Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 105 (1987)
Heft: 41

Artikel: Beitrag des Ingenieurs zur Entsorgung: geotechnische Probleme
Autor: Huder, Jachen
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-76724

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 11.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Beitrag des Ingenieurs zur Entsorgung

Geotechnische Probleme

Jachen Huder, Zürich

Das Entsorgungsproblem als Resultat einer Wohlstandsgesellschaft mit anerzogener Wegwerfmentalität ist heute in aller Munde. Die Entsorgung ist nicht allein ein Problem für Chemiker, Biologen, Geologen und Verfahrenstechniker, sondern eine multidisziplinäre Aufgabe, bei der auch der Ingenieur einen wichtigen Beitrag leisten muss. Sie alle sind gleichermassen aufgerufen, Lösungen zu studieren und sichere und brauchbare Projekte zur Entsorgung von Müll aller Art zu erarbeiten.

In diesem Bericht soll der Beitrag des Ingenieurs zu diesem Thema erörtert und Forschungsarbeiten des Institutes für Grundbau und Bodenmechanik der ETH Zürich vorgestellt werden. Insbesondere soll dargelegt werden, dass auch die Verwendung zuverlässigster Dichtungsmaterialien eine Langzeitkontrolle nicht ausschliessen darf.

Auch die besten Lösungen dürfen nicht darüber hinwegtäuschen, dass Entsorgungsvorschläge Notlösungen darstellen. Auf lange Sicht kann hier nur ein Umdenken unserer Gesellschaft Abhilfe verschaffen.

Einleitung

Was ist Müll? Fast würde man annehmen, es sei der Schwarzpeter; jedermann versucht die Karte dem Nächsten zuzuspielen, und wer sie dann zuletzt in der Hand hat, muss damit fertig werden. Der Schutz der Umwelt ist im Bundesgesetz verankert und baut auf dem Verursacherprinzip auf. Die gesetzlichen Grundlagen für die Entsorgung von Abfällen allgemein (ohne radioaktive) sind im Bundesgesetz über den Verkehr mit Giften und im Bundesgesetz über den Umweltschutz verankert. Der Vollzug hingegen ist weitgehend Aufgabe der Kantone (Art. 31):

«Die Kantone sorgen dafür, dass die Abfälle vorschriftsgemäss verwertet, unschädlich gemacht oder beseitigt werden.» «Die Standorte für Deponien und andere Entsorgungsanlagen für gefährliche Abfälle werden von den Kantonen, nötigenfalls unter Vermittlung des Bundes, festgelegt. Ist eine Einigung nicht möglich, entscheidet der Bundesrat.» Weiter heisst es im Gesetz:

«Wer eine Deponie errichtet oder betreiben will, braucht dazu eine Bewilligung des Kantons; sie wird ihm nur erteilt, wenn er nachweist, dass die Deponie nötig ist. In der Bewilligung werden die zur Ablagerung zugelassenen Abfallarten umschrieben.»

Der Wille des Gesetzgebers, die Abfallarten zu umschreiben, führt zwangsläufig zur Bildung verschiedener Deponietypen:

- Aushubdeponien für Aushub aus natürlichem Terrain
- Abbruchdeponien für inertes Bau-, Abbruch- und Aushubmaterial ohne wesentlichen Anteil an Schadstoffen
- Bioreaktordeponien für nichtinerte Abfälle, bei welchen die Folgeprodukte (Gas, Sickerwasser) der biologischen und chemischen Stoffumwandlungen und die Dauer dieser Umwandlungen nicht mit Sicherheit vorausgesagt werden können
- Reststoffdeponien für Reststoffe aus der Behandlung von Sonderabfällen, welche wesentliche Anteile an Schadstoffen enthalten.

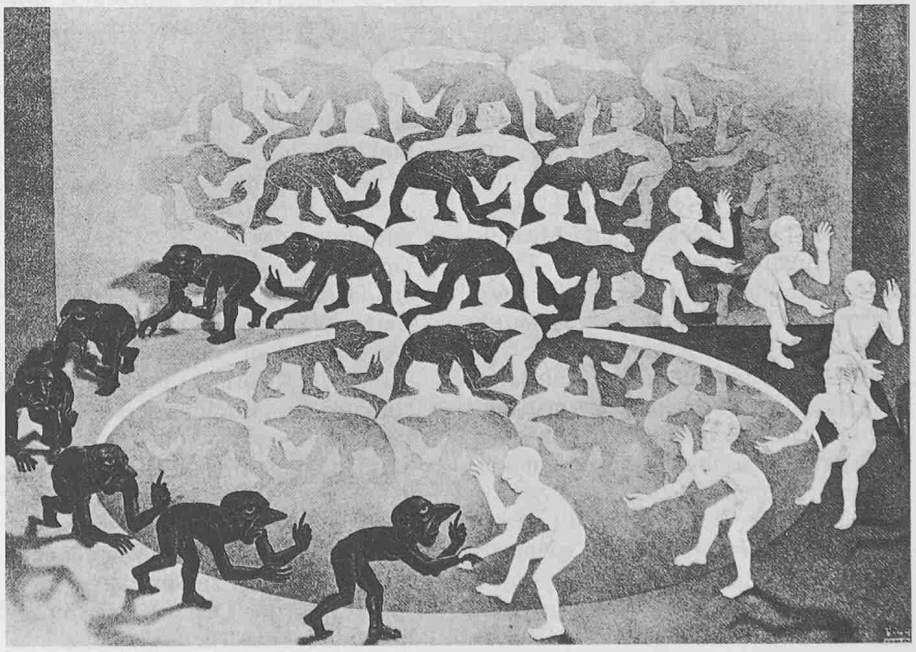
Diese Abfälle dürfen wegen ihrer besonderen Gefährlichkeit für Mensch und Umwelt nicht mit dem Haushaltkehricht beseitigt werden. Sie gelten als Sondermüll.

Die beiden erstgenannten Deponietypen Aushub und Abbruch sollen hier nicht näher betrachtet werden, obwohl auch diese unserer Umwelt zuliebe manche Retouche nötig hätten. Die Bioreaktor- und die Reststoffdeponie sollen hier genauer untersucht werden. Die jährliche Abfallproduktion allein an Siedlungsabfall beträgt in der Schweiz 2,32 Mio Tonnen oder liegt mit mit 360 kg pro Person etwa im Durchschnitt westlicher Länder. Davon gelangen heute noch immer 4% auf «wilde Deponien», 8% werden kompostiert, 17% werden geordneten Deponien zugeführt und 71% verbrannt. Rund ⅓ des verbrannten Materials muss als Schlakke oder Filterstaub den geordneten Deponien zugeführt werden. Seit 1950 ist der Müllanfall um das 4fache gestiegen. Zudem fallen jährlich 300 000 Tonnen Sondermüll an, die entweder verbrannt oder Sondermülldeponien zugeführt werden müssen. Das sind 50 kg pro Person und Jahr. Der Sondermüllofen in Basel, der für die Verbrennung des «Sevesomaterials» verwendet wurde, vermag rund 4000 t pro Jahr an Material zu verbrennen.

Wir und unser Müll

Nicht gerade alles, was wir produzieren, ist Müll, aber fast alles, und darum sollte schon bei der Produktion ein Umdenken stattfinden. Der Raubbau an den Naturschätzen, der durch den Menschen betrieben wird, verbunden mit einer beispiellosen Nachlässigkeit der Natur gegenüber, ist dermassen gross, dass das Ökosystem aus dem Gleichgewicht zu geraten droht und mancherorts schon geraten ist. Alle unsere Anstrengungen, die wir heute unter gros-

Die Welten des Manfred C. Escher, M. Pawlak-Verlagsgesellschaft GmbH, D-Herrsching



Überarbeitete Fassung eines Vortrages anlässlich des Ch. Veder-Kolloquiums an der Techn. Universität Graz, am 24.2.87.

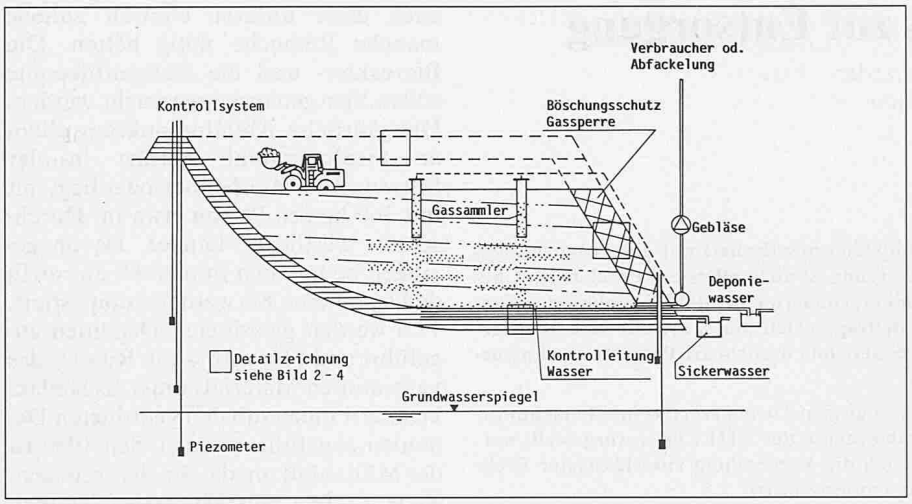


Bild 1. Genereller Aufbau einer geordneten Deponie

sen Kosten unternehmen, sind im Grunde genommen nur Flickwerk, solange die Produktion nicht gedrosselt wird und der Konsument sich nicht umweltbewusster verhält. Dennoch ist zu hoffen, dass sich doch durch entsprechende Sanierungsanstrengungen ein gleicher Erfolg einstellen wird wie bei der Wasserentsorgung. Was die Wasserreinhaltung betrifft, hat jedenfalls das mittlerweile doch erreichte Resultat selbst die extremen Pessimisten der fünfziger Jahre zu überzeugen vermocht.

Dass eine richtige Entsorgung nur durch eine integrale Lösung gefunden werden kann, ist selbstverständlich. Die integrale Lösung setzt eigentlich schon bei der Produktion und beim Konsum an und nicht erst dann, wenn der Abfall, sauber in Plastiksäcken versorgt, vor dem Hause steht.

Ebenso verfehlt sind sicher auch die Hoffnungen, allein die Einführung eines sogenannten Entsorgungs-Ingenieurs könnte die Sache verbessern. Dieses Problem ist so heikel, dass alle, die mit dieser Produktions- und Konsumkette verbunden sind, aufgerufen sind, ihren Beitrag zur Lösung der Entsorgung zu leisten. Vom Ingenieur bis zum Erdwissenschafter, Biologen, Chemiker und Verfahrensingenieur, und denken wir an Energierückgewinnung, so gehören auch Elektro- und Maschineningenieure dazu. Alle diese Fachleute zusammen können erst eine gute Entsorgung planen und eine einwandfreie Ausführung gewährleisten. Nur ein solches Team von Spezialisten kann richtige, gute Lösungen hervorbringen. Wir brauchen nicht Normen, um etwas realisieren zu können, sondern greifende, grenzüberschreitende Gesetze mit ausreichenden Kontrollen, die auch jedermann zum Einhalten zwingen. Dass für die Erstellung von Deponien Normen wenig sinnvoll sind, begründet sich damit, dass das sogenannte Entsorgungssystem noch gar nicht gelöst ist. Noch müssen gute Lösungen erarbeitet werden, welche sicherstellen, dass jede Generation ihren eigenen Müll auch selber entsorgt und ihn nicht ihren Nachkommen überlässt – und noch weniger dem billigsten Nachbarn abgibt.

Geotechnische Probleme

Worauf kommt es bei der Suche nach Standplätzen für Deponien an? In den Richtlinien des eidg. Amtes für Umweltschutz sind die allgemeinen Anforderungen an Standort, Anlage, Betrieb und Kontrolle von geordneten Deponien festgelegt (Deponierichtlinien 1976). Abseits des überbauten Gebietes werden Standorte für zukünftige Deponien in günstigen geologischen Formationen in kleinen, eingeschnittenen Tälern oder ausgebeuteten Kies- oder Tongruben ausgesucht. Durch die Topographie sollte im Endzustand eine natürliche Entwässerung garantiert sein, so dass die Sicherheit auf Jahrzehnte hinaus gewährleistet bleibt. Abzuklären sind:

- Aufbau des Untergrundes, Verlauf der Schichtung und Tragfähigkeit
- Stabilität der Böschungen, Erosionssicherheit, Schutz vor Lawinen, Sicherheit vor Rutschungen und Überschwemmungen
- Grundwasserstand, Fliessrichtung des Grundwassers und Neigung des freien Wasserspiegels wie auch die Durchlässigkeit der verschiedenen Schichten, heutige und zukünftige Nutzung des Grundwassers
- Langzeitsicherheit nach Versiegelung der Deponie; z.B. sind die möglichen künstlichen und natürlichen Beeinflussungen der Grundwasserverhältnisse für die Langzeitentsorgung zu prognostizieren.
- Anpassung der Deponie im Endzustand an das natürliche Gelände.
- Kurz- und langfristiges Verhalten künstlicher und natürlicher Barrieren bei Kontakt mit Schadstoffen.
- Sanierungsprojekte für den Störfall.

Diese Nachweise und Unterlagen, mit Feld- und Laborversuchen belegt, sind sowohl für den Nahfeld- als auch für den Fernfeldbereich beizubringen. Diese unerlässlichen Daten, gemeinsam erarbeitet durch den Erdwissenschafter und Ingenieur, bilden die Grundvoraussetzungen für die weiteren Abklärungen. Aber gerade bei diesen klassischen, konventionellen Untersuchungen werden schon schwerwiegende Fehler gemacht, indem Messungen fehlinterpretiert und z.B. mit ungeeigneten Piezometern falsche Grundwasserstände eruiert werden. Dichte Standorte werden gerade durch abgeteufte Bohrungen undicht, wenn die Bohrlöcher nicht sachgemäss versiegelt werden. Allzuoft werden die Abklärungen nur im Nahfeldbereich vorgenommen. Sparen an Zeit und Geld bei der Abklärung führt oft zu teuren Deponien. Oft werden ausgebeutete Kies- oder Tongruben als Deponiestandorte gewählt. Dadurch, dass die Anforderungen an eine Deponie immer steigen, werden auch die Untersuchungen bis zur Herrichtung und dem Betrieb einer Deponie immer teurer. Somit sollten die möglichen Deponiekubaturen relativ gross sein. Dass zu diesen Studien parallel noch ökologische, ökonomische und politische Diskussionen und Abwägungen nötig sind, sei nur am Rande vermerkt. Die folgenden Ausführungen sind für die Entsorgung von Siedlungsabfällen gedacht und gelten in verschärftem Masse auch für Reststoffe, den Sondermüll.

Genereller Aufbau

In Bild 1 ist ein schematischer Querschnitt dargestellt. Typische Elemente einer Bioreaktordeponie sind die Entgasung und die Entwässerung. Beide brauchen ein wirksames System von Drainagen und Leitungen. Während das Gas durch Unterdruck gesammelt wird, erfolgt die Entwässerung allein durch Schwerkraft. Ausgeführte Beispiele, bei welchen die oberste Schicht jeweils mit Schaumstoff abgedeckt wurde, zeigen eine interessante Anwendung eines provisorischen Schutzes. Damit wird der Unterdruck unterstützt und die Oberfläche gegen Winderosion und vor Vögeln und Nagern geschützt. Diese Massnahme ist Kosmetik und verursacht Mehrkosten, schaltet Geruchsimmissionen aber weitgehend aus. Die sichere Entwässerung verlangt entsprechende Neigungen der Draina-

geschichten. Das Einhalten einer Neigung von 4%, besser 6%, wird von Praktikern als ebenso wichtig eingestuft wie die Kontrolle des Einbaues der Dichtungen. Während das gesammelte Deponiewasser einer Kläranlage zugeführt wird, wird das Gas direkt abgefakkelt oder gereinigt und genutzt. Beide Systeme stehen unter ständiger Kontrolle. Dies gilt auch für Grundwasser und Drainage. Die Setzungen werden periodisch verfolgt. Die Primärsetzungen des Deponiematerials betragen im Mittel gegen 40% der Schichthöhe und klingen nach 4 bis 8 Monaten ab. Schwieriger zu prognostizieren sind die Nachsetzungen. Hinzu kommen die Volumenänderungen aus der Bioreaktion, die 20 bis 100 Jahre andauern können, und Migrationen über Jahrhunderte hinaus. Nach Beendigung der Deponierzeit wird der Müll in die ständig vorausbereitete Deponiehülle verpackt. Der Aufbau der Deponiehülle ist im wesentlichen von den Untergrundverhältnissen und dem Grundwasserstand abhängig, je nach Durchlässigkeit und Wasserspiegelhöhe. Schematische Schnitte sind im Bild 2 skizziert, wobei unterschiedliche Wasserspiegelhöhen angegeben sind. Ob die Dichtung aus Ton, Kunststoffolien oder einer Kombination besteht, hat auf das Kontrollsystem untergeordneten Einfluss. Beide Dichtungssysteme werden verwendet; welches sich als besser erweist, kann nur die Langzeiterfahrung zeigen.

Den Übergang vom Müll zur Deponiehülle bildet die Drainageschicht. Diese hat die Funktion, das Deponiewasser zu sammeln und den Leitungen zuzuführen und ebenfalls das Entweichen der entstehenden Gase zu ermöglichen. Die darauffolgende Filterschicht bildet die Übergangsschicht vom durchlässigen Drainagekies zur Tondichtung und erfüllt auch die Filterbedingungen. Ist über dem Ton oder als Ersatz dafür eine künstliche Dichtung vorgesehen, ist der Filter als Schutzschicht zu verstehen. Als Tonersatz oder zur Unterstützung werden Plastikdichtungsfolien, Bitumen oder Sand-Bentonitgemische angewendet. Der Dichtung folgt erneut eine Filterschicht, die, je nach Aufbau, unterschiedliche Funktionen zu erfüllen hat. Bei nichtgebundenen Dichtungsmaterialien muss ein Filter folgen, bei gebundenen bildet diese Schicht den Übergang zur basalen Drainageschicht (Bild 2a). Diese ihrerseits muss gegenüber dem Untergrundmaterial die Filterforderungen erfüllen, denn sie muss das Sickerwasser aus dem Untergrund übernehmen und druckfrei der Kontrolleitung zuführen. Sollte eine Verletzung der Dichtung auftreten, gelangt das Deponiewasser in dieses Kontrollsystem. Solange das Grundwasser zur Drainage sickert, kann keine Kontaminierung des Grundwassers erfolgen.

Anders aber, wenn der Grundwasserspiegel im anstehenden Untergrund liegt (Bild 2b). Ein Verlust an Deponiewasser würde vorerst unbemerkt bleiben und würde erst bei der letzten Kontrollstelle, d.h. bei den Piezometern entdeckt. Dies wird durch eine basale Dichtung verhindert. Mögliche Verluste können durch das Kontrollsystem frühzeitig erkannt werden.

Bild 3 stellt schematisch einen Schnitt durch die Böschung dar. Damit keine nachträglichen Korrekturen der Neigung vorzunehmen sind, müssen die prognostizierten Setzungen einberechnet werden. Das leicht verdichtete Erdmaterial soll den Pflanzenbewuchs ermöglichen. Um Gasausblaser zu vermeiden und zur Unterstützung des Unterdruckes kann auch eine Kunststoffolie, wie sie im Bild 3 angegeben ist, vorgesehen werden.

Je nach Zeit und Zusammensetzung des Bioreaktormaterials kann die Abdekkung der Deponie vorgenommen werden. In Bild 4 ist der generelle Aufbau gezeigt. Ganz allgemein soll gelten: Bei Anwendung natürlicher Dichtungsmittel, wie Tone oder durch Tone angereicherter Dichtungsmaterialien, sollten die Schichtmächtigkeiten nicht zu knapp gehalten werden. Der Einbau ist beim optimalen Wassergehalt vorzunehmen und zu kontrollieren.

Betriebliche Anforderungen

Planung und Betrieb einer Bioreaktordeponie gleichen einer chemischen Fabrik, wobei dem Bauingenieur in beiden Fällen die baulichen Besonderheiten zufallen, die er eingehend mit dem Chemiker und dem Biologen absprechen muss. Die Langzeitkontrollen sind ebenfalls vorzuplanen. Da aber Kontrollen, zeigen sie ein Versagen eines Systemes, auch Gegenmassnahmen verlangen, sollte an Sanierungsmöglichkeiten schon bei der Planung gedacht werden. Dieses Problem kann auch wesentlich bei der Wahl des Aufbaues oder sogar des Standortes entscheidend sein. Insbesondere ist der Langzeitfunktion des Entwässerungssystems gebührend Beachtung zu schenken. Bei grossen Einzugsflächen ist zu prüfen, ob nicht begehbare Sammelstränge vorzusehen sind, von denen aus die Zuleitungen einzeln kontrolliert werden können. Dadurch kann ein Schaden auch besser lokalisiert werden. Hinzu kommt auch die Überprüfbarkeit der Gebrauchstüchtigkeit aller Drainageleitungen. Die Spülung der Leitungen ist wichtig, die Kontrolle, dass diese auch funktionieren, nicht minder wichtig.

Deponiewasser kann durch jede Dichtung durchsickern oder diffundieren und wird im Kontrollsystem aufgefangen. Dadurch, dass auch die zweite Dichtung versagen kann, sollte die Verträglichkeitsgrenze der Kontaminierung des Grundwassers im voraus

Bild 2. Genereller Aufbau eines Dichtungssystems aus Ton für a) hochliegenden und b) tiefliegenden Grundwasserspiegel. Untergrund in a) wenig durchlässig

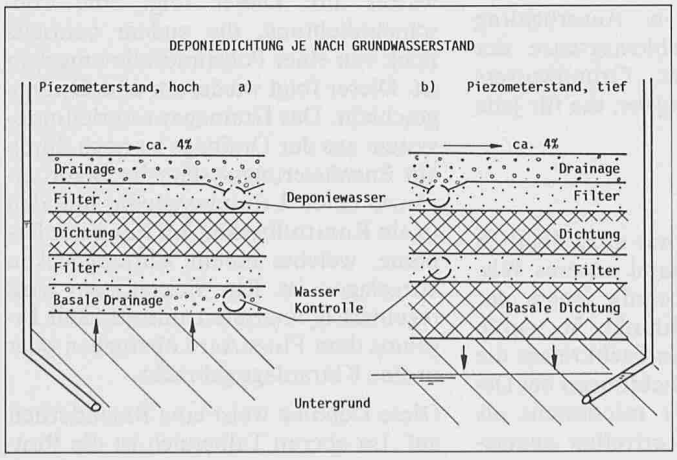
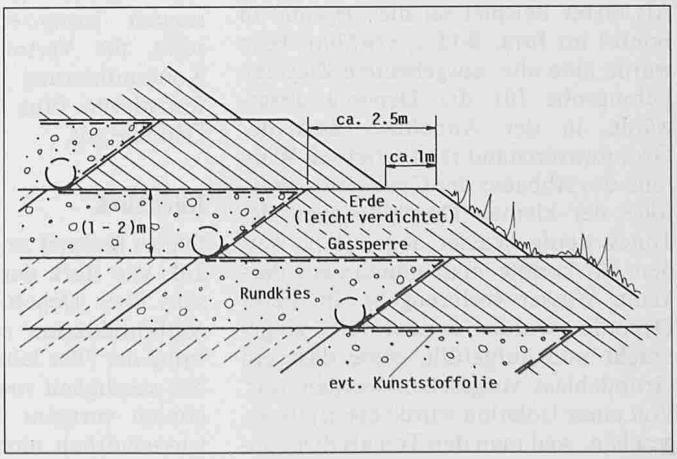


Bild 3. Genereller Aufbau einer Böschung mit Gasabdichtung und Entwässerung



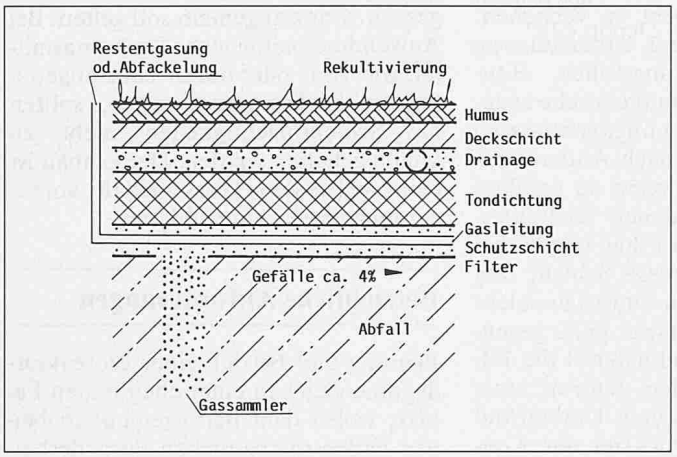


Bild 4. Genereller Aufbau einer Abdeckung im Endzustand

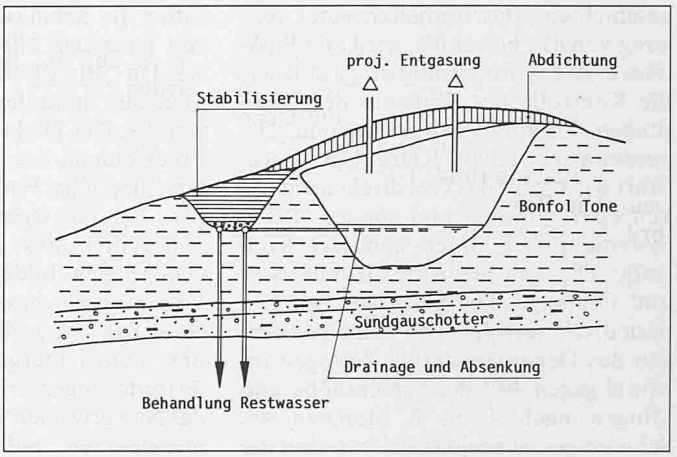


Bild 5. Genereller Querschnitt durch die Deponie in Bonfol. Projekt der «Langzeitsicherung» (nach CSD)

quantifiziert werden. Nur dadurch ist das Instrumentarium mit den angegebenen Limiten zur Kontrolle der Deponie sinnvoll.

Die Kontrolle des Grundwasserstandes und der Wasserqualität muss periodisch, etwa über eine Reihe von Piezometern, erfolgen. Dazu ist es notwendig, dass die Piezometer sowohl als Druckgeber einwandfrei und kontrollierbar funktionieren als auch die Entnahme kleinster Wasserproben ermöglichen. Kontaminierungen lassen sich in geringster Verdünnung an kleinen Mengen feststellen. Diese Anzeichen genügen, um gezielt Massnahmen einzuleiten.

Das Verhalten der Müllmasse ist durch einige gut ausgewählte Pegel ebenfalls periodisch zu verfolgen.

Fallbeispiele

Die folgenden Fallbeispiele sind durch das Ing.-Geol.-Büro CSD, Colombi Schmutz Dorthe AG, Liebefeld/Bern, projektiert worden. Der Autor verdankt dem Büro die Überlassung der hier verwendeten Daten.

Bonfol

Als erstes Beispiel sei die Deponie in Bonfol im Jura, Bild 5, erwähnt. Hier wurde eine alte, ausgebeutete Ziegelei-Lehmgrube für die Deponie ausgewählt, in der Annahme, dass der Grundwasserstand relativ tief sei. Während des Abbaues der Grube musste infolge der kleinen Durchlässigkeit des Tones wenig Wasser abgepumpt werden. So konnte man annehmen, dass kaum Wasser verlorengeht. In dieser Deponie wurde Sondermüll eingebracht und aufgefüllt, ohne dass ein Grundablass vorgesehen worden war. Von einer Isolation wurde ebenfalls abgesehen, weil man den Ton als dicht annahm. Die relativ kleine Durchlässigkeit der siltigen Schichten wurde vernachlässigt. Am Ende der Deponierzeit wurde die Deponie durch Ton abgedichtet und mit Humus überdeckt. Damit konnte das Gebiet rekultiviert werden. Für die Kontrolle des Grundwasserspiegels sind einige grosse Rohre eingebaut worden, die als Kontrollschächte dienten. Nach längerer Stillegung wird die Deponie gegenwärtig vorsorglich saniert, weil die Prognose ergibt, dass in Jahrzehnten sonst die Umweltschutzvorschriften verletzt würden.

Die Mülldeponie wird künstlich entwässert, da die Grube infolge undichter Abdeckung voll Wasser gelaufen war und der Überlauf unkontrolliert in die Gegend abzufliessen drohte. Heute wird das Deponiewasser in Containern einer Abwasserreinigungsanlage zugeführt. Zudem mussten Entwässerungen angebracht werden, damit der Wasserspiegel etwas tiefer gehalten werden kann. Es ist ein umfangreiches Kontrollsystem aufgebaut und installiert worden. Das heutige Überwachungsnetz weist über 100 Messstellen auf. Ob eine Entlüftung mit Abfackelung der Gase notwendig ist, wird sich noch zeigen. Das Deponiewasser wird mit der Zeit doch noch einen Weg zum Schotter finden. Es ist die Aufgabe eines Quantifizierungsmodelles, das bei den beauftragten Instanzen in Ausarbeitung steht, die Verträglichkeitsgrenze der Kontaminierung des Grundwassers festzulegen. Eine Aufgabe, die für jede Deponie gilt.

Rückblick

Dieses Beispiel zeigt nur allzu deutlich auf, wie stark der Stand unseres Wissens über Deponietechnik jenem der Müllproduktion nachhinkt. So wurde Mitte der 70er Jahre in Fachkreisen die Notwendigkeit von Dichtungen bei Deponien verneint oder mindestens als wirtschaftlich nicht vertretbar angesehen. Vielmehr hat man sich darauf verlassen,dass das Grundwasser beim Durchströmen von Kies und Sand von selbst gereinigt würde. Es wäre eine interessante Frage, warum die Tankverordnung zum Schutze des Grundwassers schon Mitte der 60er Jahre so wirkungsvoll durchgeführt werden konnte, ohne den gleichen Massstab auch bei den Deponien anzuwenden. Wieweit hingegen unsere Gesellschaft die Realisierung aller gestellten Bedingungen finanziell tragen kann – dichte Wannen für alle chemischen Produkte, Null-Kontaminierung des Grundwassers usw. –, ist fraglich. Oder soll dies die letzte Bremse der Wohlstandsproduktion sein?

Teuftal

Das zweite Beispiel ist die Deponie Teuftal im Kanton Bern, die heute in Betrieb ist. Hier ist der Untergrund relativ dicht, der natürliche Grundwasserspiegel liegt hoch, höher als der Endzustand der aufgefüllten Deponie. Es handelt sich um ein kleines V-Tal in der quasi horizontalliegenden Molasseformation (Bild 6).

Die Wasserergiebigkeit des ganzen Einzugsgebietes ist äusserst gering. Die Dichtung weist eine Drainageschicht für das zufliessende natürliche Sickerwasser auf. Dieser folgt eine Tonschichtdichtung, die zudem beidseits noch von einer Polyamidfolie umgeben ist. Dieser folgt wiederum eine Drainageschicht. Das Drainagewasserleitungssystem aus der Drainage ist noch durch ein Entwässerungssystem im Beton ergänzt. Beide Leitungssysteme münden in ein Kontrollbecken am Fusse der Deponie, welches einem Auffangbecken vorgelagert ist. Das Sickerwasser wird regelmässig analysiert und je nach Ergebnis dem Fluss Aare übergeben oder in eine Kläranlage gebracht.

Diese Deponie weist eine Besonderheit auf. Im oberen Talbereich ist die Rest-

stoffdeponie für Sondermüll aus den chemischen Fabriken von Basel untergebracht. Im unteren Talbereich ist eine Bioreaktordeponie erstellt, die somit von unten her die Sondermülldeponie zuschüttet. Nach heutigen Prognosen wird dies in rund 20 Jahren der Fall sein. Die Reststoffe werden in der Fabrik unter Kontrolle in Stahlfässer eingefüllt, versiegelt und angeliefert. In der Deponie werden die Fässer reihenweise stehend eingebaut und die Hohlräume zwischen den Fässern durch Beton vollständig ausgegossen. Im Bereich der Bioreaktordeponie wird das Sickerwasser aus der Molasse direkt mit dem Deponiewasser drainiert und einer Kläranlage zugeführt. Die Menge ist sehr gering. Es wird sogar erwähnt, dass diese Menge gerade recht sei, damit die Konzentration besser stimmt. Diese Deponie sieht sonst absolut keine zusätzlichen Dichtungsschichten vor. Es handelt sich hier um einen natürlichen, idealen Standort. Der ganze Einbau wird getätigt,indem mit Planierraupen-Verdichtungsgeräten schichtweise verdichtet wird. Im Aufbau ist noch ein Entgasungssystem eingebaut, die Abfackelung geschieht an Ort und Stelle. Eine Untersuchung über eine kommerzielle Nutzung der Gasmenge ist negativ ausgefallen, so dass diese nur noch zur Heizung des Deponiehangars und Betriebsgebäudes sowie eines Bauernhauses herangezogen wird.

Kölliken

Das dritte Beispiel, das kurz vorgestellt werden soll, ist eine Sondermülldeponie. Untersuchungen sowohl im Fernfeldbereich als auch im Nahfeldbereich wurden vorgenommen (Bild 7 und Bild 8). Als Deponie dient hier eine Tongrube in der Molasseformation. Die Molasse ist aufgebaut aus wenig durchlässigen Mergel- und durchlässigeren Sandsteinschichten. Die Sandsteinschichten führen Wasser zu. Der tiefste Punkt der Grube entspricht etwa dem Grundwasserspiegel in der Talrinne. Dies begründet den Schluss, die Deponiedichtung allein auf der talseitigen Flanke der Grube vorzunehmen. An der Deponiebasis ist nur eine einzige wirksame Drainage vorgesehen. Wenn keine Basisentwässerung vorgenommen wird, ist ein Einstau von Sickerwasser die Folge, welches mit Deponiewasser angereichert wird. Durch den Staudruck kann das Deponiewasser dann ins Grundwasser gelangen (Bild 8). Eine Nutzung des Grundwassers ist zwar vorderhand nicht geplant. Ob eine Fassung des Grundwassers infolge der geringen Durchlässigkeit des Schotters später in Frage kommt, bleibt unbeantwortet. In Bild 9 ist der vorgesehene Langzeitzustand mit dem Kontrollsystem für das Sickerwasser dargestellt. Ob die vorgesehenen Piezometer für eine zuverlässige Kontrolle dienlich sind, darf in Frage gestellt werden. Auch in diesem Falle ist die Gebrauchstüchtigkeit des Drainagesystems für die Deponie entscheidend. Die Langzeitkontrolle der Drainage kann vorläufig als ungelöst bezeichnet werden. Dass diese Deponie in der letzten Zeit für Schlagzeilen sorgte, lag an den Geruchsimmissionen in der Gegend, welche die Behörde zum Einschreiten zwangen. Bei den Abklärungen stiess man auf die mangelhafte Eingangskontrolle, die zur unerlaubten Ablagerung von Reststoffen führte.

Entwicklung in der Müllbewirtschaftung

Müll kann nicht einfach deponiert werden, sondern muss entsorgt werden und noch Jahrhunderte unter Kontrolle bleiben und bildet somit ein Problem. Darum ist es besser, weniger Müll zu produzieren und den unvermeidbaren Müll noch besser zu entsorgen. Müll sollte in Zukunft vom Produzenten, d.h. von uns allen, vor der Abfuhr, nach verschiedenen Kategorien getrennt und gesondert eingesammelt werden. Nur so können die unterschiedlichen Materialien nach verschiedenen Kriterien planmässig entsorgt werden. Brennbares kann in Grossöfen direkt verbrannt werden, anderes kann gegebenenfalls später wiederverwendet werden. Dies geschieht in kleinem Masse bereits für Metall, Glas, Papier, Holz, Pneus usw. Die Kompostierung von organischen Materialien hat noch lange nicht den gewünschten Erfolg gebracht. Dass alte Batterien und nicht gebrauchte Medikamente in den Sondermüll gehören, ist ebenfalls eine Wunschvorstellung. Ob die Eindämmung der Müllflut über den Produzenten oder Konsumenten zu besteuern ist, wird voraussichtlich noch lange diskutiert. Not macht erfinderisch, und so haben sich verschiedene Gemeinden und Regionen zu Genossenschaften oder Aktiengesellschaften zusammengeschlossen und betreiben die Anlagen mustergültig.

Tonforschung

Ton ist ein ideales Dichtungsmaterial. Er ist weitverbreitet und dadurch billig. Er ist nahezu dicht, seine Durchlässigkeit ist sehr gering, k-Werte von 10^{-10}m/s, d.h. ein Tropfen Wasser bewegt sich in einem Jahr bei einem Gradienten von 1 weniger als 1 mm. Seine Plastizität schliesst Risse in bestimmten Grenzen zum vornherein aus.

Seine Festigkeit gestattet dem Bauingenieur und Unternehmer eine relativ einfache Handhabung, und sein Verhalten kann gut beurteilt werden. Bei ungenügender Dichtigkeit, kann z.B. auch ein sandiges Material durch Anreicherung von Tonen zu einem Dich-

Bild 6. Genereller Querschnitt durch die Deponie Teuftal mit entsprechenden Entwässerungssystemen (nach CSD)

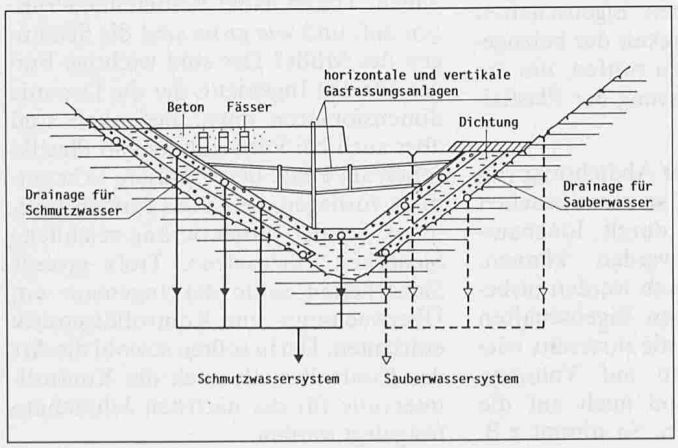
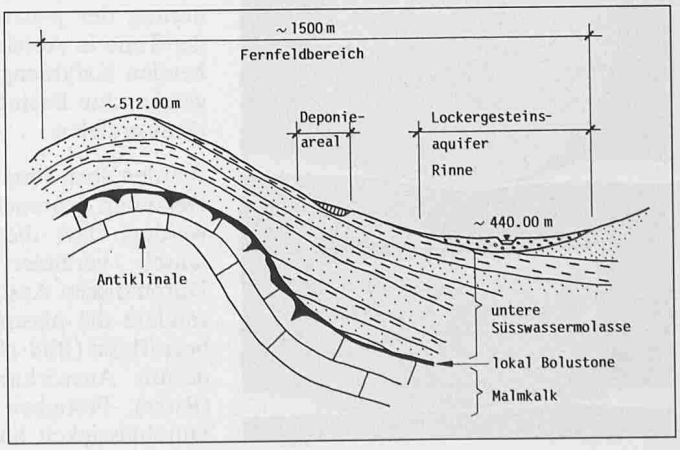


Bild 7. Fernfeldbereich der Deponie Kölliken (Querschnitt überhöht) (nach CSD)



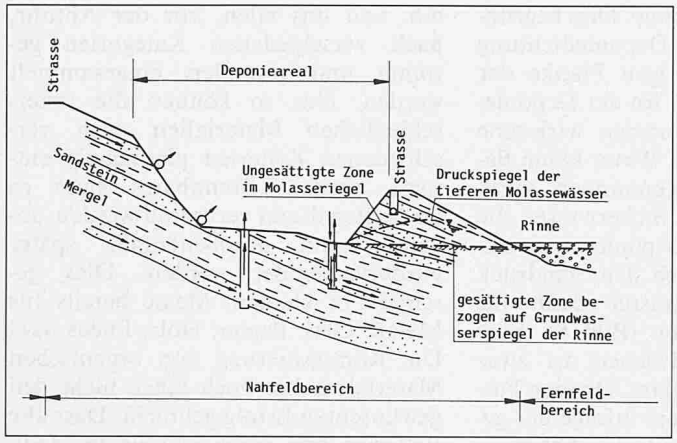


Bild 8. Nahfeldbereich der Deponie, ausgebeutete Tongrube (überhöht) (nach CSD)

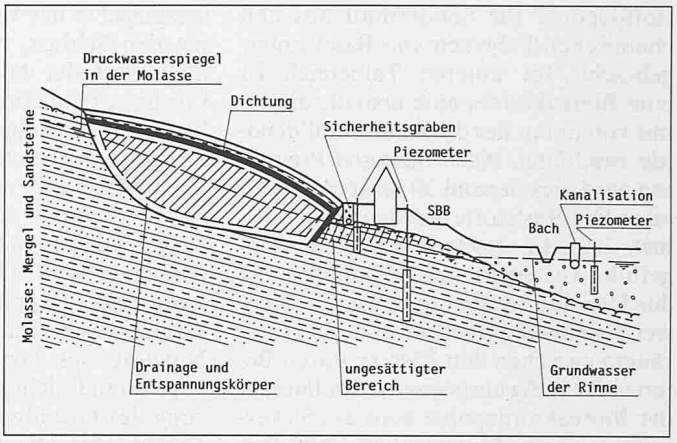
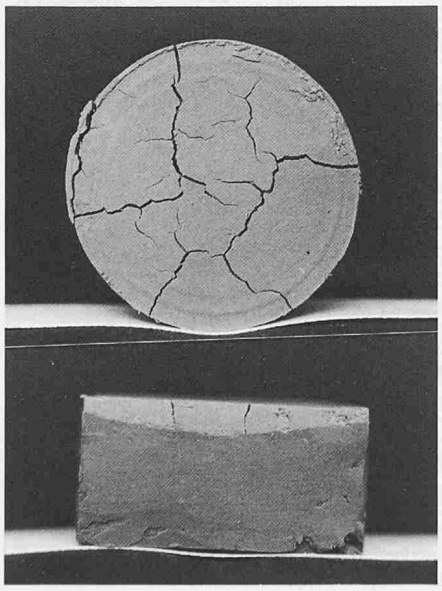


Bild 9. Überhöhter schematischer Querschnitt der definitiven Deponie mit den Kontrollsystemen (nach CSD)

tungsmaterial sogar für Dammbauzwecke Verwendung finden. Göschenenalp sei hier als Beispiel erwähnt.

Für Abdichtungszwecke treten immer mehr die hochplastischen Tone in den Vordergrund. So werden Bentonite für Abdichtungen aller Arten eingesetzt, und zwar in reiner Form plastisch oder hochverdichtet, je nach Zweck, den man erreichen will, eingesetzt. Versuche zeigen, dass schon mit sehr geringen Beimengungen von Tonen ein grosser Dichtungseffekt erzielt werden kann. Versuche haben sogar gezeigt, dass durch optimale Zusammensetzung von durchlässigem Sand und Bentonit die möglichen negativen Erscheinungen des Schwindens von reinem Ton durch das Korngerüst unterbunden werden kann. Diese Erkenntnis ist insbesondere in ungesättigten Bereichen von grösster Wichtigkeit. Waren diese Forschungsarbeiten ursprünglich für aride Klimata der Dritten Welt gedacht, können diese Erkenntnisse auch im Deponiebereich Verwendung finden.

Bild 10. Versuch: Diffusion einer wässerigen Lösung mit Dodecyldiammonium-Ionen in Bentonit-Montigel-Ton (Ca-Bentonit). a)Aufsicht: An der Oberfläche sind deutlich Schrumpfrisse zu erkennen. b)Schnitt: erkennbare Diffusionsfront, hell: umgewandelter Ton, dunkel: ursprüngliches Material. Fotos und Versuch: R. Hasenpatt



Gelten Tone als stabile Materialien gegenüber äusseren Einflüssen? Diese Frage wurde lange Zeit nicht gestellt, obwohl die Natur zeigt, dass solche Instabilitäten vorkommen, aber nicht als solche erkannt wurden. Als in den 50er Jahren der Einfluss des Austausches von Salzionen bei marinen Tonen durch Süsswasser entdeckt wurde, stiessen die Forschungsergebnisse anfänglich auf grosse Ablehnung. Hier sei auf die Quicktone in Skandinavien oder die Leddatone in Kanada verwiesen. Durch die Auslaugung des Salzes werden marine Tone zu hochsensitiven Tonen umgewandelt, die nun in dieser Form grosse Naturkatastrophen verursachen.

In dieses Kapitel ist auch die Elektro-Osmose einzuordnen. Dabei ist besonders zu beachten, dass die Stabilisierung des Materials bzw. einer Böschung nicht allein des Wasserentzuges wegen erfolgt, sondern es kommt auch eine Veränderung der Eigenschaften der Tone durch die Ionisierung zustande. Eine Voraussage über einen Erfolg dieser Methode kann nie ohne Versuche gemacht werden. Gleiches gilt übrigens auch für die Kalkstabilisierung. Auch in diesem Fall ist eine mögliche Veränderung der plastischen Eigenschaften der Tone in Abhängigkeit der beizugebenden Kalkmenge zu prüfen, um die gewünschte Beeinflussung der Plastizität zu erzielen.

Werden aber Tone zur Abdichtung von Deponien gebraucht, so muss beachtet werden, dass diese durch Ionenaustausch verändert werden können. Durch diesen Austausch werden insbesondere die plastischen Eigenschaften beeinflusst (Bild 10), die ihrerseits wiederum Auswirkungen auf Volumen (Risse), Festigkeit und auch auf die Durchlässigkeit haben. So nimmt z.B. die Durchlässigkeit des Bentonits von 7×10^{-12} m/s auf 3×10^{-8} m/s nach Umwandlung in die Dodecyldiammonium-Form bei vergleichbarer Dichte zu. Die mögliche Veränderung der Tone durch chemische Wässer in neue Materialien ist somit möglich. Tonabdichtungen sollten deshalb nicht ohne Bedenken verwendet werden. Diese Vorsicht ist vor allem bei Reststoffdeponien angebracht.

Diese Phänomene werden an unserem Institut mit verschiedenen Tonen erforscht. In der letzten Zeit ist insbesondere der Bentonit wegen der grossen Quellwirkung in Verbindung mit Wasser in den Vordergrund getreten. Der mögliche Austausch der Ionen mit chemischen Wässern und die hervorgerufenen Veränderungen der Tone bilden das Hauptinteresse. Die Einwirkung welcher Stoffe auf Tone soll man aber untersuchen? Die Chemiker geben uns auf diese Frage kaum eine hinreichende Antwort. Darum steht diese Frage leider noch im Raum und sollte zu erhöhter Wachsamkeit mahnen.

Nahm man bisher noch an, chemische Produkte würden nicht abgebaut, weiss man heute aus Erfahrung, dass dem nicht so ist. Chemische Stoffe werden biologisch abgebaut zu neuen und allenfalls unbekannten Verbindungen, welche auch unbekannte Eigenschaften haben. Treten dabei Volumenänderungen auf, und wie gross sind die Setzungen des Mülls? Das sind wichtige Fragen für den Ingenieur, der die Deponie dimensionieren muss. Bedenken sind aber auch bei Verwendung von Plastikfolien am Platz. Bevor bessere Erkenntnisse vorliegen, heisst das für den Ingenieur, bei der Projektierung reichliche Sicherheit einzusetzen. Trotz grosser Sicherheiten sollte der Ingenieur ein Überwachungs- und Kontrolldispositiv erarbeiten. Darin sollten sowohl die Art der Kontrollen als auch die Kontrollintervalle für die nächsten Jahrzehnte festgelegt werden.

Schlussbemerkungen

Die Probleme der Entsorgung werden allgemein erkannt. Doch muss noch sehr viel Detailarbeit geleistet werden sowohl auf politischer als auch auf technischer Ebene. Die Möglichkeiten unseres Beitrages an die Lösung der Entsorgungsprobleme wollen wir weder über- noch unterschätzen. Sicher ist, dass wir Bauingenieure nicht allein daran studieren und forschen. Dem Irrtum, die baulichen Probleme seien alle gelöst, müssen wir jedoch mit Bedacht entgegentreten. Die noch zu lösenden Aufgaben sind unter anderem:

□ Verbesserungen in der Bohrtechnik und der damit verbundenen Feldversuche und Bohrlochversiegelungen.

□ Sorgfältige Auswahl und Einbau von Piezometern mit angemessenen Referenzzeiten und der Möglichkeit von Funktionskontrolle und Wasserprobeentnahme.

□ Kontrollsysteme, die eine einfache und zuverlässige Handhabung ermöglichen und auf lange Zeit funktionstüchtig bleiben.

□ Laborversuche über Langzeitverhalten von Dichtungsmaterialien, insbesondere an Tonen und Tonmineralgemischen im Kontakt mit Deponiewasser.

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *J. Huder*, dipl. Bauing. ETH, Institut für Grundbau und Bodenmechanik - IGB, ETHZ, 8093 Zürich.

Literatur

[1] *Baccini, P.; Henseler, G.*, Von der geordneten Deponie zum Endlager. Vortrag an der Tagung VGL 12. Nov.1985

[2] *Baccini, P.; Bächler, M.; Brunner, P.H.; Henseler, G.*, «Von der Entsorgung zum Stoffhaushalt». Müll und Abfall 4/85

[3] *Huder, J.; und Amberg, G.*, The Significance of the Piezometer in Rock Engineering, Internationaler Kongress über Felsmechanik, Melbourne, 1983

[4] *Schuster, P.*, Experimentelle Untersuchungen über das Verhalten von Silt-Sand-Fraktionen, die mit quellfähigem Ton vergütet werden. 1986, IGB Mitt. Nr. 131

[5] *Bjerrum, L.*, Besondere erdbaumechanische Probleme Norwegens, 1956, Publikation Nr.14, Norw. Geotech. Institut, Oslo

[6] *Veder, Ch.*, Rutschungen und ihre Sanierung, 1979, Springer-Verlag, Wien

[7] Verschiedene Mitteilungen:
- AVAG; AG für Abfallverwertung 1986, Uttigen bei Thun
- EAWAG; Eidg. Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz, Dübendorf, CH
- SGBF; Schw. Gesellschaft für Boden- und Felsmechanik, Herbsttagung 1986, «Geotechnische Probleme der Entsorgung». Verschiedene Vorträge.
- Umweltbundesamt Berlin, Symposium über «Kontaminierte Standorte und Gewässerschutz» 1984.
- CSD; Colombi Schmutz Dorthe AG. Berichte über Bonfol und Teuftal sowie «Geologisch-hydrologische Berichte zur Sondermülldeponie Kölliken».
- BUS; Bundesamt für Umweltschutz, Bern; Richtlinien über «Allgemeine Anforderungen an Standort, Anlage, Betrieb und Kontrolle von geordneten Deponien» 1976.

Spreng- und Erschütterungsberatung - ein Ingenieurproblem

Aus dieser Serie sind im Schweizer Ingenieur und Architekt bereits in folgenden Nummern Beiträge erschienen:
- SI+A Heft 13/87
- SI+A Heft 36/87

Von Hermann Bendel, Buchrain / Luzern

Der Stollenmineur, König seines Metiers in der klassischen Tunnelbauzeit, stösst heute bei Sprengarbeiten in überbauten Gebieten auf viel Skepsis; denn die Immissionsprobleme (Erschütterungen, Lärm, Staub, Steinwurf) sind vorrangig geworden. Es besteht deshalb das Bedürfnis von Bauverantwortlichen, über das handwerkliche Können des Sprengunternehmers hinaus, bei Planung und Ausführung von Bauten von einem Spezialisten beraten zu werden. Drei praktische Beispiele sollen aufzeigen, wie bei Erschütterungsproblemen der Grundbauingenieur als Gutachter und als neutrale Überwachungsinstanz eingesetzt werden kann.

Baustelle Froburgstrasse in Olten

In einer Baugrube mit vier Untergeschossen steht ab 2 m kompakter Jurakalk an, der nur mit Sprengungen wirtschaftlich abgebaut werden kann.

Beweisaufnahme

Der Perimeter für die vorsorglichen Beweisaufnahmen wird aufgrund der Erfahrung auf 50 Meter festgelegt. An 25 Liegenschaften werden von Spezialisten bestehende Risse und andere Schäden protokolliert.

Probesprengungen

Bei sieben Probesprengungen werden die Lademengen, die Zeitabstände zwischen den Zündstufen und die Lage innerhalb der Baugrube variiert. Die Schwingungen werden an je sechs Messpunkten nach Vektoren, Komponenten und Frequenzen registriert. Die Regressionsauswertung ergibt folgendes Gesetz bezüglich Erschütterungsübertragung:

$$(1) \quad V = 350 \frac{Q^{0.8}}{D}$$

V = Erschütterungsvektor (mms^{-1})
Q = Lademenge pro Zündstufe (kg)
D = Distanz Sprengstelle-Gebäude (m)

Gemäss SNV Norm 640 312 [1] wird für die Bauwerkskategorie II bei den vorherrschenden Frequenzen von 80 bis 100 Hz festgelegt, dass der Erschütterungsvektor beschränkt bleiben muss auf

$V \leqq 20\ mms^{-1}$ für das Gros der Sprengungen
$V \leqq 25\ mms^{-1}$ für gelegentliche Spitzen

Mit Formel (1) wird der Zonenplan wie aus Bild 1 ersichtlich erstellt:

Submission

Die Bauleitung erstellt mit dem Zonenplan ein Devis. So ist bei der Submission gewährleistet, dass alle Unternehmer mit gleichen Voraussetzungen rechnen. Nachforderungen bleiben aus, da nach effektiv angewandten Lademengen abgerechnet wird.