

# Geotechnische Erfordernisse für Deponien nach 2005

Florian Kölsch

Dr. Kölsch Geo- und Umwelttechnik GmbH  
Gliesmaroder Straße 100, 38106 Braunschweig  
office@dr-koelsch.de • www.dr-koelsch.de

## 1 EINLEITUNG

Die Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung AbfAbIV (**BMU, 2001**) wird spätestens ab dem Jahr 2005 zu einer grundlegenden Änderung der Zusammensetzung und der geotechnischen Eigenschaften der Siedlungsabfälle führen (**Kölsch, 2000**). Die Scherfestigkeit der Abfallstoffe wird durch die Ausschleusung der Fasermaterialien (Papier, Plastik) deutlich vermindert. Außerdem werden durch die Umstellung der Ablagerung inhomogene Abfallkörper entstehen, deren Stabilität für den Deponiebetreiber mangels Erfahrung nur schlecht einzuschätzen ist.

Auf der anderen Seite wird auf vielen Deponien die Ablagerung auf Restmengen reduziert, ohne dass diese Anlagen ihre ursprüngliche Kubatur erreichen werden. Dadurch sind die Betreiber häufig gezwungen, ehemals temporäre, überhöhte Böschungen entweder rückzubauen oder in der vorhandenen Form abzuschließen.

Unabhängig davon, welches Deponiekonzept ein Betreiber umsetzt, in jedem Fall wird er verstärkt geotechnischen Problemen gegenüberstehen, die im Regelfall zur Konsequenz haben:

- Neuberechnung der Standsicherheit auf der Grundlage verbesserter Berechnungsmethoden
- Verstärkte Monitoringmaßnahmen

## 2 NEUE PROBLEME

### 2.1 Temporäre Böschungen

An vielen Standorten wurden angrenzend an vorgesehene, teils schon planfestgestellte Erweiterungsflächen temporäre Betriebsböschungen errichtet, die im Zuge der späteren Erweiterung angeschüttet werden sollten. Die Änderung der Deponiekonzepte führt nunmehr dazu, dass solche Böschungen die Endkubatur darstellen. Böschungsneigungen von 1:2 sind dabei selbst bei Höhen von 30 m keine Seltenheit. Im Regelfall entspricht die Standsicherheit dieser Böschungen nicht den Berechnungen der ursprünglich genehmigten Deponieplanung. Handelt es sich bei den Böschungen um Hausmüllablagerungen kann ein aufwändiger Rückbau meist durch eine verbesserte Standsicherheitsanalyse vermieden werden, da der Hausmüll gegenüber den konventionellen Berechnungsansätzen ausreichend nutzbare Tragreserven enthält.



Abb. 1: Deponie Warburg (LK Höxter) – ehemals temporäre Westböschung

Abbildung 1 zeigt die Westböschung der Deponie Warburg. Die Deponie sollte ursprünglich nach Westen hin erweitert werden, die Pläne wurden aufgrund veränderter Rahmenbedingungen fallen gelassen. Die temporär angelegte Böschung ist 40 m hoch und im Mittel 1:1,75 geneigt. Sie ist auf einem tonigen Hang errichtet und wurde 2000 mit einer Bodenschicht abgedeckt. Die Standsicherheit einer solchen Böschung kann mit konventionellen Ansätzen nicht nachgewiesen werden. Es ist erforderlich, die aus Fasern und Folien resultierenden Bewehrungskräfte des Abfalls, die sogenannte Faserkohäsion in der Modellierung zu berücksichtigen. Zur Vorgehensweise bei der Standsicherheitsanalyse, angefangen von der Ermittlung der Materialkennwerte bis zu den Berechnungsverfahren, sind von der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik entsprechende Empfehlungen erarbeitet worden (**DGGT, 1997**), insbesondere die E 2-29 (Standsicherheitsnachweise, anisotrop) und die E 2-35 (Geotechnische Kennwerte), die auf Forschungsarbeiten aus den 90er Jahren beruhen (**Kockel, 1995, Kölsch 1996**). Bei der Standsicherheitsanalyse in Warburg zeigte sich, dass die innere Standsicherheit gewährleistet ist und eine Gefährdung allenfalls darin besteht, dass der gesamte Deponiekörper auf dem Hang ins Rutschen gerät. Die gute Stabilität beruht allerdings stark auf der günstigen Wassersituation im Abfallkörper, die sogar erlaubte, mit den Literaturwerten der E 2-35 zu rechnen. Höhere Wasserstände erfordern dagegen oftmals Festigkeitsuntersuchungen an erbohrten Probematerialien (Abb. 2).

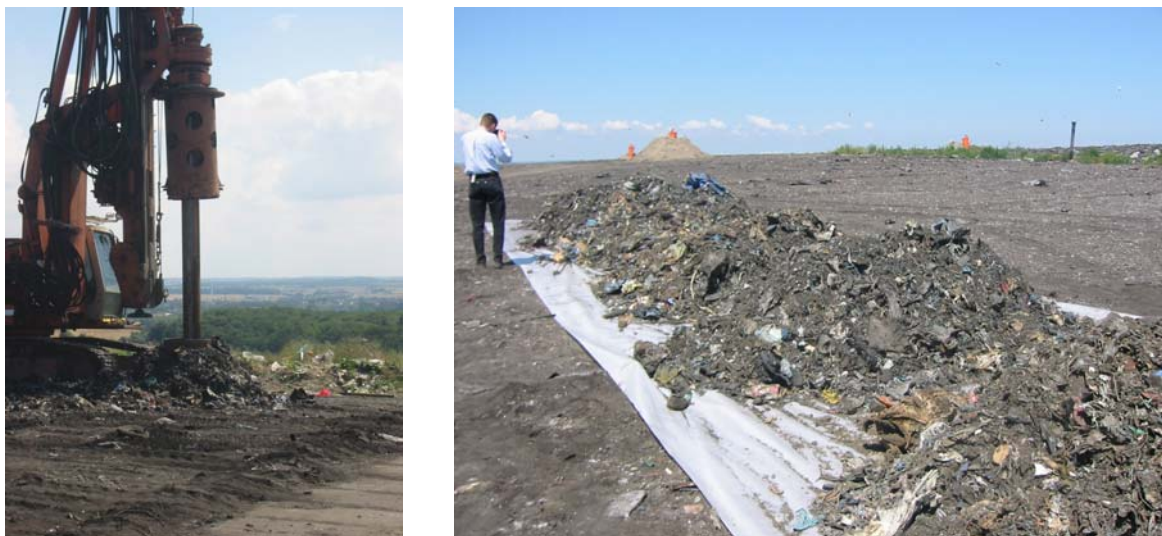


Abb. 2: Gewinnung von Großproben für Festigkeitsuntersuchungen (Dep. Ihlenberg)

## 2.2 Inhomogene Deponiekörper

Die in den 80er und 90er Jahren errichteten Hausmülldeponien sind durchweg relativ homogen aufgebaut. Bereits seit Mitte der 90er Jahre jedoch sinkt in Folge abfallwirtschaftlicher Maßnahmen und lenkender gesetzlicher Regelungen der Anteil des Hausmülls, während mancherorts in zunehmenden Maße überregional aquirierte Gewerbeabfälle abgelagert werden. Die Folge sind inhomogene Deponiekörper, deren geotechnisches Verhalten nur schwer einzuschätzen ist. Falls im Jahr 2005 die Ablagerung unbehandelter Siedlungsabfälle eingestellt wird, wird sich diese Tendenz weiter verstärken. An Standorten, an denen die Umsetzung der zukünftigen Regelungen vorweg genommen wurde, lassen sich die Folgen dieser Entwicklung gut beobachten.

Der Zweckverband Abfallwirtschaft Hildesheim betreibt in der Nähe der A7 die Deponie Heinde. Die Deponie besteht zum größten Teil aus einem oberflächengedichteten Altbereich, dem Feld Hoersten, und einer 1996 in Betrieb genommenen Erweiterungsfläche, dem sogenannten Schüttfeld Hoersten-West. Bis zum Januar 1998 wurde das Feld Hoersten-West für die Ablagerung aller im Landkreis Hildesheim anfallenden Siedlungsabfälle (rund 90.000 t/Jahr) genutzt. Im Januar 1998 wurde die Ablagerung von Restabfall auf der Deponie Heinde vorläufig eingestellt, um die Abfälle einer thermischen Behandlung in den MVAs Krefeld und Helmstedt zuzuführen. Zur Deponierung gelangten jährlich fortan nur noch rund 7000-10000 t Gewerbeabfälle, von denen geschredderte Produktionsrückstände aus der Autoverwertung mit etwa 6000 t/Jahr die Hauptfraktion darstellen. Im Januar 2002 wurde die Ablagerung aller anfallenden Siedlungsabfälle wieder aufgenommen.

Durch die Aussetzung der Restmüllablagerung zwischen 1998 und 2002 entstand eine inhomogene Schichtung des Abfallkörpers, die zu Problemen bei der Standsicherheit und Entwässerung führte. An den Böschungen trat Sickerwasser aus, während die Drainageleitungen nur wenig Wasser führten. Bei Bohrungen für Messpegel wurden schlammige und pastöse Abfallschichten angetroffen (Abb. 3).



Abb. 3: Entwässerungsprobleme (Dep. Heinde)

Ein Wassereinstau des Deponiekörpers kann in Verbindung mit Setzungen in Folge von Belastungserhöhungen zu Porenwasserüberdrücken führen, die die Standsicherheit des Abfallkörpers drastisch reduzieren. Vor der Wiederaufnahme der Restmüllablagerung wurden deshalb in einer Standsicherheitsberechnung zwei Lastfälle untersucht:

- Aktuelle Standsicherheit unter Berücksichtigung der „bewehrungsarmen“, tragschwachen, 5 m mächtigen Schicht aus Shreddergut
- Worst case-Szenario „Porenwasserdruck“, in dem durch die inhomogene Schichtung als Folge von Gasdruck, sowie kapillarer und hydraulischer Barrierebildung zu Entwässerungsproblemen kommt

Abbildung 4 zeigt das Ergebnis der Standsicherheitsberechnung für das Szenario „Porenwasserdruck“. Es war angenommen worden, dass das eintretende Sickerwasser in der Shredderschicht aufgehalten und aufgestaut wird und durch Setzungen im Zuge der nachfolgenden Restmüllablagerung unter Druck gerät. Die Verteilung der Scherspannungen an der untersuchten kritischen Bruchfigur zeigt, dass das leichte Shreddergut (Wichte  $\gamma = 8 \text{ kN/m}^3$ ) keinen Beitrag zum Scherwiderstand leistet, da die gesamte Schicht unter Auftrieb steht. Die Sicherheit für diesen Lastfall beträgt  $\eta = 1,34$ , während die Sicherheit für den Normalzustand ohne Porenwasserdruck bei  $\eta = 2,20$  liegt.

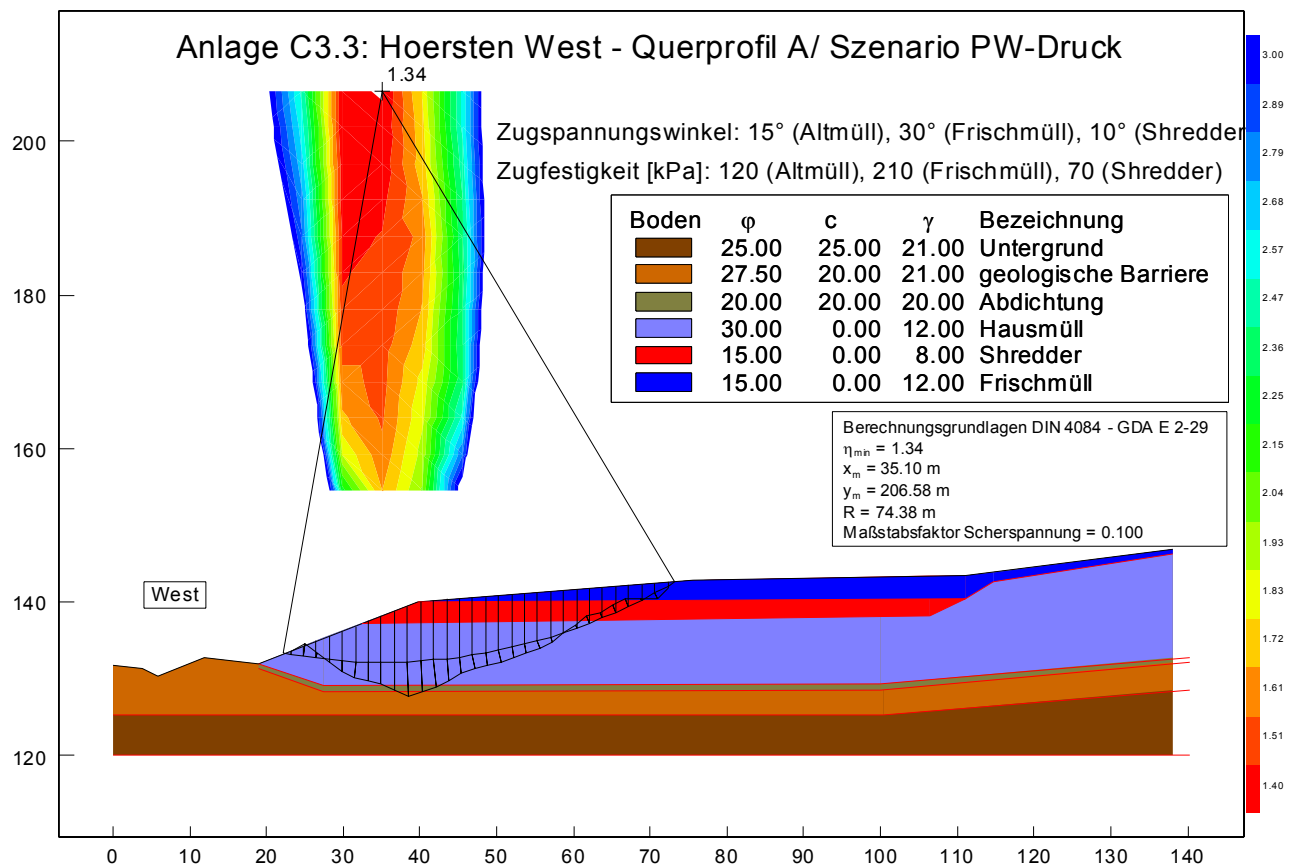


Abb. 4: Standsicherheit Deponie Heinde – Szenario „Porenwasserdruck“

Insgesamt ist die Stabilität des Deponiekörpers gerade noch als ausreichend einzustufen, was vor allem auf die teilweise grubenähnlichen Geometrie zurück zu führen ist. Eine klassische Haldendeponie auf tonigem Untergrund würde unter gleichen Bedingungen kritischere Stabilitätszustände erreichen. Nach der Wiederaufnahme der Restmülldeponierung wurde im Frühjahr 2002 ein Monitoringprogramm gestartet, im Rahmen dessen die für die Standsicherheit maßgeblichen Parameter Setzung des Abfallkörpers, Sickerwasser und Böschungsgeometrie (Verformungen) überwacht werden (**Kölsch, 2003**). Das Monitoringprogramm wird fortgesetzt, einige zentrale Elemente sind im Abschnitt 3 beschrieben.

## 2.3 MBA-Material

Die Ablagerung von MBA gemäß den Vorgaben der AbfAbIV ab dem Jahr 2005 wird nach dem bisherigen Erkenntnisstand die Standsicherheit erheblich beeinträchtigen. Es sind verschiedene, einschneidende Änderungen der geotechnischen Abfalleigenschaften zu erwarten:

- Die Wichte wird von  $12 \text{ kN/m}^3$  auf mindestens  $15 \text{ kN/m}^3$  zunehmen, abhängig vom verbleibenden Anteil der Leichtfraktion
- Die Bewehrungswirkung wird durch das Abtrennen der Leichtfraktion (Kunststoffe, evtl. Papier) fast eliminiert.
- Die Durchlässigkeit des kompaktierten Abfalls nimmt deutlich ab.

Die Erhöhung der Wichte führt zu einer stärkeren Verdichtung des Porenraumes, und erhöht die Porenwasserdruckgefährdung. In gemischten Ablagerungsbereichen mit unterliegendem unbehandeltem Hausmüll wird gleichzeitig die faserspezifische Zugfestigkeit der Fasern (Grenze der Bewehrungswirkung) bereits bei geringeren Deponiehöhen erreicht. Besonders für hohe Deponien wird sich die Situation bei den Tragreserven dadurch verschärfen.

Das größere Problem stellt jedoch die Ausschleusung der Bewehrung dar. Bisher wurde davon ausgegangen, dass der Verlust an Faserkohäsion durch die Zunahme der Reibung (Mineralisierung) ausgeglichen wird. Das ist jedoch nur teilweise richtig. Tatsächlich erfordert eine starke oder vollständige Reduktion von Zugspannungen einen überdurchschnittlichen Anstieg an Reibungskräften, da sich neue ungünstige Gleitfiguren einstellen (**Kölsch, 2000**). Vereinfacht kann gesagt werden, dass die gleiche Sicherheit einer Deponieböschung, die mit üblichen Festigkeitsparametern von  $35^\circ$  Spannungswinkel und  $15^\circ$  Reibungswinkel erreicht wird, bei einem Rückgang des Spannungswinkels auf  $20^\circ$  bereits einen Reibungswinkel von  $43^\circ$  erfordert, der mit MBA-Material kaum zu erreichen ist. Kurz: Die Standsicherheit wird deutlich geringer werden.



Abb. 5: Böschungsbruch – Deponie Athen (März 2003)

Das schwierigste geotechnische Problem wird jedoch die Hydraulik im Deponiekörper sein. Forensische Untersuchungen haben gezeigt, dass die Entstehung von Porenwasserdrücken der maßgebliche Auslöser von Böschungsbrüchen ist. Dabei ist offensichtlich, dass diese hydraulischen Verhältnisse besonders bei Deponien auftreten, auf denen eine regelmäßige Erdabdeckung von Abfällen vorgenommen wird. Dabei werden feuchte oder durchnässte Abfälle mit minderwertigem Boden überdeckt, der unter der Deponieauflast verdichtet wird und Sperrschichten ausbildet. Das eingelagerte Wasser wird mit zunehmender Deponiesetzung zwischen den Sperrschichten im Porenraum zusammengepreßt, so dass Porenwasserdrücke entstehen können.



Durch die biologische Vorbehandlung wird der Porenraum zukünftig nach der Verdichtung deutlich geringer sein als bisher. Dadurch wird zwar auch die Infiltrationsrate absinken, das wird jedoch eine Sättigung des Abfalls langfristig nicht verhindern. Zudem werden weiterhin Setzungen auftreten, so dass der prinzipielle Mechanismus für die Entstehung von Porenwasserdrücken erhalten bleibt. Die in der AbfAbIV geforderte tägliche Abdeckung der Einbaufläche kann dabei sogar kontraproduktiv wirken. Die Betreiber werden anstreben, möglichst undurchlässiges Material für die Erdabdeckung zu verwenden (z.B. einen feinen Siebschnitt), um den Oberflächenabfluß zu vergrößern, jedoch das Gegenteil erreichen. Es entstehen Sperrschichten, zwischen denen Wasser eingeschlossen und anschließend unter schwierigen Konsolidationsverhältnissen durch Setzungsvorgänge belastet wird. Aus diesen Erkenntnissen ergeben sich verschiedene Überlegungen für den Betrieb von MBA-Flächen, die in Abschnitt 4 erläutert sind.

### **3 MONITORING**

#### **3.1 Basics**

Die dargestellten geotechnischen Probleme, insbesondere die verringerten Standsicherheiten und die Unsicherheiten hinsichtlich der hydraulischen Probleme werden zu einem höheren Bedarf an Monitoringmaßnahmen führen. Das Monitoring konzentriert sich zunächst auf die maßgeblichen standsicherheitsbeeinflussenden Parameter „Setzung“ und „Wasserhaushalt“. Darüberhinaus werden entsprechend der Beobachtungsmethode verstärkt Verschiebungen überwacht, um das bevorstehende Versagen einer Böschung rechtzeitig zu erkennen. Für die Überwachung existieren eine Reihe von konventionellen Messverfahren, neue Methoden werden derzeit entwickelt, um den neuen Fragestellungen gerecht zu werden, so im DFG-Sonderforschungsbereich 477 „Innovative Bauwerksüberwachung“.

Zur Messung von Setzungen im Abfallkörper und an der Deponiebasis liegen umfangreiche Erfahrungen vor. Die besten Ergebnisse liefert die hydrostatische Höhenvermessung, die seit den 80er Jahren auf vielen Deponien eingesetzt wird.

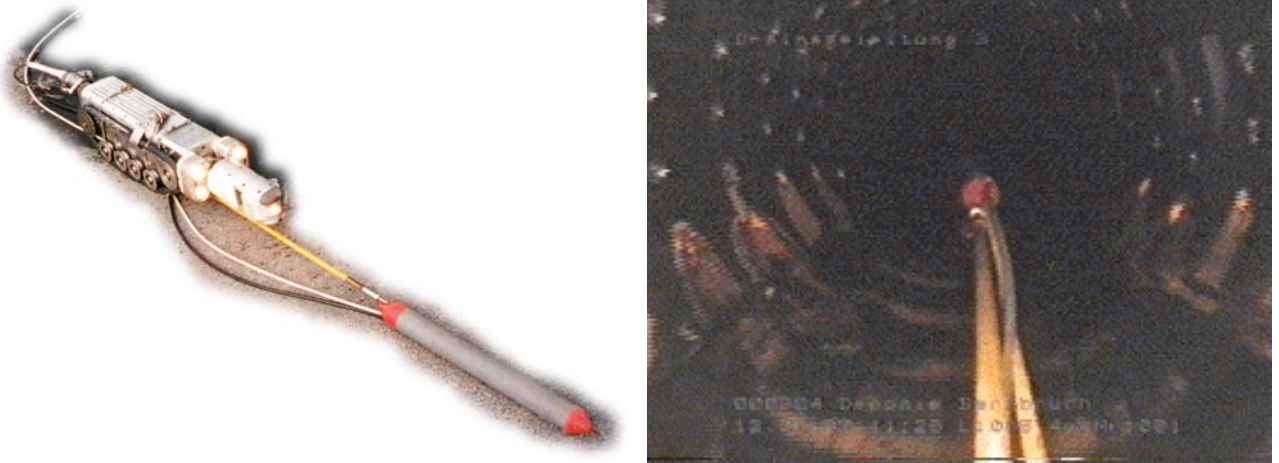


Abb. 6: Einbringen eines hydrostatischen Messensors in ein Dränagerohr

Zwar verfügen die als Vorschubsysteme genutzten Kamerafahrzeuge über eigene Neigungsmessensoren, diese sind jedoch für den Einsatz im Deponiebereich ungeeignet. Im Hinblick auf die Standsicherheit ist die Vermessung der Setzungen der Deponiebasis von untergeordneter Bedeutung, sie kann zwar frühzeitig Hinweise auf unverträgliche Verschiebungen und damit auf ein bevorstehendes Böschungsversagen liefern, aussagekräftiger in Bezug auf die innere Festigkeit der Böschung sind jedoch Setzungsmessungen im Abfallkörper.

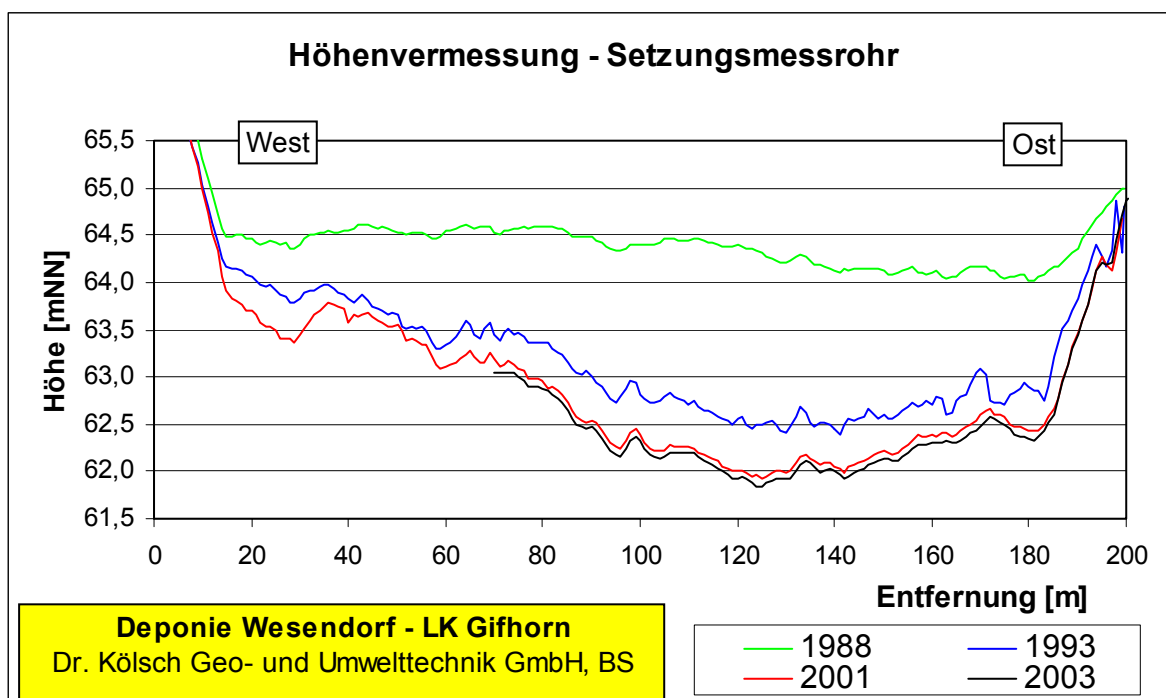


Abb. 7: Setzungsmessung im Abfallkörper – Deponie Wesendorf

Diese Setzungsmessungen werden in speziellen Messrohren durchgeführt, meist in geschlossenen DN80 PE-Leitungen, mit adaptierten Verfahren auch in kleineren Leitungen. Abb. 7 zeigt die Ergebnisse von Setzungsmessungen auf der Deponie Wesendorf. Die Messleitung liegt im Abfallkörper etwa 5 m über der Basis. Die Setzungen betragen seit Beginn der Messungen 1988 rund 2,50 m oder 50 %.

### 3.2 Innovationen

Die Standsicherheit wird entscheidend vom Wasserhaushalt des Deponiekörpers beeinflusst. Die konventionellen Beobachtungsmethoden (Pegelmessungen, Abflussmessungen an der Kläranlage) reichen nicht aus, um Einstau und Strömungen verlässlich zu bestimmen. Die Verringerung der Tragreserven wird zukünftig exaktere Messungen erfordern.



oben:  
Kamerafahrzeug mit aufmontiertem  
Messwehr

links:  
Messwehr im eingestauten Zustand  
während der Abflussmessung

Abb.8: Abflussmessgerät (Ziehmann et al, 2002)

Abflussmessungen an einzelnen Rohrsträngen stellen zwar eine Verbesserung dar, um Strömungsdrücke und Porenwasserdruckzonen jedoch zu lokalisieren, ist es erforderlich, den Zufluss in die Dränage an mehreren Punkten im Rohr zu bestimmen. Am Leichtweiß-Institut für Wasserbau der TU Braunschweig wurde zu diesem Zweck ein Messgerät zur punktuellen Abflussmessung in Sickerwasserrohren entwickelt (Ziehmann et al., 2002). Bei der Abflussmessung wird durch ein TV-Fahrzeug ein absenkbares Wehr in die Sickerwasserleitung eingebracht. Am Messpunkt wird der Abfluss aufgestaut, über das Messwehr geführt und gemessen (Abb. 8). Durch mehrere Messungen an verschiedenen Messpunkten kann ein horizontales Abflussprofil ermittelt werden.

Das Gerät wurde im Rahmen des Monitoringprogramms auf der Deponie Heinde eingesetzt. Abbildung 9 zeigt das Abflussprofil im Sammler 3. Der Gesamtabfluss der 200 m langen Leitung, die rund 1 ha Deponiefläche entwässert, beträgt etwa 4 m<sup>3</sup>/Tag, davon treten rund 90 % des Abflusses auf den letzten 50 m vor dem Schacht in die Leitung ein. Das Ergebnis gibt deutliche Hinweise auf laterale Strömungen außerhalb der Sickerwasserleitung.

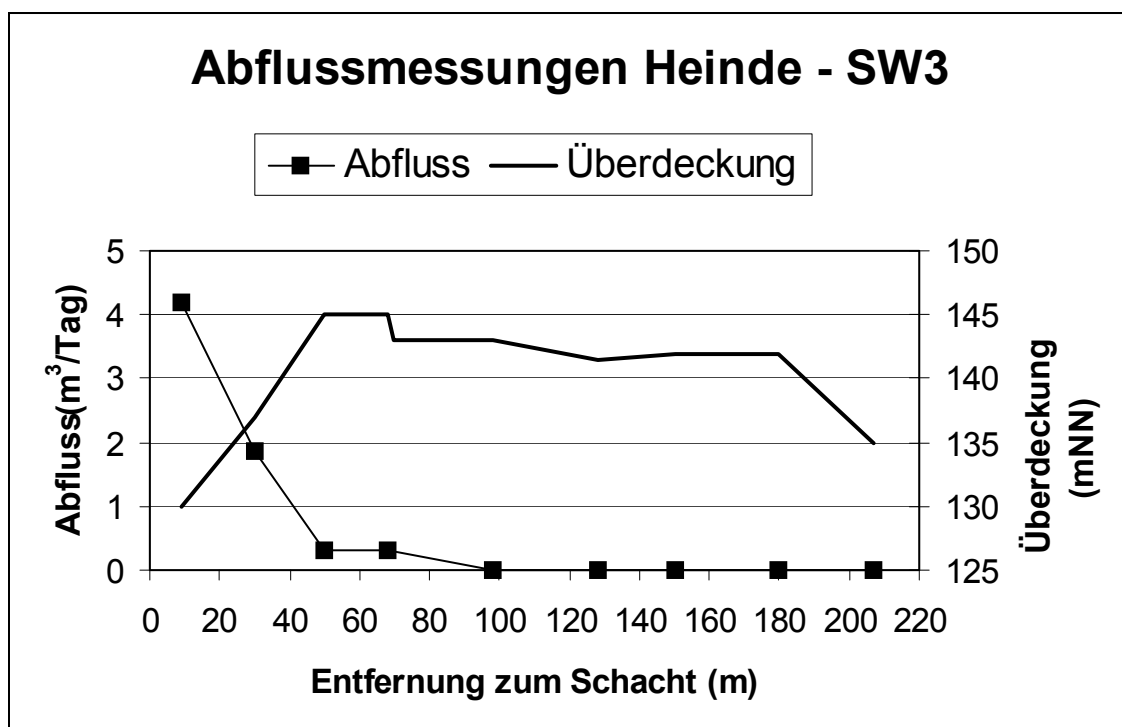


Abb. 9: Abflussprofil Sickerwasserleitung 3 - Deponie Heinde

#### 4 EMPFEHLUNGEN

Aus den Überlegungen lassen sich einige Empfehlungen für den Deponiebetrieb nach 2005 ableiten. Auf das Aufbringen einer täglichen Erdabdeckung sollte m.E. besser verzichtet werden. Es erscheint wesentlich sinnvoller, die Qualitätskriterien für den Abfalleinbau zu verbessern. Erstes Ziel muss es sein, die Setzungen des Abfallkörpers zu minimieren, um das Entstehen von Porenwasserdrücken zu verhindern oder zu verlangsamen. Hierfür ist dringend geraten, die Vorgaben der AbfAbIV hinsichtlich der Einbaudichte („bestmöglich“) ernstzunehmen, aus geotechnischer Sicht wäre die Forderung eines Einbaus mit Proctordichte angemessen gewesen. Der Einbau zu feuchter Abfälle ist unbedingt zu vermeiden. Das Kriterium „Durchlässigkeit“ ergibt unter dem Gesichtspunkt der Standsicherheit nicht nur keinen Sinn, es führt - wie erläutert - völlig in die falsche Richtung. Im günstigsten Fall sollte der Abfallkörper nämlich beides haben, eine hohe Dichte und eine hohe Durchlässigkeit. Da beide Parameter nicht gleichzeitig zu realisieren sind, werden zusätzliche Dränagen erforderlich.

Hinsichtlich der Standsicherheit ist zu beachten, dass die für die meisten Deponien im Zuge der Planung durchgeführten Standsicherheitsberechnungen mit den neuen Abfällen hinfällig werden. Die zukünftigen Abfälle stellen aus geotechnischer Hinsicht eine erhebliche Anlagenänderung dar. Die Standsicherheitsberechnungen für die MBA-Deponie sind allerdings vergleichsweise einfach durchzuführen, schon weil Materialkennwerte im Labor mit weniger Aufwand zu ermitteln sind. Kompliziert wird es, wenn Deponiekörper aus unbehandeltem Abfall mit MBA-Material überschüttet werden. In diesem Fall sind labortechnisch ermittelte Kennwerte des bisher abgelagerten Abfalls dringend erforderlich, mindestens sollte eine größere Rückstellprobe von 20-30 t gesichert werden. Eine geotechnisch aussagekräftige Abfallanalyse (nach GDA-Empfehlung E 1-7) ist dringend empfohlen, solange diese Abfallsschichten noch zugänglich sind.

## **5 LITERATUR**

BMU, (2001): Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen (Abfallablagerungsverordnung – AbfAbIV)

DGGT (1997): GDA-Empfehlung Geotechnik der Deponien und Altlasten. Hrsg.: Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V.. Berlin: Ernst

Kockel (1995): Scherfestigkeit von Mischabfall im Hinblick auf die Standsicherheit von Deponien. Schriftenreihe des Instituts für Grundbau Heft 24, Bochum

Kölsch (1996): Der Einfluss der Faserbestandteile auf die Scherfestigkeit von Siedlungsabfall. Dissertation an der TU Braunschweig

Kölsch (2000): Standsicherheit von Abfalldeponien nach 2005. Müll und Abfall 32, Heft 6, Berlin: E. Schmidt

Kölsch (2003): Standsicherheitsuntersuchung auf der Deponie Hildesheim-Heinde. In: Witt, Katzenbach (Hrsg.): 1. Symposium Umweltgeotechnik, Bauhaus-Universität Weimar, Schriftenreihe Geotechnik, Heft 10, Band 2, Weimar

Ziehmann, Münnich, Fricke (2002): Leachate discharge measurement via spillway weir and TV-camera. 12<sup>th</sup> European Water, Sewage and Solid Waste Symposium, IFAT. GFA (eds), Hennef.