

Mitt. österr. geol. Ges.	79 (1986) Umweltgeologie- Band	S. 213–283 49 Abb., 3 Tab.	Wien, Dezember 1986
--------------------------	--------------------------------------	-------------------------------	---------------------

Die geordnete Mülldeponie – eine Illusion?

Planung, Errichtung und Rekultivierung bzw. Sanierung von Deponien aus der Sicht des Geologen

Von Christian MILOTA *)

Mit 49 Abbildungen und 3 Tabellen

Inhalt

Zusammenfassung/Summary	214
Einführung	214
Allgemeines	218
1. Planung von geordneten Deponien / Standortwahl	221
1.1. Der Standort ist vorgegeben	221
1.2. Der Standort wurde noch nicht fixiert	221
1.2.1. Verkehrstechnische Überlegungen	221
1.2.2. Raumordnung	221
1.2.3. Meteorologische Verhältnisse	222
1.2.4. Abzulagernde Stoffe	222
1.2.5. Deponiekonzept/Deponiepraktiken	222
1.2.6. Morphologie	224
1.2.7. Untergrundbeschaffenheit	224
1.2.7.1. Feldgeologische Untersuchungen	224
1.2.7.2. Bodenmechanische Untersuchungen	225
1.2.7.3. Bodenchemische Untersuchungen	231
1.2.7.4. Gefügekundlich-mineralogische Untersuchungen	233
2. Errichtung von geordneten Deponien / Abdichtungsmaßnahmen	233
2.1. Basis- und Flankenabdichtungssysteme	234
2.1.1. Gewachsener Untergrund	234
2.1.2. Dichtungsschicht	234
2.1.2.1. Natürliche Materialien	237
2.1.2.2. Künstliche Materialien	242
2.1.2.3. Mehrfachabdichtungen	251
2.1.3. Drainagesystem	255
2.1.3.1. Sickerwasser	261
2.1.3.2. Deponiegas	267
2.1.4. Schutzschicht	269
2.2. Einbau von Müll / Standsicherheit von Deponien / Setzungen	269
3. Abschluß und Rekultivierung geordneter Deponien	271
3.1. Abschluß von geordneten Deponien / Oberflächenabdichtungen	271

*) Adresse des Verfassers: Dr. MILOTA Christian, Büro f. Baugologie Dr. W. NOWY, 3400 Klosterneuburg, Max-Kahrer-Gasse 25.

4. Sanierung von Altlasten	274
4.1. Umschließen mit Senkrechtabdichtungen	275
4.2. Nachträglicher Einbau von Basisabdichtungen	278
5. Schlußbemerkung	280
6. Literaturverzeichnis	181

Zusammenfassung

Steigende Abfallmengen und immer größer werdende Zahlen von sogenannten Problemstoffen, die eine potentielle Gefahr für Lithosphäre, Atmosphäre und letztlich auch für den Menschen darstellen, unterstreichen die Forderung, zukünftige Abfallablagerungen in Form von „geordneten Deponien“ anzulegen. Die damit verbundenen Maßnahmen ermöglichen die Reduzierung bzw. das Ausschalten von auftretenden Umweltbelastungen. Zur Errichtung dieser umweltschonenden Abfalldeponien ist eine Kooperation unterschiedlichster Fachrichtungen, nicht zuletzt auch die Mitarbeit von Geologen, erforderlich.

Die breit gestreuten Einsatzmöglichkeiten des Geologen werden erläutert. Besonders eingegangen wird auf Rekultivierungs- und Sanierungsmaßnahmen, Dichtungs- und Drainagesysteme, wobei die Vor- und Nachteile der dazu verwendeten natürlichen und künstlichen Dichtungsmaterialien erörtert werden.

Summary

The rapid increase of waste-quantity and problematic substances, which are a potential danger to lithosphere, atmosphere and last but not least to all living creatures, make the installation of Controlled Tippings absolutely necessary. Controlled Tipping means reduction respectively elimination of environment-contaminations. To reach this aim various specialities must co-operate, whereat the contribution of geologists is a very great one.

This allegation will be proved by showing the great range of use concerning planing, construction and recultivation or reconstruction of refuse tips. The measures of recultivation and reconstruction will be especially discussed, also the different systems of drainage and tightening (advantage and disadvantage of artificial and natural thightening-materials).

Einführung

Der Begriff „Geordnete Deponie“ stammt aus England (Controlled Tipping). Ursprünglich verstand man darunter ein bestimmtes technisches Verfahren der endgültigen und schichtenweisen Lagerung von Abfällen auf geeignetem Gelände. Heute versteht man unter dem genannten Begriff bedeutend mehr. Wohl ist es nach wie vor ein wichtiges Merkmal der geordneten Deponie, daß sie von der Basis her aufgebaut wird, wobei die Abfälle schichtweise verdichtet und periodisch mit geeignetem Material abgedeckt werden (können). Entscheidender ist jedoch, daß

man unter einer geordneten Deponie eine endgültige Ablagerung von Abfällen versteht, die sich dadurch auszeichnet, daß bei der Wahl des Standortes, beim Betrieb und beim Abschluß der Deponie den Anforderungen des Gewässerschutzes, des Immissionsschutzes und des Landschaftsschutzes optimal Rechnung getragen wird (EIDGEN. AMT F. UMWELTSCH., 1982).

In Österreich befaßte sich schon zu Beginn der 60er-Jahre der Geologe und Bauingenieur W. TRONKO mit der Müllproblematik und gab der Erforschung von Lösungsmöglichkeiten starke Impulse (Mitt. W. GRÄF).

Das heute vorhandene Wissen aus Forschung und Praxis bietet eine hervorragende Grundlage für die Errichtung von geordneten Deponien, deren Emissionen durch verschiedenste Maßnahmen verhindert bzw. so gesteuert und beeinflußt werden können, daß davon ausgehende Umweltbelastungen minimal bleiben. Trotzdem werden immer noch Reinigungs- und Vermeidungsmaßnahmen vorgeschlagen und teilweise praktiziert, die zum größten Teil als „archaisch“ bezeichnet werden müssen.

In Österreich sind die Gründe dafür auf verschiedenste Ebenen verteilt: So fehlen etwa klare, vor allem aber einheitliche Richtlinien auf gesetzlicher Basis für die Behandlung und Entsorgung von Abfällen. Eine Ausnahme stellt das 1984 in Kraft getretene Sonderabfallgesetz dar, das in der jetzigen Form sicherlich nicht als ideal zu bezeichnen ist (vgl. dazu SCHÄFFER, E., 1985).

Für die Sammlung, Abfuhr und Beseitigung von Abfällen (Müll) sind die einzelnen Bundesländer zuständig. Die dafür maßgeblichen Landesgesetze wurden zum größten Teil etwa zur selben Zeit erlassen (einige wurden in neuerer Zeit novelliert), sie unterscheiden sich aber sehr wesentlich, wie z. B. in der Terminologie, voneinander: Begriffe wie Abfall, Müll, Hausmüll, Sperrmüll, Gewerbe- und Industriemüll werden oft mit sehr unterschiedlicher Bedeutung verwendet (BÖHM, Ch. et al., 1977). Weiters bestehen auch im sachlichen Geltungsbereich der Landesgesetze sehr große Unterschiede: Einzelne Gesetze kennen nur den Begriff „Hausmüll“, die übrigen Abfallarten werden nicht angeführt. **Unterschiedliche Regelungen gibt es insbesondere über:**

- die zu schützenden Güter und Interessen,
- die Festlegung des eigenen Wirkungsbereiches der Gemeinden,
- den Pflichtbereich der Gemeinden,
- die Bildung von Gemeindeverbänden,
- die Erstellung von regionalen und überregionalen Abfallbeseitigungsplänen,
- den Anschlußzwang an die öffentliche Müllabfuhr,
- die Sammlung und Abfuhr von Hausmüll,
- die Abfallbeseitigung,
- die Vermeidung und Beseitigung unkontrollierter und ungeordneter Ablagerungen,
- die Festlegung von Straftatbeständen und die Höhe der angedrohten Strafe,
- die Verwertung von Abfällen etc. (BÖHM, Ch. et al., 1977).

Als gewisse Hilfestellung in Hinblick auf diese verwirrende Judikatur dient die ÖNORM 2000, die aber gesetzlich nicht verankert ist.

Begriffsplan (ÖNORM 2000)

1. Abfall

1.1. Müll

1.1.1. Hausmüll

1.1.2. Gewerbe- und Geschäftsmüll

1.1.3. Sperrmüll

1.1.4. Straßenkehricht

1.2 Sonderabfall

Aufgrund der teilweise unklaren und nicht exakten Benennungen und Definitionen wird diese Norm derzeit überarbeitet.

So wird etwa „Hausmüll“ völlig unzulänglich als „Müll aus Haushalten, der normalerweise in Müllbehältern (Müllsack, -eimer, -tonne oder -großbehälter) gesammelt wird“, definiert.

Gerade die gesetzlich verankerten Definitionen und Beschreibungen der verschiedenen Abfallbegriffe wirken sich negativ auf die derzeit praktizierte Deponietechnik und auf die ungenügend durchgeführten Inertisierungsmaßnahmen aus.

Beispielhaft kann dazu folgendes bemerkt werden:

Das in Österreich seit 1. 1. 1984 geltende Sonderabfallgesetz regelt Maßnahmen zur Erfassung und Beseitigung von Sonderabfällen, die durch taxativ angeführte, der Bundeszuständigkeit unterliegende Tätigkeiten anfallen. Welche Sonderabfälle von der bundesgesetzlichen Regelung erfaßt werden und welche Sonderabfälle mangels einer entsprechenden verfassungsrechtlichen Grundlage von der bundesgesetzlichen Regelung ausgenommen bleiben, ist aus dem Gesetzestext nicht klar zu ersehen (SCHÄFFER, E., 1985). Das Sonderabfallgesetz kennt keinen Beseitigungspflichtigen, es verpflichtet auch keine Gebietskörperschaft, für die Errichtung und den Betrieb von geeigneten Sonderabfallbehandlungsanlagen zu sorgen.

In den meisten Bundesländern Österreichs gibt es einerseits Deponien, auf denen ausschließlich oder hauptsächlich Sonderabfälle abgelagert werden (angeblich rund 20), und andernorts Deponien, auf denen unter anderem (neben Hausmüll) auch Sonderabfälle untergebracht werden (gleichfalls rund 20). Das Österreichische Bundesinstitut für Gesundheitswesen (ÖBIG) hat diese Deponien durch Befragungen der Landesregierungen im Zuge der Arbeiten am Sonderabfall-Beseitigungskonzept ermittelt (SCHÄFFER, E., 1985, S. 39f.). **Eine öffentliche Sonderabfalldeponie**, die höheren Anforderungen entspricht – wie sie etwa in der BRD existieren – **gibt es in Österreich nicht**. Es kann auch sicherlich nicht als zukunftsorientierte Abfallpolitik bezeichnet werden, wenn die zur Entlastung der sanierungsbedürftigen Entsorgungsbetriebe Simmering mit beträchtlichem Aufwand geplante Verbrennungsanlage in Asten bei Linz letztlich doch nicht gebaut wurde. Schließlich ist auch die derzeit betriebene Form der „Zwischenlagerung“ der in Österreich anfallenden radioaktiven Abfälle aus Forschung und Medizin im Forschungszentrum Seibersdorf keineswegs als Langzeitlösung zu betrachten.

Neben dieser Problematik um den Sonderabfall ist nach Auffassung des Verfassers aufgrund des jetzigen Wissensstandes eine generelle Unterscheidung zwischen Hausmüll und Sonderabfall in Hinblick auf die zu treffenden Maßnahmen bei der Errichtung und Betreibung von Deponien nicht mehr zielführend:

Vereinzelt wird derzeit der in den Haushalten anfallende Müll gesondert gesammelt („Problemstoffsammlung“, Rückgewinnung von Altstoffen) oder in Recyclinganlagen getrennt. Zum überwiegenden Teil deponiert man aber den Hausmüll wiederum unsortiert, so, wie er im Haushalt in die Mülltonne gelangt. Eine 1980 in der BRD durchgeführte Studie zeigt sehr deutlich, daß dadurch ein nicht zu

vernachlässigendes Maß an umweltbelastenden, toxischen Stoffen in die sogenannten „Hausmülldeponien“ gelangt. So konnten in 450.000 t Hausmüll 170 t Pb, 23 t Cu, 0,2 t Hg und 0,17 t Cd nachgewiesen werden (Bild d. Wissensch. 3/1984). Ergänzend dazu muß angeführt werden, daß auch der durch Problemstoffsammlung oder Recycling anfallende „Restabfall“ diese toxischen Substanzen, nun aber in noch stärkerer Konzentration, beinhaltet.

Daraus ist zu fordern, daß die zukünftigen „Hausmülldeponien“ auf diese Tatsachen Rücksicht nehmen und entsprechende Inertisierungsmaßnahmen getroffen werden.

Weiters stellt sich die Frage, ob es nicht weitaus sinnvoller wäre, den Abfall-Begriffsplan nach der Umweltschädlichkeit bzw. Toxizität der einzelnen Abfallstoffe auszurichten und nicht, wie es zur Zeit praktiziert wird, etwa die Zuordnung der Sonderabfälle zu bestimmten „Tätigkeiten“ vorzunehmen.

So gelten beispielsweise Autowracks und Altreifen, die auf Privatgrund abgelagert werden, nicht als Sonderabfall im Sinne des Sonderabfallgesetzes (vgl. SCHÄFFER, E., 1985, S. 32).

Von diesem Gesichtspunkt aus sind auch die folgenden Ausführungen zu verstehen, die primär die Problematik im Zusammenhang mit sogenannten „Hausmülldeponien“ behandeln (Deponierung von unsortierten oder vorsortierten Abfällen aus den Haushalten).

Wird im Zuge der Ausführungen auch der Problemkreis „Sonderabfall“ angeschnitten, so wird darauf ausdrücklich hingewiesen.

Ein weiteres großes Problem scheint dem Verfasser hinsichtlich der Kompetenzverteilung zu bestehen:

Dem Gesetz nach kann praktisch jede Gemeinde in Österreich die Errichtung einer geordneten Deponie verhindern. Dies scheint insofern problematisch, als durch die starke Sensibilisierung der Bevölkerung in jüngster Zeit auf dem Gebiet des Umweltschutzes eine ablehnende Haltung gegenüber Deponieprojekten hauptsächlich aus politischen Gründen erfolgt und kaum noch nach einer sachlich durchgeführten Überprüfung des Projektes.

Ein zweiter entscheidender Punkt für diese sehr reservierte und negative Einstellung gegenüber Deponieprojekten seitens großer Bevölkerungsschichten wurzelt im Problem der sogenannten „Altlasten“ und „kontaminierten Standorte“.

Als „**Altlasten**“ werden wilde Ablagerungen, Halden und Verfüllungen jeder Art sowie stillgelegte, alte Mülldeponien bezeichnet. So wurden z. B. im Jahr 1985 in Hamburg (BRD) 2000 Altlasten registriert, in Bayern vermutet man zur Zeit mehr als 8000 dieser „tickenden Zeitbomben“. Für Österreich sind, abgesehen von einigen wenigen privaten Aufzeichnungen, von offizieller Seite her Altlastenregistrierungen noch nicht bekannt.

Zu „**kontaminierten Standorten**“ zählt man unter anderen auch stillgelegte Gaswerksanlagen, alte chemische Fabrikanlagen, aber auch Schießplätze. Aus Untersuchungen in der BRD geht hervor, daß die Truppenübungsplätze der Bundeswehr derart hohe Pb-Kontaminationen aufweisen, daß sie in den nächsten 100–200 Jahren landwirtschaftlich nicht genützt werden können (KOHLER, E. E., 1986)!

Gerade aus diesen Fehlern der Vergangenheit müssen wir lernen und es ist eigentlich unverständlich, daß trotz Genmanipulation, Informatik, Mikroelektronik, Kernkraft, Holographie, Laser und Quarks, trotz Einsicht in die ökonomische und ökologische Notwendigkeit von Umweltschutzmaßnahmen weiterhin Millionen Tonnen Abfallstoffe in die Gewässer eingeleitet oder in „nach allen Seiten offene Löcher“ geschüttet werden (LÜHR, H. P., 1985).

Die Ziele einer zukunftsorientierten Abfallwirtschaft müssen „Vermeiden und Verringern“ von Abfällen und das Ausnützen der verschiedensten Beseitigungsstrategien*) unter größtmöglicher Schonung der Umwelt sein. Notwendig dafür ist eine überregionale Planung, die im Idealfall den Bund, eventuell auch die einzelnen Länder als Entscheidungsträger in jeder Hinsicht vorsieht. Nur so könnten vernünftige Rahmenkonzepte für die Abfallbeseitigung in Österreich geschaffen und bei der Errichtung geordneter Deponien jeder Art überregionale geologische und sonstige Gegebenheiten berücksichtigt werden.

Allgemeines

Das ÖBIG führte im Jahr 1983 eine Abfallerhebung in sämtlichen Gemeinden Österreichs mittels sehr ausführlich gestalteter Fragebögen durch (siehe dazu LAUB, B. et al., 1985).

Demnach lag das Gesamtmüllaufkommen im Bezugsjahr 1983 bei 2,055.257 t, von denen 124.600 t in Rotteanlagen, 278.320 t in Kompostieranlagen, 335.450 t in Verbrennungsanlagen und 1,307.887 t durch Deponierung versorgt wurden.

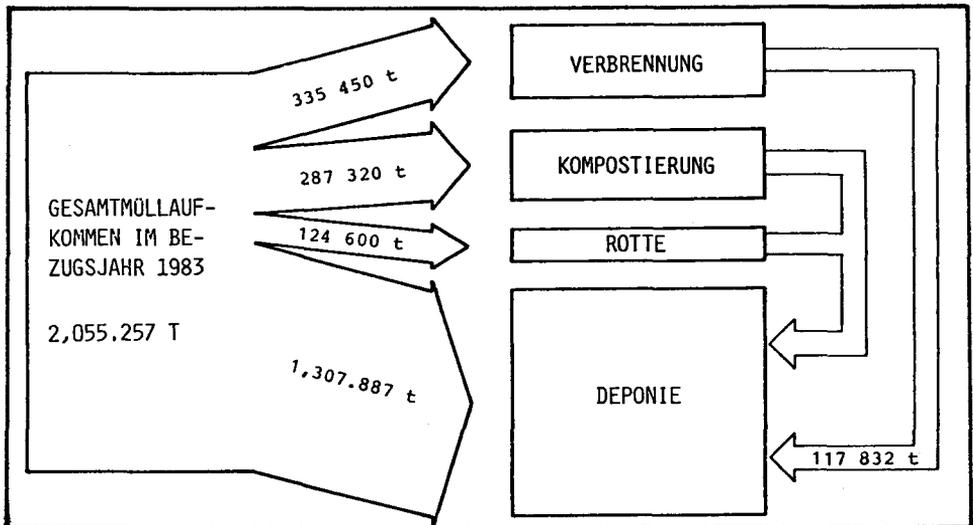


Abb. 1: Müllbeseitigung in Österreich, Bezugsjahr 1983 (nach LAUB, B., 1985).

- *)
- Förderung von Mehrweggebinden – Verringerung der Verpackungskosten (jährlich werden in Österreich rund 300–400 Mio. S alleine in Verpackungen investiert!),
 - Getrennte Sammlung von Abfällen (z. B. „Grüne Tonne“),
 - Recycling (z. B.: durchschnittliche Zusammensetzung eines Mittelklassewagens, Bj. 1978: 69 Gew.% Stahl und Eisen, 10 Gew.% Kunststoffe, 6,5 Gew.% NE-Metalle, 3,5 Gew.% Glas, 11 Gew.% sonstige Stoffe; oder: Durch die Rückgewinnung von Pb aus alten Akkus könnte ca. 25% des Pb-Gesamtbedarfes in der BRD gedeckt werden (HOBERG, H., 1983),
 - Verbrennung,
 - Rotte,
 - Kompostierung.

Verfahrenstechnisch stellt eine **Kompostieranlage** einen biochemischen Hauptprozeß mit vor- und nachgeschalteten mechanisch-physikalischen Aufbereitungsstufen dar. Im biochemischen Hauptprozeß erfolgt ein aerober Umbau der organischen Stoffe des Abfalls zu einem humushaltigen Produkt, das als Müllkompost verschiedensten Wiederverwertungen zugeführt werden kann (aber: zur Zeit große Absatzprobleme!). Zur Verbesserung der Kompostqualität und zur Gewinnung von Sekundärrohstoffen kann eine Aussonderung von Altstoffen erfolgen.

In **Rotteanlagen** findet, ähnlich wie bei den Kompostieranlagen, ein biologischer Umbauprozess der im Abfall enthaltenen organischen Stoffe statt. Die Rotte unterscheidet sich von der Kompostierung durch die Anwendung einfacherer Verfahrenstechnologien. Ziel der Müllbehandlung in den Rotteanlagen ist die Hygienisierung und Volumsreduktion des anschließend zu deponierenden Mülls und nicht die Erzeugung von verwertbarem Müll (PREGL, O., 1985).

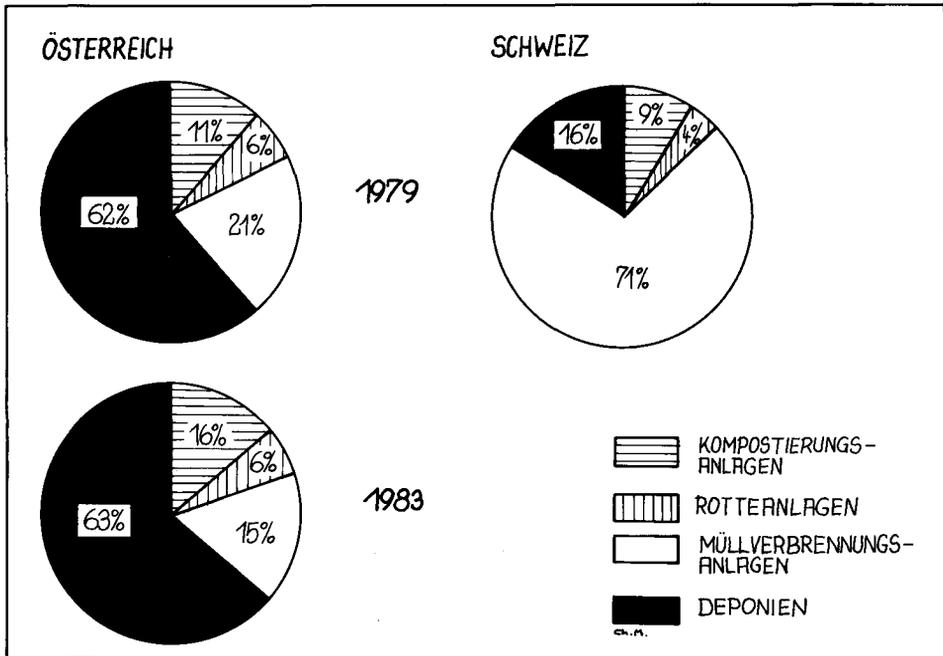


Abb. 2: Vergleich der Müllbeseitigungsstrategien in der Schweiz und in Österreich (nach LAUB, B., 1985, ergänzt).

Unter Berücksichtigung der Tatsache, daß die bei der Verbrennung, Kompostierung und Verrottung anfallenden Reststoffe ebenfalls deponiert werden müssen, kamen im Untersuchungsjahr weitere 117.832 t „Sekundärabfall“ auf Deponien zur Ablagerung.

Ein Vergleich zwischen der Schweiz und Österreich zeigt sehr deutlich, daß die Schweiz schon vor sieben Jahren nur noch 16% der jährlich anfallenden Abfälle deponierte und wesentlich mehr Augenmerk auf andere Abfallbeseitigungsstrategien legte als Österreich, wo selbst heute noch ca. 63% des anfallenden Jahresabfalles deponiert werden. Obwohl die Deponierung das zur Zeit überwiegend angewandte Verfahren zur Abfallbeseitigung in Österreich darstellt, ist nach der schon erwähnten ÖBIG-Studie die Qualität der 517 in Betrieb stehenden Deponien als mäßig, in einigen Fällen sogar als äußerst mangelhaft zu bezeichnen. So besitzen nur 60% der

gemeldeten Deponien eine behördliche Genehmigung und nur 12% (etwa 62 der 517 betriebenen Deponien!) besitzen nach eigenen Angaben eine Abdichtung gegenüber dem Grundwasser durch besondere Vorkehrungen (LAUB, B., 1985, S. Vf.).

Der Grund für diese beunruhigende Situation am Sektor der Abfallbeseitigung in Österreich ist sicherlich auch – wie eingangs erwähnt – im Fehlen von klaren gesetzlichen Vorschriften und Verordnungen zu suchen. Wohl gibt es seit September 1977 vom Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft „Richtlinien für geordnete Mülldeponien im Interesse des Gewässerschutzes“ (die zur Zeit überarbeitet werden), deren Befolgung aber nicht gesetzlich verankert ist und die Anwendung dem Ermessen des einzelnen Betreibers überlassen bleibt.

Hier schließt sich der anfangs geäußerte Gedanke wiederum zu einem Kreis – und um diesem „Teufelskreis“ (keine klaren Gesetze – schlechte Kompetenzverteilung – viele, oft ungünstig postierte Deponien mit mäßiger bis schlechter Qualität – Schaffung der Altlasten von morgen – Verunsicherung der Bevölkerung – Ablehnung von Deponien – Druck auf Politiker – keine klaren Gesetze . . .) endlich zu entkommen, sollten so schnell als möglich die Weichen für eine umweltschonende, zukunftsorientierte Abfallpolitik gestellt werden.

Es wird in Zukunft ein großes Augenmerk auf die Errichtung von geordneten Deponien gelegt werden müssen, da bei jeder Art der Abfallbeseitigung Reststoffe („Sekundärabfall“) verbleiben, die letztlich ebenfalls zu deponieren sind.

So fallen derzeit nach groben Schätzungen in der BRD ca. 9,5 Mio. t Reststoffe nur aus Luftreinhalteanlagen an, von denen ungefähr 20% verwendet werden; 80% aber müssen deponiert werden (= ca. 2 Fünftel der zu deponierenden kommunalen Abfälle (PIETRZENIUK, H.-J., 1983).

Aufgrund der umfassenden Anforderungen kann die Auswahl eines Standortes, die Errichtung, der Betrieb und letztlich auch die Rekultivierung von geordneten Deponien nur durch interdisziplinäre Kooperation unterschiedlichster Fachrichtungen durchgeführt werden.

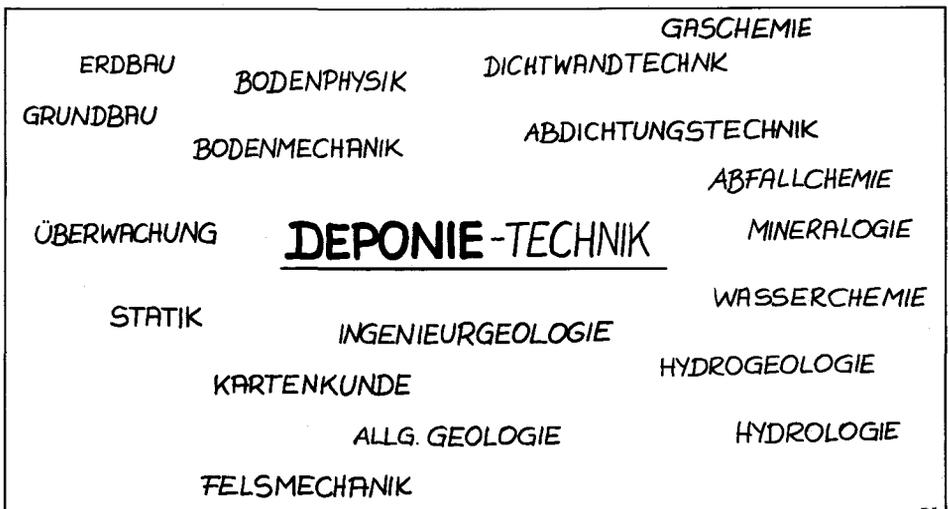


Abb. 3: Verschiedenste, an der Deponie-Technik (Planung, Errichtung, Rekultivierung, Sanierung) beteiligte Fachrichtungen (nach NEUPER, K., 1984).

Welch großen Arbeitsbereich dabei der Geologe abdecken kann, soll anhand der folgenden Ausführungen erläutert werden.

1. Planung von geordneten Deponien/Standortwahl

Bei der Planung von geordneten Deponien spielt die Wahl des Standortes eine entscheidende Rolle.

Als wesentliche Entscheidungshilfe für die regionale Auswahl und Beurteilung von Deponiestandorten kann die vom Arbeitskreis Lockergesteine-Grundwasser der Geologischen Bundesanstalt ausgearbeitete „Checkliste“ angeführt werden.

Grundsätzlich können dabei zwei Möglichkeiten auftreten:

1.1. Der Standort ist vorgegeben

Aus verschiedensten Gründen werden sehr oft künstlich geschaffene Veränderungen in der Landschaft, wie sie z. B. durch den Abbau von Massenrohstoffen auftreten (Sand-, Kiesgruben), durch die Einlagerung von Abfällen wieder verfüllt und ins Landschaftsbild eingegliedert. Vor Einbringung der Abfälle ist daher eine detaillierte Untersuchung des Standortes durch verschiedenste Feld- und Labormethoden unbedingt notwendig. Erst nach Beendigung derselben kann eine Entscheidung über die Eignung des vorgesehenen Standortes als künftige Deponie getroffen werden. Dabei sind auch zusätzliche Sicherungsmaßnahmen (Einbau von natürlichen/künstlichen Abdichtungen, Sickerwasserentsorgung etc.) miteinzubeziehen.

1.2. Der Standort wurde noch nicht fixiert

Aus der Sicht des Planers bzw. des ausführenden Bauherrns stellt dies die günstigere der beiden Möglichkeiten dar, sofern für die notwendigen, intensiven Voruntersuchungen genügend Zeit vorhanden ist (zwei Jahre oder mehr). Eine Reihe verschiedenster Parameter sind dabei zu berücksichtigen:

1.2.1. Verkehrstechnische Überlegungen

Der Standort ist so zu wählen, daß er von den Hauptverkehrsverbindungen aus unter Einbeziehung verschiedenster Transportmittel gut und rasch erreichbar ist.

1.2.2. Raumordnung

Die Raumordnung wird von allen Landesregierungen im sogenannten „Raumordnungskataster“, für den als Grundlage die ÖK 50, bzw. deren Vergrößerung (ÖK 25 V) oder Verkleinerung (ÖK 200), verwendet wird, festgelegt. Verschiedenste Themenbereiche werden darin ausgeschieden (Energieversorgung, Biotopkartierung, Wasserversorgung, Landschafts- oder Naturschutzgebiete, Rohstoffsicherungsgebiete u. v. m.), die bei der Wahl des Deponiestandortes berücksichtigt werden müssen. So ist es nicht denkbar, eine Deponie in einem Wasserschutzgebiet anzulegen.

1.2.3. Meteorologische Verhältnisse

Es ist günstig, diese Untersuchungen über den Jahresverlauf zu betreiben, um möglichst aussagekräftige Werte zu erhalten (NEUPER, K., 1984). Wichtig sind Angaben über
 Niederschlagsmengen
 Verdunstungsraten
 Hauptwindrichtungen
 Windgeschwindigkeiten
 Kaltluftströme etc.

1.2.4. Abzulagernde Stoffe

Die Kenntnis der zu deponierenden Stoffe ist insofern äußerst wichtig, da sich daraus verschiedenste Einrichtungen und Maßnahmen im Zusammenhang mit dem Deponiebetrieb, wie etwa die Entsorgung von Deponiegas, das beim Abbau von organischen Substanzen im Müllkörper gebildet wird, ergeben.

Je nach Deponiegut sind auch die Abdichtungsmaßnahmen zu konzipieren, da z. B. für hochtoxische Stoffe (gefährlicher Sonderabfall) wesentlich aufwendigere Maßnahmen notwendig sind, als für den heutzutage anfallenden Hausmüll.

1.2.5. Deponiekonzept/Deponiepraktiken

Grundsätzlich kann zwischen unterirdischen und oberirdischen Deponien unterschieden werden.

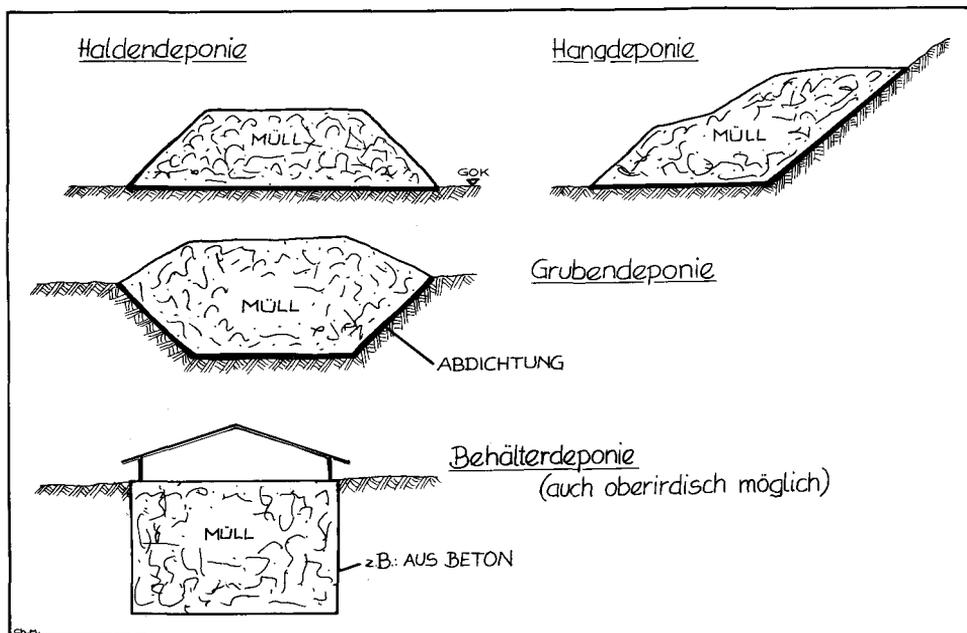


Abb. 4: Grundsätzliche Lagerungsformen oberirdischer Deponien.

UNTERIRDISCHE DEPONIEREN (hauptsächlich Deponieren für gefährliche Sonderabfälle bzw. radioaktive Abfälle): Bergwerke, Felskavernen, Salzkavernen, Großbohrlöcher und Poren- (z. B. in Erdölfeldern), Kluft- und Karstspeicher (PREGL, O., 1985, S. 158).

OBERIRDISCHE DEPONIEREN (im Prinzip: Deponieren für Hausmüll, Sperrmüll oder Industrieabfälle mit wenigen aber doch zu berücksichtigenden toxischen Substanzen):

Haldendeponieren

Vorteile: Basis in der Geländeoberkante; Gute Dichtungskontrollmöglichkeit; Nachinjektionen der Basis relativ problemlos; Sickerwasser-Abführung ohne Pumpen; leichte Kontrolle der Drainageleitungen mittels Fernsehsonden.

Nachteile: Beurteilung der Standsicherheit insbesondere bei großen Deponiehöhen ($h \geq 50$ m) schwierig; hohe Schubspannung an der Böschungsbasis; eventuell standsicherheits erhöhende Baumaßnahmen erforderlich (beständige, hochfeste Kunststoffbewehrungseinlagen, Ringwall); Beeinträchtigung des Landschaftsbildes.

Hangdeponieren

Nachteile: Zur schwierigen Beurteilung der Standsicherheit des Abfallkörpers kommt die Gefährdung durch Hangrutschungen; Schutz des Deponiekörpers vor Ausspülung durch Hangwasser notwendig; standsicherheitstechnische Baumaßnahmen meistens erforderlich.

Grubendeponieren

Vorteile: Keine Beeinträchtigung des Landschaftsbildes; Anordnung von Abfallpoldern möglich; kaum Standsicherheitsprobleme bei gleichmäßiger Auffüllung.

Nachteile: Basis unterhalb der Geländeoberkante; Sickerwasser-Abführung mittels Pumpen; äußerst schwierige Voraussetzungen für nachträgliche Abdichtung der Basis; Kontrolle der Drainageleitungen mittels Fernsehsonden oft problematisch; auch die Flanken müssen bei Dichtungsmaßnahmen miteinbezogen werden.

Behälterdeponieren

Vorteile: Durch Überdachung bereits beim Beschicken absolute Sickerwasser-Minimierung möglich; unter- und oberirdische Bauweise möglich; Möglichkeit zur späteren Wiederverwertung gewisser Abfälle; die wasserwirtschaftlichen Grundsätze treten bei der Standortwahl in den Hintergrund.

Nachteile: Nur geringe Erfahrung vorhanden; aus Kosten- und Kapazitätsgründen kann dieser Deponietyp nur für eine kleine Auswahl von Schadstoffen verwendet werden (vgl. PREGL, O., 1985, S. 98).

Bei den oberirdischen Deponieren spielt die zu wählende Deponiepraktik eine große Rolle. Folgende Konzepte sind dabei möglich:

a) Der Abbau von organischen Substanzen im Deponiekörper wird nicht beeinflusst; äußerst lange Betreuung ist notwendig; es können immer wieder unvorhersehbare Zwischenfälle (unkontrollierte Gasaustritte etc.) auftreten.

b) Die Deponie wird als „Bioreaktor“ betrieben:

Der aerobe Abbau wird so beeinflusst, daß die organische Substanz in relativ kurzer Zeit (20 – max. 50 Jahre) soweit umgewandelt ist, daß von der Deponie keine negativen Umweltbelastungen mehr ausgehen. Dabei ist aber eine intensive, dauerhafte Betreuung notwendig.

c) Der Abbau der organischen Stoffe wird bewußt behindert:

so etwa durch Reduzierung bzw. gänzlichliches Stoppen der Sickerwasserbildung.

d) „Trockene Deponie“, bei der nur anorganische Stoffe abgelagert werden (KEMMERLING, W. et al., 1985, S. 3).

e) Eine weitere Möglichkeit, die zur Zeit im Ausland hauptsächlich für die Lagerung von flüssigen bzw. pastösen Sonderabfällen angewendet wird, besteht in

der Beimengung von Verfestigungsreagenzien (wie Wasserglas = Natriumsilikat). Bislang gibt es nur in England zwei Verfahren – Chemfix und Sealosafe – für diese Deponierungspraxis.

Chemfix setzt mobile Anlagen ein, die auf LKWs montiert sind und zur Abfallquelle fahren, um den Abfall an Ort und Stelle zu behandeln. **Sealosafe** betreibt eine stationäre Anlage mit einem konzipierten Durchsatz von 50.000 t/Jahr und einer angeschlossenen Sonderdeponie. Noch in schlammiger Form werden die mit dem Verfestigungsmittel versetzten Abfälle von der Anlage in eine danebenliegende ehemalige Tongrube gepumpt, wo sich der Schlamm, der Schwerkraft folgend, ausbreitet, aushärtet und im Laufe der Zeit steinhart wird.

Die Entwicklung dieser Verfestigungstechnologien steht sicherlich erst am Beginn, wobei diese Verfahren über die Konditionierung flüssiger und pastöser Sonderabfälle hinaus auch für die Inertisierung von staubförmigen Sonderabfällen verwendet werden könnten (WIEDEMANN, H. U., 1985).

Die Wahl der vorgesehenen Deponiepraktik wird entscheidend von den abzulaufenden Stoffen beeinflusst.

1.2.6. Morphologie

Um den künftigen Deponiekörper nicht als absoluten „Fremdling“ in die Landschaft zu setzen, muß im Zuge der Planung auch die spätere Gestaltung in Hinblick auf eine vernünftige morphologische Eingliederung festgelegt werden. Dies kann auch oft schon beim Einbau des Deponiegutes erfolgen.

1.2.7. Untergrundbeschaffenheit

Die äußerst genaue Kenntnis des Untergrundes ist eine der Grundvoraussetzungen für die Errichtung einer geordneten Deponie. Da noch dazu ein Großteil der notwendigen Untersuchungsschritte zum ureigensten Betätigungsbereich des Geologen gehört, soll dieser Abschnitt ausführlicher behandelt werden.

1.2.7.1. Feldgeologische Untersuchungen

Für alle Arten von Deponien ist die Auswahl von Standorten anhand geologischer und hydrogeologischer Aspekte unumgänglich. In einem ersten Untersuchungsschritt ist die geologische Kartierung des vorgesehenen Gebietes durchzuführen, wobei die Suche nach natürlich vorkommenden Barrieregesteinen im Vordergrund steht. Geeignet dafür sind Sedimente aus dem Silt- bzw. Tonbereich –, d. h. mit Korngrößen $\leq 0,0625$ mm (dt./engl. Schrifttum; im russisch/franz.: $\leq 0,05$ mm) (FÜCHTBAUER, H., 1977, S. 130ff.). Vor allem Schluffe, Tone, tw. Mergel, Lehm oder Löß können als natürliche Abdichtungsmaterialien herangezogen werden. Voraussetzungen dafür sind, daß die Sedimente über große Bereiche homogen, störungsfrei und in entsprechender Mächtigkeit vorkommen.

Von besonderer Bedeutung ist die Forderung nach sehr niedrigen Durchlässigkeitsbeiwerten (k-Wert) der Barrieregesteine. Diese k-Werte sollten für Hausmülldeponien im allgemeinen deutlich unter 10^{-8} m/s, für Sondermülldeponien unter 10^{-10} m/s liegen.

Der künftige Deponieuntergrund soll auch frei von Kalk oder organischen Anteilen sein (SIMONS, A. et al., 1984), um mögliche Lösungsvorgänge, durch Sickerwasserkontakte hervorgerufen, auszuschließen.

Diese **feldgeologischen Untersuchungen** beinhalten die Feststellung von Lagerungsform, Mächtigkeit, Gefüge und Verwitterungszustand der möglichen Barrieregesteine. Zur exakten Abklärung der geologischen Verhältnisse wäre die Anlage von Schürfröschchen und das Abteufen von Sondierungsbohrungen wünschenswert. Allerdings dürfte die Durchführung dieser Erkundungsmaßnahmen aufgrund der notwendigen Investitionen leider nicht immer möglich sein. Dieser Überlegung kann entgegengehalten werden, daß die Sondierungsbohrungen so positioniert werden können, daß sie für die **hydrogeologischen Untersuchungen** zu verwenden sind.

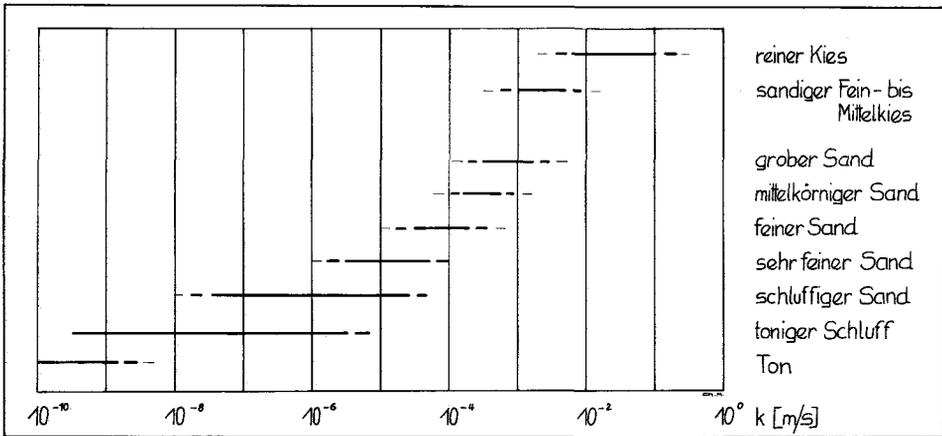


Abb. 5: k-Werte von natürlich vorkommenden Lockergesteinen (nach PRINZ, H., 1982).

Diese Untersuchungen beinhalten eine gewässerkundliche Aufnahme des vorgesehenen Areals (Feststellung von Überschwemmungsgebieten, Vorfluter, Drainagen etc.). Weiters müssen die Grundwasserstockwerke, sowie die Fließrichtung, Zusammensetzung und etwaige Nutzung des Grundwassers erkundet werden.

Ziel und Abschluß der feldgeologischen Untersuchungen soll die kartographische Darstellung des vorgesehenen Areals unter Einbeziehung aller gewonnenen Fakten und unter Berücksichtigung der in den Abschnitten 1.2.1. bis 1.2.6. erläuterten Parameter sein. In diesem zusammenfassenden Kartenwerk können nun mögliche Deponiestandorte ausgeschieden und in einer zweiten Untersuchungsperiode durch verschiedenste Methoden genauestens überprüft werden.

1.2.7.2. Bodenmechanische Untersuchungen

Die durchzuführenden Untersuchungen beinhalten

- Körnungsanalysen
- Feststellung der Verdichtungseigenschaften und des Druck- und Setzungsverhaltens
- k-Wert-Bestimmung.

KÖRNUMGSANALYSEN

Die Bestimmung der Körnungsanalysen und charakteristischer Kennwerte wie:

- wirksamer Korndurchmesser d_{10} ,
- Ungleichförmigkeitsgrad ($U = d_{60}/d_{10}$),
- Porenanteil n , sowie des
- Ton- und Schluffgehaltes

eines Barrieregesteines sind aus verschiedensten Gründen von großer Wichtigkeit. So konnten etwa am Institut für Grundbau und Bodenmechanik der TU-Braunschweig aus Versuchsergebnissen von mehr als 20 Deponieprojekten mit natürlichen Basisabdichtungen sehr aussagekräftige Erfahrungswerte gewonnen werden, die einen Zusammenhang zwischen Korngrößenverteilung und Durchlässigkeit zeigen.

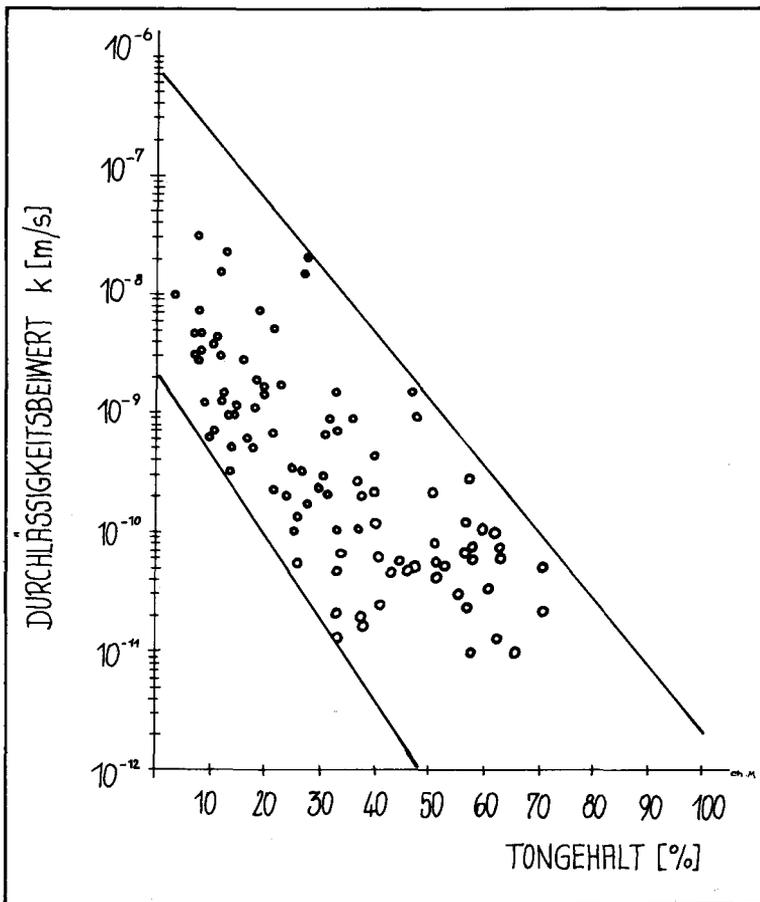


Abb. 6: Zusammenhang zwischen Tongehalt und Durchlässigkeit, nach Versuchsergebnissen (nach REUTER, E., 1985 b).

Eine formelmäßige Bestimmung des k -Wertes durch Kornverteilungskennwerte, wie sie bereits zahlreich für grobkörnige Böden veröffentlicht sind, wird aufgrund der bei feinkörnigen Erdstoffen erheblich komplexeren Zusammenhänge wohl nur ansatzweise ermittelt werden können (REUTER, E., 1985 b, S. 57).

Es wurden z. B. Durchlässigkeitsbeiwerte $k < 10^{-10}$ m/s in der Regel von natürlich anstehenden Böden

- mit mehr als 40 Gew.% Tongehalt ($d < 0,002$ mm), oder
- mit mehr als 70 Gew.% Ton- und Schluffgehalt ($d < 0,063$ mm) erreicht.

Durchlässigkeitsbeiwerte $k < 10^{-8}$ m/s wurden in der Regel von natürlich anstehenden Böden

- mit mehr als 10 Gew.% Tongehalt, oder
- mit mehr als 30 Gew.% Ton- und Schluffgehalt erreicht (REUTER, E., 1985 b).

Den Einfluß des Tongehaltes auf die Durchlässigkeit mineralischer Materialien verdeutlicht Abb. 6.

FESTSTELLUNG DER VERDICHUNGSEIGENSCHAFTEN

Ein Boden läßt sich in dem Maße verdichten, in dem es gelingt, seinen Porenanteil zu verringern und damit seine Dichte zu erhöhen (REUTER, E., 1985 a, S. 49). Die Verdichtbarkeit eines Bodens wird in der Bodenmechanik durch den **Proctorversuch** überprüft, der eine Beziehung zwischen dem Wassergehalt (w %) einer Bodenprobe und der bei definierter Verdichtungsenergie erreichbaren Trockendichte

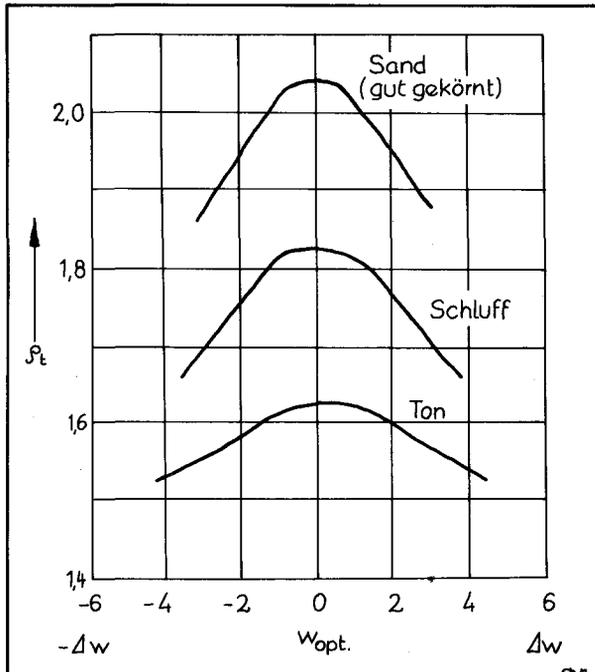


Abb. 7: Proctorkurven fein- und grobkörniger Sedimente, die zeigen, daß Sande und Schluffe gegen eine Änderung des Wassergehaltes empfindlicher reagieren als Tone (nach REUTER, E., 1985 a).

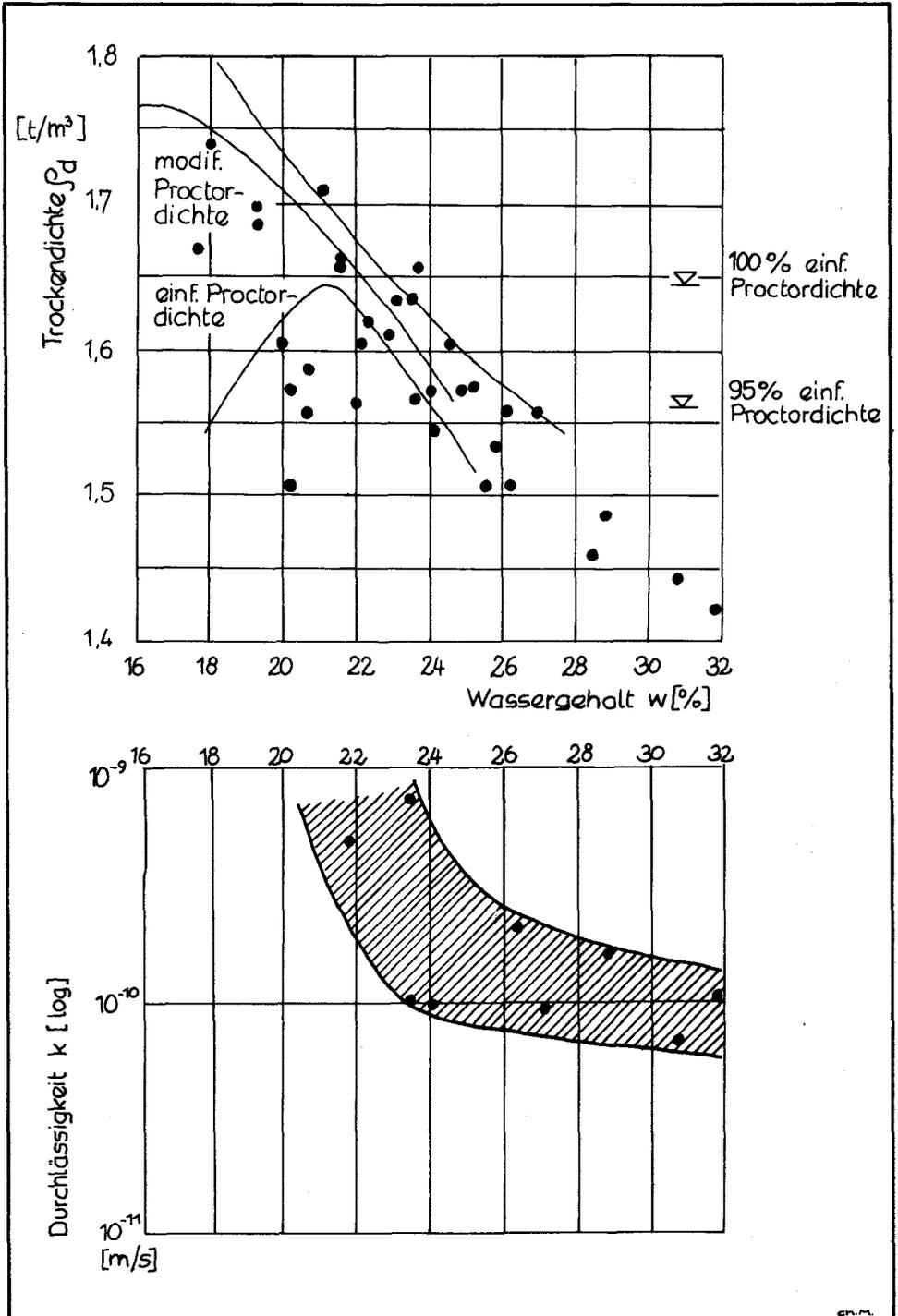


Abb. 8: Zusammenhang zwischen Verdichtung und Durchlässigkeit eines Tones (nach REUTER, E., 1985 b).

($Q_d \text{ t/m}^3$) herstellt. Die im Zuge einer Versuchsreihe erhaltene Proctorkurve gibt in ihrem Scheitelpunkt die Proctordichte Q_{pr} mit dem zugehörigen optimalen Wassergehalt w_{opt} an. Der Scheitelpunkt der Proctorkurve liegt bei den schwach durchlässigen Tonböden wesentlich tiefer (im allgemeinen $Q_{pr} 1.6 \text{ t/m}^3$) als bei den nichtbindigen Sanden und Kiesen (vgl. REUTER, E., 1985 b, S. 62). Die Art der Struktur und somit die Verdichtung, aber auch die Verdichtungsmethode, haben entscheidende Auswirkungen auf

- die Durchlässigkeit,
- die Festigkeit und
- die Steifigkeit bindiger Böden.

Welcher Zusammenhang zwischen Verdichtung und Durchlässigkeit eines Tones besteht, wird in Abb. 8 gezeigt. Sehr wichtig ist dabei auch die Tatsache, daß man die geringsten Durchlässigkeiten bei Verdichtung auf der nassen Seite der Proctorkurve erhält.

Dies ist dadurch zu erklären, daß die Durchlässigkeit eines feinkörnigen Bodens im wesentlichen durch den Porenanteil und die Struktur bestimmt wird. Eine geordnete, dispergierte Struktur (= nasser Ast der Proctorkurve) weist geringere Durchlässigkeiten auf als ein ungeordnetes, krümeliges Flockengefüge (= trockener Ast der Proctorkurve) (REUTER, E., 1985 b, S. 64).

Unter **Festigkeit** versteht man in der Bodenmechanik im allgemeinen die Scherfestigkeit eines Bodens. Vor allem in Böschungsbereichen, aber auch an allen anderen Knickpunkten im Bereich der Abdichtung muß in Hinblick auf die Standsicherheit des Untergrundes diesem Parameter große Aufmerksamkeit gewidmet werden. Die Scherfestigkeit mineralischer Dichtungsmedien hängt im besonderen Maße von der Struktur, der Dichte und der Geschwindigkeit der Scherdeformation

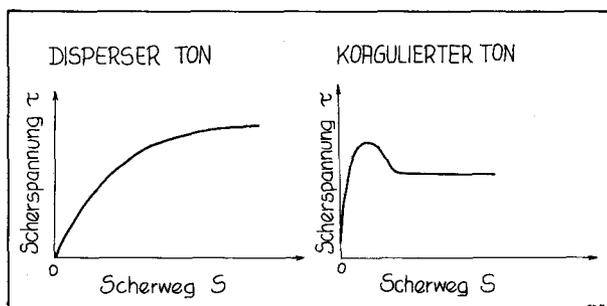


Abb. 9: Scherdeformation bei dispergierten und koagulierten Tonen (nach REUTER, E., 1985 b).

ab. In einem dispersen Ton ordnen sich die Teilchen unter Scherbelastung in eine Parallellage ein. Für die Deformation ist eine ständig zunehmende Spannung notwendig. Ein koagulierter Ton (= trockener Ast der Proctorkurve) zeigt dagegen aufgrund der Reibungswiderstände der Flockenstruktur einen starken Anstieg der Scherfestigkeit, bis es schließlich zu einer Strukturänderung kommt und sich die Verschiebung mit wesentlich geringeren Scherkräften aufrecht erhalten läßt (REUTER, E., 1985 b, S. 64f.).

Es kann daher auch mit Hilfe dieser Versuche verdeutlicht werden, daß die Verdichtung eines Barrieregesteines unbedingt auf der nassen Seite der Proctorkurve durchzuführen ist.

DRUCK- UND SETZUNGSVERHALTEN

Eine exakte Erfassung der Steifemoduli sowohl der anstehenden als auch der zusätzlich aufgetragenen Schichten ist zur Abschätzung möglicher Setzungen unter der Müllauflast unbedingt notwendig. Falls bei der Profilierung nicht genügend Spielraum für Setzungen miteinbezogen wird (= Überhöhungsmaß), können durch solche Vorgänge Verformungen oder Brüche der Drainageleitungen und, im schlimmsten Fall, sogar Grundbrüche auftreten. Weiters verringert die Zusammenpressbarkeit des Barrieregesteins die langfristig wirksame Dichtungsstärke, vergrößert damit das wirksame hydraulische Gefälle und die durchsickernde Wassermenge.

K-WERT-BESTIMMUNG

Zur versuchstechnischen Durchführung und mathematischen Bestimmung des k-Wertes gibt es genügend einschlägige Literatur, sodaß auf diesem Punkt hier nicht mehr eingegangen werden muß (siehe z. B.: DEMMER, W. et al., 1968).

Äußerst wichtig ist die Tatsache, daß die k-Wert-Bestimmung eines Barrieregesteins, wenn sie ausschließlich mit H_2O durchgeführt wird, nur sehr eingeschränkt verwendbar ist. Das im Verlaufe des Deponiebetriebes auftretende Sickerwasser weist eine derart komplexe Zusammensetzung auf, daß ermittelte $k(H_2O)$ -Werte nur größenordnungsmäßige Richtlinien darstellen können. Aus diesem Grund ist es unbedingt notwendig, bei der Festlegung und Bestimmung der k-Werte Durchlässigkeitsversuche mit verschiedensten Prüfflüssigkeiten durchzuführen (siehe Tab. 1).

Tab. 1: Ergebnisse der Durchströmungsversuche an drei natürlichen Tonen (nach REUTER, E., 1985 b).

k-Werte 10^{-12} m/s	Kaolinit	Illit	Montmorillonit
Aqua dest.	9,5	47	11
anorgan. Lauge	2300	950	40
anorgan. Säure	33	380	185
organ. Säure	600	480	103
Schwermetallsalzlösung	17	180	22
Neutralsalzlösung	160	—	31
synthet. Sickerw. I	100	330	13
synthet. Sickerw. II	65	—	29
Deponiesickerw. sauer	—	60	—
Deponiesickerw. alkal.	—	109	—

Einschränkend muß betont werden, daß bei mineralischen Abdichtungen die alleinige Angabe von k-Werten für die größenordnungsmäßige Begrenzung etwaiger Schadstoffemissionen nur bedingt herangezogen werden kann, da die durch ein Barrieregestein sichernde Flüssigkeitsmenge von verschiedenen anderen Faktoren, wie etwa dem **hydraulischen Gefälle** (REUTER, E., 1985 a) oder dem **Elektrolytgehalt** des Durchströmungsmediums (HEILING, 1986) beeinflusst wird. In der Minimierung des hydraulischen Gefälles liegt auch die Bedeutung einer langfristig ordnungs-

gemäß funktionierenden Drainage, da – bei gleichen Randbedingungen – die k -Werte natürlicher Barrieregesteine bei sehr kleinen hydraulischen Gefällen um bis zu zwei Zehnerpotenzen geringer sein können als solche bei hohen hydraulischen Gefällen (REUTER, E., 1985 a, S. 60f.).

1.2.7.3. Bodenchemische Untersuchungen

Dazu zählen:

- Bestimmung des Kalkgehaltes und der organischen Anteile,
- geochemische Elementbestimmung des Bodens,
- Untersuchung des Ionenaustausch- und Adsorptionsvermögens,
- Bestimmung der Diffusionsgröße des Bodens.

Grundsätzlich ist festzuhalten, daß die ersten zwei angeführten Untersuchungsmethoden ohne größere Schwierigkeiten, auch analytischer Natur, anwendbar sind. Problematisch allerdings sind Untersuchungen über Ionenaustausch- und Adsorptionsvermögen sowie exakte Festlegungen der Diffusionsgröße vorgesehener Barrieregesteine, da es vor allem noch weitgehend unmöglich ist, den Reaktionspartner „Sickerwasser“ genau zu definieren. Die Untersuchungen dazu befinden sich im Anfangsstadium, in dem auch noch analytische Probleme zu meistern sind (KOHLENER, E. E., 1986).

Die Reaktionsräume der Barrieregesteine (= im wesentlichen: Tone) sind

- makroskopische Grenzflächen,
- Porenräume und
- Mineraloberflächen (= mikroskopische Grenzflächen) (KOHLENER, E. E., 1985).

Als **makroskopische Grenzfläche** kann die Gesamtheit einer im Idealfall homogen aufgebauten Mineralbarriere angesehen werden, die auch eine „geochemische Barriere“ (vgl. Abb. 10) gegenüber dem Deponie-Sickerwasser darstellt. Noch bevor das Sickerwasser mit den einzelnen Mineralteilchen in Kontakt kommt, muß es diese Barriere (charakterisiert durch eine Vielzahl von Parametern wie Mineralgehalt, Porenverteilung, Porenwasser, Redoxpotential, Druck, Temperatur u. v. m.) überwinden (KOHLENER, E. E., 1985).

Betrachtet man den **Porenraum** näher, so kann man zwischen dem Raum zwischen den einzelnen Tonmineralpartikeln (intra fabric unit pores) und dem Porenraum zwischen den Aggregaten (inter fabric unit pores) unterscheiden. Eine sehr wichtige Rolle spielt dabei der Porenzement, dessen Bestimmung zur Zeit aber noch sehr problematisch ist (KOHLENER, E. E., 1986).

Noch nicht eindeutig geklärt ist die Frage, ob, und in welchem Ausmaß, bei der Bewegung von Wasser durch eine Tonschicht das **Gesetz von DARCY** gültig ist. Noch fraglicher sind die empirischen Überlegungen über Stofftransportvorgänge in all jenen Fällen, wo das Wasser nur noch Transportmittel für eine Vielzahl chemischer Verbindungen wird, die alle unterschiedliche Wechselwirkungen mit den anorganischen Silikaten zeigen (KOHLENER, E. E., 1985, S. 91).

Bei den **Mineraloberflächen** stehen vor allem in der Gruppe der chemisch „aktiveren“ Dreischichttonminerale die inneren und äußeren Oberflächen in hohem Maße für unterschiedlichste Wechselwirkungsreaktionen zur Verfügung:

Während die anorganischen Zwischenschichtkationen bei vielen silikatischen Tonmineralen nicht gegen organische Kationen ausgetauscht werden, gelingt der Austausch der an den äußeren Oberflächen sitzenden Kationen fast immer. Beim derzeitigen Stand der Kenntnisse lassen sich keine definitiven bzw. quantitativen Aussagen über permeabilitätsbeeinflussende Reaktionen machen. Aus der Vielzahl möglicher oder wahrscheinlicher Wechselwirkungen können folgende wichtige Reaktionstypen unterschieden werden (Abb. 10):

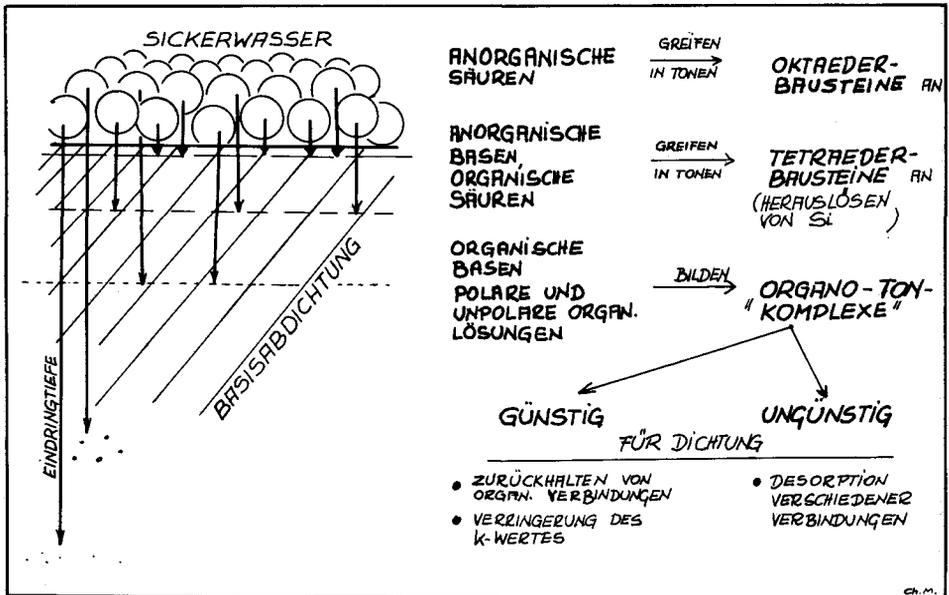


Abb. 10: Wirkungsweise der Basisabdichtung als „geochemische Barriere“ (nach KOHLER, E. E., 1986).

- Wechselwirkung zwischen Tonmineralen und organischen Säuren und Basen – kann sich ungünstig auf die Barriere auswirken (starke Veränderung der Flächeneigenschaften der Silikate; das Gitter wird nicht angegriffen),
- Bildung von tonorganischen Verbindungen – günstig für die Barrierewirkung (quellfähige Tonminerale können beträchtliche Mengen an Protein, Polypeptiden, Aminosäuren, Lipidex, Fettsäuren u. a. in den Zwischenschichten, andere organische Moleküle an den Oberflächen binden),
- Bildung von Tonpolymeren – günstig für die Barrierewirkung (teilweise irreversible Bindung von organischen Molekülen an der Oberfläche),
- Katalytische Spaltung organischer Moleküle auf der Tonmineraloberfläche – günstig für die Barrierewirkung (Diese Reaktion wird z. B. in Gegenwart von zwischenschichtlich gebundenem Fe^{3+} stark gefördert) (KOHLER, E. E., 1985, S. 92f.; vgl. auch KOMODROMOS, A. et al., 1986).

Die Ausführungen zeigen, daß ein Barrieregestein möglichst hohe Aufnahmekapazitäten für verschiedenste chemische Stoffe besitzen soll. Diese Forderung kann etwa

auch durch ein physikalisches Verhalten bestimmter Sedimente unterstützt werden, in dem sich z. B. Quarzsand bei der Zerkleinerung elektrisch aufladet und im Gegensatz zum unzerkleinerten Material größere Mengen von Kationen adsorbieren kann (PREGL, O., 1985, S. 103). Die elektrische Aufladung baut sich über die Zeit nur sehr schlecht ab. Diesen Effekt könnte man ausnützen, indem man Quarzsand (gemahlen) gemeinsam mit Müll deponiert.

1.2.7.4. Gefügekundlich-mineralogische Untersuchungen

Es sollten dabei

- Mineralzusammensetzungen,
- Porengrößenverteilung und Porenwasser,
- wo und wie Schadstoffeinbau im Gefüge erfolgen kann und
- mögliche Veränderungen des Mikrogefüges beim Schadstoffzutritt untersucht werden.

Auf die letzten zwei Punkte wurde schon im vorangegangenen Abschnitt eingegangen.

Die Gesamtheit aller **Tonminerale** zeichnet sich durch ihre geringe Größe aus (z. B. Kaolinit: 1–6 μ Ø; Illit 0,5–2 μ Ø; Montmorillonit < 0,2 μ Ø). Sehr wichtig ist die Tatsache, daß diese Tonminerale z. T. sehr große chemisch wirksame Oberflächen besitzen. Am aktivsten gegenüber Wasser und chemischen Substanzen sind die zur Gruppe der stark quellfähigen 3-Schicht-Tonmineral zählenden Montmorillonite.

Auch bei der Beurteilung der Beeinflussung des Porenwassers und der Porengrößenverteilung von Barrieregesteinen stehen die Untersuchungen erst am Beginn. So wirkt sich z. B. ein größerer Anteil von körnigen Mineralien (etwa siltisches Mineral) ungünstig auf die Dichtheit eines Barrieregesteins aus, da selbst bei intensiver Verdichtung im Druckschatten dieser Mineralkörner größere Porenräume offenbleiben. In Hinblick auf das Porenwasser sei erwähnt, daß die Durchlässigkeit eines Tones direkt proportional mit dem Elektrolytgehalt des Porenwassers zusammenhängt (HEILING, 1986).

Letztlich kann also bemerkt werden, daß es nur unter Einbeziehung aller erwähneter Parameter und erst nach Durchführung sämtlicher notwendigen Untersuchungen möglich ist, einen für eine Deponie vorgesehenen Standort als prinzipiell geeignet oder ungeeignet zu qualifizieren.

Wurde im Zuge der Untersuchungen festgestellt, daß der Standort als solcher zwar geeignet, der Untergrund aber nicht genügend dicht ist, so kann durch verschiedene bautechnische Maßnahmen eine „**künstliche Abdichtung**“ zur Inertisierung der Deponie vorgenommen werden.

2. Errichtung von geordneten Deponien/Abdichtungsmaßnahmen

Die in den folgenden Ausführungen beschriebenen Abdichtungsmaßnahmen sind mögliche Dichtungssysteme für oberirdisch angelegte Halden-, Hang- oder Gruben-deponien, in denen „Hausmüll“ gelagert wird. Im Detail handelt es sich dabei um Basis- und Flankenabdichtungen. Je nach Deponierungskonzept kann auch noch eine spezielle Oberflächenabdichtung (siehe Kap. 3.1.) angebracht werden.

2.1. Basis- und Flankenabdichtungssysteme

Der grundsätzliche Aufbau dieser Dichtungssysteme besteht aus

oben	Schutzschicht (Kap. 4.1.4.),
	Drainagesystem (Kap. 4.1.3.),
	Dichtungsschicht (Kap. 4.1.2.) und
unten	gewachsener Untergrund (Kap. 4.1.1.).

Im Prinzip sind Basis- und Flankenabdichtungen gleich aufgebaut. Hinsichtlich der mechanischen Beanspruchungen ergeben sich aber einige Unterschiede, wie etwa die im Böschungsbereich zusätzlich auftretenden Zug- und Schubspannungen, die beim Einbau zu berücksichtigen sind.

DICHTUNGSSYSTEM

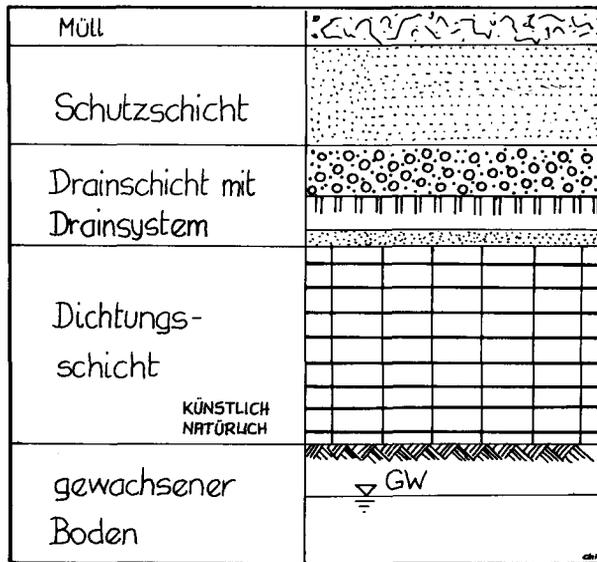


Abb. 11: Grundsätzlicher Aufbau eines Basis- bzw. Flankenabdichtungssystems.

2.1.1. Gewachsener Untergrund

Die an den Deponieuntergrund zu stellenden, hauptsächlich statischen Anforderungen, sind in der Vielzahl der Fälle zu erfüllen. Vor allem die Frage der Grundbruchsicherheit muß geklärt werden.

2.1.2. Dichtungsschicht

Nur sehr selten tritt der Idealfall ein, daß das am vorgesehenen Deponiestandort anstehende Sediment aufgrund der durchgeführten Untersuchungen als Basis- oder Flankenabdichtung in situ geeignet ist.

Sollten sich die vorkommenden Sedimente als ungenügend dicht erweisen, so können durch zusätzliche Beimengungen verschiedenster Materialien die Forderungen an eine ausreichend dichte Barriere erfüllt werden. Folgende dichtend wirkende Materialien werden dafür verwendet: Bentonit, Ton- oder Steinmehl, Bitumen, Harz und Wasserglas. Verschiedene Firmen (vor allem in der BRD) bieten speziell zum Zweck der Vergütung von Deponieabdichtungen sogenannte „Aktivtone“ unterschiedlichster Zusammensetzung an. Durch den speziellen Aufbau dieser (im wesentlichen) Bentonite sind sie in der Lage, 300–500% ihres Gewichtes an Wasser aufzunehmen und es auch zu halten (SCHMITT, G. P., 1984).

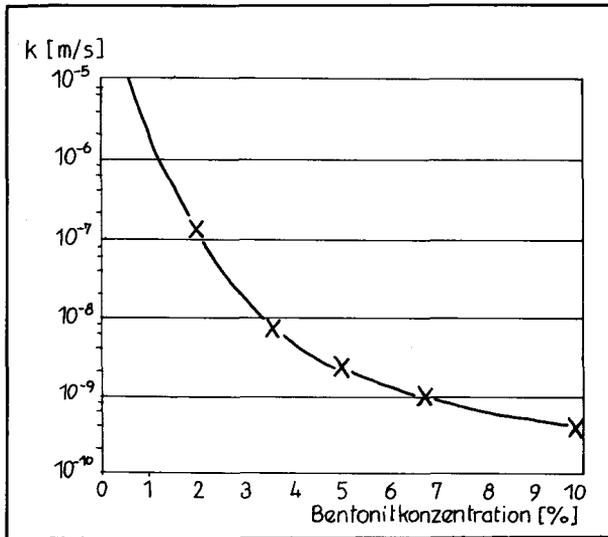


Abb. 12: Ergebnisse von Durchlässigkeitsversuchen an einem mit Bentonit verbesserten Schluff (nach REUTER, E., 1985 a).

Vor dem Einbau dieser Materialien muß untersucht werden, bei welchen Mengen- bzw. Mischungsverhältnissen und unter welchen Arbeitsbedingungen die bestmögliche Untergrunddichtigkeit erreicht werden kann. Dies ist durch detaillierte Laboruntersuchungen und durch einen am Standort durchzuführenden Probebau festzu-

Tab. 2: Analyse des Sickerwassers F (nach REUTER, E., 1985 a).

anorganisch mg/l		organisch µg/l	
Ca ²⁺ :	357	Trichlorethylen:	4
Mg ²⁺ :	136	Tetrachlorethylen:	1
Fe ³⁺ :	2	Chlorbenzole:	–
Cr ³⁺ :	– 0,025	HCH:	0,86
Zn ²⁺ :	7	Chlorphenole:	0,41
Pb ²⁺ :	0,4		
Hg ²⁺ :	0,1		
Cl ⁻ :	284		
SO ₄ ²⁻ :	9		

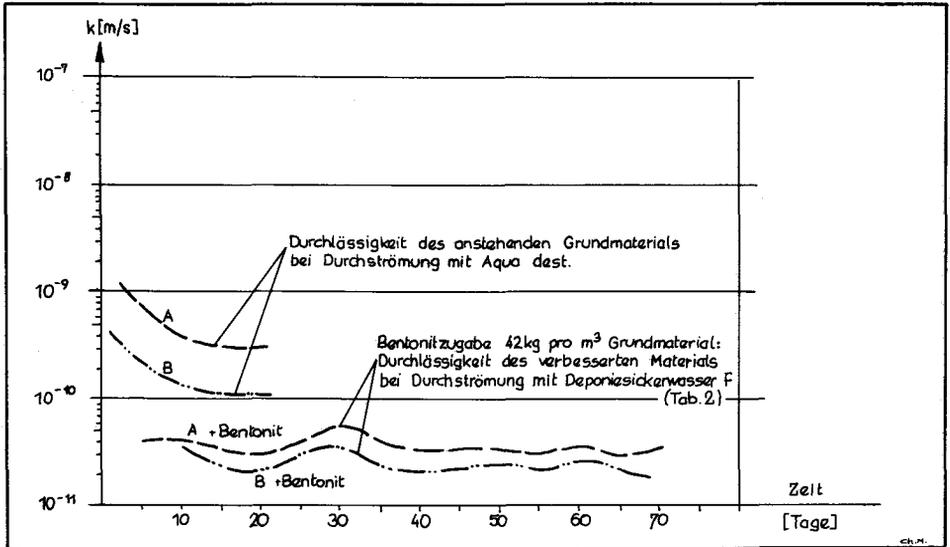


Abb. 13: Einfluß einer Bentonitzugabe auf die Durchlässigkeit eines Mittelsandes (nach REUTER, E., 1985 b).

stellen. Pauschal angegebene Bearbeitungsweisen und Mischungsverhältnisse sind nicht anwendbar, da die einzelnen Parameter für jeden Standort verschieden und daher an jedem Standort neu zu ermitteln sind. Selbst an einem einzigen Standort können abschnittsweise unterschiedliche Beimengungsverhältnisse zur optimalen Abdichtung erforderlich sein.

Dies soll an einem praktischen Beispiel erläutert werden (aus: SCHMITT, G. P., 1984, S. 9ff.): Für die Abdichtung einer Deponie in einem Lavabruch stand Löß zur Verfügung, der bei einer Lagerungsdichte von 95% der einfachen Proctordichte einen k -Wert von 10^{-6} m/s aufweist (gemessen im Labor bei Gradienten von $i = 20$ bis $i = 30$; $i =$ hydraulisches Gefälle). Da eine untere Grenze des k -Wertes von 10^{-8} m/s Bedingung für die Abdichtung war, wurden in einer 11 Tage dauernden Versuchsreihe verschiedenste Mischungsverhältnisse von Löß mit Bentonit getestet. Vor diesen Versuchsversuchen wurden auf den einzelnen Versuchsfeldern ungestörte Proben entnommen und der Wassergehalt bestimmt.

Folgende Ergebnisse wurden erzielt:

1. Versuch: Wassergehalt (W) = 14,8%, Bentonitzugabe 15 kg/m^2
 $k = 1,5 \times 10^{-9}$ bis $1,9 \times 10^{-10}$ m/s
2. Versuch: $W = 21,5\%$, Bentonitzugabe 25 kg/m^2
 $k = 2,8 \times 10^{-9}$ bis $4,6 \times 10^{-9}$ m/s
3. Versuch: $W = 17,8\%$, Bentonitzugabe $7,5 \text{ kg/m}^2$
 $k = 2,3 \times 10^{-8}$ bis $5,3 \times 10^{-8}$ m/s

Die Versuchsreihe zeigt deutlich, daß die Menge der Bentonitzugabe von erheblicher Bedeutung ist und daß $7,5 \text{ kg/m}^2$ unter diesen Bedingungen etwas zu wenig waren. Des weiteren wurde deutlich, daß bauliche Mängel, die sich aus zu hohem Wassergehalt und unzureichender Zerkrümelung des Bodens ergaben, durch eine erhöhte Bentonitzugabe ausgeglichen werden können. Für die endgültige Bauausführung wurde daher gefordert:

1. in trockenen Bereichen: $W = 15\%$, 10 kg/m^2 Bentonitzugabe,
2. in mittleren Bereichen: $W = 15\text{--}18\%$, 12 kg/m^2 Bentonitzugabe,
3. in nassen Bereichen: $W = 18\text{--}20\%$, 15 kg/m^2 Bentonitzugabe,
4. in sehr nassen Bereichen, soweit eine Zerkrümelung der Schollen noch halbwegs möglich ist: $20\text{--}25 \text{ kg/m}^2$ Bentonitzugabe,
5. in nasserem Bereichen, die keine Aufarbeitung des Lehms mit Bentonit ermöglichen, muß der Boden ausgetauscht werden.

Die Maßnahmen zur Bodenvergütung sind, je nach Firma, Anlieferungsweg, Einbauzeit und -verfahren wohl verschieden, insgesamt aber sehr kostenintensiv. Die Verlässlichkeit in bezug auf Dichtung des Untergrundes bleibt wegen der problematischen Einbaumethode (Erreichen einer gleichmäßigen Verteilung der Zuschlagstoffe auf der Deponiesohle) immer mit einem Fragezeichen behaftet.

Als zur Zeit am häufigsten angewendete Methode ist der **Einbau von Dichtungsschichten** unter Verwendung von **natürlichen** oder **künstlichen Materialien** zu erwähnen. Vorausschickend sei bemerkt, daß dem derzeitigen Wissensstand und Stand der Technik zwischen den beiden Materialgruppen „natürliche“ und „künstliche“ Dichtungen keine Prioritäten anzugeben sind. Die Wahl des Dichtungsmaterials hängt primär von standortspezifischen Gegebenheiten und wirtschaftlichen Erwägungen ab.

2.1.2.1. Natürliche Materialien

Es ist Aufgabe des Geologen, Vorkommen von natürlichen Dichtungsmaterialien zu erkunden und diese unter Anwendung der in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Methoden zu untersuchen. Auch bei einer etwaigen Vergütung der Materialien muß vor Beginn des Einbaues mit Hilfe der erwähnten Untersuchungsmethoden die Eignung als Dichtungsmaterial nachgewiesen werden.

Für **Basis- und Flankenabdichtungen** aus **natürlichen Materialien** können folgende feinkörnige Sedimente verwendet werden: Ton, Schluff, Lehm, Mergel.

Auch eine Vergütung unter Beimengung von dichtend wirkenden Materialien zu diesen Sedimenten ist möglich.

Weiters werden zur Zeit verschiedenste **produktspezifische Abfallstoffe** als Dichtungsmaterialien getestet und teilweise auch schon in Großversuchen verwendet:

So kommen etwa **Schluffe**, die als „Reststoffe“ bei der Kieswäsche anfallen, zur Anwendung (RIEHL-HERWIRSCH, G. et al., 1983). Dieses Material erzielt seine Dichtwirkung ohne zu quellen. In Lysimeterversuchen wurde nachgewiesen, daß Sickerwasser eine abdichtungssteigernde Wirkung hat. Ein k -Wert von 5×10^{-8} m/s wurde durch Überstau einer 0,8 m starken Dichtungsschicht aus Kieswäscherückständen mit 1,8 m Müllsickerwasser auf 5×10^{-9} m/s verbessert. Bei der anschließenden tonmineralogischen Untersuchung zeigte sich kein Hinweis auf eine mineralogische oder chemische Veränderung des Schluffmaterials (PREGL, O., 1985). Diese seit 1979 am Institut für Grundbau, Geologie und Felsbau der TU Wien laufenden Versuche sollen nun in einem Forschungsprojekt im Maßstab 1 : 1 über einen Zeitraum von etwa 7 Jahren in eine praxisnahe Beziehung umgesetzt werden. Bei der technischen Gestaltung des Projektes wird angestrebt, die bautechnischen Ausführungen so zu konzipieren, daß ein Nachvollzug auch im größeren Umfang möglichst unproblematisch und kostengünstig erfolgen kann.

Auch **Kraftwerkstoffe**, wie etwa die Entkarbonatisierungsrückstände (Ekabo-Rückstände) aus den Kühlturmzusatzwasseraufbereitungsanlagen trockengefeuerter Kohlekraftwerke werden auf ihre Eignung als Dichtungsmaterial geprüft. Anhand von Grundsatzuntersuchungen haben die Vereinigten Elektrizitätswerke Westfalen (Dortmund, BRD) festgestellt, daß diese Ekabo-Rückstände bei entsprechendem Wassergehalt und entsprechender Verdichtung eine Durchlässigkeit aufweisen, die

das Material als geeignet für Abdichtungen erscheinen läßt. Modell- und Großversuche sollen durchgeführt werden (TÄUBERT, U., 1982).

Schließlich wurde an der Universität Bochum (Institut für Grundbau und Bodenmechanik) die Verwendung von **Waschbergen** als Dichtungsmaterial für Deponien untersucht (JESSBERGER, H. L. et al., 1983). Waschberge sind die unmittelbar mit der Kohle zutage geförderten Nebengesteine, die nach einem Brechvorgang in einer Schwereflüssigkeitswäsche von der Kohle getrennt werden. Sie sind im allgemeinen gut kornabgestuft, wobei Korngrößen von mehr als 100 mm selten sind. Die untersuchten Waschberge bestehen größtenteils aus Schieferton, der die bodenmechanischen Eigenschaften des Materials bestimmt. Es kommen aber auch Sandsteine und Sandschiefer vor. Bisher wurden Waschberge unter anderem als Schüttmaterial im Straßen-, Damm- und Deichbau verwendet. Für die Verwendung als Deponiedichtung ist eine möglichst niedrige Durchlässigkeit zu fordern. Dies kann im speziellen Fall durch die Beimengung verschiedener Bentonite, eventuell auch von schluffigem Material, erreicht werden. Die Untersuchungen an der Universität Bochum haben gezeigt, daß sich Waschberge für die Herstellung von mineralischen Abdichtungen bestens eignen, wobei nur geringe Zumischungsmengen zur Aufbereitung der Dichtungsschicht erforderlich sind. Die an eine Abdichtung gestellten Anforderungen, vor allem in Hinblick auf das Langzeitverhalten, sind gut erfüllbar und die Überprüfung der erreichten Abdichtung ist mit einfachen Untersuchungsmethoden möglich (JESSBERGER, H. L. et al. 1983, S. 200; vgl. auch STEFFEN, H., 1979).

Vor Einbau der mineralischen Abdichtung muß der anstehende Boden entsprechend aufbereitet werden. Diese Arbeiten beinhalten die Entfernung der Humusschicht, die, zwischengelagert, für Rekultivierungszwecke wieder verwendbar ist. Weiters müssen Unebenheiten, Wurzelstöcke und ähnliches entfernt und der durch diese Maßnahmen aufgelockerte Boden wiederum optimal verdichtet werden. Anschließend wird dieses Rohplanum mit einer entsprechenden Neigung zu den später anzubringenden Drainageleitungen glatt abgewalzt. Die gestellten Anforderungen an den Untergrund bezüglich der Verdichtung betragen bei nichtbindigen Böden $D_{pr} \geq 97\%$, bei bindigen Böden $D_{pr} \geq 95\%$ (PREGL, O., 1985, S. 117).

Es ist damit zu rechnen, daß der so vorbereitete Untergrund der gesamten Deponiebasis nicht in einem Arbeitsgang mit der Dichtungsschicht abgedeckt werden kann. Um die der Verwitterung ausgesetzten Flächen vor Erosion zu schützen ist es ratsam, diese Teilabschnitte bis zum Einbau der Dichtungsschicht abzudecken, wobei größere Wasseransammlungen auf diesen Abdeckungsvorrichtungen zu vermeiden bzw. zu beseitigen sind.

Die geforderte Dicke einer mineralischen Flächendichtung ist mit mindestens 60 cm festgelegt, der zulässige Höchstwert der Durchlässigkeit beträgt $k = 10^{-8}$ m/s. Bei Deponien für gefährlichen Sonderabfall werden meist Schichtdicken zwischen 0,6 m und 3,0 m mit einem k-Wert von $\leq 10^{-9}$ m/s gefordert (PREGL, O., 1985, S. 117). Der Wert für die Dicke der Dichtungsschicht ergibt sich einerseits aus einer gerätebedingten Bearbeitungstiefe von 30 cm, andererseits auch aus wirtschaftlichen Überlegungen (Deponievolumen soll möglichst groß bleiben). Hinsichtlich der Bearbeitungstiefe sei erwähnt, daß die Forderung besteht, mindestens zweilagig einzubauen. Begründet wird diese Maßnahme damit, daß beim einlagigen Einbau

auftretende Fehler oder Schwachstellen in der Dichtungsschicht durch die Auflage der zweiten Schicht ausgebessert werden können.

Die Dicke einer Dichtungsschicht verringert zwar den Durchfluß nur wenig oder gar nicht, sie hat aber einen großen Einfluß auf die Erosions- und Setzungsstabilität und auf die Kationenadsorption.

Eine Verringerung der Durchlässigkeit um eine Zehnerpotenz entspricht einer Verstärkung der Schicht um das 10fache (vgl. Wirtschaftlichkeit, Verlust an Deponieraum!).

Hier eine optimale Lösung zwischen ausreichender Schichtmächtigkeit und vertretbarer Wirtschaftlichkeit zu finden, liegt im Aufgabenbereich des Planers.

Das Material ist möglichst optimal zu verdichten ($D_{pr} \geq 95-97\%$), um spätere Verformungen der Dichtungsschicht zu vermeiden. Diese Anforderung ist nur bei Verdichtung auf der nassen Seite der Proctorkurve zu erreichen, wobei aber auch zu

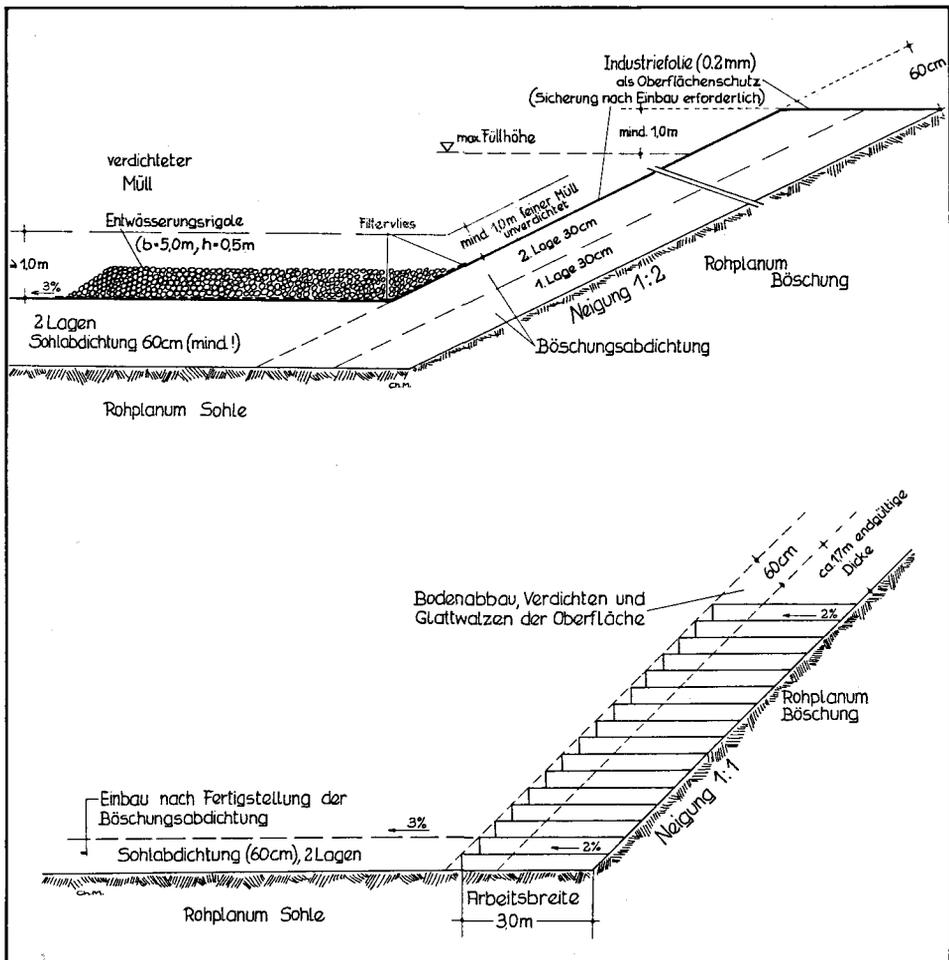


Abb. 14: Konstruktionsbeispiel von Flankenabdichtungen mit natürlichen Materialien bei verschiedenen Böschungsneigungen (nach SONDERMANN, W., 1985).

berücksichtigen ist, daß das Setzungsverhalten mit dem Einbauwassergehalt zunimmt (REUTER, E., 1985 a). Ein zu hoher Wassergehalt wirkt sich ungünstig auf die Verformbarkeit aus, sodaß sich beim späteren Befahren während der Bauzeit Rillen bilden und Drainagematerial in die Dichtungsschicht gedrückt werden kann (PREGL, O., 1985, S. 117).

Zusätzlich wird gefordert, daß der Luftporenanteil in der Dichtungsschicht, der üblicherweise zwischen 2 und 4% liegt, den Maximalwert von 7% nicht überschreiten darf.

Fallweise wird in die Abdichtungsschicht auch eine (oder mehrere) Kalkschichten miteingebaut, die auftretendes Sickerwasser neutralisieren und Schwermetalle ausfällen sollen.

Mit natürlichen Materialien können auch die **Böschungen in Grubendeponien** abgedichtet werden. Die jeweilige Einbaumethode ergibt sich aus der Böschungsneigung. Bei Neigungen $\leq 1 : 2$ kann, wie bei der Basisabdichtung, das Material flächenmäßig in mehreren Lagen aufgebracht und mit Spezialgeräten verdichtet werden. Bei steileren Böschungen empfiehlt es sich, das Dichtungsmaterial vorher auf Mieten aufzubereiten und anschließend lagenweise einzubauen, oder die Böschungsdichtung erst im Zuge der Auffüllung der Deponie in horizontalen Lagen

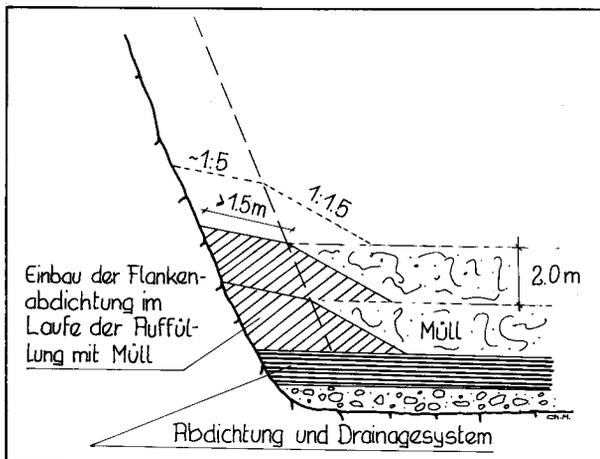


Abb. 15: Einbau von natürlichen Böschungsabdichtungen im Zuge der Auffüllung der Deponie (nach PREGL, O., 1985).

abschnittsweise anzubringen (Abb. 15). Bei allen Böschungsdichtungen ist zu beachten, daß sich durch versickerndes Niederschlagswasser oder ansteigendes Grundwasser in der Böschung hinter der Dichtung ein Porenwasserdruck aufbauen kann, der im Bereich des noch nicht verfüllten Deponieraumes die Dichtungsschicht abschälen und Böschungsrutschungen auslösen kann. Als Schutzmaßnahme ist das Eindringen von Niederschlagswässern neben der Böschung durch Gräben zu verhindern und bereits eingedrungenes Sickerwasser ist durch Vertikaldrainagen oder durch Drainageschichten unter der Dichtung abzuleiten (PREGL, O., 1985, S. 138).

Genauso ist nach Herstellung einer mineralischen Böschungsdichtung deren Abdeckung zur Verhinderung von Oberflächenerosion und Bewuchs notwendig. Aus verschiedensten Gründen ist auch die abschnittsweise Herstellung von Dichtungsschichten zu überlegen: So kommt es des öfteren vor, daß das Planum ausgetrocknet ist und erhebliche Schrumpfrisse zeigt, die auch durch nachträgliches Quellen nie mehr ganz geschlossen werden. Weiters ist darauf zu achten, daß mineralische Dichtungsschichten während Frostperioden immer bereits mit der Drainageschicht und möglicherweise auch mit der ersten Mülllage abgedeckt sind. Es konnte etwa nachgewiesen werden, daß die k -Werte der oberen 20 cm einer über dem Winter ungedeckten Dichtungsschicht um eine 10er-Potenz größer waren als die geforderten Werte, 15 cm tiefe Trockenrisse auftraten und teilweise auch das Auffrieren des Materials stattfand. Hingegen ist eine mit optimaler Verdichtung eingebaute Abdichtung mit schweren Fahrzeugen befahrbar, wenig erosionsanfällig und weicht auch bei längeren Regenperioden nur ein bis zwei Zentimeter tief auf. Aus diesen Gründen ist eine permanente und lückenlose Überwachung vor und während des Einbaues der Dichtungsschicht an der Baustelle unbedingt notwendig.

Üblicherweise wird je eine **Kontrollprüfung** auf 500 bis 2000 m² (meistens 1000 m²) hergestellter Schüttlage ausgeführt. Dabei sollte der erreichte k -Wert, Trockendichte und Wassergehalt bestimmt werden. Bei jeder fünften Probe muß eine Paralleluntersuchung vorgenommen werden. Sofern sich das Dichtungsmaterial nicht wesentlich ändert und eine genügende Anzahl von Kennwerten mit geringem Streubereich vorliegt, kann der gewählte Probenabstand vergrößert werden. Bei feinkörnigen Böden werden die Proben mit dem Ausstechzylinder entnommen. Eine unzureichende Verdichtung zeigt sich dabei oft schon beim Ausstechen dadurch an, daß die Probe durch die Reibung an der Innenseite des Zylinders gestaucht wird. Bei gemischtkörnigen Böden ist die Entnahme von ungestörten Proben nicht möglich. Daher wird die Dichte mittels eines Ersatzverfahrens bestimmt und im Labor die entnommene gestörte Probe mit der im Feld bestimmten Trockendichte und mit dem gleichen Wassergehalt in den Versuchszylinder eingebaut.

Die Dicke der Dichtungsschicht ist mindestens alle 100 m durch ein Flächennivelement zu überprüfen. In Ausnahmefällen kommen auch Schlitzsondierungen in Frage.

Bei allen Feldversuchen ist selbstverständlich für eine gute Schließung der Probenentnahmелöcher zu sorgen. Das bloße Verfüllen und Überfahren mit Walzen oder auch das händische Verdichten mit Stampfern ist nicht ausreichend. Die Verdichtung sollte mit Explosions- oder Schnellschlagstampfern erfolgen (PREGL, O., 1985, S. 142 ff.).

KRITISCHE BEMERKUNGEN

Der grundsätzliche **Vorteil mineralischer Dichtungsmaterialien** liegt sicherlich darin, daß durch ein Vorkommen am Deponiestandort oder in dessen unmittelbarer Nähe mit relativ geringem finanziellem Aufwand eine Abdichtung zu erstellen ist. Von großer Bedeutung dabei sind sorgfältige Auswahl, Überprüfung, Einbau und Nachprüfung des Materials.

Ein weiterer Vorteil liegt darin, daß bei den immer wieder zu erwartenden Setzungen kein Sprödbuch eintritt, sondern die natürlichen Materialien die Fähigkeit der „Selbstheilung“ besitzen. Von großer Bedeutung ist auch die Wirkung der natürlichen Dichtung in Form einer „geochemischen Barriere“ (vgl. dazu auch Kap. 1.2.7.3. und Abb. 10). Ein zusätzlicher Dichtungseffekt tritt durch ein „Verockern“ der Basisabdichtungsoberkante und somit durch die Ausbildung einer obersten „Patina-Schicht“, die den darunterliegenden Ton schützt, ein. Dieser Effekt konnte durch Lysimeterversuche (RIEHL-HERWIRSCH, G. et al., 1983) nachgewiesen werden. Folgende weitere (günstige) Faktoren bewirken eine Verringerung der Durchlässigkeit:

- Die Sickerwassermenge verteilt sich nicht gleichmäßig über das ganze Jahr – es ist also nicht mit einer permanenten Höchstbelastung der Basisabdichtung durch einen hohen Sickerwassereinstau zu rechnen.
- Bei den Eignungsprüfungen werden die k -Werte üblicherweise für den gesättigten Zustand und bei einem Gradienten von $i = 30$ bestimmt. Die Dichtungsschicht ist jedoch tatsächlich nur teilweise gesättigt und der Gradient liegt tatsächlich bei $i = 1$.
- Die an der Ober- und Unterseite der Dichtungsschicht wirkenden Kapillarspannungen behindern das Eindringen von Sickerwasser in die Dichtungsschicht und das Austreten desselben in den durchlässigen Untergrund.
- Innere (Kolmation) und äußere Filtration.
- Osmose.

Zweifellos treten auch **Erscheinungen** auf, die sich **negativ auf die Dichtigkeit auswirken** und somit die Durchlässigkeit erhöhen:

- Suffusion, innere Erosion und Kontakterosion,
- Lösungs- und Desorptionsvorgänge (PREGL, O., 1985, S. 120).

Durch ungünstige Mischungsverhältnisse mit Bentonit vergütete Böden zeigen ein schlechtes mechanisches Verhalten und neigen zu grundbruchähnlichen Ausweichreaktionen aufgrund der Auflast.

Letztlich soll betont werden, daß die Forschung auf diesem Gebiet noch am Beginn steht. Die bisher gewonnenen Erfahrungen, auch aus der Praxis, lassen aber eine durchaus optimistische Entwicklung für die Zukunft erwarten und ermöglichen gut fundierte Voraussagen.

2.1.2.2. Künstliche Materialien

Die Beherrschung der Kunststofftechnik liegt sicherlich nicht im Aufgabenbereich des Geologen. Zweifelsohne sind dafür speziell ausgebildete Fachleute zuständig. Trotzdem ist die Kenntnis grundlegender Parameter im Zusammenhang mit Kunststoffdichtungsbahnen als Entscheidungshilfe und Grundlage für vergleichende Betrachtungen notwendig. Die folgenden Ausführungen sollen daher einen kurzen Überblick vermitteln.

Kunststoffdichtungsbahnen werden im Bereich des Grundwasserschutzes in der BRD etwa seit Anfang der siebziger Jahre im größeren Umfang eingesetzt. Nach groben Schätzungen wurden bis Ende 1984 bei mehr als 300 Projekten ca. 6 Mio. m² Kunststoffbahnen verlegt (KNIPSCHILD, F. W., 1985 a, S. 71). Ähnliche Überlegun-

gen sind für Österreich nicht bekannt. In den österreichischen „Richtlinien für geordnete Mülldeponien im Interesse des Gewässerschutzes“ (BMfLF, 1977) ist sogar festgehalten, daß künstliche Dichtungen für eine ausreichenden Gewässerschutz keine Gewähr bieten und daher in Gebieten mit nutzbarem Grundwasser abzulehnen sind. Nach den jüngsten Erfahrungen aus Forschung und Praxis dürfte diese Aussage wohl nur mehr bedingt, wenn überhaupt, gültig sein.

Kunststoffdichtungsbahnen oder -platten werden von verschiedensten Firmen, auch in Österreich, auf folgenden Werkstoffgrundlagen hergestellt:

Werkstoffbasis	Abkürzungen
1. Polymere	
Hart-Polyethylen	HDPE
Halbhart/Weich – Polyethylen	M/LDPE
Weich – Polyvinylchlorid	PVC
Ethylen – Propylen – Terpolymer (Elastomer)	EPDM
2. Polymer – Bitumen	
Ethylen – Copolymer – Bitumen	ECB (PREGL, O., 1985, S. 147)

Die **Dicke** der einzelnen Folien schwankt je nach Werkstoff und Hersteller zwischen 1,5 und 5,0 mm. In den meisten Ausschreibungstexten wird für die Abdichtung von Mülldeponien eine Foliendicke von 2,0 mm \pm 10% vorgesehen.

Nach dem Stand der Technik werden Basisabdichtungen mit Kunststoffbahnen bevorzugt auf HDPE-Basis (= Polyethylen hoher Dichte, oder PE hart bzw. Niederdruck-PE oder modifizierte PE) ausgeführt (GLÜCK, L. et al., 1985, S. 34).

Tab. 3: Einteilung von Polyethylen (PE)-Formmassen (nach GLÜCK, L. et al., 1985).

Bezeichnung	Kurzzeichen	Dichtebereich (g/cm ³)	Schmelzbereich (°C)
Polyethylen niederer Dichte	LDPE	0,915–0,924	105–115
Polyethylen mittlerer Dichte	MDPE	ca. 0,94	ca. 120
Polyethylen hoher Dichte	HDPE	0,925–0,965	127–135

Die Eigenschaften dieser Werkstoffe und somit auch die Qualität eines Dichtungssystems mit Kunststoffdichtungsbahnen werden von verschiedensten Faktoren beeinflusst:

- Art und Zusammensetzung des Rohstoffes,
- Herstellverfahren,
- Gestaltung und Dimensionierung,
- Aufbau des Dichtungssystems,
- Konstruktive Einzelheiten (KNIPSCHILD, F. W., 1985 b, S. 154).

Die einzelnen Hersteller sind bemüht, ihre Produkte von verschiedensten Prüfanstalten untersuchen zu lassen und stellen dem Interessenten diese oft sehr umfangreichen Testergebnisse unentgeltlich zur Verfügung.

Daher sollen im folgenden nur zwei übergeordnete Begriffe beleuchtet werden, die in Hinblick auf die Verwendung von Kunststoffbahnen als Deponieabdichtung von großer Bedeutung sind, nämlich die mechanische Beanspruchung und die chemische Beanspruchung dieser Kunststoffe.

Unter dem Überbegriff **mechanische Beanspruchung** können kurzfristige (während der Bauzeit, während des Zeitraumes bis zur Abdeckung mit Müll) und langfristige Beeinflussungen der Dichtungsbahnen unterschieden werden. Einen grundsätzlichen Überblick zu möglichen mechanischen Belastungen der Basisabdichtungen zeigt Abb. 16.

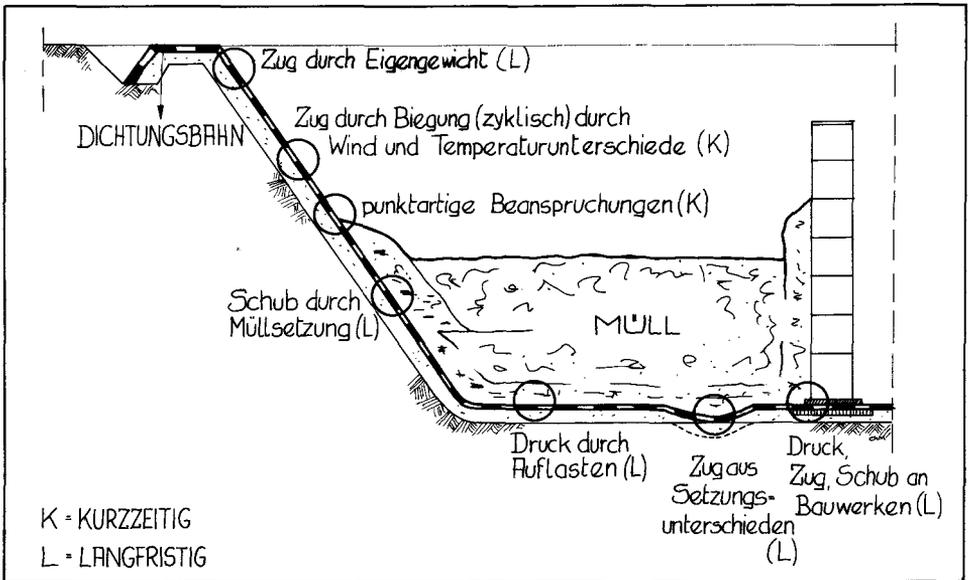


Abb. 16: Verschiedenste mechanische Beanspruchungen von Kunststoffdichtungsbahnen bei der Verwendung als Basis- und Flankenabdichtung (nach KNIPSCHILD, F. W., 1985 a).

In Abb. 17 sind schematisch alle sonstigen Beanspruchungen der Dichtungsbahnen, die allgemein als **Alterungseinflüsse** bezeichnet werden können, dargestellt. Durch diese Einflüsse, die selbstverständlich bei der Planung berücksichtigt werden müssen, können die mechanischen Eigenschaften der Dichtungsbahnen nachträglich verändert werden (vgl. KNIPSCHILD, F. W., 1985 c).

Unter **chemischer Beanspruchung** ist die Wechselwirkung der Kunststoffdichtung mit dem Sickerwasser zu verstehen. In diesem Zusammenhang muß betont werden, daß auch bei fehlerfrei erzeugten und verlegten künstlichen Sperrschichten Transportvorgänge durch den Kunststoff möglich und auch nachgewiesen sind. Der Transport einer niedermolekularen Substanz vollzieht sich durch Adsorption an der

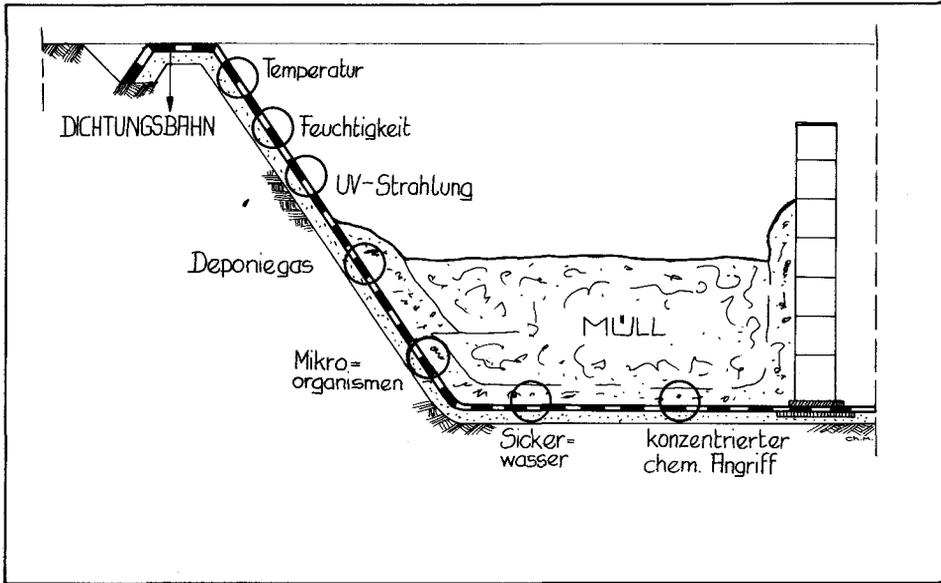


Abb. 17: Unterschiedlichste Beanspruchungen von Dichtungsbahnen bei der Verwendung als Deponieabdichtung (nach KNIPSCHILD, F. W., 1985 c).

Kunststoffoberfläche, Lösung des Permeenten im Kunststoff (vorzugsweise in der amorphen Phase), Transport im Inneren des Kunststoffes und Desorption nach Erreichen der unteren Oberfläche. Der gesamte Vorgang wird als Lösungsdiffusion bezeichnet und nur diese kommt bei Kunststoffen in Frage (POSCHET, G., 1985, S. 84). Diese Diffusion ist unabhängig vom hydrostatischen Druck und bei konstanter Temperatur nur abhängig von den Lösungskonzentrationen an der Ober- bzw. Unterseite der Abdichtungsschicht. Es sind vor allem organische Stoffe, die durch Lösungsdiffusion aus der Deponie austreten können (Abb. 18).

PE weist die geringste Permeationsrate auf. Sie beträgt aber immerhin 3,4 ml organischer Stoffe/m²/Tag. Dies entspricht den Inhaltsstoffen von 150 ml Sickerwasser. Im Vergleich dazu durchsickern etwa nur 100 ml Sickerwasser eine mineralische Dichtungsschicht mit einem k-Wert von 10⁻⁸ m/s (PREGL, O., 1985, S. 148).

Vor Verlegung der Kunststoffbahnen, die meist beim Hersteller auf bestimmte Größen vorkonfektioniert werden können, sollte auf den glatt abgewalzten Untergrund eine ca. 20–30 cm dicke **Schutzschicht** aus Sand (z. B. 0/4 mm Körnung) (oder ein Kunststoffvlies) aufgetragen, verdichtet (Setzungen!) und abgewalzt werden. Dies ist deshalb notwendig, weil es trotz der großen Reißdehnung der Dichtungsbahnen beim Überfahren mit Planiertraupen (etwa einer Moorraupe, die einen sehr geringen Flächendruck von 35 kPa ausübt) zum Durchstanzen der Folie durch kantige Kieskörner kommen kann.

Beim **Verlegen der Kunststoffbahnen** ist auf eine äußerst sorgfältige und materialschonende Arbeitsweise zu achten. Während der Verlegearbeiten spielen auch klimatische Einflüsse eine nicht zu unterschätzende Rolle. Sicherlich sind diese

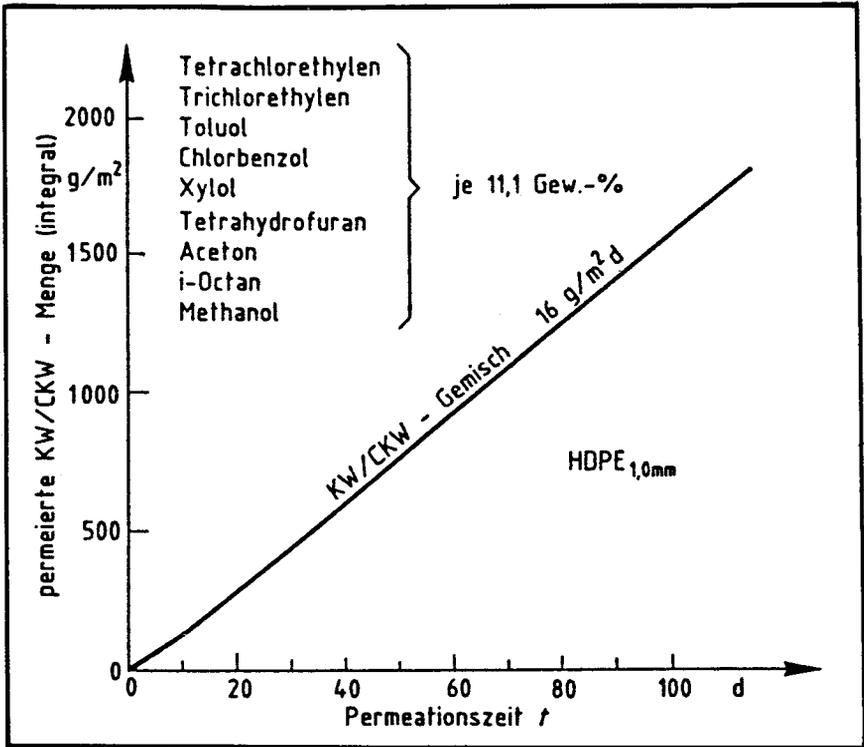


Abb. 18: Permeation eines 9-Komponentengemisches durch eine 1 mm-dicke HDPE-Folie (nach AUGUST, H., 1985).

Parameter nicht zu beeinflussen, aufgrund vorliegender Erfahrungen kann man aber, sofern überhaupt möglich, die Einbauzeit so ansetzen, daß diese Einflüsse möglichst gering gehalten werden. So können etwa durch Wärmeausdehnung Falten entstehen: Bis zu einer bestimmten Größe können sie überdeckt, größere müssen mit Bändern aus demselben Material auf die Folie wieder angeheftet werden (Abb. 19). Bei der Deponie „Nassmatt“/Zürich führte der nächtliche Temperaturabfall zu einer linearen Materialverkürzung von über 3 m! Am Tag kam es zum umgekehrten Vorgang durch temperaturbedingte Längenausdehnungen mit Wellenbildung (PREGL, O., 1985, S. 151).

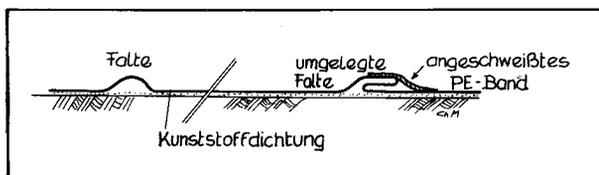


Abb. 19: Faltenbildung an Kunststoffdichtungsbahnen infolge thermischer Beanspruchung und eine mögliche Sanierungsvariante (nach PREGL, O., 1985).

Bei den Verlegearbeiten ist darauf zu achten, daß die einzelnen Dichtungsbahnen möglichst spannungsfrei in das gesamte System eingelegt werden. An allen Bauwerksanschlüssen, Rohrdurchführungen u. ä. ist eine vor Einbau festzulegende Materialvorgabe notwendig, um die Bahnen bei unterschiedlichen Setzungsbeträgen möglichst spannungsfrei zu halten (KOPP, B., 1985, S. 175).

Vor allem im Böschungsbereich erfordert das Abdichten mit Kunststoffbahnen wesentlich differenziertere konstruktive Ausführungen als der Einbau von mineralischen Abdichtungen. So soll die vor der Verlegung der Dichtungsbahnen genauso sorgfältig wie die Sohlfläche aufbereitete Böschung einen Neigungswert von $N = 1 : 2,5$ im allgemeinen nicht überschreiten. An Steilböschungen über $28-30^\circ$ Neigung müssen zur Erhöhung der Reibung zwischen Kunststoffbahn und Planum geeignete Gittergewebe als Unterlage eingesetzt werden. Böschungen mit mehr als 40 m Länge sollten ohne Zwischenverankerung der Dichtungsbahnen vermieden werden, um Überdehnungen des Materials im Einbauzustand, aber auch eine punktuelle Überbeanspruchung der Schweißnähte auszuschließen. Außerdem empfiehlt es sich, Zwischenbremsen anzulegen und mit einer Sickerwasserdrainage für die darüber befindliche Hanglänge zu versehen. Der Übergang der Böschung am Deponierand ist mit einem Ausrundungsradius von mindestens 3 m zu planen, damit die Bahn mit genügend starkem Reibungswinkel verankert werden kann. Der Aufhängegraben wird so ausgehoben, daß sich seine Mittelachse im Abstand von

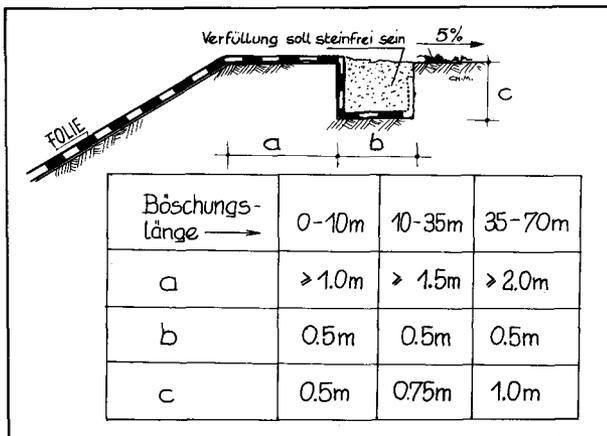


Abb. 20: Konstruktionsvorschlag für die Befestigung von Kunststoffdichtungsbahnen in Form eines Einbindegrabens (nach SCHLÜTTER, A., 1985).

mehr als 1 m (Abb. 20) parallel zur Böschungskante befindet. Auf diese Weise wird u. a. auch verhindert, daß durchsickerndes Tagewasser hinter die Dichtungsbahn treten kann (SCHLÜTTER, H., 1985, S. 42f.). Auch Steilwände im Deponiebereich können durch spezielle Konstruktionen mit Kunststoffbahnen abgedichtet werden (Abb. 21).

Für die Verlegung ist ein sorgfältig ausgearbeitetes Konzept mit entsprechendem **Verlegeplan** erforderlich. Aus diesem Plan muß die Lage jeder einzelnen Bahn und jeder Schweißnaht ersichtlich sein und der Arbeitsfortschritt ist laufend einzutragen.

Für das **Zusammenfügen** der einzelnen Bahnen kommen je nach Material und Hersteller verschiedene Schweißtechniken zur Anwendung. Zur Zeit werden hauptsächlich Warmgas-Überlappverfahren, Heizkeil-Überlappverfahren, Extrusions-Überlappverfahren und Extrusions-Auftragverfahren angewendet (GLÜCK, L. et al., 1985).

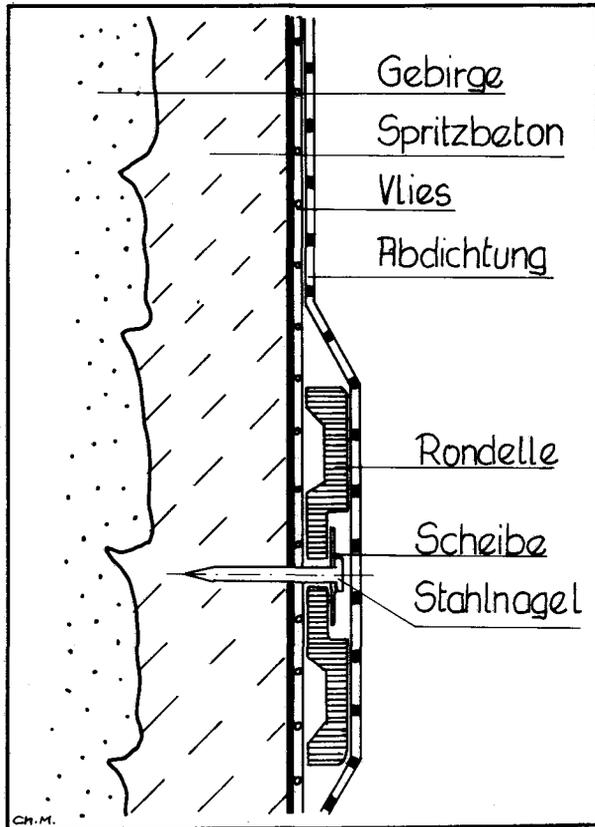


Abb. 21: Vorschlag zur konstruktiven Ausbildung der Abdichtung von Steilwänden mittels Kunststoffdichtungsbahnen (nach SCHLÜTTER, A., 1985).

Die Dimensionierung der Schweißnaht muß mindestens 5 cm betragen und sehr oft (Überlapp-Verfahren) wird sie als Doppelnaht mit dazwischenliegendem Prüfkanaal ausgeführt (Abb. 22). Es ist notwendig, ein genaues Schweißprotokoll zu führen, worin für jede Schweißnaht die für das jeweilige Verfahren maßgeblichen Parameter, wie etwa Temperatur von Bahnen, Extrudat- und/oder Warmluft, Schweißgeschwindigkeit und verschiedenste Witterungsparameter festzuhalten sind.*)

*) Im allgemeinen liegt die mittlere Schweißgeschwindigkeit auf der Baustelle je nach Witterung bei 2 m/min.

Um die **Schweißnahtfestigkeit** zu überprüfen, wird vor Schweißbeginn und nach Schweißende eine Probeschweißnaht angefertigt, die vor Ort u. a. durch manuelle Schälversuche an daraus entnommenen Probekörpern untersucht werden kann (GLÜCK, L. et al., 1985, S. 39). Die Prüfung der Nähte soll sowohl deren Dichtigkeit als auch die mechanische Festigkeit nachweisen. Auch diese Vorgänge sind ins Schweißprotokoll – auch die getroffenen Sanierungsmaßnahmen – einzutragen.

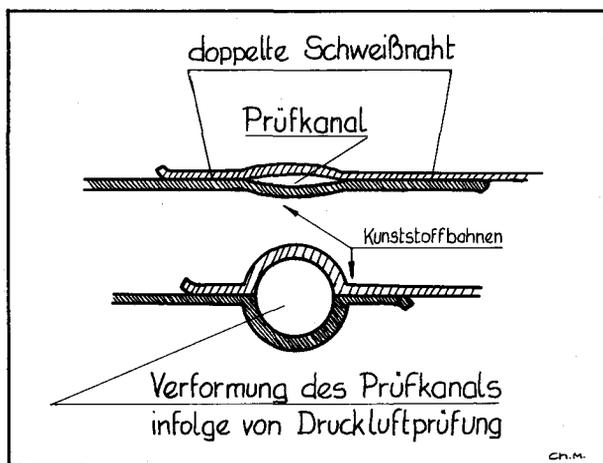


Abb. 22: Zusammenfügen zweier Kunststoffdichtungsbahnen durch eine doppelte Schweißnaht mit dazwischenliegendem Prüfkanal für die Druckluftprüfung (nach KOPP, B., 1985).

Für die **Dichtigkeitsprüfung** wurden verschiedene materialspezifische Prüfverfahren entwickelt, deren Aussagewert allerdings sehr unterschiedlich ist. Es können visuelle Beurteilungen der Naht und des Schweißwulstes, Prüfungen mit Reißhaken, Ultraschall, elektrischer Hochspannung, Vakuumlöcke und Druckluftprüfungen an Nähten mit Prüfkanal durchgeführt werden (siehe Abb. 22). Diese Methoden liefern insgesamt keine zuverlässigen Aussagen über die mechanische Festigkeit. Außerdem muß bei der Prüfung sorgfältigst vorgegangen werden, um Beschädigungen der Dichtungsbahn oder der Schweißnähte zu vermeiden.

Bei den meisten Projekten konnte festgestellt werden, daß die Prüfung der zu Schweißbeginn und nach Schweißende angefertigten Probeschweißungen – konstante Schweißbedingungen vorausgesetzt – wertvolle und in der Regel hinreichende Informationen über die Nahtgüte der Gesamtnaht liefert (GLÜCK, L. et al., 1985, S. 40).

Nachdem die Verlegearbeiten samt Sanierungen und Überprüfungen abgeschlossen sind, erfolgt vom Bauherrn die Endabnahme der Deponieabdichtung.

Schließlich soll noch angeführt werden, daß auch **bituminöse Heißmischbeläge** als Abdichtungsmaterial für bestimmte Deponien verwendet werden (z. B. Schüttgutdeponie Großlappen Nord bei München). Den außerordentlich günstigen Eigenschaften gegenüber mechanischen, klimatischen und biologischen Einflüssen muß die Empfindlichkeit von Bitumen und Teer in Hinblick auf organische Stoffe (etwa

Kohlenwasserstoffe) und Mikroben entgegengehalten werden. Die Verwendung von bituminösen Dichtungsmaterialien soll daher nur bei der Errichtung von Deponien, die keine organischen Abfälle aufnehmen müssen, in Erwägung gezogen werden (vgl. PREGL, O., 1985, S. 155).

Es ist ratsam, vor Aufbringung der Drainageschicht eine **Schutzschicht** anzuschütten, die insbesondere die mechanische Beschädigung der Kunststoffbahnen verhindern soll. Diese Sandschicht (0/10 oder 2/10 Körnungen) muß mindestens 20, wenn möglich 30 cm dick sein. Um einen größeren Sickerwassereinstau, hervorgerufen durch den Einbau dieser Schicht, zu vermeiden, können gegebenenfalls einige Drainagerohre in Mulden direkt auf der Dichtungsfolie verlegt und mit Grobkies verfüllt werden (Abb. 23). Das direkte Aufschütten eines als Drainage vorgesehenen Kiesfilters auf die Dichtungsbahnen hat fallweise zu mechanischen Beschädigungen beim Befahren einer in Bau befindlichen Schweizer Deponie geführt (SCHLÜTTER, A., 1985, S. 43). Anstelle von Sand können auch Geotextilien verwendet werden (Flächendrainung), die die Stärke der Schutzschicht wohl verringern (mehr Deponievolumen), bei denen aber auch die Mehrkosten zu berücksichtigen sind.

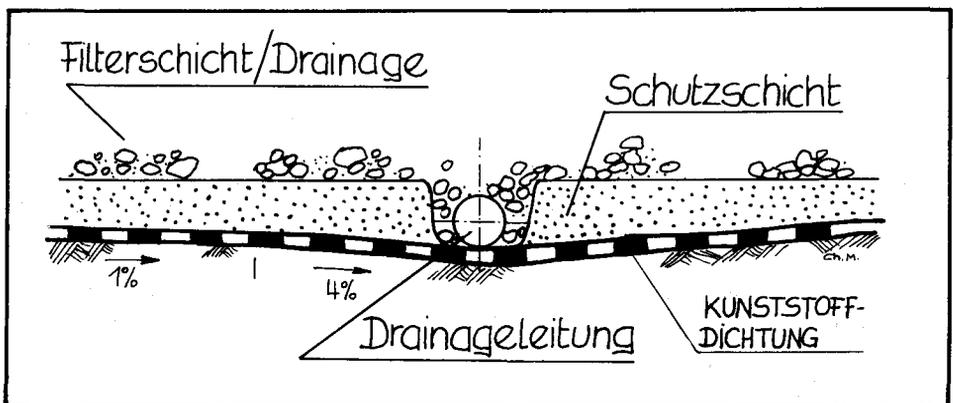


Abb. 23: Verlegung einzelner Drainagerohre direkt auf der Kunststoffdichtung bei Anbringung einer Schutzschicht zur Verminderung eines hohen Sickerwassereinstaus (nach PREGL, O., 1985).

KRITISCHE BEMERKUNGEN

In den vergangenen zwei Jahrzehnten wurden die Kenntnisse über das mechanische Verhalten der Kunststoffe bei Langzeitbeanspruchung und unter Einwirkung verschiedenster Umgebungseinflüsse so vervollständigt und in allgemeingültige Rechenregeln gefaßt, daß man heute in der Lage ist, mit Kunststoffen ebenso sicher und exakt zu konstruieren und zu dimensionieren wie mit konventionellen Werkstoffen (TAPROGGE, R., 1985, S. 61). Von der Formmasse bis zum Produkt ist schon bei der Herstellung eine umfassende Qualitätssicherung möglich. Da Kunststoffdichtungen praktisch wasserdicht sind, wirkt sich diese Eigenschaft günstig in Hinblick auf ein gut funktionierendes Drainagesystem aus. Ein weiterer Vorteil besteht in der platzsparenden Dimensionierung der Dichtungsschicht bei Verwen-

dung von Kunststoffbahnen – es bleibt mehr Deponievolumen vorhanden als bei Verwendung von mineralischen Abdichtungen.

Leider fehlen in Verbindung mit dem Gesamtsystem „künstliche Deponiedichtung“ Konstruktionsrichtlinien und Festlegungen für Schweißgeräte, ausführendes Personal und Prüfverfahren.

Produktionsbedingte Unsicherheiten bei Kunststoffbahnen gibt es auch noch im mechanischen Bereich der Lastannahme (KNIPSCHILD, F. W., 1985 c, S. 59).

Die beschriebene Lösungsdiffusion, vor allem von KW, CKW u. ä. organischen Substanzen, kann etwa das biaxiale Dehnungsvermögen verringern und das Verhalten von Kunststoffbahnen gegenüber Setzungen negativ beeinflussen.

Im Gegensatz zu natürlichen Abdichtungen, die die Fähigkeit zur „Selbstheilung“ haben, ist dies bei Kunststoffbahnen nach erfolgter Beschädigung nicht möglich.

Zusätzliche Unsicherheitsfaktoren hinsichtlich der Beschädigung von Folien liegen in den Bereichen Verladung, Transport, Bahnenverlegung, Fügetechnik und Überprüfung. Nachträglich erfolgte Beschädigungen sind praktisch nicht mehr erfassbar.

Letztlich wird im Vergleich natürliche/künstliche Deponieabdichtung auch die Kostenfrage eine entscheidende Rolle spielen.

2.1.2.3. Mehrfach- und Kombinationsdichtungssysteme

Wie schon aus der Bezeichnung ersichtlich, handelt es sich bei Mehrfachdichtungen um Systeme, bei denen mehrere (meist zwei) künstliche oder natürliche Dichtungsschichten, oft auch im Zusammenhang mit mehreren Drainagelagen, zur

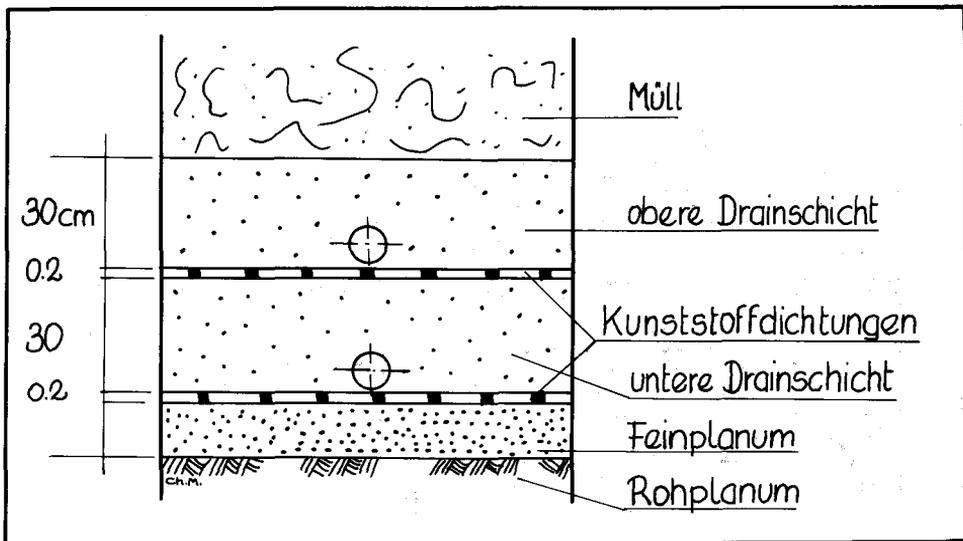


Abb. 24: Doppeltes Dichtungssystem mit zwei Kunststoffdichtungsbahnen (nach KOPP, B., 1985).

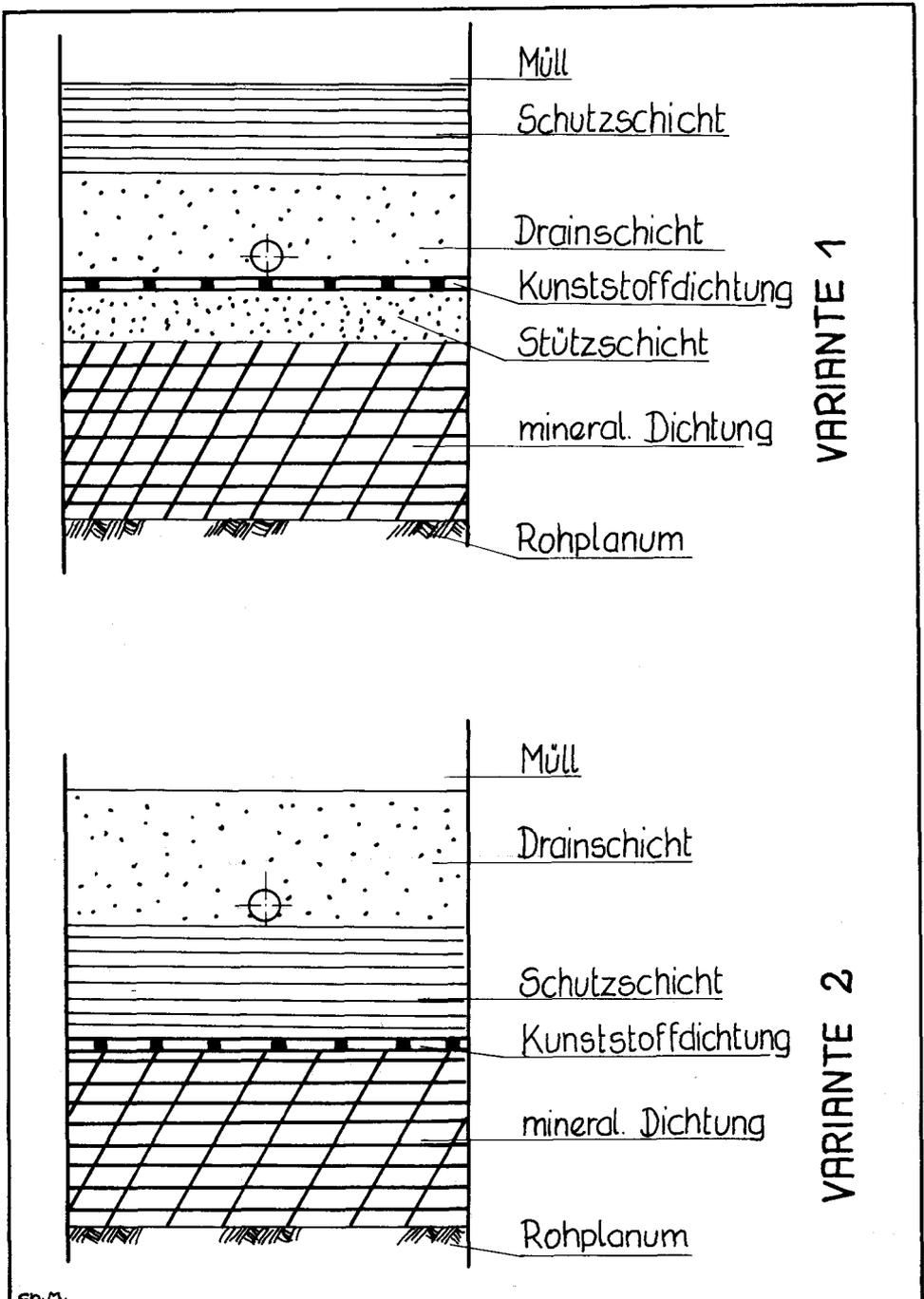


Abb. 25: Doppeltes Dichtungssystem mit Kunststoffdichtung und mineralischer Dichtung (nach KOPP, B., 1985).

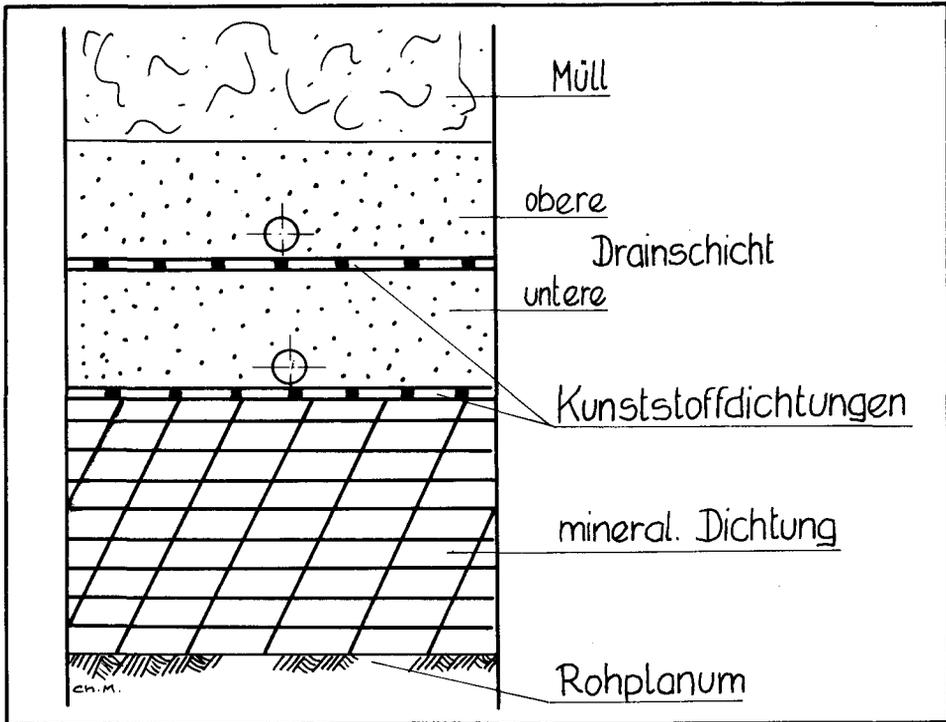


Abb. 26: Mehrfaches, kombiniertes Dichtungssystem (nach KOPP, B., 1985).

Inertisierung von Abfallstoffen herangezogen werden. Denselben Aufbau besitzen auch die Kombinationsdichtungen, wobei bei dieser Art der Abdichtung die Kombination von künstlichen und natürlichen Dichtungsmaterialien vorgesehen ist.

Diese **Kombination von verschiedenen Dichtungsmaterialien** wird nicht nur beim Einbau von Basis- oder Böschungsabdichtungen, sondern auch bei der Errichtung von Senkrechtabdichtungen angewendet.

Obwohl die Kombinationsdichtungen erst in jüngerer Zeit zur Anwendung kommen, sind sie in den USA, möglicherweise zukünftig auch in der BRD, als Deponieabdichtung zwingend vorgeschrieben.

Den großen Vorteil in Hinblick auf ungleich größere Sicherheit gegenüber Einfachdichtungen muß man die ungleich höheren Kosten und den Verlust an Deponievolumen bei Anwendung dieser Systeme gegenüberstellen. Daher sind diese Abdichtungsmaßnahmen eigentlich **nur für die Lagerung von Problemstoffen**, die eine potentielle und lang andauernde Gefahr für das Grundwasser darstellen, sinnvoll.

Einschränkend muß darauf hingewiesen werden, daß zur Zeit vor allem das Verhalten von Kombinationsdichtungen und dabei die möglichen Wechselwirkungen zwischen Ton und Folie noch nicht restlos geklärt sind. Das Problem liegt im direkten Kontakt zwischen mineralischer und künstlicher Dichtung, der in allen Fällen stabil bleiben soll – sowohl mechanisch als auch chemisch. Denkbar wäre aber, daß bei einer direkten Lagerung einer Kunststoffdichtung auf einer Tonschicht beim Austrocknen des Tones unter der Folie ein reduzierendes Milieu entsteht. Das Fe^{3+} im Ton wird zu Fe^{2+} reduziert, der Ton „beginnt zu arbeiten“, sich auszudehnen und schafft somit äußerst ungünstige Verhältnisse bezüglich Stabilität und Dichtigkeit des gesamten Systemes (KOHLER, E. E., 1986; siehe Abb. 28).

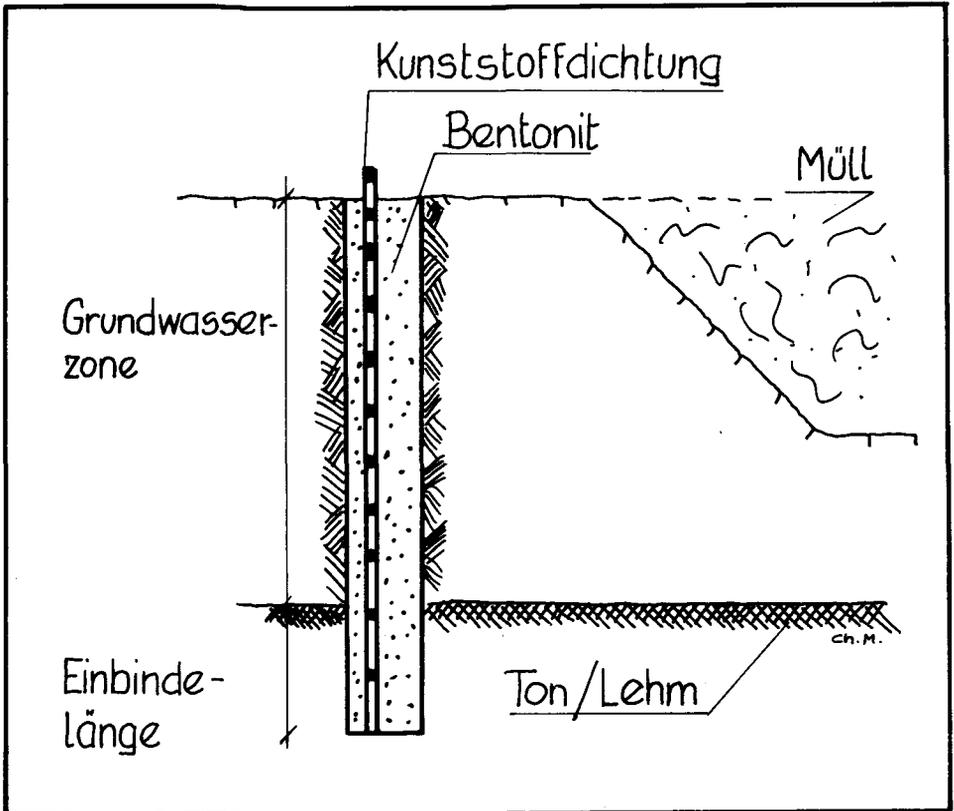


Abb. 27: Kombinierte Senkrechtabdichtung (nach KOPP, B., 1985).

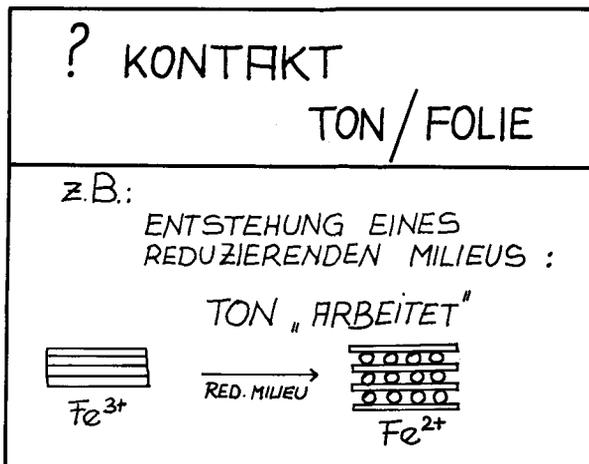


Abb. 28: Mögliche Reaktion bei direktem Kontakt von Kunststoffdichtungen mit mineralischen Abdichtungen (nach KOHLER, E. E., 1986).

2.1.3. Drainagesysteme

Wird eine Deponie mit Hilfe von natürlichen oder künstlichen Materialien abgedichtet, so ist der Einbau von Drainagesystemen zur Fassung und Ableitung von Sickerwasser und Deponiegas notwendig. Nur in ganz speziellen Fällen, wie etwa bei der Verwendung von Behälterdeponien mit Abdeckung oder bei der Schüttung von Material, das keine grundwassergefährdenden oder organisch abbaubaren Stoffe beinhaltet (z. B. ausschließlich Sperrmüll oder Abbruchmaterial), kann auf ein Drainagesystem verzichtet werden.

SICKERWASSERDRAINAGEN

Das Drainagesystem, bestehend aus Drainageschicht und Rohrleitungen, hat die Aufgabe, das anfallende Sickerwasser so schnell als möglich abzuführen, damit ein Einstau an der Basisabdichtung möglichst verhindert wird. Dieser kann negative Folgen für die Abbauvorgänge in der Deponie haben, die Standsicherheit von Haldendeponien kann verschlechtert werden und die Abfälle werden im allgemeinen stärker ausgelaugt.

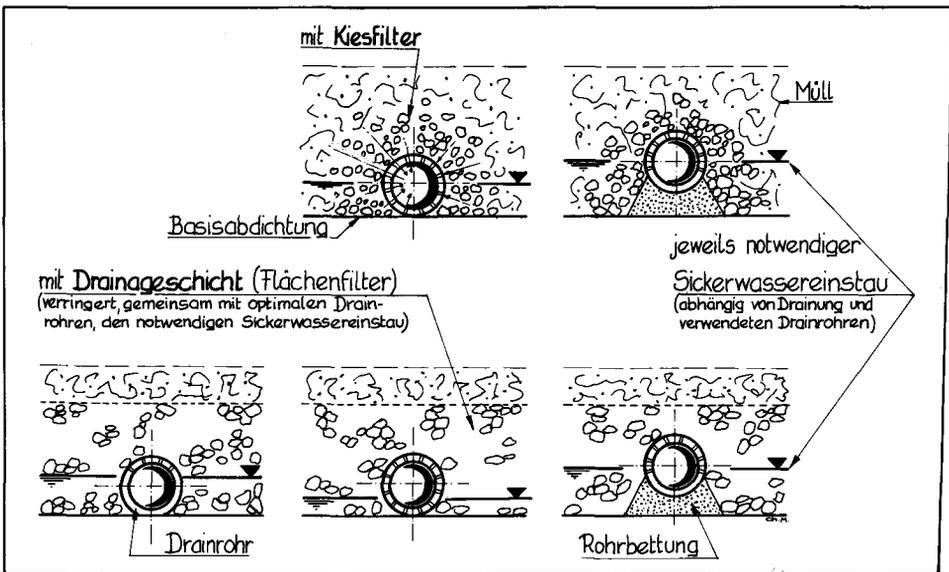


Abb. 29: Anordnungsmöglichkeiten von Drainageröhren und konstruktive Ausbildung des Drainagesystems (nach STIEF, K., 1979).

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, das Drainagesystem zu konstruieren – entscheidend werden in jedem Fall die örtlichen Gegebenheiten sein. Wichtig ist, daß die unter dem Drainagesystem angeschütteten Abdichtungsschichten bzw. auch schon das Rohplanum mit einem Gefälle zwischen 3 und 5% (PREGL, O., 1985, S. 105) in Richtung der später zu verlegenden Drainrohre versehen werden. Um auch in diesen Rohren den Abfluß des Sickerwassers zu gewährleisten, muß in Längsrichtung ebenfalls ein Gefälle vorgegeben werden.

Die Drainage kann entweder als **Flächenfilter**, oder als **Ummantelung** im Bereich der Drainagerohre, bei der etwa 1 m³ Kies/1 m Rohrlänge (HOSTETTLER, Ch., 1985, S. 22) verwendet wird, ausgeführt werden. Die Drainageschicht besteht aus abgerundeten Kiesen, z. B. Flußkies (häufig verwendete Körnungen: 16/32, 50–80), wobei auf einen möglichst geringen Feinkornanteil zu achten ist, um Abdichtungen oder Verstopfungen zu verhindern. Da die Mächtigkeit der Drainageschicht direkt proportional zur Leistung als Filter steht, wird empfohlen, diese Schicht mit einer Dicke von mindestens 30 cm, besser 1 m, zu schütten. Eine gewisse Problematik hinsichtlich der Stabilität dieser Kiesschichten kann im Bereich steiler Böschungen auftreten – vor allem, wenn Folien zur Abdichtung verwendet wurden. Hier kann entweder Drainageschotter mit einem höheren Feinkornanteil und kantigerem Material – zur Erhöhung der inneren Reibung – geschüttet werden, oder es werden vollflächig Autoreifen aufgelegt, die gleichzeitig auch die Dichtungsbahnen schützen (HOSTETTLER, Ch., 1985, S. 90, Bild 3). Die Zwischenräume und eine 15–20 cm starke Schicht über den Reifen werden mit Rundkies aufgefüllt, der nun auch an den steilen Böschungen nicht abrutscht.

Als Ergänzung zu Kiesdrainagen stehen auch **Geotextilien** (Geogitter) zur Verfügung. Sie werden entweder zur Ummantelung der Drainagerohre oder als zusätzliche Schutz- und Drainageschicht an der Oberfläche der Kiesschüttung verlegt. Diese Geogitter sollen das Eindringen von Feststoffen verhindern und werden, nicht zuletzt wegen der zusätzlichen Kosten, vorwiegend bei Drainagesystemen für Sondermülldeponien verwendet. Allerdings kann eine Umhüllung der Rohre infolge der Abfiltration von organischen Stoffen auch zur einer Verstopfung führen.

Wenn man damit rechnen muß, daß das Entwässerungssystem auf der Deponiesohle versagen kann, dann ist es zweckmäßig, ein weiteres System einzubauen. Das kann durch Anlegung von Etagedrainagen oder durch den Bau von Vertikaldrainagen geschehen (WEITZEL, H. et al., 1985, S. 193).

An der Basis jeder Drainageschicht können zur Abfuhr des Sickerwassers Rohre (Sauger) mit einer Neigung zwischen 1 und 3,5% verlegt werden, die entweder geschlitzt oder gelocht ausgeführt sind. Bei der Auswahl dieser Rohre ist darauf zu achten, wie die Öffnungen angebracht sind (vgl. Abb. 29). So werden auch Rohre angeboten, die nur im oberen Drittel (bezogen auf den Querschnitt) mit Öffnungen versehen sind. Im Gegensatz zu rundum geschlitzten entsteht bei den erwähnten Rohren ein wesentlich höherer Sickerwassereinstau.

Das Material, aus dem die Entwässerungsleitungen aufgebaut sind, muß korrosionsfest gegen Sickerwasser sein und den hohen statischen Beanspruchungen unter Deponien standhalten. Die mechanische Stabilität der Rohre muß auch allfällige Hochdruckspülungen ermöglichen. Sehr oft werden geschlitzte PVC-Rohre mit ca. 13 mm Wandstärke verwendet, die mit einem Durchmesser von ≥ 200 mm (besser ≥ 250 mm) spül- und fräsbar sind. Auch der Einsatz von Fernsehsonden zur Kontrolle ist bei solchen Rohren möglich. Allerdings muß schon bei der Planung und beim Verlegen der Drainageleitungen auf diese Reinigungs- und Überprüfungs-tätigkeiten Rücksicht genommen werden. Der Abstand der Drainageleitungen soll nicht größer als 20 m voneinander sein. Auftretende Setzungen können insofern berücksichtigt werden, indem man die einzelnen Rohre durch die Anbringung von sogenannten Deformationsschichten (vgl. ÖNORM B5012) über dem Scheitel

GASDRAINAGEN

In Deponien, in denen auch organische Abfälle zur Ablagerung gelangen, entsteht **Deponiegas** (siehe Kap. 2.1.3.2.), das mittels eines geeigneten Drainagesystems geordnet abgeführt werden muß.

Die kontrollierte Entgasung eines Müllkörpers ist in der Praxis aber nicht so einfach zu realisieren, wie dies auf den ersten Blick erscheinen mag.

Anlagen zur Entgasung von Deponien können als horizontale und/oder vertikale Systeme ausgebildet werden. Besonderes Augenmerk ist darauf zu legen, daß das Gas, welches wegen der Schichtanisotropie des Deponiekörpers bevorzugt in horizontaler Richtung wandert, sicher erfaßt werden kann (LAGA 6, 1983, S. 47).

Zur Entgasung können künstliche und/oder natürliche Entgasungsdrainagen verwendet werden.

Künstliche Systeme sind ähnlich wie Sickerwasserdrainagen aufgebaut: In einem oder mehreren Stockwerken im Deponiekörper werden horizontale Drainageleitun-

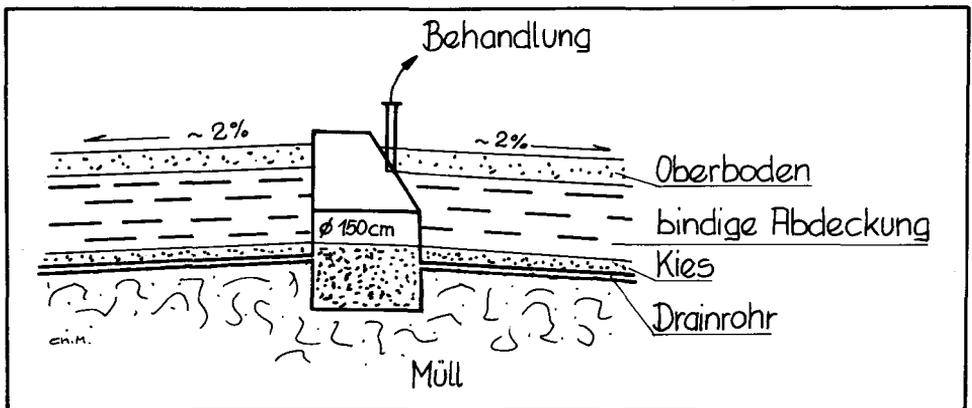


Abb. 31: Abfuhr von Deponiegas durch Flächendrainage mit Drainrohren (nach LAGA 6, 1983).

gen verlegt (meist geschlitzte PVC-Rohre mit etwa 100 mm \varnothing) und mit grobkörnigem, kalkarmem Material ummantelt. Es darf kein Karbonatgestein verwendet werden, da dies vom Deponiegas zersetzt wird und Verschlammungen nach sich zieht. Die Leitungen müssen mit entsprechender Neigung eingebaut werden, um den Abfluß von Kondenz- und teilweise eindringendem Sickerwasser zu gewährleisten. Von Nachteil ist, daß diese im Müllkörper verlegten Rohre gegenüber Setzungen sehr empfindlich reagieren und es durch unterschiedliche Setzungsraten zu Brüchen kommen kann.

Wird an eine **Nutzung des Deponiegases** gedacht, so muß berücksichtigt werden, daß tiefliegende Kollektoren, nahe der Deponiesohle oder in der mittleren Höhe des Deponiekörpers, in der Regel ein Gas mit hohem Heizwert und geringem Stickstoffanteil fördern. Sie können aber kaum Gasaustritte aus den Seiten oder aus der Oberfläche der Deponie verhindern. Oberflächennahe, engmaschig verlegte Gaskollektoren verhindern, in Verbindung mit einer Oberflächenabdichtung, weitgehend

Gasaustritte aus der Deponieoberfläche, genauso wie Gasdrainagen am Deponierand einen Schutz vor Migrationen in die unmittelbare Umgebung der Deponie bieten.

Nach amerikanischen Beobachtungen belüftet sich etwa im ungestörten alluvialen Boden die Geschwindigkeit der Gasdiffusion in Vertikalschichten auf 7–20 cm/Tag, in horizontal gelagerten Schichten auf 7–43 cm/Tag. In Festgesteinen wurde das Abwandern von Deponiegas, vor allem über Klüfte und Schichtflächen, bis über 1000 m Entfernung von der Deponie nachgewiesen. Es ist daher keine Seltenheit, daß in einer Entfernung von 200 m und mehr vom Deponieort eine Methangaskonzentration von mehr als 10% zu messen ist.

Da in beiden Fällen häufig viel Luft mit angesaugt wird, ist der Heizwert meist gering. Um einen weitgehenden Gasschutz zu erhalten, ist eine Kombination der verschiedenen Systeme vorteilhaft (NEUPER, K., 1984, S. 66).

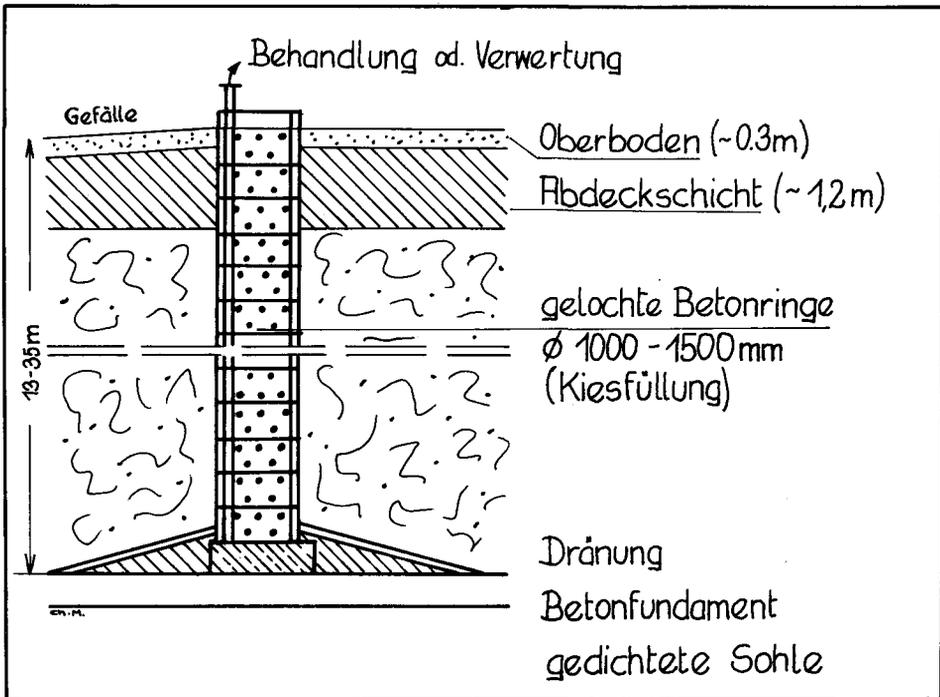


Abb. 32: Entgasungsschacht (nach LAGA 6, 1983).

Vertikale Einrichtungen zur Deponieentgasung, sogenannte **Entgasungsschächte**, werden an ihrer Basis mit der Sickerwasserdrainage verbunden, da durch solche Schächte meist die Ableitung von Sickerwasser aus Stauhorizonten erfolgt. In der Regel werden die aus gelochten Betonschachtringen mit einem Durchmesser von 1–1,5 m entsprechend dem Deponiefortschritt erhöhten Schächte mit kalkfreiem Kies verfüllt. In Hinblick auf eine spätere Nutzung sollte in den Schacht ein gelochtes Zentralrohr eingebaut werden. Die Wirksamkeit von Entgasungsschächten erstreckt sich auf einen Radius von 25–40 m. In den meisten Fällen werden aber vertikale und horizontale Gasdrainagen kombiniert angewendet, um eine optimale Entgasung zu erzielen.

Im Gegensatz zu den beschriebenen starren Drainagesystemen aus Rohren bzw. Betonschächten bieten **Gasdrainagen in Form von Kiesschüttungen** die großen Vorteile, unterschiedliche Setzungen ohne große Zerstörung zu überstehen und bei weitem nicht so kostenintensiv zu sein. Die Flächendrainagen werden in verschiedenen horizontalen Niveaus des Deponiekörpers, an dessen Flanken und unter der Oberfläche in entsprechender Mächtigkeit geschüttet und bilden, in Verbindung mit vertikal anzubringenden Gaskaminen – die an der Basis mit der Sickerwasserdrainage verbunden sind – ausgezeichnete Wegsamkeiten für Gase und Sickerwasser. Nach Abschluß und Abdichtung der Deponie können die einzelnen Gaskamine an eine aktive Entgasung angeschlossen werden.

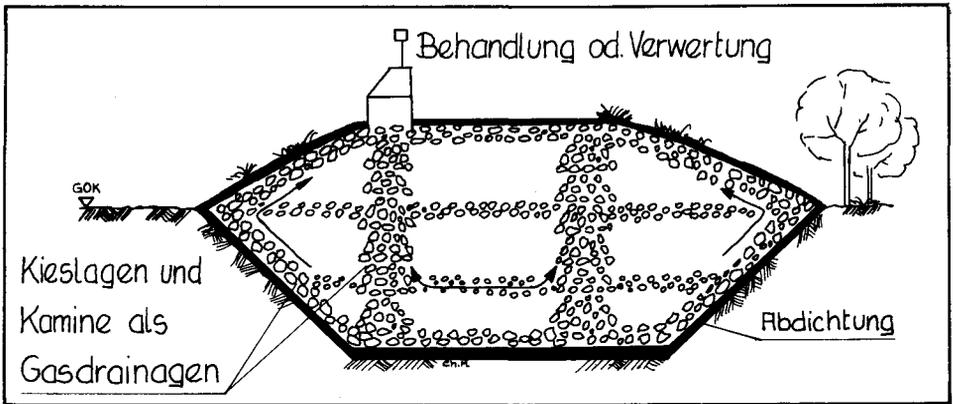


Abb. 33: Anlage von horizontalen und vertikalen Kieslagen im Deponiekörper als Gasdrainage.

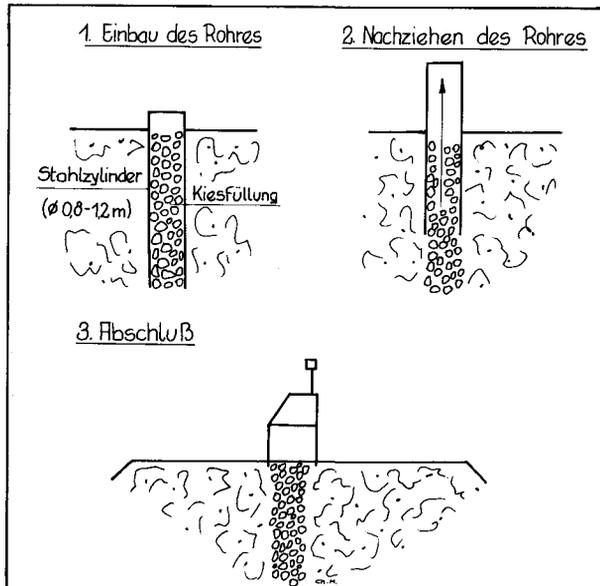


Abb. 34: Schottersäule (und deren Anbringung) zur Entgasung (nach LAGA 6, 1983).

Letztlich wird es aber in allen Fällen vom jeweiligen Deponiekonzept, vom Standort und von wirtschaftlichen Überlegungen abhängen, welche Art der Deponieentgasung gewählt wird. Ergänzend dazu soll angeführt werden, daß die erwähnten Gasdrainagesysteme bei weitem nicht die einzigen sind. So werden unter anderem auch Schottersäulen (Abb. 34) oder Gasbrunnen, vor allem zur Entgasung von Altlasten, verwendet.

Um die Notwendigkeit der geordneten Abfuhr von Sickerwasser und Deponiegas zu unterstreichen, sollen im folgenden diese für mögliche Umweltbelastungen hauptverantwortlichen Parameter charakterisiert und beschrieben werden.

2.1.3.1. Sickerwasser (vgl. Tab. 2)

Sickerwasser fällt dann an, wenn mehr Wasser im Deponiekörper vorhanden ist, als seiner Wasserhaltefähigkeit im Rahmen des gesamten Wasserhaushaltes einer Deponie entspricht (Abb. 35).

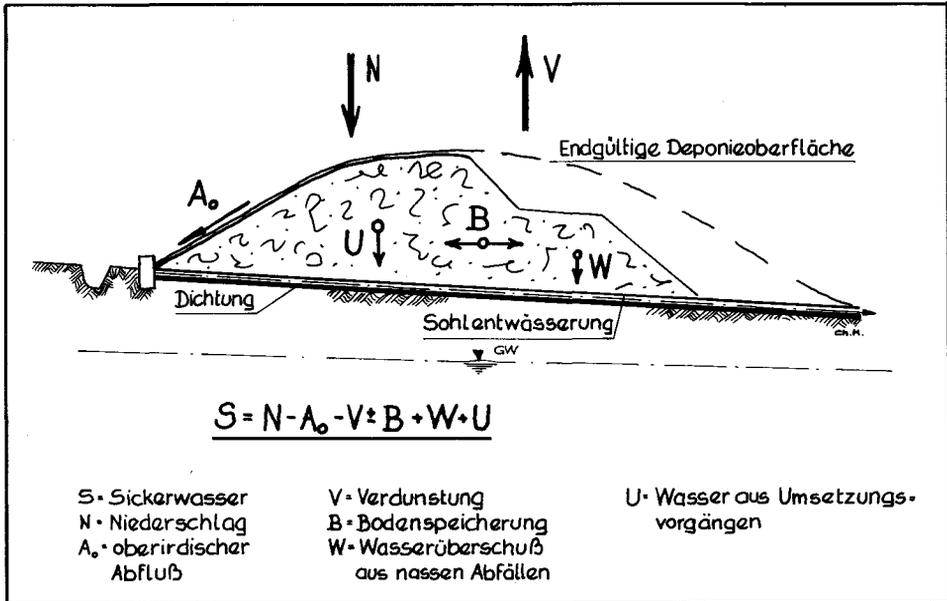


Abb. 35: Wasserhaushalt einer abgedichteten Deponie (nach LAGA 10, 1985).

Der Wasserüberschuß aus Abfällen fällt, außer bei der Ablagerung von Naßschlamm, selten in nennenswerten Mengen an. Hausmüll wird meist mit 20–30 Gew. % Eigenfeuchte angeliefert. Da die Wasserhaltefähigkeit des verdichteten Deponiekörpers im Mittel etwa 50–70 Gew. % beträgt, kommt es nur im geringen Maße zum Übergang von Überschußwasser in der Sickerwasser (etwa bei der Verdichtung des Mülls als sogenanntes Preßwasser).

Die Sickerwassermenge aus Umsetzungen im abgelagerten Müll ist unbedeutend – sie ist aber stark mit Belastungsstoffen beladen (LAGA 10, 1985, S. 7).

Entscheidend für die Entstehung des Sickerwassers ist daher der örtliche Niederschlag. Die Menge des anfallenden Sickerwassers ist vom mittleren Jahresniederschlag, von der Betriebsorganisation der Deponie (Einteilung der Schüttabschnitte), von der Art und der Verdichtung des Mülls, vom Einbau von Zwischenabdeckungen und – bei aufgefüllten Deponien – von der Ausbildung der Oberflächendichtung abhängig (PREGL, O., 1985, S. 99).

Üblicherweise liegt der Sickerwasseranfall bei guter Verdichtung zwischen 20 und 40%, bei groben Abfällen zwischen 40 und 60% des mittleren Jahresniederschlags. Durch verschiedenste Maßnahmen können Menge und Beschaffenheit des Sickerwassers beeinflusst werden:

So wird man etwa Deponiestandorte bevorzugen, die bei möglichst hohen Verdunstungsraten geringe Niederschlagswerte aufweisen.

Weiters ist die Eigenfeuchte der abzulagernden Stoffe in bestimmten Grenzen zu halten. So ergeben etwa 20 m³ Naßschlamm von 95% Wassergehalt ebensoviel Sickerwasser, wie es bei einer mit Hausmüll beschickten Deponiefläche von etwa 3–4 ha im Tagesmittel anfällt.

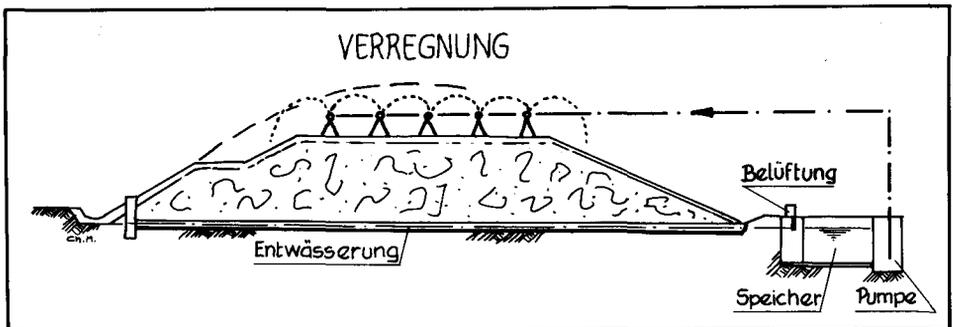


Abb. 36: Kreislaufführung von Sickerwasser durch Verregnung (nach LAGA 10, 1985).

Als besondere Betriebsmaßnahme zur Beeinflussung der Sickerwasserzusammensetzung und zur Reduzierung der Menge kann die Kreislaufführung von Sickerwasser angewendet werden (Abb. 36). Dabei sind Geruchsprobleme und arbeitsmedizinische Belange zu berücksichtigen. Unter günstigen Witterungsbedingungen lassen sich beträchtliche Sickerwasseranteile durch Verdunstung auf der Deponieoberfläche beseitigen. Die intensive Durchfeuchtung kann in dem als anaeroben Festbettreaktor wirkenden Deponiekörper einen schnelleren Abbau der organischen Substanzen und eine raschere Auswaschung der Salze bewirken, als sie ohne Sickerwasserkreislauf eintreten würden. Zusätzlich werden die Inhaltsstoffe des Sickerwassers zu einem beträchtlichen Teil zurückgehalten bzw. umgesetzt (LAGA 10, 1985, S. 7f.).

Schließlich kann auch durch das Abhalten von Fremdwasser eine entscheidende Reduzierung der Sickerwassermenge erfolgen. Unter den vielen baulichen und betriebstechnischen Möglichkeiten soll hier ein seit 1973 in Uttigen (Schweiz) mit Erfolg und ohne Unterbrechung angewendetes Verfahren beschrieben werden (siehe dazu SYSER, W., 1985, S. 67ff.):

An dieser Deponie erfolgt eine tägliche Abdeckung mittels Deponieschaum, der an Ort und Stelle hergestellt und mittels einer Schaummaschine in einer 4–6 cm starken Decke aufgetragen wird. *) Deponieschaum ist ein weißer, feinzelliger, wasserunlöslicher Schaum aus rein organischen Bestandteilen, die eine Grundwassergefährdung ausschließen. Ausgangsprodukte sind das Schaumharz Luraform F und das Schaummittel Foamin F, beide in flüssiger Form. Der Feststoffgehalt beträgt bei der Müllabdeckung weniger als 2 Vol.%, das Trockengewicht etwa 15 kg/m³. Der Schaumstoff ist luftdurchlässig und offenporig. Er speichert immer etwas Regenwasser und der Müll bleibt bis in eine Tiefe von ca. 0,5 bis 1 m für Sauerstoff zugänglich. Diese Bedingungen fördern ein äußerst rasches Pflanzenwachstum, das sich auch günstig auf die Verdunstungsrate auswirkt. Neben diesen positiven Auswirkungen auf den Sickerwasserhaushalt bietet die beschriebene Methode auch noch weitere Vorteile wie: Papierflugverhinderung, weniger Insekten, Nager, Vögel, Brandschutz, Verminderung der Stauhöhe zwischen den Müllschichten.

Bezüglich der **Sickerwassermenge** konnte im Rahmen von Langzeitversuchen (seit 1979: 10 Versuchsdeponien auf der Deponie Geldern, BRD, mit insgesamt 8000 m²; seit 1982: 7 Felder auf der Zentraldeponie Münster, BRD) festgestellt werden, daß über den Zeitraum von 3,5 Jahren verteilt, zwei ausgeprägte Sickerwassermaxima auftreten:

1. Maximum = ungehindertes Eindringen der Niederschläge in die Drainage bei Schüttungsbeginn;
2. Maximum = durch Preßwasser beim Aufbringen der zweiten Abfallschicht, etwa nach einem Jahr.

Die Sickerwassermenge stabilisiert sich in der Folge im zweiten Betriebsjahr, nach Aufbringung der dritten und vierten Abfallschicht, auf 1 bis 1,25 m³/h wobei der Einfluß von teilweise auftretendem Starkregen nicht mehr erkennbar war. Daraus wird gefolgert, daß ein Müllkörper, der aus kompaktierten 2 m/Schichten besteht, unter hiesigen klimatischen Bedingungen in der Lage ist, Niederschlagsschwankungen vollständig zu kompensieren, sobald er eine Mächtigkeit von 6 m erreicht hat.

Die **Zusammensetzung des Sickerwassers** hängt ausschließlich von der Art und Menge des Deponiegutes ab. Diese Tatsache erschwert notwendige Voraussagen hinsichtlich der Belastung verschiedenster Abdichtungsvorrichtungen durch Sickerwasser. Es ist grundsätzlich möglich, die überwiegende Zahl der Sickerwasserparameter in zwei Gruppen entsprechend ihres zeitabhängigen Konzentrationsverlaufes zu unterteilen (Abb. 37). Die erste Gruppe erreicht nach Schüttbeginn ein ausgeprägtes Maximum, wobei die Konzentrationen danach auf Werte zurückgehen, die auch langfristig beibehalten werden (Restkonzentrationen). Die zweite Gruppe erreicht ebenfalls Maximalwerte, die jedoch über mehrere Jahre beibehalten werden und dann nur langsam abnehmen.

Äußerst wichtig für die Charakterisierung der in der Deponie ablaufenden Vorgänge ist der **pH-Wert**. Die in einer Deponie stattfindenden aeroben und anaeroben Abbauprozesse können prinzipiell in vier Stufen unterteilt werden, wobei als

*) Leistung: 100 m³/h; Sprühbreite ca. 3,10 m; Vorschubgeschwindigkeit: 11 m/min; Abdeckleistung ca. 2000 m²/h bei einer Schaumstärke von ca. 5 cm.

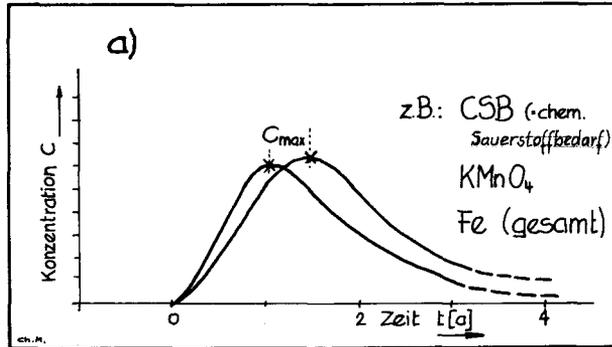


Abb. 37a: Schematische Darstellung zeitabhängiger Konzentrationsverläufe der ersten Schadstoffgruppe (nach BAUMANN, W., 1986).

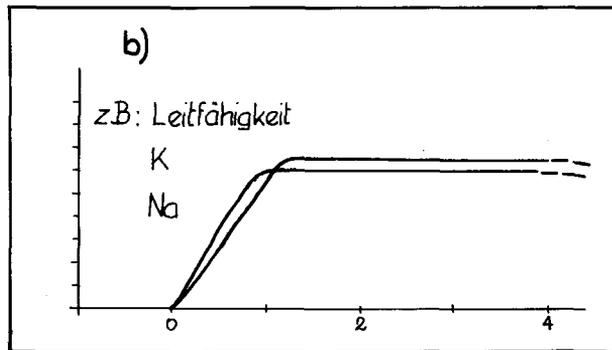


Abb. 37b: Schematische Darstellung zeitabhängiger Konzentrationsverläufe der zweiten Schadstoffgruppe (nach BAUMANN, W., 1986).

Ergebnis der „sauen Gärung“ (= II. Stufe) der pH-Wert auf ca. 6 absinkt und bei Einsetzen der Methangasgärung (Stufe III) auf 7,3 bis 7,9 ansteigt. Dieses Niveau wird beibehalten. Der Anstieg auf pH-Werte >7 ist notwendige Voraussetzung für das Einsetzen einer intensiven Methangärung (BAUMANN, W., 1986, S. 96 f.).

Auch die **verschiedenen Temperaturen** im Deponiekörper sind als Parameter hinsichtlich der Reduktion der Sickerwassermenge maßgebend (vgl. BEIGLBOCK, F., 1985, S. 96 f.). Nach anfänglichen, jahreszeitlich bedingten Schwankungen beträgt die Temperatur über der Basisabdichtung 20–25° C. Ähnliche Werte ergeben sich in der Mitte der ersten Abfallschicht, wobei kurz nach Schüttungsbeginn Temperaturen um 50° C, bedingt durch aerobe Abbauverhältnisse, auftreten können.

All diese Parameter spielen in Zusammenhang mit dem **Deponie-Schichtenmodell**, welches nach Meinung des Verfassers eine äußerst günstige Variante des Deponiebetriebes darstellt, eine große Rolle.

Das Modell (in den eingangs erwähnten Langzeituntersuchungen erprobt) sieht den Einbau von Müll in 2 m-Schichten mit einer Kompaktorenverdichtung vor. Die erste Schicht sollte aus Feinmüll bestehen. Neben einem besseren Schutz für die Basisdichtung werden dadurch größere Hohlräume weitgehend vermieden und die

Aktivität der Mikroorganismen unterstützt. Diese Schicht sollte zu Beginn der warmen Sommermonate geschüttet und erst zum Ende des Sommers mit einer zweiten Müllschicht überdeckt werden. Während dieser Zeitspanne herrschen relativ hohe Umgebungstemperaturen, die den Abbauprozess beschleunigen. Die zweite, später aufgebraute Müllschicht wirkt dann teilisierend (BAUMANN, W., 1986, S. 101).

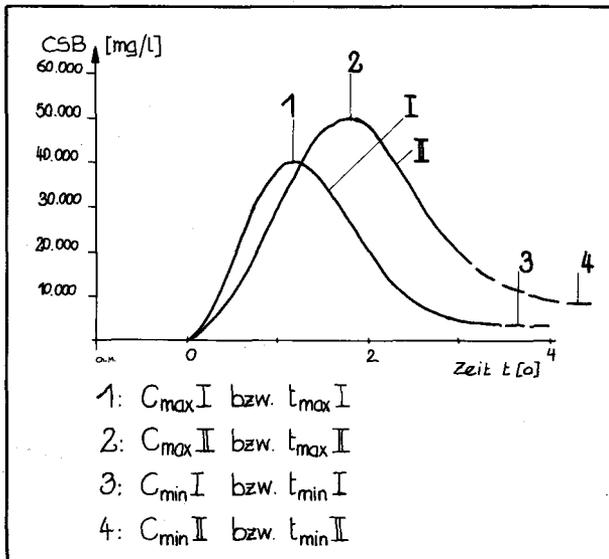


Abb. 38: Schematisch dargestellte Konzentrationskurven mit signifikanten Punkten (im Beispiel: für CSB, = chemischer Sauerstoffbedarf) (nach BAUMANN, W., 1986).

Warum scheint nun dieses Deponieschichtenmodell so empfehlenswert?

Die prinzipiellen Maxime beim Betrieb einer geordneten Deponie sind einerseits das möglichst rasche Erreichen der stabilen Methangärungsphase (Stufe IV) und andererseits die Reduktion der Schadstoffkonzentrationen innerhalb kürzester Zeit auf ein Minimum.

Hinsichtlich der Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser konnte in den beschriebenen Langzeitversuchen folgendes Verhalten festgestellt werden:

1. Die höchsten Konzentrationswerte (C_{\max}) werden zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach Schüttungsbeginn erreicht.
2. Je später C_{\max} erreicht wird, umso höher ist die Schadstoffbelastung zu dieser Zeit im Sickerwasser.
3. Schadstoffe mit ausgeprägtem C_{\max} erreichen erst nach langer Zeit ein Konzentrationsminimum (C_{\min}).
4. Der Zeitpunkt, zu dem das C_{\min} erreicht wird, liegt umso später, je höher das C_{\max} war (Abb. 38).

Im Deponie-Schichtenmodell kann durch die empfohlenen Schüttungsbedingungen erreicht werden, daß das „pH-Tal“ (= Absinken des pH-Wertes auf 6, anschließendes Ansteigen auf Werte über 7) möglichst früh erreicht wird. Niedrige pH-

Werte begünstigen in Verbindung mit hohen Umgebungstemperaturen (Sommer) die Auslaugung des Abfalles und die mikrobielle Tätigkeit der Organismen. Dadurch kommt es schon bald zu einem steilen Konzentrationsanstieg der Schadstoffe und in der Folge relativ früh zu einer konstant niedrigen Schadstoffbelastung im Sickerwasser.

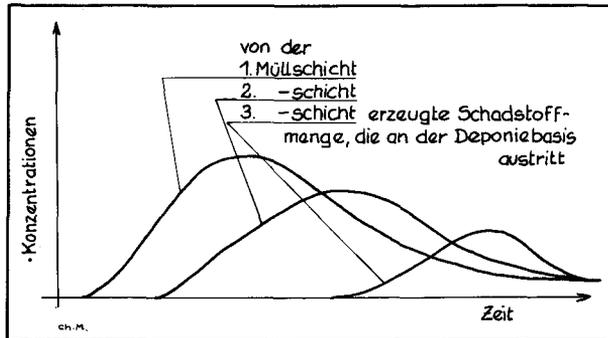


Abb. 39: Schematische Darstellung der von einzelnen Schichten erzeugten Schadstoffmengen bei Anwendung des Deponieschichtenmodells (nach BAUMANN, W., 1986).

Ein zweiter Faktor, der entscheidend zur Erniedrigung der Schadstoffkonzentrationen im Sickerwasser beiträgt, liegt im schichtenweisen Aufbau der Deponie: Das Sickerwasser von später aufgebrachtten Schichten wandert auch durch die darunter liegenden Müllagen. Das dort herrschende „fortgeschrittene Abbaumilieu“ führt zu einer Konzentrationsänderung im Sickerwasser und dazu, daß das letztlich im Drainagesystem abgeführte Eluat geringer belastet ist.

Die unter dem Gesichtspunkt einer Schadstoffminderung im Sickerwasser gewünschte Methanphase tritt im Deponie-Schichtenmodell zuerst in der untersten Schicht auf und wandert langsam höher.

Abschließend muß betont werden, daß die Sickerwässer weder in das Grundwasser, noch in Oberflächengewässer eingeleitet werden dürfen, sondern einer Behandlung zugeführt werden müssen. Je nach Größe der Deponie kann die Behandlung in deponieeigenen Anlagen (z. B.: Belebtschlammverfahren mit hohem Schlammgehalt und langer Behandlungszeit), oder durch die Beimengung in kommunale Kläranlagen erfolgen. Da Sickerwässer wesentlich schwerer abbaubar sind und die in bestehenden kommunalen Kläranlagen vorgesehenen Aufenthaltszeiten für diese Wässer meist zu kurz sind, darf der in eine Kläranlage einzubringende Sickerwasseranteil 10% der Gesamtkapazität nicht übersteigen. Andernfalls ist eine Vorbehandlung notwendig (PREGL, O., 1985, S. 100).

Wesentlich problematischer ist die Entsorgung von Sickerwasser aus Sondermülldeponien. Für die Behandlung dieser Eluate sind die gleichen Verfahren denkbar wie zur Behandlung der diversen industriellen Abwässer. Probleme treten insbesondere dann auf, wenn durch die Vermischung der Abfälle Sickerwässer produziert werden, deren Inhaltsstoffe die einzelnen Behandlungsschritte möglicherweise gegenseitig negativ beeinflussen. Grundsätzlich sind als Behandlungsverfahren Verbrennung, Eindampfung, biochemische Reinigung, chemische Oxidation, Naßoxidation, Ak-

tivkohleadsorption, Adsorption an Adsorberharzen, Flockung, Fällung, Ultrafiltration, Umkehrosiose, chemische Reduktion, Ionenaustausch, Extraktion, Gasaustausch oder Feststoffabtrennung anwendbar (EHRIG, H. J., 1985, S. 143 f.).

Letztlich besteht zur Zeit aber noch keine Möglichkeit aus dem Kreislauf „Entsorgung und Deponierung der dabei anfallenden Reststoffe“ auszusteigen.

2.1.3.2. Deponiegas

Die auf Deponien abgelagerten Abfälle bestehen aus einem Gemisch von organischen und anorganischen Feststoffen. Je nach Zusammensetzung, Verdichtung, Feuchtigkeit etc. der abgelagerten Abfälle laufen im Deponiekörper biologische Umsetzungsvorgänge ab. Diese können in zwei Hauptphasen, dem aeroben und dem anaeroben Abbau eingeteilt werden. Nach einer Modellvorstellung läuft der gesamte Abbau in vier Stufen ab:

Stufe I: Oxidation

Stufe II: Saure Gärung (wegen des starken Anstieges der organischen Fettsäuren so benannt).

Stufe III: Instabile Methanphase

Stufe IV: Stabile Methanphase

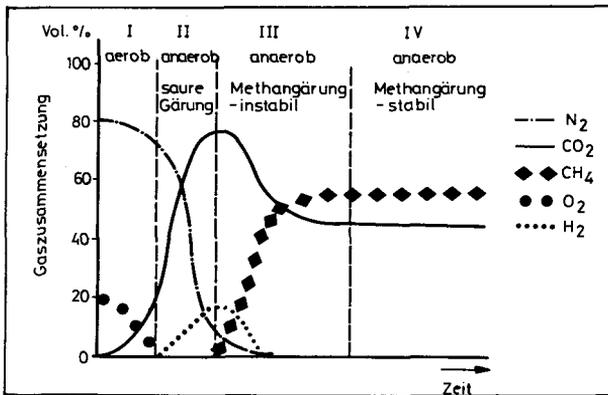


Abb. 40: Schematische Darstellung der Deponiegasentwicklung in den einzelnen Abbaustufen in Abhängigkeit von der Zeit (nach BEIGLBÖCK, F., 1985).

Die Bildung von **Deponiegas** ist, bezogen auf diese Umsetzungsvorgänge, auf die Stufen II–IV beschränkt. Während der sauren Gärung wird das organische Substrat über Zwischenstufen (Fettsäuren, Zucker etc.) zu einfachen Verbindungen (CO₂, H₂, . . .) abgebaut. Diese Stufe ist fakultativ anaerob. In der III. Stufe werden die Abbaustoffe der sauren Gärung von den Mikroorganismen weiter zu Methan und teilweise auch zu Wasser umgesetzt. Dieser Vorgang ist strikt anaerob und kann als abgeschlossen gelten, sobald sich die Gasverhältnisse der Deponie stabilisiert haben (Stufe IV). In dieser letzten Phase beträgt die nun konstante Gaszusammensetzung ca. 55 Vol.% CH₄ und 45 Vol.% CO₂. Andere Gase sind nur in sehr geringer Konzentration im Deponiegas enthalten (BEIGLBÖCK, F., 1985, S. 2f.).

Wird das Deponiegas nicht ordnungsgemäß entsorgt, kann es, neben unangenehmer Geruchsbelästigung, auf und im Umkreis der Deponie unter bestimmten Umständen Brände und Explosionen auslösen.

Schließlich bringen anaerobe Müllkörper Bepflanzungen im Zuge der Deponierekultivierung zum Scheitern. Gelangt nämlich das aus dem Müllkörper aufsteigende Methangas in den Wurzelbereich der Pflanzen, wird der lebensnotwendige Sauerstoff aus dem Porenraum der Wurzelzone verdrängt und die Wurzeln sterben ab.

Die Dauer der Gasproduktion kann nur geschätzt werden. Nach amerikanischen Untersuchungen sind die leicht und mittelmäßig abbaubaren organischen Substanzen in 35 Jahren zu 80% abgebaut.

Im allgemeinen können aus einer Tonne Hausmüll insgesamt bis ca. 200 m³ Biogas erwartet werden, wobei sich diese Menge hauptsächlich auf die ersten zehn bis zwanzig Jahre nach dem Einbau verteilt. Die Temperatur des Gases steigt oft bis zu 60° C an und ist entsprechend mit Wasserdampf gesättigt (BEIGLBÖCK, F., 1985, S. 4).

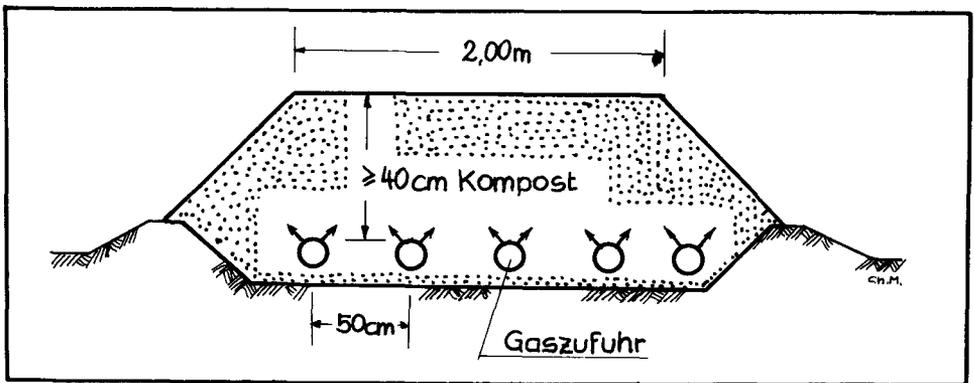


Abb. 41: Kompostfilter zur Behandlung von Deponiegas (nach LAGA 6, 1983).

Die Entgasung kann ohne (Abfackelung, Entgasungsgräben etc.) oder mit Gasnutzung erfolgen. Eine Möglichkeit in Hinblick auf die umweltschonende Entgasung bietet die Verwendung von Biofiltern aus Kompost. Diese können entweder als Entgasungsfenster in der Endabdeckung oder als Filterbrett (Abb. 41) ausgebildet werden. Die im Deponiegas enthaltenen Geruchsstoffe werden durch Mikroorganismen im Kompost abgebaut. Allerdings liegen ausreichende Erfahrungen über die Wirksamkeit dieser Biofilter in der Deponiepraxis derzeit noch nicht vor (LAGA 6, 1983, S. 56f.).

Bei entsprechender Gasaufbereitung (Kondenzwasser- und Luftabtrennung; Maßnahmen gegen die mengenmäßigen Schwankungen ergreifen) kann Biogas aufgrund des hohen Heizwertes zur Warmwasseraufbereitung und Gebäudeheizung im Bereich der Deponien verwendet werden. Bei genügend großer Gasproduktion ist auch die Erzeugung industrieller Prozesswärme im weiteren Umkreis der Deponie wirtschaftlich durchaus interessant (BEIGLBÖCK, F., 1984).

Erwähnenswert scheint in diesem Zusammenhang die steirische Mülldeponie Halbenrain, die unter wesentlicher Mitarbeiter des Geologen G. KOPETZKY konzipiert worden war und mit ihrem Deponiegas über eine Pipeline bereits seit Jahren mehrere Gebäude des Ortes beheizt. Diese Anlage wurde in der letzten Zeit mit mehreren in- und ausländischen Umweltpreisen ausgezeichnet (Mitt. von W. GRÄF).

2.1.4. Schutzschicht

Die Schutzschicht hat die Aufgabe, die Dichtung und das Drainagesystem vor Witterungseinflüssen (Sonne, Frost, Wind . . .) und mechanischer Zerstörung zu schützen. Dies ist vor allem dann nötig, wenn Dichtungs- und Drainagesystem über große Abschnitte bereits eingebaut wurden und die Müllschüttung erst im Laufe der Zeit diese Schichten abdeckt und schützt. Beim sofortigen Abdecken der Drainageschicht mit Abfall kann möglichst feiner, verdichteter Müll (ohne Sperrmüllanteile) die Funktion der Schutzschicht übernehmen. Fallweise wird auch empfohlen, ein Filtervlies als direkte Abdeckung über der Drainageschicht anzubringen, um diese zu schützen und ein übermäßiges Verschlämmen zu verhindern.

Die Schutzschicht ist letztlich auch eine zusätzliche Einrichtung, die auftretende Setzungen mindern und so die starren Drainagerohre vor Brüchen schützen hilft.

2.2. Einbau von Müll / Standsicherheit von Deponien / Setzungen

Der Einbau der Abfälle soll in maximal 2 m mächtigen, zu verdichtenden Schichten vor sich gehen, wobei auf optimale Kompaktion und somit auf die Lagerung von Müll mit möglichst wenig Hohlräumen zu achten ist. Letzteres ist vor allem bei der Ablagerung der Sperrmüll von großer Bedeutung.

Der sorgfältige Einbau samt Verdichtung des Deponiegutes bewirkt auch eine Verringerung des Papierfluges (zusätzliche, tägliche Abdeckungen sollten aber trotzdem vorgenommen werden), eine Vermeidung des Ansiedelns von Nagern, die Verringerung des Abfallvolumens, die Erhöhung der Aktivität der Umsetzprozesse und eine Verringerung der Setzungen und Erhöhung der Scherfestigkeit (wichtig bei Hang- und Haldendeponien).

Beim Einbau des Abfalles ist zu überlegen, ob es nicht günstiger wäre, die gesamte Basis vorerst mit einer Schicht aufzufüllen und zu verdichten und nicht die Deponie auf die volle Höhe in Teilabschnitten anzuschütten (vgl. PREGL, O., 1985, S. 109). Die erstgenannte Variante bringt alle Vorteile des Deponie-Schichtenmodells mit sich und ermöglicht auch die Berücksichtigung von früh auftretenden Setzungerscheinungen, die beim Einbau der weiteren Müllschichten ausgeglichen werden können. Wird eine Deponie in Teilabschnitten bis zur vollen Höhe aufgefüllt (um die Sickerwassermenge möglichst gering zu halten), so muß befürchtet werden, daß dieses Nebeneinander von sich statisch ungleich verhaltenden „Abfallblöcken“ die Gesamtstabilität der abgeschlossenen Deponie ungünstig beeinflusst. Zusätzlich bieten sich an den Kontaktzonen der einzelnen Schüttungsabschnitte ausgezeichnete Sickerwasserwegsamkeiten an, da die einzelnen Teilabschnitte bei weitem nicht so gut gegeneinander verdichtet werden können wie schichtenweise aufeinanderliegende Müllschüttungen.

Hinsichtlich der Standsicherheit von Mülldeponien können keine exakten Angaben gemacht werden. In Anlehnung an die Bodenmechanik sind die aussagekräftigen Kennwerte dafür Materialdichte, Scherfestigkeit und, unter Umständen, Porenwasserdruck. Während die Werte bei Böden ausschließlich vom jeweiligen Zustand des Bodens abhängen, so werden diese Parameter bei Mülldeponien von Faktoren wie Art und Menge der Abfallstoffe, Einbauverfahren und -reihenfolge, Deponiekonzept und -betriebsart, biochemischen Abbauvorgängen, Anteil an Klärschlamm oder anderen Schlämmen und dem Alter der Deponie beeinflusst. Daraus ergeben sich die mannigfachen Probleme bei der Ermittlung der Standsicherheit. Der wesentliche Unterschied gegenüber üblichen Standsicherheitsproblemen in der Bodenmechanik liegt aber in der Zeitabhängigkeit dieser Kennwerte, die daher nicht mehr als Konstante angegeben werden können.

Bei der Beurteilung der Standsicherheit einer Deponie muß zwischen innerer und äußerer Standsicherheit unterschieden werden. Unter **innerer Standsicherheit** soll die Vermeidung des Versagens des Deponiekörpers selbst verstanden werden (vor allem Böschungsbruchsicherheit, Sicherheit gegen das Spreizdruckversagen in der Deponiebasis), während die **äußere Standsicherheit** im wesentlichen von den Untergrundeigenschaften abhängt (Setzungsberechnungen, Grundbruchsicherheit) (SALOMO, K. P., 1985 b). So ist insbesondere der Böschungsfuß bei weichem Untergrund (Tonabdichtung!) grundbruchgefährdet.

Neben der Beurteilung der Standsicherheit ist auch die Berücksichtigung zu erwartender Setzungen notwendig, vor allem hinsichtlich der Verhinderung möglicher Beschädigung des Drainagesystemes oder der Basisabdichtung. Auch später durchzuführende Rekultivierungsmaßnahmen werden von unerwartet auftretenden Setzungen entscheidend beeinflusst.

Grundsätzlich kann bei auftretenden Setzungserscheinungen zwischen **Konsolidierung** (bezieht sich auf die Verdichtung, die aus der Entwässerung feuchten Materials resultiert; Überschüssiges Wasser wird entweder von trockenem Füllmaterial absorbiert oder tritt als Sickerwasser aus), **Schrumpfung** (Verminderung des Gasvolumens durch mikrobiologische Umsetzungsprozesse. Ist die Deponie konsolidiert, dann ist diese Art der Reduktion die einzige Setzungsart.) und **Verdichtung** (Umorientierung des Abfalls in dichtere Konfigurationen, die durch die Reibung der Partikel untereinander gehemmt wird. Durch mechanische Verdichtung und hohes Verkehrsaufkommen auf der Deponie kann diese Reibung herabgesetzt werden.) unterschieden werden.

Eine zusätzliche Art der Verdichtung liegt im Verlust der Steifigkeit des Deponiegutes. Unter hoher Beanspruchung (Druck, fallweise auch Temperatur) kommt es zur generellen Schwächung des Materials infolge von Zersetzungserscheinungen. Ein Steifigkeitsverlust tritt häufig auf, da in den meisten Fällen der Einbau des Deponiegutes unter der maximal erzeugbaren Dichte erfolgt (HUITRIC, S., 1981).

In den USA (Santa Monica) wurden über einen Zeitraum von 20 Jahren an drei vergleichbaren Deponieabschnitten mit ähnlicher Größe (ca. 1,5 Mio. t) der „Districts Mission Canyon“-Deponie (Hausmüll) sämtliche Setzungsdaten erfaßt. Dabei konnten bei einer Deponiehöhe von 53 m jährliche Setzungsraten zwischen 0,91 und 9,73 m festgestellt werden. Bei einer mittleren Deponiehöhe von 27 m betrug die durchschnittliche Setzungsrate 4,23 m. Allgemein wurde festgestellt, daß, über 20 Jahre verteilt, die jährlichen Setzungsraten konstant bei 0,87% der jeweiligen Deponiehöhe liegen, wobei Schwankungen zwischen 0,25 und 1,39% auftreten (HUITRIC, S., 1981, S. 81).

3. Abschluß und Rekultivierung geordneter Deponien

Trotz aller vorhandenen und künftigen Reduktionsmöglichkeiten müssen die verbleibenden Restabfälle auch in Zukunft deponiert werden. Um diese Müllablagerungen nicht als weithin sichtbare Fremdkörper zu gestalten, muß im Zuge einer Rekultivierung die Eingliederung der abgeschlossenen Deponie in die umgebende Landschaft erfolgen. Es wäre wünschenswert, daß diverse Rekultivierungsvorhaben und -maßnahmen schon im Planungsstadium berücksichtigt und Konzepte dazu vorgelegt werden.

3.1. Abschluß von geordneten Deponien / Oberflächenabdichtungen

Nach neuestem Wissensstand ist es anzuraten, eine restlos aufgefüllte Deponie, die als abgeschlossen betrachtet werden kann, auch an ihrer Oberfläche abzudichten. Diese Maßnahme soll in erster Linie den Deponiekörper vor weiteren Niederschlägen schützen und langfristig zu einer Minimierung bzw. zu einem gänzlichen Stoppen des Austrittes von hochbelasteten Sickerwässern führen.

Aus verschiedensten Gründen ist es aber nicht zulässig, daß die Deponie nach Erreichen der endgültigen Schütthöhe **sofort nach oben hin dicht abgeschlossen wird** (vgl. dazu z. B.: PREGL, O., 1985, S. 110). Solche Praktiken führen trotz Basisabdichtung, Drainagesystem u. v. m. nur zu neuen Problemen und zur Schaffung von „Altlasten“.

Vor der Abkapselung einer Deponie, bei der im wesentlichen auch die Luftzirkulation verhindert wird, muß geprüft werden, ob dieser Zustand zum jetzigen Zeitpunkt für die einzelne Deponie zulässig ist, oder ob Maßnahmen ergriffen werden müssen, um z. B. Deponiegas unter der Abdichtung zu sammeln und mit sich bildendem Überdruck abzuleiten oder in Form einer aktiven Entgasung durch Absaugung aus dem Müllkörper zu entfernen (STEFFEN, H., 1985, S. 88). Dieser Zustand wird in den meisten Fällen vorliegen und daher sollte die Anlage von Gasdrainagen unter der Oberflächenabdichtung als fixer Bestandteil bei der Errichtung von Deponien miteingeplant werden.

Es ist ferner zu prüfen – und dies scheint dem Verfasser vielleicht als noch wichtigere, weil derzeit noch nicht so sehr beachtete Maßnahme –, ob beim vorhandenen Wassergehalt und dem Alter der Deponie ein Zustand nach Abkapselung erreicht werden kann, in dem der biologische Abbau soweit fortgeschritten ist, daß die Deponie in sich nicht als eine Zeitbombe angesehen wird, die später wieder zu einer Beeinträchtigung des Grundwassers oder der Umgebung durch Gasaustritte führt, wenn aus irgendwelchen Gründen wieder Feuchtigkeit in den Deponiekörper eindringt. Sollte der biologische Abbau noch im Gange, die Abdichtung der Deponie aber erforderlich sein, so wird von verschiedensten Autoren empfohlen, den biologischen Abbau durch gezielte Feuchtigkeitszufuhr weiter zu betreiben. Es ist dabei natürlich genauestens zu erwägen, wann, in welcher Menge und an welchen Positionen eine Wasserzufuhr erfolgen darf, damit keine sofortige Durchsickerung bis zur Sohle erfolgt und somit die Drainageeinrichtung samt der Basisabdichtung unnötig überbelastet wird.

Viele Autoren vertreten die Meinung, daß bei Deponien mit vorhandener Basisabdichtung keine Oberflächenabdichtung notwendig sei. Diese wird meist nur zur

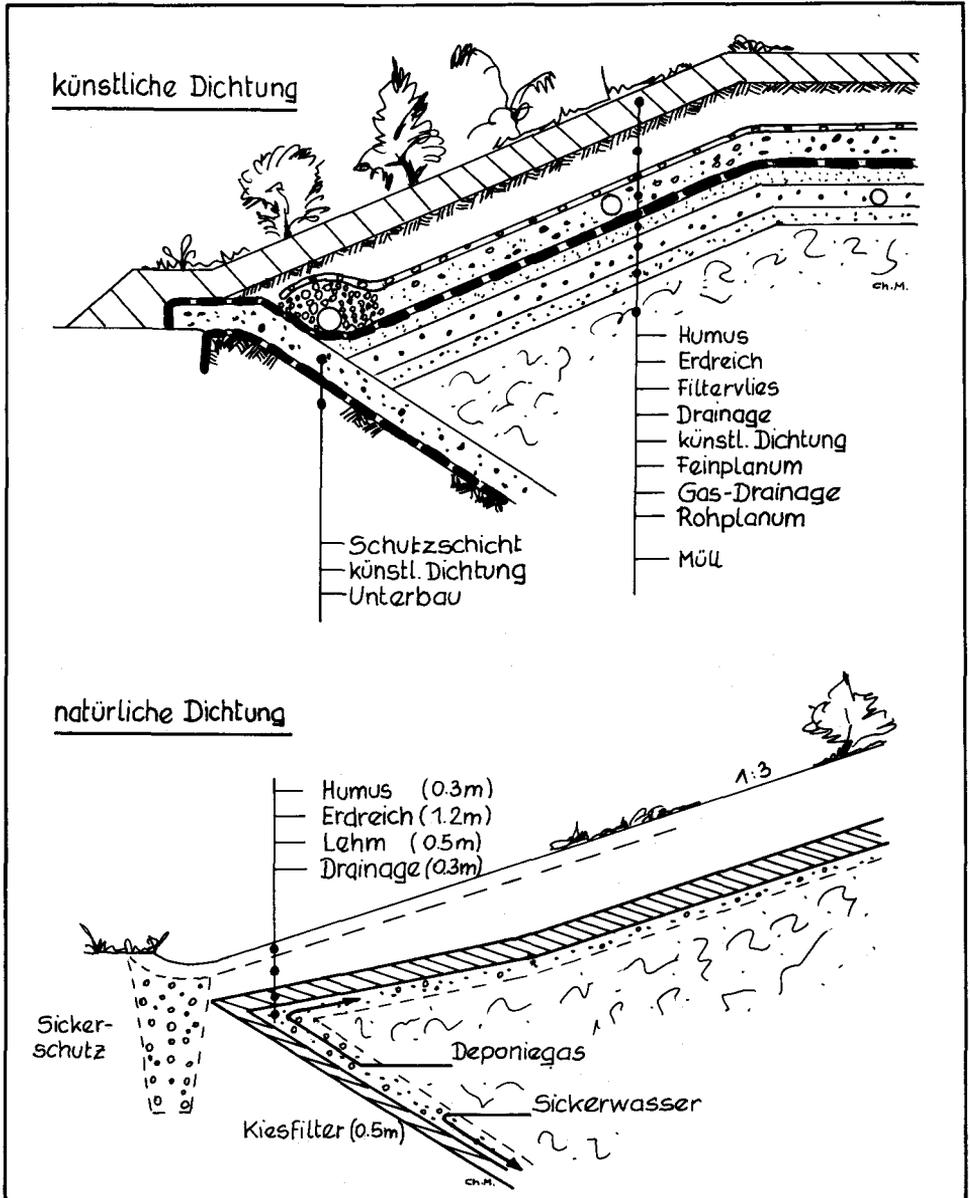


Abb. 42: Prinzipieller Aufbau von natürlichen und künstlichen Oberflächenabdichtungen (nach KOPP, B., 1985).

Sanierung, bei in Betrieb befindlichen Deponien auch als ähnlich aufgebaute Zwischenabdeckung herangezogen. Der Verfasser lehnt diese Haltung ab, da für ihn wegen der über sehr lange Zeiträume auftretenden möglichen Umweltbelastungen und wegen einer sinnvollen späteren Rekultivierung der Deponie eine einwandfreie

angebrachte Oberflächenabdichtung zur Beherrschbarkeit und Realisierung dieser Parameter wesentlich beiträgt.

Für die Oberflächenabdichtung stehen dieselben natürlichen und künstlichen Materialien zur Verfügung wie für Basis- und Flankenabdichtung, von denen zwei Konstruktionsvarianten in Abb. 42 vorgestellt werden.

Eine oberflächige Abdichtung muß in ihrer Neigung so ausgebildet sein, daß eine einwandfreie Entwässerung gewährleistet wird, die auch nach örtlich unterschiedlichen Setzungen noch in großflächigen Bereichen funktioniert. Es muß daher im Vorfeld der Baumaßnahmen überprüft, in welchem Zustand sich eine Deponie befindet und aufgrund dieser Erhebungen ermittelt werden, welche Setzungen etwa zu erwarten sind. Böschungskonstruktionen, die eine Muldenbildung mit Wasseransammlungen ausschließen, werden nur in den seltensten Fällen möglich sein (STEFFEN, H., 1985, S. 89).

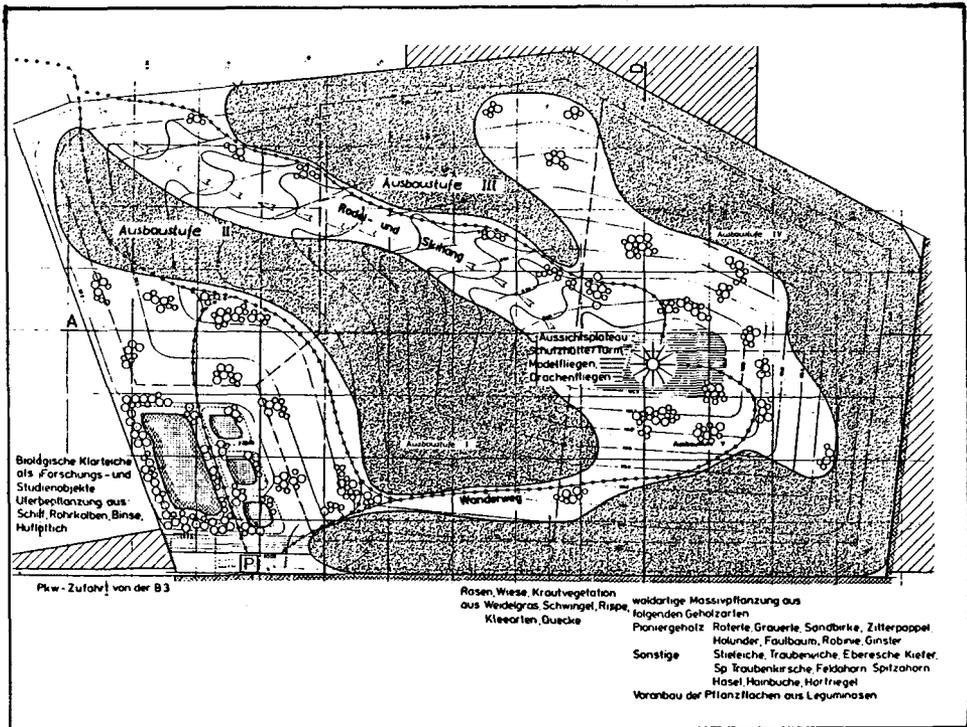


Abb. 43: Rekultivierungsplan für die Gesamtanlage einer abgeschlossenen Deponie (nach NAGEL, D., 1985).

Das in Abb. 43 gezeigte Rekultivierungsmodell soll abschließend demonstrieren, daß bei gewissenhafter Planung und Ausarbeitung die Eingliederung der abgeschlossenen Deponie in die umgebende Landschaft in den meisten Fällen zu bewerkstelligen ist. Äußerst wichtig dabei ist die immer wieder zu fordernde interdisziplinäre Kooperation, im speziellen Fall vor allem die Zusammenarbeit mit Biologen und Kulturtechnikern.

4. Sanierung von Altlasten

Obwohl die Möglichkeit besteht, Abfälle entsprechend sorgfältig und damit umweltschonend zu deponieren, muß immer wieder betont werden, daß **selbst heute noch Altlasten von morgen produziert werden**. Es gibt eine Reihe von Beispielen, wo sogenannter „Hausmüll“ ohne besondere Vorkehrungen in Kiesgruben abgelagert wird – in Form einer öffentlichen Deponie. Unter diesen Voraussetzungen braucht wohl nicht näher erläutert werden, daß sich unter den 450 in Österreich derzeit in Betrieb stehenden Deponien ohne Abdichtung gegen den Untergrund genügend sanierungsbedürftige Müllablagerungen befinden. Und selbst wenn sich herausstellen sollte, daß nur eine einzige Deponie sanierungsbedürftig ist, sind die dafür notwendigen enormen Kosten eigentlich kaum vertretbar.

SONNTAG, 8. DEZEMBER 1985

CHRONIK

Deponie „liefert“ 2000 m³ Gas pro Stunde: Hochbrisant!

Müllbombe: Siedlung nun als Geisterstadt

Abb. 44: Unkontrollierter Gasaustritt aus einer Hausmülldeponie (Kurier, 8. 12. 1985, S. 17).

Die Hauptgründe, warum wir heute dem Problem der kontaminierten Standorte und Altlasten gegenüberstehen, wurzeln im Vertrauen auf die Selbstreinigungskraft des Bodens und Grundwassers, im Vertrauen auf „natürlich dichte“ Böden, im Vertrauen auf „Neutralisierung“ von Sondermüll durch Hausmüll, in der Unkenntnis im gesamten Bereich der Abfalltechnik (Vorgänge in Deponien, Lösungsvorgänge, Verhalten organischer Stoffe etc.), im Fehlen von gewissenhafter Analytik und oft auch in der Beschäftigung von unqualifiziertem Personal (vgl. auch STEGMANN, R., 1985, S. 39).

Ergänzend ist dazu zu bemerken, daß lange Zeit die Ansicht herrschte, daß, **erstens** für Abfall keine Investitionen notwendig sind, **zweitens** für viele Betriebe die Entsorgungspflicht am Werkstor endete und **drittens**, daß durch ausreichende Verdünnung der schadstoffbelasteten Abfälle, der Abluft und des Abwassers die Gefährdungsrisiken auf ein Minimum gesunken sind, solange die Schadstoffe nicht auffindbar bzw. nicht nachweisbar waren (vgl. dazu auch SALOMO, K. P., 1985).

Die Umweltgefährdung durch Altlasten erfolgt hauptsächlich durch Gasmigrationen in die Umgebung der ehemaligen Deponie und durch die Kontamination des Grundwassers.

Zur Verringerung bzw. Vermeidung der erwähnten Schäden können verschiedene Lösungswege angeboten werden:

a) Abtragen der Deponie:

Das Deponiegut muß dann an anderer Stelle sicher deponiert werden können. Neben den anfallenden Kosten ist fehlender, geeigneter Deponieraum der Haupthinderungsgrund, warum dieses Verfahren nicht in größerem Umfang praktiziert wird. Bei mengenmäßig geringeren Altlasten stellt es jedoch eine gangbare Lösung dar (vgl. MESECK, H. et al., 1985, S. 117).

b) Neutralisierung des Deponiegutes durch in situ-Behandlung

(z. B. Injektionen von Neutralisationsmitteln auf chemischer Basis). Diese Lösung wird heutzutage kaum praktiziert.

c) Reinigung des Deponiegutes und Wiedereinbau**d) Hydrogeologische Maßnahmen:**

Durch die Anlage von Brunnen kann kontaminiertes Sickerwasser abgepumpt und einer Reinigung zugeführt werden. Wegen der hohen anfallenden Pumpwassermengen und der hohen Reinigungskosten ist die Maßnahme langfristig gesehen unwirtschaftlich.

e) Einkapselung der Deponie:

Diese Methoden werden derzeit am häufigsten angewendet. Grundsätzlich kann dabei zwischen randlicher Abkapselung mit Hilfe von Senkrechtabdichtung und Anbringung einer nachträglichen Basisabdichtung unterschieden werden.

4.1. Umschließen mit Senkrechtabdichtungen

Vertikale, die Deponie umfassende Dichtwände mit geringer Durchlässigkeit sollen den Abfluß von kontaminiertem Grundwasser verhindern (Abb. 45). Das ist aber nur dann möglich, wenn die Gründung dieser Wände in undurchlässigen, tiefer

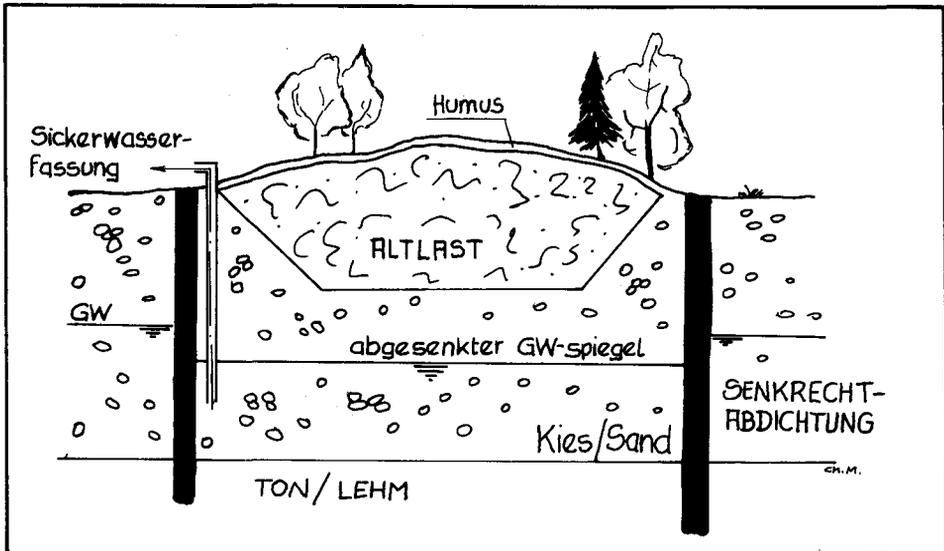


Abb. 45: Schematische Darstellung der Einkapselung von Altlasten.

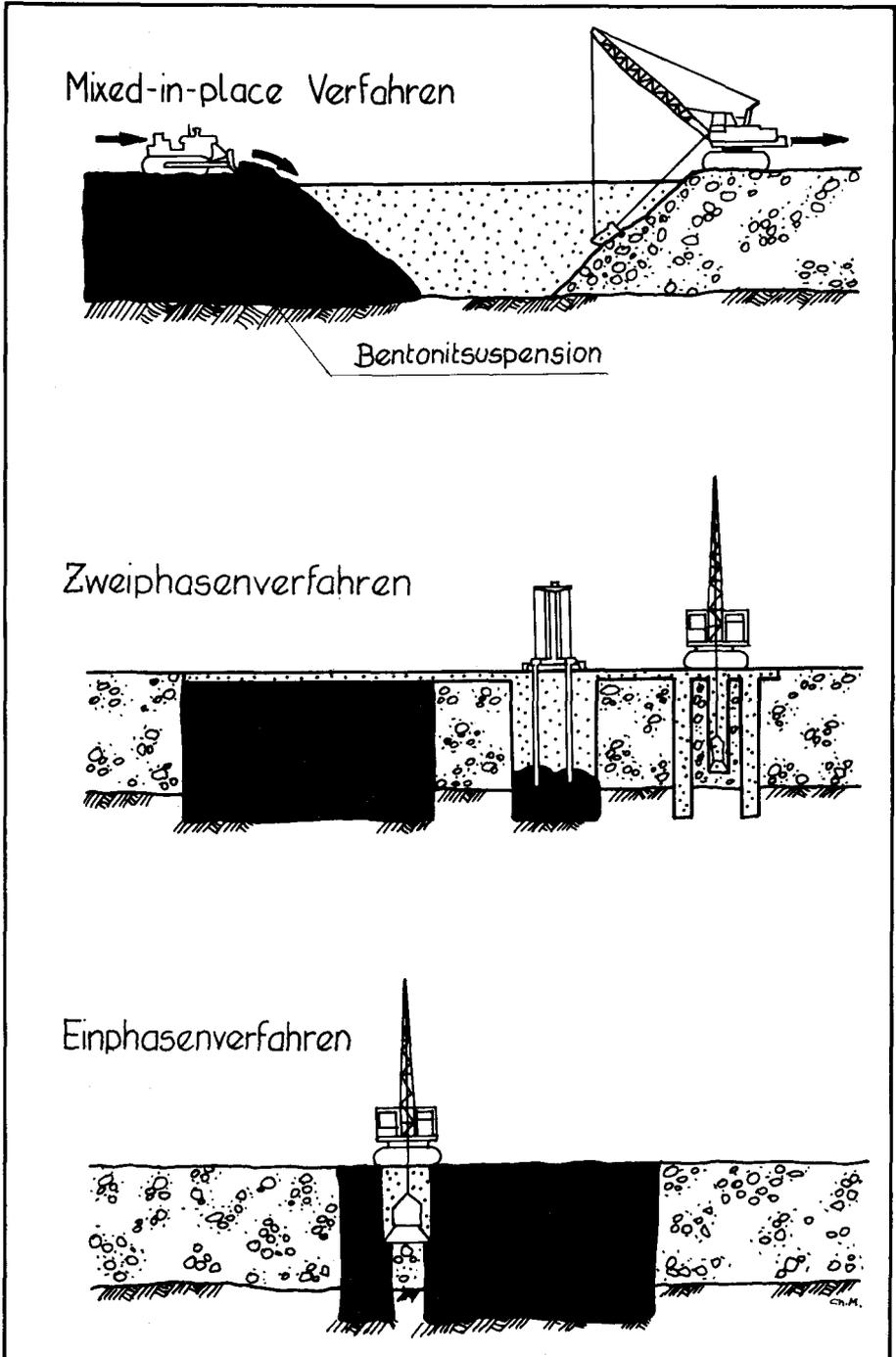


Abb. 46: Verschiedene Verfahren zur Herstellung von Dichtungswänden (nach MESECK, H. et al., 1985).

liegenden Schichten vorgenommen werden kann. Fehlen solche Horizonte, dann muß zusätzlich an eine Basisabdichtung gedacht werden.

Die Bauarten senkrechter Dichtungswände sind aus Tiefbau-Verfahren entlehnt und speziell für Deponien weiterentwickelt worden. Nach dem derzeitigen Stand der Technik kann dafür vor allem das **Schlitzwandverfahren** eingesetzt werden, bei dem zwischen drei Bauverfahren unterschieden werden kann (Abb. 46 a–c). Während der Herstellung und nach Beendigung der Aushubarbeiten ist dabei besonders auf die Vertikalität der Lamellen zu achten, da bei gegenläufigen Abweichungen von der Lotrechten sogenannte „Fenster“ entstehen können, die den Dichtungserfolg in Frage stellen (BIEBER, A., 1985, S. 126).

Genauso wie bei Basis- und Oberflächenabdichtungen können auch hier dieselben natürlichen und künstlichen Dichtungsmaterialien eingesetzt werden. Je nach Bau-firma und Verfahren (Ein- oder Zweimassenwände) gibt es für die natürlichen Dichtungsmedien die verschiedensten Mischungsrezepte, im allgemeinen aber werden sie aus Zement, Wasser, eventuell Kies/Sand und Bentonit hergestellt. Noch

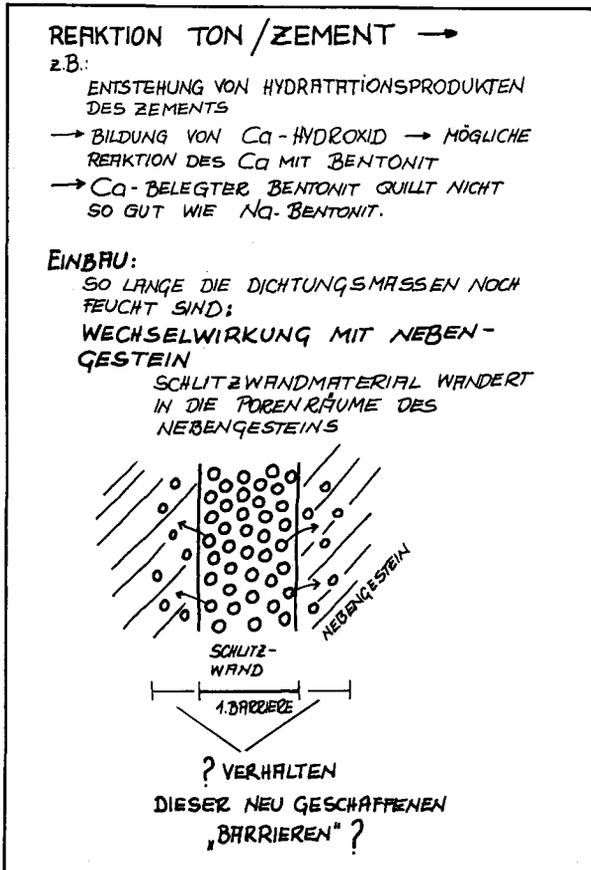


Abb. 47: Mögliche Reaktionen beim Einbau von natürlichen Senkrechtabdichtungsmassen
 (nach KOHLER, E. E., 1986).

nicht gänzlich geklärt ist allerdings die Wechselwirkung der Schlitzwandmassen, solange sie noch feucht sind, mit dem Nebengestein (Abb. 47). In München läuft zur Zeit ein Projekt zur Untersuchung dieser Phänomene.

Eine äußerst wirkungsvolle Abkapselungsmethode stellt die Verwendung von Dichtwänden mit eingebauten Drainfolien dar (Abb. 48). Allerdings sind dabei wiederum mögliche Wechselwirkungen zwischen natürlichen und künstlichen Materialien zu berücksichtigen.

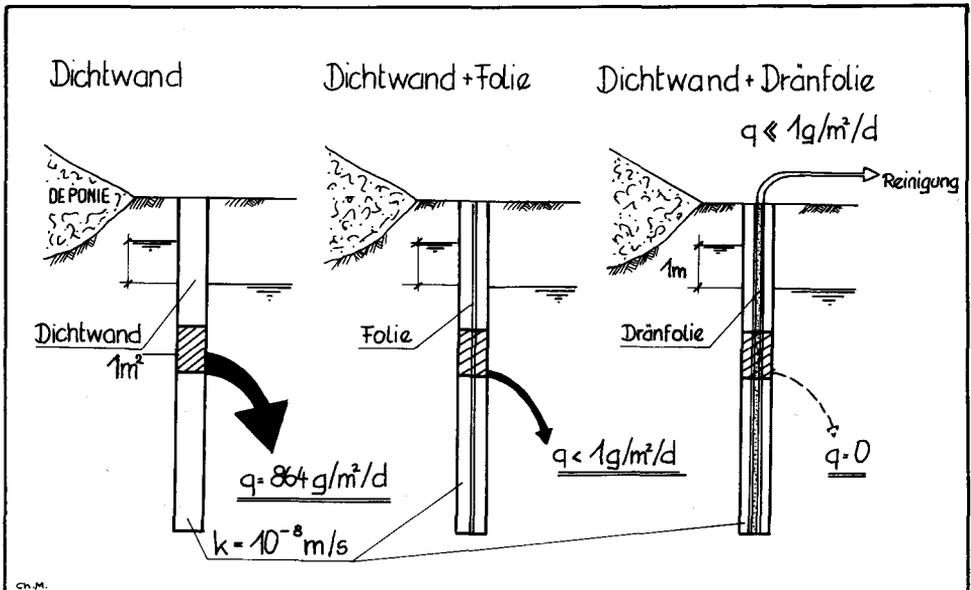


Abb. 48: Leckraten verdünnter Kohlenwasserstoffe (nach NUSSBAUMER, M., 1985).

4.2. Nachträglicher Einbau von Basisabdichtungen

Die im vorigen Abschnitt beispielhaft angeführten Möglichkeiten zur Herstellung von Vertikaldichtungen können sowohl zur Sanierung von Altlasten, als auch beim Neubau einer Deponie angewendet werden. Die Bauverfahren zum nachträglichen Einbau einer Basisabdichtung unterscheiden sich aber wesentlich von jenen für die Neuanlage einer Deponie. Verfahrenstechnisch kann zwischen **Injektionssohlen** und **bergmännischem Verfahren** unterschieden werden.

In einigen Fällen handelt es sich bei diesen Verfahren um verschiedene Vorschläge zur Durchführung, deren praxisnahe Erprobung noch notwendig ist.

INJEKTIONSSOHLNEN

Es werden in einem engen Raster (etwa $2 \times 2\text{ m}$) Injektionsbohrungen durch den Deponiekörper abgeteuft und die Dichtungsmasse eingepreßt. Nachteilig dabei kann sich auswirken, daß kontaminiertes Sickerwasser über die Bohrung abströmen kann und die Vertikalität der Bohrungen (Abweichungen weit über 1%) und somit die Homogenität der Sohlabdichtung bei größeren Tiefen nicht immer gewährleistet ist.

Des weiteren stellt sich die allgemeine Problematik, einen verdichteten, sehr heterogen aufgebauten Deponiekörper zu durchbohren.

BERGMÄNNISCHE LÖSUNGEN

Es wird unterhalb des Deponiekörpers eine Sohle eingebaut, ohne die Deponie selbst anzutasten (Abb. 49).

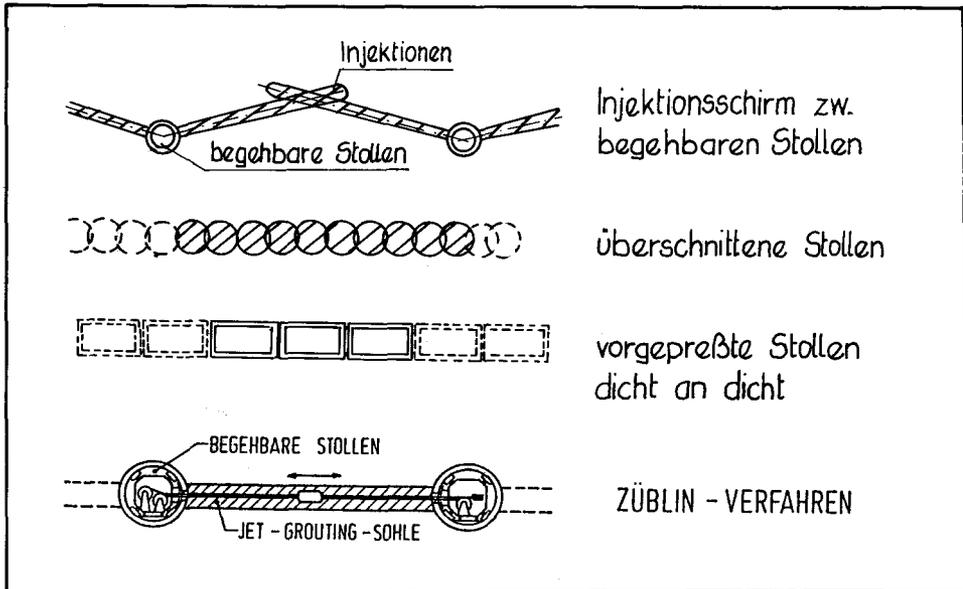


Abb. 49: Verschiedenste Verfahren zur nachträglichen Basisabdichtung (nach GLÄSER, E., 1985).

Eine Neuentwicklung auf diesem Gebiet, speziell für die Sanierung von Altlasten entwickelt, stellt das „Züblin-Verfahren“ (Firma E. Züblin AG, Stuttgart/BRD) dar, welches 1986 in einem Pilotversuch getestet werden soll.

Verfahrensbeschreibung (aus GLÄSER, E., 1985, S. 136): Über außerhalb der Deponie liegende Schächte werden unter dem Deponiekörper parallel verlaufende, begehbare Vorpreßtunnel im Abstand von ca. 100–150 m hergestellt. Zwischen den Anfahrschächten wird ein kleiner Nebentunnel aufgeföhren. Zwischen den beiden Haupttunneln wird im Nebentunnel eine mechanische Verbindung (z. B. Seil) hergestellt, an der ein Düsenkörper bei gleichzeitigem bzw. abschnittweisem Vorschub der Seilenden hin- und hergeführt werden kann. Über das längsgeschlitzte Nebentunnelrohr dringt der Düsenkörper in das Erdschicht ein. Die beiden Seilenden werden in den Haupttunneln am Maschinenwagen geführt und umgelenkt. Zur Durchführung des Längsvorschubes wird in die beiden Haupttunnelrohre ein horizontaler Schlitz gefräst, welcher nach Durchfahren des Seiles wieder kraftschlüssig geschlossen wird. Durch den Düsenstrahl mit mehreren 100 bar Druck wird der Boden in seiner Struktur zerlegt, verflüssigt und intensiv mit einer Bentonit-Zement-Mischung und weiteren Additiven vermischt. Durch Variation des Eindüsdruckes und der Einpreßmenge kann die Dicke des Dichtungsteppichs zwischen 0,6 bis 1,5 m betragen. Durch Aneinanderkoppeln mehrerer Dichtflächen lassen sich beliebig große Basisdichtflächen herstellen. Theoretische Überlegungen und Erfahrungen bei der Herstellung von vertikalen Soilcrete-Säulen zeigen, daß Injektionsleistungen von ca. 20–40 m³/h erreichbar sind. Die Ergebnisse von Durchlässigkeitstests mit injizierten rolligen Einheitsböden zeigen, daß Durchlässigkeitsbeiwerte von $k = 10^{-9}$ m/s ohne weiteres erreichbar sind.

Dieses Verfahren hat folgende wesentliche Vorteile:

- Die Kontinuität der Dichtungssohle wird dadurch gewährleistet, daß der Düsenkörper und das Führungssystem jeden cm des Bodens durchfahren.
- Der Deponiekörper wird nicht angetastet.
- Die Haupttunnelrohre sind später begehbar.
- Kontrollen können über horizontale Bohrungen vom Tunnel aus sowohl über als auch unter der Sohle durchgeführt werden.
- Es kann ein dichter Anschluß mit einer vertikalen Dichtwand erfolgen.

Die Sanierung von Altlasten ist rein technisch gesehen sicherlich möglich. Trotzdem wäre es besser, schon bei der Errichtung neuer Deponien entsprechende Vorkehrungen zu treffen, die eine Sanierung nicht notwendig machen. In der Praxis zeigte sich nämlich schon allzuoft, daß auch diese wohldurchdachten Sanierungskonzepte aus bisweilen unerklärlichen Gründen versagen und somit die Umwelt weiter belastet wird, ohne daß dagegen etwas unternommen werden kann.

5. Schlußbemerkung

Wenn in diesem Überblick zum Themenkreis Deponietechnik des öfteren darauf hingewiesen wurde, daß sich verschiedene Baupraktiken erst im Erprobungsstadium befinden oder bestimmte Reaktionsverhalten noch nicht genügend bekannt sind, so geschah dies aus einer nicht unbegründeten Vorsichtsmaßnahme:

Es besteht nämlich heutzutage die Tendenz auf der allgemeinen Welle des steigenden Umweltbewußtseins durch die Einbringung von Schlagworten wie „Umweltschonung, Umweltgeologie“ etc. „mitschwimmen“ zu wollen, dabei aber die notwendigen, oft langfristigen Lösungen von Grundsatzproblemen zu vernachlässigen. Sicherlich muß immer wieder betont werden, daß die Mitarbeit von Erdwissenschaftlern gerade in der Deponietechnik unbedingt notwendig scheint. Hierbei stellt sich aber die Forderung, daß nicht durch übereilige, schlecht fundierte Behauptungen diese Zukunftsaussichten durch mangelnde Glaubwürdigkeit vermauert werden.

Es ist richtig, daß in der Öffentlichkeit viel zu wenig bekannt ist, in welchem breiten gestreuten Arbeitsbereich etwa der Geologe eingesetzt werden kann, aber die entsprechende Information und Aufklärung der Öffentlichkeit darf nicht von engstirnigen Profilierungsbestrebungen motiviert sein, sondern soll gestützt auf die schon bisher praktizierte Seriosität erfolgen.

Dank

Mein Dank gilt in erster Linie Herrn Prof. Dr. W. FRANK, der mir die Absolvierung des Akademikertrainings und somit die Beschäftigung mit dem Themenkreis „Mülldeponie“ ermöglichte.

Danken möchte ich auch Herrn Dr. P. KREJSA vom Österreichischen Forschungszentrum Seibersdorf/Abfallabteilung, der mir die Gelegenheit zu ersten, umfangreichen Literaturstudien im Forschungszentrum gab und mir in zahlreichen Diskussionen und Erläuterungen einen guten Einblick in die Abfallproblematik vermittelte.

Schließlich danke ich auch Herrn Prof. Dr. A. TOLLMANN, durch dessen Engagement als Schriftleiter der Österreichischen Geologischen Gesellschaft die Publikation dieser Arbeit erst ermöglicht wurde.

Bedanken will ich mich auch bei Herrn Prof. Dr. F. MAKOVEC der TU Wien, der mir die Mitarbeit an einem Pilotprojekt mit dem Schwerpunkt „Hausmülldeponie“ angeboten hat, welches aus terminlichen Schwierigkeiten aber erst später als geplant gestartet wurde und meine Mitarbeit daher aus beruflichen Gründen nicht mehr möglich war.

6. Literaturverzeichnis

- AUGUST, H., 1985: Untersuchungen zum Permeationsverhalten kombinierter Abdichtungssysteme. – Mitt. Inst. f. Grundbau u. Bodenmech. TU Braunsch., H. 20, 205–219, Braunschweig.
- BAUMANN, W., 1986: Langfristige Abschätzung und Reduzierung von Sickerwasseremissionen aus Mülldeponien. – Müll u. Abfall, 18. Jg. (1986), H. 3, 95–102, E. Schmidt-Verlag, Bielefeld.
- BEIGLBOCK, F., 1984: Gasbildung und Entsorgung in Mülldeponien. – Sonderdr. aus H. 3/1984 (37. Jg.), Österr. Bürgermeister-Zeitung, Ma. Enzersdorf/Südstadt.
- 1985: Deponiegas, Entstehung, Entsorgung, Verwertung. – Metallwerk AG. Buchs Ges.m.b.H., A-2344 Maria Enzersdorf/Südstadt.
- BIEBER, A., 1985: Bericht über ausgewählte Forschungsvorhaben. – Mitt. Inst. f. Grundb. u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 20, 139–152, Braunschweig.
- BÖHM, C. & SCHÄFFER, E., 1977: Die Müllabfuhr- und Abfallbeseitigungsgesetze der österreichischen Bundesländer. Rechtsvergleich. – Österr. Bundesmin. f. Gesundheitswesen, 227 S., Wien.
- BUNDESMINISTERIUM für Land- und Forstwirtschaft, 1977: Richtlinien für geordnete Mülldeponien im Interesse des Gewässerschutzes. – 20 S., Wien.
- DEMME, W. & GROLLITSCH, E., 1968: Über die Erschließung von Lockerböden mittels Rotationsbohrungen, samt Durchlässigkeitsbestimmungen beim Bau des Damms Feistriz. – Mitt. Ges. Geol. Bergbaustud., 18 (1967), 429–446, 5 Abb., 2 Taf., Wien.
- EHRIG, H.-J., 1985: Sickerwasseremissionen aus Sondermülldeponien. – Mitt. Inst. f. Grundbau u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 17, 137–150, Braunschweig.
- EIDGENÖSSISCHES AMT FÜR UMWELTSCHUTZ, 1976: Richtlinien über Allgemeine Anforderungen an Standort, Anlage, Betrieb und Kontrolle von geordneten Deponien (Deponierichtlinien). – 2. unveränd. Aufl., Bern 1982.
- FARQUHAR, G. J. & ROVERS, P., 1973: Gas Production During Refuse Decomposition. – Water, Air and Soil Pollution, 7, 483–495.
- FÜCHTBAUER, H. & MÜLLER, F., 1977: Sedimente und Sedimentgesteine, Teil III. – 784 S. (Schweizerb. Verlagsbuchhdl.), Stuttgart.
- GLÄSER, E., 1985: Bautechnische Lösungen für Abdichtungssysteme an Deponien. – Stuttg. Ber. zur Abfallw., H. 19, 115–138, Stuttgart.
- GLÜCK, L. & ZÖHREN, J., 1985: Kunststoffbahnen als Abdichtungsmittel im Grundwasserschutz. – Beitr. zum Stand der Technik bei Produktion, Verlegung und Qualitätssicherung. – 33–41, [in:] KNIPSCHILD, F. W. (Hrsg.): Deponiebasisabdichtung mit Kunststoffbahnen, Beih. zu Müll u. Abfall, 22, 111 S., E. Schmidt-Verl., Bielefeld.
- HEILING, 1986: Durchlässigkeit experimenteller und natürlicher Tongefüge. – Vortrag, Arbeitstg. Angew. Tonmineral., Univ. f. BOKU Wien, April 1986, Wien.
- HOBERG, H., 1983: Technische Möglichkeiten der Abfallverwertung. – S. 18–21 [in:] EBERLE, S. H., RODEK, R.: ENVITEC 83 – 4. Int. Messe u. Kongreß Rohstoff u. Umwelt/Kongreß, Berichtswerk. – 119 S., Vulkan-Verlag, Essen.
- HOSTETTLER, Ch., 1985: Planung und Ausführung der Basisabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen bei der Zentraldeponie des Kantons, Baselland. – Beih. zu Müll u. Abfall, 22, 89–91, E. Schmidt-Verlag, Bielefeld.
- HUITRIC, R., 1981: Setzungsverhalten von Deponien. – Verlängerung der Nutzungsdauer von Deponien (Hrsg.: JÄGER, B. et al.), Abfallwirtschaft an der TU Berlin, H. 8, Berlin.
- JESSBERGER, H. L., BEINE, R. H. & EBEL, W., 1983: Herstellung von Basisabdichtungen für Mülldeponien mit Waschbergen. – Müll und Abfall, 15. Jg. (1983), H. 8, 193–200, E. Schmidt-Verlag, Bielefeld.
- KEMMERLING, W. & PAWLIG, R. 1985: Bedeutung der Geordneten Deponie für die Abfallwirtschaft. – Vortrag Tagung Eisenerz (18.–20. Sept. 85), Tagungsbd. Eisenerz.
- KNIPSCHILD, F. W., 1985 a: Kunststoffdichtungsbahnen für die Abdichtung von Deponien. – Mitt. Inst. f. Grundb. u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 17, 71–98, Braunschweig.

- 1985 b: Eigenschaften und Prüfung von Kunststoffdichtungsbahnen für den Grundwasserschutz. – Mitt. Inst. f. Grundb. u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 20, 153–168, Braunschweig.
- 1985 c: Werkstoffauswahl und Dimensionierung von Kunststoffdichtungsbahnen für Grundwasserschutzmaßnahmen. – 49–60, [in:] KNIPSCHILD, F. W. (Hrsg.): Deponiebasisabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen, Beih. zu Müll u. Abfall, 22, 111 S., E. Schmidt-Verl., Bielefeld.
- KOHLER, E. E., 1985: Mineralogische Veränderungen von Tonen und Tonmineralen durch organische Lösungen. – Mitt. Inst. f. Grundbau u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 20, 87–94, Braunschweig.
- 1986: Die Geotechnik der Deponien und Altlasten als Herausforderung für die Mineralogie. – Vortrag, Arbeitstagung Angewandte Tonmineralogie Univ. f. BOKU Wien, April 1986, Wien.
- KOMODROMOS, A. & GÖTTNER, J. J., 1986: Beeinflussung von Tonen durch Chemikalien. – Müll u. Abfall, 18. Jg. (1986), H. 3, 102–108, E. Schmidt-Verlag, Bielefeld.
- KOPP, B., 1985: Konstruktionsmerkmale von Deponiebasisabdichtungen mit Kunststoffdichtungsbahnen. – Mitt. Inst. f. Grundbau u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 20, 169–198, Braunschweig.
- LAGA, 1982: Rekultivierung von Deponien (Anh. zum Merkblatt „Die geordnete Ablagerung v. Abfällen“). – Mitt. d. Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, 4, 15 S., E. Schmidt-Verlag (BRD).
- 1983: Informationsschrift „Deponiegas“. – Mitt. d. Länderarbeitsgemeinschaft Abfall, 6, 79 S., E. Schmidt-Verlag (BRD).
- 1985: Sickerwasser aus Hausmüll. – Mitt. d. Länderarbeitsgemeinschaft, 10, 44 S., E. Schmidt-Verlag (BRD).
- LAUB, B., 1985: Abfallerhebung 1984 in den Gemeinden. – Österr. Bundesinst. f. Gesundheitswesen, 392 S., Wien.
- LÜHR, H.-P., 1985: Zukünftige Entwicklung in der Abfallentsorgung. – Mitt. Inst. f. Grundbau u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 17, 233–246, Braunschweig.
- MESEK, H. & KRUSE, T., 1985: Entwurf, Prüfung und Eigenschaften von Dichtwandmassen für die Einkapselung von Altlasten. – Mitt. Inst. f. Grundbau u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 20, 115–138, Braunschweig.
- MULL, R., 1985: Hydrogeologische Auswirkungen von Deponien und Altlasten. – Mitt. Inst. f. Grundb. u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 20, 33–52, Braunschweig.
- NAGEL, D., 1985: Dichtungsmaßnahmen bei der zentralen Abfallbeseitigungsanlage Hillern im Landkreis Soltau-Fallingb. – Beih. zu Müll u. Abfall, 22, 92–97, E. Schmidt-Verlag, Bielefeld.
- NEUMANN, U. & OUYEN, G. 1979: Rekultivierung von Deponien und Müllkippen. – Beiheft zu Müll u. Abfall, H. 16, 70 S., E. Schmidt Verlag, Bielefeld.
- NEUPER, K., 1984: Moderne Deponietechnik. – 60–88 [in:] Review – Gesundheitswesen und Umweltschutz (Hrsg.: Ö. Bundesinst. f. Gesundheitswesen), H. 1 (1984), 214 S., Wien.
- NUSSBAUMER, M., 1985: Neue Entwicklungen der Bauindustrie zur Abdichtung von Deponien und Altlasten. – Mitt. Inst. f. Grundb. u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 20, 103–114, Braunschweig.
- PIETRZENIUK, H. J., 1983: Verwertungsmöglichkeiten von Reststoffen aus Anlagen der Luftreinhaltung. – 49–52 [in:] EBERLE, S. H., RODEK, R. (Hrsg.): ENVITEC 83 – 4. Int. Messe u. Kongreß Rohstoff u. Umwelt / Kongreß Berichtswerk. – 119 S., Vulkan-Verlag, Essen.
- POSCHET, G., 1985: Die Dichtigkeit von Kunststoffbahnen, Ergebnisse aus Versuchen zum Permeationsverhalten. – Vortrag, Fachtagung: Grundwasserschutz mit Kunststoffdichtungsbahnen (Süddt. Kunststoffzentrum), München.
- PREGL, O., 1985: Bauwerke im Grundwasserbereich; Abdichtungen, Abfall und Umweltverunreinigungen, Injektionen, Gesteinsanker. – Mitt. Inst. Geotechn. u. Verkehrsw. Univ. BOKU Wien, Reihe „Geotechnik“, H. 14, 255 S., Wien.
- PRINZ, H., 1982: Abriß der Ingenieurgeologie. – 419 S., F. Enke Verlag, Stuttgart.

- REUTER, E., 1985 a: Eignungsuntersuchungen von natürlichen Dichtungsmaterialien für Deponien. – Mitt. Inst. f. Grundb. u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 17, 37–70, Braunschweig.
- 1985 b: Entwurf, Prüfung und Eigenschaften mineralischer Basisabdichtungen. – Mitt. Inst. f. Grundb. u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 20, 53–86, Braunschweig.
- RIEHL-HERWIRSCH, G. & LECHNER, P., 1983: Untersuchungen über die Verwendung des Schlammmaterials aus der Kieswösche als Grundwasserschutzschicht. – (Hrsg.): Bundesmin. f. Land- u. Forstwirtsch., Wasserwirtschaftskataster, 66 S. + Anlage, Wien.
- RYSER, W., 1985: Tendenzen bei der Sickerwasserverminderung und kontrollierten Sickerwasserentsorgung in der Schweiz. – Stuttg. Ber. z. Abfallw., H. 19, 49–70, Stuttgart.
- SALOMO, K. P., 1985 a: Technische Möglichkeiten zur Sanierung gefährlicher Altlasten (bauliche Maßnahmen, Materialien). – Müll u. Abfall, 17. Jg. (1985), H. 3, 61–70, E. Schmidt-Verlag, Bielefeld.
- 1985 b: Probleme bei der Ermittlung der Standsicherheit von Mülldeponien. – Müll u. Abfall, 17. Jg., H. 10, 334–341, E. Schmidt-Verlag, Bielefeld.
- SIMONS, H., SONDERMANN, W. & REUTER, E., 1984: Bodenmechanische Probleme bei Deponien und Sanierungsmaßnahmen bei Grundwasserverunreinigungen. – Stuttg. Ber. zur Abfallwirtsch., H. 17, E. Schmidt-Verlag, Bielefeld.
- SONDERMANN, W., 1985: Ausführungen und Güteüberwachung bei mineral. Deponiedichtungen. – Mitt. Inst. f. Grundbau u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 17, 113–135, Braunschweig.
- STEFFEN, H., 1979: Versuche zur Abdichtung von Deponien mit Bergematerial. – Beih. zu Müll u. Abfall, H. 15, Deponiebasisabdichtungen (Hrsg.: STIEF, K.), 95–107, E. Schmidt-Verlag.
- 1985: Konzeption und Ausführung von Zwischen- und Oberflächenabdichtungen an Deponien. – Stuttg. Ber. zur Abfallw., H. 19, 87–114.
- STEGMANN, R., 1985: Deponierung von Abfällen – Eine technische Aufgabe der Gegenwart und der Zukunft. – Mitt. Inst. f. Grundbau u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 17, 1–14, Braunschweig.
- STIEF, K., 1979: Deponiebasisabdichtungen – neue Forschungsergebnisse. – 71–86, [in:] STIEF, K. (Hrsg.): Deponiebasisabdichtung, Beih. zu Müll u. Abfall, H. 15, 355 S., E. Schmidt-Verlag, Bielefeld.
- SCHÄFFER, E., 1985: Grundlagen für den Umgang mit Sonderabfällen in Österreich. – Gesundheitswesen und Umweltschutz (Hrsg.): ÖBIG, Review H. 1 + 2, 9–56, Wien.
- SCHLÜTTER, A., 1985: Konstruktive Hinweise für die Ausführung von Deponiebasisabdichtungen mit Kunststoffdichtungsbahnen. – 42–48, [in:] KNIPSCHILD, F. W. (Hrsg.): Deponiebasisabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen, Beih. zu Müll u. Abfall, 22, 111 S., E. Schmidt-Verlag, Bielefeld.
- SCHMITT, G. P., 1984: Mineralische Abdichtungen durch Bentonit-Ton-Gemische mit natürlichen Böden. – Referat: Süd-Chemie Fachtagung „Deponietechnik“ (12. 4. 84) München.
- TAPROGGE, R., 1985: Das Langzeitverhalten von Kunststoffdichtungsbahnen bei überlagerten Beanspruchungen. – 61–67, [in:] KNIPSCHILD, F. W. (Hrsg.): Deponiebasisabdichtung mit Kunststoffdichtungsbahnen, Beih. zu Müll u. Abfall, 22, 111 S., E. Schmidt-Verlag, Bielefeld.
- TÄUBERT, U., 1982: Basisabdichtungen für Abfalldeponien aus Kraftwerkstoffen. – Forschungsproj. Vereinigte Elektr. Werke Westfalen, Dortmund.
- WEITZEL, H. & OBERMANN, H., 1985: Errichtung und Betrieb von Sondermülldeponien in der chemischen Industrie. – Mitt. Inst. f. Grundbau u. Bodenmech., TU Braunsch., H. 17, 187–206, Braunschweig.
- WIEDEMANN, H. U., 1985: Analyse der amerikanischen Anforderungen an Deponien für gefährliche Abfälle. – Müll u. Abfall, 17. Jg. (1985), H. 2, 33–37, E. Schmidt-Verlag, Bielefeld.