Neue Anforderungen an die Deponietechnik

Autor(en): **Colombi, Carlo / Fahrni, Markus / Oggier, Peter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizer Ingenieur und Architekt**

Band (Jahr): **102 (1984)**

Heft 15

PDF erstellt am: **28.03.2024**

Persistenter Link: https://doi.org/10.5169/seals-75443

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.
Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.
Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Ein Dienst der *ETH-Bibliothek*
ETH Zürich, Rämistrasse 101, 8092 Zürich, Schweiz, www.library.ethz.ch

http://www.e-periodica.ch

Neue Anforderungen an die Deponietechnik

Von Carlo Colombi, Markus Fahrni, Peter Oggier, Ernst Schläppi und Jürg Zenger, Bern

Seit 1976 sind Deponien nach Anforderungen des Gewässerschutzes klassiert. Aufgrund von Betriebserfahrungen schlagen die Autoren vor, dass Deponien auch nach ihrer biologischen Aktivität zu unterscheiden sind. Gezeigt werden die verschiedenen Phasen von aktiven Deponien und deren Freisetzungsraten. Daraus werden neue bauliche und betriebliche Anforderungen abgeleitet.

Einleitung

Die Schweizer produzieren pro Kopf jährlich 300 kg Hauskehricht, total 2,4 Mio t. Davon werden 71% verbrannt, 16% gelangen direkt in Hauskehrichtdeponien. Deponiert werden jedoch auch 0,54 Mio t Schlacke, 1,2 Mio t Muldengut und Bauschutt. Die Entsorgung von 2,5 Mio t flüssigem Klärschlamm ist nur teilweise gelöst. Demgegenüber fallen die 60 000 t Sondermüll der Industrie recht bescheiden aus. Bild 1 deckt den grossen und unvermeidbaren Bedarf an Deponien auf.

Wie ist diese Zwangslage entstanden? - Wo stehen wir heute? - Kann die Deponietechnik ein Teil der Entsorgungsstrategie bleiben?

Die Entwicklung der Deponietechnik

Mittelalterliche Brandschuttdeponien zeugen vom fast einzigen damaligen Abfallproblem, das nicht durch Recycling gelöst wurde. Alle übrigen Abfälle wurden in der Tierhaltung, in der Düngung und in der Ofenheizung wiederverwertet, abgesehen von gelegentlichen Fehlchargen der Ziegler und Töpfer. Dies blieb so bis zu den ersten Schutthalden der städtischen Gaswerke und der aufkommenden Schwerindustrie des letzten Jahrhunderts. Auch der Rossmist beunruhigte die Stadtväter grösserer Metropolen.

Das eigentliche *Hauskehrichtproblem* entstand in den Ballungszentren durch die Einführung der Konservendose und der Hausfeuerung mit Monobrennstoffen, erst Kohle, dann Öl. In Zürich entstand 1904 die erste Kehrichtverbrennungsanlage. Bern betrieb von 1914 bis 1954 eine Bahnumladestation und führte den Abfall 30 km weit nach Witzwil, wo Sträflinge für Aussortierung, Kompostierung sowie Flächendeponie der Reststoffe sorgten. In ländlichen Gegenden wurde die kommunale «Grube» betrieben, eine meist aerobe Abfallhalde, die zeitweilig brannte. Glas gelangte nur wenig in den Abfall, Schwermetalle, Papier sowie Textilien landeten beim Altstoffhändler, viel Organisches in der Kleinviehhaltung. Nach der Kriegswirtschaft setzte mit dem Aufkommen der Kunststoffe eine rasche Zunahme des Hauskehrichtes ein, welcher mit der vermehrten Einrichtung von Verbrennungsanlagen begegnet wurde. Trotz zunehmender Wärmerückgewinnung blieben die Verbrennungskosten so hoch, dass man anstrebte, die in Verruf geratene *«Grube»* wieder salonfähig zu machen; es entwickelte sich die *«geordnete Deponie»*.

Als erstes erkannte man, dass der in den 50er Jahren recht komplex gewordene Hauskehricht ein stark belastetes *Sickerwasser* produzierte, und suchte Deponiestandorte ausserhalb von Grundwassergebieten. Vorerst wurde angestrebt, das Sickerwasser in situ zu filtrieren. Die Sickerwassermenge wurde durch Zwischenabdeckungen der Deponie reduziert; es entstand die «Sandwichdeponie».

Eine andere Art der Sickerwasserreduktion suchte man Anfang der 70er Jahre mit der *«Rottedeponie»* zu erzielen. Dabei wird der aerobe biologische Abbau unter Eigenwärmeentwicklung gefördert. Dieser Deponietyp wurde in Uttigen bis zur Vollendung entwickelt, brachte aber letztlich nur eine zeitliche Verschiebung, nicht jedoch die gewünschte Reduktion der Sickerwasserfracht.

Eine relativ einfache Maschine, der *Müllkompaktor,* setzt mit seinem weltweiten Siegeszug Mitte der 70er Jahre allen andern Entwicklungen vorerst ein Ende; es entsteht die «hochverdichtete Deponie» mit einem Raumgewicht von 0,8 bis 1 t/m³, ohne Zwischenabdekkungen. Das Sickerwasser wird gefasst und erweist sich als abbaubar in kommunalen Abwasseranlagen. Längst wird die «geordnete Deponie» nicht mehr gemeindeweise, sondern regional angelegt, um die beachtlichen Investitionen für Maschinen und bauliche Einrichtungen amortisieren zu können.

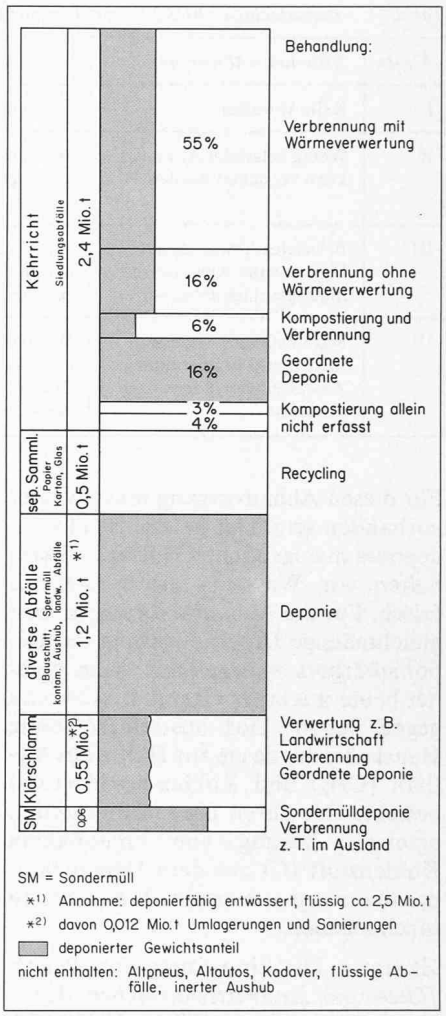


Bild 1. Übersicht der wichtigsten festen Abfälle aus der Schweiz und Art der Behandlung [2]

Erfahrungen der letzten zehn Jahre

Das Eidgenössische Bundesamt für Umweltschutz brachte 1976 Deponierichtlinien [1] heraus aufgrund des Gewässerschutzgesetzes von 1971. Diese Richtlinien stellen eine sehr praxisbezogene Anleitung dar. Sie teilen die Deponien in vier Klassen ein, wobei der Gewässerschutz während der Betriebsphase als massgeblich erachtet wird (Tab. 1).

Seit der Veröffentlichung der Deponierichtlinien wurden vier wesentliche Erfahrungen gemacht:

Erstens: In den Richtlinien wird zwar schon mit Biogas als sekundärer Begleiterscheinung gerechnet, dies vor allem im Zusammenhang mit Behinderungen der Rekultivierung. Inzwischen hat sich jedoch gezeigt, dass die meisten organischen Stoffe einer Deponie unter beträchtlicher Gasentwicklung anaerob rasch abgebaut werden. Die Hauskehrichtdeponie stellt einen *Bioreaktor* dar, welcher Gas in verwertbaren Mengen produziert.

Tabelle 1. Deponieklassen BUS 1976 mit den damals gültigen Kriterien [1]

Klasse	*Kriterium «Abwasser»*	*Voraussetzungen für Deponie*	*Beispiele*
I	Kein Abwasser	Rückgliederung in Landschaft	Aushub
II	Wenig belastetes Abwasser, kann versickert werden	Wie I, ferner: hydrologisch günstiger Standort (kein Grundwasser)	Abbruch Bauschutt
III	Belastetes Abwasser, in kommunaler Abwasserreinigungsanlage abbaubar	Wie II, ferner: Basis dichten, Schmutzwasser sammeln und reinigen in Kläranlage	Hauskehricht
IV	Stark belastets Abwasser, nicht direkt in kommunaler Abwasserreinigungsanlage abbaubar	Wie III, ferner: Basis und Deckel dichten, Entwässerung im Trennsystem, spezielle Reinigung des Abwassers	Sondermüll Industrieabfälle

Für diesen Abbauvorgang muss Wasser vorhanden sein. Der bei der Sandwichdeponie massgebliche Gedanke - Fernhalten von Wasser - erwies sich als falsch. Für die Abbauförderung ist eine gleichmässige Durchfeuchtung des Deponiekörpers massgeblich. Man rechnet heute mit einer Gasproduktion von gegen 300 m³ Gas aus einer Tonne Hauskehricht, das je zur Hälfte aus Methan (CH_4) und Kohlendioxid (CO_2) besteht. Der durch die Gasproduktion erzeugte Austrag von organischem Kohlenstoff (C) aus dem Deponiekörper überwiegt alle andern Freisetzungsmechanismen.

Zweitens: Die Einweisung von *Bauabfällen* und *landwirtschaftlichen Abfällen* in Deponien der Klasse II hat sich als problematisch erwiesen. Diese Abfälle unterscheiden sich häufig kaum mehr vom Hauskehricht, und manche Deponie der Klasse II ist zur getarnten Klasse III geworden, aber ohne die für letztere notwendigen Gewässerschutzmassnahmen.

Drittens: Es gibt eine mengenmässig zunehmende Abfallgruppe (kontaminierte Umlagerungen, Salze, Ölerden usw.), die sich *schlecht in die bestehenden Klassen* einweisen lässt.

Viertens: Sickerwasser aus Sondermülldeponien scheint ohne Vorbehandlung *in kommunalen Abwasserreinigungsanlagen abbaubar* zu sein. Das Verhältnis von organischer Fracht zu Salzfracht ist bei Sondermüllsickerwasser und Hauskehrichtsickerwasser ähnlich. Bei beiden Abwassersorten ist uns jedoch über die Fracht von persistenten organischen Verbindungen mit toxischer Wirkung wenig bekannt.

Die Deponieklasseneinteilung von 1976 ist heute fest bei allen Instanzen und Planungsvorhaben verankert. Ohne dieses Präjudiz würden wir eher eine Einteilung in *biologisch aktive Deponien, biologisch wenig aktive Reststoffdeponien* und *Sondermülldeponien* vorschlagen (Bild 2), und zwar aus folgenden Gründen:

Die Freisetzung von Stoffen aus biologisch aktiven Deponien erfolgt weitgehend über die Entgasung und ist von beschränkter Dauer (einige Jahrzehnte). Sie hinterlässt Reststoffdeponien, in denen die Freisetzung durch Sickerwasser überwiegt. Das Abwasser aus biologisch aktiven Deponien wird stark von den Gasbildungsprozessen beeinflusst. Die Gasproduktion wirkt sich auch auf die Betriebstechnik aus. Es ist deshalb naheliegend, alle Abfälle mit abbaubaren Anteilen in den «Bioreaktor» zu bringen (oder in eine andere Vorbehandlung, z. B. Kompostierung), um die primären Reststoffdeponien von den Problemen des biologischen Abbaus zu entlasten.

Ferner sollte bei der Planung aller Deponien klar unterschieden werden zwischen

- *Betriebsphase:* Auffüllvorgang
- *Übergangsphase:* Restentgasung bzw. Restabwasserbehandlung
- *Konsolidierungsphase:* Deponie bleibt sich selbst überlassen.

Die Freisetzungsrate: Gütemass und Bilanzierungshilfe

Als *Gesamtfreisetzungsrate* bezeichnen wir das Verhältnis des jährlich aus der Deponie abgehenden Stoffgewichtes zum jeweiligen Materialgewicht der Deponie. Die Wasserströme werden in den Massenflüssen nicht berücksichtigt.

Als *Teilfreisetzungsrate* bezeichnen wir die über Entgasung bzw. Entwässerung oder andere Mechanismen erfolgenden Abgangsverhältnisse.

Analog lassen sich auch die interessanten *spezifischen* (Teil-) *Freisetzungsraten* für Einzelstoffe (im Verhältnis zum Gesamtgewicht der Einzelstoffe in der Deponie) bestimmen.

Praktisch ist häufig wohl das Gesamtgewicht, nicht aber die Zusammensetzung nach Einzelstoffen einer Deponie bekannt, so dass man sich mit der *nichtspezifischen* (Teil-) *Freisetzungsrate* eines Einzelstoffes - sie bezieht sich dann auf das Gesamtgewicht der Deponie - begnügen muss.

In Bild 3 sind die Teilfreisetzungsraten über Entgasung und Entwässerung für drei verschiedene Deponiearten dargestellt. Dies sind die quantitativ wichtigsten Freisetzungsmechanismen. Weitere Freisetzungsmechanismen können sein: Verfrachtung durch Tiere, durch Wind, durch Erosion.

In Tab. 2 sind spezifische Teilfreisetzungsraten der *Hauskehrichtdeponie Châtel-St-Denis* zusammengestellt. Die Deponie befindet sich seit 1976 in der Betriebsphase, enthält 365 000 t Abfall, wovon 20% Schlacke sowie 5% entwässerter Klärschlamm, und entgast intensiv. Für die Berechnung dienten eigene Messungen und die Anteile spezifischer Inhaltsstoffe von Abfällen nach [3, 4, 5].

Die Freisetzungsraten von Deponien sind nun leider noch nicht mathematisch formulierbar wie beispielsweise die konstanten Zerfallsraten von radioaktiven Stoffen. Freisetzungsmechanismen und Verfügbarkeit der Einzelstoffe ändern sich während der Lebensdauer der Deponie. Hohe Freisetzungsraten bedeuten eine kurze Lebensdauer des Austragvorganges.

Schutzziele und verschiedene Phasen einer biologisch aktiven Deponie

In einer Deponie müssen unbrauchbare Abfälle umweltverträglich gelagert werden. Die Emissionen der Deponie dürfen die (zukünftigen!) Qualitätsziele bezüglich Reinhaltung von Luft und Wasser nicht verletzen. Für die Betriebs- und Übergangsphase ist eine Behandlung der Abgase und Abwässer in Kauf zu nehmen. Während der Konsolidierungsphase sollte kein Unterhalt notwendig sein.

Betriebsphase

Wir setzen im folgenden eine moderne, hochverdichtete, gut drainierte Hauskehrichtdeponie voraus. In der Betriebsphase dominiert die *Teilfreisetzung über die Entgasung* (Bild 2). Die wegen der Geruchbildung notwendige Verbrennung des Deponiegases ist sauber und kann Energie liefern, da es sich überwiegend um Methan CH_4 und Kohlensäure CO_2 handelt. Das begleitende H_2S ist als Fracht irrelevant, sofern der Kehricht nicht diffus mit Sulfaten vermengt abgelagert wurde. Die hohe spe-

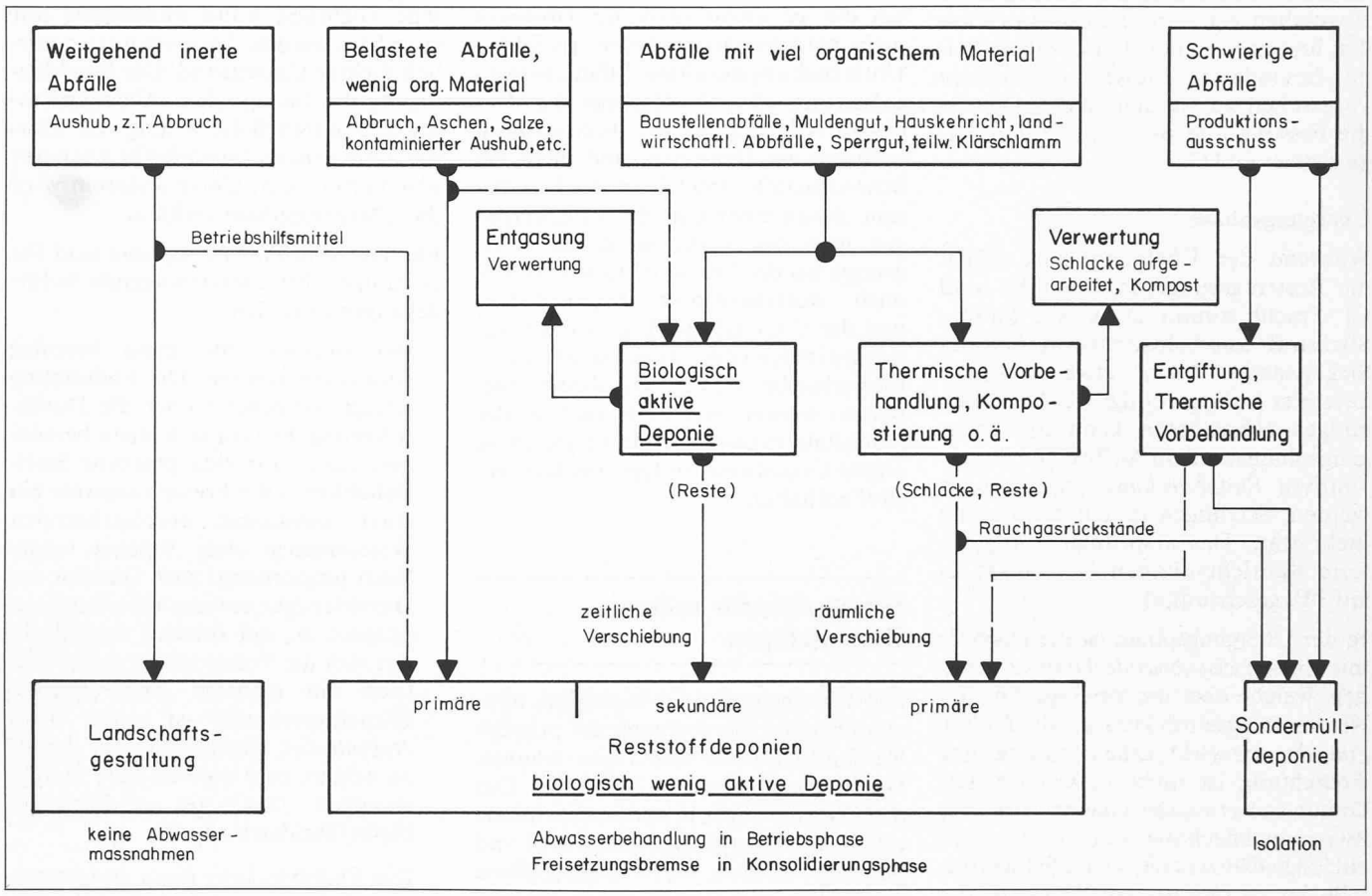


Bild 2. Mögliche Klassierung der Deponien

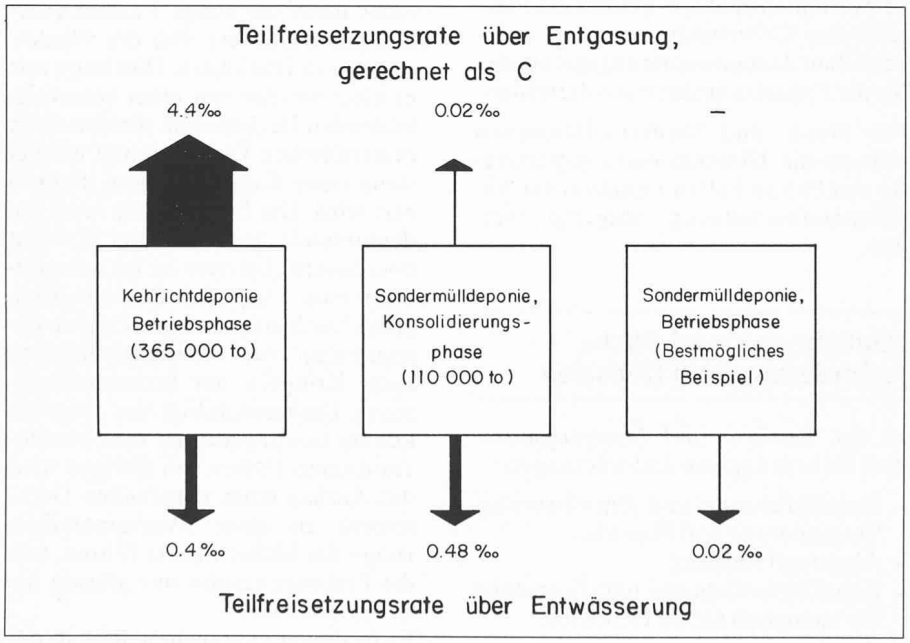


Bild 3 (links). Teilfreisetzungsraten dreier verschiedener Deponien

Tabelle 2. Spezifische Teilfreisetzungsraten von Stoffen einer Hauskehrichtdeponie in der Betriebsphase

Org. C	30‰	über Entgasung
S	0,2‰	
Org. C	0,06‰	über Entwässerung
S	0,4‰	
Cl	2,0‰	
Schwermetalle: Σ Cu, Ni, Pb, Zn, Cr	0,2‰	

zifische Teilfreisetzungsrate für Kohlenstoff lässt auf eine Lebensdauer des Vorganges von einigen Jahrzehnten schliessen. Bei der *Teilfreisetzung über das Sickerwasser* fällt der TOC-Gehalt in der C-Bilanz nicht ins Gewicht, was wenig aussagt, da der Kohlenstoffgehalt der Deponie über die Entgasung abgebaut wird. Der TOC-Gehalt ist aber gewässerschutztechnisch massgeblich und lässt sich erfahrungsgemäss in kommunalen Abwasserreinigungsanlagen abbauen. Interessant ist die hohe spezifische Teilfreisetzungsrate des Cl^- gemäss Tab 2: Der leicht verfügbare Cl^--Gehalt der Deponie wird nach dem Entgasen fast aufgelöst sein. Sulfate und Stickstoffe weisen kleine spezifische Freisetzungsraten auf; sie sind nach der Betriebsphase noch weitgehend vorhanden.

Auffallen muss die geringe spezifische *Freisetzungsrate der Schwermetalle* in der Betriebsphase (Tab. 2). Im anaeroben Deponiemilieu bleiben sie als Hydroxide oder Sulfide gefangen. Theoretisch würde bei konstanter spezifischer Freisetzung der Schwermetallgehalt der zitierten Deponie eine Halbwertzeit von ca .3500 Jahren aufweisen. Als Fracht fällt der Schwermetallabgang aus der Deponie nicht stark ins Gewicht; die Schwermetallkonzentration im Sickerwasser pendelt um den maximal zulässigen Grenzwert für Kanalisationseinleitungen herum.

Abgesehen von wirtschaftlichen Gründen brauchen in der Betriebsphase keine besonderen Freisetzungsbremsen vorgesehen zu werden. Wesentlich ist die Fassung und Behandlung von Sikkerwasser und Gas.

Übergangsphase

Während der Übergangsphase klingt die Restentgasung aus, die TOC- und Cl^--Fracht nimmt stark ab; Sulfat-, Stickstoff- und Schwermetallgehalt des Sickerwassers bleibt etwa konstant. Letzteres muss gereinigt werden. Nach einigen Jahrzehnten kann die Übergangsphase mit dem Aufbringen der *definitiven Endabdeckung* abgeschlossen werden; Setzungen finden dann kaum mehr statt. Das ursprünglich angelieferte Kehrichtvolumen (γ = 0,35) ist auf 30% geschrumpft.

In der Übergangsphase ist die Deponie mit einer *Zwischenabdeckung* zu versehen, welche über die Verringerung der Niederschlagseinsickerung als *Freisetzungsbremse* wirkt. Eine hochwirksame Abdichtung ist nicht notwendig. Die Dimensionierungsparameter für die Zwischenabdeckung stellen die noch zulässige Konzentration der Schwermetalle im zu reinigenden Abwasser dar und die aerostatischen Voraussetzungen für die Entgasung.

Konsolidierungsphase

Die Konsolidierungsphase wurde noch von keiner modernen Deponie erreicht. Eine Prognose dieses Zustandes ist aber Voraussetzung für richtiges Handeln heute. Die Reststoffdeponie enthält in der Konsolidierungsphase als wesentliche Schadstoffgruppe *die Schwermetalle*. Organischer Kohlenstoff ist noch in Kunststoffen und natürlichen, schwer abbaubaren Verbindungen wie Lignin enthalten. Mit Ausnahme des Cl^- enthält die Reststoffdeponie noch die meisten Salze, insbesondere Sulfate, allerdings in schlecht verfügbarer Form. Massgeblich ist in dieser Phase allein die Teilfreisetzung über die Entwässerung.

Ohne Endabdichtung würde das Sickerwasser die Einleitbedingungen in ein Gewässer bezüglich des TOC nicht oder nur vorübergehend verletzen. Auch die Salzfracht wird irrelevant sein. Hingegen wird die Schwermetallkonzentration kritisch sein, und der *pH*-Wert in der Deponie darf nicht sauer werden. Aus Sicherheitsgründen sollte deshalb *eine über Jahrtausende wirksame Freisetzungsbremse* eingebaut werden.

Diese langfristig wirksame Freisetzungsbremse sollte auch aus folgenden Gründen vorgesehen werden: Bei allen voranstehenden Überlegungen konnten die *persistent toxischen Organika* nicht berücksichtigt werden. Es fehlen Untersuchungsresultate. Möglicherweise bestimmt diese Stoffgruppe die Mindestanforderung an die Freisetzungsbremsen der Deponien, und nicht die Schwermetalle. Interessant sind in diesem Zusammenhang die Anforderungen über das Verhalten dieser Stoffgruppe bei der Flussinfiltration [3], wonach stoffspezifische Eigenschaften und der C-Gehalt des Filters das Sorptionsvermögen des Untergrundes quantifizierbar bestimmen. Die Reststoffdeponien werden jedenfalls auch in der Konsolidierungsphase im Vergleich zu einem Grundwasserträger viel Kohlenstoff enthalten.

Schutzziele für andere Deponietypen

Die Überlegungen zur biologisch aktiven Deponie können auch auf primäre Reststoffdeponien übertragen werden. Die Entgasungssysteme fallen weg. Das Sickerwasser muss in der Betriebsphase und in der Übergangsphase gefasst und gereinigt werden; die Übergangsphase wird aber nur einige Jahre dauern. Auch für diesen Deponietyp dürfte die Schwermetallfracht, eventuell die halogenierten C-Verbindungen, den massgeblichen Dimensionierungsparameter für die Freisetzungsbremsen darstellen.

Für Mono- und Sondermülldeponien müssen die Dimensionierungsparameter von Fall zu Fall in Funktion der Abfallzusammensetzung festgelegt werden.

Bauliche und betriebliche Anforderungen an Deponien

In der *Betriebs- und Übergangsphase* sind die erstrangigen Anforderungen:

- Basisabdichtung und Entwässerung, Verhinderung von Einstaus
- Abwasserreinigung
- Kehrichtverdichtung und Entgasung für biologisch aktive Deponien.

Diese Systeme müssen je nach Deponietyp 50 bis 100 Jahre funktionieren; wichtige Stellen müssen für Unterhalt und Reparatur zugänglich bleiben, längs deponieinternen Leitungen müssen Ersatzdurchlässe (z. B. Geröllschüttungen) bestehen.

Die permanente Durchleitung von Oberflächenwässern durch den Deponiekörper ist zu vermeiden. Schwieriger ist die Frage der Basisabdichtung. Das System sollte nicht auf Kunststoffolien allein abstellen; eine mineralische Dichtung sollte mindestens mit eingebaut werden. Ideal wäre ein natürlich dichter Untergrund! Die Beschleunigung des biologischen Abbauprozesses, z. B. durch Beimischung von Klärschlamm gemäss *Gandolla* [3], kann nur von Vorteil sein: Unter anderem wird die Übergangsphase verkürzt.

Für die *Konsolidierungsphase* sind für ca. einige Jahrtausende folgende Anforderungen zu stellen:

- Der *Deponiekörper* muss *innerlich entwässern* können. Die Freisetzung erfolgt weitgehend über die Durchsickerung. Es lässt sich leicht berechnen, dass - für eine gegebene Stofflöslichkeit - die Freisetzungsrate bei einer konstanten durchsickernden Wassermenge ohne Einstau umgekehrt porportional zum Quadrat des Durchlässigkeitswerts k des Deponiekörpers ist. Bei Einstau verschlechtert sich die Freisetzungsrate theoretisch um mehrere 10er-Potenzen. Dementsprechend ist schon beim Aufbau des Deponiekörpers darauf zu achten, dass die vertikale Durchlässigkeit langfristig gewährleistet bleibt (Stauhorizonte!).
- Die *Endabdeckung* muss *einigermassen dicht* sein; d. h. bei normalen Reststoffdeponien sollten langfristig nicht mehr als einige Prozent (vorläufiger Richtwert 5%) des Niederschlages durchsickern. Dies kann nur erreicht werden mit einer reservoirbildenden Deckschicht, die von einer mineralischen Dichtung und mindestens einer Kapillarbarriere unterlagert wird. Die Deckschicht muss bodenbildende Prozesse und Erosion überdauern. Letztere ist im wesentlichen eine Frage der Böschungsneigung. Die heute noch praktizierte Bestimmung der Böschungsneigung nach Kriterien der bodenmechanischen Gesamtstabilität der Deponie könnte zu aufwendigen Abschlussinvestitionen führen. Im übrigen wird der Aufbau einer naturnahen Deckschicht zu einer «Vormineralisierung» des Sickerwassers führen, was die Freisetzungsrate nur günstig beeinflussen kann.
- Es ist davon auszugehen, dass in der Konsolidierungsphase sämtliche *Rohre, Schächte, Stollen u. ä.* zusammenfallen, zersetzt werden, verokkern oder sonstwie in der Funktion versagen.
- Die *Basisabdichtung* und die *Kanalisation* brauchen in der Konsolidierungsphase *nicht mehr zu funktionieren;* das Sickerwasser wird nicht mehr gereinigt.
- Aus der Sicht der Langzeitsicherheit von Deponien erhält die Standortfrage folgende Bedeutung: Im Fall eines

Versagens der Freisetzungsbremsen sollte das Sickerwasser nicht unmittelbar in ein nutzbares Grundwasser gelangen.

Insgesamt können die *baulichen und betrieblichen Anforderungen* an Kehricht- und Reststoffdeponien für alle Betriebsphasen mit den heute verfügbaren technischen Mitteln erfüllt werden. Voraussetzung ist eine sorgfältige Planung im Hinblick auf die Langzeitsicherung. Für Sondermülldeponien können die voranstehenden Anforderungen übernommen werden mit folgenden zusätzlichen Massnahmen: Reduktion der Sickerwassermenge in der Betriebsphase, z. B. durch Zwischenabdeckungen; Aufbringen der Endabdichtung etappenweise bereits während der Betriebsphase; höheren Anforderungen an die Dichtigkeit und Langzeitbeständigkeit der Endabdichtung.

Literatur

[1] Eidg. Amt für Umweltschutz (1976): Richtlinien über allgemeine Anforderungen an Standort, Anlage, Betrieb und Kontrolle von geordneten Deponien (Deponierichtlinien)

[2] Bundesamt für Umweltschutz (1981): Kommunale Abfallentsorgung in der Schweiz, Stand am 1. Januar 1980

[3] *Hämmerli, H.:* «Grundlagen zur Berechnung von Müllfeuerungen». Schweizer Ingenieur und Architekt, Heft 19, 1983

[4] *Tabasaran, O.:* «Separierung schwermetallhaltiger Hausmüllkomponenten durch Absieben». Müll + Abfall, Heft 1, 1984

[5] *Grabner, Hirt, Petermann, Braun:* «Müllschlacke. Eigenschaften - Deponieverhalten - Verwertung». Schweiz. Vereinigung für Gewässerschutz und Lufthygiene (VGL), 1979

[6] *Giger, W.; Schwarzenbach, R.; Hoehn, E.; Schellenberg, K.; Schneider, J. K.; Wasmer, H. R.; Westall, J.; Zobrist, J.:* «Das Verhalten organischer Wasserinhaltsstoffe bei der Grundwasserbildung und im Grundwasser». Gas - Wasser - Abwasser Nr. 9, 1983

[7] *Gandolla, M.:* «Praktische Wege für eine zukünftige Optimierung einer Deponie». Referat gehalten an der Tagung der Schweiz. Vereinigung für Gewässerschutz und Lufthygiene (VGL) und der Schweiz Interessengemeinschaft und der Abfallbeseitigungsorganisationen (SIAO) am 25. Okt. 1984

[8] *Obrist, W.:* «Neue Wege der Abfallbewirtschaftung». Referat gehalten an der Tagung der Schweiz. Vereinigung für Gewässerschutz und Lufthygiene (VGL) und der Schweiz. Interessengemeinschaft der Abfallbeseitigungsorganisationen (SIAO) am 25. Okt. 1983

[9] *Ryser, W.:* «Mülldeponie als Energielieferant?». Phoenix International, 4/1/1983/84

[10] *Baccini, P.:* «Von der Entsorgung zum Stoffhaushalt». Mitt. Eawag, Nr. 17, Feb. 1984

Kontrollen

Die sinnvolle hydrochemische Überwachung der Deponieumgebung ist selbstverständlich. Bei allen Deponien sollte das *Inventar der Deponieinhalte* sorgfältig nachgeführt werden.

Das *Sickerwasser* ist quantitativ und qualitativ zu erfassen, insbesondere auch in bezug auf Schwermetalle und persistent toxische Organika, bei gestaffelten Deponien etappenweise. Analoges gilt für die *Abgasung*. Wichtig ist auch die permanente Erfassung der Sauberwasserbilanz einer Deponie, als Kontrolle und Entscheidungsgrundlage bei Schadenfällen.

Schlussfolgerungen

Für Planung, Einrichtung und Betrieb von Deponien sowie für deren klarere Eingliederung in die Abfallwirtschaft und für eine bessere Steuerung der Abfallströme ist eine *Neuklassierung der Deponien erwünscht*. Im Gegensatz zur Reststoffdeponie ist die biologisch aktive Deponie (Bioreaktor) ein Verfahrensschritt wie andere Vorbehandlungen.

Die Untersuchung der Freisetzungsraten von Stoffen aus der Deponie führt zu *klaren Anforderungen bezüglich Bau, Betrieb und Langzeitsicherung*. Diese Forderungen können mit den heutigen technischen Mitteln erfüllt werden. Nach einer Betriebs- und Übergangszeit von 50 bis 100 Jahren brauchen die Abwässer nicht mehr gereinigt zu werden. In der anschliessenden Konsolidierungsphase von mehreren Jahrtausenden müssen die eingebauten Langzeitsicherungen (innerer Abfluss, Abdeckung) erhalten bleiben.

Mit Hilfe der Freisetzungsraten können über die Stoffbilanzierung auch sinnvolle Anforderungen an Altlastsanierungen gestellt werden.

Die *baulichen und betrieblichen Massnahmen*, insbesondere bezüglich Langzeitsicherung, werden *durch quantitativ kleine Abfallanteile bestimmt:* Schwermetalle und allenfalls persistent toxische Organika. Eine Reduktion dieser Anteile an der Quelle oder beim Sammeln ist erwünscht.

Die kritischen Parameter *Schwermetalle* und *persistent toxische Organika* wurden in den Deponiesickerwässern bis heute noch kaum untersucht. Dieser Mangel ist dringend zu beheben. Die Ergebnisse müssen zu einer Präzisierung der Anforderungen an die Deponietechnik und zu einer Verbesserung der Planungsgrundlagen führen.

Adressen der Verfasser: *C. Colombi*, dipl. Ing. geol. ETH, Ingenieur-Geologe; *M. Fahrni*, dipl. Bau-Ing. ETH; *P. Oggier*, dipl. Kultur-Ing. ETH; Dr. *E. Schläppi*, Geologe; *J. Zenger*, Bauing. HTL; c/o CSD Colombi Schmutz Dorthe AG, Beratende Ingenieure und Geologen, Kirchstrasse 22, 3097 Liebefeld/Bern.

Gesicherte Deponie für verseuchte Erde in Seveso

(PRB). **Die Giftkatastrophe in Seveso hatte bautechnische Probleme zur Folge, indem das verseuchte Material deponiert werden musste. Zum Aufbau und zur Dichtung der gesicherten Deponie wurden unverseuchte Erde, Kunststoffdichtungsbahnen und Bentonit- bzw. PC-Beton verwendet. Das Drainagesystem wurde so gebaut, dass die Entwässerung dauernd kontrollierbar ist.**

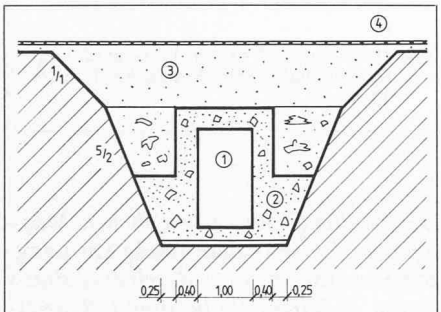
Zweck und Anordnung

In Seveso (Norditalien) sind im Jahre 1976 durch die Explosion eines Reaktors in einer chemischen Industrie *grosse Flächen mit Giftstoffen verseucht* worden. Zur Hauptsache war es Dioxin, das in die Luft geriet und sich dann in der Umgebung wieder ablagerte. Ganze Wohngebiete wurden betroffen, so dass sie evakuiert werden mussten. Da Dioxin bereits in kleinster Konzentration toxisch wirkt, wurden grosse Mengen an Material verseucht. Diese liessen sich weder entgiften noch verbrennen, so dass man sie gesichert deponieren musste. Bauherr ist der Staat (Regione Lombardia, Uffice speciale di Seveso), während die Ausführung privaten Unternehmungen übertragen ist.

In einer *ersten, kleineren Deponie* wurden Hausrat, Kleider und der ganze Abbruch der Häuser eingebracht. Für die Umgebung zeigte es sich, dass die Verseuchung der Erdoberfläche nur bis auf eine Tiefe von 25 cm reichte, obwohl sie ständig mit Regen- und Schneewasser benetzt wurde. Für diese Schicht ist eine *zweite, weit grössere gesicherte Deponie* angeordnet worden (Bild 1).



Bild 1. Blick von der Schmalseite mit der Drainagegalerie in das ausgehobene Becken. Die Bentonitschicht ist eingebracht und mit Bitumen abgedeckt. Der hintere Teil des Beckens besitzt schon die Dichtungslage aus Kunststoff-Dichtungsbahnen. Im Vordergrund: Zwischenlager von Filterkies. Rechts im Bild führt eine in der Böschung eingebaute Baupiste bis zum Boden des Beckens (Foto: Regione Lombardia)

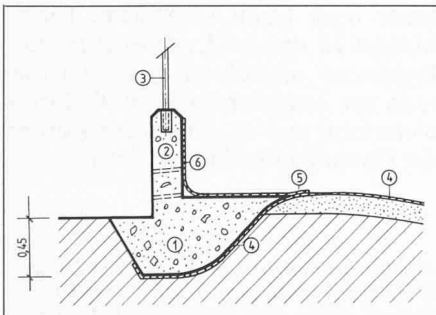


1 Galerie
2 Auffüllung
3 Bentonit-Beton
4 KDB 2,5 mm aus HDPE H-Sarnafil P 2,5

Bild 2. Querschnitt durch die Drainagegalerie in einer schmalseitigen Böschung des Deponiebeckens (Bild 2, 4 und 5 nach Angaben Regione Lombardia)

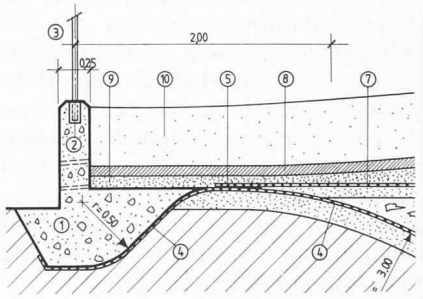


Bild 3. Für das Verlegen wurden die 2,50 m breiten und bis zu 185 m langen KDB in ein fahrbares Gerüst eingehängt, von dem sie von Hand abgerollt und quer durch das Becken bis zur gegenüberliegenden Böschungskrone gezogen wurden (Foto: Sarna Kunststoff)



1 Betonfundament des provisorischen Zaunes
2 Betonsockel des Zaunes
3 Zaun
4 KDB 2,5 mm stark, unter das Betonfundament gezogen
5 Schweissnaht zwischen der unteren KDB-Lage und dem KDB-Anschlussband
6 KDB-Anschlussband aus Zaunsockel hochgezogen (nur während der Einfüllarbeiten notwendig)

Bild 4. Anschluss der Kunststoff-Dichtungsbahn an den provisorischen Zaun während der Einfüllungsarbeiten



1 Zaun-Betonfundament
2 Betonsockel
3 Provisorischer Zaun
4 Untere Dichtungslage mit Kunststoff-Dichtungsbahnen
5 Neue Schweissnaht zwischen unterer und oberer KDB-Dichtungslage
7 Obere Abdichtung
8 Beton 10–12 cm stark, in Platten von 10×10 m, Fugen gedichtet
9 Sand
10 Humus bis Oberkante Zaunsockel

Bild 5. Endgültiger Seitenabschluss der Dichtung nach dem Einfüllen mit verseuchter Erde

Die verseuchte Erde wird maschinell abgestossen und in einer *Zwischendeponie innerhalb der gesperrten Zone* gelagert. Die Arbeiter sind mit Schutzanzügen und Schutzmasken ausgerüstet. Sie arbeiten während 4 Std. auf Maschinen, die stets in der verbotenen Zone verbleiben. Danach geben sie die Schutzanzüge und -masken zur Vernichtung (bzw. gesicherten Deponierung) ab und arbeiten noch 4 Std. normal auf dem Bauplatz der Deponie. Diese liegt derzeit am Rande – jedoch ausserhalb – der gesperrten Zone mit verseuchter Erde. Gleichzeitig mit den Bauarbeiten wird ein ringsum laufender *Zaun* erstellt. Während des Füllens des Deponiebeckens mit verseuchter Erde ist der Zaun an das gesperrte Gebiet angeschlossen. Die Deponie ist dann ebenfalls gesperrt. Nach dem Einfüllen und nach Aufbringen der oberen Schutzlage inkl. Humusierung und Begrünung des Deponiehügels wird der Zaun entfernt. Die gesicherten Deponien in Seveso sind Bestandteile eines *zukünftigen öffentlichen Parkes.*

Die Sicherungen

Aufbau

Ausgehend von den Resultaten vieler Untersuchungen und Prüfungen sind in Seveso für die zweite Deponie *folgende Schutzschichten* angeordnet und ausgeführt worden:

- Bentonit-Beton unten bzw. Zementbeton oben
- Schichten unverseuchter Erde (minimum 30 cm stark), allseitig
- 2,5 mm starke KDB aus HDPE (geschlossene Blase)
- Zwei Drainagesysteme, je über und unter der Kunststoff-Dichtungsbahn liegend. Separate Abflüsse und Kontrollen der in den einzelnen Drainagelagen anfallenden Wässer.

Die erste Anlage mit einem Nutzinhalt von 80 000 m³ ist im Prinzip gleich aufgebaut und fertig erstellt.

Bentonit- und Portlandzement-Beton

Der Bentonit-Beton, die *unterste Dichtung*, bildet eine 15 cm starke plastische Schicht, die auch bei Ungleichheiten ihrer Auflast oder ihrer Tragfähigkeit nicht rissig wird. In ihr bilden sich auch keine Schwindrisse. Der Bentonit-Beton setzt sich aus ausgesiebtem Kiessand (nach der Fullerkurve aufgebaut) mit einer maximalen Körnung von 25 mm und einer Bentonit-Dosierung von 8–9% zusammen. Seine Durchlässigkeit ist $k = 10^{-8}$ cm/s. Um eine zu starke Durchnässung während der Bauarbeiten zu verhindern, wird seine Oberfläche mit Bitumenemulsion abgespritzt. Je nach Temperatur muss diese Emulsion vor dem Spritzen aufgewärmt werden. Als *oberer Abschluss und Dichtung* dient eine 12 cm starke Betondecke (P 300), die durch Trennfugen in Platten von 10×10 m unterteilt und mit 70 cm unverseuchter Erde überdeckt ist.

Unverseuchte Erde

Unverseuchte Erde wirkt *als Filter* und bei einer Stärke von 25 cm als Dichtung gegen

die Verseuchung der darunter- bzw. darüberliegenden Lagen. Die verseuchte Erde wird deshalb während des Einfüllens ringsum mit einer Lage unverseuchter Erde, die ihrerseits an die KDB anliegt, umgeben.

Kunststoff-Dichtungsbahn (KDB)

Die 2,5 mm starken Kunststoff-Dichtungsbahnen aus High Density Polyäthylen (HDPE-Sarnafil P 2,5) sind resistent und dicht gegen die in Seveso vorkommenden Giftstoffe - auch gegen kleinste Mengen, richtige Verlegung vorausgesetzt. In vielen anderen gesicherten Deponien (auch für die chemische Industrie) werden heute *vermehrt KDB-HDPE-Bahnen* mit Stärken von maximum 2,0 mm eingebaut. Die in Seveso eingebauten Sarnafil-P-Bahnen sind 2,5 mm stark und bieten deshalb noch mehr Sicherheit.

Die Drainagen

Die in Seveso vorkommenden Gifte sind *wasserunlöslich,* sie werden durch das Wasser als feinste Partikel transportiert. Zwei Drainagesysteme erlauben eine stetige Kontrolle während und nach dem Einfüllen. Die erste Drainage wirkt ausserhalb der KDB-Dichtung, sowohl unten wie oben. Die Ableitung erfolgt mit einem gesonderten System in eine begehbare Drainagekammer, eingebaut in den Boden bzw. Damm des Bekkens (Bild 2). Ein weiteres Drainagesystem liegt innerhalb der KDB-Dichtungsblase und besitzt eine gesonderte Ableitung und Kontrollmöglichkeit in der Entwässerungskammer. Nach Fertigstellung der Deponie wird dieses Drainagesystem, da die KDB allseitig die verseuchte Erde umhüllt, versiegen.

Die Ausführung

Zuerst wird das Becken als Rechteck mit abgerundeten Ecken und mit einer seitlichen Böschung 1:4 ausgehoben. Ein Teil des Aushubes dient für die Seitendämme. Der restliche Teil wird zwischendeponiert und dient als Dichtungsschicht innerhalb der Kunststoffdichtungsbahn-Blase sowie über der Betondecke.

Bodenfläche	95 m×43,80 m
Böschungen	1:4
Höhe Boden bis Dammkrone	10 m
Beckenöffnung (gemessen an der Dammkrone Innenseite)	175×125 m
Beckeninhalt	180 000 m³

Ausgehoben wurde bis zur anstehenden Nagelfluh, einem sehr stark kalziniertem grobem Konglomerat.

Untere Dichtung

Ausführung auf Boden (Von unten nach oben)

- Gewalztes Planum
- Eine erste Lage Kiessand ab Wand, gleichzeitig als äussere Drainage dienend (separater Anschluss)
- 15 cm starker Bentonit-Beton mit aufgespritzter Bitumenemulsion
- 2,5 mm starke KDB als HDPE in Rollen entsprechend der Beckenbreite angeliefert (Bild 3), jeweils 10 cm überlappend ausgerollt und die Überlappung mit dem Doppelkeilschweissgerät mit zwei thermisch verschweissten Nähten und dazwischenliegendem Kanal für die Überprüfung der Nahtfestigkeit und -dichtigkeit mit Druckluft verbunden.
- 10–15 cm Sand
- 15 cm Rundkies als Innendrainage mit separatem Anschluss an die Drainagekammer
- mindestens 30 cm unverseuchte Erde als innerste Schutzlage.

Ausführung auf Böschung

- Planum gewalzt
- Bentonit 15 cm stark mit aufgesprühter Bitumenlage
- 2,5 mm KDB, Verlegung wie am Boden mit Doppelschweissnaht
- Unverseuchte Erde als innerste Schutzlage (30 cm).
  (Die einzelnen KDB-Bahnen queren das Becken senkrecht zur Hauptlängsachse.)

Obere Dichtung

Gleich wie die untere Dichtung, jedoch in umgekehrter Reihenfolge.

- Unverseuchte Erde 30 cm stark (innerste Schutzlage)
- Sandschicht
- KDB 2,5 mm aus Polyäthylen
- Sandschicht
- 10–12 cm starker gitterarmierter Beton PC 300, in Platten von 10×10 cm, Fugen gedichtet
- 70 cm Erdüberdeckung (nicht verseucht) überdeckt von einer Schicht Humus, der begrünt und bepflanzt wird. Der so entstehende Hügel wird ein Teil eines zukünftigen öffentlichen Parkes.

Längsverbindungen auf der Böschungskrone

Es sind *zwei Phasen* zu unterscheiden. Um eine Verseuchung der Erde ausserhalb des Zaunes während der Einfüllarbeiten zu verhindern, wird auf die untere KDB-Lage längs der Dammkrone ein KDB-Band angeschweisst, das sich gegen das Fundament des Zaunes stützt (Bild 4). Nach dem Einfüllen werden die oberen KDB-Bahnen mit der unteren schon verlegten Dichtungslage mit der üblichen Doppelnaht verschweisst. Die KDB-Bahnen umhüllen die verseuchte Erde als geschlossene Blase (Bild 5).

Anschluss KDB an die Drainage

Die Anschlüsse der äusseren Drainage unter der KDB sind beidseitig der Drainagekammer angeordnet. Kunststoffrohre leiten das Wasser aus dem Becken gesondert seitlich in den Drainageschacht und werden kontrolliert und abgeführt. Das Wasser über der KDB wird am tiefsten Punkt des Beckens (Bild 6) durch ein die Dichtung durchstossendes, jedoch mit dieser wasserdicht verbundenes Rohr in den Drainageschacht geleitet, dort gesondert kontrolliert und abgepumpt.



Bild 6. Einführung des Drainagewassers der oberen Drainage über der unteren KDB. Die Dichtungsbahn wird nach bewährtem System an den kreisrunden Flansch des Rohres mit einem darüberliegenden und durch Schrauben festgeklemmten Flansch direkt an das in die untere Drainagekammer führende Rohr angeschlossen (Foto: Sarna Kunststoff)

Zusammenfassung

Beim Bau der gesicherten Deponien in Seveso wurden vollkommen neue Dichtungsverfahren zum Schutze der Umwelt gegen giftige Stoffe entwickelt und ausgeführt. Die dortige Dichtung ist vierfach: mind. 30 cm unverseuchte Erde, 2,5 mm starke Kunststoff-Dichtungsbahn aus HDPE H-Sarnafil P 2,5, 15 cm Bentonit-Beton unten bzw. 12 cm Portlandzement-Beton oben sowie ein doppeltes, d.h. ein unteres und oberes Drainagesystem, deren Wässer einer ständigen Kontrolle auf Dichtigkeit der einzelnen Systeme bzw. der gesicherten Deponie und auf Gehalt an Giftstoffen unterworfen sind.

Mit diesen vier Dichtungs- und Kontrollsystemen wird ein hoher Stand der Sicherheit erreicht. Besonders die Ausführung einer KDB in Kombination mit Bentonit-Beton bzw. PC-Beton bedeutet eine bis jetzt noch nie erreichte Sicherheit.

Umschau

Aktiengesellschaft als Träger einer Kehrichtdeponie?

(bm). Der Kanton Aargau plant eine *Grossdeponie in Auenstein.* Er will damit die Kapazität der aufgefüllten Gruben Würenlingen und Walterswil SO ersetzen. Mit einer Investition von 4 Mio Fr. soll innert etwa zwei Jahren ein Deponievolumen von 1 Mio m³ Kehricht bereitgestellt werden, das dann für etwa 12 bis 15 Jahre ausreichen würde. Als Träger bevorzugt der Kanton eine *Aktiengesellschaft,* an der sich Grundeigentümer, Gemeinden, Transportunternehmer usw. beteiligen können.

Zugelassen werden Abfälle der Klassen II und III, wovon im Aargau jährlich etwa 300 000 m³ zu beseitigen sind. Rund ein Drittel davon soll nach Auenstein gelangen. Nicht zugelassen werden gewöhnlicher Aushub oder Sondermüll. Auch der Hauskehricht, der zur Klasse III gehört, wird weiterhin verbrannt. Nur dessen Schlacke kann nach Auenstein abgeführt werden.

Mit dieser Deponie soll aber auch ein *Beitrag zum Landschaftsschutz* geleistet wer-