
Materialien

Nr. 24

Siedlungsabfalldeponien

Oberflächenabdichtung und
Sickerwasser



Landesumweltamt
Nordrhein-Westfalen

Materialien

Nr. 24

Siedlungsabfaldeponien

Oberflächenabdichtung und
Sickerwasser

Essen 1996

IMPRESSUM:

Herausgegeben vom
Landesumweltamt Nordrhein-Westfalen
Wallneyer Str. 6 • 45133 Essen • Telefon (02 01) 79 95 - 0

ISSN 0947-5206

Redaktion: Dipl.-Ing. Mark-Walter Hartmann

Gedruckt auf 100 % Altpapier ohne Chlorbleiche

Vorwort

Das Abfallgesetz sowie die hierauf gründende TA Siedlungsabfall stellen weitgehende Anforderungen an die Vermeidung und Verwertung sowie die Vorbehandlung von Abfällen vor der Ablagerung. Dies führt insgesamt zu einer Reduzierung der abzulagernden Abfallmengen. Trotz allem bleibt die Deponie ein unverzichtbares Element im Gesamtkonzept der Abfallentsorgung.

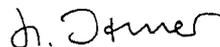
Mit dem Inkrafttreten der TA Siedlungsabfall wurden die technischen Anforderungen an die Deponie durch das Multibarrierenkonzept festgeschrieben. Hierzu gehören die geologische Barriere, das Basis- und Oberflächenabdichtungssystem und - durch eine entsprechende Vorbehandlung - die Abfälle selbst. Hinzu kommen technische Einrichtungen zur Erfassung und Behandlung von Sickerwasser und Deponiegas. Dabei stellt die TA Siedlungsabfall nicht nur Anforderungen an Neuanlagen sondern fordert darüber hinaus auch die Nachrüstung von Altdeponien an den Stand der Technik.

Beim 7. Aachener Kolloquium wurden die Teilaspekte "Oberflächenabdichtungen" und "Sickerwasser" bei Siedlungsabfalldeponien diskutiert.

Das Thema Oberflächenabdichtungen ist von besonderer Aktualität. Zum einen stellt sich die Frage nach dem richtigen Zeitpunkt zur Aufbringung der Oberflächenabdichtung und damit verbunden die Frage nach Lösungen für die Übergangszeit. Andererseits führt der Ruf nach Kostensenkung und Ressourcenschonung zunehmend zur Entwicklung von alternativen Abdichtungssystemen.

Das Thema Sickerwasser wirft die Frage nach einer Reduzierung der anfallenden Mengen durch bauliche und betriebliche Maßnahmen auf. Daneben steht die Frage nach der Funktionsfähigkeit der Sickerwassersammelsysteme und möglichen Sanierungsmaßnahmen. Die bisher vorliegenden Erfahrungen von Altdeponien sollen dazu genutzt werden, Entwurfsgrundsätze zu entwickeln und umzusetzen, die eine langfristige Funktionsfähigkeit des Sickerwassersystems erwarten lassen.

Mein Dank gilt den Referenten und Organisatoren sowie den Teilnehmern dieser Veranstaltung. Sie haben mitgeholfen, dem Ziel der nachsorgearmen und damit kostengünstigeren Deponie wieder ein Stück näher zu kommen.



Dr. Ing. Harald Irmer
Präsident des
Landesumweltamtes NRW

Essen, im April 1996

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Referentenliste	6
Umsetzung der TA Siedlungsabfall bei Deponien in Nordrhein-Westfalen <i>MR Dipl.-Ing. H. Dierkes</i>	7
Deponien – Abfallaufkommen, Stand der Technik, Laufzeit, Sickerwasserbehandlung und -aufbereitung <i>ORR'in Dr. U. Nienhaus</i>	13
Vorgehensweise des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) bei der Beurteilung der Gleichwertigkeit von Oberflächenabdichtungssystemen nach TA Abfall und TA Siedlungsabfall <i>BD Dipl.-Ing. C. Herold</i>	25
Technische und wirtschaftliche Überlegungen beim Einsatz eines Oberflächen- Abdichtungssystems <i>KBR Dipl.-Ing. J. Weuthen</i>	43
Anpassung des Qualitätssicherungsplanes beim Einsatz alternativer Abdichtungsmaterialien <i>Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann, Dipl.-Geol. B. Eisele</i>	61
Einfluß der Oberflächenabdichtung auf Menge und Qualität des Sickerwassers <i>Dipl.-Ing. U. Hertig</i>	77
Einfluß der Abfallzusammensetzung auf die Beschaffenheit des Sickerwassers <i>Dipl.-Ing. G. Kabbe</i>	91
Maßnahmen zur Unterhaltung und Sanierung von Sickerwassersammelsystemen <i>Dipl.-Ing. M. Turk</i>	101
Beispiel für die Sanierung eines Sickerwassersammelsystems <i>Dipl.-Ing. J. Waldhoff</i>	121
Entwurfsprinzipien und hydraulische Berechnung von Deponiebasisentwässerungssystemen <i>Dr.-Ing. H.-G. Ramke</i>	133
Liste der bisher erschienenen LUA-Materialien	161

Referenten

Prof. Dr.-Ing. M. Dohmann

Institut für Siedlungswasserwirtschaft der Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule Aachen

MR Dipl.-Ing. H. Dierkes

Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft des Landes NRW, Düsseldorf

LRBD Dipl.-Ing. W. Schmidt

Landesumweltamt NRW, Essen

ORR'in Dr. U. Nienhaus

Landesumweltamt NRW, Essen

BD Dipl.-Ing. C. Herold

Deutsches Institut für Bautechnik, Berlin

KBR Dipl.-Ing. J. Weuthen

Amt für Straßenbau, Wasser- und Abfallwirtschaft, Kreis Heinsberg

Prof. Dr.-Ing. H. Düllmann

Geotechnisches Büro Prof. Dr. Düllmann, Aachen

Dipl.-Ing. U. Hertig

UTG Gesellschaft für Umwelttechnik mbH, Viersen

Dipl.-Ing. G. Kabbe

Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen

Dipl.-Ing. M. Turk

Leichtweiß-Institut für Wasserbau, TU Braunschweig

Dipl.-Ing. J. Waldhoff

Heilit & Woerner Bau AG, Düsseldorf

Dr.-Ing. H.-G. Ramke

CES Consulting Engineers Salzgitter GmbH, Salzgitter

Umsetzung der TA Siedlungsabfall bei Deponien in Nordrhein-Westfalen

H. Dierkes

In einem Bericht über die Umsetzung der TA Siedlungsabfall (TA Si) bei Deponien in Nordrhein-Westfalen ist darauf einzugehen,

- wie weit die Anpassung der in Betrieb befindlichen Deponien für Siedlungsabfälle an die TA Si gediehen ist,
- welche Fristen in Nordrhein-Westfalen für die Durchsetzung der Ablagerung mineralisierter Restabfälle gelten und
- welche Maßnahmen das Land zur Vereinheitlichung des Vollzugs der TA Si verfolgt.

1. Anpassung der in Betrieb befindlichen Deponien

Die TA Si unterscheidet zwischen

- Deponien der Klasse I und
- Deponien der Klasse II.

Darüber hinaus formuliert die TA Si Anforderungen an Monodeponien (Deponien oder Deponiebereiche). Diese Deponien sind zwar den o.g. Deponieklassen zugeordnet, jedoch kann bei diesen Deponien die zuständige Behörde die Ablagerung von Abfällen zulassen, die einzelne Zuordnungswerte des Anhangs B der TA Si überschreiten.

Nachfolgend wird auf den Stand der Anpassung o.g. Deponien eingegangen, soweit für diese Deponien die Bezirksregierungen bzw. das Landesoberbergamt NRW (LOBA) zuständige Behörden sind für abfallrechtliche Zulassungen für die Errichtung und den Betrieb und deren wesentliche Änderungen.

Nach § 38 Abs. 2 Nr. 3 LAbfG sind die unteren Abfallwirtschaftsbehörden zuständig für Entscheidungen über Deponien zur Ablagerung von Bodenaushub, Bauschutt, Straßenaufbruch und vergleichbaren Abfällen sowie für deren Überwachung. Werden diese Deponien jedoch von kreisfreien Städten oder Kreisen errichtet und betrieben, sind für die abfallrechtlichen Zulassungen und für die Überwachung die Bezirksregierungen zuständig.

Nach einer Abfrage bei den Bezirksregierungen und beim LOBA haben diese bei den in der nachfolgenden Tabelle angegebenen Deponien nachträgliche Anordnungen nach § 8 Abs. 1 Satz 3 AbfG zur Anpassung an die Anforderungen der TA Si zu erlassen. Hierbei handelt es sich um Deponien, die am 1. Juni 1993 in Betrieb waren.

zuständige Behörde	Art der Deponie	Zentraldeponien, Hausmülldeponien (Deponieklasse II) Anzahl	Monodeponien; Deponien für prod.spez. Abfälle; Bauschuttdeponien (Deponieklassen I und II) Anzahl
Bezirksregierung Arnsberg		12	35
Bezirksregierung Detmold		7	5
Bezirksregierung Düsseldorf		14	22
Bezirksregierung Köln		6	3
Bezirksregierung Münster		12	-
Landesoberberg- amt		2	4
Summe:		53	69
Anzahl der am 1. Juni 1993 betriebenen Deponien, bei denen die Bezirksregierungen des Landes NW oder das LOBA nachträgliche Anordnungen zu erlassen haben (Stand: September 1994).			

In dieser Tabelle sind nicht die Altdeponien im Sinne der TA Si berücksichtigt, deren Errichtung und Betrieb zum Zeitpunkt des Inkrafttretens dieser TA zwar zugelassen aber noch nicht in Betrieb waren oder deren Verfahren im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens öffentlich bekanntgemacht worden waren.

Bei den nachträglichen Anordnungen zur Einhaltung der Anforderungen der TA Si bei Altdeponien ist zu unterscheiden zwischen denen, durch die aufgegeben wird, die Anforderungen

- an die Organisation und das Personal sowie an die Information und Dokumentation bis spätestens zum 1. Juni 1999 einzuhalten,
- an die Anlieferung und Anlagenbereiche bis spätestens zum 1. Juni 2002 einzuhalten,
- an die übrigen Anlagenteile der Deponie und deren Betrieb umzusetzen,

und denen, durch die aufgegeben wird,

- die Annahme nicht ausreichend vorbehandelter Abfälle ab einem bestimmten Zeitpunkt einzustellen.

Bei dieser Anordnung kann die zuständige Behörde unter bestimmten Voraussetzungen Ausnahmen von der Zuordnung zulassen (Nr. 12.1 TA Si).

Im weiteren wird auf die nachträglichen Anordnungen zur Umsetzung der Anforderungen an die bautechnische Ausstattung bei Hausmülldeponien eingegangen.

Die TA Si gibt in Nr. 11.2.1 für die Einhaltung dieser Anforderungen keine festen Termine vor. Dies war zum einen nicht möglich, da der TA Si eine große Anzahl von Hausmüll-, Bauschutt- und Klärschlammdeponien sowie Deponien für produktionsspezifische Abfälle (Altdeponien) unterfallen. Zum anderen sind die Zeiträume, die

- die Behörden für die Anordnungen zur Aufstellung eines Nachrüstprogramms,
- die Betreiber für die Erarbeitung dieses Nachrüstprogramms und
- die Behörden für die Durchführung des Zulassungsverfahrens

benötigen, je nach den Gegebenheiten der Einzelfälle höchst unterschiedlich.

Die TA Si legt wohl fest, daß die Zulassungen oder Anordnungen mit der Maßgabe zu erteilen sind, daß mindestens bestimmte Anforderungen (Nr. 11.2.1 Buchstabe d) **spätestens** sechs Jahre, nachdem die o.g. abfallrechtlichen Zulassungen Rechtskraft erhalten haben, einzuhalten sind.

Bei der Vorgabe von Umsetzungsfristen hat die zuständige Behörde die in den jeweiligen Bundesländern geltenden abfallrechtlichen Regelungen zu beachten.

Es trifft nicht zu, daß bei der Umsetzung der Anforderungen der TA Si an bestehende Hausmülldeponien mindestens eine Übergangsfrist von sechs Jahren gilt.

Die Anforderungen der TA Si geben den Stand der Technik zum Zeitpunkt des 30. Mai 1993 und nicht zum Zeitpunkt des 30. Mai 1999 oder später wider.

Die Deponien für Siedlungsabfälle, die in Nordrhein-Westfalen zum Zeitpunkt des Inkrafttretens der TA Siedlungsabfall betrieben wurden, entsprechen in ihrer technischen Ausstattung sehr weitgehend bereits dem Standard der TA Siedlungsabfall. Vor diesem Hintergrund wurden und werden von den Bezirksregierungen die nachträglichen Anordnungen nach § 8 Abs. 1 Satz 3 AbfG zur Aufstellung eines Nachrüstprogramms für Hausmülldeponien in einer begründeten Prioritätenfolge erlassen.

2. Fristen für die Durchsetzung der Ablagerung mineralisierter Restabfälle

Nach Nr. 12.2 haben die zuständigen Behörden spätestens bis zum 1. Juni 1995 nachträgliche Anordnungen zur Einhaltung

- der Zuordnungswerte für die Deponien (Nr. 4.2) und
- der Fristen nach Nr. 12.1

zu erlassen.

Die Übergangsvorschriften sehen im Abschnitt Nr. 12.1 "Ausnahmen von der Zuordnung bei Deponien" vor, daß die **zuständige Behörde** bei der Zuordnung von Siedlungsabfällen Ausnahmen von den Zuordnungen zulassen kann. Diese Ausnahme ist nur möglich, wenn absehbar ist, daß der Abfall **aus Gründen mangelnder Behandlungskapazität** die Zuordnungskriterien nicht erfüllen kann.

Nur wenn diese Voraussetzung gegeben ist, kann die zuständige Behörde

- bei Hausmüll, hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, Klärschlamm und anderen organischen Abfällen für den Zeitraum bis 1. Juni 2005,

- bei Bodenaushub, Bauschutt und anderen mineralischen Abfällen bis zum 1. Juni 2001

Ausnahmen von der Zuordnung zulassen.

Die entsorgungspflichtigen Körperschaften sind durch die TA Siedlungsabfall gehalten, unverzüglich die erforderlichen Maßnahmen zur Errichtung der notwendigen thermischen Behandlungsanlagen für Restabfälle mit reaktiven, organischen Bestandteilen zu ergreifen.

In § 1 Abs. 1 Satz 2 Landesabfallgesetz (LAbfG) ist ausdrücklich und verpflichtend festgelegt, daß bei Maßnahmen der Abfallvermeidung und Abfallentsorgung - damit auch bei der Ablagerung - der Stand der Technik einzuhalten ist. Die Anforderungen an die Eigenschaften der abzulagernden Restabfälle nach dem Stand der Technik ergeben sich für Siedlungsabfälle und für wie diese entsorgbare produktionspezifische Abfälle aus der TA Siedlungsabfall.

Darüber hinaus sind die Kreise und kreisfreien Städte durch § 5 a LAbfG verpflichtet, kommunale Abfallwirtschaftskonzepte aufzustellen. In diesen Konzepten, die schon durch das Landesabfallgesetz vom 21. Juni 1988 vorgegeben wurden, ist u.a. die zeitliche Abfolge der zur Entsorgung des Gebietes notwendigen Abfallentsorgungsanlagen nach dem Stand der Technik anzugeben.

Diese gesetzlichen Regelungen engen das Ermessen der zuständigen Behörde erheblich ein, das diese bei der übergangsweisen Zulassung der Ablagerung von Abfällen, die die Zuordnungskriterien nach Anhang B nicht erfüllen (Nr. 12.1 TA Siedlungsabfall), auszuüben haben.

Die Landesregierung hat nach eingehender Erörterung dieser Sachlage und der Situation der Sicherung der Entsorgung von Siedlungsabfällen in Nordrhein-Westfalen nach dem Stand der Technik für die Befristung der Ablagerung nicht ausreichend behandelter Restabfälle den Bezirksregierungen aufgegeben, wie folgt zu verfahren:

Die Ablagerung dieser Restabfälle ist unter Beachtung der Gegebenheiten des Einzelfalles zum frühestmöglichen Zeitpunkt, spätestens jedoch in 1999 zu beenden. Hierzu sind die heute zur Verfügung stehenden und erprobten thermischen Verfahren einzusetzen.

Die Bezirksregierungen und das LOBA haben die Betreiber von Deponien der Klasse II gemäß § 28 Verwaltungsverfahrensgesetz zur beabsichtigten Befristung der Ablagerung von Restabfällen mit reaktiven, organischen Bestandteilen angehort.

Entsprechende Auflagen für den Betrieb dieser Deponien sind von den Bezirksregierungen bei einer großen Anzahl bereits angeordnet worden bzw. werden in Kürze erlassen.

3. Maßnahmen zur Vereinheitlichung des Vollzugs der TA Siedlungsabfall

Für eine zielgerichtete und lösungsorientierte Umsetzung der TA Si sind zu einer Vielzahl ihrer Anforderungen zusätzliche Erläuterungen und Konkretisierungen erforderlich.

Das Ministerium für Umwelt, Raumordnung und Landwirtschaft (MURL) NRW kann sich dabei auf Vorarbeiten stützen und hat zusätzlich eine Reihe von Maßnahmen veranlaßt.

Hingewiesen wird in diesem Zusammenhang auf

- den Rundertaß des MURL vom 28. Oktober 1993 zu "Mineralischen Deponieabdichtungen" (Richtlinie des Landesumweltamtes NRW),
- die sich beim Landesumweltamt NRW in der Erarbeitung befindliche "Beurteilungshilfe zur Ablagerung von Abfällen",
- die vom Landesumweltamt eingeleitete Erarbeitung eines Entwurfs einer "Allgemeinen Auswertevorschrift" für die von den Deponiebetreibern zu erstellenden Jahresübersichten (Nr. 6.4.4.2)
- auf die Erarbeitung eines Regelwerks zur Ablagerung von Siedlungsabfällen, das die z.T. allgemeinen und nicht immer klaren Vorschriften der TA Si dezidiert interpretieren und konkretisieren soll.

Das MURL beabsichtigt, dieses Regelwerk als ergänzende Verwaltungsvorschrift des Landes zur TA Siedlungsabfall in 1995 bekanntzumachen.

Deponien - Abfallaufkommen, Stand der Technik, Laufzeit, Sickerwasserbehandlung und -aufbereitung

Dr. U. Nienhaus

1. Einführung

Die Deponie weist bis heute eine herausragende Position bei der Entsorgung von Abfällen auf. Handelte es sich in den 50-iger und 60-iger Jahren zumeist um ein "ungeordnetes Abkippen" von Abfällen -zumeist in Gruben- so haben in den letzten Jahrzehnten nachhaltige Fortschritte bei der Entwicklung sicherer Abdichtungssysteme und der Umsetzung umweltgerechter Verfahren bei der Abfallablagerung zu einer Minimierung der Emissionen geführt.

Mit dem Inkrafttreten der TA-Abfall und der TA-Siedlungsabfall wurden weitreichende Anforderungen an die Verwertung, Behandlung und Entsorgung von Abfällen gestellt. Dies führt zu einer Reduzierung der Abfallmengen, da den Grundsätzen Vermeidung und Verwertung sowie Vorbehandlung der Abfälle vor der Ablagerung zunehmend Rechnung getragen wird. Trotz allem bleibt die Deponie ein unverzichtbares Element im Gesamtkonzept der Abfallentsorgung; nur hier ist eine ordnungsgemäße Ablagerung der anfallenden Abfallstoffe gewährleistet.

Im folgenden Beitrag wird der derzeitige Stand der Technik bei Siedlungsabfalldeponien in NRW aufgezeigt. Daneben wird auf den entsprechenden Nachrüstbedarf für die Teilaspekte Oberflächenabdichtung und Sickerwasser, wie er sich aus der TA-Siedlungsabfall ergibt, hingewiesen.

2. Abfallaufkommen in NRW

Das Abfallaufkommen in NRW betrug nach Angaben des Landesamtes für Datenverarbeitung und Statistik (LDS) im Jahr 1990 insgesamt 72,6 Mio. m³. Diese lassen sich wie folgt aufgliedern:

• Gewerbeabfälle	65,6 Mio. t
davon Sonderabfälle	3,1 Mio t
• Hausmüll	7,0 Mio. t
<hr/>	
• Gesamtaufkommen	72,6 Mio. t

Bei den hier genannten Hausmüllmengen handelt es sich hauptsächlich um Abfälle aus privaten Haushalten, die von den Entsorgungspflichtigen selbst oder von beauftragten Dritten in genormten, im Entsorgungsgebiet vorgeschriebenen Behältern regelmäßig gesammelt, transportiert und der weiteren Entsorgung zugeführt werden.

Aus den vorgenannten Zahlen ergibt sich ein Hausmüllaufkommen von ca. 1,1 kg/E · d. Von diesen Mengen werden ca. 20% einer stofflichen Verwertung zugeführt, so daß sich ein Entsorgungsaufkommen von ca. 0,8 kg/E · d ergibt. Die Entsorgung dieser Abfälle erfolgt auf öffentlichen oder gewerblichen Anlagen. Dabei ergibt sich für den Berichtszeitraum 1990 die in Abbildung 1 dargestellte Verteilung.

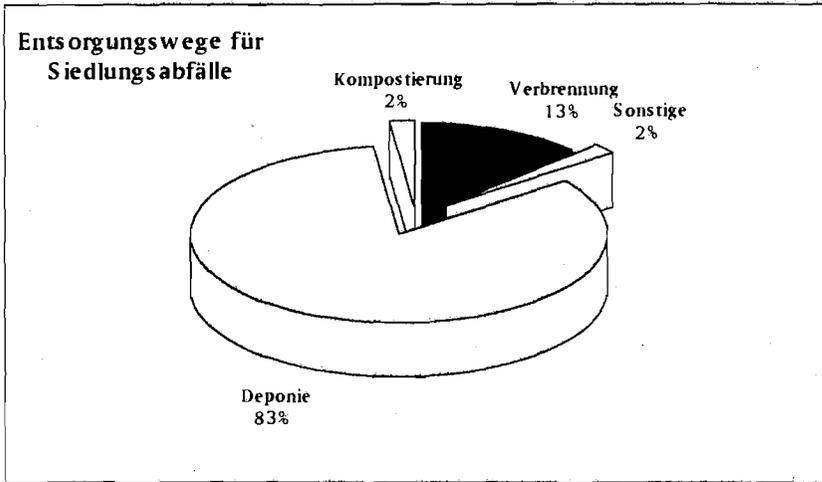


Abb. 1: Verteilung der Siedlungsabfälle auf die verschiedenen Entsorgungsanlagen

Insgesamt sind in NRW 1058 Entsorgungsanlagen zugelassen. Hierauf entfallen für den Bereich der oberirdischen Ablagerung 549 Anlagen, von denen 90 Anlagen bereits geschlossen sind. Die Deponien lassen sich aufgrund der zugelassenen Abfallstoffe zahlenmäßig wie folgt zuordnen:

- Boden- und Bauschuttdeponien, Mineralstoffdeponien 362
- Siedlungsabfalldeponien, Klärschlammdeponien 80
- Gewerbeabfalldeponien 86
- Sonderabfalldeponien 21

3. Stand der Technik bei Siedlungsabfalldeponien in NRW

Im Herbst 1993 führte das damalige Landesamt für Wasser und Abfall NRW (heute: Landesumweltamt NRW) eine Erhebung zum technischen Ausstattungsgrad, gemessen an den Anforderungen der TA Siedlungsabfall, bei betriebenen Hausmülldeponien in NRW durch. Im folgenden werden die Ergebnisse für den Teilaspekt Abdichtungssysteme sowie Sickerwassererfassung vorgestellt.

3.1 Kapazitäten

In NRW waren zum Erhebungszeitpunkt 53 Siedlungsabfalldeponien in Betrieb und 2 Anlagen in Bau (Dortmund-Nordost, Brüggen II). In der Zwischenzeit hat die Deponie Dortmund-Nordost ihren Betrieb aufgenommen. Bei den weiteren Auswertungen wird jeweils die Gesamtzahl von 55 Deponien zugrunde gelegt.

Die Auswertung zeigt, daß zum Erhebungszeitpunkt Siedlungsabfalldeponien mit einem Gesamtvolumen von 295 Mio. m³ zugelassen waren. Davon waren bereits 166,2 Mio. m³ mit Abfall verfüllt, so daß ein Restvolumen von 128,8 Mio. m³ zur Verfügung steht. Weiterhin sind Deponieerweiterungen geplant, die einen zusätzlichen Volumengewinn von 16,1 Mio. m³ erbringen. Somit steht insgesamt eine Restkapazität von 144,9 Mio. m³ zur Verfügung (Abbildung 2).

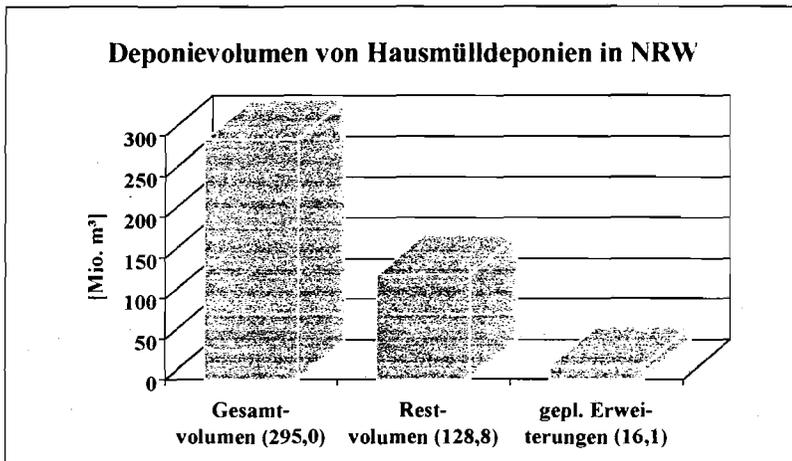


Abb. 2: Deponievolumen von Hausmülldeponien in NRW, Stand 1993

Legt man ein Hausmüllaufkommen von ca. 7 Mio. t/a (LDS, Stand 1990) zugrunde, so würden die derzeitigen Restvolumina -bezogen auf den reinen Hausmüll- eine Entsorgungssicherheit von ca. 21 Jahren gewährleisten. Hier sind jedoch zusätzliche Abfallmengen hinzuzurechnen, die sich aus der Ablagerung von hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, Bauabfällen; Rückständen aus Abwasseranlagen, Klärschlamm usw. ergeben. Ein positiver Effekt ist die zunehmende Vermeidung und Verwertung von Abfällen, die zu verringerten Anlieferungsmengen führen.

Die zum Erhebungszeitpunkt genehmigte Ablagerungsfläche betrug 1.616 ha; die geplanten Erweiterungsflächen betragen 112 ha. Somit stehen insgesamt 1.728 ha Ablagerungsfläche zur Verfügung, von der derzeit ca. 1.120 ha mit Abfall beaufschlagt sind.

3.2 Abdichtungssysteme

3.2.1 Basisabdichtungssysteme

Die Basisabdichtung hat die Aufgabe, Emissionen über die Transportmedien Wasser und Gas sowie durch weitere physikalisch-chemische Prozesse (u.a. Diffusion) in den Untergrund und somit in das Grundwasser zu vermeiden.

Betrachtet man den Ausstattungsgrad der Deponien, so ist dieser sehr unterschiedlich; entsprechend ist der vorhandene Schutz gegenüber möglichen Verunreinigungen des Grundwassers differenziert zu betrachten. Während bei den älteren Deponien z.T. keine oder nur unvollständige Basisabdichtungen eingebaut wurden, weisen die in den letzten Jahren

neu planfestgestellten oder erweiterten Deponien in der Regel eine Kombinationsabdichtung auf. Die Abbildungen 3 und 4 zeigen eine Übersicht über die Basisabdichtungen bei Hausmülldeponien in NRW.

Von den derzeit mit Abfall beaufschlagten Ablagerungsflächen von ca. 1.120 ha sind ca. 575 ha nicht abgedichtet; 545 ha weisen eine Basisabdichtung auf. Dabei reichen die Abdichtungsqualitäten von einfachen Bitumendichtungsbahnen über HDPE-Dichtungsbahnen, mineralischen Abdichtungen bis hin zu Kombinationsabdichtungen.

3.2.1 Oberflächenabdichtungssysteme

Das Oberflächenabdichtungssystem hat die Aufgabe, den Zutritt von Niederschlagswasser in den Deponiekörper zu verhindern, um so die Sickerwasserbildung zu minimieren und die Atmosphäre gegenüber unkontrollierten Gasaustritten zu schützen. Letztlich soll über die Rekultivierung eine Einbindung in die Landschaft ermöglicht werden.

Zunehmend stellt sich jedoch die Frage nach dem Zeitpunkt der Aufbringung der Oberflächenabdichtung. Die TA-Siedlungsabfall fordert für den Regelfall die sofortige Aufbringung der Oberflächenabdichtung. Bei Altanlagen -darunter sind die hier vorgestellten Anlagen zu verstehen- kann gemäß TA-Siedlungsabfall (Nr. 11.2.1, h) die Aufbringung der endgültigen Oberflächenabdichtung nach dem Abklingen der Hauptsetzungen erfolgen.

Das zweigestufte Vorgehen, d.h. Aufbringung einer temporären Abdeckung zur Optimierung der Gasproduktion und Schaffung eines weitgehend inertisierten Abfallkörpers mit anschließender endgültigen Abdichtung ist unter den jeweiligen Standortvoraussetzungen (funktionsfähiges Basisabdichtungssystem) zu prüfen.

Die bisher aufgebrachten Oberflächenabdichtungssysteme weisen sehr unterschiedliche Qualitäten auf. Dabei standen zu Beginn dieser Maßnahmen optische Zwecke und der Schutz gegen Ungeziefer und Vögel im Vordergrund. Außerdem stellte die Abdeckung mit einer geringmächtigen Bodenschicht die Grundlage für die Vegetationsdecke dar.

Der derzeit vorhandene Oberflächenschutz besteht zum Teil aus Abdeckungen, d.h. aus bindigen Bodenschichten mit Durchlässigkeitsbeiwerten von ca. 1×10^{-7} m/s (Rekultivierungsschichten) bis hin zu Abdichtungen (z.T. Kombinationsabdichtungen) mit einer Dichtigkeit der mineralischen Komponente von $\leq 1 \times 10^{-10}$ m/s. Von den hier betrachteten 55 Entsorgungsanlagen weisen nur 15 Deponien eine "Abdichtung" auf. Bei weiteren 32 Anlagen erfolgen derzeit Planungen für ein Oberflächenabdichtungssystem entsprechend dem Stand der Technik.

Generell läßt sich feststellen, daß nur die in den letzten Jahren aufgebrachten Oberflächenabdichtungen -gemessen an den Anforderungen der TA Siedlungsabfall- dem Stand der Technik entsprechen. Die Abbildung 5 zeigt die Anzahl bereits erfüllter Teilabschnitte mit Oberflächenabdichtungen auf Deponien. Die Abbildung 6 spezifiziert diese Abdichtungen hinsichtlich der verwendeten Materialien.

Aus dem Vorgesagten ergibt sich bei den Altanlagen ein erheblicher Nachrüstbedarf zur Anpassung der Deponien an den Stand der Technik. Dabei steht die Forderung nach dem Regelsystem der TA-Siedlungsabfall im Vordergrund. Aufgrund der speziellen Standortverhältnisse und des geotechnischen Verhaltens des Abfallkörpers sind jedoch auch alternative Systeme zu erwarten, die diesen Gegebenheiten Rechnung tragen.

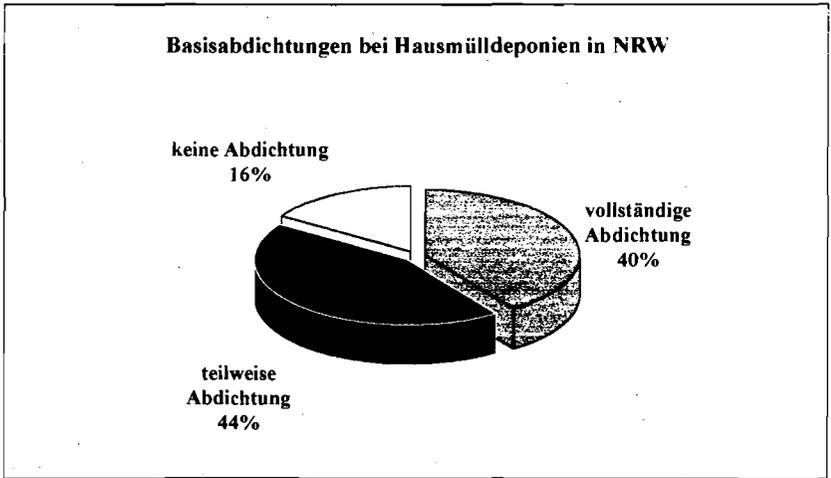


Abb. 3: Ausstattungsgrad der Hausmülldeponien mit Basisabdichtungen, Stand 1993

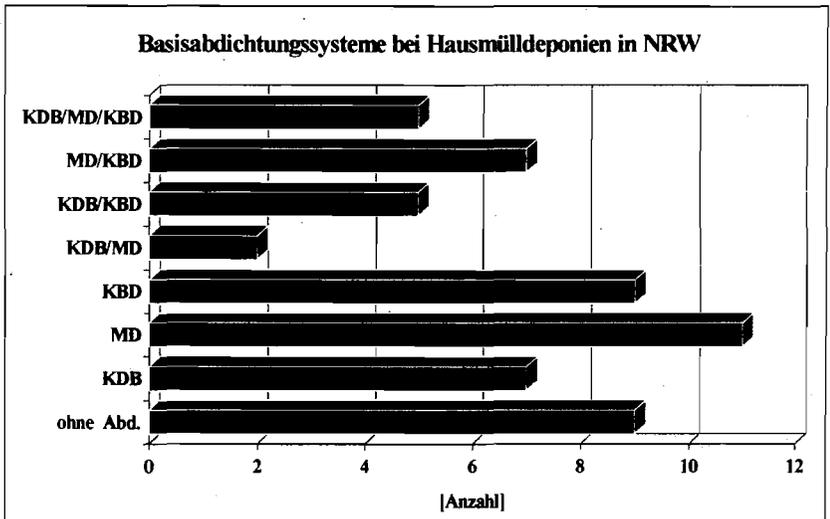


Abb. 4: Art der Deponiebasisabdichtungssysteme bei Hausmülldeponien in NRW, Stand 1993. (KDB: Kunststoffdichtungsbahn, MD: Mineralische Abdichtung, KBD: Kombinationsabdichtung)

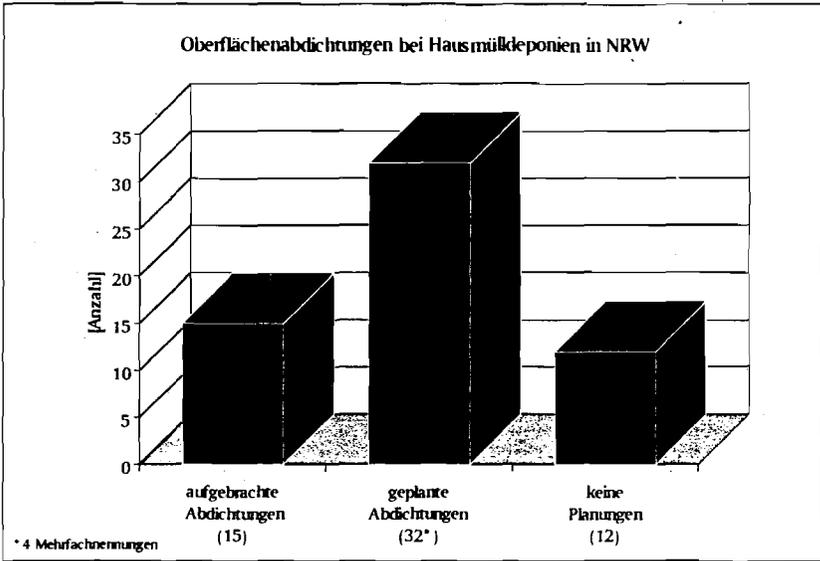


Abb. 5: Oberflächenabdichtungen auf bereits verfüllten Teilabschnitten von Hausmülldeponien in NRW, Stand 1993

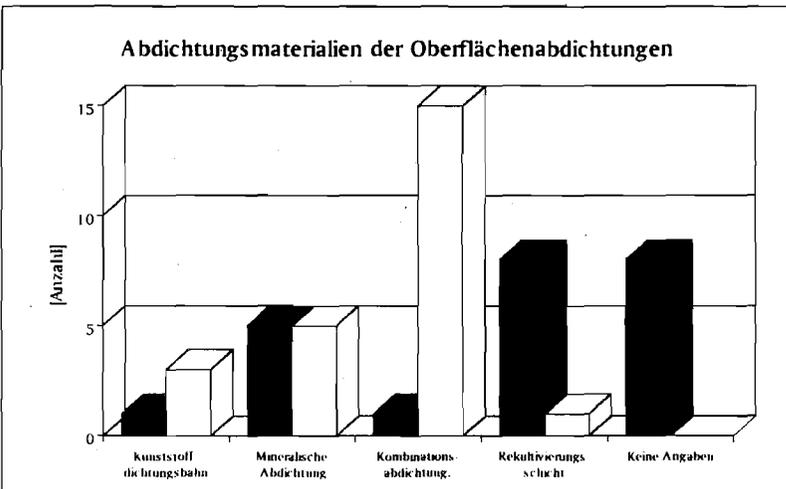


Abb. 6: Abdichtungsmaterialien der Oberflächenabdichtungen bei Hausmülldeponien in NRW, Stand 1993. Säule 1: bestehende Abdichtungen, Säule 2: Planungen

4. Sickerwasser

4.1 Sickerwassermenge und -beschaffenheit

Mit Deponiesickerwasser wird das an der Basis einer Deponie anfallende Wasser bezeichnet. Dies wird dort mittels der entsprechenden Entwässerungssysteme erfaßt, gesammelt und einer Behandlung zugeführt.

Das Sickerwasser gehört zu den Bilanzparametern im hydrologischen System der Entsorgungsanlage und ergibt sich im wesentlichen aus der Differenz von Niederschlag, Oberflächenabfluß, Verdunstung und Rückhalt. Die meist breite Streuung der Sickerwassermengen ist auf die unterschiedlich eingelagerten Abfallarten, der Wasserspeicherkapazität, des Verdichtungsgrades und auch der Abdeckungs- bzw. Abdichtungsstadien einer Deponie zurückzuführen. Daneben kommt es zu einem Aufbrauch bzw. einer Abgabe von Wasser durch Eigenproduktion infolge biochemischen Abbaus im Abfallkörper. Nach FRANZIUS und EHRIG kann für den aeroben Abbau eine Produktion von max. 0,5 und für den anaeroben Abbau ein Bedarf von 0,1 t Wasser pro t Trockensubstanz angesetzt werden (nach DAHM et al., 1994).

Die durchschnittliche jährliche Sickerwassermenge beträgt nach EHRIG (1979) ca. 5 m³/h·d; dies entspricht ca. 25% des jährlichen Niederschlages. Diese Mengen werden von DAHM et al. (1994) als zu niedrig angesehen. Die dort veröffentlichten Auswertungen führen zu einem mittleren Wert von 7,36 m³/h·d. Dieser um ca. 50% höhere Wert hätte erheblichen Einfluß auf die Dimensionierung der entsprechenden Behandlungsanlagen.

Neben den anfallenden Sickerwassermengen sind vor allem die Inhaltsstoffe auch im Hinblick auf eine Vorbehandlung von Bedeutung. Da der abgelagerte Abfall aus sehr unterschiedlichen Fraktionen und Stoffen besteht, stellt sich das Sickerwasser als ein sehr komplexes Gemisch verschiedener Schadstoffe dar.

Ein Hauptbestandteil des Sickerwassers bilden organische Inhaltsstoffe, ausgedrückt durch die Parameter CSB, BSB₅, AOX und TOC. Daneben spielen Stickstoffverbindungen eine wesentliche Rolle (Ammonium ist stark sauerstoffzehrend, Ammoniak ist fischtoxisch). Bei Siedlungsabfalldeponien und insbesondere bei Reststoff- und Schlackedeponien treten größere Mengen anorganischer Salzbildner auf (HCO₃⁻, Cl⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺). Eine untergeordnete Rolle kommt den Schwermetallen im Sickerwasser zu.

Bedingt durch die biochemischen Abbauprozesse im Abfallkörper weist das Sickerwasser entsprechend den verschiedenen Zustandsphasen (saure Phase, Methanphase) Qualitätsänderungen auf. Dabei ist die saure Phase durch eine hohe organische Belastung (CSB, BSB₅) gekennzeichnet. In der Methanphase nehmen die organischen Belastungen stark ab. Abbildung 7 1 zeigt beispielhaft den CSB-Verlauf und Abhängigkeit vom Deponiealter auf.

4.2 Sickerwassererfassung auf Hausmülldeponien in NRW

In NRW sind derzeit 549 Deponien zugelassen. Grundsätzlich ist bei allen Deponien mit einer Sickerwasserbildung zu rechnen. Bei Erdaushub- und Bauschuttdeponien erfolgt derzeit jedoch nur in besonderen Ausnahmefällen eine Sickerwassererfassung. Ebenso weisen die Anfang der siebziger Jahre zugelassenen Deponien nur zum Teil ein vollständiges Sickerwassererfassungssystem an der Basis auf.

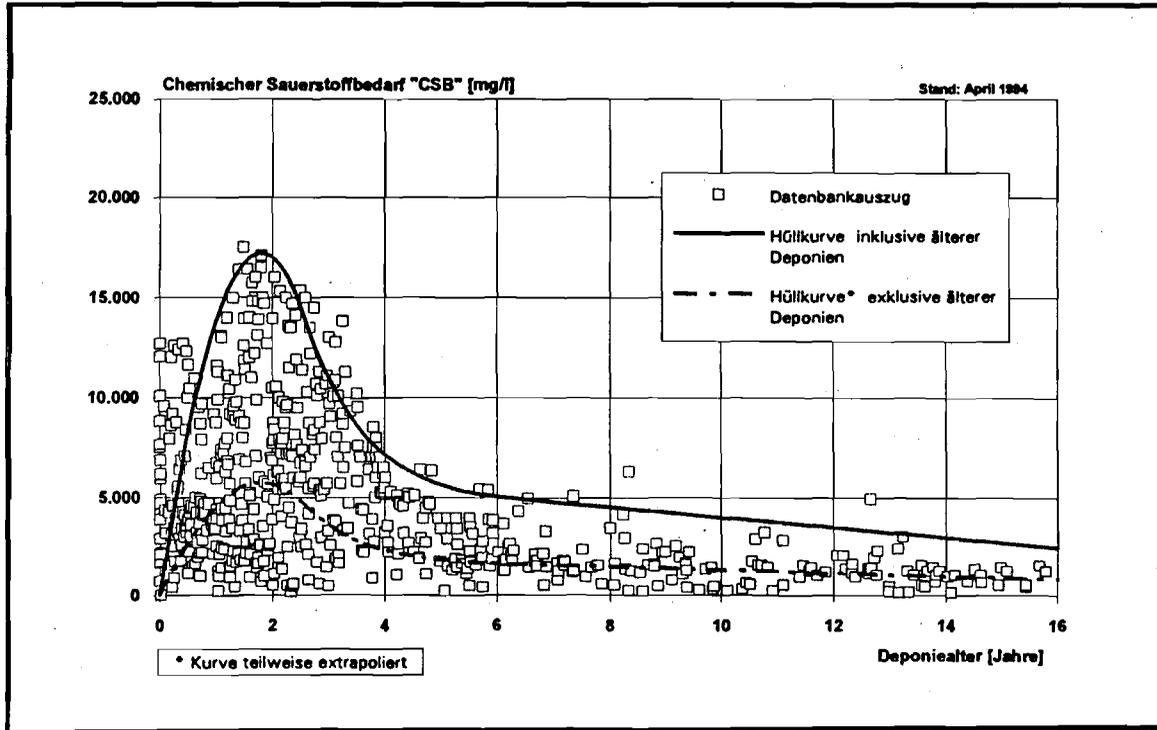


Abb. 7: Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB) in Abhängigkeit vom Deponiealter (nach DAHM et al., 1994)

Bei den derzeit in Betrieb befindlichen Siedlungsabfalldeponien erfolgt in der Regel eine Sickerwassererfassung. Hierbei ist jedoch zu berücksichtigen, daß 31 Deponien nur mit Teilabdichtungen an der Basis ausgestattet sind und es somit in diesen Fällen auch nur zu einer Teilerfassung des Sickerwassers kommt.

Abbildung 8 zeigt, daß bei allen hier betrachteten 53 betriebenen Anlagen eine Sickerwassersammlung durchgeführt wird. Dabei erfolgt in der Regel die Abfuhr bzw. Ableitung des Sickerwassers direkt zu einer Kläranlage oder zu einer anderen Entsorgungsanlage zur Mitbehandlung in der dort vorhandenen Sickerwasserreinigungsanlage. Bei 10 Deponien erfolgt eine Reinigung des Sickerwassers mittels einer Sickerwasserbehandlungsanlage. Bei einer Deponie erfolgt eine Direkteinleitung des unbehandelten Sickerwassers in den Vorfluter.

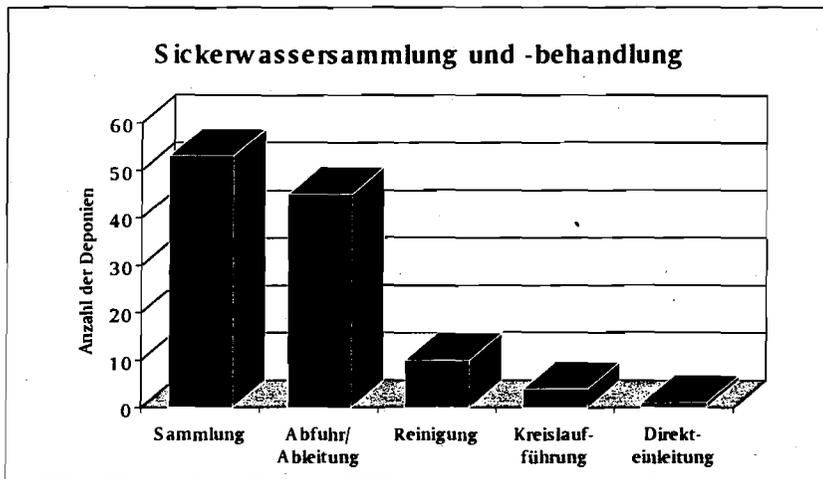


Abb. 8: Sickerwassersammlung und -behandlung auf Siedlungsabfalldeponien in NRW, Stand 1993

Zum Erhebungszeitpunkt 1993 betrug die anfallende Sickerwassermenge auf den betriebenen Siedlungsabfalldeponien ca. 3,3 Mio. m³/a. Hiervon wurden jedoch nur 0,63 Mio. m³/a, dies entspricht einem Anteil von ca. 20%, der anfallenden Sickerwasserjahresmengen, einer Vorbehandlung auf der Deponie unterzogen.

Nach Inbetriebnahme der geplanten bzw. in Bau befindlichen Anlagen erhöht sich der Anteil der vorbehandelten Sickerwassermengen auf ca. 1,3 Mio. m³/a (ca. 39% der Gesamtmenge). Der größte Anteil von ca. 2 Mio. m³/a (61%) wird weiterhin direkt einer öffentlichen Kläranlage oder einer anderen Anlage zur Mitbehandlung zugeführt.

Tabelle 2 zeigt nochmals eine Zusammenstellung der anfallenden und behandelten Sickerwassermengen.

	Anzahl [-]	Sickerwasser- behandlung	Sickerwassermengen [1000 m³/a]
Deponien mit SW-Behandlungs- anlagen	12	ja	633
Deponien mit geplanten Anlagen zur SW-Behandlung	17	geplant	655
Deponien ohne SW-Behand- lungsanlagen	24	nein	2.040
Gesamt	53		3.328

Tab. 2: Vorhandene und geplante Sickerwasserbehandlungsanlagen sowie die zu behandelnden Sickerwassermengen

5. Ausblick

Bei den derzeit betriebenen Siedlungsabfalldeponien zeigt sich ein Nachrüstbedarf für den Bereich Oberflächenabdichtungen und Sickerwasserbehandlungsanlagen.

Für die Oberflächenabdichtung gibt die TA-Siedlungsabfall ein Regelabdichtungssystem vor. Bei den Altdeponien stellt sich jedoch die Frage, ob durch ein direktes Aufbringen der Abdichtung die erwünschten biochemischen Prozesse vorzeitig beendet werden. Insofern ist zu prüfen, ob in Abhängigkeit der Standortvoraussetzungen ein zweigestuftes Vorgehen anzustreben ist. Dies hieße zunächst eine temporäre Abdeckung bis zum Abklingen der Hauptsetzungen aufzubringen und somit auch eine Optimierung der biochemischen Reaktionen mit entsprechender Gasbildung zu erreichen. Nach weitgehender Stabilisierung sollte das endgültige Oberflächenabdichtungssystem aufgebracht werden.

Ein anderer Aspekt stellt die Sickerwasserbehandlungsanlage dar. Die Erfassung des Sickerwassers wird auf allen Anlagen durchgeführt. Es fehlen derzeit noch Behandlungskapazitäten, um die anfallenden Sickerwassermengen einer entsprechenden Vorbehandlung auf der Deponie zu unterziehen.

Für die Zukunft ist jedoch mit veränderten Sickerwassermengen und -qualitäten zu rechnen. Durch die zunehmende thermische Vorbehandlung der Abfälle ist mit vorwiegend anorganisch belasteten Sickerwässern zu rechnen. Durch die sand- bis kiesförmige Struktur der Restabfälle und der geringeren Feldkapazität sind auch höhere Sickerwassermengen zu erwarten.

6. Literaturverzeichnis

- ABFALLGESETZ (AbfG) - Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen vom 27. August 1986, zuletzt geändert am 22. April 1993.
- BURKHARDT, G. & EGLOFFSTEIN, G. (1993): Deponien der Zukunft, Entwicklungen in der Deponietechnik, VDI-Seminar "Deponiedichtungssysteme nach TA Abfall", München.
- DRITTE ALLGEMEINE VERWALTUNGSVORSCHRIFT ZUM ABFALLGESETZ (TA Siedlungsabfall): Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 14.05.1993.
- GESETZ ZUR VERMEIDUNG VON RÜCKSTÄNDEN; VERWERTUNG VON SEKUNDÄR-ROHSTOFFEN UND BESEITIGUNG VON ABFÄLLEN, Bundesratdrucksache 654/94 vom 24.06.1994.
- NIENHAUS, U.: Siedlungsabfalldeponien in NRW, technische Ausstattung und Nachrüstbedarf, Fortschritte der Deponietechnik 1994, Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Erich Schmidt Verlag, Berlin.
- STEINWACHS, D. (1994): Stand der Technik bei Siedlungsabfalldeponien in NRW, Diplomarbeit an der Universität/Gesamthochschule Essen.
- ZWEITE ALLGEMEINE VERWALTUNGSVORSCHRIFT ZUM ABFALLGESETZ (TA Abfall), Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen vom 12.03.1991.

Vorgehensweise des Deutschen Instituts für Bautechnik (DIBt) bei der Beurteilung der Gleichwertigkeit von Oberflächenabdichtungssystemen nach TA Abfall und TA Siedlungsabfall BD Dipl.-Ing. C. Herold

1.0 Vorbemerkungen

Abdichtungssysteme stellen im Rahmen des sogenannten Mehrbarrierenkonzeptes ein wesentliches Element bei der Sicherung von Deponien dar. Ihnen wird daher in den gesetzlichen und technischen Regelwerken ein breiter Raum eingeräumt. Durch bestimmte Verfahren bei der Beurteilung und Genehmigung von Deponieabdichtungssystemen soll sichergestellt werden, daß sie die an sie gestellten Anforderungen mit ausreichender Sicherheit erfüllen. Dabei kommt der Oberflächenabdichtung von Deponien als kontrollierbarer und ggf. auch reparierbarer Maßnahme eine entscheidende Bedeutung bei der Langzeitsicherung einer Deponie zu. Ehe hierauf jedoch im einzelnen eingegangen wird, sollen die gesetzlichen Grundlagen und die sich daraus ergebenden Zuständigkeiten und Verfahrenswege für die Bewertung der Eignung von Deponieabdichtungssystemen näher erläutert werden.

2.0 Rechtliche Grundlagen

2.1 Abfallrecht

Die gesetzliche Grundlage für die Errichtung und den Betrieb von Abfallentsorgungsanlagen bildet das Gesetz über die Verwendung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz - AbfG) vom 27.8.86 mit Änderung vom 1.5.93 /1/. Eine weitere Konkretisierung dieses Gesetzes erfolgt durch die rechtlich verbindlichen Verwaltungsvorschriften TA-Abfall (TA-A) /2/ und TA-Siedlungsabfall (TA-Si) /3/. Hierin werden u. a., abgestuft nach Deponieklassen, Regelaufbauten für Abdichtungssysteme an Deponiebasis und -oberfläche festgelegt, mit denen nach dem **Stand der Technik** die Schutzziele der Reinhaltung von Boden und Grundwasser erreicht werden sollen. Für Sonderabfalldeponien und Siedlungsabfalldeponien Klasse II ist dies die Kombinationsabdichtung bestehend aus einer mineralischen Dichtungsschicht in Verbindung mit einer Kunststoffdichtungsbahn (KDB).

Weiterhin wird bestimmt, daß die Eignung der Kunststoffdichtungsbahn durch einen geeigneten Gutachter - z. B. durch die **Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM)** oder das **Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt)** festzustellen ist. Es wird ausdrücklich darauf hingewiesen, daß Prüfpflichten nach anderen Rechtsvorschriften wie z. B. dem Bauordnungsrecht oder dem Wasserhaushaltsrecht hiervon unberührt bleiben. Nähere Angaben zu Anforderungen an die KDB werden nicht genannt, während Anforderungen an die mineralische Komponente in den Verwaltungsvorschriften in gewissem Umfang gestellt werden. Zulassungen für Kunststoffdichtungsbahnen werden seit 1989 auf der Basis eines niedersächsischen /4/ und thüringischen Erlasses /5/ von der Bundesanstalt für Materialforschung und

-prüfung (BAM) erteilt. Diese Zulassungen werden in der Regel auch in anderen Bundesländern beim Genehmigungsverfahren anerkannt.

Die in der TA-A und TA-Si enthaltene Öffnungsklausel für alternative Abdichtungssysteme kann angewendet werden, wenn die **"Gleichwertigkeit"** mit den Regelsystemen nachgewiesen wird. Offen blieb dabei bisher, wie diese Gleichwertigkeit nachzuweisen ist und wo hierfür die Zuständigkeit bei möglichst einheitlicher Vorgehensweise für alle Bundesländer liegt. Auf die Möglichkeit, daß dies von der BAM oder dem DIBt wahrgenommen werden kann, wird hingewiesen.

2.2 Baurecht

Neben dem Abfallrecht sind beim Bau von Deponien jedoch auch weitere Rechtsbereiche berührt. Dies sind neben dem **Wasserhaushaltsrecht**, dem **Immissionschutzrecht** vor allem auch das **Baurecht**.

Deponien sind bauliche Anlagen im Sinne von § 2 der Musterbauordnung /6/. Danach sind bauliche Anlagen so zu errichten, daß die öffentliche Sicherheit oder Ordnung, insbesondere Leben oder Gesundheit oder die natürlichen Lebensgrundlagen nicht gefährdet werden (§ 3). Jede bauliche Anlage muß im Ganzen und in seinen einzelnen Teilen für sich allein standsicher sein (§ 15) und sie muß so beschaffen sein, daß durch ... chemische, physikalische oder biologische Einflüsse Gefahren oder unzumutbare Belästigungen nicht entstehen (§ 16). Die **Technischen Baubestimmungen** und die **allgemeinen anerkannten Regeln der Technik** sind zu beachten. Wenn von ihnen abgewichen wird bzw. wenn Baustoffe, Bauteile oder Bauarten, die für eine Funktion des Bauwerks eine wesentliche Bedeutung haben, nach o. g. Regeln nicht beurteilt werden können, ist deren Verwendbarkeit nach § 20 MBO durch eine **allgemeine bauaufsichtliche Zulassung**, ein **allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis** oder durch **Zustimmung im Einzelfall** nachzuweisen. Auf Deponien übertragen hieße das, daß Fragen der Standsicherheit des Gesamtbauwerkes und seiner Teile, wie auch Fragen der Verwendbarkeit von Bauprodukten für Abdichtungen unter diesen Gesichtspunkten auch nach dem Baurecht beurteilt werden müssen.

Für die Erteilung von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen ist aufgrund der Übertragungsverordnung der Bundesländer das DIBt die zuständige Behörde. Das DIBt wirkt ebenso mit bei der Erstellung bauaufsichtlicher Prüfzeugnisse und bei Zustimmungen im Einzelfall.

2.3 Zusammenführung der Rechtsbereiche

Beide Rechtsbereiche müssen nun in geeigneter Weise durch ein Verfahren zusammengeführt werden, das die Einhaltung der Schutzziele sowohl des Abfallrechts wie des Baurechts sicherstellt.

Nach § 7 AbfG ist für die Errichtung von Deponien grundsätzlich ein **Planfeststellungsverfahren** durchzuführen. Aufgrund der sogenannten Konzentrationswirkung müssen bei diesem Verfahren die Erfordernisse anderer betroffener Rechtsbereiche wie des Baurechts berücksichtigt werden. Derzeit kann grundsätzlich davon ausge-

gangen werden, daß die auf der Grundlage des Abfallrechts geforderten Eignungsnachweise für die Regelsysteme also auch die Zulassungen der BAM für KDB auch im Sinne der Erfordernisse des Baurechts anerkannt werden können. Zusätzliche baurechtlich begründete Anforderungen an das Regelsystem können sich in Fragen der Standsicherheit ergeben.

Auch nach dem Baurecht müssen für die vom Regelaufbau abweichenden alternativen Abdichtungssysteme entsprechende Verwendbarkeitsnachweise erbracht werden, da für sie anerkannte Regeln der Technik (noch) nicht existieren.

Die Zuständigkeit hierfür liegt, wie bereits erwähnt, beim DIBt. Die in dessen Verantwortungsbereich erarbeiteten Zulassungen und Gutachten müssen dann aber auch gleichzeitig die Bedürfnisse des Abfallrechtes hinsichtlich der spezifischen Anforderungen an Deponien mit berücksichtigen. Es ist also der geforderte Nachweis der Gleichwertigkeit mit den Regelsystemen in geeigneter Weise zu erbringen. Diese Vorgehensweise wird grundsätzlich von der Länderarbeitsgemeinschaft Abfall (LAGA) unterstützt.

Da sich beide Rechtsbereiche eng berühren, war es erforderlich, zwischen dem DIBt und der BAM eine Koordinierung der Zulassungstätigkeiten herbeizuführen. Aus der zwischen beiden Institutionen getroffenen Absprache ergibt sich folgende konkrete Vorgehensweise:

Für die in der TA-A und der TA-Si genannten **Regelsysteme** erarbeitet die **BAM** wie bisher im Rahmen der abfallrechtlichen Bestimmungen Zulassungen für die Kunststoffdichtungsbahnen und in Zukunft auch für geotextile Schutzschichten. Im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens kann dieser Zulassungsschein als Gutachten auch für bauaufsichtliche Belange herangezogen werden.

Das **DIBt** wird auf der Grundlage des Baurechts tätig und ist neben der Beurteilung der "**Verwendbarkeit**" auch zuständig für den einheitlich geführten **Nachweis der "Gleichwertigkeit"** von alternativen, von den Regelsystemen abweichenden Abdichtungen. Für diesen Nachweis gibt es grundsätzlich drei Möglichkeiten:

1. Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung

Unabhängig von einem konkreten Bauvorhaben kann ein Produkthersteller eine Zulassung für sein Produkt beantragen. Nach entsprechender Prüfung und Begutachtung kann eine bauaufsichtliche Zulassung unter konkreter Angabe der Anwendungsbedingungen erteilt werden. In der Zulassung kann auf andere zu berücksichtigenden Regeln verwiesen werden.

2. Allgemeines bauaufsichtliches Prüfzeugnis

Kann ein Produkt nach anerkannten Prüfverfahren beurteilt werden, so wird hierfür von einer vom DIBt anerkannten Prüfstelle ein bauaufsichtliches Prüfzeugnis erstellt, sofern die Bauregelliste dieses so vorsieht.

3. Zustimmung im Einzelfall

Bei der Durchführung des Planfeststellungs- oder Genehmigungsverfahrens wird von der zuständigen Genehmigungsbehörde eines Bundeslandes über ein einzelnes Deponiebauvorhaben entschieden. Liegen z. B. für die alternativen Abdichtungssysteme keine Zulassungen vor, so hat die Genehmigungsbehörde die Möglichkeit, das DIBt mit der Erstellung eines Gutachtens zu einem vorgelegten Nachweis der Gleichwertigkeit zu beauftragen. Dieses Gutachten kann dann von der Genehmigungsbehörde als eine wesentliche Entscheidungsgrundlage für die Zustimmung im Einzelfall genutzt werden. Hierbei können nach Abschnitt 2.4 auch Ausnahmeregelungen nach vorheriger Abwägung genehmigt werden.

Diese Verfahren sind vorgesehen für Produkte, die nicht nach den sogenannten anerkannten Regeln der Technik beurteilt werden können und die nicht nur untergeordnete Bedeutung haben.

Für Bauprodukte und Bauarten, deren Zusammensetzung und Aufbau auf der Grundlage von abgesicherten und erprobten Erkenntnissen beschrieben werden? kann und deren Herstellung und Einbau von fachlich versierten Firmen sicher beherrscht werden, können unter Mitwirkung des DIBt allgemein anerkannte Regeln (z. B. Normen) erarbeitet werden, nach denen die erforderlichen Eignungsnachweise zu erbringen sind. Unter Bindung an die Auflagen dieser Regeln kann dieses Produkt dann ohne das Erfordernis einer besonderen Zulassung eingesetzt werden.

Darzeit steht im Vordergrund der Arbeit des DIBt die Bearbeitung von allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassungen sowie die Mitwirkung bei Zustimmungen im Einzelfall.

3.0 Beurteilung der Gleichwertigkeit von alternativen Abdichtungssystemen

TA-A und TA-Si sind in vielen Punkten sehr unpräzise und bedürfen der Interpretation und Konkretisierung. Dies gilt auch für die Forderung, daß Abdichtungssysteme dem "Stand der Technik" entsprechen und daß von den Regelsystemen abweichende alternative Systeme "gleichwertig" sein müssen.

Die Beschreibung von Regelsystemen in einer Rechtsvorschrift ist grundsätzlich problematisch, da diese hierdurch mit einer Fülle von Detailregeln belastet wird und zu ständiger Novellierung zwingt, um mit der technischen Entwicklung Schritt zu halten. Zugleich ist die verbindliche Angabe, was Stand der Technik bei Deponieabdichtungssystemen ist und somit als Maßstab für alternative Systeme gelten soll, in sich widersprüchlich, da der Begriff Stand der Technik eigentlich ein dynamischer Begriff ist.

In gewisser Weise hat man dies durch das Erfordernis einer Zulassung für die KDB berücksichtigt, ohne allerdings hierfür eindeutige Zulassungsbedingungen festzulegen. Die Praxis hingegen zeigt - und auch die Erkenntnisse aus zwischenzeitlicher Forschung - daß z.B. die mineralische Komponente der Kombinationsabdichtung, wie sie in der TA-A und TA-Si beschrieben wird, durchaus nicht als eine allen Anforderungen gewachsene Dichtungsschicht bezeichnet werden kann und daß die Festlegung auf die Kombinationsabdichtung, insbesondere was die Einbauproble-

matik, die Eignung als Abdichtung im Böschungsbereich und als Oberflächenabdichtung betrifft, zu Problemen führen kann. Offensichtlich stellen also die derzeitigen Regelsysteme nicht in allen Punkten den "Stand der Technik" dar, was bedeutet, daß die Frage der "Gleichwertigkeit" mit diesen Regelsystemen ebenfalls differenziert gesehen werden muß. In diesem Zusammenhang sei auf die bekannte Bundesratsstellungnahme zur TA-Si verwiesen, wonach bezweifelt werden muß, daß das vorgegebene Regelsystem zur Oberflächenabdichtung bereits dem Stand der Technik entspricht, so daß es fraglich ist, ob sich alternative Systeme in allen Punkten daran messen müssen.

Diese Tatsachen sind u. a. auch ein Grund dafür, daß die Tendenz, alternative Systeme einzusetzen, in vielen Bundesländern sehr groß ist.

Es stellt sich somit das Erfordernis, im Einklang mit den Regeln von TA-A und TA-Si und unter Berücksichtigung der sich gegenwärtig darstellenden Erkenntnisse und praktischen Erfahrungen eine Basis für die Beurteilung der Eignung von Deponieabdichtungen zu schaffen. Denn nichts anderes kann realistischerweise unter der Forderung nach "Gleichwertigkeit" verstanden werden. Dies ist zugegebenermaßen sehr schwierig, da die komplexen Einwirkungen aus einer Deponie sowie das Verhalten von Materialien und Systemen vielfach nicht oder nur unzureichend beschrieben werden können. Dies ist natürlich auch der Grund dafür, daß man in den technischen Anleitungen die mehr oder weniger unscharfe Beschreibung von Regelsystemen vorgenommen hat, anstatt grundsätzliche Anforderungen an Deponieabdichtungssysteme z. B. zum zulässigen Emissionsverhalten zu formulieren.

Der Einsatz von alternativen Systemen macht es jedoch zwingend erforderlich, zunächst in einem ersten Schritt einheitliche Beurteilungsgrundlagen hierfür zu schaffen. Die Öffnung einer Verwendungsmöglichkeit für alternative Systeme unter kontrollierten und verantwortbaren Bedingungen ist auf jeden Fall zu begrüßen. Sie ermöglicht:

1. Die gezielte Ausnutzung stofflicher und systembedingter Vorteile unter definierten, ggf. auch einschränkenden Bedingungen
2. Den an den jeweiligen Gegebenheiten orientierten optimalen und damit auch wirtschaftlichen Einsatz von Baustoffen und Systemen
3. Die notwendige Weiterentwicklung der Abdichtungstechnik auf diesem Gebiet

3.1 Organisatorische und inhaltliche Vorgehensweise

Im folgenden soll das organisatorische und inhaltliche Konzept erläutert werden, mit dem das DIBt an die Bearbeitung dieser Fragestellung herangegangen ist. Dabei stand im Vordergrund, daß dies kein Konzept sein darf, das erst nach Klärung aller Fragen in einem unbestimmten Zeitraum mit Ergebnissen aufwarten kann. Die Bedürfnisse bei der praktischen Planungs- und Bautätigkeit von Deponien sind heute vorhanden und entsprechende Antworten auf Fragen müssen heute, spätestens morgen und nicht übermorgen gegeben werden. Es war also ein gleichermaßen an den Erfordernissen der sicheren Deponierung von Abfällen wie an den Erfordernissen der Baupraxis orientierte Vorgehensweise zu wählen, die ggf. unter bestimmten Auflagen und Bedingungen in absehbarer Zeit den Einsatz von alternativen Depo-

nieabdichtungen ermöglicht. Dabei war ein wesentlicher Gesichtspunkt, daß eine Beurteilung der Gleichwertigkeit in allen Bundesländern nach einheitlichen Kriterien erfolgen soll. Voraussetzung für die Akzeptanz dieser Kriterien ist deswegen eine Beteiligung und möglichst große Übereinstimmung aller auf diesem Gebiet tätigen verantwortlichen Fachleuten und Institutionen.

Die Voraussetzung hierfür wurde vom DIBt mit der Gründung des Arbeitskreises **"Grundsätze der Deponietechnik und Sicherung von Altlasten" (AK GDSA)** geschaffen, der seine Arbeit im November 1993 aufgenommen hat. Der AK GDSA hat eine zeitlich befristete Aufgabe in der Erarbeitung von Grundsätzen für die Beurteilung von Deponieabdichtungssystemen.

Er besteht z. Z. aus 25 Mitgliedern aus Bauwirtschaft, Planung, Forschung, Prüfung und Verwaltung. Maßgebende Institutionen wie das Umweltbundesamt (UBA), die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), die Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (DGGT) und die Landesgewerbeanstalt Bayern (LGA) sowie Vertreter der Abfallbehörden der Bundesländer sind hierbei beteiligt.

Die konkrete Beurteilung der Eignung von alternativen Abdichtungssystemen erfolgt jedoch in materialspezifisch ausgerichteten **Sachverständigenausschüssen (SVA)**. Sie arbeiten auf der Grundlage der im AK GDSA beratenen Grundsätze, die in entsprechender Weise auf ein konkretes alternatives Abdichtungssystem anzuwenden sind.

Um sicherzustellen, daß die aktuellen Arbeitsergebnisse des AK GDSA im SVA berücksichtigt werden, gehören ihm gleichzeitig auch Mitglieder des AK GDSA an. Derzeit gibt es zwei Vorläufer dieser Sachverständigenausschüsse:

ad hoc-Arbeitskreis "Deponieabdichtungen mit Asphalt"

ad hoc-Arbeitskreis "Deponieabdichtungen mit mineralischen Baustoffen"

Sie werden in Kürze als reguläre Sachverständigenausschüsse (SVA) beim DIBt berufen.

Die Trennung zwischen "Grundsatzausschuß" (AK GDSA) und "Materialausschuß" (SVA) erschien dem DIBt notwendig, damit eine aus der jeweiligen konkurrierenden Interessenlage einzelner Beteiligten erwachsende Erschwerung und ggf. Blockierung aus sachfremden Gründen bei der Zulassung von Systemen möglichst nicht erfolgen kann. Bei stoffübergreifenden Fragestellungen werden Sachverständige aus mehreren Ausschüssen zeitweilig beteiligt. Diese Arbeitsweise hat sich bei den bisher zu treffenden Entscheidungen bewährt.

Anträge auf bauaufsichtliche Zulassung bzw. Gutachten für Einzelfälle können beim DIBt gestellt werden. Ihre Bearbeitung erfolgt grundsätzlich in den SVA. Auf der Grundlage dieser Beratungsergebnisse werden vom DIBt allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen bzw. Gutachten erteilt.

Alle genannten Ausschüsse arbeiten in eigenverantwortlicher Weise. Die Geschäftsführung liegt beim DIBt.

Der AK GDSA trat das erste Mal im November 1993 zusammen und hatte bisher drei Sitzungen. Die vierte Sitzung findet im November diesen Jahres statt. Die stoffspezi-

fischen Ausschüsse haben bisher zweimal getagt, jeweils eine dritte Sitzung erfolgt noch im Laufe dieses Jahres.

3.2 Derzeitiger Beratungsstand des AK GDSA

Der derzeitige Beratungsstand soll, soweit hierüber bereits grundsätzliche Einigung erzielt worden ist, in einem ersten kurzen Überblick dargestellt werden. Eine umfassende Erläuterung kann erst erfolgen, wenn die Beratungen abgeschlossen sind. Damit wird im 1. Halbjahr 1995 gerechnet.

Zu allererst war die Frage zu beantworten, was unter "**Gleichwertigkeit**" verstanden werden soll. Um die Definition und Umsetzung dieses Begriffes wurde in der Vergangenheit in vielen Veröffentlichungen und Vorträgen gerungen. Gleichwertigkeit kann eigentlich nur beurteilt werden, wenn man die Wertigkeit dessen was als Maßstab hierfür dient - also Leistungen der Regelsysteme - kennt, um dann eine vergleichende Bewertung eines alternativen Systems vorzunehmen. Und genau dies ist aufgrund vieler ungeklärter oder nicht quantifizierbarer Zusammenhänge z. B. beim Schadstofftransport nur unzureichend möglich. Die Forderung nach Gleichwertigkeit impliziert andererseits, daß die Leistungen der Regelsysteme offenbar den Anforderungen, die an eine Abdichtung von Deponien zu stellen sind, entsprechen. Wie ist dies aber möglich, wenn deren Wertigkeit sprich Leistungen nicht ausreichend erfaßbar sind? Dies zeigt sich auch in dem wenig differenzierten und unspezifischen Anforderungsspektrum an die Komponenten Kunststoffdichtungsbahn und mineralische Abdichtung in TA-A und TA-Si.

Da man sich bei Erstellung dieser Vorschriften nicht in der Lage sah, Anforderungen an die maximal zulässigen Emissionsraten von Deponien festzulegen, wurden statt dessen Abdichtungssysteme, von denen man meinte, daß sie einen ausreichenden Schutz bieten, der aber nicht ausreichend zu quantifizieren war, festgelegt. Gleichzeitig wurde die Forderung nach Gleichwertigkeit von alternativen Systemen mit diesen Regelsystemen erhoben. Diese paradoxe und von ingenieurmäßigem Denken nur schwer nachvollziehbare Vorgehensweise mußte verständlicherweise zu vielen sehr kontroverser Diskussionen und Spekulationen führen.

Da sich Gleichwertigkeit also im reinen Wortsinne nicht nachweisen läßt, mußte ein anderer Weg gefunden werden, wie hierbei zu verfahren ist. Im AK GDSA hat man sich dabei auf folgende grundsätzliche Vorgehensweise geeinigt:

Gleichwertigkeit mit dem Regelsystem kann nicht bedeuten, daß die Funktion einzelner Schichten der Kombinationsabdichtung von alternativen Systemen zu kopieren sind. Alternative Systeme müssen eine eigene material- und systemspezifische Antwort auf die erforderlichen Leistungen erbringen. Ziel muß es weiterhin sein, in die sogenannte Gleichwertigkeitsbeurteilung auch zwischenzeitlich gemachte Erfahrungen, Forschungsergebnisse und die tatsächliche Weiterentwicklung einzubeziehen, wenn man den Anforderungen, daß die Abdichtung dem gegenwärtigen Stand der Technik entsprechen soll, verwirklichen will. Der Nachweis der Gleichwertigkeit wird somit in einen **Eignungsnachweis** überführt.

Hierbei sollen allerdings die Eigenschaften der Regelsysteme, soweit sie quantifizierbar sind und den in der TA-A und TA-Si beschriebenen Deponieverhältnissen in ausreichendem und bewährtem Maße Rechnung tragen, zur Beurteilungsgrundlage

gemacht werden. Dies gilt insbesondere für das durch die Regelsysteme charakterisierte Permeationsverhalten.

Grundlage eines so zu führenden Eignungsnachweises müssen Anforderungen sein, die von jedem Abdichtungssystem in Abhängigkeit unterschiedlicher deponiespezifischer Bedingungen und Einwirkungen zu erfüllen sind. Diese Anforderungen müssen deswegen material- und systemunabhängig unter Berücksichtigung der bewährten Eigenschaften der Regelsysteme erstellt werden. Die "Gleichwertigkeit" eines Alternativsystems ist dann gegeben, wenn für den definierten Einsatzbereich vom Alternativsystem der Nachweis erbracht wird, daß unter Berücksichtigung des jeweiligen Standes der Technik eine diesen Anforderungen entsprechende oder bessere Leistung erbracht wird.

Auf diese Weise soll gewissermaßen das nachvollzogen werden, was vor der Verabschiedung von TA-A und TA-Si hätte erfolgen müssen.

Es ist darauf hinzuweisen, daß hierbei nur die Bewertung der Leistung eines Abdichtungssystems (Basis- oder Oberflächenabdichtung) als unabhängige Barriere neben anderen Barrieren vorgenommen werden soll. Eine ebenso diskutierte Betrachtungsmöglichkeit des Emissionsverhaltens der Deponie als Ganzes soll derzeit nicht erfolgen. Es besteht somit keine direkte Möglichkeit, z. B. Basisabdichtung und geologische Barriere in ihrer Wirkungsweise gemeinsam zu betrachten, um beispielsweise eine nicht ausreichende geologische Barriere durch eine verbesserte Basisabdichtung auszugleichen.

Die Formulierung dieser Anforderung erfolgt in einem Grundsatzpapier, das derzeit vom AK GDSA beraten wird. Hierin werden - soweit es der derzeitige Wissensstand erlaubt - quantitative Anforderungen formuliert. Wo dies nicht möglich ist, sind qualitative Anforderungen zu stellen.

Dieses Grundsatzpapier trägt den vorläufigen Arbeitstitel

"Deponieabdichtungssysteme - Grundsätze für Anforderungen und Bewertung"

In dem Papier werden folgende Themen behandelt:

- Beurteilungsgrundsätze
- Systemleistungen
- Einwirkungen
- Lastfälle
- Leistungsanforderungen
- Leistungsnachweise
- Qualitätssicherung

Der konkrete Eignungsnachweis für alternative Abdichtungssysteme erfolgt auf der Basis dieser Grundsätze in material- und systemspezifischer Weise in den Sachverständigenausschüssen. Für das jeweilige System sind die Systemleistungen unter relevanten Lastfällen zu bestimmen und mit den Anforderungen zu vergleichen. Zu den einzelnen Themen kann nach derzeitigem Beratungsstand folgendes gesagt werden:

Beurteilungsgrundsätze

Neben der bereits angesprochenen Definition der Gleichwertigkeit wird auf das zugrunde gelegte **Sicherheitskonzept** eingegangen. Dabei geht es nicht um eine Sicherheitsanalyse der Gesamtdeponie sondern um eine Aussage zur Sicherheit des Abdichtungssystems für die zu fordernden Leistungskriterien: Dichtigkeit, mechanische Widerstandsfähigkeit, Beständigkeit und Herstellbarkeit.

Grundsätzlich ist hierfür das durch Eurocode 7 definierte Sicherheitskonzept mit Teilsicherheitsbeiwerten anzuwenden. Es ist jedoch derzeit nicht immer möglich, die Intensität und Streuungen der deponiespezifischen Einwirkungen in abgesicherter Weise anzugeben. Gleiches gilt für Materialeigenschaften oder zulässige Materialbeanspruchungen. Ein probabilistischer Sicherheitsnachweis ist daher z. B. für das Kriterium Dichtigkeit nicht zu erbringen. Die Einwirkungen und Lastfälle sind daher konservativ so abzuschätzen, daß dadurch die Streuungen unter Berücksichtigung der Häufigkeit ihres Auftretens mit ausreichender Sicherheit erfaßt werden. In gleicher Weise ist eine konservative Festlegung der für den Nachweis anzusetzenden Materialeigenschaften vorzunehmen.

Die Leistungsnachweise für das Abdichtungssystem sind für verschiedene **Zustandsphasen** in der Deponie zu erbringen. Diese Unterteilung erschien notwendig, um einerseits die verschiedenen Einwirkungen zeitlich entsprechend zuordnen zu können und andererseits der Tatsache Rechnung zu tragen, daß bestimmte Material- und Systemeigenschaften nur eine begrenzte Dauerhaftigkeit aufweisen können, wie dies z. B. für die Kunststoffdichtungsbahn (KDB) beim Regelsystem anzunehmen ist. Es wurde bewußt darauf verzichtet, diese Phasen mit Zeitangaben zu versehen oder sie in Verbindung mit in der TA-A und TA-Si definierten Phasen wie Nachsorgephase oder Entlassung aus der Nachsorge zu sehen. Konkrete Zeitangaben sind dabei nicht möglich. Es können allenfalls Größenordnungen angegeben werden, die zu dem auch materialabhängig sehr unterschiedlich sein können. Die Phasen sind wie folgt definiert:

Phase 0 - Bauphase der Basisabdichtung

Belastung durch Herstellungsmaßnahmen, Witterung, Eigengewicht

Phase I - Betriebsphase vor der Verfüllung

Abdichtung liegt frei; Belastung durch Begehen, Fahrzeuge, Witterung

Phase II - Betriebsphase während der Verfüllung

Basisabdichtung ist abgedeckt; Belastung durch steigende Abfallauflast, Verformungen, stark schadstoffbelastetes Sickerwasser, Herstellung der Oberflächenabdichtung einschließlich Rekultivierungsschicht oder Ende der Phase

Phase III a - Nachbetriebsphase a

Beanspruchung der Oberflächenabdichtung durch zunehmende Setzung und infiltriertes Niederschlagswasser; reduzierter Sickerwasseranfall auf

der Basisabdichtung; volle Funktionsfähigkeit aller Komponenten der Abdichtungssysteme

Phase III b - Nachbetriebsphase b

Bei Sicherung einer dauerhaften Wirkungsweise der Oberflächenabdichtung weitere Reduzierung des Sickerwasseranfalls auf der Basisabdichtung, abnehmende Schadstoffracht; abgeklungene Setzungen; Annahme einer zeitlich begrenzten Wirksamkeit bzw. des Ausfalls der Oberflächen- und Basisentwässerung kann zu größeren Aufstauhöhen führen; mit Veränderung von Eigenschaften insbesondere Nachlassen der Wirksamkeit von Abdichtungskomponenten der Oberflächen- und Basisabdichtung ist infolge von begrenzter Beständigkeit und Alterungsprozessen zu rechnen; die Phase III b ist zeitlich unbegrenzt

Durch die Definition dieser Phasen wird folgendes unterstrichen:

- a) Die Oberflächenabdichtung ist auf Dauer die wesentliche Sicherung für das Langzeitverhalten der Deponie. Dies kann aber nur geschehen, wenn Kontrollen und Wartungsmaßnahmen über einen entsprechend langen Zeitraum in angemessener Weise gesichert sind.
- b) In den Phasen II und III a müssen bei voller Funktionsfähigkeit der Abdichtungssysteme die in dieser Zeit stark belasteten Sickerwässer über die Entwässerungssysteme abgeführt werden, ohne daß nennenswerte Permeationen von Schadstoffen durch die intakte Abdichtung erfolgen.
- c) Mit natürlichen Beständigkeitsgrenzen und alterungsbedingtem Abbau bestimmter Komponenten im Abdichtungssystem muß realistischerweise gerechnet werden; eine dauerhafte Restwirksamkeit muß durch eine entsprechende Formulierung des Abdichtungssystems sichergestellt werden (Beispiel: Kombinationsabdichtung KDB + mineralische Abdichtung, bei der diese Funktion der mineralischen Abdichtung zufällt).

Systemleistungen

Vom Abdichtungssystem müssen im Rahmen des Gesamtsicherheitskonzepts der Deponie Anforderungen an wesentliche Leistungen erfüllt werden. In Tabelle 1 sind die maßgebenden Systemleistungen zusammengestellt. Sie entspricht in geringfügiger Weise modifiziert der Tabelle aus den GDA-Empfehlungen E 2-17. Für die genannten Systemleistungen :

- Dichtigkeit
- mechanische Widerstandsfähigkeit
- Beständigkeit
- Herstellbarkeit

sind unter Berücksichtigung der genannten Einwirkungen für maßgebende Lastfälle Anforderungen an zu überprüfende Eigenschaften zu stellen.

Die zentrale und auch gleichzeitig schwierigste Aufgabe ist die Formulierung von Anforderungen an die **Dichtigkeit**. Voraussetzung hierfür ist, das Verhalten der Regelabdichtung in den verschiedenen Phasen unter den maßgeben-

den Einwirkungen zu kennzeichnen. Hier ist man zur Zeit mitten in der Diskussion an entsprechenden Entwurfspapieren. Umstritten und noch nicht abschließend diskutierte Fragen dabei sind:

- Kann die Regelabdichtung in den Phasen II bis III b allein durch ihr Konvektionsverhalten charakterisiert werden?
- Mit welchen Annahmen und Ansätzen kann das Diffusionsverhalten gegenüber Schadstoffen in allgemeingültiger Form gekennzeichnet werden?
- Ergibt sich eine Möglichkeit, das nur global geforderte Sorptionsverhalten näher zu kennzeichnen und mit Anforderungen zu belegen?
- Wie sind die Anforderungen auf örtliche und zeitlich begrenzte Einwirkungen abzustimmen?
- Wie ist bei außergewöhnlichen Einwirkungen z. B. konzentrierten Medien die örtlich, zeitlich und mengenmäßig begrenzt auftreten können zu verfahren; kann das Permeationsverhalten der Kombinationsabdichtung hierbei den Maßstab für allgemeingültige Anforderungen darstellen?

Im Böschungsbereich von Oberflächen- und Basisabdichtungen sind grundsätzlich die gleichen Dichtungseigenschaften zu erbringen, wie auf ebenen oder gering geneigten Flächen.

Wesentlicher Punkt der **mechanischen Widerstandsfähigkeit** ist die **Stand-sicherheit**. Sie ist nicht eigentlich Gegenstand der Gleichwertigkeitsbetrachtung sondern muß von jedem System entsprechend den örtlichen Gegebenheiten der Deponie nachgewiesen werden. Die Standsicherheit wird in der Regel nach üblichen bodenmechanischen Verfahren nachgewiesen. Es soll lediglich auf Besonderheiten hingewiesen werden, die deponietypisch zu berücksichtigen sind (Deponiephasen, Lastfälle, Nachweisverfahren). Dieses Kapitel ist derzeit ebenfalls noch in Bearbeitung.

Die **Beständigkeit** gegenüber den maßgebenden chemischen, physikalischen und biologischen Einwirkungen ist eine Voraussetzung dafür, daß die Anforderungen an die Dichtigkeit und mechanische Widerstandsfähigkeit für die Dauer des Einwirkungszeitraums eingehalten werden. Es wird zu formulieren sein, gegenüber welchen Einwirkungen die Beständigkeit nachzuweisen ist und welche Maßstäbe für die Nachweise gelten. Da dies in der Regel sehr stark materialabhängig ist, ist hierbei nur auf allgemein gültige Kriterien und Zusammenhänge zu verweisen.

Schließlich sind Anforderungen an die **Herstellbarkeit** auch nicht unmittelbarer Gegenstand des "Gleichwertigkeitsnachweises". Jedes System muß unter den maßgebenden Einwirkungen der Phasen 0 bzw. III a mit ausreichender Sicherheit herstellbar sein. Auch hier können nur allgemeine Kriterien angegeben werden, die dann für jedes System zu überprüfen sind.

Einwirkungen

Die maßgebenden Einwirkungen werden soweit wie möglich quantitativ beschrieben. Hinsichtlich der **Einwirkungsart** sind physikalische, biologische und chemische Einwirkungen zu beschreiben. Dabei wird weiter unterschieden nach der **Häufigkeit** ihres Auftretens:

- ständige Einwirkungen
- veränderliche Einwirkungen
(örtlich und/oder zeitlich veränderlich)
- außergewöhnliche Einwirkungen

Ständige und veränderliche Einwirkungen sind planmäßige Einwirkungen. Mit ihnen ist zu rechnen, wenn die Anforderungen der TA-A und TA-Si an den Bau der Deponie, die Zusammensetzung des Abfalls und an die Kontrollmaßnahmen einschließlich Nachsorge und Wartung eingehalten werden. Mit außergewöhnlichen Einwirkungen ist nur zu rechnen, wenn von den genannten Anforderungen nach TA-A und TA-Si durch fehlerhafte Planung oder Ausführung einer nicht ausreichenden Kontrolle der Abfallzusammensetzung oder des Deponieverhaltens abgewichen wird.

Schließlich erfolgt eine Aufteilung in die **Abdichtungsbereiche**:

- Oberflächenabdichtung (Hochfläche, Böschung)
- Basisabdichtung (Sohle, Böschung)

sowie eine Zuordnung hinsichtlich der durch TA-A und TA-Si definierten **Deponieklassen**:

- Deponieklasse I (DK I) TA-Siedlungsabfall
- Deponieklasse II (DK II)
- Deponieklasse III (DK III) TA-Abfall

Des Weiteren wird eine Zuordnung hinsichtlich der **Einwirkungszeiträume** entsprechend den definierten Zustandsphasen 0, I, II, III a, III b vorgenommen.

Abgeschlossen wird diese Zusammenstellung durch Aussagen zu sich aus den Einwirkungen ergebenden möglichen Materialbeanspruchungen, **Auswirkungen** auf die Systemleistungen sowie ggf. mögliche **Maßnahmen zur Reduzierung oder Verhinderung** von bestimmten Einwirkungen.

Die Tabellen 2 und 3 zeigen den gegenwärtigen Diskussionsstand für die Zuordnung dieser Einwirkungen.

4.0 Leistungsnachweis

4.1 Grundsätzliche Bearbeitungsweise

Die Bewertung der Leistung von alternativen Abdichtungen wird, wie bereits erwähnt, auf Antrag in den materialspezifisch ausgerichteten Sachverständigenausschüssen vorgenommen. Diese haben nun die Aufgabe, die Grundsätze und ihre Anforderungen insbesondere dort, wo sie - da materialunabhängig formuliert - allgemein gehalten sind zu konkretisieren und auf das jeweilige System anzuwenden. Hierzu können sogenannte **Zulassungsleitlinien** für bestimmte Abdichtungsvarianten erarbeitet werden, nach denen bei entsprechenden Zulassungsanträgen zu verfahren ist. Im Zulassungsverfahren für eine alternative Abdichtung sind folgende Punkte zu bearbeiten bzw. zu berücksichtigen:

- Der Nachweis der geforderten Systemleistungen in bezug auf die Dichtigkeit ist unter Berücksichtigung des genannten Sicherheitskonzepts zu erbringen. Hierfür sind auf der Basis der genannten Einwirkungen für die einzelnen Zustandsphasen die für das System relevanten Lastfälle festzulegen. Insbesondere ist auch der Einfluß von Verformungen auf die Dichtigkeit festzustellen.
- Die Nachweise können durch Versuche und/oder Rechnung erbracht werden, sie müssen die Stoffeigenschaften berücksichtigen, wie sie sich im eingebauten Zustand der Materialien ergeben.
- Die für den Nachweis der mechanischen Widerstandsfähigkeit gegebenen erforderlichen Material- und Systemkennwerte sind zu ermitteln.
- Die Beständigkeit gegenüber den auftretenden chemischen, physikalischen und biologischen Einwirkungen ist nachzuweisen.
- Die ggf. eingeschränkte Lebensdauer einzelner Systemkomponenten sind im Leistungsnachweis für die Phase III b zu berücksichtigen. Die langfristige Funktionsfähigkeit ist durch ein entsprechendes Dichtungselement zu gewährleisten.
- Es ist eine quantitative Abschätzung zu treffen, wie sich örtliche Fehlstellen infolge Herstellung und Verfüllung auf die Systemdichtigkeit auswirken können. Entsprechende Untersuchungen am Regelsystem können hierbei die Vergleichsgrundlage darstellen. In diesem Zusammenhang sind Selbstheilungseigenschaften wünschenswert.
- Kontrollsysteme liefern im Hinblick auf den Nachweis der Dichtigkeit grundsätzlich keinen Beitrag. Sie sind daher bei sicherheitsrelevanten Betrachtungen nicht zu berücksichtigen. Sie können aber im Sinne der geforderten Kontroll- und Wartungsmaßnahmen insbesondere bei Oberflächenabdichtungen im Deponiebetrieb und aus Gründen der Erfahrungssammlung eine besondere Rolle spielen.
- Die Einflüsse von Materialstreunungen und Einbauschwankungen oder örtlichen Fehlstellen müssen durch entsprechende Maßnahmen in vertretbaren Grenzen gehalten werden. Ein sogenannter Fehlerausgleich kann z. B. durch eine Mehrlagigkeit von Dichtungsschichten erzielt werden. Dies ist insbesondere für vor Ort hergestellte Dichtungselemente grundsätzlich zu fordern.
- Erforderlichenfalls können unterschiedliche Aufgaben von verschiedenen aufgebauten Funktionsschichten erfüllt werden. Eine Redundanz im Sinne einer Mehrschichtigkeit wird nicht gefordert.
- Der Leistungsnachweis kann ggf. nur im Zusammenhang mit einer für den speziellen Anwendungsfall durchgeführten Eignungsprüfung erfolgen. Die Bedingungen hierfür sind festzulegen.

- Alternative Systeme müssen mit Erfolg hergestellt und in Betrieb erprobt worden sein. Die Heranziehung von Erfahrungen aus anderen Baubereichen ist hierbei zulässig.
- Die Herstellbarkeit der Abdichtung unter den maßgebenden Einbaubedingungen sowie konstruktive Details sind nachzuweisen.
- Die Komponenten von Abdichtungssystemen müssen eindeutig gekennzeichnet und beschrieben werden können.
Die notwendigen Qualitätssicherungsmaßnahmen sind für das betreffende Produkt zu beschreiben. Sie beziehen sich auf die Rohstoffe, die Produktion, den Transport, die Lagerung, die Herstellung der Abdichtung und die fertige Leistung.

Zusammengefaßt werden diese Nachweise in der **allgemeinen bauaufsichtlichen Zulassung**. Inhalt der Zulassung ist:

- Anwendungsbereich
- Beschreibung des Zulassungsgegenstandes
- Voraussetzung für die Funktion der Abdichtung
 - * Aufbau des Systems
 - * Anforderungen an angrenzende Funktionsschichten
- Objektbezogene Nachweise
 - * Eignungsprüfung (falls erforderlich)
 - * Standsicherheit
- Herstellung
- Qualitätssicherung

Es ist darauf hinzuweisen, daß es das Wesen einer bauaufsichtlichen Zulassung ist, im pränormativen oder unregelmäßigen Bereich die Anwendung von abweichenden (alternativen) Produkten unter möglichst abgesicherten Bedingungen zu ermöglichen. Die Erteilung einer Zulassung kann somit auch erfolgen, wenn noch nicht alle offenen Fragen wie z. B. die Beständigkeit restlos geklärt sind. Hierfür kann es in der Zulassung besondere Einschränkungen geben. Insbesondere kann die Verlängerung der in der Regel auf 5 Jahre befristeten Zulassung an besondere Bedingungen wie zwischenzeitlich zu erbringende Nachweise oder Funktionskontrollen gebunden sein.

4.2 Leistungsnachweis für Oberflächenabdichtungen

Dem Leistungsnachweis für Oberflächenabdichtungen kommt eine besondere Bedeutung zu.

Es wurde bereits festgestellt, daß die Oberflächenabdichtung den wesentlichen Beitrag für die langzeitige Sicherung der Deponie übernehmen muß. Dies setzt gleichzeitig voraus, daß Kontrollen und ggf. Wartungs- und Reparaturmaßnahmen nicht nur auf die Dauer der Nachsorge beschränkt bleiben dürfen, sondern in geeigneter Weise auch darüber hinaus festzusetzen sind.

Die derzeitigen Regelsysteme, wie sie in TA-A und TA-Si für Oberflächenabdichtungssysteme beschrieben sind, lassen Zweifel an der Zuweisung der Generalklausel "Stand der Technik" aufkommen. Besondere Probleme ergeben sich durch hohe

Setzungsbeanspruchungen und Hangneigungen in Verbindung mit einem sich dauerhaft einstellenden Feuchtigkeitsgleichgewicht, denen das Regelsystem nicht ausreichend gewachsen erscheint.

Das Regelsystem kann daher nur eingeschränkt als Basis für die Formulierung von materialunabhängigen Anforderungen für Oberflächenabdichtungssysteme dienen. Die Abdichtung der Deponieoberfläche nach dem Stand der Technik erfordert offenbar mehr als die Basisabdichtung den Einsatz alternativer Systeme.

Bei der Zulassung von Oberflächensystemen ist daher in besonderer Weise auf folgende Aspekte zu achten:

1. Der Beständigkeit von Material- und Systemeigenschaften für die dauerhafte Gewährleistung der Standsicherheit im Böschungsbereich kommt eine besondere Bedeutung zu. Es sei insbesondere auf das Verhalten von hierfür bevorzugt eingesetzten Geokunststoffen verwiesen (profilierte KDB, Geogitter, Trennvliese, Dränschichten, vernadelte oder vernähte Matten ...).
2. Das zu erwartende Austrocknungsverhalten von mineralischen Komponenten darf auf Dauer nicht zu Beeinträchtigungen der Dichtigkeit führen.
3. Die höheren Verformungen an der Deponieoberfläche müssen durch das System in unschädlicher Weise aufgenommen werden. Gegebenenfalls ist die Anordnung einer erweiterbaren temporären Oberflächenabdeckung erforderlich.
4. Eine Wurzelbeständigkeit ist wahrscheinlich grundsätzlich nicht zu fordern, es müssen jedoch Maßnahmen getroffen werden, die die Gefahr des Ein- oder Durchwachsens von Wurzeln unwahrscheinlich erscheinen lassen.
5. Hinsichtlich der Anforderungen an die Dichtigkeit könnte unterschieden werden in stärker geneigte Böschungsbereiche und wenig oder gar nicht geneigte Hochflächen- oder Kuppenbereiche.
6. Die Erteilung einer Zulassung für Oberflächenabdichtungen kann bei nicht vollständig geklärten Verhältnissen unter Berücksichtigung folgender Gegebenheiten geprüft werden:
 - äußerliches Erkennen von potentiellen Schadstellen oder des Versagens und somit eine Begrenzung des Schadens und Reparaturen sind möglich
 - Kontrollmöglichkeit des Permeationsverhaltens und somit auch hier im Bedarfsfalle Wartungs- und Reparaturmaßnahmen sind möglich.

5.0 Aktueller Bearbeitungsstand im DIBt

Im folgenden soll ein kurzer Überblick gegeben werden über den derzeitigen **Bearbeitungsstand** zu alternativen Abdichtungen in den zukünftigen SVA.

Das Erfordernis der praktischen Bautätigkeit läßt es nicht zu, erst nach Abschluß der Beratungen des AK GDSA an den "Grundsätzen" mit der Bearbeitung von Zulassungen oder von Stellungnahmen zu Einzelfallentscheidungen zu beginnen.

Es erfolgt derzeit eine parallele Arbeit des AK GDSA sowie der materialorientierten Projektgruppen (zukünftige SVA). Hierdurch soll aber nicht die Arbeit an den Grundsätzen überholt werden. Dies hat im Gegenteil eine positive Wirkung auf die Arbeit des AK GDSA an den Grundsätzen, in dem nämlich die Diskussion über die verschiedenen Festlegungen durch die Arbeit an konkreten Zulassungsanträgen befruchtet wird und auf ihre Anwendbarkeit überprüft werden kann. Die formale Erteilung von Zulassungen soll nicht vor Abschluß der Arbeiten an diesen Grundsätzen erfolgen, mit denen im 1. Halbjahr 1995 zu rechnen ist.

Derzeit werden **Zulassungsanträge** zu folgenden Abdichtungssystemen bearbeitet:

- Basisabdichtung unter Verwendung von Asphalt für die Deponieklasse II
- Oberflächenabdichtung unter Verwendung von Bentonitmatten für die Deponieklasse I
- Basis- und Oberflächenabdichtungen unter Verwendung von vergüteten mineralischen Baustoffen

Hierfür wurden entsprechende Kriterienlisten erarbeitet, die neben den „Grundsätzen“ des AK GDSA materialspezifische Basis für die Leistungsnachweise sind. Insbesondere befaßt sich hierbei eine Arbeitsgruppe sehr intensiv mit der Frage der Dichtigkeit und Beständigkeit von Asphalt als Deponieabdichtung. Es sollen die in der Vergangenheit häufig sehr kontrovers diskutierten Argumente für und gegen den Asphalt aufgearbeitet und in einem abschließenden Bericht veröffentlicht werden.

Neben den Zulassungsanträgen hat das DIBt bis jetzt **Gutachten für Genehmigungsbehörden** bei anstehenden Genehmigungen im Einzelfall erteilt. Einzelfallentscheidungen zu alternativen Abdichtungen sind im Vorfeld von Zulassungen unter Verweis auf § 2.4 von TA-A und TA-Si möglich. Hierbei hat das Gutachten des DIBt über einen vorgelegten sogenannten Gleichwertigkeitsnachweis eine beratende Funktion. Die letztliche Entscheidung über die Zulassung im Einzelfall trifft die Genehmigungsbehörde.

Basis der hierfür vom DIBt erstellten Gutachten ist der gegenwärtige Kenntnis- und Beratungsstand im AK GDSA und den genannten Projektgruppen. Diese Stellungnahme ist keine Ersatzzulassung sondern nur auf den Einzelfall abgestimmt. Sie präjudiziert auch nicht die spätere Handlungsweise bei anderen Gutachten oder Zulassungen, wenn sich zwischenzeitlich aufgrund neuerer Erkenntnisse andere Beurteilungsgrundlagen ergeben.

Gutachten mit zum Teil sehr unterschiedlichen Empfehlungen wurden in folgenden Fällen erstellt:

- Alternative Basisabdichtung unter Verwendung von Asphalt für eine Deponie in Sachsen
- Alternative Basisabdichtung unter Verwendung von Asphalt für eine Deponie in Hessen
- Alternative Oberflächenabdichtung unter Verwendung einer verstärkten Kapillarsperre für eine Deponie in Baden-Württemberg

- Alternative Basisabdichtung unter Verwendung einer verstärkten mineralischen Abdichtung für eine Deponie in Thüringen
- Stellungnahme zu einer Studie über zum Regelaufbau der TA-Si gleichwertigen Oberflächenabdichtungssysteme für Thüringer Deponien

Alle vorliegenden Fälle wurden in den hierfür zuständigen Projektgruppen beraten, ehe das DIBt ein abschließendes Gutachten erstellte.

Wir haben die Hoffnung, daß die Tätigkeit des DIBt einen hilfreichen Beitrag dazu leistet, Wege aufzuzeigen und Möglichkeiten anzubieten, mit denen alternative Abdichtungssysteme nach einheitlichen und allgemein anerkannten Kriterien unter Wahrung des erforderlichen Sicherheitsniveaus im Deponiebau Anwendung finden können.

6.0 Literatur

- /1/ Gesetz über die Vermeidung und Entsorgung von Abfällen (Abfallgesetz/AbfG), 1996
- /2/ Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz vom 12.3.1991, Teil 1: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen und biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen, (TA-Abfall Teil 1), 12. März 1991
- /3/ Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA-Siedlungsabfall), technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstige Entsorgung von Siedlungsabfällen, 21.4.1993
- /4/ Runderlaß des Niedersächsischen Ministers für Umwelt vom 24.6.1988, Abdichtungen von Deponien für Siedlungsabfälle (Niedersächserlaß)
- /5/ Verwaltungsvorschrift des Thüringer Ministeriums für Umwelt und Landesplanung, die geordnete Ablagerung von Abfällen, vom 11.9.1992
- /6/ Musterbauordnung für die Länder der Bundesrepublik Deutschland (MBO) Fassung vom 11. Dez. 1992, Arbeitsgemeinschaft der für das Bau-, Wohnungs- und Siedlungswesen zuständigen Minister der Länder (ARGEBAU)

Tabelle 1: Systemleistungen, an die Anforderungen zustellen sind

Systemleistungen	zu überprüfende Eigenschaften	Einwirkungen, die bei der Überprüfung der Eigenschaften zu berücksichtigen sind (s.a. Tabelle 1)
Dichtigkeit	Konvektionsverhalten - Durchtrinszeit - Durchfluß Diffusionsverhalten - Induktionszeit - Permeationsrate Sorptionsverhalten - Adsorption Sensitivität	- hydraulischer Gradient - Schadstoffpotential - Konzentration der Lösung - Schadstoff - Konzentrationsgradient - Schadstoffpotential - Temperatur - Schadstoff - Konzentration der Lösung - Schadstoffpotential
Mechanische Widerstandsfähigkeit	Verhalten des Abdichtungssystems bei mechanischer Belastung - Standsicherheit - Verformungsbeständigkeit - hydraulische Widerstandsfähigkeit Sensitivität	Mechanische Einwirkungen: - Verformungen aus Setzungen - Kräfte resultierend aus Verformungen - Kräfte resultierend aus Neigung und Auflast - Sonderlasten z. B. Radlasten Hydraulische Einwirkungen: - Kräfte resultierend aus Strömungsvorgängen
Beständigkeit ¹¹	Beständigkeit gegenüber chemischen Einwirkungen Beständigkeit gegenüber physikalischen Einwirkungen Beständigkeit gegenüber biologischen Einwirkungen	Chemische Einwirkungen: - Art und Zusammensetzung des Sickerwassers (Prüfflüssigkeiten) - Dauer der Einwirkungen - Gase Physikalische Einwirkungen: - Hohe bzw. niedrige Temperaturen - Dauer der Temperatureinwirkung Biologische Einwirkungen: - Wachstum von Mikroorganismen - Pflanzen - Tiere
Herstellbarkeit	Einbaubarkeit mechanische Empfindlichkeit Witterungsempfindlichkeit Prüfbarkeit Eigenschaften der Materialien im ingebauten Zustand Anschlüssen u. Durchdringungen	- Einbautechnik - Witterung - mech. Beanspruchungen

¹¹ gilt als nachgewiesen, wenn das Abdichtungssystem unter den Einwirkungen, die unter Deponiebedingungen auftreten, den Anforderungen an die mechanische Widerstandsfähigkeit und Dichtigkeit genügt. Mehrfachbelastungen müssen berücksichtigt werden.

Technische und wirtschaftliche Überlegungen beim Einsatz eines Oberflächen-Abdichtungssystems

Kreisbaurat Dipl.-Ing. Johannes Weuthen

Gliederung:

1. Einleitung
2. Rechtliche Grundlagen
3. Vorgaben durch die TA Siedlungsabfall
4. Technische Anforderungen
5. Kostenvorbetrachtung
6. Systemauswahl
 - 6.1 Systemvergleich:
Mineralische Abdichtung - Bentonitmatte
 - 6.2 Darstellung des gewählten Systemaufbaus
 - 6.3 Gleichwertigkeit
7. Fazit

1. Einleitung

Der Kreis Heinsberg ist Betreiber von zwei Hausmülldeponien. Es handelt sich hierbei um die Deponie Wassenberg-Rothenbach und die Deponie Gangelt-Hahnbusch, deren beider Ursprung noch weit in die Zeit vor das Inkrafttreten des Abfallgesetzes (AbfG) zurückreicht.

Damals, Anfang der 70er Jahre ging man davon aus, daß eine geordnete, kontrollierte Ablagerung der Abfälle die Gewähr dafür bieten würde, Umweltbeeinträchtigungen wie Grundwasserverunreinigung oder Oberflächenwasserverschmutzung zu vermeiden sowie Belangen der Hygiene, der Luftreinhaltung und des Brandschutzes zu genügen [11]. Allgemein wurden mögliche Umweltbeeinträchtigungen unterschätzt und man vertraute auf das Selbstreinigungsvermögen von Böden, Untergrund und Grundwasser [1].

Den heutigen Anforderungen an Deponien liegen demnach Erkenntnisse zugrunde, die erst in den vergangenen 20 Jahren gewonnen wurden. Heute wird davon ausgegangen, daß die Beschaffenheit der Abfälle als Beurteilungsgrundlage dafür heranzuziehen ist, welche natürlichen und technischen Barrieren für einen Deponiestandort vorliegen müssen, um den Kontakt der Abfälle und deren Emissionen mit der Biosphäre zu verhindern [1].

Demzufolge hat sich der an diese Deponien anzulegende "Stand der Technik" über die vergangenen 20 Jahre mit der Verfeinerung der Rechtsgrundlagen Schritt für Schritt weiterentwickelt. Der heute anzuwendende "Stand der Technik" ist in der TA Siedlungsabfall als bundesweit anzuwendender Standard festgeschrieben.

Hier wird folgende Formulierung verwendet:

"Als Stand der Technik wird der Entwicklungsstand fortschrittlicher Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen bezeichnet, der die praktische Eignung einer Maßnahme für eine umweltverträgliche Abfallentsorgung gesichert erscheinen läßt. Bei der Bestimmung des Standes der Technik sind insbesondere Verfahren, Einrichtungen oder Betriebsweisen heranzuziehen, die mit Erfolg im Betrieb erprobt worden sind." [6]

2. Rechtliche Grundlagen

Die für die Genehmigung und Überwachung der beiden Hausmülldeponien des Kreises Heinsberg zuständige Behörde im Land Nordrhein-Westfalen ist die Bezirksregierung in Köln. Gestützt auf abfallrechtliche Grundlagen werden die jeweils einzuhaltenden Anforderungen durch Bescheide geregelt.

Da die TA Siedlungsabfall als Verwaltungsvorschrift zum AbfG erlassen wurde, bindet sie zunächst nur die Genehmigungsbehörde. Um hier nun eine Verbindlichkeit für den jeweiligen Deponiebetreiber zu erzeugen, ist eine sachgerechte Umsetzung durch einen Bescheid erforderlich.

Eine Minimierung von Emissionen aus dem Deponiekörper wird erst durch das Anlegen einer Oberflächenabdichtung erreicht, deren Aufbau per Bescheid festgelegt wird.

Für die Deponien des Kreises Heinsberg entsprachen, mit Inkrafttreten der TA Siedlungsabfall, die bestehenden Regelungen in den vorliegenden Bescheiden nicht mehr dem Stand der Technik. Durch Änderungsbescheide wurden diese Defizite ausgeräumt. Somit lag für die Planung einer Oberflächenabdichtung auf der Deponie Wassenberg-Rothenbach eine bindende Vorgabe für noch abzudichtende Abschnitte vor.

3. Vorgaben durch die TA Siedlungsabfall

In der TA Siedlungsabfall wird folgender Aufbau als Regelabdichtungssystem für eine Oberflächenabdichtung der Deponieklasse II für den Endausbau vorgegeben:

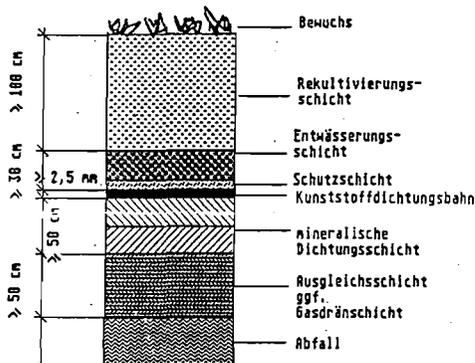


Abb. 1: Deponieoberflächenabdichtungsaufbau für die Deponieklasse II [6]

Da es sich in Wassenberg-Rothenbach aber um eine Altdeponie im Sinne der TA Siedlungsabfall handelt, bei der mit großen Setzungen zu rechnen ist, soll gemäß den Vorgaben der Aufsichtsbehörden bis zum Abklingen der Hauptsetzungen eine Abdeckung vorgenommen werden. Die Abdeckung hat die Aufgabe, die Sickerwasserbildung zu minimieren und eine Deponiegasmigration zu verhindern [6].

Planung und Herstellung bestimmter Arten von Deponieabdichtungssystemen werden in der TA Siedlungsabfall zwar detailliert beschrieben, sie läßt jedoch auch andere technische Lösungen zu, für die der Nachweis einer gleichen Schutzwirkung erbracht werden kann [5]. Die in der TA Siedlungsabfall vorgegebenen Regelabdichtungssysteme können somit vollständig oder teilweise ausgetauscht werden, wenn die Gleichwertigkeit des Ersatzsystems nachgewiesen wird. Kriterien, anhand derer die Gleichwertigkeit geprüft werden kann, werden dabei nicht vorgegeben [4].

Einschränkend muß an dieser Stelle aber auf Äußerungen des Bundesrates in der Beschlußfassung vom 12.02.1992 hingewiesen werden, bezüglich des Oberflächenabdichtungssystems für Deponieklasse II und Alt-Hausmülldeponien [4][7].

- "Gegen die Oberflächendichtung als Kombinationsabdichtung bestehen Bedenken hinsichtlich der bautechnischen Machbarkeit, Standsicherheit (steile Böschung) und Langzeitfunktionsfähigkeit (Alterungsverhalten). Unklar ist auch die Problematik der Austrocknung der mineralischen Dichtung bei Fehlern in der PEHD-Dichtungsbahn sowie der damit verbundenen Herabsetzung der Plastizität und der Begünstigung der Rissebildung ... Es ist offen, ob das Dichtungssystem schon dem Stand der Technik entspricht." [4][7]
- "Die technische Lösung für die Oberflächenabdichtung sollte daher nur im Prinzip dargestellt, die detaillierte Ausführung aber offen gelassen werden. Auch sollte es möglich sein, entsprechend den zu erwartenden Setzungen zunächst vorläufige Oberflächenabdichtungen und erst nach Abklingen der Setzungen die endgültige Dichtung aufzubringen." [7]
- "Andere Oberflächenabdichtungssysteme sollen sich aber nicht an einem System (Kombinationsabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahn) messen müssen, dessen Eignung noch nicht ganz gesichert ist." [4][7]
- "Für die eingeräumten Übergangsfristen und Ausnahmen wird zeitlich befristet auf Alt-Hausmülldeponien noch organischer Abfall abgelagert. Auf solchen Deponien oder Deponieabschnitten ist mit hohen Setzungen zu rechnen, welche ein aufwendiges Oberflächenabdichtungssystemständig beschädigen." [7]

Eine explizite Übertragung dieser Kommentierung in die TA Siedlungsabfall wurde nicht vorgenommen. Lediglich für Alt-Hausmülldeponien findet sich der Hinweis: "Wenn große Setzungen erwartet werden, kann bis zum Abklingen der Hauptsetzungen eine Abdeckung vorgenommen werden. Die Abdeckung soll Sickerwasserbildung minimieren und Deponiegasmigration verhindern." [6][7]

Von diesen Voraussetzungen war bei der Planung der Oberflächenabdichtung der Deponie Wassenberg-Rothenbach auszugehen.

4. Technische Anforderungen

Oberflächenabdichtungen sind den unterschiedlichsten Beanspruchungen ausgesetzt. Wesentliche Anforderungen resultieren aus dem inhomogenen Untergrund, bei dem mit großen Setzungen und Setzungsdifferenzen zu rechnen ist.

Je nach Systemaufbau wirkt sich die geringe Auflast ungünstig aus. In jedem Fall ist mit dem Angriff aggressiver Medien von unten (Deponiegas) zu rechnen. Daneben ist die Gefahr der Durchwurzelung gegeben. Bei Oberflächenabdichtungen ist die Standsicherheit eher problematisch einzuschätzen.

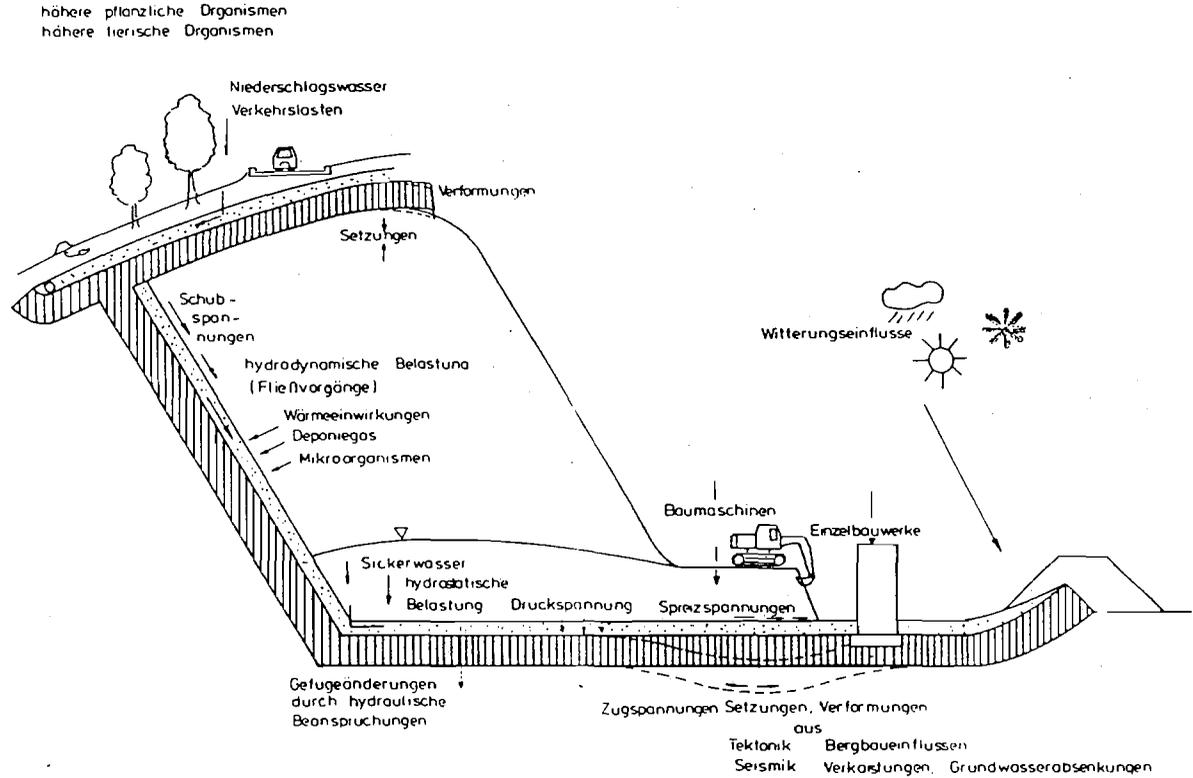
Trotzdem soll die Oberflächenabdichtung ihrer primären Aufgabe gerecht werden, das Eindringen von versickerndem Niederschlagswasser zu verhindern [4].

In der nachfolgenden Tabelle sind die auf die obere Abdichtung wirkenden physikalischen, chemischen und biologischen Beanspruchungen [1][9] stichwortartig zusammengefaßt:

Physikalische Beanspruchungen
<ul style="list-style-type: none"> - statische Belastungen z.B.: Überdeckungen, Bewuchs, Einzelbauwerke - veränderliche Lasten z.B.: Verkehrslasten, Fließvorgänge (Gas und Wasser) - Temperatur z.B.: Reaktionswärme im Deponiekörper - Verformungen z.B.: Abbauprozesse, Tektonik, Bergbaueinflüsse - Witterungseinflüsse z.B.: UV-Einstrahlung, Frost/Tau- und Trocken/Naß- Zyklen
Chemische Beanspruchung
<ul style="list-style-type: none"> - Niederschlag z.B.: "Saurer Regen" - Deponiegas - Gaskondensat
Biologische Beanspruchung
<ul style="list-style-type: none"> - höhere pflanzliche Organismen z.B.: Durchwurzelung - höhere tierische Organismen z.B.: Lochfraß durch nagende und grabende Tiere - mikrobielle Umsetzung verfügbarer Stoffe z.B.: Verockerung der Entwässerungsschicht durch Eisen und Manganbakterien

Tab. 1: Beanspruchungen der Oberflächenabdichtung

Abb. 2: Mögliche Beanspruchungen der Deponieabdichtungen [9]



5. Kostenvorbetrachtung

Für den Bauherren ist neben der technisch einwandfreien Funktion des Abdichtungssystems der Kostenaspekt von besonderem Interesse. Ein erster Anhalt, ob das im Bescheid vorgegebene mineralische System der temporären Abdeckung das wirtschaftlichste ist, kann aus nachfolgender Tabelle entnommen werden:

	Mineral. Dichtung DM/m ²	Bentonit- matte DM/m ²	KDB DM/m ²	Kapillar- sperre DM/m ²
Tragschicht	15-20,-	15-20,-	15-20,-	15-20,-
Geotextil	4-10,-	-	4-10,-	4-10,-
Abdichtung	20-35,-	15-20,-	18-30,-	25-45,-
Schutzschicht	6,-	-	10-15,-	7,-
Flächendrainage	15,-	15,-	15,-	15,-
Geotextil	6,-	6,-	6,-	6,-
Oberboden	10,-	10,-	10,-	10,-
Qualitätssicherung	5-10,-	-	5,-	3,-
Sonstiges	-	-	10-20,- ¹⁾	-
Gesamt netto	81-112,-	61-71,-	93-131,-	85-116,-

- entfällt

¹⁾ Bewehrung für die Standsicherheit (z.B. Geogitter)

Tab. 2: Grundkosten einfacher Abdichtungssysteme (Oberfläche) [4]

6. Systemauswahl

Das vorzusehende Oberflächenabdichtungssystem sollte für die Zeitspanne, in denen die größten Setzungen zu erwarten sind, zuverlässig funktionieren. Ferner sollte dieses System für die Ausbildung der endgültigen Oberflächenabdichtung ohne großen Aufwand erweitert werden können.

Aus der vorangegangenen Gegenüberstellung war bei unserer Planung ersichtlich, daß bei Einsatz der Bentonitmatte ein wirtschaftlicher Vorteil zu erwarten wäre. Blieb noch die Fragestellung zu klären, ob die Bentonitmatte als Zwischenabdichtung auch alle anderen Randbedingungen erfüllen würde.

6.1 Systemvergleich: Mineralische Abdichtung - Bentonitmatte

Bentonitmatten wurden 1986 erstmals in Deponiedichtungen angewendet [7]. Als vorteilhaft stellte sich heraus, daß sie einfach zu verlegen sind, nur geringen Platzbedarf beanspruchen und, daß bei Austrocknung kein Funktionsverlust auftritt [4].

/Stief [12]/ hat eine Bentonitmatte mit einer mineralische Abdichtung verglichen. Er kommt dabei zu folgendem Ergebnis:

Vorteile:

- geringer Volumenbedarf,
- leichtes Gewicht,
- leichtes Einbaugerät,
- schnelle Herstellung,
- korrekte Herstellung leicht,
- geringe Dicken herstellbar,
- keine Probefelder erforderlich,
- Daten für Bentonitmatten sind verfügbar,
- kann keine Risse bekommen, wenn Feuchtigkeit vorhanden ist,
- leicht zu reparieren (gilt nur für Oberflächenabdichtungen),
- weniger empfindlich gegen Frost,
- besser vorhersehbare Kosten und
- weniger setzungsempfindlich.

Nachteile:

- Perforation möglich
- geringe Dicke und daher leicht Beschädigung
- Langzeitbeständigkeit der eingesetzten Fasern.

Nach /Maubeuge [7] werden die genannten Nachteile ausgeglichen, indem die beiden erstgenannten Nachteile durch strengste Anforderungen an den Qualitätssicherungsplan sowie den Einsatz robuster Geotextilkomponenten ausgeschlossen werden können. Kommen dabei auch noch Trägergewebe aus PE-HD Fasern zum Einsatz ist eine äußerst hohe Beständigkeit gegen chemische Angriffe zu erwarten.

Als erster Schritt zur Entscheidungsfindung wurde im Rahmen der Vorplanung ein Variantenvergleich für den Schichtaufbau als 2-Phasen-Dichtung durchgeführt (vgl. Anlage 1).

Der konventionelle Aufbau mit der geforderten 50 cm starken mineralischen Dichtung wurde dem Aufbau mit mineralischer Dichtungsmatte gegenübergestellt. Die Bezeichnung "Bauabschnitt 1" gibt jeweils die erste Ausbaustufe als Zwischenabdichtung bzw. Abdeckung an während "Bauabschnitt 2" den Endausbau gemäß TA Siedlungsabfall mit Kombinationsabdichtung bezeichnet.

Der direkte Vergleich der Aufbaumächtigkeiten der überprüften Varianten zeigt, daß zusätzlich noch 80 cm über die gesamte Fläche als Einbauvolumen für Abfälle genutzt werden können, wenn die Bentonitmatte zum Einsatz kommt.

Die vergleichende Kostenermittlung im Rahmen dieser Vorplanung bestätigt die Wirtschaftlichkeit, unabhängig von den noch zusätzlich einbaubaren Abfallmengen (vgl. Anlage 2). Der ermittelte Preisansatz wurde durch die Ausschreibung bestätigt. Die geforderte Minimierung von eindringendem Niederschlagswasser sowie die Verhinderung unkontrollierter Gasaustritte sind mit dem gewählten Bentonitmattenaufbau ohne Probleme möglich [10]. Bentonitmatten bieten gegenüber der rein mineralischen Ausbildung den Vorteil, daß örtliche Dehnungen von bis zu 20% keinen nachteiligen Einfluß auf die Bentonitmatte haben [7].

Ebenso verliert die Bentonitmatte durch Frost-Tau- oder Trocken-Naß-Zyklen nicht ihre Wirksamkeit. Nachweise dazu werden von /Maubeuge [7]/ beschrieben.

Aufgrund der damit vorliegenden Informationen entschied sich der Kreis Heinsberg dafür, die Zwischenabdichtung bzw. Abdeckung für die gemäß Planfeststellungsänderungsbescheid noch in Betrieb befindlichen Deponieabschnitte mit einer mineralischen Dichtungsmatte herzustellen.

6.2 Darstellung des gewählten Systemaufbaus

Bauabschnitt 1:

Als Auflager für die mineralische Dichtungsmatte dient eine verdichtungsfähige Stütz- und Ausgleichsschicht in einer Stärke von etwa 30 cm.

Oberhalb der Dichtungsmatte erfolgt der Auftrag einer mindestens 50 cm mächtigen Schicht aus kulturfähigem Boden, die mittels Raseneinsaat begrünt wird. Der kulturfähige Boden besitzt eine hydraulische Leitfähigkeit, die eine Dränung des sich oberhalb der mineralischen Dichtungsmatte ansammelnden Oberflächenwassers ermöglicht.

Vertikale Durchdringungen der Zwischenabdichtung werden mittels angeklebten Manschetten aus einer mineralischer Dichtungsmatte abgedichtet. Die Manschetten werden unter Beachtung einer ausreichenden Überlappung und zusätzlicher Bentonitpasten-Abdichtung mit der umgebenden Dichtungsmatte verbunden (vgl. Anlage 3).

Bauabschnitt 2:

Nach Abklingen der wesentlichen Setzungen wird das aus einer Kombination von 2-lagiger mineralischer Dichtung mit aufliegender Kunststoffdichtungsbahn bestehende qualitätsgesicherte Oberflächenabdichtungssystem gemäß Planfeststellungsbescheid hergestellt.

Es soll auf dem Zwischenabdichtungssystem aufgebaut werden, wobei lediglich die zwischenzeitlich gebildete humose Schicht (ca. 15 cm) abgetragen wird (vgl. Anlage 1 und Anlage 4).

Der gesamte Aufbau des endgültigen Oberflächenabdichtungssystems erfolgt somit gemäß den Vorgaben des Standes der Technik und wird vor Ausführungsbeginn mit den zum Einbau vorgesehenen Materialien in Probefeldern auf seine feldtechnische Eignung überprüft. Damit ist gleichzeitig auch der Nachweis zu erbringen, daß die in der ersten Phase eingebaute Bentonitmatte keine nachteiligen Einflüsse auf die Standsicherheit der zweiten Phase des Dichtungsaufbaus hat.

Für die Weiterentwicklung der in der ersten Bauphase angelegten Abdeckung zur endgültigen Oberflächenabdichtung nach TaSiedlungsabfall ergibt sich als günstiger Nebeneffekt eine Kontrollierbarkeit dieser zweiten, darüber angeordneten Abdichtung.

6.3 Gleichwertigkeit

Allerdings mußte die Durchlässigkeit der Bentonitmatte einer kritischen Prüfung unterzogen werden.

Die Deponie durfte nach oben nicht derart abgedichtet werden, daß ein Austrocknen zu befürchten sein würde. Damit würden lediglich die biochemischen Zersetzungsvorgänge im Deponiekörper zum Erliegen kommen, die abbaufähige organische Substanz und damit das Gasbildungspotential konserviert und diese Probleme zeitlich verlagert. Laut /Bank [2]/ wird angegeben, daß in anaerobem Milieu bei einem Wassergehalt $< 15\%$ die Abauvorgänge zum Erliegen kommen und bei einem Wassergehalt $> 40\%$ optimal unterstützt werden.

Sickerwasserverringerung bedeutet also, die für die organischen Abbauprozesse erforderlichen Wassermengen zu gewährleisten.

Es zeigte sich, daß die am Markt angebotenen Bentonitmatten technisch zu dicht waren. Durch eine Vergleichsrechnung wurde die erforderliche Durchlässigkeit festgelegt (vgl. Anlage 5).

Diese war für den vorliegenden Fall von einem serienmäßig hergestellten kf-Wert von ca. $5 \cdot 10^{-11}$ m/s abzumindern auf $1,57 \cdot 10^{-10}$ - kf - $1,57 \cdot 10^{-9}$ m/s.

7. Fazit

Aus den vorangegangenen Ausführungen ist ersichtlich, daß unterschiedlichste Randbedingungen erfüllt werden müssen, aber dennoch ein gewisser Spielraum für den Bauherren bleibt, wirtschaftliche Alternativen auswählen zu können.

Der einzige Punkt, an dem Anforderungen an die "Gleichwertigkeit" des gewählten Dichtungsaufbaus zu stellen waren, war die Durchlässigkeit. Da sich auch dieser Aspekt als lösbar darstellte, konnte der wirtschaftliche Vorteil des gewählten Dichtungsaufbaus ausgenutzt werden.

Für den Kreis Heinsberg hat sich also ergeben, daß die in der TA Siedlungsabfall vorgesehene Möglichkeit einer "gleichwertigen Alternative" zu einer technisch besseren Lösung geführt hat, die zudem preisgünstiger und schneller auszuführen war.

Literatur

- [1] Abfallwirtschaft, Sondergutachten
Der Rat von Sachverständigen für Umweltfragen (SRU) (Hrsg.),
Stuttgart 1991
- [2] Bank: Basiswissen Umwelttechnik, 2.Auflage, Würzburg 1994
- [3] Bergs, Dreyer: Verringerung des Deponiebedarfs durch Umsetzung der
TA Siedlungsabfall
Korrespondenz Abwasser, 40.Jhg, Ausg. 6/93

- [4] Burkhardt, Egloffstein: Vergleich von Abdichtungssystemen
- Gleichwertigkeit ? -
in: Burkhardt, Egloffstein: Alternative Dichtungsmaterialien im
Deponiebau und in der Altlastensicherung
Karlsruhe 1994
- [5] Dierkes: Die TA Siedlungsabfall aus der Sicht des Landes Nordrhein-
Westfalen in: LUA Materialien Nr.2, Umsetzung der TA-Siedlungsabfall
bei Deponien
Hrsg.: Landesumweltamt NRW, Essen 1994
- [6] Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz
TA Siedlungsabfall)
Beilage zum Bundesanzeiger, 45. Jhg. Nr. 99a, 14.05.1993
- [7] Maubeuge von, Heerten: Bentonitmatten als Oberflächenabdichtung
in: Burkhardt, Egloffstein: Alternative Dichtungs- materialien im
Deponiebau und in der Altlastensicherung
Karlsruhe 1994
- [8] Maubeuge von, Keller: Temporäre und langfristige
Deponieoberflächenabdichtungen mit Bentonit-Matten
in: Fehlau, Stief: Fortschritte in der Deponietechnik 1993
(Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Band 64)
Berlin 1994
- [9] Mineralische Deponieabdichtungen -Entwurf einer Richtlinie-
Hrsg.: Landesamt für Wasser und Abfall NRW
Reihe: Abfallwirtschaft NRW Nr. 15, Düsseldorf 1991
- [10] Saathoff, Ehrenberg: Erfahrungen mit bentonitgefüllten
Dichtungsmatten für den Grundwasserschutz
in: EntsorgungsPraxis (EP) Heft 10/92, S. 706
- [11] Stief: Glühverlust - Ein geeigneter Parameter für die
Ablagerbarkeit von Abfällen auf Deponien ?
in: LWA-Materialien Nr. 3/92, Vorbehandlung und Deponierung
von Hausmüll, Hrsg.: Landesamt für Wasser und Abfall NRW
Düsseldorf 1992
- [12] Stief: Zur Gleichwertigkeit von Deponieabdichtungssystemen
9. Nürnberger Deponieseminar, 29.-30.04.1993

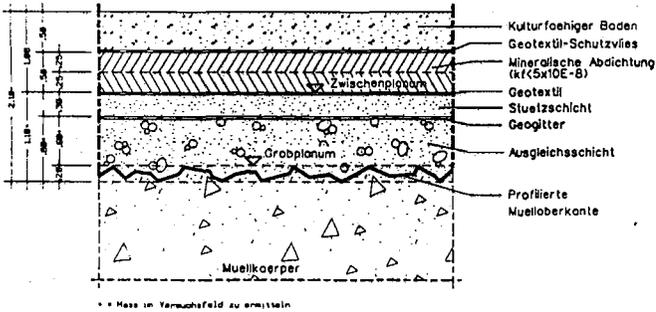
OBERFLAECHENABDICHTUNG

Regelquerschnitt der Zwischenabdichtung

VARIANTE I

Mineralfische Abdichtung

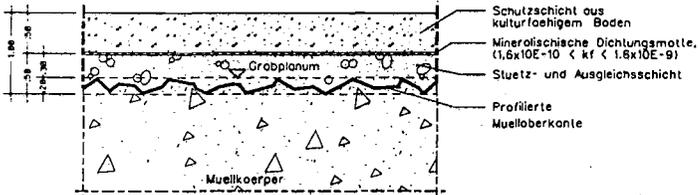
BAUPHASE 1



VARIANTE II

Mineralfische Dichtungsmatte

BAUPHASE 1



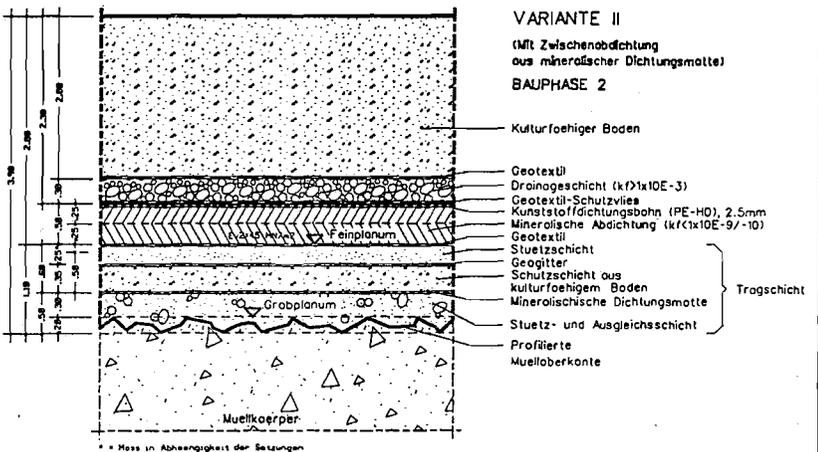
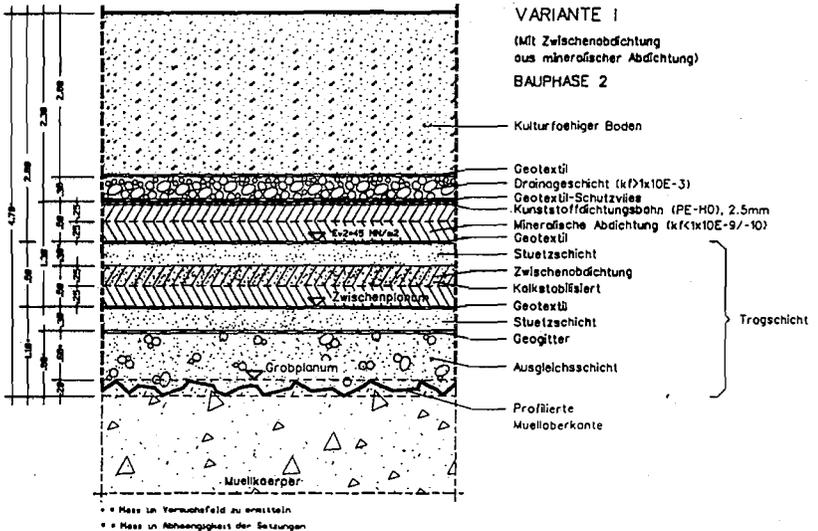
Kreis Heinsberg
Dezision Wassenberg-Rathenbach

 DR. ING. KARL KUTSCH GMBH

INGENIEURBUERO
Am Langen Grasen 7
22323 Osterode, Tel. 0742/910810

OBERFLAECHENABDICHTUNG

Regelquerschnitt



Kreis Heinsberg
Deponie Wasserberg-Rotheloch

KR DR. ING. KARL KUTSCH GMBH

INGENIEURBUERO
Am Langen Graben 7
92332 Dietzen, Tel. 07171/81040

DR.-ING. KARL KUTSCH GMBH

MÜ-145605

Stand: 17.02.1994

Kostenschätzung

Oberflächenabdichtung Deponieabschnitt „B“, „C“, „D“

einschl. Zwischenabdichtung

ohne technische Einbauten

Fläche : rd. 34.000 m²

Leistung	Preisgrundlage	Kosten	Kosten
		Variante I	Variante II
	[DM/Einheit]	[DM]	[DM]
Bauabschnitt 1			
Vermessung kompl. (5 x)	68.000,-/psch.	2,00	2,00
Grob- und Feinplanum herst.	2,00/m ²	2,00	2,00
Ausgleich- und Stützschrift herst.	26,00/m ³	26,60	13,00
Einbindegraben herst.	18,50/m ²	-	1,20
Geogitter liefern u. einbauen	10,00/m ²	10,00	-
Stütz-Geotextil (Glasf.) liefern u. einb.	5,00/m ²	5,00	-
Eignungsnachweis min. Zw-Abdeck.	17.000/psch.	0,50	-
min. Zwischenabdeck. liefern u. einb.	50,00/m ²	50,00	-
min. Dichtungs-Matte liefern u. einb.	20,00/m ²	-	20,00
Schutz-Geotextil liefern u. einbauen	6,00/m ²	6,00	-
kulturfähigen Boden liefern u. einb.	15,00/m ²	7,50	7,50

Zwischensumme Zwischenabdichtung :

ca. 112,-

46,- DM

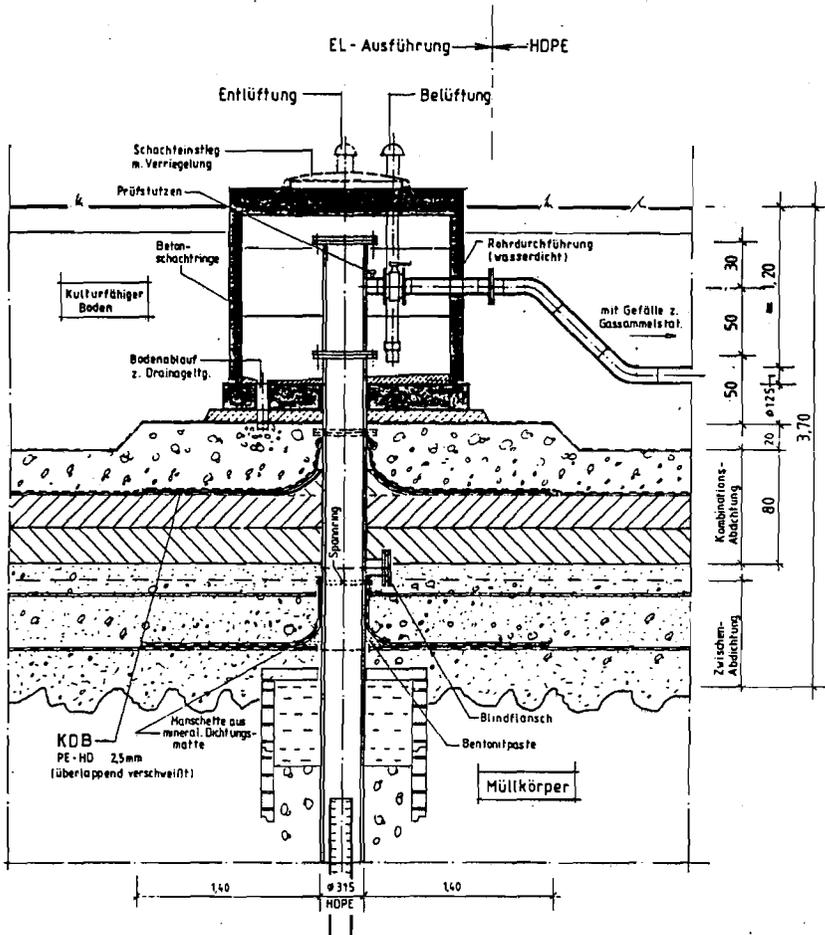
145605/KOS0294A

DR.-ING. KARL KUTSCH GMBH 

Bauabschnitt 2			
kultf. Boden (0,5m) abfahren, lagern	{30,00/m ² }	30,00	-
kultf. Boden (0,15m) abfahren, lagern	{30,00/m ² }	-	10,00
Entfernen Geotextil	{0,50/m ² }	0,50	-
Kalkstabilisierung min.Zw-Abdeckung	{5,00/m ² }	-5,00	-
Geogitter liefern u. einbauen	10,00/m ²	-	10,00
Stützsicht liefern u. einbauen	8,50/m ²	8,50	8,00
Filter-Geotextil liefern u. einbauen	4,00/m ²	4,00	4,00
min. Abdichtung liefern u. einbauen	55,00/m ²	55,00	55,00
KDB, PE-HD strukt. lief.,verschweiß.	{30,00/m ² }	30,00	30,00
Schutz-Geotextil liefern u. einbauen	{ 7,00/m ² }	7,00	7,00
Drainageschicht liefern u. einbauen	{15,00/m ² }	15,00	15,00
Filter-Geotextil liefern u. einbauen	4,00/m ²	4,00	4,00
kulturf. Boden (2 m) liefern u. einb.	15,00/m ²	30,00	30,00
		300,60	214,70
Kalkulationszuschlag	10%		
		330,70	236,20

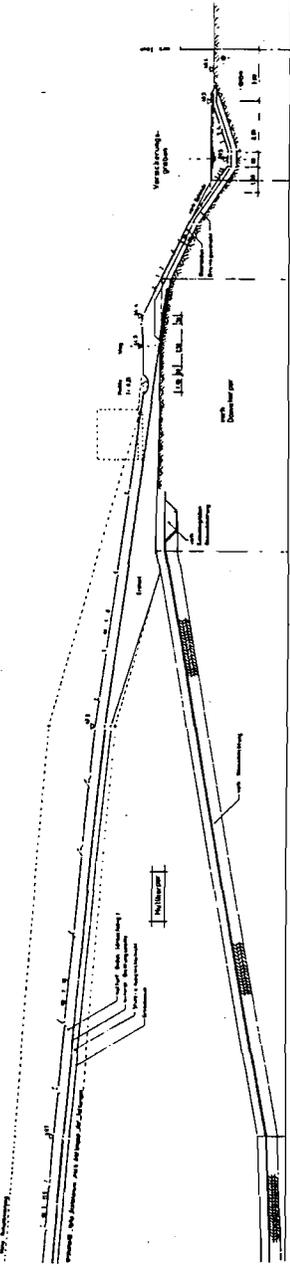
Hinweis: Kalkulationsgrundlage Preise 1994

145605/KOS0294A

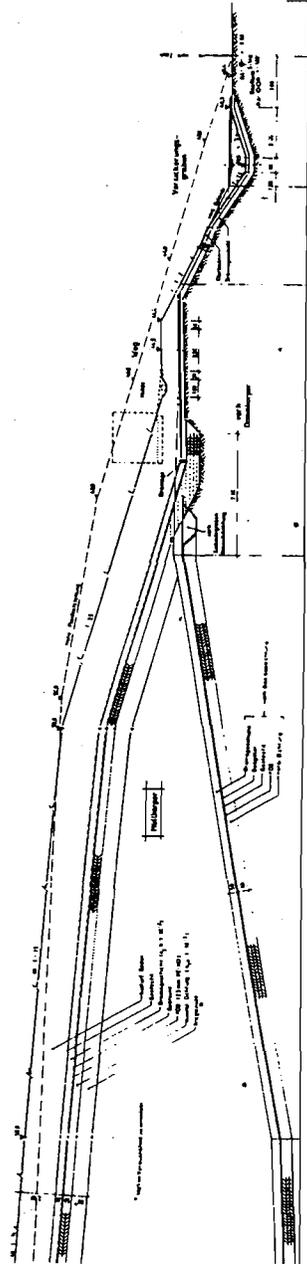


DETAIL DEPONIEFUSSPUNKT OBERFLAECHEABDICHTUNG

Schnitt A'
Zwischenabdichtung



Schnitt A'



Hydraulischer Vergleich

Berechnung der pot. Infiltrationsmenge „Q“ durch Abdichtungssystem [m³/s m²]mit: $Q = k_f \times F \times h/l$ (Gesetz von Darcy) (1)

Q :	durchströmende Wassermenge	[m ³ /s]
k _f :	Durchlässigkeitsbeiwert	[m/s]
F :	durchströmte Fläche	[m ²]
h :	Überstauhöhe Wasser	[m]
l :	Länge Fließweg	[m]

A.) mineralische Zwischenabdichtung (MZD), (gemäß Planfeststellung)

Vorgabe: $5 \times 10^{-8} \leq k_f \leq 5 \times 10^{-9}$ [m/s]

bei Annahme: h = 0,8 [m] (Vollstau Drainagesch.: 0,3 m + Mächtiggk. MZD)
 l = 0,5 [m] (Mächtigkeit MZD)
 F = 1,0 [m²] (Einheitsfläche)

ergibt mit (1) bei:

$$k_f = 5 \times 10^{-8} \text{ [m/s]} \Rightarrow Q = 8,0 \times 10^{-8} \text{ [m}^3\text{/s m}^2\text{]}$$

$$k_f = 5 \times 10^{-9} \text{ [m/s]} \Rightarrow Q = 8,0 \times 10^{-9} \text{ [m}^3\text{/s m}^2\text{]}$$

B.) mineralische Dichtungsmatte

Vorgabe: $8,0 \times 10^{-8} \leq Q \leq 8,0 \times 10^{-9}$ [m³/s m²]

bei Annahme: h = 0,306 [m] (Vollstau Drainagesch.: 0,3 m + Dicke Bentonit-
 schicht Dichtungsmatte, gequollen: 0,006 m)

l = 0,006 [m] (Dicke Bentonitschicht Dichtungsmatte,
 gequollen)

F = 1,0 [m²] (Einheitsfläche)

ergibt mit (1) umgestellt bei:

$$Q = 8 \times 10^{-8} \text{ [m}^3\text{/s m}^2\text{]} \Rightarrow k_{f(\text{erf})} = 1,57 \times 10^{-8} \text{ [m/s]}$$

$$Q = 8 \times 10^{-9} \text{ [m}^3\text{/s m}^2\text{]} \Rightarrow k_{f(\text{erf})} = 1,57 \times 10^{-10} \text{ [m/s]}$$

Anpassung des Qualitätssicherungsplanes beim Einsatz alternativer Abdichtungsmaterialien

Prof Dr.- Ing. H. Düllmann
Dipl.-Geol. B. Eisele

1. Einleitung

In den technischen Anleitungen Sonderabfall (1991) und Siedlungsabfall (1993) sind nach dem Stand der Technik für Deponiebasis und -oberfläche Dichtungen vorgesehen, die aus einer Kombination einer i.d.R. feinkörnigen mineralischen Dichtungsschicht und einer direkt im Preßverbund aufliegenden Kunststoffdichtungsbahn bestehen. Mit der Vorgabe dieser Dichtung in den beiden Vorschriften wird die Kombinationsdichtung als Regeldichtung eingeführt (Abb. 1). Damit die Kombinationsdichtung die ihr zugewiesene Funktion im gesamten Planungskonzept erfüllen kann, ist eine konsequente Qualitätssicherung durch Qualitätskontrolle erforderlich.

In den o.g. Regelwerken wird jedoch ausdrücklich die Möglichkeit eingeräumt, von der Kombinationsdichtung abzuweichen, wenn die Gleichwertigkeit des Systems für den konkreten Anwendungsfall nachgewiesen werden kann. Wie für die Kombinationsdichtung ist auch für mögliche Alternativsysteme eine qualifizierte Qualitätssicherung erforderlich. Sie hat hierbei die Aufgabe, eine organisierte, systematische und koordinierte Überwachung von der Planung über die Ausführung bis zum Betriebsbeginn zu entwickeln und konsequent durchzusetzen. Im vorliegenden Beitrag soll näher auf die Qualitätssicherung bzw. auf die Anpassung des Qualitätssicherungsplanes beim Einsatz alternativer Abdichtungsmaterialien eingegangen werden. Eine Unterscheidung zwischen Basis- und Oberflächenabdichtungen wird dabei nicht gemacht.

2. Gleichwertigkeitsbetrachtung

Rechtsgrundlage für den Einsatz alternativer Abdichtungssysteme ist entsprechend den dtzg. gültigen Regelwerken der Begriff "Gleichwertigkeit". Die Beurteilung "gleichwertig", - nach STIEF (1993) bedeutet dies im engeren Sinne "genauso gut" - ist jedoch nicht einfach. Wie und nach welchen Kriterien diese Beurteilung vorzunehmen ist, wird dtzg. von einem Arbeitskreis unter Federführung des Deutschen Institutes für Bautechnik (DIBt), Berlin, erarbeitet. Dieser Arbeitskreis, der die Arbeit des früher beim Bundesumweltamt angesiedelten Arbeitskreises: Bewertung von Deponieabdichtungssystemen (AK BEDAS) übernommen hat, ist bisher jedoch nicht zu einem veröffentlichungsreifen Ergebnis gekommen.

Die Eigenschaften von Deponieabdichtungssystemen, die bei der Bewertung der Gleichwertigkeit zu berücksichtigen sind, können nach ENGELMANN (1993) in vier Hauptgruppen eingeteilt werden:

- **Theoretische Wirksamkeit**

Sie wird charakterisiert durch den Schadstofftransport durch das Abdichtungssystem. Dabei sind sowohl die Versuchsergebnisse im Labor als auch die Eigenschaften unter realen Belastungssituationen zu berücksichtigen.

- **Beständigkeit**

Für die Beständigkeit ist die Veränderlichkeit der Dichtungseigenschaften unter äußeren Belastungen (mechanisch, biologisch, chemisch, physikalisch) zu betrachten. Die äußeren Belastungen können infolge Frost, Sonneneinstrahlung, Erosion, Suffosion, Kolmation oder durch Lösungsvorgänge eintreten.

- **Herstellbarkeit**

Hierzu zählen beispielsweise die Witterungsempfindlichkeit der Materialien, die zulässigen Toleranzen bestimmter Parameter oder die Möglichkeit der schnellen Überprüfung der Dichtungseigenschaften auf der Baustelle. Insbesondere müssen aber auch die Möglichkeiten und Grenzen der Herstellbarkeit auf steilen Böschungen und Standsicherheitsfragen berücksichtigt werden.

- **Systemeigenschaften**

Systemeigenschaften, die das Ergebnis einer vergleichenden Bewertung beeinflussen können, sind z.B. die Kontrollierbarkeit einzelner Abdichtungskomponenten, der Aufbau von Dichtungsschichten in mehreren Lagen, wodurch ein Ausgleich von Fehlern in den einzelnen Lagen bewirkt werden kann oder die Redundanz des Systems, d.h. die Beständigkeit einer Komponente beim Versagen einer anderen Komponente unter dem gleichen Belastungszustand.

Obwohl - wie oben erwähnt - die Gleichwertigkeit einzelner Abdichtungssysteme zur Kombinationsdichtung noch nicht nachgewiesen wurde, werden in der Praxis eine Reihe von alternativen Abdichtungssystemen angewendet oder sind für den Einsatz vorgesehen. Hierzu zählen (s.a. STIEF, 1993):

- doppelte Kombinationsdichtung mit und ohne Leckdetektionsschicht,
- Verbunddichtung aus mineralischer Dichtung und Kapillarsperre,
- einfache und doppelte Kapillarsperre
- spezielle mineralische Abdichtungen (z.B. DYWIDAG-Trockenmischung),
- Verbunddichtung aus Asphaltbetondichtung und mineralischer Dichtung,
- Verbunddichtung mit einem Geotextil (Bentonitmatte) als mineralische Dichtungskomponente,
- wasserglasvergütete fein- und gemischtkörnige Böden ohne und mit Reaktiv,
- Asphaltabdichtung,
- einfache oder mehrschichtige gemischtkörnige Abdichtungen (Betonkiesdichtungen).

Nachfolgend sollen für vier ausgewählte alternative Abdichtungen (Bentokies- und Asphaltabdichtungen, wasserglasvergütete Böden und Bentonitmatten) die Kriterien der Qualitätssicherung bei deren Herstellung betrachtet werden.

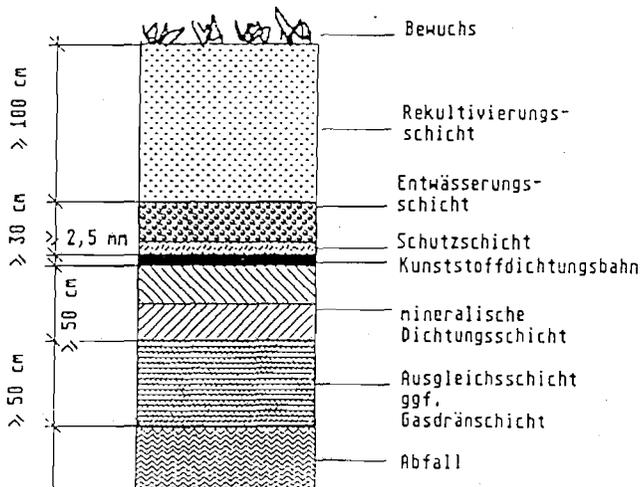
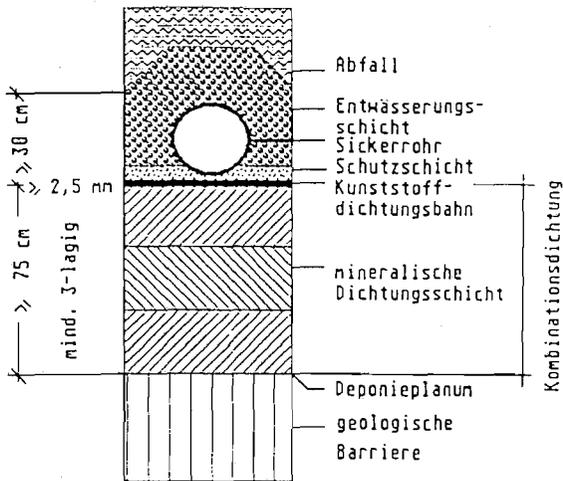


Abb. 1: Regeldichtung nach TA Siedlungsabfall; Basis und Oberfläche.

3. Grundsätze der Qualitätssicherung

3.1 Qualitätssicherungsprogramm, Qualitätssicherungsplan

Um sicherzustellen, daß die Funktionsfähigkeit des Deponieabdichtungssystems in der Ausführungsphase auch realisiert wird, ist gemäß den gültigen Regelwerken eine qualifizierte Qualitätssicherung durch Qualitätskontrolle durchzuführen. Durch Reduzierung der Wahrscheinlichkeit von Material- und Herstellungsfehlern wird gleichzeitig die Gesamtsicherheit der Deponie erhöht. Qualitätssicherung ist damit ein wesentliches Element im Gesamtsicherheitskonzept von Deponien.

Der Qualitätssicherung durch Qualitätskontrolle bei der Herstellung von Deponieabdichtungen kommt auch rechtliche und vertragsrechtliche Bedeutung zu, da auf diese Weise sichergestellt werden kann, daß auf der einen Seite der Eigentümer bzw. der Betreiber der Anlage eine planmäßige und den Auflagen entsprechende Anlage erhält und außerdem, daß die Erfüllung des Vertragsverhältnisses zwischen Bauherrn und Unternehmer objektiv nachprüfbar ist und klare Abnahmebedingungen definiert werden können. In diese Qualitätskontrollen sind nicht nur die Abdichtungsschichten eingeschlossen, sondern sie sind auszudehnen auf anschließende Schichten, wie z.B. Schutz- und Filterschichten sowie das Arbeitsplanum und außerdem auf entsprechende Kontroll- und Entwässerungssysteme.

Die Qualitätssicherung hat somit sicherzustellen, daß die dem Stand der Technik entsprechend festgelegten Qualitätskriterien sowohl für das Gesamtbauwerk einer Deponie als auch für einzelne Bauteile eingehalten werden. Als Teil des Entwurfes ist ein **Qualitätssicherungsprogramm** aufzustellen, das den Umfang des **Qualitätssicherungsplanes** (nach DIN 55 350) sowie Details der Prüfungen enthält. Im Qualitätssicherungsplan, der vor der Bauausführung von der zuständigen Fachbehörde zu genehmigen ist, sind die Anforderungen an die zu verwendenden Materialien und Bauausführungen festzulegen.

Die Ergebnisse der Untersuchungen zur Qualitätssicherung sind Bestandteil der Abnahmenachweise.

Für alle Baustoffe und Bauverfahren sind Eignungsnachweise zu erbringen. Vor Baubeginn ist die Eignung der Abdichtungsmaterialien und der Baugeräte sowie Bauverfahren unter Feldbedingungen in einem Probefeld zu überprüfen. Die Eignungsnachweise und die Ergebnisse der Eignungsprüfungen werden als Bezugsgrößen in den Qualitätssicherungsplan der Bauausführung aufgenommen.

Im **Qualitätssicherungsplan** für die Bauausführung wird festgelegt:

- Verantwortlichkeiten für die Aufstellung, Durchführung und Kontrolle der Qualitätssicherung,
- Herstellungsbeschreibung des Abdichtungssystems mit Angabe der zu überprüfenden Vorgänge,
- Art und Anzahl der Qualitätsprüfungen an den angelieferten Baustoffen (Eingangsprüfung), bei ihrer Verarbeitung (Verarbeitungsprüfung) und am fertigen Bauteil (Abnahmeprüfung).

3.2 Eigen- und Fremüberwachung sowie behördliche Überwachungsprüfung

Die Qualitätssicherung hat mindestens zweistufig zu erfolgen:

- Eigenprüfung durch den Hersteller (DIN 18 200, Abschnitt 3),
- Fremdprüfung durch ein unabhängiges Institut/Ingenieurbüro (DIN 18 200, Abschnitt 4), das im Einvernehmen zwischen Auftraggeber und Genehmigungsbehörde beauftragt wird.

Darüber hinaus wird durch die Überwachungsbehörde ggf. stichprobenartig geprüft. Mit der Eigen- und Fremdprüfung ist jeweils nur ein solches anerkanntes Institut/Ingenieurbüro zu beauftragen, das einen qualifizierten Fachmann mit vertieften Kenntnissen auf dem Gebiet der Deponietechnik mit diesen Aufgaben betraut.

Die Eigen- und Fremdprüfung umfaßt:

- Ermittlung der Material- und Einbaukriterien im Versuchsfeld,
- Eingangsprüfung der zu bearbeitenden Baustoffe,
- Prüfung bei der Verarbeitung der Baustoffe,
- Überprüfung aller qualitätsbestimmenden Arbeiten, Stoffeigenschaften und Funktionen.

Der unabhängige Fremdprüfer übernimmt der Überwachungsbehörde gegenüber die Verantwortung für die Herstellung des Abdichtungssystems entsprechend Planfeststellungsbescheid/Genehmigung. Die Ausgestaltung des Vertragsverhältnisses zwischen Antragsteller und Fremdprüfer hat diesen Anforderungen zu entsprechen. Der Fremdprüfer muß unabhängig sein.

Nach Vorlage der Ergebnisse der Eigen- und Fremdprüfung und vorheriger Anzeige bei der zuständigen Behörde kann die Abnahme von Teilleistungen durch den Fremdprüfer auf der Grundlage der Prüfungen zur Qualitätssicherung erfolgen. Es ist sicherzustellen, daß die bereits abgenommenen Teile weder durch nachfolgende Baumaßnahmen noch durch andere Einflüsse in ihren Eigenschaften negativ beeinflußt werden.

Auf der Baustelle hat eine ständige fachtechnische Beaufsichtigung durch den Eigenprüfer und den Fremdprüfer zu erfolgen. Sämtliche Untersuchungen der Eigen- und Fremdprüfung sind vollständig zu dokumentieren. Die Versuchsergebnisse und die Bewertung der Qualitätsprüfungen sind auf der Baustelle jederzeit zugänglich zu halten.

Die Schlußabnahme wird durch den Genehmigungsinhaber bei der zuständigen Überwachungsbehörde beantragt. Dabei werden die Gesamtdokumentation und die Gesamtbewertung der Anlage durch den Fremdprüfer vorgelegt, in denen insbesondere Prüfvermerke enthalten sind über:

- Planmäßige Ausführung von Teilleistungen und des Gesamtbauwerks,
- Einhaltung der Anforderungen des Qualitätssicherungsprogramms.

3.3 Art und Umfang der Eigen- und Fremdprüfungen

Mit den fachtechnischen Eigen- und Fremdprüfungen zur Qualitätssicherung soll in erster Linie erreicht werden, daß die Abdichtungssysteme als Ganzes und in ihren einzelnen Elementen von der Deponiebasis bis zur Deponieoberfläche sowie in Teilabschnitten plangemäß hergestellt werden und funktionstüchtig sind.

Während die Ausführungen der Abschn. 3.1 und 3.2 i.w. auch auf die Alternativsysteme zutreffen, ergeben sich bei Art und Umfang der Prüfungen in Abhängigkeit vom Einsatz der alternativen Abdichtungsmaterialien Unterschiede.

3.3.1 Bentokies - bzw. Mischbodendichtungen

3.3.1.1 Überprüfung der Herstellung

Das Bentokiesmaterial, i.d.R. ein Gemisch aus Kiessand, Bentonit und evtl. Füllstoffen, ist ausschließlich in stationären Zwangsmischanlagen aufzubereiten (HORN, 1989). Da der Wassergehalt eine entscheidende Rolle für die erzielbare Dichtigkeit spielt, ist dieser neben der Dosierung der Zuschlagstoffe bei der Aufbereitung kontinuierlich zu überprüfen. Zusätzlich ist der gesamte Mischvorgang zu überwachen. Die Homogenität des aufbereiteten Dichtungsmaterials ist im Rahmen der Eigen- und Fremdprüfung zu überwachen. Die Homogenität des aufbereiteten Dichtungsmaterials ist im Rahmen der Eigen- und Fremdprüfung durch Wassergehaltsbestimmungen je 250 m³ nachzuweisen.

Zur Vermeidung unzulässiger Entmischungsvorgänge beim Absetzen des Mischgutes ausgangs der Mischanlage ist das Dichtungsmaterial per Radlader o.ä. ausreichend umzusetzen. Eine Verschmutzung des Mischgutes an der Ladestelle ist dabei durch geeignete Maßnahmen zu verhindern.

Der gesamte Misch- und Einbauvorgang ist bereits im Rahmen der Probeverdichtung festzulegen. Bei der Notwendigkeit einer längeren Liegezeit ist der Eignungsnachweis entsprechend zu ergänzen.

3.3.1.2 Prüfung des Dichtungssystems

Nach Herstellung ist das Dichtungsmaterial entsprechend den im Rahmen der Probeverdichtung festgelegten Bedingungen einzubauen. Die an jede Lage der eingebauten Dichtung gestellten Mindestanforderungen sind in Tab. 1 zusammengestellt. Der zusätzlich angegebene Prüfumfang (LWA, 1993) gilt sowohl für die Eigen- als auch für die Fremdprüfung.

Tab. 1: Mindestanforderungen und Prüfumfang bei Bentokiesdichtungen

Parameter	Anforderung	Häufigkeit
Wassergehalt (DIN 18121)	$w_{Pr} < w > w_{0,95}$	900 m ²
Verdichtungsgrad (DIN 18125)	$D_{Pr} \geq 95 \%$	900 m ²
Luftporenanteil	$n_a \leq 5 \%$	900 m ²
Gesamporenanteil	$n \leq 25\%$	900 m ²
Kornverteilung (DIN 18123)		900 m ²
Durchlässigkeit (DIN 18130)	$K \leq 1 \times 10^{-10}$ m/s (Labor) $K \leq 1 \times 10^{-9}$ m/s (Feld)	3.600 m ²

Mit Zustimmung der Überwachungsbehörde kann der o.a. Prüfumfang insgesamt oder für einige Parameter reduziert werden, wenn sich im Laufe des Baufortschritts herausstellt, daß dies z.B. aufgrund geringer Qualitätsschwankungen fachlich vertretbar ist.

Die Bestimmung des Verdichtungsgrades erfolgt i.a. durch Ersatzverfahren (Ballongerät, Sandersatzverfahren), da die Entnahme einer ungestörten Probe wegen des Kieskorns mittels Entnahmezylinder i.d.R. nicht gelingt. Soll eine zerstörungsfrei arbeitende Isotopsonde eingesetzt werden, so sind die Werte durch eine ausreichende Anzahl von Vergleichsuntersuchungen von Dichtebestimmungen durch Ersatzmethode zu kalibrieren.

Der Nachweis der Durchlässigkeit kann sowohl im Labor als auch im Feld erfolgen. Bei den Laborversuchen mittels Triaxialzelle ($d \geq 15$ cm) kann jedoch nicht auf im Feld entnommene Proben zurückgegriffen werden, sondern es sind nachträglich verdichtete Vergleichsproben im Labor herzustellen. Dabei ist sicherzustellen, daß der Wassergehalt und die Dichte den Werten der Feldprüfung entsprechen. Außerdem ist darauf zu achten, daß der Prüfkörper innerhalb der in der Eignungsprüfung vorzugebenden Verarbeitungszeit des Mineralgemisches hergestellt wird. Für die in-situ-Dichtigkeitsprüfung kann z.B. das von HORN (1989) entwickelte oder das in der Richtlinie Nr. 18 des LWA (1993) beschriebene Standrohrgerät eingesetzt werden (s.a. Abb. 2).

Neben den in Tab. 1 nachzuweisenden Parametern ist zusätzlich durch den Eigen- und Fremdprüfer die Schichtdicke der einzelnen Lagen sowie die Einhaltung der Soll-Höhenlage im Raster 20 x 20 m zu überprüfen.

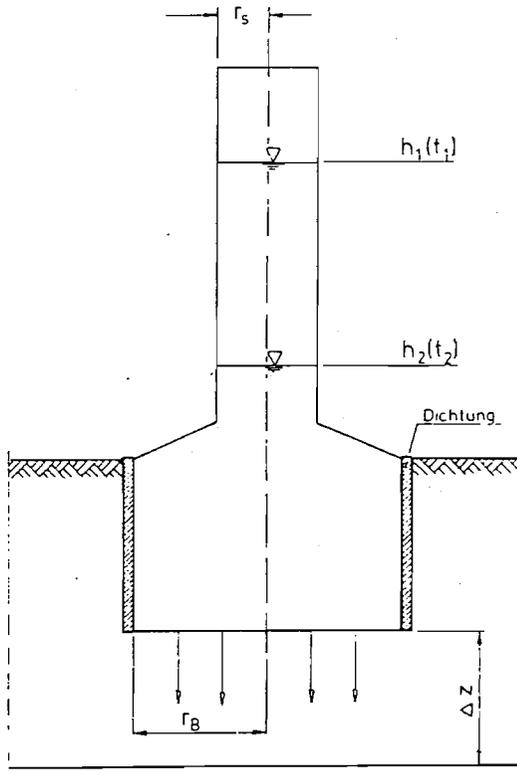


Abb. 2: Schematische Darstellung des Standrohrgerätes (LWA, 1993)

3.3.2 Wasserglasvergütete Systeme

Folgende wasserglasvergütete Abdichtungs-Systeme bzw. Systemkomponenten finden dztg. im Deponiebau Anwendung:

- Basis- und Oberflächenabdichtungen aus wasserglasvergüteten Lehmschichten mit und ohne Kunststoff-Dichtungsbahn (BELOUSCHEK/KÜGLER 1989),
- Basisabdichtungen mit dem DYNAGROUT-System der Hüls AG, Troisdorf.

Beiden Systemen ist gemeinsam, daß der verbleibende Porenraum des Ausgangsmaterials mit einem chemisch resistenten Silicat-Hydrogel verschlossen wird. Abweichungen bestehen dagegen im Ausgangsmaterial. Während nach dem Verfahren nach BELOUSCHEK/KÜGLER (1993) durchgehend feinkörnige Böden als

Ausgangsmaterial verwendet werden, handelt es sich bei dem Ausgangsmaterial für das DYNAGROUT-System um ein Kies-Sand-Gemisch der Körnung 0-8 mm. Für eine genaue Einhaltung der geforderten Mischungsverhältnisse sind die einzelnen Materialkomponenten in einem Zwangsmischer aufzubereiten. Die Homogenität der aufbereiteten Dichtungsmaterialien ist - wie bei den Bentokiesdichtungen - im Rahmen der Eigen- und Fremdprüfung kontinuierlich zu überwachen.

Die Qualitätssicherungen im Rahmen der Bauüberwachung erfolgt ebenfalls in Anlehnung an die Kontrollprüfungen für die Bentokiesdichtung. Maßgebende Prüfkriterien sind hierbei wieder der Nachweis der Verdichtungskennwerte, der Kornverteilung und der Durchlässigkeit. Die Durchlässigkeitsprüfung verlagert sich wegen der Möglichkeit einer ungestörten Probenahme in das Labor. Feldversuche sind die Ausnahme. Die Häufigkeit der Nachweise liegt bei 900 bzw. 3.600 m² (s.a. Abschn. 3.3.1.2). Die Überprüfung der Schichtdicke der Einzellagen sowie der Gesamtmächtigkeit des hergestellten Abdichtungssystems erfolgt im Raster 20 x 20 m.

3.3.3 Bentonitmatten

Zur Qualitätssicherung von Bentonitmatten, die bevorzugt zur Abdichtung von Oberflächen eingesetzt werden, ist es notwendig, bereits bei der Herstellung dieser Matten alle Komponenten einer **Eigenprüfung** zu unterziehen. Im einzelnen sind dies (ZANZINGER, 1993):

- Eingangskontrollen bei der Rohstoff-, Faser- und Geotextilherstellung,
- Eigenprüfung an der fertigen Bentonitmatte.

Die bei der Rohstoff- und Faserherstellung zu prüfenden Parameter sind in Tab. 2 zusammengestellt. Sie belegen, daß nur werksgeprüfte Komponenten für die Produktion verwendet werden.

Tab.2.: Eingangskontrollen bei der Rohstoff- und Faserherstellung

Vorgang	Produkt	Kennwert
Rohstoffherstellung	Fasergranulat	Viskositätszahl (DIN 53728) Schmelzindex (DIN 53735) Dichte (DIN 53479)
	Bentonit	Montmorillonitgehalt Körnungslinie (DIN 18123) Wassergehalt (DIN 18121) Wasseraufnahme (DIN 18132) volumetrische Quellung
Faserherstellung	Faser	Faserfeinheit (DIN 53182) Faserfestigkeit und -dehnung (DIN 53816) Schmelzindex (DIN 53735) Dichte (DIN 53479) Rußgehalt (ASTM 1603/76)

Die Prüfintervalle der Qualitätskontrolle bei der Geotextilherstellung enthält Tab. 3.

Tab. 3: Qualitätskontrollen bei der Geotextilherstellung

geprüfte Eigenschaft	Masse pro Flächeneinheit des Vliesstoffs	
	m < 500g/m ²	m > 500 g/m ²
Masse pro Flächeneinheit	1.000 m ²	500 m ²
Schichtdicke	1.000 m ²	500 m ²
Höchstzugkraft/Höchstzugkraftdehnung	10.000 m ²	5.000 m ²
Stempeldurchdrückkraft	5.000 m ²	3.000 m ²

Tab. 4 zeigt den Umfang und die Häufigkeit der Qualitätsprüfungen an Proben der fertiggestellten Bentonitmatten. Die bei den Prüfungen eingesetzten Geräte sind einer kontinuierlichen Überwachung zu unterziehen, d.h. es erfolgt eine Überprüfung mit geeigneten Eichmaßen. Dadurch soll sichergestellt werden, daß die ermittelten Werte richtig sind und ein Abweichen von den Sollwerten rechtzeitig erkannt wird.

Tab. 4: Eigenprüfungen an fertigen Bentonitmatten

geprüfte Eigenschaft	Häufigkeit
Masse pro Flächeneinheit	1.000 m ²
Schichtdicke	1.000 m ²
Höchstzugkraft/Höchstzugkraftdehnung	5.000 m ²
Wasserdurchlässigkeitstest ¹⁾	2.000 m ²
Durchlässigkeit	20.000 m ²

¹⁾ nur ausführbar bei pulverisiertem Bentonit

Die **Fremdprüfung** wird in folgenden Stufen ausgeführt:

- Fremdprüfung der fertigen Bentonitmatten im Rahmen der Fertigung durch eine unabhängige Materialprüfanstalt oder qualifizierte Einzelperson,
- Fremdprüfung im Rahmen der Qualitätssicherung auf der Baustelle durch vom Bauherrn beauftragte neutrale qualifizierte Institute/Ingenieurbüros oder Einzelpersonen in Abstimmung mit der Genehmigungsbehörde.

Die Fremdprüfung im Rahmen der Qualitätssicherung bei der Bauausführung beinhaltet folgende Überwachungsvorgänge:

- Transport, Lieferung und Lagerung (steinfreies, ebenes und ausreichend tragfähiges Planum) einschließlich Handhabung auf der Baustelle,
- Verlegung einschließlich Ausführen der erforderlichen Überlappungen,
- Auftrag einer steinfreien Schutzschicht.

Zusätzlich sind im Rahmen der Bauausführung durch den Fremdprüfer Kontrollprüfungen durchzuführen. Der Umfang dieser Prüfungen kann in Anlehnung an die Angaben des "Merkblattes für die Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaus" (1994) durchgeführt werden. Als Richtwerte können aber auch die Kontrollintervalle nach Tab. 5 herangezogen werden.

Tab. 5: Fremdprüfungen im Rahmen der Bauausführung

geprüfte Eigenschaft	Häufigkeit
Masse pro Flächeneinheit	500 m ²
Wassergehalt	500 m ²
Methylenblau-Wert	5.000 m ²
Quelltest	5.000 m ²
Zugversuch	5.000 m ²
Aufspaltversuch	5.000 m ²
Durchlässigkeit	10.000 m ²

3.3.4 Asphalt dichtungen

Nach SCHUHBAUER (1994) kann die Asphalt dichtung von unten nach oben aus folgenden Einzelkomponenten bestehen:

- Auflager aus Kies-Sand-Gemisch,
- bituminöse Tragschicht als Asphalttragschicht der Körnung 0/32 mm,
- Dichtungsschicht aus Asphaltbeton (gebrochenes Material der Körnung 0/11 mm)

Die im Rahmen der Qualitätssicherung an diesen Einzelkomponenten durchzuführenden Eigen- und Fremdprüfungen sollen nachfolgend - i.w. anhand von Tabellen - erläutert werden. Bei anderen Aufbauten ist das Prüfprogramm ggfs. zu modifizieren.

3.3.4.1 Auflager

In Tab. 6 sind Art, Umfang und Anforderungen der im Rahmen der Eigen- und Fremdprüfung durchzuführenden Überwachungsprüfungen zusammengestellt.

Tab. 6: Mindestanforderungen und Prüfumfang bei Herstellung des Auflagers

Art	Umfang (bei Eigen- und Fremdüberwachungsprüfungen)	Anforderungen nach ZTVT-StB 86
LP-Versuch nach DIN 18134	1 x je 500 m ² und Lage	- Verformungsmodul <ul style="list-style-type: none"> ● untere Lage $E_{v2} \geq 80-100 \text{ MN/m}^2$ ● obere Lage $E_{v2} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ - Verhältniswert für beide Lagen $E_{v2}/E_{v1} \leq 2,5$
Dichtebestimmung nach DIN 18125 durch Ersatzmethoden	1 x je 1.000 m ² und Lage	Verdichtungsgrad für beide Lagen $D_{Pr} \geq 100\%$
Korngrößenverteilung nach DIN 18123	1 x je 2.500 m ² für die obere Lage	
Profilgerechte Lage	1* x auf der fertigen Schicht im (10 x 10 m)-Raster	Abweichung von der Sollhöhe $\leq \pm 2 \text{ cm}$
Ebenheit	1* x auf der fertigen Schicht im (30 x 30 m)-Raster	Unebenheit über eine 4 m-Meßlatte $\leq 2 \text{ cm}$

Erläuterungen: 1* = Eigen- und Fremdüberwachungsprüfung gemeinsam

3.3.4.2 Asphalttragschicht

Zur Kontrolle der im Rahmen der Eignungsprüfung ermittelten "Rezeptur" der Asphalttragschicht sind vom Mischwerk bei der Herstellung des Mischgutes entsprechend TGL Asphalt - StB89 (Technische Lieferbedingungen für Asphalt im Straßenbau, Teil: Güteüberwachung) durchzuführen. Der Untersuchungsumfang ist in Tab. 7 aufgeführt. Die Ergebnisse der vom Mischwerk durchgeführten Prüfungen sind mit den vor Ort durchzuführenden Eigen- und Fremdprüfungen zu vergleichen und mit diesen im Abschlußbericht des Fremdprüfers zu dokumentieren.

Tab. 7: Art und Umfang der im Mischwerk durchzuführenden Prüfungen

Prüfgegenstand	Prüfverfahren	Anzahl
bei Herstellung des Mischgutes		
Mineralstoffe		
Beschaffung und Lagerung	Augenschein	je 1 x pro 500 t Mischgut
Einstellung und Arbeitsweise der Meßeinrichtungen	Augenschein	
Bindemittel		
Beschaffenheit	DIN 52002	
Erweichungspunkt Ring und Kugel	DIN 52011	
Einstellung und Arbeitsweise der Abmeßeinrichtungen	Augenschein	
Temperatur	Temperaturmessung	
Zusätze		
Beschaffenheit	Augenschein	
Einstellung und Arbeitsweise der Abmeßeinrichtungen	Augenschein	
Mischgut		
Beschaffenheit	Augenschein	
Temperatur	Temperaturmessung	
Im Laboratorium		
Mischgut		je 1 x pro 500 t Mischgut
Korngrößenverteilung	DIN 1996 Teil 14	
Bindemittelgehalt	DIN 1996 Teil 6	
Raumdicke und Hohlraumgehalt am Marshallkörper	DIN 1996 Teil 7	
Wasseraufnahme am Marshallkörper	DIN 1996 Teil 8	
Wassergehalt	DIN 1996 Teil 5	
Stabilität und Fließwert nach Marshall	DIN 1996 Teil 11	
Eindringtiefe	DIN 1996 Teil 13	
Übereinstimmung mit den Angaben der Eignungsprüfung	Vergleich	

Die bei Anlieferung des Mischgutes und nach Einbau der Asphalttragschicht durchzuführenden Eigen- und Fremdprüfungen sind in Tab. 8 zusammengestellt. Die Ergebnisse sind laufend fortzuschreiben und im Abschlußbericht des Fremdprüfers zu dokumentieren.

Tab. 8: Art und Umfang der durchzuführenden Eigen- und Fremdprüfungen

Prüfgegenstand	Prüfverfahren	Anzahl
Mischgut		
Bindemittelgehalt	DIN 1996 T 6	1 x pro 2500 m ²
Korngrößenverteilung	DIN 1996 T 14	
Erweichungspunkt Ring und Kugel des zurückgewonnenen Bindemittels	DIN 52011	
Raumdicke und Hohlraumgehalt der Marshall-Probekörper	DIN 1996 T 7	
Marshall-Stabilität und -Fließwert	DIN 1996 T 11	
Temperatur	Temperaturmessung	1 x pro 400 m ²
Beschaffenheit	Augenschein	1 x pro 400 m ²
eingebaute Asphalttragschicht		
Verdichtungsgrad	DIN 1996 T 7	1 x pro 2.500 m ²
Profiligerechte Lage	Nivellement	1* x (10 x 10m)-Raster
Ebenheit	4-m-Meßlatte	1* x (30 x 30 m)-Raster
Einbaudicke	Messung an Bohrkernen nach TPD-SIB 69	1* x pro 2.500 m ²
Beschaffenheit der Oberfläche	Augenschein	1 x pro Tagesleistung
Einbaugewicht	rechn. Ermittlung aus Liefererscheinungen und Fläche	1* x pro Tagesleistung

Erläuterung: 1* = Eigen- und Fremdüberwachungsprüfung gemeinsam

3.3.4.3 Asphaltbeton

Die vom Mischwerk bei Herstellung des Asphaltbetons durchzuführenden Prüfungen orientieren sich an denen für die Asphalttragschicht (s.a. Abschn. 3.3.4.2, Tab. 7). Ebenfalls identisch in Art, Umfang und Häufigkeit sind die im Rahmen der Eigen- und Fremdprüfung durchzuführenden Nachweise. Es wird deshalb auf Tab. 8 im Abschn. 3.3.4.2 verwiesen.

Wie bei der Asphalttragschicht sind die Ergebnisse der Eigen- und Fremdprüfung fortlaufend zu ergänzen und in einem Exemplar als Bestandteil der Betriebsdokumentation auf der Baustelle verfügbar zu halten. Sie sind in einer vom Fremdprüfer zu erstellenden Abschlußdokumentation zu dokumentieren.

4. Schlußbemerkungen

Bei der Qualitätskontrolle von Deponieabdichtungssystemen geht es nicht um die Kontrolle einzelner Werkstücke oder Teile, die bei Nichterfüllung der Anforderungen als Ausschuß aus der Herstellung ausgesondert werden können. Vielmehr ist die Abdichtung im Sinne einer Gesamtlieferung als gesamte Maßnahme zu bewerten.

Daraus resultiert die besondere Bedeutung der Überwachung des gesamten Herstellungsvorgangs, um auf diese Weise korrigierend eingreifen zu können, wenn dies im Hinblick auf die Erfüllung der gestellten Anforderungen nötig ist. Dem Herstellungsvorgang vorausgehend bezieht sich die Qualitätskontrolle auf die **Materialkontrolle** zur Sicherstellung der gewünschten Stoffeigenschaften und dann nach der **Verfahrenskontrolle** auf die **Produktkontrolle**, die in unserem Falle die Endabnahme darstellt. Eine Beschränkung der Qualitätskontrolle im Rahmen der Eigen- und Fremdprüfung lediglich auf eine Probennahme und die ausschließlich labor-technische Überprüfung bestimmter Parameter reicht nicht aus. Eine Verantwortung gegenüber der Genehmigungsbehörde für die planmäßige und funktionstüchtige Herstellung der Gesamtmaßnahme kann nur dann übernommen werden, wenn die Baumaßnahme vom Fremdprüfer durchgehend fachtechnisch überwacht und begleitet wird.

Es ist zu fordern, daß der Qualitätssicherung mehr Aufmerksamkeit geschenkt wird und Sicherungselemente von Abfalldeponien hinsichtlich Werkstoff und Verarbeitung als Qualitätsprodukte anerkannt werden. Um diese gesteckten Ziele zu erreichen, sind erhebliche Anforderungen an die Einbautechnik und damit an die Qualifikation der ausführenden Firmen zu stellen. Diesen Zielen muß aber auch der Bauvertrag entsprechen. Deponie- und insbesondere Dichtungsbau hat mit dem klassischen Erdbau (Umsatz großer Massen) nur sehr wenig gemein. Als Grundlage für eine faire, der Bauaufgabe angemessene Vorgehensweise im Verhältnis AN/AG können folgende Grundsätze gelten:

- Sorgfältige und klare Formulierung der Qualitätsanforderungen in den Vergabeunterlagen;
- Hinweise auf die bei der Bauausführung zu erwartenden Probleme;
- Leistungen, die in den Vergabeunterlagen nicht beschrieben sind, sich im Zuge der Bauausführung jedoch als erforderlich erweisen, sind zusätzlich zu vergüten;
- Realistische Ausführungstermine wegen des Unsicherheitsfaktors Wetter sowie Preise, die in einem realistischen Verhältnis zu der geforderten Bauleistung stehen. Über Billigangebote ist das gesteckte Ziel i.d.R. nicht zu erreichen.

Literaturverzeichnis

BELOUSCHEK, P. / KÜGLER, J.U. (1989): Zur Wasserglasvergütung von bindigen feinkörnigen Böden. - In: Deponie 3, Hrsg. Thomé-Kozmiensky, EF-Verlag, Berlin.

BELOUSCHEK, P. / KÜGLER, J.U. (1993): Wasserglasvergütete Dichtungssysteme in der Deponietechnik. - Wasser und Boden, H. 11, S. 855 - 861.

DÜLLMANN, H. (1989): Qualitätssicherung durch Qualitätskontrolle - ein wesentliches Element des Sicherheitskonzeptes von Deponien. - Mitt. Ing.- und Hydrogeologie, H. 32, S. 415 - 444, Aachen.

DÜLLMANN, H. (1992): Qualitätssicherung bei Planung und Bau von Kombinationsdichtungen für Deponien. - Abfallwirtschaft in Forschung und Praxis, Bd. 54, Fortschritte der Deponietechnik, S. 127 - 139, Hrsg. Fehlau/Stief, E.Schmidt Verlag, Berlin 1993.

ENGELMANN, B. (1993): Zur Bewertung der Gleichwertigkeit alternativer Deponieabdichtungssysteme. - Ablagerung von Siedlungsabfällen - Geologische Barriere, Deponieabdichtungen, Deponiebetrieb, UTECH Berlin, 1993.

HORN, N.A. (1989): Mineralische Deponie-Flächendichtungen aus gemischtkörnigen Böden. - Bautechnik, H.9, S. 311 - 318.

HORN, N.A. (1989): In-situ-Dichtigkeitsprüfung von Deponie-Flächendichtungen. - Geotechnik, H.2, S. 16 - 18.

LWA (1993): Mineralische Deponieabdichtungen. - Abfallwirtschaft NRW, Nr. 18, Hrsg. Landesamt für Wasser und Abfall NRW.

SCHUBAUER, A. (1994): Asphaltbeton als Basisabdichtung von Deponien. - Bautechnik, H. 9, S. 566 - 581.

STIEF, K. (1993): Zur Gleichwertigkeit von Deponieabdichtungssystemen. - 9. Nürnberger Deponieseminar "Geotechnische Probleme beim Bau von Abfalldeponien", Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstituts, H. 71, S. 49 - 66.

TA SIEDLUNGSABFALL (1993): Dritte allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall): Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen vom 12. Februar 1993.

TA SONDERABFALL (1991): Zweite allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Abfall), Teil I: Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen vom 12. März 1993.

ZANZIGER, H. (1994): Qualitätssicherung bei der Produktion und bei der Verlegung von Geokunststoff-Ton-Dichtungen. - Veröffentlichungen des LGA-Grundbauinstitutes, H. 71, S. 149 - 160.

Einfluß der Oberflächenabdichtung auf Menge und Qualität des Sickerwassers

Dipl. Ing. Ulrike Hertig

Gliederung

- 1. Einleitung**
- 2. Sickerwassermengen**
 - 2.1 Grundlagen des Wasserhaushalts einer Deponie
 - 2.2 Wasserbilanz einer offenen, in Verfüllung befindlichen Deponie
 - 2.2.1 Einfluß des Niederschlags
 - 2.2.2 Verdunstung
 - 2.2.3 Rückhaltung/ Speicherung
 - 2.2.4 Wasserproduktion und Eigenbedarf
 - 2.3 Modellansätze zur Sickerwassermengenabschätzung
 - 2.4 Einfluß der Oberflächenabdichtung auf den Wasserhaushalt
 - 2.4.1 Oberflächenabdichtung nach TA Siedlungsabfall
 - 2.4.2 Infiltration durch die Oberflächenabdichtung
 - 2.4.3 Abgabe von Wasser aus dem Abfallkörper
- 3. Sickerwasserkonzentrationen**
- 4. Sickerwassermengen und -konzentrationen zweier Deponien mit Oberflächenabdichtung**
- 5. Literaturverzeichnis**

1. Einleitung

Die Abschätzung der Sickerwassermenge und Sickerwasserqualität über die Laufzeit und den Nachsorgezeitraum einer Deponie ist die maßgebliche Grundlage zur Auslegung von Sickerwasserspeicher- und -aufbereitungsanlagen. Um den schmalen Grad zwischen einer Auslegung mit ausreichenden Sicherheiten und einer möglichst kostengünstigen Auslegung der Anlagen abwägen zu können, ist eine möglichst genaue Prognose der zu erwartenden Konzentrationen und Mengen erforderlich.

2. Sickerwassermengen

2.1 Grundlagen des Wasserhaushalts einer Deponie

Die Grundgleichung für den Wasserhaushalt einer Deponie stellt sich wie folgt dar:

$$SW = N - V - R + W$$

mit:

SW	=	Sickerwasserabfluß
N	=	Niederschlag
V	=	Verdunstung
R	=	Rückhalt/ Speicherung
W	=	Eigenbedarf und Wasserproduktion durch biochemische Umsetzung

2.2 Wasserbilanz einer offenen, in Verfüllung befindlichen Deponie

2.2.1 Einfluß des Niederschlags

Bei offenen Deponien ist das Niederschlagsgeschehen der dominierende Einflußfaktor für die Sickerwasserbildung. Im Gegensatz zum Abflußverhalten befestigter Flächen ist hier i.d.R. nicht das maximale kurzfristig Regenereignis (z.B. $r_{15, \eta=1}$, oder das maximale Tagesniederschlagsereignis) maßgeblich sondern die Summe der Niederschläge über einen längeren Zeitraum. Zu welchem Anteil und mit welchem Zeitverzug sich die Niederschlagsereignisse auf den Sickerwasseranfall auswirken, ist von den nachfolgend erläuterten Einflußfaktoren abhängig.

2.2.2 Verdunstung

Zur Berechnung der Verdunstung existieren unterschiedlich komplexe Ansätze. Eine gängige Berechnung ist die Verdunstungsberechnung nach Haude, die als einzige Variablen die Temperatur und die Luftfeuchtigkeit hat.

Im Rahmen eines Forschungsvorhabens wurde unter Zugrundelegung dieser relativ einfachen Formel eine Bilanzierung von Niederschlag, Verdunstung und Sickerwasseranfall für verschiedene Deponien durchgeführt /1/. Trotz anfänglicher Skepsis ergaben sich hieraus bei Betrachtung über längere Zeiträume relativ brauchbare Ergebnisse. Im Allgemeinen liegt aber die nach Haude berechnete potentielle Verdunstung deutlich oberhalb der tat-

sächlichen Verdunstung, da der Ansatz von einer unbegrenzten Wasserversorgung ausgeht. Bessere Ergebnisse lassen sich mit modifizierten Ansätzen, die die maximale Verdunstungsrate begrenzen bzw. in Abhängigkeit der nutzbaren Feldkapazität setzen, erzielen.

Bei einem Forschungsvorhaben der DFG hat die TU Braunschweig bei Untersuchungen an mit Müll gefüllten Lysimetern ebenfalls Wasserbilanzen durchgeführt /2/. Die Berechnung der potentiellen Verdunstung erfolgt wiederum nach HAUDE. Bei empirischen Untersuchungen wurde hier festgestellt, daß man über die Zeit eine relativ ausgeglichene Wasserbilanz erhält, wenn man die maximale tägliche Verdunstungsrate auf 5 mm/d begrenzt und in Perioden, in denen der Niederschlag geringer als die potentielle Verdunstung ist, die Differenz $\Sigma (V_{pot} - N)$ auf kleiner 20 mm beschränkt.

2.2.3 Rückhaltung/ Speicherung

Das Rückhalte- und das Speichervermögen eines Deponiekörpers beeinflusst maßgeblich sowohl die Verteilung der Sickerwassermengen über das Jahr als auch die Sickerwasserjahresmengen.

Das Rückhalte- und Speichervermögen ist von Deponie zu Deponie äußerst unterschiedlich. Die Einflußfaktoren sind i.w.:

- Eingangsfeuchte des eingebrachten Abfalls,
- spezifische Wasserkapazität des Abfalls,
- Abfallvorbehandlung (Zerkleinerung, Homogenisierung)
- Verdichtungsgrad
- Müllverfüllhöhe und Höhenwachstumsgeschwindigkeit der Deponie.

2.2.4 Wasserproduktion und Eigenbedarf

Bei aerobem Abbau von Biomasse wird Wasser freigesetzt, bei anaeroben Umsetzungsprozessen Wasser verbraucht. Durch aeroben Abbau von Methan z.B. bei unzureichender Gasfassung und Oxidation des Methans an der Deponieoberfläche wird Wasser frei. In Abhängigkeit der Randbedingungen kann die mögliche Spannweite zwischen Wasserverbrauch und Wasserproduktion enorm sein. So lag beispielsweise bei Lysimeterversuchen der TU Braunschweig /2/ diese zwischen -1,1 t und +5,4 t Wasser, was bei diesem Lysimeter bezogen auf die Oberfläche eine Spannweite von -55 mm bis +270 mm ergab.

2.3 Modellansätze zur Sickerwassermengenabschätzung

Der Niederschlag kann meßtechnisch sehr genau erfaßt werden und es liegen in großem Maße standortspezifische statistische Daten über Niederschlagsmenge/ bzw. -häufigkeiten vor. Die Ansätze zur Verdunstungsberechnung sind mit gewisser Vorsicht zu genießen, können jedoch zumindest Anhaltswerte für die Größenordnung der Verdunstung ergeben.

Die übrigen deponiespezifischen Einflußfaktoren sind zwar von der Theorie her nachvollziehbar, rechnerisch jedoch nicht quantifizierbar. Selbst bei Lysimeterversuchen, bei denen exakt Einbaufeuchte, Verdichtungsgrad, Müllzusammensetzung, Feuchte bei Ausbaue etc. ermittelt werden können, ergeben die Ergebnisse für den Wasserhaushalt einer Deponie keine geschlossene Bilanz sondern nur qualitative Aussagen, die helfen, die Einflußfakto-

ren des Wasserhaushalts besser zu verstehen.

In der Regel werden daher entweder der Quotient Sickerwassermenge/Niederschlag bzw. Sickerwassermenge/Fläche zur Bestimmung des Sickerwasseranfalls herangezogen. Bei in Betrieb befindlichen Deponien empfiehlt es sich, Standardansätze auf Grundlage vorliegender Messungen für die jeweilige Deponie zu eichen und bei Abweichungen zu überprüfen, durch welche Einflußfaktoren ein Mehr- oder Minderanfall qualitativ begründet werden kann.

Die Sickerwasserbilanzen von Hausmülldeponien im Bereich RP Düsseldorf / RP Köln ergaben im Jahresdurchschnitt Sickerwasserspenden zwischen 0,04 - 0,08 l / (s • ha), wobei in Abhängigkeit der Verfüllhöhe mehr oder weniger starke jahreszeitliche Schwankungen auftreten.

Für neu eingerichtete Deponien liegen die Werte deutlich höher, da Rückhalt und Speicherung bei geringen Müllverfüllhöhen nur bedingt bei offenen Drainageflächen nahezu gar nicht wirksam werden.

Bislang wurden verschiedentliche Versuche durchgeführt, Prognosemodelle sowohl für den kurzfristigen Sickerwasseranfall (Tages- / Wochenwerte) als auch für die Sickerwasserjahresmengen zu ermitteln. Zu nennen sind hier der rekursive Ansatz nach Ehrig /11/ und eine Erweiterung dieses Ansatzes durch Enviro Consult /12/. Zur Ermittlung von Sickerwasserjahresmengen wurde von Spillmann/Colling /2/ ein Modell entwickelt, mit dem unter Zugrundelegung von mittleren Wetterdaten und deponiespezifischen Bedingungen wie Abfallmengen, Deponieflächen und Höhenentwicklung, die Sickerwasserjahresmengen über den Verfüllzeitraum prognostiziert werden können. Das Problem all dieser mathematischen Ansätze sind sowohl die Erfassung bzw. Prognose der für die Ansätze erforderlichen Eingangsdaten als auch die Eichung der Modelle durch Bestimmung der jeweiligen deponiespezifischen Konstanten auf Grundlage einer ausreichenden Anzahl von Meßdaten. Aufgrund dieser Schwierigkeiten konnte sich bislang noch kein Rechenmodell als allgemein anerkanntes durchsetzen.

2.4 Einfluß der Oberflächenabdichtung auf den Wasserhaushalt

Das Aufbringen der Oberflächenabdichtung hat einen entscheidenden Einfluß auf den Sickerwasseranfall. Durch das Aufbringen der Oberflächenabdichtung wird die Infiltration von Niederschlagswasser erheblich reduziert. Des weiteren wird zum Zeitpunkt des Aufbringens des Oberflächenabdichtungssystems die Wasseraufnahmekapazität des Abfallkörpers bereits weitestgehend erreicht sein, so daß im Gegensatz zu der hohen Speicherkapazität, den die Deponien teils während der Verfüllung haben können, diese kaum noch eine Bedeutung hat. Aerobe Abbauvorgänge werden durch die Oberflächenabdichtung verhindert. Eine Wasserbildung durch aeroben Abbau von Abfällen oder von Methan ist daher auszuschließen. In geringem Maße muß noch von einem Wasserverbrauch durch anaerobe Abbauvorgänge ausgegangen werden. Da die Abbauvorgänge jedoch gegenüber der Zeit exponentiell abnehmen (vgl. auch mathematische Ansätze zur Gasprognose) wird dieser Wasserverbrauch für die Gesamtbilanz von untergeordneter Bedeutung sein. Neben der Infiltration von Niederschlagswasser durch die Oberflächenabdichtung bleibt somit einziger Einflußfaktor die Abgabe von Wasser aus dem Abfallkörper durch Konsolidierung.

2.4.1 Oberflächenabdichtung nach TA Siedlungsabfall

In der Vergangenheit gab es keine einheitlichen Anforderungen zur Qualität und technischen Ausführung der Oberflächenabdichtungen von Deponien. Die Forderung einer Oberflächenabdichtung und ihre Qualität wurde individuell über die Planfeststellungsbescheide der jeweiligen Deponie geregelt. In den Jahren 1985-1989 wurden im Bereich RP Düsseldorf und Köln i.d.R. mineralische Abdichtungen mit einem Durchlässigkeitskoeffizienten zwischen $k_f = 1 \cdot 10^{-7}$ - $1 \cdot 10^{-9}$ m/s. gefordert. Im Rahmen der Diskussion der TA-Abfall kam ein Durchlässigkeitskoeffizient von $k_f = 1 \cdot 10^{-10}$ m/s ins Gespräch

Durch die TA-Siedlungsabfall wird nun in Abhängigkeit der Deponieklasse folgende Anforderung an die Oberflächenabdichtung gestellt:

"Die Dichtung soll bei Deponien der Klasse I als mineralische Dichtung gemäß Abbildung 1 oder mit einer gleichwertigen Dichtung ausgeführt werden. Für Deponien der Klasse II soll die Dichtung als Kombinationsdichtung gemäß Abbildung 2 oder mit einem gleichwertigen Dichtungssystem ausgeführt werden. Die Dicke der mineralischen Dichtungsschicht darf 0,5 m nicht unterschreiten. Ein Durchlässigkeitsbeiwert von $k_f < 5 \cdot 10^{-9}$ m/s bei $i = 30$ (Laborwert) ist einzuhalten."

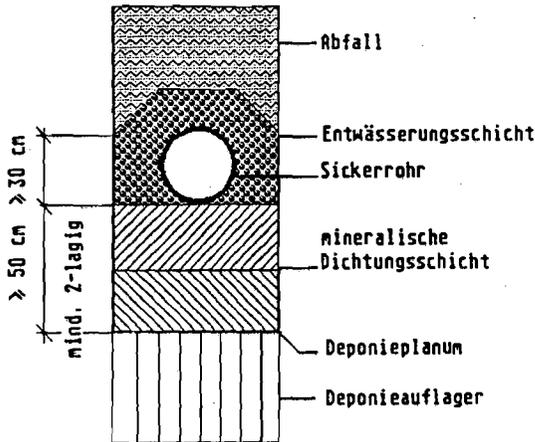


Abbildung 1: Oberflächenabdichtungssystem für die Deponieklasse I gemäß TA-Siedlungsabfall /10/

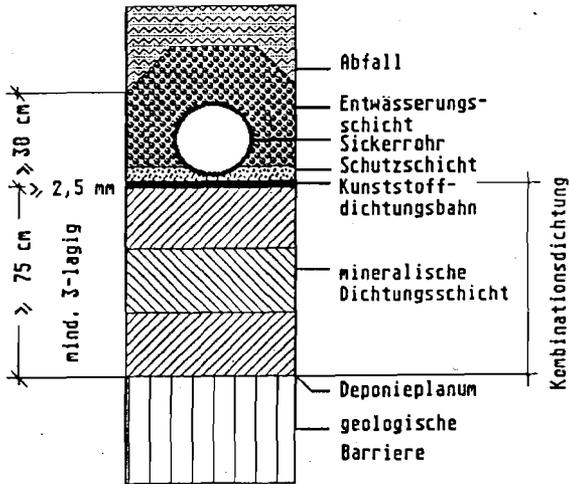


Abbildung 2: Oberflächenabdichtungssystem für die Deponiekategorie II gemäß TA-Siedlungsabfall /10/

2.4.2 Infiltration durch die Oberflächenabdichtung

Wie sich das Aufbringen von Oberflächenabdichtungssystemen gem. TA Siedlungsabfall auf den Sickerwasseranfall auswirken wird, ist z.Z. noch weitestgehend unbekannt, da bei den bereits abgeschlossenen Deponien bislang i.d.R. geringere Anforderungen an die Oberflächenabdichtungen gestellt wurden und somit kaum Daten für Oberflächenabdichtungen nach TA-Siedlungsabfall vorliegen.

Auf der Deponie Georgswerder wurde in Testfeldern der Einfluß unterschiedlich aufgebauter Oberflächenabdichtungssysteme auf den Wasserhaushalt der Deponie untersucht /3/, /4/.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurde über einen Zeitraum von fünf Jahren (1988-1992) u.a. die Durchsickerung von Oberflächenabdichtungen mit bindiger mineralischer Dichtung ($k_f = 2,4 \cdot 10^{-10}$, Laborwert) und mit Kombinationsabdichtung gemessen. Die Testfelder mit rein mineralischer Abdichtung zeigten nach einigen Trockenperioden eine erhebliche Zunahme der Abflüsse unterhalb der mineralischen Abdichtung. Die Zunahme der Durchlässigkeit wird begründet mit der Schrumpfung der Dichtung durch Austrocknen. Die Sickerwasserspende unterhalb der Dichtschicht in einem der Versuchsfelder im letzten Jahr bereits bei rd. 110 mm/a, wobei über den Versuchszeitraum ein ständiger Anstieg der Durchlässigkeit verzeichnet wurde. Bei den Versuchsfeldern mit Kombinationsabdichtung, d.h. mit einer PE-HD Dichtungsbahn oberhalb der mineralischen Dichtung lagen die Sickerraten mit maximal 5 mm/a deutlich unterhalb der o.g. Maximalwerte. Das Aufbringen von Kombinationsabdichtungen als Oberflächenabdichtung ist sehr umstritten und technisch äußerst problematisch. Wird bei einer rein mineralischen Abdichtung die Austrocknung verhindert, können vergleichbar hohe Dichtigkeiten erzielt werden. Im Rahmen der o.g. Versuche auf der Deponie Georgswerder wurde die Austrocknung der mineralischen Dichtung

durch die geringe Schichtdicke des rekultivierfähigen Bodens (75 cm) begünstigt. Durch Aufbringen eines rekultivierfähigen Bodens mit einer hohen Feldkapazität und einer Mächtigkeit >100 cm kann dieses vermieden werden.

Neben den Versuchen auf der Deponie Georgswerder wurden auch auf der Deponie Dreieich-Buchsschlag (bei Frankfurt) Testfelder zur Untersuchung der Sickerwasserbildung in Oberflächenabdichtungen eingerichtet /6/. Es kam eine mineralische Oberflächenabdichtung von $d = 50\text{cm}$, $k_f = 5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ zum Einsatz, über der ein 150 cm mächtiger Wurzelboden aus Sand-Schluff-Gemisch aufgebracht wurde. Die Versickerungsraten durch die Oberflächenabdichtung betrug über den Zeitraum von zwei Jahren ca. 70 mm (ca. 0,01 l/s • ha).

Im Rahmen einer Deponieplanung am Standort Berlin wurden mit Hilfe des aus den USA stammenden und auf deutsche Klimaverhältnisse angepaßte Wasserhaushaltprogramms "Help" /6/ die Infiltration für unterschiedliche Oberflächenabdichtungssysteme berechnet /7/. Bei der Berechnung wurden die Wetterdaten des Standortes über einen Zeitraum von fünf Jahren zugrundegelegt. Der mittlere Jahresniederschlag lag in diesem Zeitraum bei 609 mm.

Die Berechnung mit diesem Modell ergab folgendes Ergebnis:

Var.	Oberflächenabdichtungssystem	Infiltration	
		[mm/a]	[l/s • ha]
1	Abdeckung aus sandigem, durchlässigen Material	286	0,091
2	Kombinationsabdichtung Dränschicht, Abdeckung wie 1	0	0
3	Tonabdichtung $k_f = 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ Dränschicht $k_f = 1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$ Abdeckung wie 1	25	0,008
4	Tonabdichtung $k_f = 1 \times 10^{-9} \text{ m/s}$ Dränschicht $k_f = 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$ Abdeckung wie 1	37	0,003
5	Tonabdichtung $k_f = 1 \times 10^{-9}$ Dränschicht, Abdeckung mit hohem Wasserspeichervermögen	6	0,002
6	Tonabdichtung $k_f = 1 \times 10^{-10}$ Dränschicht, Abdeckung wie 5	1	0,0003
7	wie 5 aber 15 % weniger Wasserspeichervermögen der Abdeckung	7	0,002

Tabelle 1: Mittlere Infiltrationsraten unterschiedlicher Oberflächenabdichtungssysteme (theoretische Berechnungen) /7/

Inwiefern sich diese theoretischen Zahlen unter Deponiebedingungen bestätigen werden, bleibt abzuwarten. Deutlich wird jedoch, daß mit einer hohen Wasseraufnahmekapazität der rekultivierfähigen Deckschicht (Variante 5 und 6) hohe Dichtigkeiten auch ohne Kombinationsabdichtung erzielt werden können. Z.Zt. läuft an der Universität München, Institut für Allgemeine und Angewandte Geologie, ein Forschungsvorhaben, im Rahmen dessen eine Anpassung des Programms an mitteleuropäische Klimaverhältnisse und eine Überprüfung und Kalibrierung des Berechnungsansatzes aufgrund von Deponiedaten erfolgen soll.

2.4.3 Abgabe von Wasser aus dem Abfallkörper

Vor Aufbringen der Oberflächenabdichtung dringt ein erheblicher Teil an Niederschlagswasser in den Abfallkörper ein. Dieses Wasser wird, soweit der Wassergehalt des eingebrachten Abfalls noch nicht seine Speicherkapazität erreicht hat, teils gespeichert, teils über Sperrschichten und Kapillarkräfte zurückgehalten. Insbesondere das rückgehaltene Wasser wird langfristig durch die Schwerkraft den Abfallkörper durchsickern und an der Basis als Sickerwasser gefaßt werden. Bei Deponien mit hohem (Klär-) Schlammanteil können erhebliche Wassermengen durch Kondolidierung der Schlämme freigesetzt werden. So gibt selbst ein ausgefaulter, gut entwässerter Klärschlamm (TS = 35 %) ca. 0,36 t Wasser/ t Schlamm im Laufe seiner Konsolidierungsphase ab.

3. Sickerwasserkonzentrationen

Über die Sickerwasserkonzentrationen von Hausmülldeponien liegen mittlerweile eine Fülle von Daten vor. Bereits in den 80ziger Jahren wurden zahlreiche Daten über Sickerwasserqualitäten von Hausmülldeponien erfaßt und veröffentlicht /8/.

Vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der TU Braunschweig wurde eine aktuelle statistische Auswertung der Sickerwasserqualitäten Niedersächsischer Hausmülldeponien durchgeführt /9/

Hierin wurden die Sickerwässer in vier Klassen aufgeteilt:

- "Biochemisch abhängige" Sickerwasserinhaltsstoffe während der sauren Phase,
- "Biochemisch abhängige" Sickerwasserinhaltsstoffe während der Übergangsphase,
- "Biochemisch abhängige" Sickerwasserinhaltsstoffe während der Methanphase,
- "Biochemisch unabhängige" Sickerwasserinhaltsstoffe.

Im folgenden sind die Ergebnisse dieser Untersuchungen für Deponien aus der stabilen Methanphase aufgelistet.

Parameter	Mittel	Median	Min. - Max.
<u>biochemisch abhängige Inhaltsstoffe</u>			
pH	7,6	7,6	7,0 - 8,3
CSB mg/l	2.500	1.900	460 - 8.300
BSB ₅ mg/l	230	210	20 - 700
DOC mg/l	660	625	150 - 1.600
org. Säuren mg/l	120	20	5 - 1.100
AOX µg/l	1.725	1.840	195 - 3.500
SO ₄ mg/l	240	120	25 - 2.500
Ca mg/l	200	150	50 - 1.100
Mg mg/l	150	150	25 - 300
Fe mg/l	25	12,5	4 - 125
Mn mg/l	2	1	0,3 - 12
Zn mg/l	0,6	0,4	0,9 - 3,5
ADR mg/l	7.000	7.000	2.000 - 12.000
GR mg/l	5.600	5.750	1.500 - 9.300
<u>biochemisch unabhängige Inhaltsstoffe</u>			
el. LF µS/cm	13.000	12.000	2.000 - 50.000
NH ₄ -N mg/l	740	630	17 - 1.650
ges. P mg/l	6,8	4,3	0,3 - 54
Cl mg/l	2.150	1.650	315 - 12.400
Bor mg/l	10,6	5,8	0,1 - 65
Na mg/l	1.150	930	1,0 - 6.800
K mg/l	880	785	170 - 1.750
Cr mg/l	0,155	0,136	0,002 - 0,52
Cu mg/l	0,09	0,06	0,005 - 0,56
Ni mg/l	0,19	0,15	0,01 - 1,0
Pb mg/l	0,16	0,16	0,008 - 0,4
Cd µg/l	37,5	15,2	0,7 - 0,525
As µg/l	25,5	17,0	5,3 - 110,0
Hg µg/l	1,5	0,3	0,002 - 25,0

Tabelle 2: Sickerwasserqualitäten von Hausmülldeponien in der Methanphase. /9/

Diese Ergebnisse decken sich sehr gut mit den uns vorliegenden Sickerwasseranalysen der im Bereich RP Düsseldorf/ RP Köln von den Firmen Trienekens Entsorgung GmbH und DDG mbH betriebenen Deponien.

In der Statistik der TU Braunschweig /9/ waren auch drei Deponien einbezogen, die zum Zeitpunkt der Untersuchung bereits abgeschlossen und mit einer Zwischenabdeckung versehen waren. Der Schüttbetrieb war hier bereits seit 5-10 Jahre eingestellt. Die Sickerwasserqualitäten dieser Deponieabschnitte paßte sehr gut in das Konzentrationsspektrum der in Betrieb befindlichen Deponien der stabilen Methanphase. Untersuchungen zur Veränderung der Sickerwasserqualität durch Aufbringen der Oberflächenabdichtung, die eine merkliche Beeinflussung der Sickerwasserqualität durch Aufbringen einer Oberflächenabdichtung belegen, sind uns nicht bekannt.

Durch den veränderten Wasserhaushalt einer Deponie nach Aufbringen einer qualifizierten Oberflächenabdichtung sind folgende Einflüsse denkbar:

- Rückgang der biologischen Abbauprozesse durch Verminderung der Wasserbewegung im Müllkörper und
- Verminderung von Auslaugprozessen.

Eine Verminderung der biologischen Abbauprozesse im Deponiekörper könnte sich durch ein Absinken des BSB₅/CSB-Verhältnisses bemerkbar machen, d.h. daß organische Stoffe in Lösung gehen, diese aber während sie den Müllkörper durchsickern, nicht weiter abgebaut werden. Die Verminderung von Auslaugprozessen spiegelt sich in einem Rückgang der über das Sickerwasser ausgetragenen Frachten nieder. Die Konzentrationen hängen hier i.w. vom Konzentrationsgefälle zwischen Haft- bzw. Porenwasser im Abfallkörper und dem Sickerwasser ab. Da sich dies durch Aufbringen der Oberflächenabdichtung nicht wesentlich verändern wird, sind für die Konzentrationen des Sickerwassers keine nennenswerten Änderungen zu erwarten. Durch einen Sickerwasseranfall, der weitestgehend vom Niederschlagsgeschehen unabhängig ist, wird sich die Konzentrationsspannweite voraussichtlich vermindern, da konstantere Bedingungen und Fließgeschwindigkeiten im Abfallkörper vorliegen. Bei offenen Deponien kommt es dahingegen nach starken Regenereignissen zu einem Absinken der Konzentrationen, da ein Teil des infiltrierten Niederschlagswassers über bevorzugte Sickerwege mit relativ geringen Niederschlagswassers über bevorzugte Sickerwege mit relativ geringen Fließzeiten den Abfallkörper durchströmt und somit eine Anreicherung mit löslichen Stoffen aus dem Abfallkörper nur bedingt möglich ist. Fest steht jedoch, daß sich durch Verminderung der Sickerwassermengen die ausgelaugten Frachten erheblich reduzieren werden.

4. Sickerwassermengen und -konzentrationen zweier Deponien mit Oberflächenabdichtung

Im folgenden soll ein Vergleich der in der Literatur genannten Angaben zur Sickerwassermenge und -beschaffenheit zweier oberflächenabgedichteter Deponien durchgeführt werden.

Deponie A:

Deponiefläche:	ca. 7,5 ha
Rekultivierungszeitraum:	1984-1986
Rekultivierungsaufbau:	0,20 m Sauberkeitsschicht 0,50 m Dichtungsschicht aus Formsand

$k_f = 1 \cdot 10^{-7} - 1 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$
 0,20 m Kies 0/32 mm als Flächendrainage
 0,90 m rekultivierungsfähiger Boden (Fornsand)
 0,10 m Oberboden

Deponie B:

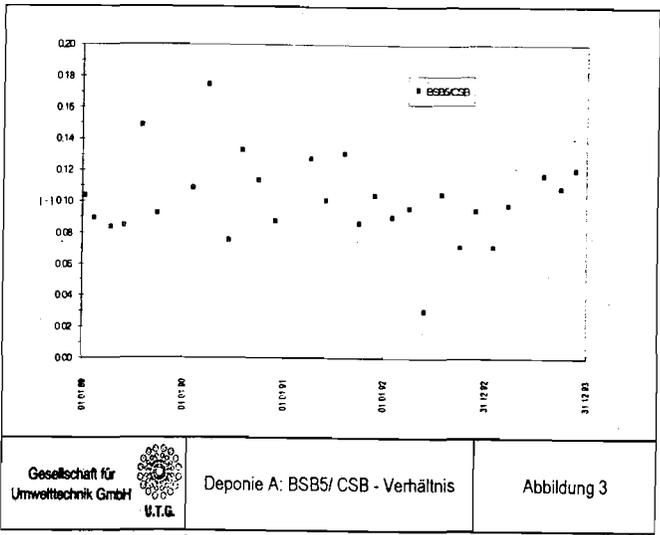
Deponiefläche: ca. 10,8 ha
Zwischenrekultivierung: 1989/1990
Rekultivierungsaufbau: 0,20 m bis mehrere Meter Ausgleichsschicht aus Altsand/Fornsand
 0,30 m Dichtungsschicht aus Fornsand
 $k_f = 5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$
 0,10 - 0,15 m Oberboden als Zwischenabdeckung

Sickerwassermengen

Die Sickerwassermengen der Deponie A liegen im Jahresdurchschnitt zwischen 0,02-0,03 l/(s • ha) und somit oberhalb von Deponien mit qualifizierter Oberflächenabdichtung mit Durchlässigkeitsbeiwerte von $1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$, jedoch deutlich unterhalb der Sickerwasserspenden offener Deponien. Die Sickerwassermengen der Deponie B haben sich nach dem Abbau eines Sickerwassereinstaus auf Werte im Bereich um 0,015 l/(s • ha) eingependelt und liegen somit unterhalb der Sickerwassermengen der Deponie A.

Sickerwasserkonzentrationen

Zur Abschätzung eines möglichen Einflusses der Oberflächenabdichtung auf die Sickerwasserkonzentrationen wurden sowohl für die Leitparameter der Organik im Sickerwasser (CSB, BSB₅), für die Ammoniumkonzentration als auch für die Chlorid-Konzentration als Leitparameter für die chemisch/physikalische Auslaugung der Deponie ein Vergleich mit typischen Sickerwasserkonzentrationen von in Betrieb befindlichen Hausmülldeponien durchgeführt.

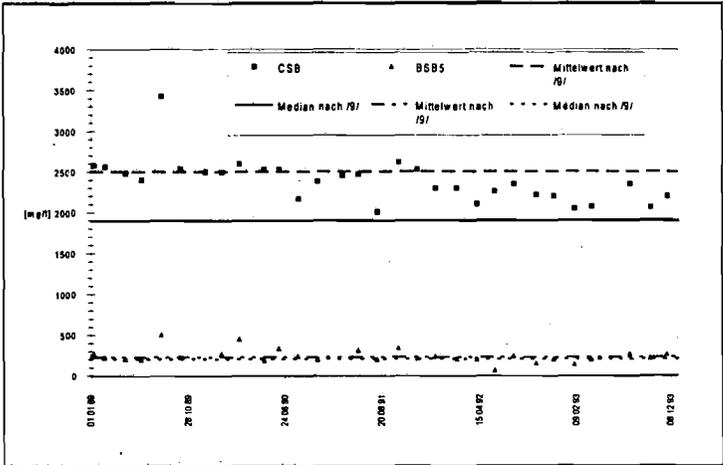


Gesellschaft für Umweltechnik GmbH



Deponie A: BSB5/ CSB - Verhältnis

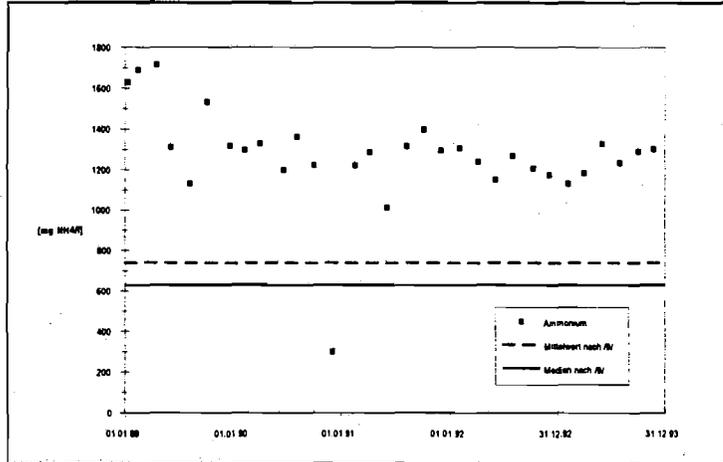
Abbildung 3



Gesellschaft für
Umwelttechnik GmbH
U.T.G.

Deponie A: CSB - und BSB5 -
Konzentration

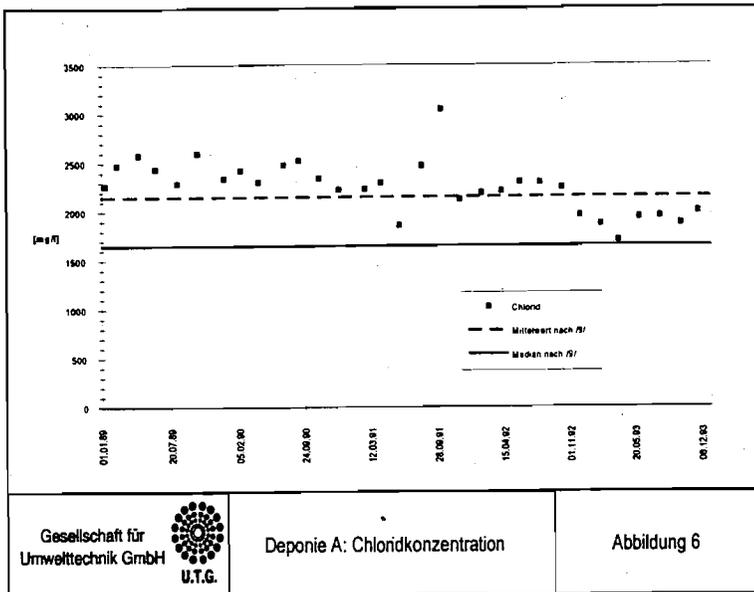
Abbildung 4



Gesellschaft für
Umwelttechnik GmbH
U.T.G.

Deponie A: Ammoniumkonzentration

Abbildung 5



Gesellschaft für
Umwelttechnik GmbH



U.T.G.

Deponie A: Chloridkonzentration

Abbildung 6

Gemäß Klassifizierung von KRUSE/KAYSER /9/ ist bei einem Verhältnis von $BSB_5/CSB = 0,2$ die Deponie der Phase der Methangärung zuzuordnen. Wie Abbildung 3 zeigt, liegt das BSB_5/CSB -Verhältnis dieser Deponie in der typischen Größenordnung eines Sickerwassers aus der stabilen Methanphase. Ein tendenzieller Einfluß durch das Aufbringen der Oberflächenabdichtung wird nicht ersichtlich. Die Summenparameter für die organische Belastung (BSB_5 , CSB) liegen in typischer Größenordnung von konventionellen Hausmülldeponien (s. Abbildung 4). Lediglich die Ammoniumkonzentration der Deponie A liegt deutlich oberhalb des Mittelwertes bzw. des Mediums /9/, jedoch noch innerhalb der genannten Spannweite. Da die Ammoniumkonzentration durch die Umsetzung von organischem Stickstoff im Abfall mit dem Alter der Deponie steigt, ist das Konzentrationsniveau bzgl. Ammonium als durchaus typisch zu bezeichnen.

Um den Einfluß der Oberflächenabdichtung auf den Auslaugprozeß beurteilen zu können, wurde exemplarisch in Abbildung 6 die Chloridkonzentration dargestellt. Wie die Abbildung zeigt, liegt auch dieser Parameter im üblichen Konzentrationsbereich. Es findet hier lediglich ein Rückgang der ausgetragenen Fracht durch Minimierung der Sickerwassermenge, nicht aber eine signifikante Änderung der Konzentrationen statt.

Die Deponie B zeigt ein vergleichbares Konzentrationsspektrum. Auch hier ist kein Einfluß der Oberflächenabdichtung auf die Konzentrationen im Sickerwasser zu verzeichnen. Das BSB_5/CSB -Verhältnis hat sich im Bereich zwischen $0,07-0,12$ eingependelt. Die organische Belastung liegt mit BSB_5 -Werten von ca. $100 \text{ mg O}_2/\text{l}$ und CSB -Konzentrationen im Bereich von $1.000-1.500 \text{ mg O}_2/\text{l}$ an der unteren Grenze der Mittelwerte in Betrieb befindlicher Hausmülldeponien. Die Ammoniumkonzentrationen liegen im Bereich zwischen $1.000-1.400 \text{ mg NH}_4/\text{l}$ und somit aufgrund des Alters der Deponie ebenfalls etwas höher als die mittleren Werte gemäß /9/. auch bei den Chloridkonzentrationen ist mit Werten zwischen $1.400-1.800 \text{ mg/l}$ keine Auffälligkeit zu verzeichnen.

5. Literaturverzeichnis

- /1/ Haller, H.; Petrik, H.; Regner, B.
Demonstration von Untersuchungen des Deponieverhaltens ausgewählter Deponien als Grundlage von Langzeituntersuchungsprogrammen, Ergebnisse des F+E Vorhabens 1430/84, UBA 1986
- /2/ Spillmann P./ Collins H.-J.
Wasser- und Stoffhaushalt von Abfalldeponien und dessen Wirkung auf Gewässer, DFG Forschungsbericht VCH Verlagsgesellschaft, Weinheim 1986
- /3/ Melchior, S.
Wasserhaushalt und Wirksamkeit mehrschichtiger Abdecksysteme für Deponien und Altlasten. Hamburger Bodenkundliche Arbeiten, Band 22. Hrsg. Verein zu Förderung der Bodenkunde in Hamburg, 1993
- /4/ Melchior, S. et. al.
Comparison of the Effectiveness of Different Liner Systems for Top Cover Proceedings Sardinia 93, Fourth International Landfill Symposium, CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Cagliari 1993
- /5/ Markwardt, N.
Der Bodenwasserhaushalt in Deponieabdeckschichten - Dissertation im Fachbereich 14 der TK Berlin, 1990
- /6/ Wohnlich, S.
Auswirkung nachträglicher Grundwasserschutzmaßnahmen auf den Wasserhaushalt von Deponien unter besonderer Berücksichtigung von Oberflächenabdichtungen, Schriftenreihe Angew. Geol. Karlsruhe 1/1-269, Universität Karlsruhe 1987
- /7/ Markwardt, N.; Wohnlich, S.
Verbessertes Simulationsmodell zur Berechnung des Wasserhaushalts von Deponieoberflächenabdichtungen, Entsorgungspraxis 6/92, Seite 420 - 424
- /8/ Ehrig, H.-J.
Inhaltsstoffe von Deponiesickerwässern; in: Behandlung von Sickerwässern aus Abfalldeponien, Veröffentlichung der TU Braunschweig, Heft 3, 1988
- /9/ Kruse, K.; Kasper, R.
Sickerwasserqualität Niedersächsischer Hausmülldeponien, Veröffentlichung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft Technische Universität Braunschweig, 1993
- /10/ N.N.
Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA-Siedlungsabfall), Bundesratsdrucksache 594/92 vom 31.08.92
- /11/ Ehrig, H.-J.
Beitrag zum quantitativen und qualitativen Wasserhaushalt von Mülldeponien, Dissertation TU Braunschweig, 1979
- /12/ Dahm, W.; Kollbach, J. St.; Gebel, J.
Sickerwasserreinigung - Stand der Technik 1993/94 - zukünftige Entwicklung, EF-Verlag für Energie- und Umwelttechnik GmbH, Berlin 1994

Einfluß der Abfallzusammensetzung auf die Beschaffenheit des Sickerwassers

Günther Kabbe, Aachen

1 Einleitung

Trotz aller Anstrengungen zur Vermeidung und Verwertung von Abfällen wird die Ablagerung nicht verwertbarer (Rest-) Abfälle auf Deponien Bestandteil von Abfallwirtschaftskonzepten bleiben. Dabei ist grundsätzlich eine umweltverträgliche Ablagerung, d.h. die Minimierung der Emissionen Sickerwasser und Deponiegas, sicherzustellen. Aus diesem Grund wurden bislang zahlreiche Maßnahmen entwickelt, um das Schadstoffpotential der verbleibenden Restabfälle bereits vor der Ablagerung zu verringern bzw. die resultierenden Emissionen zu reduzieren.

Jede dieser Maßnahmen bedingt eine Veränderung des Emissionsverhaltens; die Auswirkungen lassen sich jedoch nur bedingt abschätzen, da eine Deponierung der einzelnen, vorbehandelten Abfallarten in Ablagerungsbereichen mit getrennter Sickerwasser- und Gasfassung in der Regel nicht erfolgt. Aus diesem Grunde werden von der Trienekens Entsorgung GmbH und der UTG Gesellschaft für Umwelttechnik Simulationsuntersuchungen zum Emissionsverhalten an Abfällen unterschiedlicher Zusammensetzung durchgeführt und vom Institut für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen wissenschaftlich begleitet. Die seit rund drei Jahren betriebenen Untersuchungen werden vom Bundesministerium für Forschung und Technologie finanziell gefördert.

2 Untersuchungen zum Emissionsverhalten von abgelagerten Abfällen mit Hilfe von Lysimetern

2.1 Beschreibung der Versuchsanlage

Die Untersuchungen zum Emissionsverhalten von unterschiedlich vorbehandelten Abfällen werden in Versuchslysimetern unter übereinstimmenden Randbedingungen durchgeführt. Dadurch bietet sich die Möglichkeit, die erhaltenen Versuchsergebnisse direkt miteinander zu vergleichen. Die wärmeisolierten Versuchsbehälter (Abbildung 1) mit einem Untersuchungsvolumen von ca. 1,2 m³ sind in einem beheizbaren Raum aufgestellt. Sie bestehen aus inertem, an der Innenseite glasiertem Steinzeug. Dieses Material wurde gewählt, um Beeinträchtigungen der Untersuchungen, z.B. durch Lösungsvorgänge an den Wandungen oder durch Undichtigkeiten, zu vermeiden. Zur Simulation der anaeroben Verhältnisse im Deponiekörper sind die Lysimeter nach dem Verfüllen und Verdichten der Abfälle gasdicht verschlossen worden.

Die Versuchsbehälter werden mit Regenwasser beaufschlagt, das einer mittleren Jahresniederschlagsmenge von 800 mm bei einer Verdunstungsrate von 50 % entspricht. Dieses Wasser wird nach der Durchsickerung des Müllkörpers an der Unterseite der Lysimeter regelmäßig entnommen, volumetrisch bestimmt und auf zahlrei-

che Surfenparameter und Einzelinhaltsstoffe analysiert (z.B. CSB, BSB₅, TOC, AOX, pH-Wert, Stickstoffparameter, organische Säuren, Schwermetalle, Leuchtbakterientest etc.).

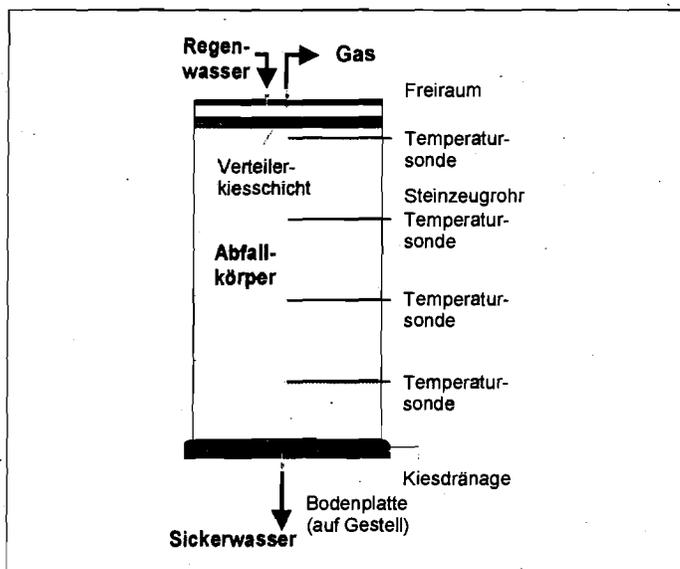


Abb. 1: Schematischer Aufbau der Versuchslysimeter

Bei den Versuchsbehältern handelt es sich um geschlossene Systeme, die eine Bilanzierung von Stoffen bzw. Stoffströmen ermöglichen. Vor Beginn der Untersuchungen wurde zur Bestimmung der Ausgangszustands die Zusammensetzung der Abfälle ermittelt. Gemeinsam mit den regelmäßigen Analysen der Sickerwässer sowie erneuten Feststoffanalysen nach Beendigung der Untersuchungen zur Bestimmung des Endzustands lassen sich ausgewählte Stoffströme bilanzieren.

2.2 Untersuchte Abfallarten

Im Rahmen der Lysimeterversuche wurden u.a. die drei nachfolgend beschriebenen Abfallarten untersucht. Der direkte Vergleich dieser drei Abfallarten ist von besonderer Bedeutung für die kontrovers geführte Diskussion der 1993 in Kraft getretenen Dritten Allgemeinen Verwaltungsvorschrift „Technische Anleitung Siedlungsabfall“, da man sich aufgrund der frühzeitigen Konzipierung der Untersuchungen (1991) auf umfangreiche Erfahrungswerte beziehen kann. Zur Umsetzung der Zielvorstellung einer umweltverträglichen Ablagerung schreibt diese Vorschrift Anforderungen an den Stand der Technik für die Entsorgung von Abfällen fest, welche gegenwärtig nur von Verbrennungsanlagen zu erfüllen sind (z.B. Glühverlust ≤ 5 Massen-%). Die Ablagerung von unbehandelten oder „kalt“ (biologisch) vorbehandelten Abfällen wird bislang nur für einen begrenzten Übergangszeitraum zugelassen.

1. Unbehandelter Hausmüll

Die erste untersuchte Abfallart besteht aus unbehandeltem Hausmüll, wie er auf der Deponie angeliefert wurde. Die Versuchsbehälter werden seit rd. drei Jahren betrieben und dienen dem Vergleich bzw. der Bewertung der Untersuchungsergebnisse mit Emissionswerten von bestehenden Altdeponien.

2. Vorgerotteter Restmüll

Bei dieser Fraktion handelt es sich um künstlich zusammengestellte Restabfälle, die einer biologischen Vorbehandlung (aerobe Intensivrotte mit anschließender, mehrwöchiger Nachrotte) unterzogen wurden. Unter Restabfall ist in diesem Fall ein Gemisch aus Reststoffen der Sortierung von Hausmüll, Abfällen aus einer Gewerbeabfall- und einer Baumischabfallaufbereitungsanlage, Reststoffen aus der Papierherstellung sowie Sperrmüll zu verstehen. Die Untersuchungen in diesen Lysimetern wurden zeitlich verzögert begonnen und dauern daher erst seit ca. 1.000 Tagen an. Detaillierte Informationen über die Rotteversuche können DAMIECKI (1992) entnommen werden.

3. Schlacke aus einer Hausmüllverbrennungsanlage

Als Vergleich zu den unbehandelten bzw. biologisch vorbehandelten Abfällen wurden Rückstände aus einer Hausmüllverbrennungsanlage untersucht. Es handelt sich hierbei um Rostschlacken ohne Zusätze von Filterstäuben oder Flugaschen. Diese Untersuchungen laufen seit rd. 1.200 Tagen.

3 Ergebnisse der experimentellen Untersuchungen

3.1 Feststoffuntersuchungen vor Beginn der Untersuchungen

Parameter	Einheit	Unbehandelter Hausmüll	Vorgerotteter Restmüll	Schlacke (HMVA)
Trockenrückstand	Massen-%	55,6	72,4	88,7
Glühverlust	Massen-%	61,6	45,3	3,4
TOC	mg/g	440	180	28
Gesamtstickstoff	mg/kg	7.480	4.610	461
Gesamtphosphor	mg/kg	3.600	2.490	72

Tab. 1: Feststoffanalysen vor Beginn der Untersuchungen

Bei der Untersuchung und Bewertung des Emissionsverhaltens von Vielstoffgemischen wie Abfällen ist die Kenntnis über die Zusammensetzung der Ausgangs-

stoffe unabdingbar. Dies ist gerade bei einem nicht definierten Begriff wie „Restmüll“ erforderlich. Deshalb wurden die Abfälle vor Beginn der Untersuchungen auf ihre Zusammensetzung hin analysiert. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 dargestellt.

Erwartungsgemäß bewegen sich die Werte für den vorgerotteten Restmüll zwischen denen des unbehandelten Hausmülls und der Schlacke. Der organische Anteil des unbehandelten Hausmülls, bestimmt als Glühverlust, erreicht mit 61,6 Massen-% typische Werte für diese Abfallgruppe. Dagegen nimmt der Glühverlust der Schlacken nur einen Wert von 3,4 Massen-% an und liegt somit unter dem in der TA Siedlungsabfall geforderten Grenzwert. Die Gehalte an organischer Substanz werden durch die Ergebnisse der TOC- bzw. CSB-Feststoffanalysen für die einzelnen Abfälle bestätigt. Erwartungsgemäß weisen der unbehandelte Hausmüll und der vorgerottete Restabfall auch höhere Stickstoff- und Phosphorgehalte als die Schlacke auf.

3.2 Ergebnisse der Sickerwasseruntersuchungen

Wie bei den Feststoffen sind auch bei der Zusammensetzung der untersuchten Sickerwässer große Unterschiede festzustellen, die sich sowohl beim zeitlichen Verlauf der Ganglinien als auch bei absoluten Beträgen der Konzentrationen zeigen.

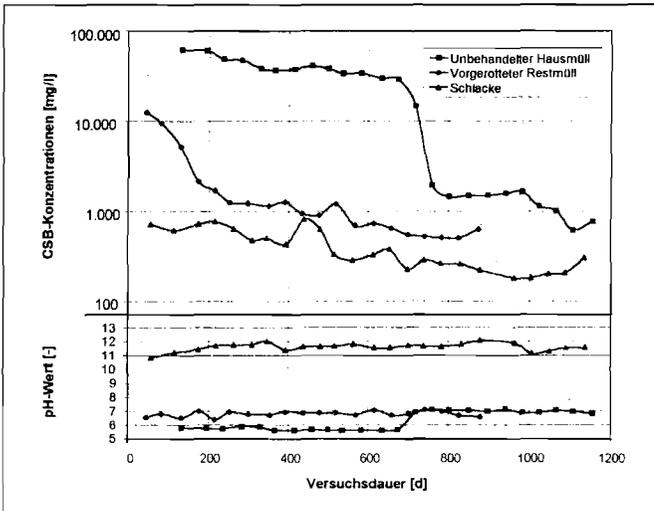


Abb. 2 Verlauf der CSB-Konzentrationen und des pH-Werts im Sickerwasser

3.2.1 Verlauf der organischen Sickerwasserbelastungen am Beispiel des CSB

Die Verläufe der CSB-Konzentrationskurven verdeutlichen beispielhaft die unterschiedliche organische Belastung der einzelnen Sickerwässer (Abbildung 2). Zu beachten ist die in den Abbildungen verwendete logarithmische Skalierung der Ordinate.

Die unbehandelten Siedlungsabfälle verursachen die insgesamt höchsten Sickerwasserbelastungswerte. Am Verlauf der Konzentrationskurve lassen sich hier drei signifikante Abschnitte unterscheiden. Der erste ist von hohen Anfangsbelastungen mit Werten von über 60.000 mg/l geprägt, die nach ca. 670 Tagen auf etwa 30.000 mg/l absinken. Während des zweiten Abschnitts sinken die Konzentrationen in rd. 80 Tagen auf Werte um 2.000 mg/l ab. In der letzten Phase reduzierten sich die Werte bis auf rd. 650 mg/l. Die Abnahme der Konzentrationen während der drei Abschnitte korreliert zeitlich sehr gut mit der Zunahme des pH-Werts von unter 6,0 auf über 7,0.

Die CSB-Konzentrationen der Lysimeter mit den vorgerotteten Restabfällen liegen während der gesamten Untersuchungen deutlich unter denen des unbehandelten Hausmülls. Zu Beginn der Versuche nahmen die Konzentrationen Werte von rd. 12.000 mg/l an, die sich bereits nach 175 Tagen auf ca. 2.100 mg/l verringerten. Im Anschluß daran fielen sie dann gleichmäßig auf Werte von inzwischen 500 mg/l. Damit zeigt sich, daß die biologisch vorbehandelten Restabfälle wesentlich früher Werte erreichen, wie sie für Sickerwässer aus Siedlungsabfalldeponien während der stabilen Methanphase typisch sind.

Aufgrund der vergleichsweise hohen Inertisierungstufe sind bei den CSB-Sickerwasserkonzentrationen der Schlacke die geringsten Werte zu beobachten. Sie bewegen sich zwischen anfangs 900 mg/l und rd. 200 mg/l nach 1.150 Tagen. Im Gegensatz zum zeitlichen Verlauf der Konzentrationskurven der anderen Lysimeter sind hier keine signifikanten Phasen auszumachen. Dies deutet darauf hin, daß die Belastungen des Sickerwassers in erheblich geringeren Maße durch biochemische Umsetzungsprozesse als durch Auslaugungsvorgänge bedingt sind.

Neben den vergleichsweise geringen organischen Sickerwasserbelastungen fällt der gegenüber den anderen Abfallarten hohe pH-Wert auf, der sich im stark alkalischen Bereich zwischen 11 und 12 bewegt und durch die in den Schlacken vorhandenen Alkali- und Erdalkalihydroxide bedingt ist (JOHNSON/LICHTENSTEIGER, 1991).

Die Kurven der drei Abfallarten zeigen für die organischen Summenparameter BSB₅ und TOC entsprechende Verläufe auf einem niedrigeren Konzentrationsniveau. Durch die Bestimmung dieser Parameter ergibt sich mit dem Quotienten aus BSB₅ und CSB des Sickerwassers ein zusätzliches Kriterium zur Beurteilung des biochemischen Zustands einer Deponie. Während der Quotient der mit unbehandeltem Hausmüll befüllten Lysimeter sich von Anfangswerten von 0,8 auf Werte zwischen 0,2 und 0,4 verringerte, erreichten die mit biologisch vorbehandeltem Restabfällen gefüllten Versuchsbehälter schon frühzeitig Werte unter 0,2 (175 Tage) bzw. unter 0,1 (220 Tage). Dagegen deutet das zwischen Werten von 0,3 bis 0,65 stark

wechselnde BSB₅/CSB-Verhältnis der mit Schlacke befüllten Lysimeter zusätzlich auf die vorherrschenden Auslaugungsvorgänge hin.

3.2.2 Zeitlicher Verlauf der Stickstoffbelastungen des Sickerwassers

Neben der organischen Fracht sind die Stickstoffbelastungen des Sickerwassers zu beachten. Von besonderer Bedeutung für die Behandlung vor der Einleitung in ein Gewässer ist dabei der Gehalt an Ammoniumstickstoff. In Abbildung 3 sind die Ammoniumkonzentrationen (NH₄-N) für die untersuchten Abfallarten aufgetragen. Auch hier weist der unbehandelte Hausmüll die höchsten Sickerwasserbelastungen auf. Die Ammoniumstickstoffkonzentrationen erreichen zu Beginn der Untersuchungen Werte von 2.200 mg/l; sie sind inzwischen auf rd. 450 mg/l abgesunken. Für die vorgeröteten Restabfälle liegen die NH₄-N-Konzentrationen dagegen nur zwischen 20 und 200 mg/l; diejenigen der mit Schlacke gefüllten Lysimeter weisen mit Werten zwischen 50 mg/l und 15 mg/l die geringsten Konzentrationen auf.

Die Konzentrationen des (in Abbildung 3 nicht dargestellten) Gesamtstickstoffs liegen für alle Lysimeter nur geringfügig über denen des Ammoniumstickstoffs und sind als Indikator für die reduzierten Verhältnisse in den Lysimetern zu werten. Dementsprechend weisen die Sickerwässer ebenfalls nur geringe Konzentrationswerte der oxidierten Stickstoffformen Nitrat (NO₃⁻) bzw. Nitrit (NO₂⁻) auf.

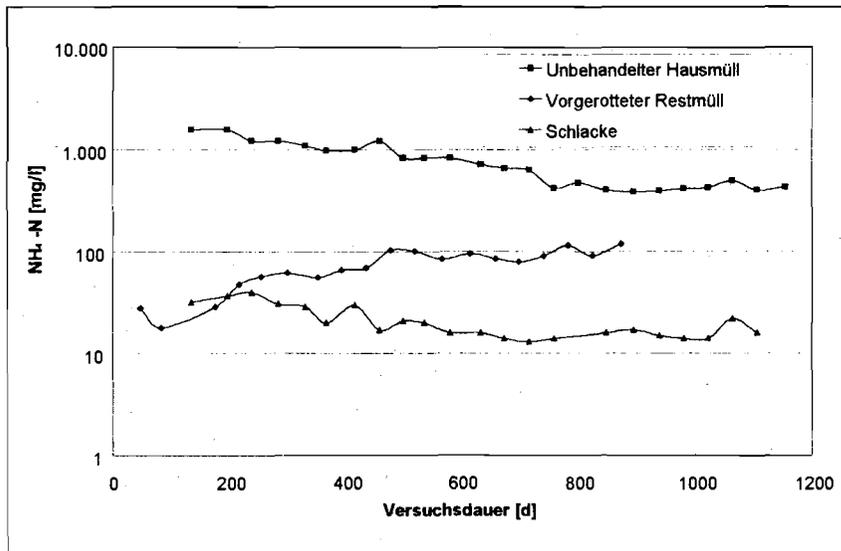


Abb. 3: Konzentrationsverläufe des Ammoniumstickstoffs

3.2.3 AOX-Gehalte im Sickerwasser der untersuchten Abfallarten

Der AOX als Summenparameter für gefährliche Wasserinhaltsstoffe bedingt u.a. die Reinigung von Deponiesickerwasser nach dem Stand der Technik. Als Einleitforderung ist in der Rahmen-AbwasserVwV Anhang 51 der Grenzwert von 0,5 mg/l festgeschrieben. Dieser Wert wird im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen nur vom thermisch vorbehandeltem Hausmüll erfüllt. Demgegenüber liegen die AOX-Belastungen der anderen Sickerwässer gerade in der Anfangsphase der Untersuchungen deutlich darüber. Die Werte des unbehandelten Hausmülls befinden sich zwischen 0,7 und 2,1 mg/l in dem für Sickerwässer aus Siedlungsabfalldeponien typischen Bereich der Methanphase (EHRIG, 1989; KRUSE, 1994). Dies gilt trotz der hohen Anfangsbelastungen, die vermutlich mit den Reststoffen aus der Papierherstellung eingetragen wurden, auch für den vorgerotteten Restmüll.

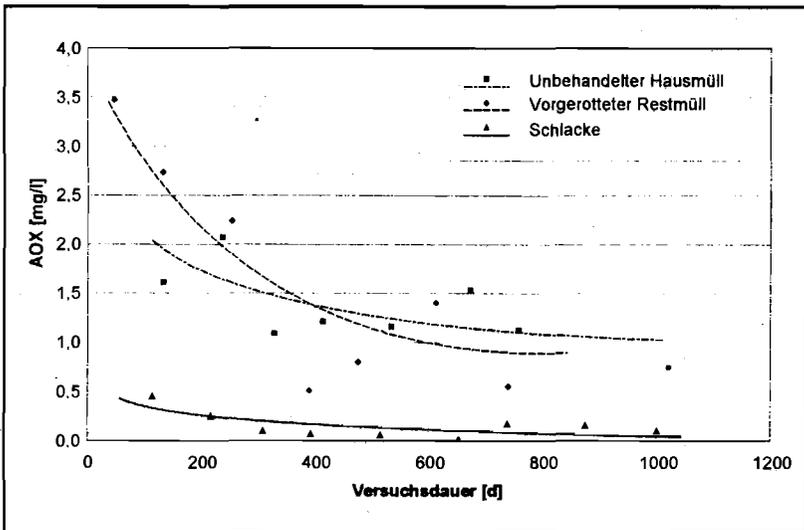


Abb. 4: AOX-Gehalte der untersuchten Sickerwässer

3.2.4 Ergebnisse der Leucht bakterientests

An den Sickerwässern wurden, ergänzend zu den chemisch-physikalischen Analysen, welche Aussagen über die stoffliche Zusammensetzung zulassen, Leucht bakterientest durchgeführt. Mit Hilfe dieses Kurzzeittests wird die Toxizität einer Wasserprobe auf Mikroorganismen (*Photobacterium phosphoreum*) erfaßt. Das Bestimmungsprinzip beruht auf der Messung der bakteriellen Leuchtintensität, die unter Schadstoffeinfluß gehemmt wird. Als Ergebnis wird der G_L -Wert bestimmt, der die

jenige Verdünnungsstufe angibt, bei welcher die Lichtemissionen um weniger als 20 % im Vergleich zur ungehemmten Kontrollprobe reduziert sind.

In Abbildung 5 sind gemessene G_L -Werte der untersuchten Abfallarten dargestellt. Auch bei den Toxizitätsuntersuchungen ist festzustellen, daß die größten Unterschiede zwischen den unbehandelten und den vorbehandelten Abfällen bestehen. Die G_L -Werte der mit unbehandeltem Hausmüll befüllten Lysimeter liegen in einem Wertebereich, der auch an Sickerwässern aus verschiedenen Siedlungsabfalldeponien bestimmt wurde.

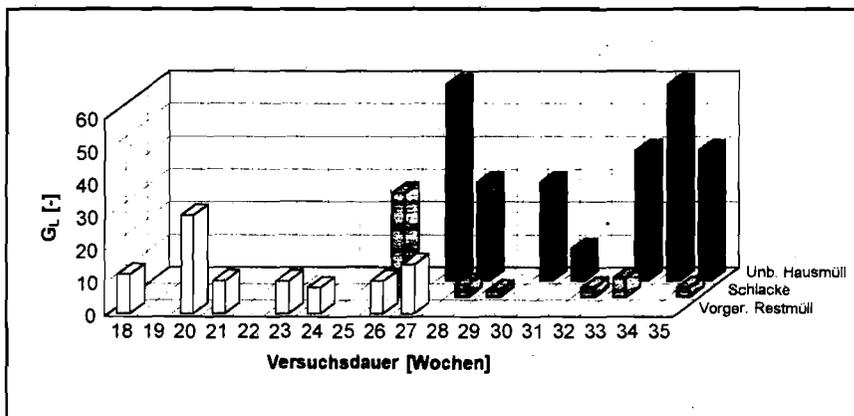


Abb. 5 Ergebnisse der Leuchtbakterienuntersuchungen an den Sickerwässern

4 Zusammenfassung und Ausblick

In Rahmen von Lysimeterversuchen wurde von der Trienekens Entsorgung GmbH und der Gesellschaft für Umwelttechnik UTG unter wissenschaftlicher Begleitung des Instituts für Siedlungswasserwirtschaft der RWTH Aachen (ISA) das Emissionsverhalten von unbehandelten Abfällen im Vergleich mit thermisch sowie mechanisch-biologisch vorbehandelten Restabfällen untersucht. Anhand der Sickerwasserbeschaffenheit der einzelnen Fraktionen wurde dargestellt, daß die Zusammensetzung der Abfälle einen entscheidenden Einfluß auf die Höhe und den Verlauf der Emissionen hat.

Anhand des Verlaufs der organischen Sickerwasserbelastungen (CSB, BSB_5/CSB -Verhältnis) konnte gezeigt werden, daß die mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfälle zu einem sehr viel früheren Zeitpunkt in den Wertebereich der stabilen Methanphase gelangen als der unbehandelte Hausmüll. Die insgesamt geringsten Konzentrationswerte treten bei den Sickerwässern der mit Schlacke befüllten Lysimeter auf. Diese Tendenz wird durch die Untersuchungen an weiteren organischen

Summenparametern (BSB₅, TOC), des Stickstoffs (Gesamt-, Ammoniumstickstoff), des AOX sowie anhand von Leuchtbakterientests bestätigt.

Mit Hilfe der bisherigen Ergebnisse wurde deutlich, daß auch die beiden vorbehandelten Abfallarten weiterhin ein biologisches Reaktionspotential bzw. Auslaugpotential aufweisen, das eine Fassung und Behandlung der Sickerwasseremissionen erforderlich macht.

Die seit rd. drei Jahren andauernden Untersuchungen werden in Kürze mit den abschließenden Feststoffanalysen beendet. Gemeinsam mit den hier vorgestellten Teilergebnissen sowie kontinuierlich betriebenen Gasanalysen lassen sich dann umfassendere Aussagen zum Emissionsverhalten der untersuchten Abfälle in Abhängigkeit von der Zusammensetzung treffen. Derzeit wird eine Weiterführung der Untersuchungen über den ursprünglich vorgesehenen Zeitraum hinaus diskutiert, um die bestehenden Lysimeter sowie die bereits vorhandenen Erfahrungen für entsprechende Langzeituntersuchungen weiter zu nutzen.

5 Literatur

- [1] Damiecki, R. „Mechanisch-biologische Restmüllaufbereitung“, in: Müll und Abfall, H. 11, 1992, S. 769-782
- [2] Ehrig, H.-J. „Sickerwasser aus Hausmülldeponien - Menge und Zusammensetzung“, in: Müllhandbuch, Erich Schmidt Verlag, Berlin, Lfg. 1/89, Kenn-Nr. 4587
- [3] Johnson, A; Lichtensteiger, T. Chemische und petrographische Eigenschaften von Kehrriechtschlacken: Wie stabil sind Kehrriechtschlacken?, in: EAWAG Jahresberichte 1991, S. 27-28, Zürich
- [4] Kruse, K.; Junge, J.; Maak, D. „Sickerwasserqualität von Siedlungsabfalldeponien“, in: Korrespondenz Abwasser 41, H. 5, 1994, S. 780-786
- [5] N.N. „Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz“ (TA Siedlungsabfall) vom 14.05.1993
- [6] N.N. „Bestimmung der Hemmwirkung von Abwasser auf die Lichtemission von Photobacterium phosphorum - Leuchtbakterien-Abwassertest mit konservierten Bakterien, DIN 38412, Teil 34, Testverfahren mit Wasserorganismen (Gruppe L), März 1991

Maßnahmen zur Unterhaltung und Sanierung von Sickerwassersammelsystemen

Michael Turk, Braunschweig

1 Einleitung

Langfristig funktionsfähige Entwässerungssysteme sind für Abfalldeponien aus Gründen des Gewässer- und Grundwasserschutzes sowie unter dem Gesichtspunkt der Standsicherheit der Deponien von gleicher Bedeutung wie eine dichte Deponiebasis, auf der bislang immer noch das Hauptaugenmerk bei einem Deponiebasisabdichtungssystem liegt. Für Abdichtungssysteme werden Konstruktionen diskutiert, ihr Bau verschlingt große Summen Geldes und die Überwachung und Abnahme beim und nach dem Bau der Abdichtung gestaltet sich sehr aufwendig. Den Entwässerungskomponenten innerhalb des Basisabdichtungssystems kam bislang wesentlich weniger Beachtung zu. Doch gerade ein dauerhaft funktionierendes Entwässerungssystem ist von großer Bedeutung für den Deponiekörper selbst und auch für die Betriebstechnik der Deponie.

Ist das Entwässerungssystem defekt, d. h. in seiner Funktion mehr oder weniger stark einträchtigt oder gar völlig unbrauchbar geworden, kann sich als Folge davon das Sickerwasser im Deponiekörper einstauen. Dies kann schwerwiegende Auswirkungen auf die gesamte Deponie nach sich ziehen. Der Einstau von Sickerwasser im Deponiekörper ist vor allem für die Standsicherheit der Deponie von Bedeutung. Das Sickerwasser erzeugt zum einen Auftrieb und verringert so die Wirkung von Reibung erzeugenden Haltekräften aus Auflast und fördert dabei die Ausbildung von Gleitfugen. Zum anderen wird die Konsolidierung des Abfalls durch den Porenwasserdruck behindert und die Reibung des Materials deutlich verringert. Die Folge kann das Abrutschen ganzer Böschungsabschnitte sein. Darüber hinaus tritt oft Sickerwasser in Form von Hangquellen an der Deponieböschung aus, was unkontrollierte Emissionen und Betriebsbeeinflussungen bedeutet.

Ebenfalls in Mitleidenschaft gezogen wird die Gasproduktion im Deponiekörper. In eingestauten Bereichen wird die Gasproduktion stark verringert, da hier der anaerobe biologische Abbau gehemmt wird bzw. sogar stagniert. Somit ist auch die Gasnutzung betroffen, da einerseits weniger Deponiegas anfällt und andererseits das Gas eine hohe Feuchtigkeit aufweist. Dies bedeutet wiederum einen entsprechenden Anfall an stark belastetem Gaskondensat, unabhängig davon, ob das Gas genutzt oder abgefackelt wird. Weiterhin kann Deponiegas, welches in Bereichen mit Sickerwassereinstau entsteht, nicht unbehindert zur Deponieoberfläche aufsteigen, so daß mit der Bildung von Gasblasen gerechnet werden muß, die eine Gefährdung des Betriebspersonals bedeuten und auch die Standsicherheit des Deponiekörpers beeinflussen. Wenn sich das Sickerwasser mehrere Meter auf der Basisabdichtung staut, bedeutet dies auch eine zusätzliche Belastung. Durch den Wasserdruck verstärkt sich der Schadstofftransport durch die Abdichtung, da dieser wasserdruckabhängig ist.

Anhand neuester Untersuchungen ist ein weiteres Problem bekannt, das sich durch Sickerwassereinstauungen ergibt. Im Rahmen der 1992 vom Leichtweiß-Institut betreuten Großbohrungen (Durchmesser des Bohrloches: 1,2 m) auf der Zentraldeponie Hannover konnten, wie schon erwähnt, Temperaturen an der Deponiebasis von bis zu 70°C festgestellt werden. Diese hohen Temperaturen sind nach COLLINS/ MÜNNICH [3] eindeutig auf den im Deponiekörper festgestellten über 20 m hohen Sickerwassereinstau zurückzuführen, der

sehr stark wärmestauend wirkt. Dieses führt dann, wie eingangs ausgeführt, zu den entsprechenden Austrocknungsgefahren der mineralischen Dichtung unter einer Kunststoffdichtungsbahn.

Somit bedeutet der Einstau von Sickerwasser eine Vielzahl von negativen Auswirkungen auf den Deponiekörper und -betrieb. Es ist demnach sinnvoll und nötig, der Planung und Ausführung des Entwässerungssystems einer Deponie die entsprechende Aufmerksamkeit zu widmen.

2 Sickerwassereinstau durch Inkrustationen

2.1 Situation

Mitte der 80er Jahre wurden vermehrt Schadensfälle an Entwässerungssystemen bekannt, die in erster Linie nicht auf konstruktive Unzulänglichkeiten des Entwässerungssystems wie z. B. schadhafte Dränrohre, fehlende oder unzureichende Flächenentwässerung und fehlendes Gefälle zurückzuführen waren. Die wasserstauende Wirkung wurde hier durch feste und schlammige Ablagerungen im Rohr verursacht, die den Querschnitt des Rohres und die Wasserzutrittsöffnungen größtenteils verschlossen. Wie sich anhand von Spülgutproben herausstellte, war die Entstehung dieser Ablagerungen eindeutig biogen, d. h. Mikroorganismen waren für deren Bildung verantwortlich. Diese Erkenntnis überraschte um so mehr, als daß man sich nicht erklären konnte, wieso unter anaeroben Verhältnissen derartige Verkrustungen entstehen konnten.

Nachdem allgemein üblich Dränrohre mittels eines Siphons luftdicht verschlossen wurden, glaubte man mit der Unterbindung der sauerstoffbedingten Verockerung das Problem von Ablagerungsbildung im Rohr ein für allemal gelöst zu haben. Nun aber stellten RAMKE/BRUNE [6] innerhalb eines Forschungsvorhabens, das sich mit Schäden an Entwässerungssystemen von Deponie beschäftigte, fest, daß unter anaeroben Bedingungen ebenfalls Verkrustungen, sogenannte Inkrustationen gebildet werden. Wie sich anhand einer Deponieumfrage herausstellte, verzeichneten rund 60 % der befragten 29 Deponien Sickerwassereinstauungen, die in erster Linie auf "zugewachsene Dränrohre" zurückzuführen waren, was sich durch Kamerabefahrungen sowie Spül- und Fräsarbeiten erkennen ließ. Die chemische Analyse der gefundenen Verkrustungen ergab, daß diese hauptsächlich aus Calcium, Eisen, Magnesium und einem hohen Anteil organischem Kohlenstoff (Biomasse) bestanden. Durch Laborversuche mit Versuchssäulen, die einen Ausschnitt eines Deponieentwässerungssystems darstellten, konnte unter Verwendung von Original-Müllsickerwasser der Entstehungsmechanismus von BRUNE [1] erklärt werden. Danach ist die Entstehung dieser festen biogenen Ablagerungen als Folge der, in der sogenannten "Säuren Phase" eines Deponieabschnittes verursachten, hohen organischen Sickerwasserbelastung zu sehen. Nachfolgend soll der entsprechende Mechanismus für die Genese solcher Inkrustationen kurz erläutert werden.

2.2 Inkrustationen und ihre Auswirkungen

Werden Siedlungsabfälle ohne biologische Behandlung hochverdichtet eingebaut, werden die leicht abbaubaren organischen Bestandteile von acidogenen Bakterien (Säurebildner) zerlegt und zu organischen Säuren wie Buttersäure, Essigsäure etc. verarbeitet (1. Phase des anaeroben Abbaus). Diese säurebildenden Bakterien sind von Anfang an vorhanden und vermehren sich sehr zügig und bilden so in kurzer Zeit große Mengen organischen Materials zu organischen Säuren um. Diese Säuren werden normalerweise von Methanbakterien unter anaeroben Bedingungen sofort in Methan umgewandelt. Da Methanbakterien

aber längere Zeiträume brauchen, um größere Populationen aufzubauen, kann in der Anfangsphase einer Abfallablagerung nur relativ wenig des Dargebots an organischen Säuren zu Methan umgebildet werden. Als Folge des erheblichen Überschusses an organischen Säuren versäuert die Ablagerung, der pH-Wert des Sickerwassers sinkt auf Werte um 5,5 - 6,5. Das saure Sickerwasser löst nun auf seinem Weg durch den Müllkörper zum Entwässerungssystem vor allem Metalle aus dem Abfall.

Besonders Calcium ist im sauren Milieu relativ leicht löslich und steht auch in Siedlungsabfällen reichlich zur Verfügung, besonders, wenn auch mit Kalk konditionierter Klärschlamm eingebaut wurde. Auf diese Weise kommt im Dränsystem ein organisch hochbelastetes Sickerwasser (CSB: 15.000 - 60.000 mg/l, BSB₅: 10.000 - 45.000 mg/l) mit ebenfalls hohen Calcium- und Eisengehalt an (Ca: 1.000 - 4.000 mg/l, Fe: 100 - 500 mg/l). Da die unteren Abfallschichten sich schon in der Methanphase befinden, werden hier fortwährend Methanbakterien weggeschwemmt und in das Dränsystem gespült. Dort siedeln sich die Mikroorganismen wieder an und vermehren sich unter den für sie günstigen Bedingungen (Feuchtigkeit und Nahrung im Überfluß) sehr stark. Das starke Wachstum der Bakterien führt zur Verschleimung der Dränschicht und der Dränrohre. Zum anderen aber entstehen infolge des Stoffwechsels der Bakterien die beobachteten Ablagerungen. Diese entstehen direkt auf der Bakterie. An deren Zellwand herrscht ein alkalisches Milieu, an dem vornehmlich das im sauren Sickerwasser gelöste Calcium und Eisen als unlösliche carbonatische und sulfidische Verbindungen ausfällt (siehe auch Abbildung 1). Dieser Vorgang ist der Bildung von Korallenstöcken im Meer nicht unähnlich.

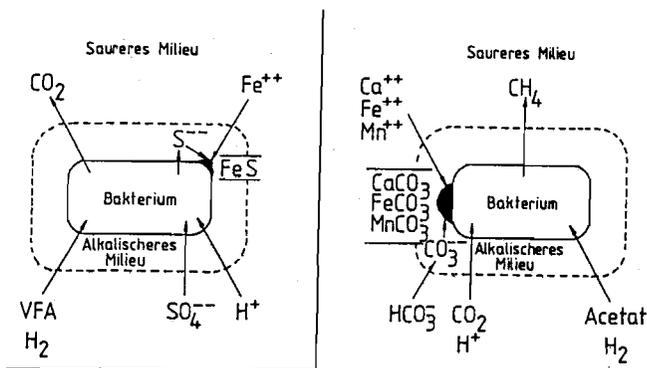


Abb. 1: Schematische Darstellung der Entstehung von Inkrustationen durch anaerobe Mikroorganismen [1]

Auf diese Weise entstehen, teilweise in Zeiträumen unter einem halben Jahr, feste Ablagerungen in Dränrohren, die nicht mehr durch Spülen entfernbar sind, sondern herausgefräst werden müssen. Diese Vorgänge wurden bislang auf sehr vielen Deponien mit hochverdichtendem Abfalleinbau sowohl im In- wie auch im Ausland beobachtet. In der anglo-amerikanischen Fachliteratur sind diese Inkrustationen auch als "bio-rock", also Biofelsen bekannt.

Die besondere Problematik der Inkrustationsbildung liegt jedoch nicht darin, daß die Dränrohre ständig gepflegt werden müssen. Vielmehr ist die Flächenentwässerung in der Gefahr, ihre Durchlässigkeit zu verlieren. Diese kann bislang ohne bauliche Maßnahmen nicht

wieder rehabilitiert werden, sodaß der teilweise oder gar völlige Verlust des Flächenentwässerungssystems langfristig unweigerlich den Einstau von Sickerwasser in der Deponie zur Folge hat, auch wenn die Dränrohre sauber sind. Aus dieser Erkenntnis resultiert die Forderung, bei neu anzulegenden Dränsystemen ein möglichst grobkörniges und calciumfreies Material für die Flächenentwässerung zu verwenden. Am geeignetsten erscheint hier die Körnung 16/32 mm, da sie große Porendurchmesser aufweist, die nicht so schnell verschleißbar sind und somit auch längerfristig die Durchlässigkeit des Dränmaterials gewährleisten. Weitergestuftes Material, etwa 0/32 oder 4/32 mm, muß als völlig ungeeignet bezeichnet werden. Kleinere Korngrößen wie die z. B. in der neugefaßten DIN 19667 angegebenen 2/8 mm sind ebenfalls völlig ungeeignet ([9], [10]).

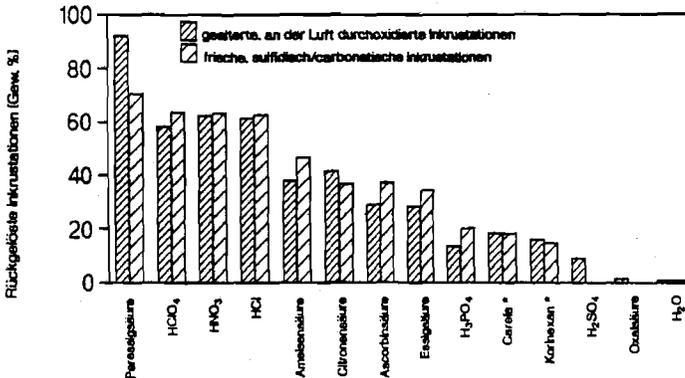
Der Verkrustung der Sickerwassereintrittsöffnungen in den Sammlern kann bei der Verwendung von groben Dränmaterial mit entsprechend großen Lochweiten (20 mm) begegnet werden, d. h. die völlige Verschließung der Öffnungen verzögert und damit die Rohrreineigungsintervalle verlängert werden.

In dem im März 1993 abgeschlossenen, vom BMFT geförderten Forschungsvorhaben "Erhaltung der Funktionsfähigkeit von Entwässerungssystemen" wurden erstmalig Untersuchungen im Labormaßstab an Versuchssäulen durchgeführt, um Inkrustationen im Dränkies wieder rückzulösen.

3 Untersuchungen zur Entwicklung von Pflege- und Sanierungsmaßnahmen für inkrustierte Deponieentwässerungssysteme

3.1 Rücklösen von Inkrustationen

Sollen inkrustierte Flächendrainsysteme ohne bautechnische Maßnahmen gepflegt und gar saniert werden, ist es erforderlich, zu untersuchen, in welchem Maße und mit welchen Mitteln eine Rücklösung von Inkrustationen möglich ist. WITTMAYER [11] konnte bei seinen Laborversuchen nachweisen, daß Inkrustationen unterschiedlicher Herkunft prinzipiell mit verdünnten organischen und anorganischen Säuren auflösbar sind. In Abbildung 2 ist die unterschiedliche Rücklösekapazität verschiedener Säuren dargestellt.

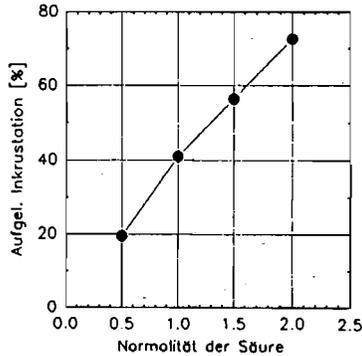


* 50 g/l

3,9 g Trockeneinwaage (TE) ad 100 ml 0,5 M Säure

Abb. 2: Auflösungsvermögen verschiedener organischer und anorganischer Säuren für Inkrustationen verschiedener Herkunft [11]

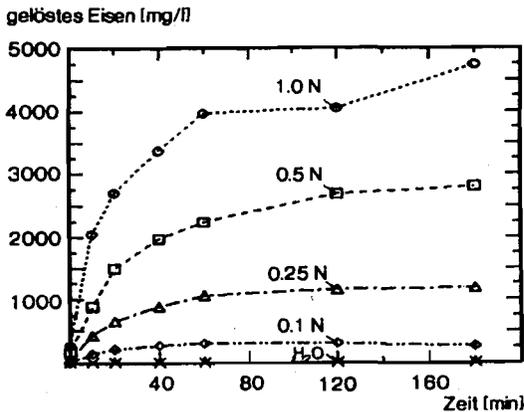
Die Menge der rückgelösten Inkrustationen hängt von der Konzentration der eingesetzten Säure ab. Für konstante Bedingungen (gleiche Inkrustationen, gleiches Oberflächen/Volumen-Verhältnis der Inkrustationen, gleiche Mengenverhältnisse, gleiche Säure) ergibt sich eine annähernd lineare Beziehung zwischen der Konzentration der eingesetzten Säure und der Menge der rückgelösten Inkrustationen (siehe Abbildung 3).



15,6 g TE ad 100 ml Säure

Abb. 3: Rücklösekapazität von HCl in Abhängigkeit von der Normalität der Säure [11]

WITTMAYER [11] fand bei seinen Versuchen heraus, daß der Zeitraum, bis zu dem die Rücklösekapazität einer Säure erschöpft ist, in der Regel nicht von der Säurestärke abhängt, sondern daß unabhängig von der Säurestärke eine Absättigung der getesteten Säuren nach etwa 60 Minuten erfolgte (Abbildung 4).



3,9 g TE ad 100 ml Säure

Abb. 4: Auflösokinetiken von Inkrustationen bei unterschiedlicher Säurestärke (Leitsubstanz Eisen, Säure im Überschuß) [11]

Das bedeutet, daß nach einer heftigen Anfangsphase nur noch verhältnismäßig wenig Inkrustationen gelöst wurden und damit längere Einwirkzeiten (im Versuch: bis 60 Minuten) wenig effektiv sind.

Anders als die Konzentration der eingesetzten Säure hat das Oberflächen/Volumen-Verhältnis der Inkrustationen einen starken Einfluß auf die Auflösungskinetik (pro Zeiteinheit gelöste Menge). Mit steigendem Durchmesser der Inkrustationen (ungünstigeres Oberflächen/Volumen-Verhältnis) nimmt die Geschwindigkeit des Rücklösevorganges ab und die Zeit bis zur Absättigung der eingesetzten Säure nimmt zu. Das bedeutet, daß der Rücklösevorgang zwar länger dauerte, aber auch bei größeren Inkrustationsbrocken erfolgreich war. Dies gilt auch für die Verwendung von schwachen Säuren, von denen aber dann eine ausreichende Menge zugegeben werden muß.

3.2 Verögerung der Inkrustationsbildung durch Desinfektion des Flächen-dräns

Obwohl in den beschriebenen Laborversuchen gezeigt werden konnte, daß sich feste Inkrustationen rüclösen lassen, wäre darüberhinaus wünschenswert, über eine Möglichkeit zu verfügen, die Neubildung von Inkrustationen zu verzögern und damit die Intervalle zwischen den Rücklösemaßnahmen möglichst groß halten zu können. WITTMAIER [11] untersuchte deshalb auch die Desinfektionswirkung verschiedener Desinfektionsmittel auf die für die Inkrustationsbildung verantwortlichen sulfatreduzierenden und methanbildenden Bakterien. Ziel der Versuche war, ein Desinfektionsmittel zu identifizieren, das auch in hochbelastetem Sickerwasser eine vollkommene Abtötung der genannten Bakterienarten ermöglicht. Durch die Rücklösung allein konnte trotz des Einsatzes der verdünnten Säure die Bakterienaktivität nicht unterbunden werden, d. h. ein größerer Teil der Mikroorganismen überlebte den Säure-Einsatz und "produzierte" danach sofort wieder neue Inkrustationen. Der zusätzliche Einsatz eines geeigneten Desinfektionsmittels sollte dies verhindern und möglichst durch Langzeitwirkung die Dränschicht solange wie möglich (Tage, Wochen) von Mikroorganismen freihalten. Unter diesen Gesichtspunkten wurden Desinfektionsversuche mit verschiedenen Desinfektionsmitteln sowohl in gering belastetem (stabile Methanphase) wie auch hochbelastetem Sickerwasser (saure Phase) durchgeführt. In den Abbildungen 5 und 6 ist ersichtlich, daß eine Desinfektion möglich ist, aber nicht jedes Desinfektionsmittel dafür geeignet ist (z. B. KMnO_4).

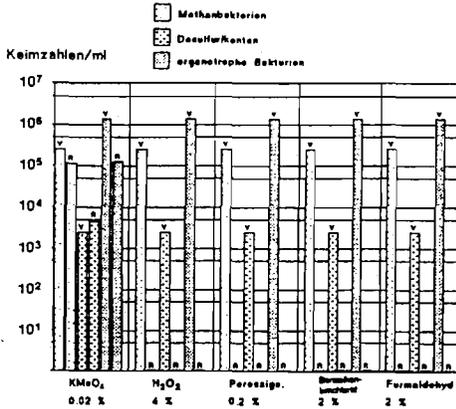


Abb. 5: Keimzahlen in einem schwach belastetem Sickerwasser (stabile Phase, CSB: 3.000 mg/l) vor (v) und nach (n) einer 20 min. Desinfektion [11]

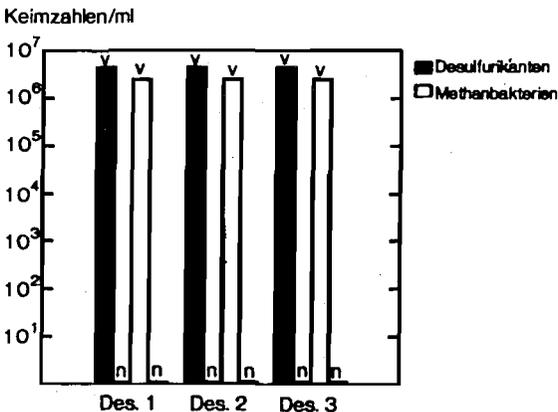


Abb. 6: Keimzahlen in einem hochbelastetem Sickerwasser (Saure Phase, CSB: 40.000 mg/l) vor (v) und nach (n) der 20 min. Desinfektion [11],

Da viele Desinfektionsmittel stark umweltgefährdend sind, mußte bei der Auswahl geeigneter Mittel auch der Umweltschutz und die gefahrlose Handhabung der Desinfektionslösung betrachtet werden. In diesem Zusammenhang ist auch die richtige Dosierung wichtig, da eine erhöhte Konzentration von nicht "verbraucht" Desinfektionsmittel die Toxizität des Sickerwassers stark erhöht.

Als relativ umweltverträglich zeichneten sich die Peroxide (H_2O_2 und Peressigsäure) aus. Neben ihrer guten desinfizierenden Wirkung haben sie den Vorteil, daß sie mit den Sickerwasserinhaltsstoffen schnell reagieren (naßchemische Oxidation). Werden sie in der richtigen Konzentration eingesetzt, so haben sie eine ausreichende desinfizierende Wirkung und zerfallen nach kurzer Zeit in ungiftige Produkte (z. B. H_2O , O_2). Die so behandel-

ten Sickerwässer haben dann eine gleiche oder sogar eine geringere Toxizität als nicht behandelte Sickerwässer. Nach WITTMAYER [11] kann die Neutralisation der Peroxide durch Überdosierung mit Sickerwasser erfolgen und leicht mit Hilfe eines Teststäbchens verfolgt werden.

3.3 Erprobung der Pflege- und Rücklösemaßnahmen in Säulenversuchen

Die Laborexperimente hatten gezeigt, daß Inkrustationen aus Abfalldeponien rückgelöst werden können und die für die Bildung von Inkrustationen verantwortlichen Mikroorganismen unter deponieähnlichen Bedingungen abgetötet werden können. Auf dieser Basis wurden Pflege- und Rücklösemaßnahmen für Deponieentwässerungssysteme konzipiert und in Säulenversuchen erprobt. Der hierfür verwendete Versuchsaufbau ist in Abbildung 7 dargestellt.

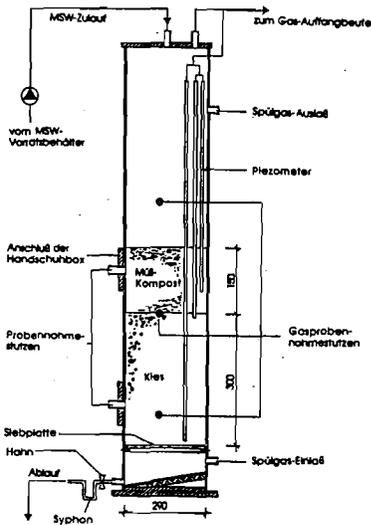
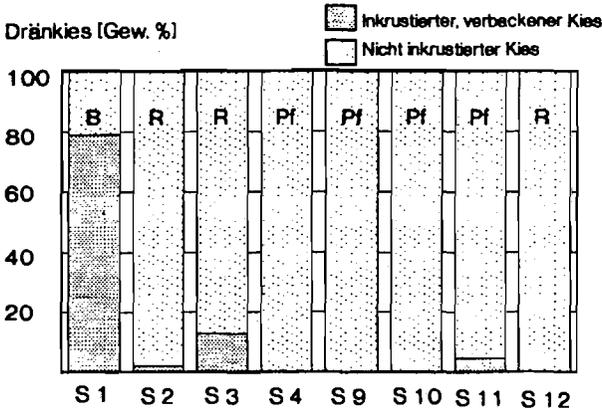


Abb. 7: Schematischer Aufbau der Versuchssäule

Die Dränschicht bestand aus 30 cm Kies der Körnung 8/16 mm, darüber wurde zur besseren Sickerwasserverteilung durch 20 cm Kompost eine Feinmüllschicht simuliert. In die völlig luftdicht abgeschlossene Säule (Gewährleistung eines strikt anaeroben Milieus) wurden täglich etwa 7 l hochbelastetes Sickerwasser tropfenweise eingeleitet. Dies entsprach einer Flächenbelastung von etwa 200 l/m² und sollte die Belastung eines Sickerwasser-sammlers simulieren (Ansatz nach RAMKE [5]: 1 - 10 l Sickerwasser pro m² im Feld, Dränrohrabstand 50 m, Einzugsbereich pro lfdm Drän: 2 * 50/2 m = 50 m²/lfdm, Sickerwassermengen pro lfdm Dränrohr: 50 - 500 l). Die hohe organische (CSB: 20.000 - 60.000 mg/l, BSB₅: 15.000 - 45.000 mg/l) und anorganische (Ca: 3.000 - 4.000 mg/l, Eisen: 100 - 400 mg/l) Belastung des verwendeten Sickerwassers sorgte für ein entsprechend hohes Inkrustationspotential.

Die Laufzeit der Versuche betrug ein Jahr und innerhalb dieses Zeitraumes wurden sieben von acht Versuchssäulen in verschiedenen Zeitabständen bis zu viermal rückgelöst und z. T. auch desinfiziert. Lediglich die Säule 1 blieb unbehandelt und diente so als "Nullversuch". Nach Ende der Versuchslaufzeit wurden die Säulen ausgebaut und der Zustand des Dränkieses bewertet. Das Ergebnis ist in Abbildung 8 qualitativ wiedergegeben.



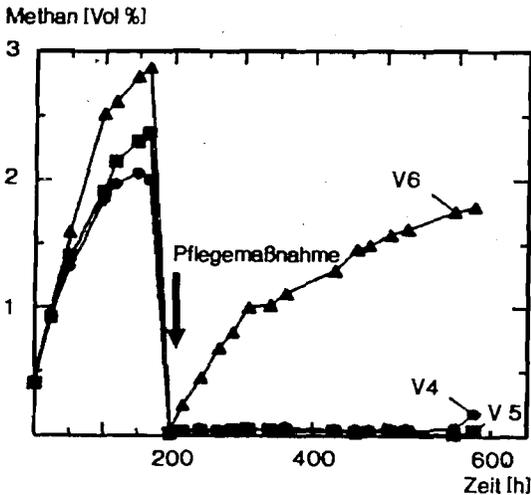
Pf: Säulen mit Pflegeprogramm (Rücklösung + Desinfektion)

R: Rücklösung nur vor Ausbau der Säule; B: Blindsäule = Nullversuch

Abb. 8: Ausmaß der Inkrustationen im Dränkies der Säulen nach Versuchsende [11]

Die zentrale Aussage von Abbildung 8 ist, daß nur in der nicht gepflegten Säule ein hoher Anteil an inkrustiertem Dränkies zu finden war. In den Säulen S 2, S 3 und S 11 waren lediglich kleine zusammenhängende Kiesbrocken nach der Behandlung verblieben, die übrigen Säulen wiesen einen Kies wie im Einbauzustand auf. Das Ergebnis wurde eindrucksvoll durch die Ausbaurbeiten unterstrichen, da der Dränkies der Säulen 2 bis 12 nach Öffnung der Säulen einfach herausrieselte, das Material aus Säule 1 dagegen nur mit grober Gewalt und dann fast in einem Stück heraus gebrochen werden konnte.

Den Einfluß der Pflegemaßnahmen auf die Inkrustationsbildung untersuchte WITTMAYER [11] auch anhand der Aktivität der Methanbakterien nach einer Pflegemaßnahme. Abbildung 9 zeigt, daß in den Versuchsansätzen V 4 und V 5 nach dem Pflegeeingriff keine Bakterienaktivität mehr zu verzeichnen war, während die nicht desinfizierte Säule sogleich wieder Aktivität zeigt. Hier zeigt sich deutlich die Langzeitwirkung einer an die Rücklösung angeschlossenen Desinfektionsmaßnahme.



Rücklösung: 1 N Säure, 30 min Einwirkung

Desinfektion: V4: 0,8 % Peroxid, V5: 2,5 % Peroxid, Einwirkzeit je 30 min, V6: Nullprobe

Abb. 9: Aktivität von Methanbakterien in einer Dranschicht vor und nach der Pflegemaßnahme in Versuchssäulen (gemessen als Methanproduktion) [11]

3.4 Übertragung der Versuchsergebnisse in die Praxis

Aus den zuvor vorgestellten Untersuchungen lassen sich folgende Vorgaben formulieren:

- wenn ein Deponieentwässerungssystem ein hohes Inkrustationspotential aufweist, ist eine regelmäßige Pflege (2 - 3 mal per anno) erforderlich, um die Inkrustationen nicht zu groß werden zu lassen, da sonst, bedingt durch ein kleines Oberflächen/Volumen-Verhältnis, die Rücklösung sehr zeitintensiv und u.U. auch nicht vollständig wirksam ist;
- eine an die Rücklösung sich anschließende Desinfektion des Flächendröns ist zur Verzögerung der Inkrustationsneubildung zu empfehlen;
- um Nebenwirkungen (z. B. Beeinträchtigung der Kläranlage durch erhöhte Toxizität des Sickerwassers) so gering wie möglich zu halten, dürfen Säure und Desinfektionsmittel nicht überdosiert ("viel hilft viel") werden und es muß eine komplette Neutralisation der eingesetzten Mittel gewährleistet werden. Da bei der Rücklösung nennenswerte Schwefelwasserstoffmengen entstehen und bei der Maßnahme mit größeren Mengen Säure und Desinfektionsmittel hantiert wird, ist dem Arbeitsschutz besondere Aufmerksamkeit zu widmen;
- die Pflegemaßnahmen sollten immer nur abschnittsweise (z.B. 5 - max. 10 m lfdm Dränrohr) durchgeführt werden, um nicht u. U. unkontrollierbare Effekte zu erzeugen, wenn z.B. ein 200 m Sammler mit umliegender Kiesschicht in einem Stück mit etlichen Hektolitern Säure bzw. Desinfektionsmittel eingestaut würde.

- es erscheint nicht sinnvoll und vor allem auch nicht möglich, den gesamten Flächendrän rückzulösen, da dies strömungstechnisch und mengenmäßig große Probleme bedeutet. Vielmehr ist die Sanierung eines "Nahbereiches" um den Dränsammler (beidseitig 1 - 2 m) anzustreben, um eine weitgehend einwandfreie Deponieentwässerung zu gewährleisten;
- um eine effektive Anwendung der beschriebenen Pflegemaßnahmen in der Praxis zu ermöglichen, sind zuvor Versuche im technischen Maßstab erforderlich, um einen Einblick in die Strömungsverhältnisse im Flächendrän und die Wirkbreite der Rücklösung unter Deponiebedingungen zu bekommen;
- bei der Rücklösung von Inkrustationen handelt es sich um einen Eingriff, der viel technischen und finanziellen Aufwand bedeutet und auch Nebenwirkungen (z. B. intensive Gasentwicklung) erzeugt. Aus diesem Grund sollte eine derartige Maßnahme, die die Folgen einer unzureichenden Deponietechnik "ausbügeln" soll, möglichst selten zum Einsatz kommen. Es ist vielmehr anzustreben, die Bildung von Inkrustationen von vorne herein zu unterbinden. Inkrustationen die nicht da sind, verursachen auch keine Störungen und müssen dann nicht aufwendig beseitigt werden. Welches Potential der Inkrustationsvermeidung allein in der Betriebstechnik der Deponie liegt, soll nachfolgend erläutert werden.

4 Betriebstechnische Maßnahmen zur Vermeidung und Verminderung von Inkrustationen

Wichtig, um Inkrustationen weitestgehend zu vermeiden oder den bereits entstandenen Schaden möglichst begrenzt zu halten, ist vor allem die Betriebstechnik der Deponie. Untersuchungen, z. B. die von RAMKE/BRUNE [6] haben gezeigt, daß bei einer Deponie mit biologischer Vorbehandlung des Frischmülls (Rottedeponien Schwäbisch-Hall und Wilhelmshaven) keine Inkrustationen festgestellt werden konnten. Durch die aerobe Behandlung des Abfalls vor der Deponierung wird auf beiden Rottedeponien die Sickerwasserbelastung auf der Deponie sehr deutlich gesenkt (CSB: 500 - 2.000 mg/l; BSB₅: 20 - 400 mg/l; pH-Wert: 6,7 - 8,3; Calcium: < 100 mg/l; Eisen < 10 mg/l).

Diese Beobachtungen wurden in Laborversuchen in jüngster Zeit am Leichtweiß-Institut nachvollzogen [10]. Anhand von Calcium, dem "Hauptbaustein" von Inkrustationen, soll die Bedeutung der biologischen Abfallvorbehandlung nachfolgend gezeigt werden:

Der Versuchsaufbau bestand aus 12 der schon in Abbildung 7 beschriebenen Säulen. Ein Teil dieser Säulen wurde mit hochbelastetem Sickerwasser (CSB: 20.000 - 60.000 mg/l, BSB₅: 15.000 - 45.000 mg/l, Ca: 3.000 - 4.000 mg/l, Fe: 100 - 400mg/l) beaufschlagt, die übrigen Säulen mit mittel bis schwach belastetem Sickerwasser (CSB: 3.000 - 4.000 mg/l, BSB₅: 200- 500 mg/l, Ca: 100 - 500 mg/l, Fe: 10 - 20 mg/l) über den Zeitraum von einem Jahr betrieben. Die tägliche Zulaufmenge betrug etwa 7 l Sickerwasser auf eine Fläche von 0,03 m², was einer Flächenbelastung von etwa 200 mm/m²·d und damit etwa der hydraulischen Belastung eines Dränsammlers entspricht (Einzugsbreite ca. 40 m [5]).

Calcium liegt in der Regel in deutlich höheren Konzentrationen im Sickerwasser vor als andere anorganische "Inkrustationsbaumaterialien" wie Eisen oder Magnesium. Die deutliche Reduzierung des Ca-Anteils im Sickerwasser ist darum entscheidend für die Inkrustationsbildung, da es, bezogen auf eine Durchflußmenge von 7 l/d, einen wesentlichen Unterschied bedeutet, ob durch eine bestimmte Dränfläche pro Jahr etwa 250 g (Versuchssäulen betrieben mit schwach belastetem Sickerwasser) gelöstes Calcium fließen oder 6,1 kg

(Versuchssäulen betrieben mit hochbelastetem Sickerwasser). Die Frachtberechnung macht hier die Wichtigkeit einer biologischen Abfallbehandlung sehr deutlich.

Es ist wichtig zu erkennen, daß sich sowohl die positiven als auch die negativen Faktoren multiplizieren. So bedeutet eine geringe Sickerwasserbelastung sowohl eine geringe Bakterienaktivität als auch eine geringe Fracht an Inkrustationsbaumaterial, hochbelastetes Sickerwasser bewirkt dagegen hohe Bakterienaktivität und hohe Stofffrachten. Stellt man die für hochbelastetes Sickerwasser ermittelten Werte denen von gering belastetem gegenüber, zeigt sich am Beispiel von Calcium folgendes Ergebnis:

Parameter	Säule 1, hochbelastet	Säule 5, gering belastet
mittlere Ca-Konz. Zulauf [mg/l]	2.500	100
Durchfluß Säule über 350 Tage [l]	2.450	2.450
Ca-Jahresfracht Zulauf [kg]	6,1	0,25
Ausfällungsrate Säule [%]	80	5
ausgefallenes Calcium [kg]	4,9	0,013
Reduzierungsfaktor [-]	--	375 !!

Tab. 1: Gegenüberstellung der in den Säulen ausgefallenen Calciummengen in Abhängigkeit von der Sickerwasserbelastung

Der hier theoretisch ermittelte Verminderungsfaktor von 375 zeigt beeindruckend, wie positiv sich organisch gering belastetes Hausmüllsickerwasser auf die Verringerung von Inkrustationen auswirkt. Die in den Säulen gefundenen Inkrustationen enthielten einen Calcium-Anteil von etwa 35 Gew.-%, der als Calciumcarbonat (CaCO_3) insgesamt etwa 85 % der Inkrustationsmasse ergibt. Es läßt sich damit in etwa angeben, daß beispielsweise die Ausfällung von 1 kg Ca auf eine Inkrustationsmasse von rd. 3 kg schließen läßt.

Die Ergebnisse der beschriebenen Säulenversuche werden durch die Auswertung der Sickerwasseranalysen von mehr als 30 Deponien in Niedersachsen gestützt.

In der nachfolgenden Abbildung ist der direkte Zusammenhang zwischen der Belastung des Sickerwassers mit leicht abbaubarer Organik (hier über den Gehalt an organ. Fettsäuren ausgedrückt) und dem im Sickerwasser gelösten Calciumanteil erkennbar. Da Calcium in Form von Calciumcarbonat, wie schon beschrieben, durch seinen hohen Anteil in Inkrustationen (etwa 80 - 90 Gew.-%) eine Schlüsselrolle beim Aufbau dieser Verkrustungen spielt, wird hier deutlich, in welche Richtung gezielt werden muß, um Inkrustationsbildung vorzubeugen.

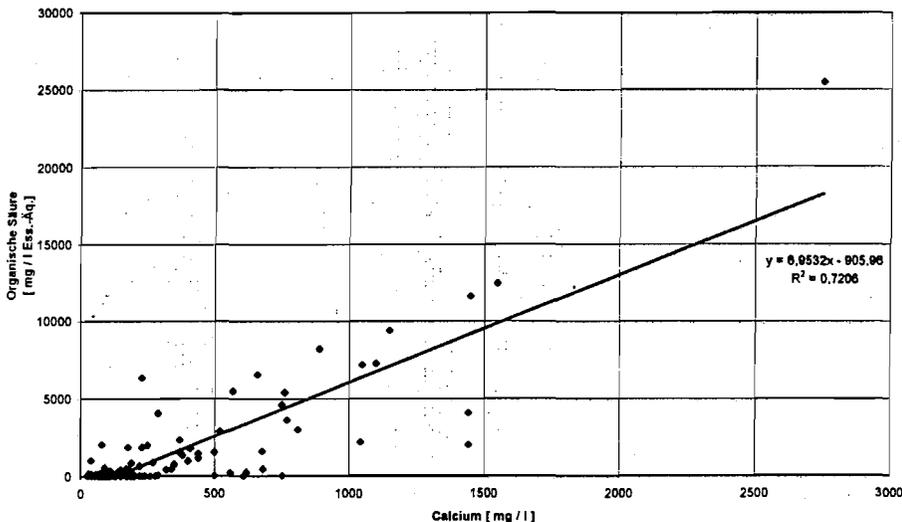


Abb. 10: Abhängigkeit der Calciumkonzentration vom Gehalt organischer Fettsäuren im Sickerwasser von Hausmülldeponien

Wie zu sehen ist, besteht ein nahezu linearer Zusammenhang. Die angegebene Korrelation von 0,72 ist angesichts der Vielzahl der untersuchten Deponien und den unterschiedlichen, deponiespezifischen Beeinflussungen des Sickerwassers als sehr gut zu bezeichnen.

Es ist somit wichtig, den biologisch abbaubaren Organikanteil des Abfalls soweit wie möglich zu reduzieren, um Inkrustationsbildung zu verhindern oder zumindest deutlich zu verringern. Dies kann durch eine einfache mechanisch-biologische Vorbehandlung der Abfälle vor der Deponierung, z. B. mit dem KAMINZUG-VERFAHREN nach SPILLMANN/COLLINS [7] mit betriebstechnisch vertretbaren Mitteln nachhaltig (deutliche Verringerung der Konzentration der Sickerwasserinhaltsstoffe) und dauerhaft (keine nennenswerte Neubildung von Inkrustationen) geschehen.

Angesichts dieser Ergebnisse lassen sich folgende Empfehlungen für die Praxis ableiten:

Der einfachste Weg, die Funktion des Deponieentwässerungssystems aufrecht zu erhalten, ist die konsequente biologische Vorbehandlung des Abfalls. Auf diese Weise wird der Organikanteil erheblich gesenkt und damit die saure Deponiephase verhindert. Dieses hat wiederum zur Folge, daß kein saures Sickerwasser entsteht und damit auch nur geringe Mengen an Calcium und Eisen in Lösung gehen.

Für die auf den Körnern des Dränmaterials sitzenden Bakterien wird damit die Möglichkeit zur Inkrustationsbildung auf zweierlei Weise drastisch verringert, da zum einen mangels organischer Säuren im Sickerwasser den Mikroorganismen die Nahrung erheblich gekürzt wird und als Folge davon deren Vermehrung und Stoffwechselaktivität nur noch gering ist. Zum anderen sind, ebenfalls mangels organischer Säuren, weniger Minerale im Sickerwasser gelöst, die von den Bakterien zum Aufbau der Verkrustungen verwendet werden können. Außerdem sind die meisten Metalle bei neutralen bis leicht alkalischen pH-Werten deutlich weniger mobil, d. h. ihre Löslichkeit in leicht alkalischem Sickerwasser ist verhältnismäßig gering.

Um sich von vorneherein Ärger (Sickerwassereinstau, Sanierungsmaßnahmen, Pflegearbeiten am Dränsystem etc.) und Kosten zu sparen bzw. gering zu halten, sollte eine konsequente biologische Abfallbehandlung vor der Deponierung durchgeführt werden (siehe auch Empfehlung von BRUNE/RAMKE [2]). Damit ist auch die Möglichkeit in Sicht, beim Neubau von Deponieschüttfeldern geringere Korngrößen für die Entwässerungsschicht zuzulassen, d. h. auch kleinere Porendurchmesser als die eines Kies 16/32 mm könnten die langfristige Entwässerung der Deponie gewährleisten. Das erscheint angesichts des immer schwerer und teurer zu beschaffenden Grobkieses 16/32 mm als eine interessante Alternative. Voraussetzung für eine Korngrößenreduzierung kann aber nur eine dauerhaft gut durchgeführte biologische Behandlung sein.

5 Untersuchungen an Entwässerungssystemen von Monodeponien

5.1 Veranlassung

Nach der Betrachtung der Entwässerungssysteme von Hausmülldeponien sollten auch die Dränsysteme von Monodeponien untersucht werden, in diesem Fall Klärschlammdeponien und MVA-Schlacke/Aschedeponien. Da der größte Teil des in der Bundesrepublik anfallenden Klärschlammes angesichts der schlechten Abgabemöglichkeiten in die Landwirtschaft und der Umstrittenheit von thermischen Verfahren auch innerhalb der nächsten 1 - 2 Jahrzehnte deponiert werden wird, ist das Verhalten von Klärschlammdeponien von entsprechendem Interesse.

Müllverbrennungsschlackedeponien sind in ihrem Entwässerungsverhalten bisher kaum betrachtet worden. Im Zuge der Umsetzung der TA Siedlungsabfall (TASI) kommt ihnen aber nun ein besonderes Interesse zu.

Offt bestehen beide Deponietypen aus mehreren Altkörpern, die unterschiedlich gut bzw. auch gar nicht gedichtet und entwässert werden. Zudem setzen sich die Ablagerungen auf den einzelnen Deponien oft sehr unterschiedlich zusammen, so daß ein Untersuchungsergebnis, viel mehr als bei Hausmülldeponien, im Zusammenhang mit der Art und den Umständen der Ablagerung gesehen werden muß.

5.2 Ergebnisse der Untersuchung von MVA-Schlacke u. Aschedeponien

Es konnte bei diesem Deponietyp keine Inkrustationsbildung, die durch mikrobiologische Aktivität verursacht wird, entdeckt werden. Dieses beruht ganz offensichtlich auf dem Umstand, daß die in den Verbrennungsrückständen noch vorhandenen Organika (Glühverluste bis 10 Gew.-%) nur schwer löslich und schlecht abbaubar sind und die Mikroorganismen dementsprechend ungünstige Lebensbedingungen vorfinden, da das Sickerwasser nur eine geringe organische Belastung aufweist und somit kaum Nahrung für Mikroorganismen enthält.

Bei einer 20 Jahre alten MVA-Schlackedeponie (bislang wurden ca. 1 Mio. t Schlacke abgelagert) konnten allerdings physikalisch/chemisch bedingte Verkrustungen der Dränrohre anhand eines Videofilmes aus der Kamerabefahrung nach der Spülung der Sammler beobachtet werden. Bei den Verkrustungen handelt es sich um Salz-auskristallisierungen in erheblichem Ausmaß aus dem Deponiesickerwasser. Aufgrund der im Deponiekörper herrschenden Temperaturen über 90°C (eine Folge von Oxidationsprozessen und Wärmestau, Deponiehöhe über 20 m) erfolgt die Verdampfung des Sickerwassers und Auskristallisierung der im Sickerwasser gelösten Salze sowie eine teilweise deutliche Deformierung der Dränsammler (siehe Fotos 1 und 2).

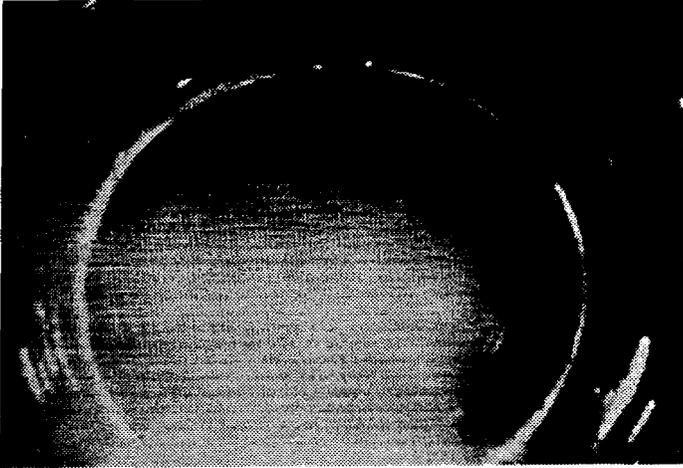


Foto 1: Dampfschwaden im Sickerwassersammler

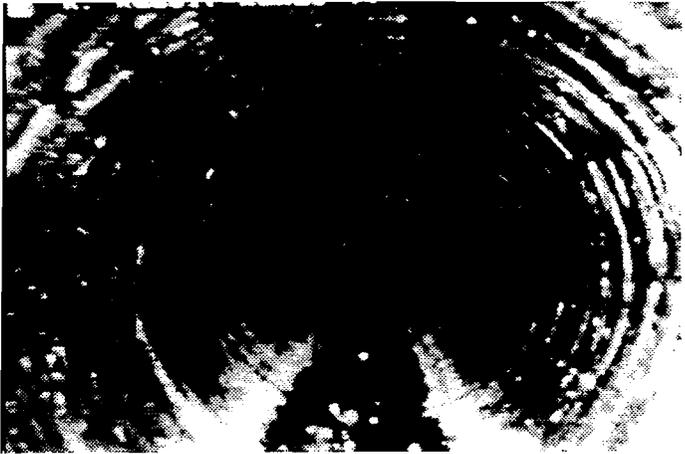


Foto 2: Reste von Salzverkrustungen nach der Rohrspülung

Die Salzbelastung des Sickerwassers resultiert hauptsächlich aus Chloriden (3.000 mg/l) und Sulfaten (2.000 mg/l), die elektr. Leitfähigkeit liegt bei 7.000 - 8.000 mS/cm. Während das Eluat der Schlacke vor dem Einbau in die Deponie nur Cl-Konzentrationen von max 70

mg/l und eine elektr. Leitfähigkeit von gut 1.000 uS/cm aufweist, erhöht sich die Salzkonzentration des Sickerwassers bei Temperaturen um 90°C im Deponiekörper doch sehr deutlich. Bislang ist es im Rahmen der in Halbjahresintervallen durchgeführten Spülaktionen möglich, die Rohre weitgehend von den Salzverkrustungen zu befreien, der Zustand der Flächendränage ist aber unbekannt. Die im Deponiekörper installierten Gaspegel zumindest weisen ein zu 100 % wassergesättigtes Gas auf, was zumindest lokale Sickerwasserereinstauungen nicht unwahrscheinlich erscheinen läßt. Die Hangquellen im Bereich der Haldenböschungen stützen diese Vermutung.

Weitergehende Untersuchungen konnten bislang nicht realisiert werden, wären aber angesichts der aktuellen Diskussion um die Müllverbrennung zu empfehlen. Nach den bisherigen Erkenntnissen kann der zu deponierende Rest aus Walzenrostfeuerungsanlagen aufgrund der nicht verhinderbaren Metalloxidation und einem nennenswertem Gehalt an nicht verbrannter Organik nicht im Sinne der TA Siedlungsabfall als reaktionsarmes oder gar reaktionsfreies Material gelten [4].

5.3 Klärschlammdeponien

Im Rahmen ihrer Untersuchungen von Entwässerungssystemen von Hausmülldeponien betrachteten RAMKE/BRUNE [6] ein Klärschlammzwischenlager auf dem Gelände der Zentraldeponie Hannover-Altwarmbüchen. Im Zuge der Arbeiten zur Wiederaufnahme der Zwischenlagerniete konnten sie das Entwässerungssystem untersuchen und stießen auf große inkrustierte Flächen in der Entwässerungsschicht. Diese Inkrustationen waren im Gegensatz zu den braungefärbten (Eisen) Inkrustationen von Hausmülldeponien weißlich, offensichtlich eine Folge des hohen Kalkanteils im abgelagerten Klärschlamm. Da fast alle Klärschlämme aus einbautechnischen Gründen vor der Deponierung mit großen Mengen Kalk oder kalkhaltigen Mitteln konditioniert werden, mußten ähnliche Verkrustungsprozesse im Entwässerungssystem anderer Klärschlammdeponien erwartet werden. Die vier untersuchten Schlammdeponien teilen sich in zwei reine Haldendeponien und zwei Beckendeponien auf. Diese Deponien verfügen alle, zumindest in Teilbereichen, über ein Entwässerungssystem, bestehend aus einer Flächenentwässerung und Sammelrohren.

Die Konstruktion dieser Systeme ist sehr unterschiedlich, sowohl hinsichtlich der Bauform und der Abmessungen als auch hinsichtlich der verwendeten Materialien. So wies die bei weitem größte Deponie mit einer Schlammächtigkeit von bis zu 30 m nur in Teilbereichen ein Entwässerungssystem auf. Hier wurde bis vor kurzem mit erheblichem Bau- und Kostenaufwand versucht, das Versäumte nachzuholen.

Die Flächenentwässerung der Schlammdeponien weist nahezu alle möglichen Korngrößen und -abstufungen auf; die Sammelrohre sind in den verschiedensten Anordnungen und aus Materialien wie PVC, PE-HD, Steinzeug oder Beton hergestellt. Auch die Rohrdurchmesser differieren zwischen 100 und 200 mm. Als Gemeinsamkeit weisen alle Deponien ein Trennvlies über der Flächenentwässerung auf, welches das Eindringen von Schlammteilchen in die Entwässerungsschicht verhindern soll. Solch ein Trennvlies über der Dränschicht erwies sich bei der Überprüfung der Entwässerungssysteme von Hausmülldeponien immer wieder als Schwachpunkt des Systems, da hier, bedingt durch die sehr geringe Porengröße eines solchen Vlieses, relativ schnell eine völlige Inkrustierung und damit die Undurchlässigkeit des Vlieses einherging [6].

Anhand der Analyse der Sickerwasser- und Gasproben sowie der Keimzahlbestimmung für die Sickerwässer konnte festgestellt werden, daß bei allen hier untersuchten Schlammdeponien gute Milieubedingungen für Mikroorganismen vorhanden waren (CSB: 2.000 -

28.000 mg/l, pH 7,5 - 7,8, BSB₅: 300 - 21.000 mg/l, Ca: 100 - 500 mg/l, Methangasproduktion).

Alle untersuchten Schlammdeponien wiesen im Sickerwasser einen in etwa neutralen pH-Wert auf, obwohl die Eluate des Schlammes beim Einbau (Unterlagen der Deponiebetreiber), bedingt durch die Konditionierungsmittel Kalk und/oder Asche oder auch Zement, einen pH-Wert von 12,0 und höher aufwiesen.

Gutachten, die dem eingelagerten Schlamm aufgrund des hohen Kalkgehaltes bestätigten, daß dieser langfristig "biologisch tot" sei, erwiesen sich als nicht richtig, da auf allen vier untersuchten Deponien, vorzugsweise im Entwässerungssystem und dem angrenzenden Schlammbereich, erhebliche Aktivität von Mikroorganismen nachweisbar war. Die Abbildung 11 zeigt die im Sickerwasser von Klärschlammdeponien ermittelten Keimzahlen im Vergleich zu denen eines Hausmüllsickerwassers. Es ist deutlich zu erkennen, daß die Sickerwässer der Schlammdeponien bezüglich biologischer Aktivität einem Hausmüllsickerwasser nicht nachstehen. Dementsprechend konnten zwei der vier hier befragten Betreiber auch bestätigen, z. T. erhebliche Inkrustationsprozesse in den Dränrohren gefunden zu haben. Es wurde allerdings kein Spülgut aufbewahrt, so daß hier keine Proben dieses Materials zur Untersuchung zur Verfügung standen. Die übrigen beiden Betreiber hatten aufgrund fehlender Kamerabefahrung noch keine Inkrustationen in den Dränrohren feststellen können.

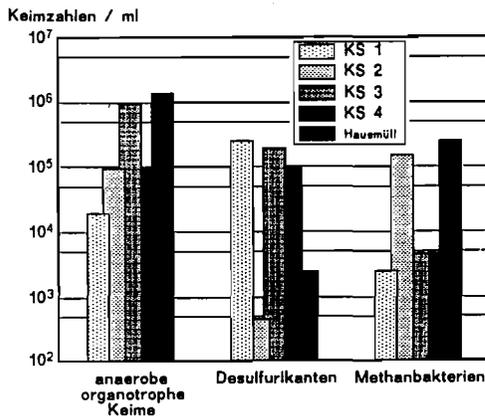


Abb. 11: Keimzahlen im Sickerwasser von Hausmüll- und Klärschlammdeponien [11]

5.4 Aufgrabung des Dränsystems einer Klärschlammdeponie

Die Grabungsarbeiten fanden im November 1992 statt. Als weitaus kostengünstigste Möglichkeit durch die maximal 8 m dicke Schlammablagerung zur Flächenentwässerung vorzustoßen, erwies sich das Absenken von Betonschächtringen mit einem Durchmesser von 2,5 m. Die untersuchbare Grundfläche beschränkte sich dadurch auf knapp 5 m². Die Arbeiten erwiesen sich in ihrem Schwierigkeitsgrad als schlecht vorhersagbar. Der eingebaute Schlamm hat generell eine sehr feste Struktur, da auf der Deponie durch entsprechend

starke Konditionierung mit Kalk Trockensubstanzgehalte von 42 - 45 Gew.-% eingestellt werden.

Im Rahmen dieser Aufgrabung konnten folgende Beobachtungen gemacht werden:

- Das Trennvlies war auf der Flächenentwässerung zugewandten Seite fast flächig mit festgeklebten Kieseln des Dränmaterials (Körnung etwa 4 - 32 mm) versehen. Direkt unter dem Geotextil konnten vereinzelt bis zu faustgroße Brocken von verklebten bzw. verkrustetem Kies entnommen werden.
- Nach dem Abtragen der etwa 40 cm dicken Kiesschicht konnte ein Sammlerkreuzungspunkt freigelegt werden. Es stellte sich heraus, daß der direkt auf dem Geotextil, welches als Schutzvlies für die darunterliegende Tondichtung aufgebracht ist, liegende Dränkies mit einer Dicke von über 5 cm flächig fest inkrustiert war.
- Der Dränsammler wurde zur besseren Inspektion in der oberen Hälfte aufgeschnitten. Das hatte zur Folge, daß das Sickerwasser aus dem Sammler in die Baugrube lief. Die Ursache für den Sickerwassereinstau waren plattige Inkrustationsbrocken und Einschlammungen, die die Wasserabfuhr im Sammler stark behinderten.
- Die naßchemische Analyse der Inkrustationen ergab, daß diese vom Aufbau denen aus Hausmülldeponien gleichen, aber bei Klärschlamminkrustationen der Kalkanteil höher und der Eisenanteil geringer ist.
- Im Anschluß an eine Spülung wurden die Rohre mit einer Kamera befahren. Diese Befahrung zeigte zum einen, daß die Rohre z. T. sehr stark verkrustet waren, d. h. über 75 % des Querschnittes waren schon "zuge-wachsen" (siehe Foto 3).



Foto 3: Inkrustierter Nebensammler der aufgedragenen Klärschlammdeponie

Als Ergebnis dieser Aufgrabung läßt sich damit feststellen:

- trotz der starken Kalkkonditionierung der eingebauten Klärschlämme (1 kg Kalk auf 1 kg TS Klärschlamm) war eine erhebliche Bakterienaktivität und eine entsprechende Methangasproduktion (30 Vol-%) feststellbar;
- die Feuchtigkeit einer Schlammablagerung ist von wesentlicher Bedeutung für die Entwicklung und Aktivität der Mikroorganismen. Im Stauwasserbereich sind die Lebensbedingungen der für die Bildung von Inkrustationen verantwortlichen Bakterien günstig (unabhängig vom Kalkgehalt des eingebauten Schlammes);
- trotz des geringen Ablagerungsalters von max. 3 Jahren konnten ausgeprägte Inkrustationen verschiedener Form entdeckt werden;
- es muß davon ausgegangen werden, daß die Bereiche der Deponie, in denen Schlamm mit einem höheren Wassergehalt eingebaut wurde, noch stärker von Inkrustationen betroffen sind;
- die eingebauten Trenn- und Schutzvliese erwiesen sich als Ausgangspunkte für Inkrustationen.

6 Zusammenfassung und Empfehlungen für die Praxis

Von Hausmülldeponien war durch RAMKE/BRUNE [6] bekannt, daß durch von Mikroorganismen aufgebaute Ablagerungen, sogenannte Inkrustationen, die Entwässerungssysteme der Deponien funktionsuntüchtig werden können und somit Sickerwassereinstauungen von mehreren Metern im Deponiekörper entstehen. Im Rahmen der neuesten Untersuchungen konnte die Bildung von Inkrustationen auch im Entwässerungssystem von Monodeponien nachgewiesen werden. Die bei Klärschlamm-deponien gefundenen Verkrustungen gleichen in Aufbau und biochemischen Mechanismus prinzipiell denen von Hausmülldeponien. Bei MVA-Schlackedeponien ermöglichte das abgelagerte Material keine biologisch induzierte Inkrustierungen, aber bedingt durch physikalisch-chemische Prozesse (Oxidation, Temperaturstau, Verdampfung) bildeten sich im Entwässerungssystem durch Auskristallisierung Salzverkrustungen in z. T. erheblichen Ausmaß.

Um das Entwässerungssystem funktionstüchtig zu erhalten und der Bildung von Inkrustationen entgegenzusteuern, gibt es sowohl Pflege- wie auch Deponiebetriebsmaßnahmen.

Bisher bekannt und erprobt sind Spül- und Fräsarbeiten zum Reinigen der Entwässerungsrohre einer Deponie. Aufgrund der hier vorgestellten Untersuchungen ist nun auch die Rehabilitierung und Pflege des Dränmaterials um das Rohr herum vorstellbar; die praktische Anwendung muß hier noch gründlich vorbereitet werden.

Bei den betrieblichen Maßnahmen zur Vorbeugung und Minderung von Inkrustationen gilt zumindest für Hausmülldeponien, daß die biologische Abfallbehandlung hier das A und O ist.

Bei der Deponierung von Klärschlämmen sollten möglichst kalkfreie Konditionierungsmittel (z. B. Polymere) verwendet werden und der Schlamm weitestgehend in der Schlammbehandlung auf der Kläranlage biologisch stabilisiert und mechanisch entwässert werden. Die Hemmung der biologischen Aktivität und Senkung des prozentualen Wassergehaltes durch "Aufkalken" (Erhöhung der Trockensubstanz) kann jedenfalls nicht die Lösung sein.

Die Deponien für Müllverbrennungsschlacken werden weiterhin mit Salzverkrustungen im Entwässerungssystem leben müssen, sofern sich nicht der Ausbrand der Anlagen verbessert und Oxidationsreaktionen durch eine Schlackenachbehandlung (Vorwegnahme der Oxidationsprozesse) oder -aufbereitung (Metallentfernung) reduziert werden. Bei MVA-Schlacke- und -aschedeponien sollte deshalb zukünftig sehr viel Wert auf die thermische Beständigkeit der Dichtungs- und Entwässerungskomponenten gelegt werden.

7 Literatur:

- [1] BRUNE, M. Ursachen für die Bildung fester und schlammiger Sedimente in Entwässerungssystemen von Hausmülldeponien. Dissertation an der naturwissenschaftlichen Fakultät der TU Braunschweig, Institut für Mikrobiologie, 1991
- [2] BRUNE, M.
RAMKE, H.-G. Incrustation processes in drainage systems of sanitary landfills. Third International Landfill Symposium, Cagliari, CISA-Environmental sanitary engineering centre, Cagliari, Sardinia, Italy, 1991
- [3] COLLINS, H.-J.
MUNNICH, K. Temperaturen in Siedlungsabfalldeponien und deren Auswirkung auf die Basisabdichtung; Zeitschrift Müll und Abfall, H. 4, 1993
- [4] LICHTENSTEIGER, T. in: "Entwicklung und Umsetzung neuer Qualitätsanforderungen in der Abfallwirtschaft"; Tagung der EAWAG im Sept. 1993 in Ittlingen/Schweiz
- [5] RAMKE, H.-G. Hydraulische Beurteilung und Dimensionierung der Basisentwässerung von Deponien fester Siedlungsabfälle - Wasserhaushalt, hydraulische Kennwerte, Berechnungsverfahren - . Dissertation am Leichtweiß-Institut der TU Braunschweig im Mai 1991
- [6] RAMKE, H.-G.
BRUNE, M. Untersuchungen zur Funktionsfähigkeit von Entwässerungsschichten in Deponiebasisabdichtungssystemen. Abschlußbericht zum Forschungsvorhaben FKZ BMFT 14504573, März 1990
- [7] SPILLMANN, P.
COLLINS H.-J. Das Kaminzug-Verfahren - eine einfache und zielsichere Belüftung als Voraussetzung des aeroben Abbaues im Betrieb einer geordneten Mülldeponie-. 2. Forum Städtehygiene, H. 32
- [8] TA SIEDLUNGSABFALL (TAS) Technische Anleitung zur Vermeidung, Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen, 1993
- [9] TURK, M. Zur Mindestkorngröße der Entwässerungsschicht von Deponien. Zeitschrift Wasser, Luft und Boden, Heft 6, 1992, S. 74 f
- [10] TURK, M.
WITTMAYER, M. Inkrustationen (feste biogene Ablagerungen) im Entwässerungssystem von Deponien; Tagung "Fortschritte der Deponietechnik 1993", Haus der Technik, Essen, 14./15. Sept. 1993
- [11] WITTMAYER, M. in : TURK, M., WITTMAYER, M., 1994: Erhaltung der Funktionsfähigkeit von Deponieentwässerungssystemen - abfallwirtschaftliche und betriebstechnische Maßnahmen; Abschlußbericht zum F-Vorhaben 14400569 A5-16 im BMFT-Verbundvorhaben Deponieabdichtungssysteme, noch unveröffentlicht

Beispiel für die Sanierung eines Sickerwassersammelsystems

Jürgen Waldhoff

1. Allgemeines zur Deponie Senne

Die Deponie Senne wurde seit dem Jahre 1972 auf dem Gelände einer Sandgrube abschnittsweise in Betrieb genommen. Bei einer Gesamtgröße von 17 ha weist sie ein Fassungsvermögen von ca. 3,0 Mio. m³ auf. Als eine der ersten Deponien in Deutschland wurde diese Deponie mit einer Basisabdichtung aus PE-HD Folie ausgestattet.

Die einzelnen Verfüllabschnitte sind durch angeschüttete Wälle getrennt. Die Entwässerung der einzelnen Felder erfolgt durch Sickerwasser-Saugleitungen, die durch einen Flächenfilter unterstützt werden. Diese Saugleitungen sind in den sogenannten Hauptschächten mit der unterhalb der Basisabdichtung verlaufenden Transportleitung verbunden. Die Hauptschächte durchstoßen die Basisabdichtung und sind im anstehenden Erdreich gegründet.

Durch die Anordnung der Sickerwassersammelleitung unterhalb der Basisabdichtung war es möglich, die Leitung entsprechend den Verfüllabschnitten zu verlängern.(1)

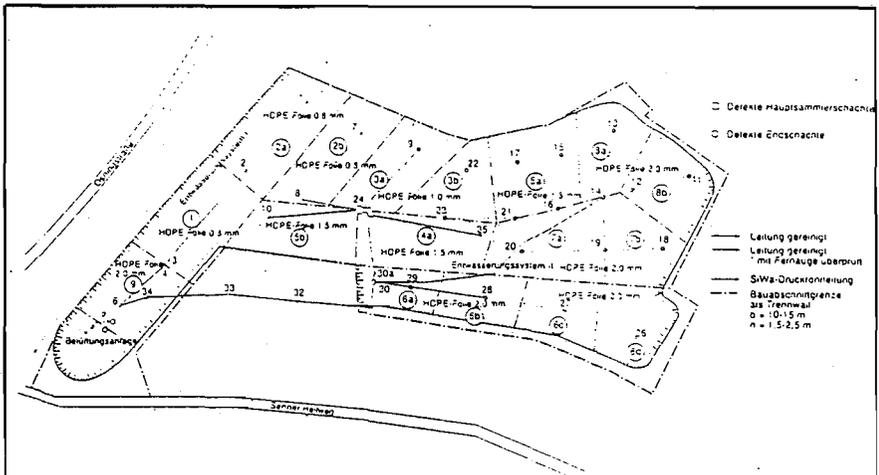


Bild 1: Entwässerungssystem Deponie Senne (1)

Die Deponie Senne liegt an einem Hang am Südrand des Teutoburger Waldes. Höhenmäßig reicht die Deponieoberfläche von + 163,00 mNN im Südwesten bis zu 180 mNN im Nordosten. Die geplante Endhöhe im mittleren Bereich liegt bei ca. 183,00 mNN.

2. Deponieaufstandsfläche:

Der Untergrund der Deponie besteht in den tieferen Bereichen aus Emschermergeln. Die Oberkante des Mergels fällt von ca. + 167,00 mNN an der Nordostecke bis auf ca. 139,35 mNN an der Südwestecke.

Die Emschermergel werden von Pläner- und Kalkschottern überdeckt. Die Mächtigkeit der Schotterschichten reicht von wenigen Dezimetern bis ca. 5,00 m. Die Schotter sind stark lehmig bis tonig.

Oberhalb der Schotterschichten befinden sich die Sennesande. Innerhalb dieser Schicht befinden sich einzelne unterschiedlich dicke Lehm- bzw. Tonlagen, die teilweise eine Mächtigkeit von 2,50 m erreichen.

Aus den vorhandenen Bestandsunterlagen ist ersichtlich, daß die Deponiesohle zwischen + 156,00 mNN und + 158,00 mNN liegt. Hieraus läßt sich schließen, daß im Nordostteil der Deponie der Sand bis in den Kalkschotter ausgebeutet wurde, während im Süden noch eine Schicht Sand bis 2,50 m Stärke belassen wurde.(2)

Die Deponie befindet sich in einem Wasserschutzgebiet Zone IIIb. Im Laufe der Sanierungsmaßnahme wurde u.a. durch Erkundungsuntersuchungen an der Baugrubensohle ein steigender Grundwasserspiegel festgestellt. Während bis 1992 auch in Bereichen bis 5,00 m unterhalb der Basisabdichtung kein Grundwasser angetroffen wurde, konnte in den Jahren 1993 und 1994 Grundwasser bis ca. 1,50 m unterhalb der Abdichtung festgestellt werden.

Schadensbilder am SiWa-System:

Aufgrund von durchgeführten Untersuchungen konnten die folgenden Schäden am zum damaligen Zeitpunkt bestehenden Sickerwassersystem ermittelt werden:

- Sickerwassereinstau im Deponiekörper durch schadhafte und mit starken Inkrustationen versehene Rohrleitungen
- Schiefstellung der Schachtbauwerke sowie korrodierte Betonschachtringe. Ein Spülen oder Fräsen der Leitungen war aufgrund der einsturzgefährdeten Schächte nicht mehr möglich
- Unkontrollierter Sickerwasserabfluß von ca. 18.500 m³ im Jahr und somit eine Verunreinigung des Grundwassers.

Tabelle 1: Schadensbilder

Die dargestellten Schadensbilder führten zu drei möglichen Schadensursachen.

Ursache	Beschreibung	Sanierung
1	Folie flächig defekt	Oberflächenabdichtung, hydraulische Sicherung, Sickerwasserbrunnen
2	Folie am Tiefpunkt defekt	Suche nach neuralgischen Punkten, Oberflächenabdichtung, hydraulische Sicherung
3	Sickerwassersystem defekt	Sanierung der Sickerwassersammel- leitung, Rekonstruktion der Schachtbau- werke, Oberflächenabdichtung

Tabelle 2: Schadensursachen und mögliche Sanierungen (1)

Die nochmalige Analyse der Schäden, fehlende Setzungsberechnungen sowie das vorhandene PVC Kanalrohr mit nicht ausreichender Bettung ließen die Ursache Nr. 3 als die wahrscheinlichste erscheinen. Bei der Suche nach einer möglichen Sanierung stellte diese auch die einzige Sanierungsmöglichkeit dar. Für die beiden anderen Varianten hätten nur Sicherungsmaßnahmen ergriffen werden können. (1)

Zur Untermauerung dieser Theorie wurden im Jahre 1989 zwei Erkundungsbaugruben und optional die Rekonstruktion an zwei besonders problematischen Schächten ausgeschrieben und durchgeführt. (1) Es handelte sich hierbei um die Schächte S 21 und S 23 und die zwischen den Schächten liegende Sickerwassertransportleitung.

Ergebnis der Erkundungsmaßnahme war, daß eine Sanierung des gesamten Sickerwassersystems sinnvoll ist und der unkontrollierte Abfluss von Sickerwasser beseitigt werden kann.

Das eigeleitete und Anfang 1995 abgeschlossene Sanierungskonzept besteht aus den Schwerpunkten:

- Rekonstruktion der Hauptschächte durch den Einsatz von dem Stand der Technik entsprechenden Schachtsystemen,
- Ausbau der Endschächte zu Gasbrunnen,
- Sanierung der zwischen den Hauptschächten verlaufenden Sickerwassertransportleitung.

Tabelle 3: Sanierungskonzept

3. Durchführung der Sanierung

3.1. Abteufen der Baugruben

Um die bestehenden Schächte werden Baugruben mit Durchmesser von 5,00 m bis 9,00 m sukzessive abgeteuft. Die Tiefe der Baugruben liegt zwischen 15 und 25 m.

Zur Erzielung eines wirtschaftlichen und termingerechten Aushubs wird ein schwerer Seilbagger mit speziell für den Müll ausgerüstetem Greifer eingesetzt.

Die „Randprofilierung“ des jeweiligen Verbauabschnittes erfolgt mit einem Minibagger, der mit Hoch-, Tieflöffel, Reißzahn oder Stemmeinrichtung ausgerüstet ist. Trotz aufwendiger maschinentechnischer Ausstattung kann besonders im Randbereich der Baugruben nicht auf Handarbeit verzichtet werden. Hier handelt es sich um einen besonders zeit- und somit kostenintensiven Arbeitsgang. Auftretende Hindernisse wie z.B. Baumstämme, Betonfundamente, mehrere Dezimeter starke Kunststofffolienlagen oder stark verfestigte Schlacken verzögern die Arbeiten teilweise erheblich.

Ebenso stellt das häufig in „Linsen“ auftretende Sickerwasser eine weitere Erschwernis dar. Je nach Menge müssen die Arbeiten bis zum Ausbluten einer solchen Linse für mehrere Tage unterbrochen werden.

Der Verbau der Hauptschächte erfolgt mit Spritzbeton, der in Stärken bis 35 cm im Trockenspritzverfahren eingebaut wird. Die einzelnen Verbauabschnitte haben eine Höhe von max. 1,25 m. Je nach anstehendem Deponiekörper verringern sich diese Höhen bis auf 0,30 m (z.B. Klärschlamm). Der Verbau muß direkt eingebaut werden, um eine Kraftumlagerung im Müll jederzeit ausschließen zu können.

Die grobe Struktur des Baugrubenrandes sowie Ausbrüche und Hohlräume führen zu erheblichen Mehrverbrauch an Spritzbeton und somit auch zu einem höheren Zeitaufwand für die Verbauarbeiten.

Zur Auffindung der Höhenlage der Basisabdichtung werden Suchschlitze angelegt. Der unmittelbare Bereich über der Basisabdichtung wird dann in Handschachtung freigelegt. Nach einer Bestandsaufnahme erfolgt die Folienaufnahme. Hierzu wird die Folie mit einem Abstand vom Verbau von ca. 30 cm aufgeschnitten. Der verbleibende Folienrand wird zum späteren Anschluß der neuen Folie im Baugrubenbereich geschützt.

Die Gründung der neuen Schächte erfolgt unterhalb der Basisabdichtung. Nach der Folienaufnahme und dem Niederbringen der Baugrube auf geplante Gründungstiefe wird ein Bodengutachten erstellt.

Der wesentliche Vorteil des Spritzbetonverbaus liegt in der kontrollierten Abführung des Sickerwassers und in der relativen Gasdichtigkeit. Somit lassen sich die Auflagen der Arbeitssicherheit bedingt durch die Bauweise erfüllen.

Neben den Hauptschächten werden auch Endschächte saniert. Diese Endschächte werden als Entgasungsbrunnen rekonstruiert. Der Verbau dieser Schächte erfolgt, aufgrund der Forderung nach 100% Rückbau, mit Stahlformteilen. Hierbei handelt es sich um einzelne Elemente, die untereinander durch Schrauben verbunden sind (pro Ring ca. 160 Schrauben). Die einzelnen Elemente sind 46 cm hoch und ca. 1,10 m lang. Der Durchmesser dieser Baugruben beträgt 5,128 m.

Zur Vermeidung von Punktbelastungen des Verbaus wird der Hohlraum zwischen Müllkörper und Verbau mit Kalkmörtel unter geringem Druck verpresst.

Die Endschächte werden nur bis auf die Basisabdichtung abgeteuf. Die Gründung des Entgasungsrohres erfolgt nicht unterhalb der PE-HD Folie.

Zusammenfassung der Arbeitsschritte während des Abteufens:

- Aushub vom Baugrubenrand mit dem Seilbagger
- Randprofilierung des Aushubabschnittes durch Einsatz des Minibaggers innerhalb der Baugrube sowie in Handarbeit
- Verbau des Aushubabschnittes mit Spritzbeton bzw. Liner-Plates (max. 1,25 m)
- Aushub des nächsten Abschnittes
- Anlegen von Suchschlitzen zur Auffindung der genauen Folienlage
- Freilegen der PE-HD-Folie in Handschachtung
- Aufnahmen der Folie (nur bei den Hauptschächten)
- Abteufen auf geplante Gründungstiefe (nur bei den Hauptschächten)
- Erstellung eines Bodengutachtens (nur bei den Hauptschächten)

Tabelle 4: Arbeitsschritte zum Abteufen

3.2 Erneuerung der Grundleitungen:

Die Baugruben der Hauptschächte dienen gleichzeitig als Start- und Zielgruben zum Überfahren der unterhalb der Basisabdichtung verlaufenden alten Sickerwassertransportleitung.

Die ersten Abschnitte der Leitung wurden durch Einsatz eines maschinellen Vortriebs saniert. Es handelte sich hierbei um das „Pipe Eating Verfahren“ der Ingenieur- Tiefbaugesellschaft Dr. Ing. G. Soltau GmbH.

Das Vortriebsaggregat wird aus der Startgrube in Richtung Zielgrube vorgetrieben. Der Bohrkopf „frisst“ dabei das alte PVC-Rohr auf und schafft den für das kontinuierlich einzupressende Stahlbetonvortriebsrohr DN 400 erforderlichen Hohlraum.

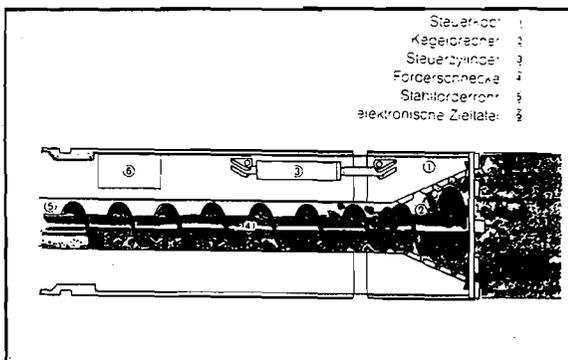
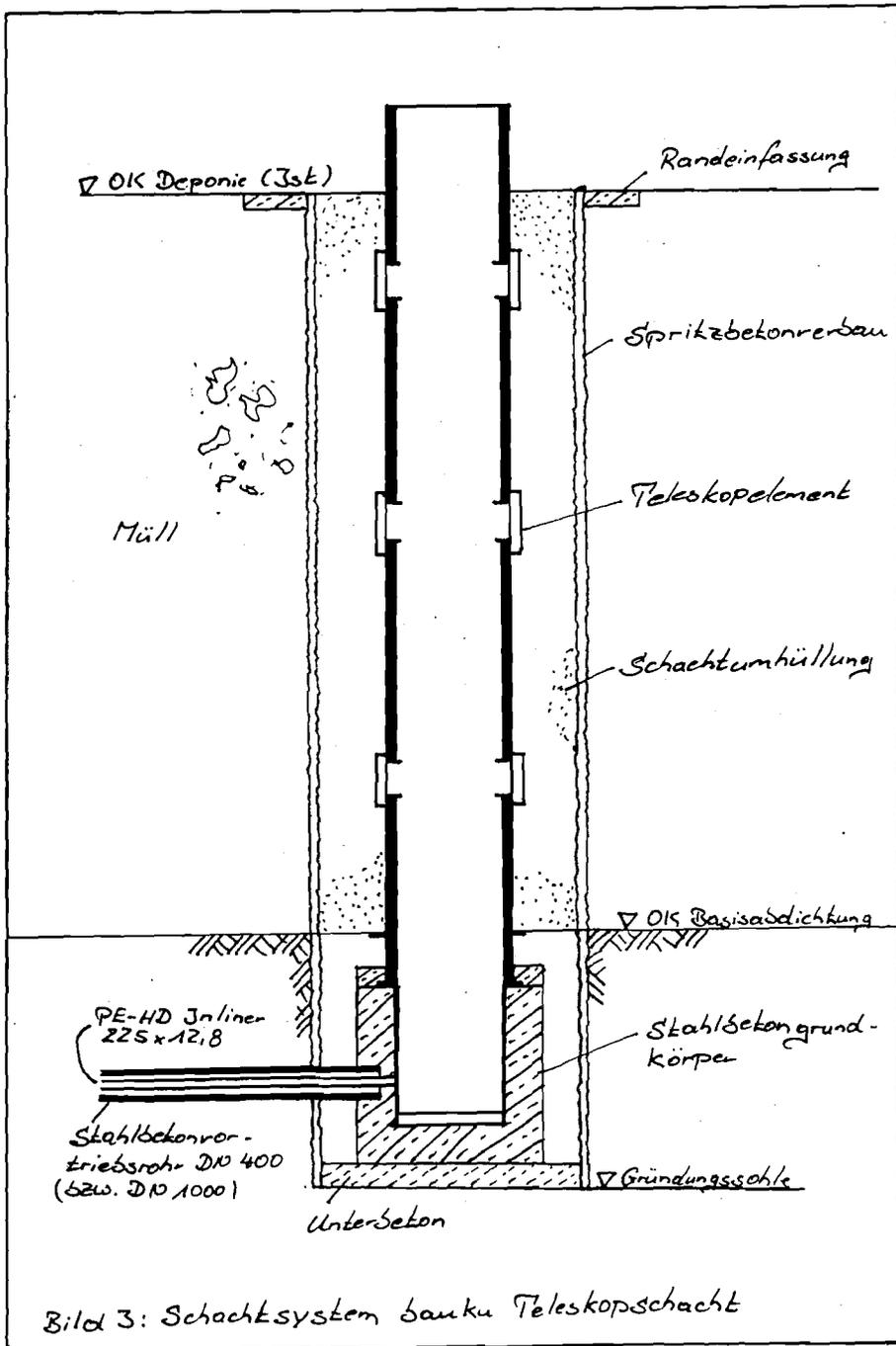


Bild 2: Bohrkopf (4)



Die Förderung des abgebauten Materials erfolgt mit einem Schneckenfördersystem. Die Förderschnecke liegt in einem Stahlförderrohr, welches wiederum zentrisch im Stahlbetonvortriebsrohr liegt. Das geförderte Material gelangt in einen im Vorpressbock integrierten Container und wird mittels Kran aus der Baugrube gehoben.

Die Steuerung des Bohrkopfes erfolgt über drei integrierte Steuerzylinder. Die Lage des Bohrkopfes in bezug zur vorher eingegebenen Vortriebsachse wird über die mittels Laser angesteuerte Zieltafel kontinuierlich in den Leitstand übermittelt. Bei festgestellten Abweichungen erfolgt dann durch den Vortriebsmeister die Korrektur über die Steuerpressen.

Nach dem so durchgeführten Einbau des Stahlbetonrohrs DN 400 wird die eigentliche Medienleitung aus PE-HD Rohr 225x12,8 zentrisch eingezogen. Der Ringraum zwischen Stahlbetonrohr und PE-HD Rohr wird anschließend verdämmt.

Der wesentliche Nachteil des oben beschriebenen Verfahrens liegt in der mangelnden Flexibilität beim Auftreten von Vortriebshindernissen. Beim Auffahren zweier Haltungen mußten die Arbeiten aufgrund von aufgetretenen Hindernissen abgebrochen werden.

Im ersten Fall handelte es sich um ein Stahlteil, welches die Anlage blockierte und zum Totalausfall führte. Im zweiten Fall wurde ein Findling angetroffen, der sich vor dem Bohrkopf festsetzte und diesen erheblich aus der Vortriebsachse ablenkte.

Die Bergung des Vortriebsgerätes erfolgte in beiden Fällen durch Vortrieb eines Stahlrohres DN 1000 aus der Zielgrube. Das Stahlrohr wurde dabei über den Bohrkopf geschoben. Der Kopf wurde anschließend im Schutze des Stahlrohres geborgen.

Die dargestellte Problematik und die damit verbundenen erheblichen Mehrkosten führten dazu, daß in den folgenden Losen zum Auffahren der Haltungen der Vortrieb von Stahlbetonrohren DN 1000 ausgeschrieben wurde. Der Abbau an der Ortsbrust erfolgt dabei in Handarbeit. Vorgefundene Hindernisse, wie z.B. Kanthölzer, Reste einer Spundwand und größere Betonbrocken bestätigten die Entscheidung.

Die Arbeitsschritte im einzelnen:

- Überfahren der alten PVC-Leitung DN 150 in Haltungslängen bis zu 78,00m
- Förderung des Ausbaugutes über Schnecken in einen unter dem Pressbock stehenden Auffangbehälter, bzw. mit einer Lore
- Gleichzeitiges Nachpressen von Stahlbetonrohren DN 400 bzw. DN 1000
- Einziehen von PE-HD Rohren DN 200 in die Stahlbetonrohre.
- Verfüllen des Ringraums zwischen Stahlbetonrohr und Inliner mit Dämmen.

Tabelle 5: Arbeitsschritte Leitungserneuerung

3.3 Rekonstruktion der Hauptschächte

Die Gründung der neuen Hauptschächte sowie die Einrichtung des Basiskörpers erfolgt unterhalb der Basisabdichtung. Der Basiskörper hat einen runden Querschnitt von 2,00m bis 5,00 m Durchmesser, ist innen mit PE-HD ausgekleidet und besteht aus Stahlbeton B 45 mit hohem Widerstand gegen sehr stark chemische Angriffe (DIN 4030). Auf diesem Basiskörper wird der eigentliche Schacht errichtet. (siehe Bild 3)

Der Folienanschluß erfolgt je nach Höhenlage entweder am Schachtgrundkörper oder am ersten Schachtelement.

Zum Einbau gelangen zwei unterschiedliche Schachtsysteme. Zum einen werden PE-HD ummantelte Stahlbetonschächte eingesetzt, zum anderen Teleskopschächte aus PE-HD System bauku). Beide Systeme sind teleskopierbar. Die Innendurchmesser der neuen Schächte betragen 2,00m bzw. 2,50m.

Die Teleskopierbarkeit der Schächte ermöglicht die zerstörungsfreie Aufnahme der hohen, besonders aus negativer Mantelreibung entstehenden, Belastungen.

Bevor der Ringraum zwischen Baugrubenverbau und Schacht verfüllt wird, erfolgt der Rückbau eines 2,00m hohen Streifens des Spritzbetonverbau oberhalb der Basisabdichtung sowie eines 1,00m hohen Steifens im mittleren Bereich zwischen Baugrubenrand und Basisabdichtung. Somit wird vermieden, daß eventuelle Setzungen des im Müllkörper verbleibenden Verbau eine Beschädigung der Folie nach sich ziehen.

Die Verfüllung des Ringraums erfolgt mit Sand in Lagen von max. 30cm schrittweise mit dem Setzen der Schachtelemente.

3.4 Rekonstruktion der Endschächte

Nach der Reparatur der alten Basisabdichtung erfolgt der Einbau des Rohrfundamentes aus Leichtbeton. Auf diesem Fundament erfolgt die Gründung des geschlitzten Entgasungsrohres DN 250. Dieses Rohr wird mit einem Kieskörper, Körnung 30/70 ummantelt. Der verbleibende Ringraum zwischen Kieskörper und unverbautem Baugrubenrand wird mit Müll verfüllt.

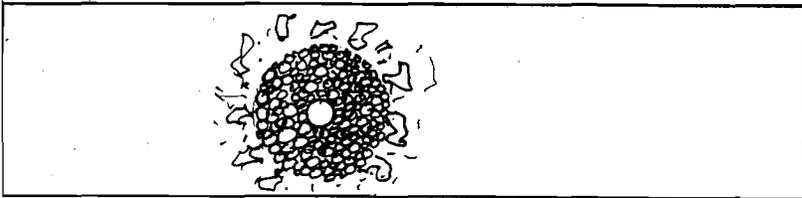


Bild 4: Querschnitt Endschacht

Um den Zustrom der Deponiegase nicht zu behindern, ist der komplette Rückbau des Verbaus erforderlich. Es werden immer drei Ringe des Liner-Plate-Verbaus ausgebaut und anschließend sofort verfüllt.

4. Arbeitssicherheit

Vor Aufnahme der Arbeiten im Jahre 1989 entwickelte die HEILIT + WOERNER BAU AG in Zusammenarbeit mit der Tiefbau-Berufsgenossenschaft ein Arbeitssicherheitskonzept mit umfangreichen, über den normalen Arbeitsschutz hinausgehenden Auflagen.

4.1 Baustelleneinrichtung

Ein wesentlicher Beitrag zur Abwendung gesundheitlicher Beeinträchtigungen ist in der Einhaltung strenger Hygienemaßnahmen während der Arbeiten zu sehen. Aus diesem Grund sind nach § 22 Gefahrstoffverordnung dem auf dem Deponiegelände beschäftigten Personal geeignete Räume zur Körperreinigung, zur getrennten Aufbewahrung von Straßen- und Arbeitskleidung sowie Pausenräume zur Verfügung zu stellen.

Zur Erfüllung dieser Forderung wurde vor Aufnahme der Arbeiten eine Schwarz-Weiß-Anlage installiert und in Betrieb genommen. Die Abwässer aus der Schwarz-Weiß-Anlage werden in einem gesonderten Abwassertank eingeleitet und entsprechend der Vorschriften der Stadt Bielefeld entsorgt.

Vor dem Zugang zum Schwarz-Bereich der Anlage ist eine Stiefelwaschanlage mit Handreinigungsbürsten installiert. Die Abwässer dieser Anlage werden in den Abwassertank der Schwarz-Weiß-Anlage eingeleitet.

Die für die Beschäftigten wichtigen Sicherheits-, Brandschutz- und Hygienebestimmungen sind zusammen mit dem Aushang für die Erste Hilfe, ärztliche Versorgung und wichtige Notrufnummern in der Schwarz-Weiß-Anlage und im Bauleitungscorridor ausgehängt.

4.2 Arbeitsmedizinische Untersuchungen

Aufgrund der gesundheitlichen Gefährdungen für das Baustellenpersonal besteht die Notwendigkeit, ein Untersuchungsprogramm gemäß Unfallverhütungsvorschrift „Arbeitsmedizinische Vorsorge“, VBG 100 und der „Richtlinien für Arbeiten in kontaminierten Bereichen“, ZH 1/183, Abschnitt 17, durchzuführen. Die erforderlichen Untersuchungen, die einzelnen Untersuchungsgrundsätze sowie die Häufigkeit der Untersuchungen werden in Zusammenarbeit mit dem arbeitsmedizinischen Dienst der zuständigen Berufsgenossenschaft festgelegt. Es werden Erst-, erforderliche Zwischen- und Enduntersuchungen durchgeführt.

Folgenden arbeitsmedizinischen Grundsätze wurden bzw. werden zur Anwendung gebracht:

- | | |
|--------|--|
| • G 8: | Benzol |
| • G11: | Schwefelwasserstoff |
| • G16: | Arsen oder seine Verbindungen |
| • G20: | Lärm |
| • G25: | Fahr-, Steuer- und Überwachungstätigkeiten |
| • G26: | Atemschutzgeräte |
| • G29: | Benzolhomologe (Toluol, Xylole) |
| • | Grundsatz Arbeiten in kontaminierten Bereichen |

Tabelle 6: Arbeitsmedizinische Grundsätze

Eine Erweiterung des o.g. Umfanges ist bei Bedarf möglich.

Grundsätzlich wird nur solches Personal auf der Baustelle eingesetzt, welches die Freigabe durch den arbeitsmedizinischen Dienst erhält.

4.3 Persönliche Schutzausrüstungen

Unabhängig von den technischen Schutzmaßnahmen und unabhängig von den Tätigkeiten werden von allen Beschäftigten innerhalb und außerhalb der Schächte folgende Schutzausrüstungen benutzt:

- Bausicherheitsgummistiefel nach DIN 4842 - SHS 5 D (antistatisch und chemikalienbeständig)
- Einweg-Schutzkleidung in atmungsaktiver Ausführung mit Bündchen und Kapuze
- chemikalienbeständige Schutzhandschuhe, Stulpenform, nach DIN 4841-F2 mit unterzuziehenden Baumwollhandschuhen
- beim Handhaben scharfkantiger Gegenstände, bei denen die Gefahr der Beschädigung der Handschuhe besteht, zusätzlich über die chemikalienbeständigen Schutzhandschuhe zu ziehende Kevlar Handschuhe
- Schutzhelme

Im Bedarfsfall werden folgende Ausrüstungsgegenstände eingesetzt:

- Gehörschutz, wenn mit einem Lärmpegel von mehr als 85 dB(A) zu rechnen ist
- Gesichtsschutzschirme, wenn mit dem Auftreten von Spritzwasser zu rechnen ist
- umgebungsluftabhängige Atemschutzgeräte für Zweiwegatmung (Ventilatmung) mit Gewindeanschluß für Atemfilter nach DIN 3183 z.B. mit Atemfiltern der Filterklasse ABEK 2 P3 nach DIN 3181.

Ergibt die meßtechnische Überwachung der Atemluft am einzelnen Arbeitsplatz eine Überschreitung der Alarmwerte, so sind die beschriebenen Atemschutzgeräte zu benutzen.

4.4 Technische Schutzmaßnahmen

Die Anwendung der nachfolgend beschriebenen technischen Schutzausrüstungen dient dazu, die Arbeitsplätze auf der Baustelle so zu gestalten, daß keine Gesundheitsgefährdungen für die dort Beschäftigten entstehen.

Lüftung

An den einzelnen Baugruben werden blasende Bewetterungseinrichtungen (Luttenlüfter) vorgehalten und betrieben.

Die Leistung der Bewetterungsanlage je Schacht beträgt $10 \text{ m}^3/\text{min}$ je m^2 Grundfläche. Vorhandene Dämpfe und Gase in der Umgebungsluft werden so verdünnt, daß

- die Konzentration brennbarer Gase oder Dämpfe unter 10% der unteren Explosionsgrenze liegt,
- der Sauerstoffgehalt $> 19 \text{ Vol.-%}$ beträgt,
- der Gehalt an Schwefelwasserstoff $< 2,5 \text{ ppm}$ (entspricht $3,75 \text{ mg/m}^3$) beträgt.

Vor dem Betreten der Baugruben werden diese mindestens 15 Minuten bewettert. Durch Messungen mit dem Dreigasmeßgerät vor Einschalten der Belüftung und vor dem Einfahren in die Baugrube sowie während der Arbeiten im Schacht erfolgt eine Überwachung der o.g. Gaskonzentrationen.

Zur Personenbeförderung wird je Baugrube ein Galgen mit Fahrkorb vorgehalten. Die zweite geforderte Einrichtung zur Personenbeförderung wird durch den hierfür zugelassenen Seilbagger bereitgestellt.

4.5 Organisatorische Schutzmaßnahmen

Sämtliche Arbeitsplätze auf dem Deponiegelände werden durch kontinuierlich arbeitende Meß- und Warngeräte zu überwacht. Folgende Alarmwerte sind eingestellt:

Sauerstoffgehalt:	$\text{O}_2 < 19 \text{ Vol.-%}$
Schwefelwasserstoff:	$\text{H}_2\text{S} > 2,5 \text{ ppm}$
untere Explosionsgrenze:	UEG $> 10\%$, entspr. $0,5 \text{ Vol.-%}$ Methan.

5. Zusammenfassung

Die beschriebenen Arbeitsgänge zur Sanierung des Sickerwassersystems der Deponie Senne zeigen die Komplexibilität einer solchen Maßnahme. Aufgrund des speziellen „Baugrundes“ Müll sind an alle Beteiligten spezielle Anforderungen zu stellen, die mit normalen Tiefbauarbeiten nicht zu vergleichen sind. Durch die detaillierte und mögliche Schwierigkeiten beschreibende Ausschreibung wurde die Grundlage für eine fachgerechte Ausführung geschaffen. Flexibilität seitens des Auftraggebers in der Entscheidungsfindung bei auftretenden Schwierigkeiten ermöglichte zielorientierte und unverzügliche Lösungen.

Die Weiterentwicklung und Anpassung von technischer Ausrüstung und die zielorientierte Aus- und Weiterbildung des Personals sicherte eine trotz aller Unwegbarkeiten kostengünstige Durchführung der Arbeiten.

Literatur

- (1) Peters, Jürgen: Erkundung der Deponiesohle und bauliche Instandsetzung von Altdeponien am Beispiel der Deponie Bielefeld-Senne; Abfallwirtschaftsjournal 2 (1990) Nr. 6, Seite 404-408
- (2) Ingenieurberatung Rademacher und Partner: Deponie Senne, erkundung der Hauptschächte S 21 und S 23, Vorplanung im Auftrag der Stadt Bielefeld, unveröffentlicht
- (3) Firmeninformation Ingenieur-Tiefbaugesellschaft Dr.Ing. G. Soltau GmbH

Entwurfsprinzipien und hydraulische Berechnung von Deponiebasisentwässerungssystemen

Hans-Günter Ramke

1. Einleitung

Die Aufgaben des Entwässerungssystems im Rahmen des Basisabdichtungssystems einer Deponie können wie folgt definiert werden :

1. Sammlung des an der Deponiebasis anfallenden Sickerwassers
2. Ableitung des Sickerwassers aus dem Deponiekörper zur Behandlung
3. Minimierung des Sickerwasseraufstaus auf der Deponiesohle

Der Minimierung des Sickerwasseraufstaus kommt besondere Bedeutung zu, da:

- ein Aufstau des Sickerwassers auf der Deponiebasis bis in die Abfälle hinein eine erhöhte Auslaugung der Abfälle bewirkt. Die Folge sind höhere Schmutz- und Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser.
- die hydrostatische Druckhöhe über der Dichtung erhöht wird, was zu erhöhten Sickerwasseremissionen führen kann.
- die Standfestigkeit des Müllkörpers herabgesetzt wird. Die Folge können Böschungsbrüche mit Gleitflächen im Sohlbereich oder im Bereich von Hangquellen sein.

Da diese Konsequenzen für das Sicherungskonzept moderner Deponien unakzeptabel sind, wird in den einschlägigen Normen und Richtlinien gefordert, daß ein Einstau von Sickerwasser bis in die Abfälle hinein nicht erfolgen darf. Das Entwässerungssystem ist so hydraulisch zu bemessen und konstruktiv auszulegen, daß diese Forderung erfüllt werden kann. Entscheidende Bedeutung im Rahmen des Gesamtkonzepts der geordneten Deponie hat dabei die langfristige Funktionsfähigkeit des Entwässerungssystems, die durch bauliche und betriebliche Maßnahmen sichergestellt werden muß.

Die Formulierung der Anforderungen an die Gestaltung von Deponien hat mit dem Inkrafttreten der TA Abfall und der TA Siedlungsabfall sowie der flankierenden Regelwerke einen vorläufigen Abschluß gefunden. Im folgenden soll deshalb zunächst ein Überblick über die derzeitigen Anforderungen an die Gestaltung von Deponiebasisentwässerungssystemen gegeben werden. Im Anschluß daran wird dargestellt, wie Basisentwässerungssysteme hydraulisch bemessen werden können, und in welcher Form der "Nachweis der Gleichwertigkeit" bei Abweichungen von den Standardsystemen geführt werden kann.

2. Gestaltung von Deponiebasisentwässerungssystemen

2.1 Grundsätzlicher Aufbau und Entwurfsprinzipien

In der Abb. 2.1 sind der Grundriß und der Querschnitt des Entwässerungssystems einer Haldendeponie dargestellt. Deponieentwässerungssysteme bestehen grundsätzlich aus den folgenden Einzelementen :

- Entwässerungsschicht
- Entwässerungsröhren
- Sammel- und Kontrollschächten
- Sammelleitungen

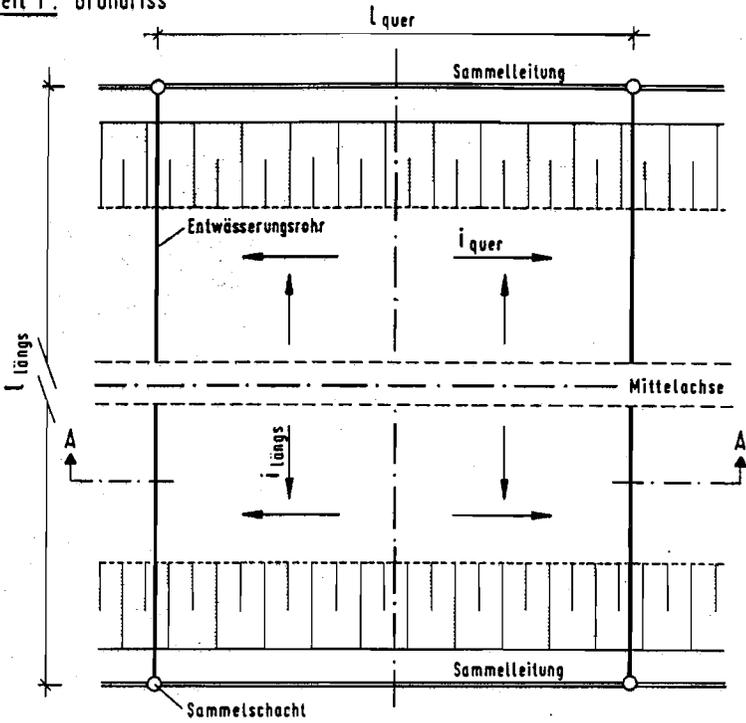
Entwässerungsschicht:

Die Entwässerungsschicht aus gut wasserdurchlässigem Material wird flächig auf dem Basisabdichtungssystem aufgebracht, u.U. ist die Abdichtung mit einer Schutzschicht zu versehen. Im einzelnen gilt:

- Die Oberfläche des Basisabdichtungssystems ist mit Längs- und Quergefälle so zu profilieren, daß das aus den Abfällen austretende Sickerwasser im freien Gefälle abfließen kann.
- In ebenem Gelände wird die Deponiesohle dachförmig profiliert, an den Tiefpunkten werden Entwässerungsröhre angeordnet. Die Entwässerungsschicht ist so auszulegen, daß das Sickerwasser an der Deponiesohle nicht gespannt ist bzw. nicht bis in die Abfälle hinein aufstaut.
- Die Höhe des Sickerwasseraufstauens auf der Sohle wird neben dem Sickerwasseranfall hauptsächlich durch die folgenden Entwurfparameter bestimmt:
 - Durchlässigkeitsbeiwert des Materials der Entwässerungsschicht
 - Abstand der Entwässerungsröhre (Dränabstand)
 - Quergefälle der Dichtungsschicht
- Der langfristige Erhalt der Durchlässigkeit der Entwässerungsschicht ist durch die Auswahl groben Dränmaterials, entsprechende Abfallvorbehandlung und betriebliche Maßnahmen sicherzustellen.
- Für die Entwässerungsschicht ist kalkarmes Rundkom ausreichender Festigkeit zu verwenden.

Weitere Einzelheiten der Anforderungen an das Dränmaterial werden unten diskutiert.

Teil 1: Grundriss



Teil 2: Schnitt A-A

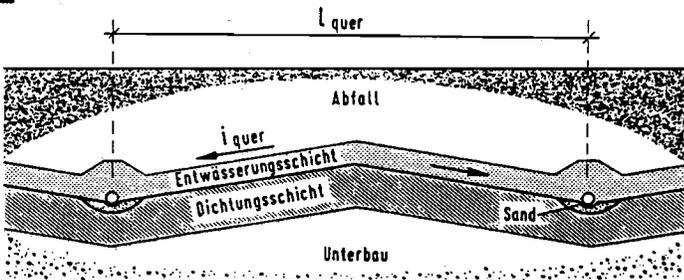


Abb. 2.1: Deponiebasisentwässerungssystem - Grundriß und Querschnitt

Entwässerungsrohre:

Die Entwässerungsrohre - gelochte Sickerrohre - dienen zur Ableitung des anfallenden Sickerwassers aus dem Deponiekörper. Die folgenden Grundsätze sind zu beachten:

- Die Leitungen sind so anzulegen, daß sie durchgehend gereinigt und kontrolliert werden können. Die Rohre müssen von beiden Seiten durch Kontrollschächte zugänglich sein.
- Die Entwässerungsrohre im Bereich des Deponiekörpers sind im Grundriß grundsätzlich geradlinig zu führen. Gefälleänderungen sind zulässig, soweit Kontroll- und Wartungsmaßnahmen hierdurch nicht beeinträchtigt werden.
- Leitungsverknüpfungen auf der Deponiebasis, die nicht gereinigt oder kontrolliert werden können, sind unbedingt zu vermeiden.
- Die maximalen Haltungslängen der Entwässerungsrohre werden durch die Arbeitslängen der Kontroll- und Reinigungsgeräte bestimmt. Derzeit sollte eine Haltungslänge von 300 m (bei beidseitigem Zugang) nicht überschritten werden.
- Ein Mindestrohrdurchmesser (lichte Weite) von über 200 mm ist in der Regel hydraulisch nicht erforderlich. Er ist zu wählen, um Reserven bei einer Verringerung des Fließquerschnitts durch Verschlammungen und Inkrustationen zu haben und ist notwendig, um die Kontrolle mit selbstfahrenden Kanalkameras zu ermöglichen.
- Vertikale Durchdringungen der Basisabdichtung mit Rohren oder Schächten sind nicht zulässig. Horizontale Durchdringungen im Böschungsbereich sind so auszuführen, daß Setzungsunterschiede keine Schäden am Drän- oder Abdichtungssystem hervorrufen können und daß sie kontrolliert werden können.

Die Anforderungen an das Rohrmaterial und die erforderlichen statischen Nachweise werden in den u.g. Richtlinien definiert. Die Abb. 2.2 zeigt einen Ausführungsvorschlag für die Leitungszone.

Sammel- und Kontrollschächte:

In den Sammelschächten wird das anfallende Sickerwasser an die außerhalb des Deponiekörpers verlaufenden Sammelleitungen übergeben. Die Sammel- und Kontrollschächten dienen gleichzeitig der Kontrolle und Wartung der Entwässerungsrohre. Bei der Planung der Schächte sind die folgenden Gesichtspunkte zu berücksichtigen:

- Schächte sind grundsätzlich nicht im Deponiekörper anzulegen.
- Wenn dies in Ausnahmefällen nicht zu vermeiden ist, sind sie auf die innerhalb der Deponie auftretenden Lastfälle zu bemessen. Im Bereich der Schächte darf sich das Setzungsverhalten der Schächte nicht von dem des Deponiekörpers unterscheiden. Mantelreibungsbedingte Lastkonzentrationen auf der Dichtungsschicht sind durch konstruktive Maßnahmen zu verhindern.
- Die Schächte sind sickerwasserbeständig und vollständig wasserdicht auszuführen.

- Alle Schächte sind so auszulegen, daß die notwendigen Wartungsarbeiten und gg. umfangreiche Untersuchungen des Entwässerungssystems (Kamerakontrolle, Probenahme, Höhenmessungen etc.) von ihnen aus möglich werden.
- Die Einmündungen der Entwässerungsröhre in die Sammel­schächte sind gegen Luftzutritt zu sichern. Dies kann z.B. mit Syphons geschehen. Auf die leichte Montierbarkeit ist unbedingt zu achten.
- Um Gas- und Geruchsemissionen zu vermeiden, soll das gesamte Leitungssystem geschlossen (Schächte ohne Lüftungsöffnungen) ausgeführt werden.
- Alle Schächte sind ausreichend groß zu dimensionieren, damit in den Schächten mit Atemschutzausrüstung gearbeitet werden kann. Der Innendurchmesser der Schächte muß mindestens 1,5 m betragen, die Einstiegsöffnung einen Durchmesser von mindestens 1,0 m aufweisen.
- Werden Schächte im Ausnahmefall innerhalb des Ablagerungsbereiches angeordnet, ist sicherzustellen, daß in jeder Betriebsphase die erforderlichen Kontroll- und Wartungsarbeiten vorgenommen werden können und daß erforderlichenfalls auch jederzeit ein Einstieg in die Schächte unter Beachtung aller Sicherheitsvorschriften möglich wird. Dies kann eine Bewetterung der Schächte oder andere Maßnahmen zur Unterbindung von Ex-Gefahren einschließen.

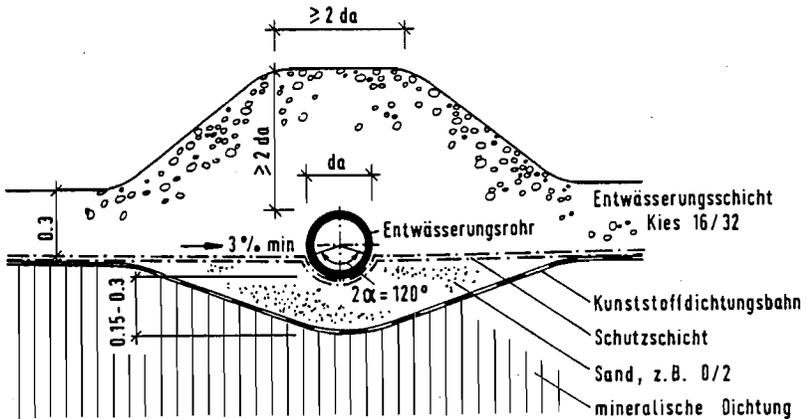


Abb. 2.2: Einbau der Entwässerungsröhre - Querschnitt durch die Leitungszone (DIN 19667, 1991)

2.2 Langzeitverhalten der Entwässerungsschicht

Siedlungsabfalldeponien (herkömmliche Hausmülldeponien):

Die hydraulischen Eigenschaften des Materials der Entwässerungsschicht - Durchlässigkeitsbeiwert und Porenanteil - können sich an der Deponiebasis infolge der spezifischen Einflüsse der abgelagerten Abfälle nachteilig verändern. Die auftretenden Mechanismen sind :

- Zerfall des Materials infolge chemischer Zersetzung
- Eindringen von Feinanteilen aus dem Abfall
- Ausfallen und Verhärten von Sickerwasserinhaltsstoffen (Inkrustationsbildung)

Von chemischer Zersetzung durch Sickerwasser (vorwiegend in der sauren Phase) oder durch Deponiegas sind insbesondere kalkhaltige Gesteine betroffen. Die Zersetzung kann soweit führen, daß sich am Übergang vom Abfall zur Entwässerungsschicht ein kaum noch wasserdurchlässiger Verwitterungshorizont ausbildet (RAMKE/COLLINS, 1989). Bei Auswahl geeigneter kalkfreier oder kalkamer Materialien stellt die chemische Beständigkeit jedoch kein Problem dar. Entsprechende Anforderungen werden in den einschlägigen Richtlinien gestellt.

Das Ausmaß des Eindringens und Einspülens von Feinteilen aus dem Abfall in die Entwässerungsschichten (Kolmation) ist noch weitgehend unerfaßt. Beobachtungen des Verfassers nach Aufgrabungen des Entwässerungssystems auf mehreren Hausmülldeponien zeigten allerdings, daß auch bei Einsatz grober Materialien für das Entwässerungssystem (Kömung 16-32 mm) Feinanteile aus dem Abfall nur selten eingetragen werden (RAMKE/BRUNE, 1990). In der Regel ist der Übergang zwischen Entwässerungsschicht und unterer Abfallage scharf ausgeprägt. Einschlammungen sind nur lokal beobachtet worden. Die folgenden Ursachen für das geringe Ausmaß der Kolmationserscheinungen sind denkbar:

- geringe Fließgeschwindigkeiten im Abfallkörper
- vermutlich höhere Aggregatstabilität des Abfalls im Vergleich zu Boden (bei Siedlungsabfällen)
- Abfließen des Wassers in bevorzugten Sickerbahnen mit von Beginn an gröberer Struktur

Das Problem des Durchlässigkeitsverlustes oder der Verminderung der Durchlässigkeit infolge des Eindringens von Feinanteilen dürfte deshalb, bezogen auf das jeweilige Gesamtentwässerungssystem, bei Hausmülldeponien als wenig gravierend einzustufen sein.

Zur Bildung von Inkrustationen in den Entwässerungssystemen herkömmlicher **Siedlungsabfalldeponien** (Hausmülldeponien) wurde von RAMKE/BRUNE, 1990 im Rahmen eines umfangreichen BMFT-Vorhabens festgestellt :

- Die Bildung von Inkrustationen in Deponieentwässerungssystemen konnte in unterschiedlichem Maße auf nahezu allen untersuchten Deponien festgestellt werden.
- In den Entwässerungsrohren reichte das Ausmaß der Inkrustationen von einem leichten Belag der Wandung bis hin zu einer deutlichen Verminderung des Fließquerschnitts.
- Die Inkrustationen der Entwässerungsschicht, insbesondere in der Rohrumbgebung, können im Extremfall zu einem völligen Verlust der Durchlässigkeit führen. In der Regel ist jedoch auch nach Inkrustationsvorgängen noch eine Restdurchlässigkeit gegeben.
- Ursache der Inkrustationen sind Stoffwechselprozesse anaerober Bakterien. In der Folge der Methanbildung und Desulfurifikation werden Kationen an der Bakterienoberfläche durch die Stoffwechselprodukte ausgefällt.

- Die maßgeblichen Bestandteile der Ablagerungen sind die Kationen Calcium und Eisen, die als Carbonat sowie durch Schwefel (vorwiegend sulfidisch) festgelegt werden.

Aus diesen Ergebnissen können die folgenden Schlußfolgerungen für die Gestaltung des Entwässerungssystems und den Deponiebetrieb gezogen werden :

- Um die langfristige Funktionsfähigkeit des Entwässerungssystems zu sichern, müssen zum ersten konstruktive Maßnahmen mit dem Ziel einer hohen Redundanz der wesentlichen Systemelemente getroffen werden.

Hierzu zählt unter anderem, das Material der Entwässerungsschicht möglichst grob zu wählen (z.B. Kies der Körnung 16-32 mm), um einen ausreichenden Porenanteil und große Porendurchmesser zur Verfügung zu haben.

- Entscheidend für die Lebensdauer des Entwässerungssystems wird es zum zweiten sein, das Ausmaß der Inkrustationen durch geeignete abfallwirtschaftliche und betriebstechnische Maßnahmen zu begrenzen. Hierzu gehört es insbesondere, die Intensität und Dauer der Phase der sauren Gärung zu verringern (zu Einzelheiten siehe **RAMKE/BRUNE, 1990**).

Diesen Forderungen wurde mit den Vorgaben der TA Abfall und der TA Siedlungsabfall weitgehend Rechnung getragen. Neben der Festlegung der Verwendung groben Dränmaterials sind besonders die Vorgaben hinsichtlich der Abfalltrennung und der Reduktion des Gehaltes an organischen Bestandteilen des Restmülls für den Übergangszeitraum bis zum Jahr 2005 (TA **Siedlungsabfall**) von Bedeutung.

Schlackedeponien (MVA-Schlacke):

Reine MVA-Schlacke- bzw. Aschedeponien wurden bisher kaum angelegt, und breitere Kenntnisse über das Langzeitverhalten der Entwässerungssysteme liegen noch nicht vor. Erste Untersuchungen wurden hierzu jedoch von **TURK et al., 1993** durchgeführt. Ihre Untersuchungen eines etwa 8 Jahre alten Schüttfeldes für ein Schlacke/Flugasche-Gemisch ergaben die folgenden Ergebnisse:

- keine mikrobiologisch induzierten Inkrustationen
- sehr hohe Temperaturen im Deponiekörper (bis zu 90°C)
- sehr hohe Salzbelastungen des Sickerwassers
- teilweise erhebliche Salzablagerungen in den Entwässerungsrohren

Mit erheblichen Inkrustationsvorgängen auch in der Entwässerungsschicht, die jedoch im Unterschied zu Hausmülldeponien chemisch/physikalisch induziert sind, ist deshalb bei Ablagerungen von MVA-Schlacke zu rechnen. Da mit der Umsetzung der **TA Siedlungsabfall** künftig zunehmend die Anlage von MVA-Schlackedeponien erforderlich werden wird, ist die Erarbeitung von fundierten Vorgaben zum sachgerechten Aufbau der Entwässerungsschichten dieser Deponien erforderlich.

Derzeit können - auf der Basis der vorliegenden Kenntnisse - die folgenden Überlegungen angestellt werden:

- Eine direkte Ablagerung der relativ feinkörnigen MVA-Schlacke auf grobem Dränmaterial der Körnung 16/32 ist vermutlich nicht möglich, da die einzelnen Partikel infolge der fehlenden Aggregatstabilität im Unterschied zum Hausmüll nicht zusammenhaften.

- Die Anordnung eines Dränvlieses zwischen Entwässerungsschicht und Schlacke erscheint nicht sinnvoll, da sich bei den Untersuchungen von **RAMKE/BRUNE, 1990** für Hausmülldeponien zeigte, daß es bei feinen Vliesen bevorzugt zu einer flächigen Ausbildung einer Inkrustationszone oberhalb dieser vergleichsweise undurchlässigen Lage kommt. Mit dem gleichen Phänomen muß auch bei den Ausfällungsprozessen im Entwässerungssystem von Schlackedeponien gerechnet werden.
- Das grobe Dränmaterial der Körnung 16/32 mm sollte jedoch unbedingt beibehalten werden, da das Lösungs-/Fällungspotential der Sickerwässer von MVA-Schlacke-Deponien offensichtlich erheblich ist. Zur langfristigen Funktionsfähigkeit des Entwässerungssystems dieser Deponien sind deshalb grobe Dränmaterialien erforderlich.
- Zwei derzeit denkbare Lösungen, die jedoch praktisch zu erproben sind, bestehen nach Ansicht des Verfassers darin, entweder einen mineralischen Filter zwischen Entwässerungsschicht und der Schlacke einzubauen, oder aber ein grobes Geotextil zur Trennung von Entwässerungsschicht und MVA-Schlacke zu verwenden. In beiden Fällen müssen die Filterschichten so abgestimmt werden, daß die Durchlässigkeit und der Porenraum von der Schlacke über den Filter zur Entwässerungsschicht hin zunehmen.

2.3 Übersicht über derzeitige Anforderungen

Beim Entwurf der Entwässerungssysteme von Deponien sind derzeit die folgenden spezifischen Regelwerke zu berücksichtigen:

- **DIN 19667, 1991**
Dränung von Deponien
- **TA Abfall, 1991**
Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen Behandlung, Verbrennung und Ablagerung von besonders überwachungsbedürftigen Abfällen
- **TA Siedlungsabfall, 1993**
Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung von Siedlungsabfällen
- **GDA-Empfehlung E 2-14, 1993**
Entwurfsgrundsätze zu Basis-Entwässerungssystemen für Siedlungsabfälle

In der Tabelle 2.1 sind die Mindestanforderungen der einzelnen Richtlinien zusammengestellt, die nach einer gewissen Entwicklungsperiode Ende der achtziger Jahre mittlerweile relativ einheitlich formuliert wurden.

Die **DIN 19667, 1991** gilt in Verbindung mit der **DIN 19666** für Bemessung, Bauausführung und den Betrieb von Dränsystemen auf der Basisabdichtung von Deponien. Der Geltungsbereich der Norm reicht damit implizit von Deponien für besonders überwachungsbedürftige Abfälle über Siedlungsabfalldeponien bis hin zu Inertmaterial- und Erdaushubdeponien.

Als Regelfall wird bei der Gestaltung des Entwässerungssystems von einer flächigen Entwässerungsschicht mit profilierter Sohle und im Tiefpunkt angeordneten Entwässerungsrohren ausgegangen. Gleichzeitig werden das Quergefälle und der Abstand der Entwässerungsrohre festgelegt. Hierbei wird differenziert zwischen einem Entwässerungssystem mit dachförmig profilierter Sohle und einem hangparallel angelegten Entwässerungssystem. Es

wird einheitlich eine maximale Zulauflänge von 15 m vorgegeben. Daraus resultiert im ersten Fall ein maximaler Dränabstand von 30 m und im zweiten Fall ein Dränabstand von 15 m. Für die Entwässerungsschicht ist Rundkorn der Körnung 16/32 mm oder eine andere Korngruppe nach DIN 4226 T1 vorgeschrieben. Es wurden ferner Festlegungen getroffen hinsichtlich

- Rohrgeometrie und Wassereintrittsöffnungen
- Temperatur- und Langzeitverhalten
- chemischer und biochemischer Beanspruchung
- Standsicherheitsnachweisen und Gestaltung der Leitungszone

Ein Einstau von Sickerwasser in die Abfälle hinein wird als nicht zulässig erklärt. Für die hydraulische Bemessung ist ein maßgebliches Abflußereignis von 6 l/s*ha und eine Durchlässigkeit der Entwässerungsschicht von 10^{-3} m/s zugrunde zu legen. Eine hydraulische Bemessung ist jedoch nur gefordert, wenn von den Standardvorgaben abgewichen wird. So wird z.B. zugelassen, den Dränabstand bei einem größeren Quergefälle als dem geforderten Mindestgefälle zu vergrößern, wenn ein entsprechender Nachweis geführt wird. Dieser Nachweis der hydraulischen Gleichwertigkeit wird nicht näher definiert.

	DIN 19667 1991	TA Abfall 1991	TA Siedlungsabfall 1993
Auslegung / Anordnung der Entwässerungsrohre			
Nennweite	DN 250	DN 300	TA Abfall
Größe und Anzahl der Wassereintrittsöffnungen	Mindestanforderungen festgelegt	DIN 19667	DIN 19667
Haltungslänge	300 m	DIN 19667	DIN 19667
Längsgefälle	1,0 %	1,0 %	1,0 %
Querabstand	15 m (Hanglage) 30 m (Dachprofil)	DIN 19667	DIN 19667
Auslegung der Entwässerungsschicht			
Material (Körnung)	16/32 mm	16/32 mm	TA Abfall
Durchlässigkeit	10^{-3} m/s	10^{-3} m/s	10^{-3} m/s
Quergefälle	3,0 %	3,0 %	3,0 %
Höhe	300 mm	300 mm	300 mm

Tab. 2.1: Vergleich der Mindestanforderungen an die Gestaltung von Deponiebasisentwässerungssystemen

Im Rahmen der TA Abfall, 1991 werden die Anforderungen an die Deponiebasisabdichtungssysteme von Deponien für besonders überwachungsbedürftige Abfälle definiert. Im

einzelnen werden die folgenden Vorgaben gemacht, die weitgehend den Forderungen der **DIN 19667** gleichen:

- | | |
|--|---------------------|
| - Material der Entwässerungsschicht: | Rundkorn 16 - 32 mm |
| - Mindestdurchlässigkeit (langzeitig): | $\geq 10^{-3}$ m/s |
| - Dicke der Entwässerungsschicht : | ≥ 30 cm |
| - Quergefälle (nach Setzungsende): | $\geq 3,0$ % |
|
 | |
| - Durchmesser d. Entwässerungsröhre : | ≥ 300 mm |
| - Längsgefälle (nach Setzungsende): | $\geq 1,0$ % |

Wesentlich ist die Forderung, daß die Mindestdurchlässigkeit der Entwässerungsschicht langfristig einzuhalten ist. Zusätzlich zu den o.g. Regelungen wird auf die Beachtung der **DIN 19667** verwiesen. Ferner wird in der TA Abfall allgemein formuliert :

"... Von den Anforderungen ... an diese Deponieabdichtungssysteme kann abgewichen werden, wenn nachgewiesen wird, daß das Alternativsystem gleichwertig ist. " (Absatz 9.4.1.1)

In Verbindung mit der Forderung der **DIN 19667**, daß das Sickerwasser sich nicht bis in die Abfälle hinein aufstauen darf, ist damit grundsätzlich die Dimensionierung - d.h. hier die Berechnung der Abstände der Entwässerungsröhre - bzw. unter Beachtung der **DIN 19667** der Nachweis der Gleichwertigkeit möglich.

Die **TA Abfall** enthält allerdings ebenfalls keine Aussagen über anzuwendende Berechnungsverfahren oder erforderliche Sicherheiten.

Die Anforderungen an die Entwässerung von Siedlungsabfalldeponien (**TA Siedlungsabfall, 1993**) entsprechen sowohl für die Deponieklasse I als auch für die Deponieklasse II denen der **TA Abfall**. Direkt oder indirekt wird für mehrere Details neben den Regelungen der **TA Abfall** auf die Regelungen der **DIN 19667** verwiesen.

Die **GDA-Empfehlung E 2-14, 1993** enthält neben Angaben zur Beanspruchung des Entwässerungssystems Hinweise zu dessen konstruktiver Gestaltung. Die folgenden rechnerischen Nachweise werden gefordert:

- hydraulische Nachweise
- Nachweis der Setzungen und Verformungen
- Gleitsicherheitsnachweise
- Standsicherheitsnachweise für die Entwässerungsröhre

Auch hier wird dann ein hydraulischer Nachweis gefordert, wenn vom Regelentwässerungssystem abgewichen wird.

2.4 Standardentwässerungssystem

Die vorgenannten Anforderungen können in einem "Standard-Entwässerungssystem" zusammengefaßt werden, daß die Anforderungen der **TA Abfall**, der **TA Siedlungsabfall** und der **DIN 19667** berücksichtigt und wie es auch in der **GDA-Empfehlung E 2-14** dargestellt wurde.

Die einzelnen Entwurfsparameter werden wie folgt festgelegt:

- Dicke der Entwässerungsschicht : 30 cm
- Kornklasse (Einbau) : 16/32 mm
- Durchlässigkeitsbeiwert (langfristig) : 10^{-3} m/s

- Quergefälle : 3,0 ‰
- Längsgefälle : 1,0 ‰

- Abstand der Entwässerungsröhre (Dachprofil) : 30 m
- Haltungslänge (zwischen 2 Schächten) : 300 m

Dieses Entwässerungssystem entspricht dem aktuellen Stand der Richtlinien und Normen. Wenn Abweichungen von diesem System geplant werden, ist der Nachweis der Gleichwertigkeit zu führen (siehe TA Abfall oder DIN 19667).

Abgesehen von den konstruktiven Vorgaben wird in den zitierten Richtlinien und Normen generell die Forderung erhoben, daß das anfallende Sickerwasser sich nicht bis in die abgelagerten Abfälle hinein aufstauen darf. Mit welchen Eingangsparametern und Berechnungsverfahren diese Forderung überprüft werden kann, wird nicht dargestellt, die Anforderungen an den Nachweis der Gleichwertigkeit eines alternativen Entwässerungssystems werden nicht näher definiert, Bemessungskriterien fehlen.

Von **RAMKE, 1991** wurden deshalb für Siedlungsabfalldeponien Vorschläge für das Vorgehen bei der hydraulischen Beurteilung und Dimensionierung der Basisentwässerungssysteme erarbeitet. Entsprechend dem üblichen Vorgehen bei der Bemessung von Bauteilen waren die folgenden Punkte zu klären:

- Definition von Bemessungskriterien
- maßgeblicher Sickerwasseranfall
- Auswahl/Erarbeitung der Berechnungsverfahren
- Vorschlag zum Bemessungsverfahren

Die wesentlichen Elemente werden nachfolgend beschrieben, wobei der Schwerpunkt bei der hydraulischen Dimensionierung des Entwässerungssystems innerhalb des Ablagebereiches liegt, da die Dimensionierung der außerhalb des Deponiekörpers liegenden Sammelleitungen mit den üblichen Verfahren des Kanalbaues erfolgen kann.

3. Hydraulische Berechnung von Basisentwässerungssystemen

3.1 Bemessungskriterien

Die Formulierung der Bemessungskriterien erfolgt in den vorliegenden Regelwerken nur in allgemeiner Form, beispielsweise durch die Formulierung:

- Ein Einstau von Sickerwasser in die Abfälle hinein ist nicht zulässig (DIN 19667, 1991)

In Verbindung mit der geforderten bzw. gewählten Mindesthöhe der Entwässerungsschicht ergibt sich daraus als erstes Bemessungskriterium die Einhaltung der **maximal zulässigen Höhe des Sickerwasseraufstaus** auf der Deponiesohle bzw. in der Entwässerungsschicht.

Als weiteres Bemessungskriterium kann die **durchschnittliche Höhe des Sickerwasser-aufstaus** herangezogen werden. Administrative Vorstellungen liegen hierzu mit der Festlegung der langfristigen Wasserdurchlässigkeit und des Mindestgefälles indirekt vor (Standard-Entwässerungssystem), so daß mit diesem Kriterium die Wirksamkeit verschiedener Entwässerungssysteme verglichen werden kann.

Das direkte Kriterium zur Beurteilung der Barrierenwirkung (Sicherungswirkung) des Entwässerungs- und Dichtungssystems ist die **Emissionsrate** durch das Dichtungssystem. Neben konvektiven Transportprozessen - die im Zuge der hydraulischen Berechnung der Entwässerungssysteme direkt mitbehandelt werden können - spielen jedoch bei der Durchdringung der Basisabdichtungen noch Adsorptions- und Diffusionsprozesse eine Rolle.

Die unvermeidliche Emission durch eine mineralische Abdichtung infolge konvektiver Transportprozesse ist eine direkte Funktion des Wassereinstaus oberhalb der abdichtenden Schicht und kann deshalb unmittelbar in Zusammenhang mit der hydraulischen Berechnung des Entwässerungssystems ermittelt werden, während Adsorptions- und Diffusionsvorgänge mit den Strömungsgleichungen nicht beschrieben werden. Zwar wird sich in der Regel mit der Nutzung dieses Kriteriums keine wesentliche zusätzliche Information für die Beurteilung des Entwässerungssystems gewinnen lassen, durch die Berechnung der Emissionsrate bei mineralischen Abdichtungen kann die Einordnung und Wertung der Ergebnisse jedoch unter Umständen erleichtert werden. Die Hinzuziehung der - konvektiv bedingten - Emission durch eine mineralische Abdichtung als Bemessungskriterium bietet sich deshalb an.

Zusammengefaßt können die folgenden Bemessungskriterien zur Anwendung kommen:

- mittlerer Aufstau über der Sohle
- maximaler Aufstau über der Sohle
- unvermeidbare Emissionsrate bei mineralischer Abdichtung

3.2 Maßgeblicher Sickerwasseranfall

Bei den Überlegungen zum Sickerwasseranfall auf der Deponiebasis sind drei Fälle zu unterscheiden :

1. Betriebsbeginn - geringe Abfallüberdeckung

Bei fehlender oder nur geringer Abfallüberdeckung wird der Niederschlag praktisch unmittelbar an die Entwässerungsschicht abgegeben, da kein Rückhaltevolumen vorhanden ist. Die Niederschlagsintensität und -häufigkeit kann für diesen Fall analog dem Vorgehen in der Stadthydrologie angesetzt werden.

2. Betriebszustand - offene Abfallfläche

Die Sickerwasserbildung wird neben dem Niederschlag durch die Verdunstung von der offenen Abfalloberfläche beeinflusst, der Sickerwasseranfall an der Deponiebasis wird durch das Abfluß- und Rückhaltegeschehen im Abfallkörper bestimmt. Zusätzlich werden Konsolidations- und Umsetzungsprozesse für den Sickerwasseranfall bedeutsam.

3. Betriebsende - rekultivierte Deponie

Langfristig ist bei rekultivierten Deponien, deren Oberfläche weitgehend versiegelt wurde, nur noch mit Sickerwasseranfall aus Konsolidationsprozessen sowie der Abgabe gespeicherten Wassers infolge biologischen Abbaus der speichernden Feststoffmatrix zu rechnen. Der Sickerwasseranfall ist weitaus geringer als während des Deponiebetriebes.

Der **Betriebsbeginn** mit geringer Abfallüberdeckung ist hinsichtlich der Standsicherheit des Abfallkörpers wenig kritisch. Die Niederschlagsintensität und -häufigkeit können entsprechend den Ansätzen der Stadthydrologie angesetzt werden. Da die Bemessungsregen sehr kurz sind, empfiehlt sich eine instationäre Betrachtung bei der Bemessung des Entwässerungssystems.

Wie von **RAMKE, 1991** gezeigt wurde, kommt es infolge eines typischen Bemessungsregens 15-minütiger Dauer und einer Intensität von $100 \text{ l/s} \cdot \text{ha}$ zu einem Aufstau in der Entwässerungsschicht von lediglich einigen Zentimetern. Wenn von einer Durchlässigkeit des Dränmaterials von 10^{-3} m/s ausgegangen wird, klingt dieser Aufstau dann - in Abhängigkeit vom Quergefälle - im Laufe einiger Tage ab.

Für die Bemessung der Entwässerungsschicht sind diese intensiven, aber kurzen Niederschlagsereignisse deshalb in der Regel nicht von Bedeutung. Es ist jedoch zu prüfen, ob die übrigen Systemelemente - Entwässerungsrohre in der Deponie, die Sammelleitungen außerhalb des Deponiekörpers, Speicher- und Behandlungseinrichtungen sowie der Vorfluter auf diesen Sickerwasseranfall ausgelegt werden müssen. Hierbei sind die Folgen eines Sickerwasserrückstaus in den äußeren Sammelleitungen und den Schächten zu berücksichtigen. Gegebenenfalls ist durch geeignete betriebliche Maßnahmen sicherzustellen, daß der Sickerwasseranfall aus diesem Betriebszustand begrenzt wird.

Nach dem **Betriebsende** - nach der Rekultivierung - der Deponie wird sich die Sickerwassermenge in der Regel stark verringern, so daß dieser Betriebszustand für die Bemessung keine Bedeutung mehr hat.

Entscheidend für die Bemessung der Deponieentwässerungssysteme - und insbesondere des eigentlichen Entwässerungssystems unterhalb des Deponiekörpers - ist damit der Sickerwasseranfall während des Betriebs bei offenen Abfallflächen.

Da die Prognose des Sickerwasseranfalls an der Deponiebasis mit Niederschlags-Abfluß-Modellen nicht möglich ist, muß auf vorliegende Messungen zurückgegriffen werden. Die Auswertung der Klima- und Abflußdaten von 5 **Siedlungsabfalldeponien** durch **RAMKE, 1991** hat gezeigt, daß auch das kurzfristige Abflußverhalten entscheidend durch das Speicherverhalten der Deponien bestimmt wird. Langjährige Lysimeteruntersuchungen sowie die Auswertung der vorliegenden Deponie-Daten erlauben eine Einteilung des Abflußverhaltens in drei Gruppen :

- I. Freie Speicherkapazität
Ein Großteil des gebildeten Sickerwassers wird gespeichert, das Rückhaltevermögen ist hoch, der mittlere Abfluß niedrig, geringe Spitzenabflüsse
- II. Gesättigter Deponiekörper
Das klimatisch bedingt gebildete Sickerwasser wird annähernd als Abfluß abgegeben, der mittlere Abfluß entspricht dem Mittelwert der (an die Deponiebedingungen angepaßten) klimatischen Wasserbilanz, es können erhebliche Spitzen auftreten

III. Sickerwasserkreislaufführung

Übersättigter Abfallkörper bei wiederholter Rückführung des anfallenden Sickerwassers, hoher mittlerer Abfluß, sehr hohe Abflußspitzen

Für die jeweiligen Speicherzustände ergaben sich die folgenden Sickerwasserspenden (Werte einzelner Deponien, siehe RAMKE, 1991):

Unterschreitungs- häufigkeit %	Sickerwasserspende [mm/d]		
	I	II	III
50%	0,27	0,66	4,82
67%	0,41	0,94	5,77
90%	0,52	2,10	10,71
95%	0,54	3,20	13,46
99%	0,56	8,19	18,92

Diese Werte können als Anhaltspunkt für die Höhe der zu erwartenden Abflüsse dienen. Da die dieser Auswertung zugrunde liegenden Datenreihen relativ kurz sind und eine Prognose auf statistischer Basis zum einen deshalb und zum anderen wegen der Veränderung des Speicherhaltens nicht möglich ist, wurden von RAMKE, 1991 diese Werte direkt zur Beurteilung und Dimensionierung der Deponieentwässerungssysteme herangezogen.

Danach ist im Betriebszustand in Hinblick auf die Bemessung des Deponieentwässerungssystems der Abfluß bei gesättigten Deponiekörper (und offener Einbaufäche) maßgeblich. Es kann von den folgenden gerundeten Abflußwerten ausgegangen werden :

- durchschnittlicher Sickerwasseranfall (67% -Wert): 1 mm/d
- starker Sickerwasseranfall (99% - Wert): 10 mm/d
- Extremereignis (nach DIN 19667) : 50 mm/d

Die hydraulischen Berechnungen für Deponiebasientwässerungssysteme von Siedlungsabfalldeponien können in der Regel mit der Sickerwasserspende von 10 mm/d vorgenommen werden, da hiemit die meisten in der Betriebspraxis vorkommenden Fälle erfaßt sind. Durch den stationären Ansatz dieser Größe sind auch längere abflußreiche Perioden rechnerisch abgedeckt. Sonderfälle, wie beispielsweise ein übersättigter Abfallkörper bei wiederholter Rückführung des anfallenden Sickerwassers, werden durch das Abflußereignis von $6 \text{ l/s} \cdot \text{ha} = 50 \text{ mm/d}$ abgedeckt, das nach der DIN 19667 anzusetzen ist.

Da noch keine Erfahrungen mit dem Sickerwasseranfall von Inertdeponien (Deponieklasse I nach TA Siedlungsabfall) und Deponie für besonders überwachungsbedürftige Abfälle nach TA Abfall vorliegen, können die vorgenannten Werte gleichfalls eine Orientierung für den maßgebliche Sickerwasseranfall bieten. Es sei jedoch betont, daß die Anwendbarkeit dieser Daten sorgfältig zu prüfen ist.

3.3 Übersicht über mögliche Berechnungsverfahren

Die angewandten Berechnungsverfahren müssen eine quantitative Aussage darüber zulassen, ob die Bemessungskriterien erfüllt werden bzw. welche Größe der Bemessungsparameter bei vorgegebenen Eingangsparametern annimmt, um den Nachweis der Gleichwertigkeit zu erbringen.

Bei dem Abfluß des Sickerwassers in der Entwässerungsschicht handelt es sich um eine Filterströmung (siehe z.B. WONG, 1977, McBEAN et al., 1982 und McENROE, 1989), die grundsätzlich auf drei Arten betrachtet werden kann:

- ein- oder zweidimensional, horizontal-eben
- zweidimensional, vertikal-eben
- dreidimensional

Da es sich bei der Strömung in der Entwässerungsschicht um eine Strömung geringer Mächtigkeit bei großer flächiger Ausdehnung handelt, ist für die überwiegende Mehrzahl der Nachweise eine horizontal-ebene Betrachtung ausreichend, bei der die vertikale Komponente der Filterströmung vernachlässigt wird. In Sonderfällen (Eintritt in das Entwässerungsrohr, starke Sohneigungen, Entwässerung des Abfallkörpers) kann ein vertikal-ebener Schnitt des durchflossenen Bereichs erforderlich sein.

Die rechnerische Lösung der jeweiligen Differentialgleichungen der Filterströmung kann - für die vorgegebenden Randbedingungen - grundsätzlich auf mehrere Arten erfolgen:

- analytisch (explizit oder implizit)
- numerisch als Anfangswertproblem
- numerisch mit Finiten-Differenzen-Verfahren oder mit Finiten-Element-Methoden

Analytische Lösungen oder die relativ einfach zu handhabenden Anfangswert-Verfahren sind für die betrachteten Fragestellungen aus dem Bereich der Deponieentwässerung nur für eindimensionale horizontal-ebene Probleme möglich. Wenn eine zweidimensionale horizontal-ebene oder vertikal-ebene Betrachtung der Strömungsvorgänge notwendig wird, stehen keine analytischen Lösungen zur Verfügung, und es handelt sich ebenfalls nicht um einfach zu lösende Anfangswertprobleme.

Auch die analytische Lösung bzw. die numerische Behandlung horizontal-ebener Ansätze als Anfangswertproblem ist jedoch nur mit einer Reihe von Einschränkungen möglich, die über die prinzipiellen Voraussetzungen und Einschränkungen der horizontal-ebenen Betrachtung hinausreichen:

- grundsätzliche Beschränkung auf eindimensionale Probleme (Parallelströmung)
- homogene Durchlässigkeitseigenschaften, gleichmäßiger Sickerwasseranfall (Regelfall der möglichen Lösungen)
- stationäre Verhältnisse (instationäre Zustände können nur näherungsweise behandelt werden)

Trotz dieser Beschränkungen können mit den Verfahren zur Lösung als Anfangswertproblem eine Vielzahl der praxisrelevanten Probleme bearbeitet werden (RAMKE, 1991). Explizite analytische Lösungen sind dagegen - zusätzlich zu den oben genannten Voraussetzungen - nur bei ebener undurchlässiger Sohle möglich (Grundgleichungen der Grabenanströmung).

Im nachfolgenden Kapitel 3.4 wird die eindimensionale horizontal-ebene Berechnung des Basisentwässerungssystems demonstriert. Über den Bereich der mit diesem Ansatz lösba- ren Problemstellungen hinausgehende Bemessungsaufgaben werden in Kapitel 4.3 ange- sprochen.

3.4 Eindimensionale horizontal-ebene Berechnung

Die Abb. 3.1 zeigt die Definitionsskizze für den Abfluß auf geneigter, undurchlässiger Sohle.

Bei den folgenden Überlegungen wird unterstellt, daß der Zufluß "von rechts" gleich Null ist. Diese Bedingung ist sowohl für eine horizontale Spiegellinie als auch für einen Aufstau von Null am rechten Rand erfüllt. Damit können die Fälle 2 und 3 bearbeitet werden, die hinsichtlich der Überlegungen zur Deponieentwässerung im Vordergrund stehen. Das Vorgehen für den Fall 1 -Scheitelpunkt zwischen den Dränen- wird bei **RAMKE, 1991** erläutert. Dieser Fall kann bei der Anlage einer Deponie am Hang auftreten.

Mit der Randbedingung 2. Art ($dh/dx = 0$) am oberen Rand und der erforderlichen Randbedingung 1. Art am unteren Drän kann die allgemeine Differentialgleichung für den stationären Zustand (Gl. 3.1) gelöst werden. Nach einmaliger Integration ergibt sich:

$$\frac{\partial h}{\partial x} = \frac{v_n}{k_x} \cdot \frac{(l_s - x)}{(h - x \cdot \tan \alpha)} \quad (3.2)$$

mit l_s = (maximale) Zulaufstrecke zum Drän [m]

Dies ist die Ausgangsgleichung für die meisten Betrachtungen zum Sickerwasserabfluß auf geneigter Sohle. Bei den Lösungsmöglichkeiten ist grundsätzlich zu differenzieren in

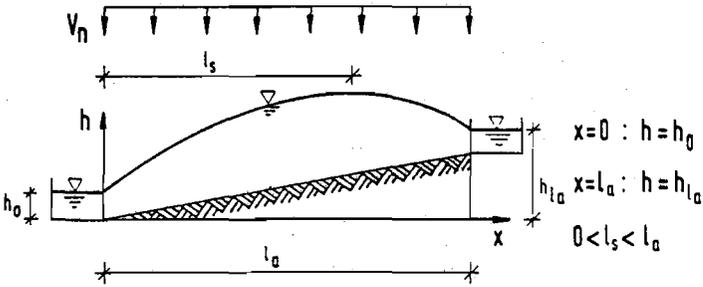
- Lösungen zur Bestimmung des maximalen Sickerwasseraufstaus
- Lösungen zur Bestimmung der vollständigen Spiegellinie

Die Lösungen zur Bestimmung der Spiegellinie unterscheiden sich wiederum in der abhängigen Variable. Es sind zwei Ansätze möglich:

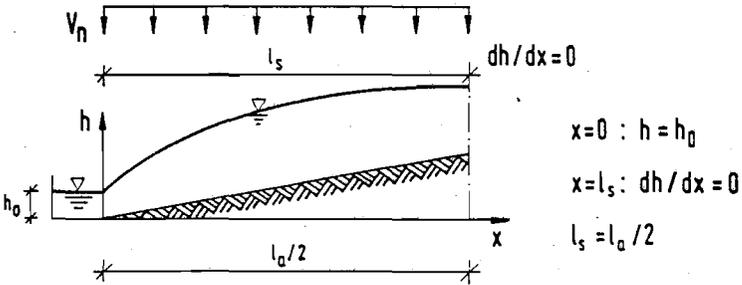
- Bestimmung der Standrohrspiegelhöhe
- Bestimmung des Aufstauverlaufs

Von **RAMKE, 1991** wurden die bestehenden Lösungen und Lösungsmöglichkeiten ausführlich untersucht. Explizite Möglichkeiten zur Berechnung des maximalen Sickerwasseraufstaus bestehen nicht, eine häufig zitierte Gleichung für Deponieentwässerungssysteme (**MOORE, 1980**) führt zu unrichtigen Ergebnissen.

Fall 1:



Fall 2:



Fall 3:

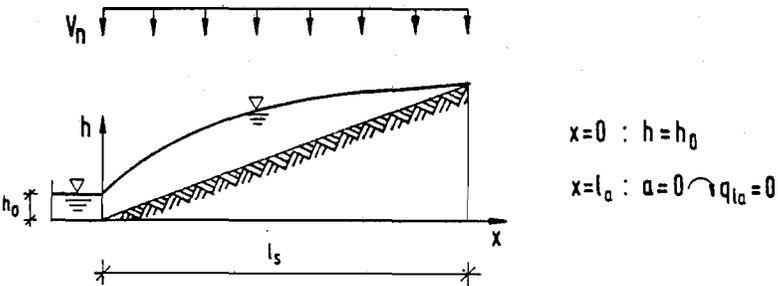


Abb. 3.2: Abfluß auf geneigter, undurchlässiger Sohle - Ansatz der Randbedingungen

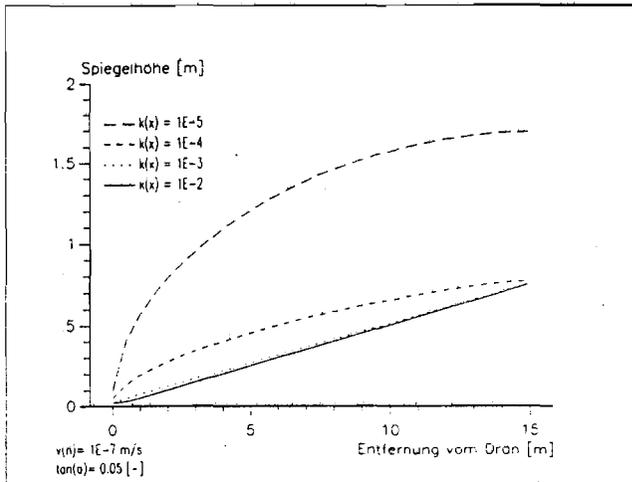
Die Gleichungen für den Verlauf der Spiegellinie bzw. den Aufstau über der Sohle können gleichfalls nicht explizit analytisch gelöst werden. Die vorgeschlagenen impliziten Lösungen sind iterativ zu lösen, allerdings sind die resultierenden Gleichungen relativ unhandlich und zeigen ein problematisches Iterationsverhalten.

Es wird deshalb empfohlen, die Gleichung 3.2 numerisch als Anfangswertproblem zu lösen. Hierzu kann beispielsweise das einfach zu programmierende Verfahren nach RUNGE/KUTTA angewandt werden, daß u.a. bei BECKER et al., 1985 erläutert wird. RAMKE, 1991 gibt Empfehlungen über die Handhabung bei der Lösung der obigen Gleichung.

In der Abb. 3.3 werden die Verläufe der Spiegelhöhe und des Aufstaus über der Sohle eines dachförmig profilierten Entwässerungssystems für verschiedene Durchlässigkeitswerte des Materials der Entwässerungsschicht dargestellt. Einheitlich wurde dabei von einem Aufstau am Drän von 1 cm ausgegangen (Randbedingung 1. Art). Zur Diskussion der anzusetzenden Randbedingungen sei auf RAMKE, 1991 verwiesen.

Die erwartungsgemäß hohe Empfindlichkeit des Systems gegenüber der Durchlässigkeit der Entwässerungsschicht wird sichtbar. Während bei Durchlässigkeiten von 10^{-2} bis 10^{-3} m/s der Aufstau im Millimeter- bzw. Zentimeterbereich liegt, erreicht der Aufstau für den untersuchten Fall (etwa 10 mm Sickerwasser pro Tag, Quergefälle 5 %) bei einer Verringerung der Durchlässigkeit auf 10^{-4} m/s das Niveau der Höhe der Entwässerungsschicht. Bei einer Verringerung der Durchlässigkeit auf 10^{-5} m/ (beispielsweise infolge von Inkrustationsvorgängen) würde der Sickerwasseraufstau bis weit in die Abfälle hinein erfolgen.

Teil I : Verlauf der Spiegellinie



Teil 2 : Aufstau über der Sohle

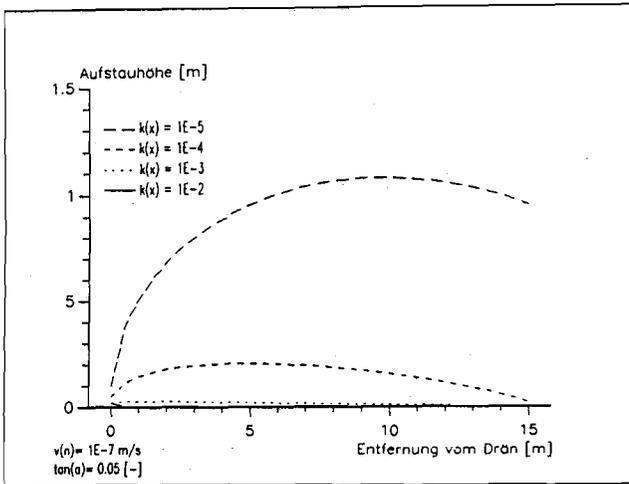


Abb. 3.3: Abfluß auf geneigter, undurchlässiger Sohle
- Verlauf der Spiegellinie und des Aufstaus über der Sohle

4. Berechnungsbeispiele

4.1 Hydraulische Bemessung des Standardentwässerungssystems

Bei der Berechnung des Standardentwässerungssystems wurde für die einzelnen Entwurfsparameter von den Festlegungen in Kapitel 2.4 ausgegangen. Als Randbedingung am Drän wurde eine RB 1.Art in Höhe von 1,0 cm angesetzt. Die Berechnung erfolgte eindimensional horizontal-eben mit dem Ansatz nach RUNGE/KUTTA.

Bei der Auswertung wurden von **RAMKE, 1991** die Bemessungskriterien

- maximaler Sickerwasseraufstau
- durchschnittlicher Sickerwasseraufstau
- durchschnittliche Emissionsrate

berechnet. Zur Ermittlung der Emissionsrate wurden die folgenden Annahmen zugrundegelegt:

- Durchlässigkeitsbeiwert $k_z = 10^{-9} \text{ m/s}$
- Stärke der Dichtungsschicht $d = 1,0 \text{ m}$

Hierbei wurde - im Unterschied zu der aktuellen Entwicklung - eine rein mineralische Abdichtung ohne Kunststoffdichtungsbahn unterstellt, um die Emissionsrate berechnen zu können.

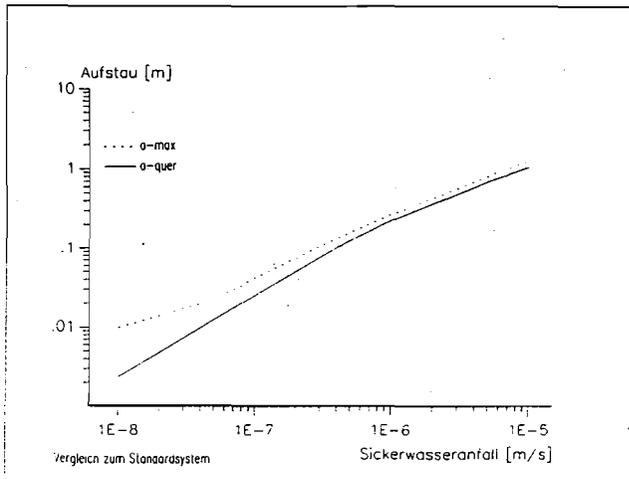
In der Abb. 4.1 sind die Auswirkungen des homogenen Sickerwasseranfalls auf den Aufstau auf der Deponiesohle für das Standardentwässerungssystem bei stationären Verhältnissen dargestellt. Analog der Wirkung des Durchlässigkeitsbeiwertes ist die Höhe des Sickerwasseranfalls eine dominierende Einflußgröße für den Sickerwasseraufstau.

Für das Standardereignis von $10 \text{ mm/d} = 1,16 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ ergibt sich im Standardsystem ein durchschnittlicher Aufstau von 2,9 cm und ein maximaler Aufstau von 4,7 cm. Das angesetzte Extremereignis von $50 \text{ mm/d} = 6 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ führt zu einem Aufstau von 14,5 cm im Mittel und von 18,1 cm für das Maximum. Der Sickerwasseraufstau liegt damit bereits im Dezimeterbereich. Unterhalb eines Sickerwasseranfalls von $5 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ ist der mittlere Aufstau im Standardsystem geringer als ein Zentimeter.

Die normierte Darstellung zeigt die relativ geringe Aussagefähigkeit der Emissionsrate für die Beurteilung eines Entwässerungssystems. Auch bei maximalen Niederschlagsereignissen steigt die Emissionsrate nur auf das doppelte des Standardwertes an. Die Relativwerte für den mittleren und maximalen Aufstau entsprechen dagegen dem Verlauf der Absolutdarstellung und zeigen den dominierenden Einfluß des Sickerwasseranfalls auf die Höhe des Aufstaues.

Für das Vorgehen bei der Bemessung ist interessant, daß die Wirkung von Extremereignissen im Betriebszustand - d.h. bei ausreichender Abfallüberdeckung - für den untersuchten Bereich der Entwurfparameter nicht instationär verfolgt werden muß, da auch Extremereignisse bis zu 50 mm/d bei stationärer Betrachtung - und damit einem postulierten permanenten Anfall - nicht zu einem Aufstau bis in die Abfälle hinein führen.

Teil I : Absolute Höhe des Wasseraufstaues



Teil 2 : Relative Höhe des Wasseraufstaus

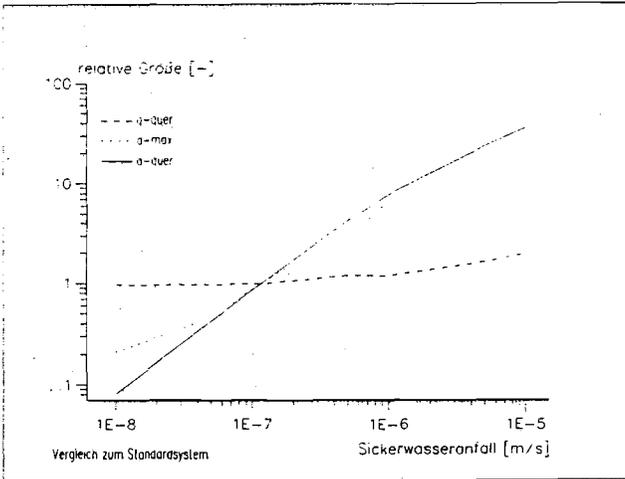


Abb. 4.1: Einfluß des Sickerwasseranfalls auf den Aufstau im Standardentwässerungssystem

4.2 Einfluß verschiedener Entwurfsparameter

Im Vergleich zum Standardsystem wurden von **RAMKE, 1991** die Entwurfsparameter Quer-gefälle, Dränabstand (Dachprofil) und Durchlässigkeitsbeiwert variiert. Es wurde einheitlich der Standardsickerwassertanfall von $10\text{mm/d} = 1,16 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}$ angesetzt.

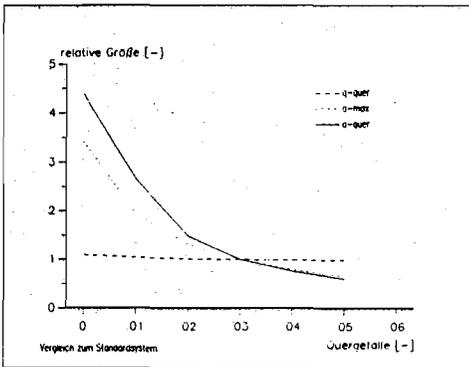
Die Ergebnisse der Berechnungen sind in der **Abb. 4.2, Teil 1 -Teil 3**, zusammengestellt. In jeder Grafik ist der Verlauf der drei normierten Bemessungskriterien (Bezug auf das Standardentwässerungssystem) über dem jeweiligen Entwurfsparameter aufgetragen. Es wird deutlich, daß die Aussagefähigkeit der durchschnittlichen Emissionsrate für die Beurteilung des Entwässerungssystems am schlechtesten ist, da die relative Veränderung am geringsten ausfällt. Die Ursache liegt in der geringen Veränderung des vertikalen Gradienten, die eine Folge des im Verhältnis zur Schichtmächtigkeit der gesättigten Dichtung nur geringen Sickerwasseraufstaus ist.

Wesentlich sensibler ist die Betrachtung des Sickerwasseraufstaus. Deutliche Unterschiede zwischen dem maximalen und dem durchschnittlichen Sickerwasseraufstau sind hierbei nicht festzustellen. Bei hohen Durchlässigkeitsbeiwerten stellt die Randbedingung am Drän jedoch den höchsten Aufstau über der Sohle dar und der Bemessungsparameter "maximaler Sickerwasseraufstau" verändert sich in Abhängigkeit vom Entwurfsparameter nicht mehr, womit für diese Bereiche der mittlere Sickerwasseraufstau das sensitivere Kriterium wäre. Allerdings ist die Betrachtung des Abflusses als Filterströmung in diesen Bereichen nur noch eingeschränkt möglich (siehe **RAMKE, 1991**).

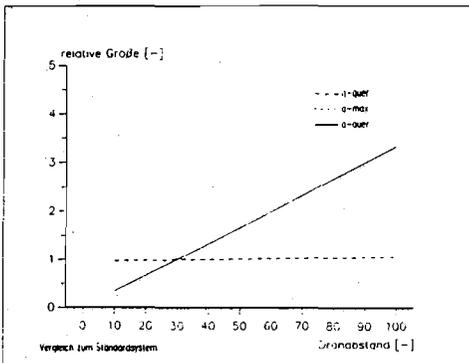
Mit zunehmendem Quergefälle nimmt der Sickerwasseraufstau im Entwässerungssystem zwar ständig ab, die größte Wirkung ist jedoch mit Quergefällen bis etwa 3 % zu erzielen (Abb. 4.2, Teil 1). Der durchschnittliche Austau verringert sich für ein Quergefälle von 3 % im Vergleich zur horizontalen Sohle um etwa 77 %, während eine weitere Anhebung des Quergefälles auf beispielsweise 5 % lediglich eine Verringerung des Aufstaus von weiteren 10 % - bezogen auf die Ausgangshöhe - bewirkt. Ein Quergefälle zwischen 2-3 % stellt insofern ein Optimum dar.

Der Dränabstand (bzw. hier die Zuflußlänge) beeinflusst sowohl den maximalen als auch den durchschnittlichen Sickerwasseraufstau linear (Abb. 4.2, Teil 2). Dies erklärt sich auch anschaulich durch die Vorstellung, daß sich das Abflußprofil bei gleichem Quergefälle und gleichem Sickerwasseranfall für unterschiedliche Dränabstände immer geometrisch ähnlich einstellt.

Der dominierende Einfluß des Durchlässigkeitsbeiwertes auf den Aufstau wird durch die Abb. 4.2, Teil 3 verdeutlicht. Eine Verringerung des Durchlässigkeitsbeiwertes von 10^{-3} m/s auf 10^{-4} m/s bewirkt etwa eine Verzehnfachung des durchschnittlichen Aufstaus auf der Sohle, eine weitere Verringerung der Durchlässigkeit auf 10^{-5} m/s hat einen Anstieg des maximalen Wasseraufstaus im Standardsystem auf etwa 1,30 m zur Folge. Dies veranschaulicht die Bedeutung des langfristigen Erhaltes der guten Wasserdurchlässigkeit der Entwässerungsschicht.



Teil 1: Einfluß des Quergefälles



Teil 2: Einfluß des Dränabstandes

Teil 3 : Einfluß der hydraulischen Leitfähigkeit der Dränschicht

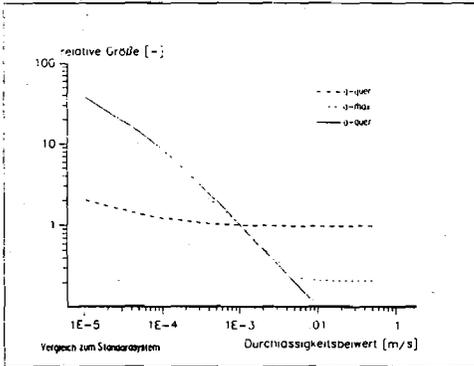


Abb. 4.2: Einfluß der Entwurfsparameter auf die Bemessungskriterien in Relation zum Standardsystem

4.3 Weitergehende Berechnungsverfahren

In der Abb. 4.3 wird eine Übersicht über die verschiedenen Deponieentwässerungssysteme und die bei homogenem Sickerwasseranfall erforderlichen Berechnungsverfahren gegeben. Die folgenden Unterscheidungen können getroffen werden :

- **Standardsystem** : eindimensionaler Abfluß auf geneigter Sohle
Das Standardsystem kann bei homogenem Sickerwasseranfall eindimensional unter Berücksichtigung der DUPUIT-Annahmen (horizontal-eben) berechnet werden. Bei stationärer Betrachtung ist eine Lösung als Anfangswertproblem nach RUNGE/KUTTA möglich.
- **Anordnung der Entwässerungsschicht auf einer Schutzschicht**
Bei einer Schutzschicht unter der Entwässerungsschicht sind zwei Berechnungsverfahren möglich : eine zweidimensionale, vertikal-ebene Betrachtung oder eine eindimensionale, horizontal-ebene Lösung nach RUNGE/KUTTA mit iterativer Berechnung des aktuellen, über die durchströmte Mächtigkeit gemittelten k_r -Wertes.
- **Änderung der hydraulischen Leitfähigkeit in Fließrichtung**
Bei einer in Fließrichtung veränderlichen Wasserdurchlässigkeit des Dränmaterials, wie beispielsweise bei einer Dränrohrumhüllung aus grobem und einer Entwässerungsschicht aus feinkörnigem Dränmaterial, ist eine eindimensionale horizontal-ebene Lösung möglich. Während die numerische Behandlung durch den Ansatz unterschiedlicher Durchlässigkeitsbereiche problemlos ist, muß die quasi-analytische Lösung nach RUNGE/KUTTA um eine Abfrage zur Bestimmung des aktuellen Durchlässigkeitsbeiwertes erweitert werden. Die Randbedingung am Drän kann entsprechend dem Standardsystem angesetzt werden.
- **Rigolenlösung**
Bei einer Rigolenlösung - in eine feinkörnige Entwässerungsschicht integrierte Dränstränge aus Grobschotter, die in spitzem bis rechtem Winkel auf die Entwässerungsrohre treffen - ist nur eine zweidimensionale, horizontal-ebene numerische Betrachtung möglich. Für die Leitungszone gelten die Überlegungen für das horizontal- geschichtete Entwässerungssystem.

Hinweise zum Vorgehen bei der Berechnung dieser Systeme und Beispiele gibt RAMKE, 1991. Dort werden auch die folgenden Sonderfälle und Detailfragen diskutiert:

- Berücksichtigung des Längsgefälles
- Berechnung stark geneigter Flächen
- Simulation bevorzugter Fließwege
- Berechnung bei instationärem Sickerwasseranfall
- Simulation der Folgen von Inkrustationen
- Strömungen auf schwachdurchlässiger Sohle

Bezeichnung	Standardsystem	Entwässerungssystem auf Sohlschicht	Entwässerungssystem mit dickerer Drimschicht	Rigolenlösung
Rohr/Abdichtung	Kies 16 - 32 mm Kies 16 - 32 mm	ϕ es 16 - 32 mm ϕ ies 16 - 32 mm Brechstaus 0 - 8 mm	Kies 16 - 32 mm Felsmaterial	Altes 15 - 17 mm Felm Material
Schuttschicht				
Skizze				
Randbedingungen am Dam	Schnitt Leittongestein $h_0 \geq 1 \text{ m}$	Schnitt Leittongestein abhängig von der Auszubildung der Leittongesteine	Schnitt Leittongestein $h_0 \geq 1 \text{ m}$	Auflage-Entwässerungsschicht $h_0 \geq 1 \text{ m}$
Berechnungsverfahren (homog. Sickerwasseranfall)	1d - horizontal eben, nach RUNGE/KUTTA	1d - horizontal eben, iterative Bestimmung des K_{1d} -Wertes 2d - vertikal eben	1d - horizontal eben, nach RUNGE/KUTTA oder mit FEM/FID, mit 2 k_{1d} -Werten	1d - horizontal eben, mit FEM/FID
Detailuntersuchungen	Auslösung einer Sickerflut	Randbedingungen bei abgeleiteter Leittongesteine	Übergang vom Fels zum Grobmaterial	

Abb. 4.3: Gestaltungsmöglichkeiten von Basisentwässerungssystemen - Ansatz der Randbedingungen und Wahl der Berechnungsverfahren

5. Zusammenfassung

Mit der Einführung der TA Abfall, der TA Siedlungsabfall sowie der DIN 19667 können die folgenden Entwurfsparameter für das Standardsystem einer Basisentwässerung von Deponien festgelegt werden :

- Höhe der Entwässerungsschicht: 30 cm
- Kornklasse (Einbau): 16/32 mm
- Durchlässigkeitsbeiwert (langfristig): 10^{-3} m/s

- Quergefälle: 3,0 %
- Längsgefälle : 1,0 %

- Abstand der Entwässerungsrohre: 30 m
- Haltungslänge (zwischen 2 Schächten) : 300 m

Ein hydraulischer Nachweis für ein so ausgelegtes Entwässerungssystem ist im eigentlichen Ablagerungsbereich in der Regel nicht erforderlich. Die aus Messungen auf Tagesbasis an Hausmülldeponien abgeleitete maßgebliche Sickerwasserspende von 10 mm/d führt bei stationärer Betrachtung bei Ansatz des langfristig einzuhaltenden Durchlässigkeitsbeiwertes zu einem mittleren Aufstau im Standardentwässerungssystem von ca. 3 cm und einem maximalen Aufstau von ca. 5 cm. Die in der DIN 19667 angesetzte Sickerwasserspende von ca. 50 mm/d ergibt bei stationärer Berechnung einen Aufstau von etwa 15 bzw. 18 cm im Standardentwässerungssystem. Die Entwässerungsschicht ist damit ausreichend stark dimensioniert, um auch unter den angenommenen extremen Bedingungen einen Anstieg des Sickerwassers bis in die Abfälle hinein auszuschließen.

Wird eine von den Richtlinien abweichende Gestaltung des Entwässerungssystems geplant, muß der Nachweis geführt werden, daß dieses System dem „Standardentwässerungssystem“ gleichwertig ist. Als Bemessungskriterien sind der "mittlere Aufstau" und der "maximale Aufstau" im betrachteten System zu ermitteln und mit den entsprechenden Werten für das Standardsystem zu vergleichen.

Der Sickerwasserabfluß in der Entwässerungsschicht kann als Filterströmung beschrieben werden, deren Grundgleichungen aus der Grundwasserhydraulik bekannt sind. Analytische Lösungen existieren jedoch nur für eindimensionale Strömungsvorgänge mit einfachen Randbedingungen. Der Abfluß auf geneigter Sohle, wie er im Fall der Deponieentwässerung vorliegt, kann nicht mehr unmittelbar mit expliziten analytischen Lösungen behandelt werden.

Bei homogenem Sickerwasseranfall kann die Berechnung des Abflusses in der Entwässerungsschicht immer dann eindimensional, horizontal- eben erfolgen, wenn eine Parallelströmung vorliegt, wie dies unter den angesetzten Sickerwasserspenden im Standardentwässerungssystem der Fall ist. Die Berechnung dieses Abflusses auf geneigter Sohle (undurchlässig und schwach durchlässig) ist dann als Anfangswertproblem z.B. nach RUNGE/KUTTA möglich.

Eine Betrachtung als Parallelströmung ist ausreichend, solange die Systemgeometrie oder der maßgebliche Sickerwasseranfall nicht wesentlich von den Standardbedingungen abweichen. Bei größeren Veränderungen, komplizierterer Geometrie oder ausgeprägt zweidimensionalen Abflußvorgängen, wie sie z.B. bei der Anordnung von Rigolen in einer feinkörnigen Dränschicht auftreten, sind weitergehende numerische Berechnungsverfahren notwendig.

Literaturverzeichnis

- BECKER, J.; DREYER, H.-J.; HAACKE, W.; NABERT, R., 1985:
Numerische Mathematik für Ingenieure
Teubner Verlag, Stuttgart
- McBEAN, E.A.; POLAND, R.; ROVERS, F.A.; CRUTCHER, A.J., 1982:
Leachate Collection Design for Containment Landfills
Journal of the Environmental Engineering Division, ASCE, No. EE 1
- McENROE, B., 1989 : Hydraulics of Leachate Collection and Cover Drainage
Landfill Concepts, Environmental Aspects, Lining Technology,
Leachate Management, Industrial Waste and Combustion Residues Disposal
2nd International Symposium, Porto Conte ISWA - Italian Section, Milano
Academic Press, London, San Diego
- MOORE, C.A., 1980: Landfill and Surface Impoundment Performance Evaluation Manual
United States Environmental Protection Agency
Office of Water and Waste Management, Washington DC
EPA/560/SW-869c
- 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.; BRUNE, M., 1990: Untersuchungen zur Funktionsfähigkeit von
Entwässerungsschichten in Deponiebasisabdichtungssystemen, Abschlußbericht
Bundesminister für Forschung und Technologie, FKZ BMFT 14504573
- RAMKE, H.-G.; COLLINS, H.-J., 1989 : Untersuchung des Entwässerungssystems
der Mülldeponie Schwäbisch Hall,
Gutachten des Leichtweiß-Institutes für Wasserbau der TU Braunschweig,
unveröffentlicht
Landkreis Schwäbisch Hall
- TURK, M.; WITTMAYER, M.; COLLINS, H.-J.; HARBORTH, P.; HANERT, H.H., 1993:
Inkrustationen (feste biogene Ablagerungen) im Entwässerungssystem von Depo-
nien - Erhaltung der Funktionsfähigkeit und Untersuchungen an Klärschlamm- und
MVA-Schlacke/Aschedeponien
Fortschritte der Deponietechnik 93, Fachtagung, September 1993
Haus der Technik, Essen
- WONG, J., 1977 : The Design of a System for Collecting Leachate from a
Lined Landfill Site
Water Resources Research, Vol.13, No.2

Verzeichnis der Richtlinien

DIN 19667, 1991: Dränung von Deponien

Technische Regeln für Bemessung, Bauausführung und Betrieb

GDA-Empfehlung E 2-14, 1993: Entwurfsgrundsätze zu Basis-Entwässerungssystemen für Siedlungsabfalldeponien (Entwurf)

Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten (GDA)"

Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau (DGEG)

Verlag Ernst & Sohn, Berlin

TA Abfall, 1991: Zweite Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz

Technische Anleitung zur Lagerung, chemisch/physikalischen, biologischen

Behandlung, verbrennung und Ablagerung von besonders

überwachungsbedürftigen Abfällen

12. März 1991, GMBI. S. 139

TA Siedlungsabfall, 1993: Dritte Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz

Technische Anleitung zur Verwertung, Behandlung und sonstigen Entsorgung

von Siedlungsabfällen

14. Mai 1993, BAnz. Nr. 99a

Seit 1. April 1994 sind bisher folgende „Materialien“ des Landesumweltamtes NRW erschienen:

- | | | |
|----|---|----------|
| 1 | Der Dynamische Daphnientest
– Erfahrungen und praktische Hinweise –
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 44 S. | 15,00 DM |
| 2 | Umsetzung der TA-Siedlungsabfall bei Deponien
2. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 99 S. | 15,00 DM |
| 3 | Verwertung von Elektro- und Elektronikgeräten
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 153 S. | 20,00 DM |
| 4 | Einsatz alternativer Baustoffe in Abdichtungssystemen
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 91 S. | 15,00 DM |
| 5 | Einwicklung im Bereich der Sonderabfallentsorgung
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 39 S. | 15,00 DM |
| 6 | Ökologische Auswirkungen von Fischteichen auf Fließgewässer
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 208 S. | 25,00 DM |
| 7 | Ökologische Effizienz von Renaturierungsmaßnahmen an Fließgewässern
Essen: Landesumweltamt NRW 1994, 462 S. | 28,00 DM |
| 8 | Vermeidung von Bunkerbränden in Abfallverbrennungsanlagen mit Hilfe
der Infrarot-Thermographie
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 53 S. | 15,00 DM |
| 9 | Prozeßleittechnik in Anlagen der chemischen Industrie –
Anlagenschutz und sicherheitsrelevante Komponenten
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 119 S. | 20,00 DM |
| 10 | Sicherheitstechnische Hinweise und Anforderungen an Abschott- und
Entlastungssysteme aus der Sicht der Störfall-Verordnung
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 40 S. | 15,00 DM |
| 11 | Literaturstudien zum PCDD/F-Transfer vom Boden in die Nahrungskette
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 149 S. | 25,00 DM |
| 12 | Die verlust- und kontaminationsfreie Probenahme und -vorbereitung
von Wässern und Feststoffen
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 203 S. | 28,00 DM |
| 13 | Essener Verfahren zur Bewertung von Altlastenverdachtsflächen
– Erstbewertung und normierte Charakterisierung –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 66 S. | 15,00 DM |
| 14 | Optimierung der thermischen Behandlung organischer chlorhaltiger
Problemabfälle
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 132 S. | 25,00 DM |
| 15 | Entsorgungsbericht 1993 über Sonder- und Massenabfälle in NRW
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 75 S. | 20,00 DM |

Vertrieb: Landesumweltamt NRW • Postfach 102 363 • 45023 Essen

- | | | |
|----|--|----------|
| 16 | Begleitende meßtechnische Erfolgskontrolle bei der Sanierung einer Textilreinigungsanlage
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 60 S. | 15,00 DM |
| 17 | Ausgewählte Untersuchungsergebnisse der halbtechnischen Versuchskläranlage
– Untersuchungen zur Stickstoffelimination –
– Praxiserprobung von Online-Meßtechnik –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 110 S. | 20,00 DM |
| 18 | Vergleich verschiedener europäischer Untersuchungs- und Bewertungsmethoden für Fließgewässer
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 140 S. | 25,00 DM |
| 19 | Zielvorgaben zum Schutz oberirdischer Binnengewässer vor gefährlichen Stoffen
– Ergebnisse der Erprobung in NRW –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 150 S. | 25,00 DM |
| 20 | Information und Dokumentation bei Deponien
4. Abfallwirtschaftliches Fachgespräch, 26. Oktober 1994
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 98 S. | 20,00 DM |
| 21 | Ausbreitungsuntersuchungen von Gerüchen anhand einer Modellquelle
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 57 S. | 15,00 DM |
| 22 | Erschütterungen und Körperschall des landgebundenen Verkehrs
– Prognose und Schutzmaßnahmen –
Essen: Landesumweltamt NRW 1995, 658 S. | 40,00 DM |
| 23 | Naturraumspezifische Leitbilder für kleine und mittelgroße Fließgewässer in der freien Landschaft
Eine vorläufige Zusammenstellung von Referenzbach- und Leitbildbeschreibungen für die Durchführung von Gewässerstrukturgütekartierungen in Nordrhein-Westfalen
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 127 S. | 25,00 DM |
| 24 | Siedlungsabfalldeponien – Oberflächenabdichtung und Sickerwasser
Essen: Landesumweltamt NRW 1996, 162 S. | 25,00 DM |

Vertrieb: Landesumweltamt NRW • Postfach 102 363 • 45023 Essen
