontrollverordnung sind zudem regelmäßige Dichtigkeitsprüfungen von Abwasserkanälen und -leitungen erforderlich.

3.3.2 Vorgaben zur Arbeitssicherheit

Bei den beschriebenen Maßnahmen ist besonders darauf zu achten, daß bei Hausmülldeponien mit Deponiegas im Sickerwasserleitungssystem zu rechnen ist. Dies erfordert gemäß den geltenden sicherheitstechnischen Vorschriften [4] besondere Vorkehrungen bei Arbeiten an Sickerwasserschächten, insbesondere durch Schutzmaßnahmen gegen gefährliche Atmosphäre und zur Vermeidung von Zündgefahren.

3.3.3 Kamerabefahrung

Bei der Auswahl der Kamera mit Fahrwagen ist im Hinblick auf Gefahren des Deponiegases die Zulassung für den Betrieb in explosionsgefährdeten Bereichen der Zone 1 erforderlich.

Entsprechend der unterschiedlichen Rohrdimensionen und -materialien haben sich verschieden große Fahrwagen mit Raupenfahrwerk, auf denen die Kameras installiert sind, bewährt. Bei längeren Leitungen kann unter Umständen die Anbringung eines Zusatzgewichtes in Form einer Bleiplatte erforderlich werden.

Bei Kamerabefahrungen in Gefällerrichtung konnten Sickerwasserdrainagen bis zu einer Länge von ca. 440 m kontrolliert werden. Der bei längeren Leitungen auftretende stark zunehmende Reibungswiderstand des Kamerakabels machte häufig die mehrmalige Zugabe von Wasser erforderlich. Mit dem hierdurch entstehenden Wasserschwall kann die Kamera besser Schweißwülste oder andere Unebenheiten in der Leitung überwinden.

Sofern aufgrund eines nicht vorhandenen oberen Schachtes die Kamerabefahrung gegen die Fließrichtung durchgeführt werden muß, sind in Abhängigkeit des Gefälles teilweise nur Leitungslängen bis zu 100 m kontrollierbar.

Die jährliche Kamerabefahrung sollte möglichst im Zeitraum zwischen Mai und Oktober durchgeführt werden, da sich ansonsten durch die großen Temperaturunterschiede im Freien und in den Drainageleitungen Einschränkungen bei der Sicht durch Wasserdampfbildung ergeben können.

In Verbindung mit der Kamerabefahrung ist eine durchgehende Höhenvermessung sowie die Erstellung durchgehender Temperaturprofile der Sickerwasserleitungen möglich, so daß auch in diesen Punkten die Forderungen der TA-Siedlungsabfall eingehalten werden können.

3.3.4 Spülung

Die Durchführbarkeit der Reinigung von Sickerwasserdrainageleitungen mittels Hochdruckspülung ist im wesentlichen von der Leitungslänge, der Leitungsführung und dem dabei vorhandenen Gefälle abhängig.

Mit der bisher gebräuchlichen Art der Rohrreinigung konnten lediglich Leitungslängen bis zu c. a. 330 m gespült werden. Hierbei wird die Spüldüse durch den Wasserrückstoß vom unteren Endschaft aus durch die Drainage zum oberen Endschaft hochgeschossen. Zur besseren Überwindung des Reibungswiderstandes können Treibdüsen zwischen die einzelnen Spülschläuche montiert werden. Die Reinigung der Leitung erfolgt dann beim Zurückziehen der Spüldüse.

Dem gegenüber konnten Leitungslängen bis 440 m mit einem Gefälle von bis zu 20 % gereinigt werden, sofern der Spülschlauch mit einer Zugdüse beim oberen Endschaft in die Drainage eingeführt und mit Hilfe einer Treibdüse und einer zusätzlichen Wassereingabe vorgetrieben wird. Wenn die Zugdüse den unteren Endschaft erreicht hat, wird am oberen Schlauchende eine Reinigungsdüse montiert. Das untere Schlauchende wird an eine Schlauchhaspel angekoppelt und die Drainage gereinigt, indem die Reinigungsdüse nach unten durchgezogen wird.

Bei entsprechender Ausrüstung des Reinigungsfahrzeuges kann das Spülwasser nach einer Reinigung im Kreislauf gefahren und mehrmals für die Reinigung von Sickerwasserleitungen verwendet werden.

Darüberhinaus hat sich die Verwendung von Oberflächenwasser aus Regenklärbecken bewährt so daß auf Trinkwasser weitgehend verzichtet werden kann.

Sofern längere Zeit keine Reinigung der Leitungen durchgeführt wurde und sich bei der Spülung die Inkrustationen in zusammenhängenden Platten ablösen, wird unter Umständen die gleichzeitige Kamerabefahrung zur Kontrolle der Reinigungsarbeiten erforderlich.

3.4 Zustandsbewertung und Dokumentation

Eine qualifizierte Zustandsbewertung und Dokumentation der Kamerabefahrungsdaten ermöglicht:

- Eine solide Basis für eventuell notwendige Sanierungsmaßnahmen.
- Eine problembezogene und angemessene Entscheidung, ob eine Sanierung erforderlich ist und welches Sanierungsverfahren sinnvoll anzuwenden ist. Hier kann ei-

ne Fehlentscheidung aufgrund unvollständiger oder unqualifizierter Grundlagen sehr teuer werden.

- Die langfristige Einplanung von Finanzmitteln.

Zur Vermeidung von Fehleinschätzungen bei der Zustandsbewertung ist eine ingenieurmäßige Begleitung anzuraten.

Die Ergebnisse der Kamerabefahrung werden EDV-unterstützt aufbereitet. Dabei werden deponiespezifische sowie Schadenskürzel nach dem ATV Merkblatt M 143 verwendet. Parallel erfolgte eine komplette Überprüfung der vorhandenen Videobänder.

Danach werden die einzelnen Haltungen entsprechend den Vorgaben des Merkblattes M 143 mit EDV-Programm klassifiziert. In die Klassifizierung gehen ein:

- Schadensart (z.B. Verunreinigungen, schadhafte Muffen und Risse bzw. bei PE-HD-Leitungen zusätzlich Verformungen und Sohlverdrehungen)
- Schadensstelle
- Schadensausmaß
- Schadensanzahl je Haltung
- Deponiespezifische Besonderheiten

Die schadensbezogenen Daten werden bewertet und die Haltungen in die Zustandsklassen (Schadensstufen) 1 bis 6 eingeteilt:

- Stufe 1: umgehende Schadensbeseitigung
- Stufe 2: kurzfristige Schadensbeseitigung
- Stufe 3: mittelfristige Schadensbeseitigung
- Stufe 4: langfristige Schadensbeseitigung
- Stufe 5: Schadensbeseitigung im Rahmen anderer Baumaßnahmen
- Stufe 6: keine bewertungsrelevanten Schäden

Das Ergebnis der Klassifizierung wird in Tabellen sowie im Übersichtslageplänen dargestellt. Darüberhinaus werden in einer übersichtlichen Dokumentation sämtliche Kanaldaten incl. der jährlichen Ergebnisse aus den Kamerabefahrungen in einer Kanaldatenbank aufgenommen.

Dies ermöglicht einen sicheren Vergleich der Ergebnisse aus den regelmäßig durchzuführenden Kamerabefahrungen sowie einen schnellen Zugriff auf die Kanaldaten, z.B. wenn Kanäle von Baumaßnahmen betroffen sind.

4 Literatur

- [1] BUNDESREGIERUNG: Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA-Abfall) in der ab 1. April 1991 geltenden Fassung.
- [2] NORMENAUSSCHUSS WASSERWESEN IN DIN DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG E.V.: DIN 19 667 Dränung von Deponien vom Mai 1991

- [3] BUNDESREGIERUNG: Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA-Siedlungsabfall) vom 14. Mai 1993.
- [4] BUNDESVERBAND DER UNFALLVERSICHERUNGSTRÄGER DER ÖFFENTLICHEN HANDE.V.: Sicherheitsregeln für Deponien (GUV 17.4), Ausgabe Juli 1992.
- [5] ABWASSERTECHNISCHE VEREINIGUNG E.V.: Inspektion, Instandsetzung, Sanierung und Erneuerung von Entwässerungskanälen und -leitungen (Merkblatt M 143) vom Dezember 1989.

Dränsysteme aus Geoverbundstoffen als notwendige Ergänzung von Abdichtungen im Deponiebau

Dipl.-Ing. Gerold Buck

Konsulent für das Bauwesen, Korb

1 Zusammenfassung

Geoverbundstoffe bieten wirtschaftliche Lösungen für die Aufgaben von Dränanlagen. Sie sind notwendig, um das feinststofffreie Überschußwasser von der Dichtung abzuleiten. Von der erfolgreichen Wahrnehmung dieser Aufgabe hängt es ab, wie gut die Dichtung im Zeitablauf funktioniert. Im Erd- und damit auch im Deponiebau ist jede Dichtung so gut wie ihre Dränung.

2 Problemstellung

Dichtungen sollen Wasser zurückhalten. Das heißt sie vermindern die Fließgeschwindigkeit von durchschnittlich $5 \cdot 10^{-3}$ m/s auf den Grenzwert von $5 \cdot 10^{-10}$ m/s. Das gebremste bzw. zurückgehaltene Wasser wird durch Dränanlagen gefaßt und abgeleitet. Die RAST-Entwässerung spricht hier von Sickerflächen und Sickersträngen.

3 Problemanalyse

Bauelemente dafür sind in der Regel Sande, Kiese und Vliese, deren Eigenschaften mehr oder weniger genau definiert sind, was dazu führt, daß die angestrebte Eigenschaft als Dränung nicht unter allen Umständen optimal erfüllt werden kann.

Vliese, Sande oder Kiese allein bzw. nacheinander eingebaut können die Funktionsfähigkeit, die in der Gesamtheit besteht, mindern oder gar unterbinden. Die Suffosionsgefahr wird bei diesen konventionellen Filtern offensichtlich nicht vermieden, wie die Forderungen nach Spülfähigkeit belegen.

4 Problemlösung

Geosynthetics ermöglichen als Geoverbundstoffe Einzeleigenschaften so zu superponieren, daß die Bedürfnisse der unterschiedlichen Bauzustände abgedeckt werden können.

Bestimmte Geoverbundstoffe bieten hier kontinuierliche Filter- und Formstabilität, kurze Einbauzeiten und damit Witterungsschutz und Funktionsfähigkeit für alle während und nach dem Einbau auftretenden Lastfälle.

Als Beispiel sei hier der Geoverbundstoff HYDRAWAY WD 300 angeführt. Die beige-fügte Skizze zeigt die Anwendung als Sickerfläche auf einer mineralischen Dichtung mit dem Leistungsspektrum: Witterungsschutz, Wasserableitung vor, während und nach der Überschüttung.

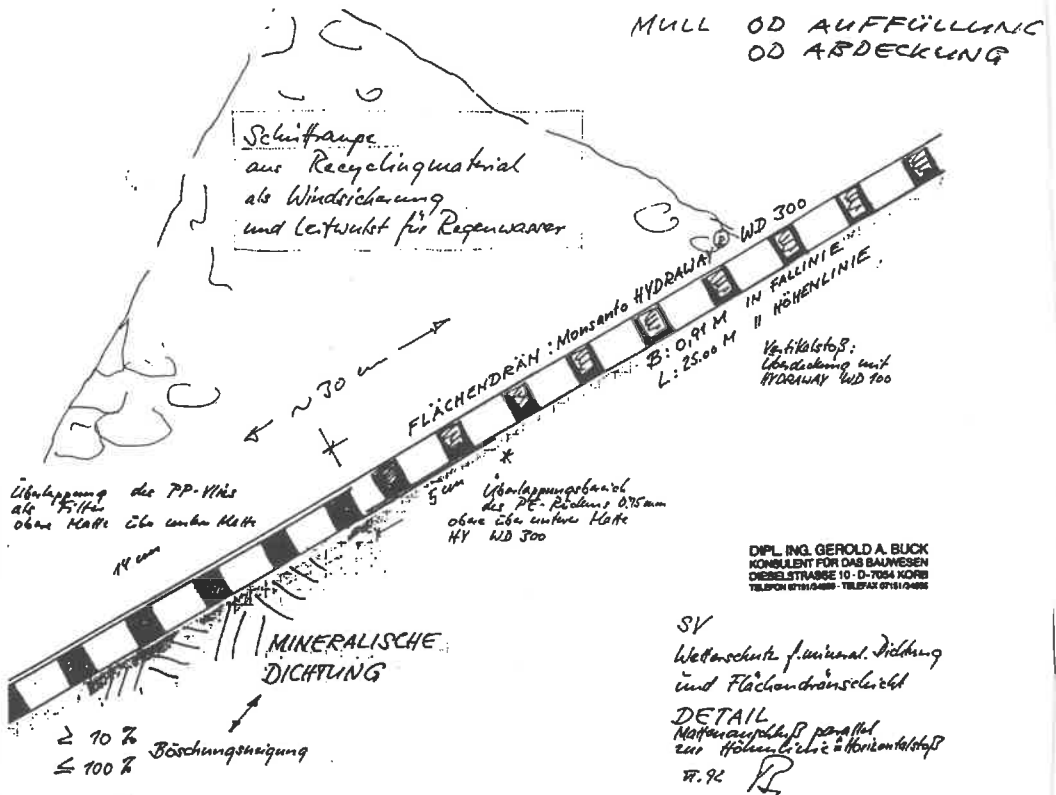


Abb. 1: Beispiel für die Anwendung eines Geoverbundstoffs als Sickerfläche auf mineralischer Dichtung im Deponiebau

FEM-Berechnungen an Sickerwassersystemen

Dr.-Ing. H. Schneider

DELTA-X GmbH, Stuttgart

In der Regel werden zur planmäßigen Ableitung von Sickerwasser auf der Basisabdichtung von Deponien mit Dränkies überschüttete teilperforierte PE-HD Rohre verlegt. Bei manchen Systemen sind einzelne Rohrstränge auch über Formteile (Kreuzungen, T-Stücke) miteinander verbunden. Es ist für die Funktionalität des gesamten Deponiesystems sehr wichtig, daß die Gebrauchsfähigkeit der Rohrleitungen über einen langen Zeitraum gewährleistet ist. Gebrauchsfähigkeit meint in diesem Zusammenhang neben der Abführung der anfallenden Sickerwassermengen auch, daß die Rohrdeformationen nicht ein Maß annehmen dürfen, welches Kamerabefahrungen und Spülungen unmöglich macht. Bedenkt man, welche enormen Kosten für eventuelle Sanierungen erforderlich sind, wird die Bedeutung zutreffender statischer Berechnungen der Rohrleitungssysteme deutlich.

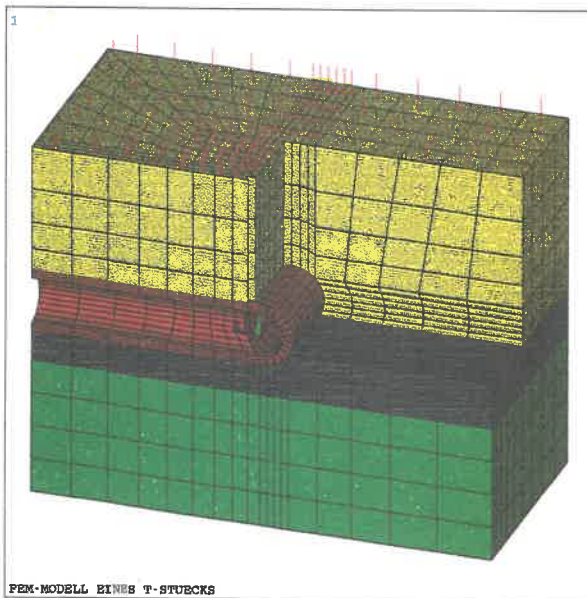
Die sich unter Auflast einstellenden Deformationen sind Resultat der Interaktion zwischen Boden und Rohr. Dabei sollte der umgebende Boden nicht allein als lastbringendes Übel betrachtet werden. Vielmehr bildet der Boden zusammen mit dem Rohr ein Verbundsystem, welches das Gewicht des auflastenden Müllkörpers abträgt. PE-HD Leitungen allein wären aufgrund ihrer vergleichsweise geringen Festigkeit nicht in der Lage, die an der Basis von Deponien auftretenden hohen Vertikalbelastungen aufzunehmen. Da der Boden Teil des Tragsystems ist, wird auch verständlich, warum die zutreffende Beschreibung seiner Eigenschaften so wichtig für die Ermittlung zutreffender Rohrbeanspruchungen ist.

Für die Dimensionierung von langen, regulären Rohrleitungen finden unter anderem die ATV-Regeln [1], die momentan in einer Neufassung an die besonderen Bedingungen auf der Deponiebasis angepaßt wird, Verwendung. Nicht behandeln lassen sich damit alle räumlichen Phänomene, wie sie beispielsweise bei der Untersuchung von Formteilen relevant sind. Aber auch alle ebenen Probleme, wie beispielsweise die Betrachtung von benachbarten Leitungen bzw. angrenzenden Bauteilen oder besondere Lagerungsbedingungen, wie sie unter anderem bei asphaltgedichteten Deponien auftreten, verlassen den angegebenen Gültigkeitsbereich der ATV-Richtlinie.

Um die oben genannten Einschränkungen zu umgehen und zu genaueren Aussagen

In Bild 1 ist das FEM-Modell des Regelbereichs einer Sickerleitung dargestellt. Die Modellierung erfolgte unter Ausnutzung der Symmetriebedingungen. Der Boden wurde unter Erfassung der real vorliegenden Schichtung durch Scheibenelemente modelliert. Durch die Verwendung von Scheibenelementen auch für die Diskretisierung des PE-HD Rohrs, werden im Gegensatz zu Balkenelementen, auch Effekte aus der Dickwandigkeit der Leitung erfaßt. Das Gewicht des aufliegenden Müllkörpers, wird in Anlehnung an DIN 19 667 [3] als schlaife Last auf die Dränschichtoberkante aufgebracht. Zur Lösung des unilateralen Kontaktproblems zwischen Rohr und Boden, werden in der Grenzschicht Kontaktelemente angeordnet, welche ein eventuelles Ablösen des Rohrs vom umgebenden Bodenkörper erlauben. Das Stabilitätsverhalten des Rohrs wird im Zuge der geometrisch nichtlinearen Analyse untersucht.

Als Beispiel für die Behandlung räumlicher Probleme, ist in Bild 2 das 3D FEM-Modell eines 90° T-Stücks dargestellt. Hier sind zwar die geometrischen Verhältnisse komplexer, es besteht aber ansonsten kein prinzipieller Unterschied zu der oben beschriebenen ebenen Berechnung. Es sei darauf hingewiesen, daß der Rechenaufwand insbesondere für nichtlineare Analysen enorm anwachsen kann, wenn keine Symmetrieeigenschaften ausgenutzt werden können.



ANSYS 5.0 A 17
JAN 7 1996
15:52:04
PLOT NO. 1
ELEMENTS
TYPE NUM
FACE

Bild 2 3D FEM-Modell eines 90° T-Stücks

Es ist zwar prinzipiell möglich sowohl für PE-HD als auch für den Boden mit nichtlinearen Stoffgesetzen zu operieren, in der gegenwärtigen Praxis begnügt man sich jedoch meist mit der Approximation durch die lineare Elastizitätstheorie. Die Elastizitätsmoduln für die Beschreibung des Bodens werden aus bodenmechanischen Kennwerten wie dem Steifemodul errechnet. Für weitere Hinweise zur Anwendung von Rechenverfahren bei Sickerleitungen aus PE-HD sei auf [2] verwiesen.

Zur Illustration ist in Bild 3 ein typischer Verlauf der v.Mises Spannungen bei einer ebenen Berechnung eines dickwandigen Rohrs gezeigt. Charakteristisch sind die hohen Beanspruchungen im Kämpferbereich.

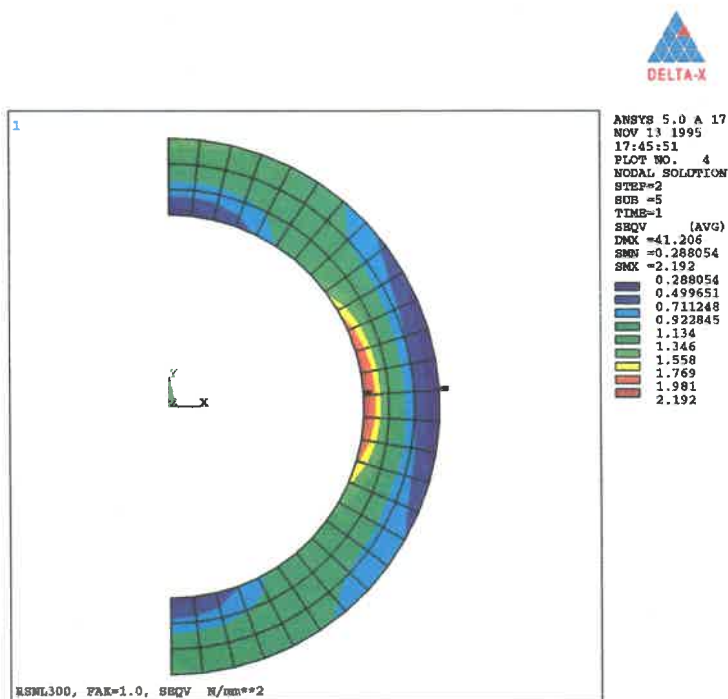


Bild 3 Typischer Verlauf der v.Mises Spannungen bei einer ebenen Rohrberechnung

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Methode der Finiten Elemente bei sachgerechter Anwendung sehr gute Möglichkeiten für die wirklichkeitsnahe Beschreibung von Beanspruchungs- und Deformationszuständen von Sickerwassersystemen aus PE-HD bietet. Insbesondere sei hier noch einmal auf die große Flexibilität

der Methode bei der Erfassung komplexer Geometrien hingewiesen. Die Anwendung der FEM eröffnet damit Möglichkeiten auch Aussagen zu teilweise kritischen Rand- und Übergangsbereichen zu machen, die sich üblichen Handrechnungen entziehen.

Es sei hier nicht verschwiegen, daß insbesondere bei der Materialbeschreibung des Bodens im rohrnahen Bereich noch Forschungsbedarf besteht. Momentan wird daran gearbeitet, diese Lücke durch Nachrechnung teilweise bereits abgeschlossene Großversuche zu schließen. Ziel ist, die existierenden Rechenmodelle so zu justieren, daß die gemessenen Phänomene auch als Resultat der Simulationsrechnungen in Erscheinung treten. Durch die Übertragung der so gewonnenen Erkenntnisse steht zu erwarten, daß die Analysequalität eine weitere Verbesserung erfahren wird.

Literatur

- [1] Richtlinie für die statische Berechnung von Entwässerungskanälen und -leitungen ATV Arbeitsblatt A 127, Dezember 1988.
- [2] Deutsches Institut für Bautechnik, Vorläufige Bemessungsgrundsätze für Bauteile in Deponien -Rohrleitungen aus PE-HD für Basisentwässerungssysteme-, Fassung November 1995.
- [3] DIN 19 667, Dränung von Deponien, Technische Regeln für Planung, Bauausführung und Betrieb, Mai 1991.

Mitteilungen des Instituts für Geotechnik
Herausgegeben von Prof. Dr.Ing. U. Smoltczyk

- | | | | |
|-------|---|--------|---|
| Nr. 1 | Thamm, B.R. | (1974) | Anfangssetzungen und Anfangsporen wasserüberdrücke eines normalverdichteten wassergesättigten Tones
DM 10,-- |
| Nr. 2 | Gußmann, P. | (1975) | Einheitliche Berechnung von Grundbruch und Böschungsbruch
DM 5,-- |
| Nr. 3 | Feeser, V. | (1975) | Die Bedeutung des Kalziumkarbonats für die bodenphysikalischen Eigenschaften von Löß
DM 10,-- |
| Nr. 4 | Du Thinh, K. | (1976) | Standicherheit von Böschungen: ProgrammDokumentation
vergriffen |
| Nr. 5 | Smoltczyk, U./
Pertschi, O./
Hilmer, K. | (1976) | Messungen an Schleusen in der UdSSR. Schleusennorm der UdSSR (SN 30365)
vergriffen |
| Nr. 6 | Hilmer, K. | (1976) | Erddruck auf Schleusenkammerwände
DM 18,-- |
| Nr. 7 | Laumans, Q. | (1977) | Verhalten einer ebenen, in Sand ein-
gespannten Wand bei nichtlinearen
Stoffeigenschaften des Bodens
DM 18,-- |
| Nr. 8 | Lächler, W. | (1977) | Beitrag zum Problem der Teilflächen-
pressung bei Beton am Beispiel der
Pfahlkopfanschlüsse
DM 15,-- |
| Nr. 9 | Spotka, H. | (1977) | Einfluß der Bodenverdichtung mittels
OberflächenRüttelgeräten auf den
Erddruck einer Stützwand bei Sand
DM 15,-- |

- | | | | | |
|--------|--------------------------------|--------|--|----------|
| Nr. 10 | Schad, H. | (1979) | Nichtlineare Stoffgleichungen für Böden und ihre Verwendung bei der numerischen Analyse von Grundbauaufgaben | DM 20,-- |
| Nr. 11 | Ulrich, G. | (1980) | Verschiebungs und kraftgesteuerte Plattendruckversuche auf konsolidierenden Böden | |
| | Gußmann, P. | (1980) | Zum Modellgesetz der Konsolidation | DM 20,-- |
| Nr. 12 | Salden, D. | (1980) | Der Einfluß der Sohlenform auf die Traglast von Fundamenten | DM 25,-- |
| Nr. 13 | Seeger, H. | (1980) | Beitrag zur Ermittlung des horizontalen Bettungsmoduls von Böden durch Seitendruckversuche im Bohrloch | DM 25,-- |
| Nr. 14 | Schmidt, H.H. | (1981) | Beitrag zur Ermittlung des Erdrucks auf Stützwände bei nachgiebigem Baugrund | DM 25,-- |
| Nr. 15 | Smolczyk, U.
Schweikert, O. | (1981) | Vorstudie über bauliche Alternativen für Durchgangsstraßen in Siedlungen | DM 12,-- |
| Nr. 16 | Malcharek, K.
Smolczyk, U. | (1981) | Vergleich nationaler Richtlinien für die Berechnung von Fundamenten | DM 15,-- |
| Nr. 17 | Gruhle, H.D. | (1981) | Das Verhalten des Baugrundes unter Einwirkung vertikal gezogener Ankerplatten als räumliches Problem des Erdwiderstandes | DM 30,-- |

- | | | | |
|--------|--|--------|---|
| Nr. 18 | Kobler, W. | (1982) | Untersuchungen über Böschungen und Grundbruch bei begrenzten Lastflächen
DM 25,-- |
| Nr. 19 | Lutz, W. | (1983) | Tragfähigkeit des geschlitzten Bau-
grunds neben Linienlasten
DM 25,-- |
| Nr. 20 | Smolczyk, U. | (1983) | Studienunterlagen "Bodenmechanik
und Grundbau"; überarbeitete Aus-
gabe (1990)
DM 40,-- |
| Nr. 21 | Schweikert, O. | (1984) | Der Einfluß des Böschungswinkels
auf die Berechnung des aktiven Erd-
drucks
DM 20,-- |
| Nr. 22 | Vogt, N. | (1984) | Erdwiderstandsermittlung bei monoto-
nen und wiederholten Wandbewegungen
in Sand
vergriffen |
| Nr. 23 | Buchmaier, R. | (1985) | Zur Berechnung von Konsolidations-
problemen bei nichtlinearem Stoff-
verhalten
DM 25,-- |
| Nr. 24 | Schad, H.

Smolczyk, U./
Schad, H./
Zoller, P. | (1985) | Möglichkeiten der Böschungssicherung
bei kleinen Baugruben

Sonderkonstruktionen der Böschungs-
sicherung
DM 35,-- |
| Nr. 25 | Gußmann, P. | (1985) | Die Methode der Kinematischen
Elemente
DM 20,-- |
| Nr. 26 | Steinmann, B. | (1985) | Zum Verhalten bindiger Böden bei
monotoner einaxialer Beanspruchung
DM 25,-- |

Nr. 27	Lee, S.D.	(1987)	Untersuchungen zur Standsicherheit von Schlitzten im Sand neben Einzel-fundamenten	DM 25,--
Nr. 28	Kolb, H.	(1988)	Ermittlung der Sohlreibung von Gründungskörpern unter horizon-talem kinematischen Zwang	DM 25,--
Nr. 29	Ochmann, H.	(1988)	Ebene Grenzzustände von Erd-böschungen im stochastischen Sicherheitskonzept	DM 25,--
Nr. 30	Breinlinger, F.	(1989)	Bodenmechanische Stoffgleichungen bei großen Deformationen sowie Be- und Entlastungsvorgängen	DM 30,--
Nr. 31	Smoltczyk, U./ Breinlinger, F./ Schad, H./ Wittlinger, M.	(1989)	Beitrag zur Bemessung von Tunneln in offener Bauweise	DM 25,--
Nr. 32	Gußmann, P./ Schanz, T./ Smoltczyk, U./ Willand, E.	(1990)	Beiträge zur Anwendung der KEM (Erddruck, Grundbruch, Stand-sicherheit von Böschungen)	DM 30,--
Nr. 33	Gruhle, H.-D.	(1990)	Der räumliche Erdwiderstand vor überwiegend horizontal belasteten Ankerplatten	DM 30,--
Nr. 34	Henne, J.	(1995)	Zur Bewehrung von verformten Bodenschichten durch Einsatz zugfester Geokunststoffe	DM 30,--
Nr. 35	Wittlinger, M.	(1994)	Ebene Verformungsuntersuchungen zur Weckung des Erdwiderstandes bindiger Böden	DM 30,--

- | | | | | |
|--------|--------------|--------|--|----------|
| Nr. 36 | Schad, H. | (1992) | Zeit- und geschwindigkeitsabhängiges Materialverhalten in der Geotechnik – Experimentelle Erfassung und numerische Analyse | DM 30,-- |
| Nr. 37 | Belz, I. | (1992) | Zur Ermittlung dynamischer Bodenkennwerte in situ aus der Systemantwort des Erregers | DM 30,-- |
| Nr. 38 | Ma, J. | (1994) | Untersuchungen zur Standsicherheit der durch Stützscheiben stabilisierten Böschungen | DM 30,-- |
| Nr. 39 | Smolczyk, U. | (1994) | Sonderheft: 25 Jahre Lehre und Forschung in der Geotechnik | DM 30,-- |
| Nr. 40 | Rilling, B. | (1994) | Untersuchungen zur Grenztragfähigkeit bindiger Schüttstoffe am Beispiel von Lößlehm | DM 35,-- |

Weitere Veröffentlichungen des Instituts für Geotechnik und seiner Mitarbeiter

- [1] Vermeer, P. A. (1995) Materialmodelle in der Geotechnik und ihre Anwendung. Finite Elemente in der Bautechnik – Beiträge der Tagung FEM '95, Stuttgart.
- [2] Vogt, C. / Salden, D. (1995) Schraubanker zum Rückverhängen von Spundwänden. Bautechnik 72, Heft 12, S. 800 - 802.
- [3] Schanz, T. (1995) Zur geotechnischen Bewertung von Beton-Recycling-Material. Bautechnik 72, Heft 12, S. 810 - 816.
- [4] Schanz, T. / Gussmann, P. (1995) Bearing capacity of strip footing on layered subsoil, NUMOG V, Balkema, Davos.
- [5] Smolczyk, U. / Gussmann, P. / Schanz, T. / Salden, D. (1995) Zuverlässigkeitsuntersuchungen des Grundbruchs auf geschichteten Böden, Forschungsbericht Sm 3/46-1, DFG
- [6] Vermeer, P. A. / Schanz, T. (1996) Angles of friction and dilatancy of sand, Géotechnique 46, No. 1, pp. 145 - 151.
- [7] Vermeer, P. A. / Schanz, T. (1996) Zum Steifemodul von Sanden, Festschrift 60. Geburtstag Prof. Franke, Mitteilungshefte Univ. Dresden.
- [8] Schanz, T. / Bonnier, P. (1996) An adequate Model for Hard Soil Behaviour, to be published.

