Standsicherheitsuntersuchung auf der Deponie Hildesheim-Heinde

Dr.-Ing. Florian Kölsch
Dr. Kölsch Geo- und Umwelttechnik GmbH, Braunschweig

ZUSAMMENFASSUNG: Auf der Deponie Heinde wurde bereits 1998 vorweg genommen, was an vielen anderen Standorten im Jahr 2005 passieren wird, die herkömmliche Restmüllablagerung wird eingestellt. Durch die Veränderung der angelieferten Abfälle entsteht ein inhomogener, tragschwacher Abfallkörper, die Standsicherheit des Deponiekörpers ist gefährdet. Es wird empfohlen, die Betriebsumstellung geotechnisch zu begleiten: Das Vorgehen wird am Beispiel Heinde erläutert.

- Standsicherheitsberechnung nach GDA-Empfehlung E 2-29
- Monitoring der maßgeblichen Parameter (Setzungen, Wasser, Geometrie)
- ggf. betriebliche Maßnahmen

ABSTRACT: In 1998, Heinde landfill has already experienced what has to be expected at various locations in Germany beyond 2005: The disposal of municipal solid waste will be suspended. Subsequently, the shift in waste composition leads to an inhomogeneous landfill with limited mechanical load capacity. Finally, the stability of the landfill is in danger. It is strongly recommended, to support the change in operation by means of geotechnical excellence. The Heinde case introduces the appropriate procedure.

- stability analysis according to GDA-recommendation E 2-29
- monitoring program for the major parameter (settlement, water, geometry)
- operational measures

1 Problematik

Seit Beginn der 80er Jahre wird die Frage der Standsicherheit von Deponien kontrovers diskutiert (z.B. bei **Spillmann, 1980**), Befürchtungen von Stabilitätsversagen haben sich jedoch in größerem Umfang in Deutschland nicht bewahrheitet. Bis heute ist kein nennenswerter Fall von Böschungsversagen eines Hausmüllkörpers dokumentiert. Ausschlaggebend hierfür ist die außerordentlich hohe Scherfestigkeit des Hausmülls, die auf den großen Anteil von Fasern und Folien im Abfall zurückzuführen ist. Der scherwiderstandserhöhende Beitrag der Fasern, die sog. Faserkohäsion, war den Deponiebetreibern aus praktischen Erfahrungen schon lange bekannt („der Müll steht auch senkrecht“) und wurde in den 90er Jahren in mehreren großen Forschungsvorhaben nachgewiesen (**Kockel, 1995, Kölsch, 1996**).

Da kritische Böschungsgeometrien mit Neigungen von mehr als 1:3 in aller Regel nur als temporäre Betriebsböschungen errichtet werden (**Kölsch, 1997**), wird die Problematik der Standsicherheit allgemein als vernachlässigbares Problem betrachtet. Auch die Aufsichtsbehörden verzichten bislang darauf, die einschlägigen Forderungen der TA Siedlungsabfall (**BMU, 1993**) umzusetzen. Zwar sind unter Punkt 10.5 die jährliche Neubestimmung der bodenmechanischen Kennwerte im Rahmen der Eigenkontrollen und ggf. neue Stabilitätsberechnungen vorgeschrieben, tatsächlich beschränken sich die Arbeiten diesbezüglich jedoch in aller Regel auf eine einmalige Standsicherheitsberechnung im Zuge des Planfeststellungsverfahrens. Zudem werden meist veraltete Berechnungsverfahren und Materialkennwerte verwendet, mit denen kaum die tatsächliche Standsicherheit des Deponiekörpers erfasst werden kann.

Die Umsetzung der Abfallablagerungsverordnung AbfAblV (**BMU, 2001**) wird jedoch 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 ein zu schätzen ist.

2 Standsicherheitsprobleme

In den vergangenen Jahren hat es weltweit eine Reihe von teilweise spektakulären Versagensfällen gegeben, die jedoch leider nur zum Teil mit ausreichender Genauigkeit forensisch untersucht wurden (**Reynolds, 1991, Schmucker, Hendron, 1997, Kölsch, 2001**). Die vorliegenden Ergebnisse sind jedoch geeignet, um Schadensursachen zu bestimmen und neu entwickelte Berechnungsmethoden zu verifizieren.

Prinzipiell können zwei unterschiedliche Schadensformen unterschieden werden:

- Böschungsbruch (Rumpke 1996, Bogota 1997, Payatas 2000, verm. Athen 2003)
- Abrutschen des Abfallkörpers (Maine 1989)

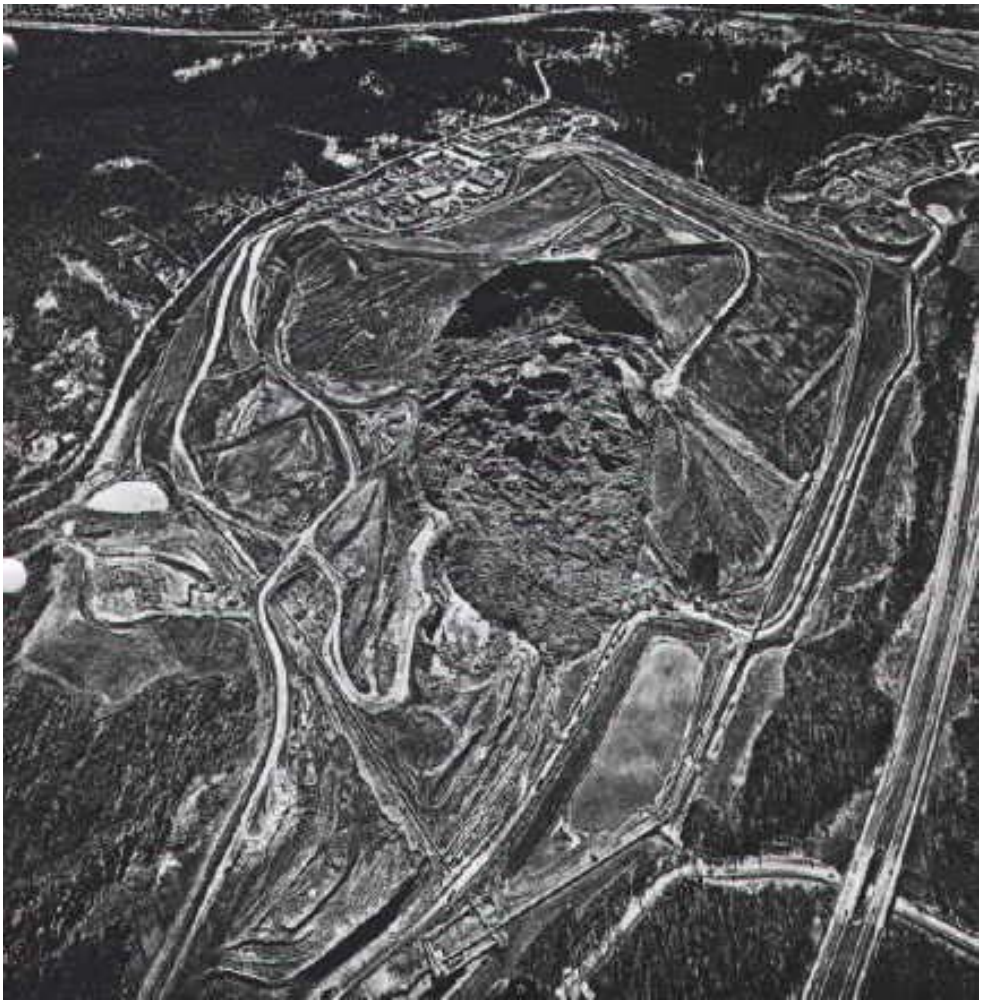

Bild 1: Luftaufnahme der Rumpke Landfill nach dem Böschungsbruch

Das Unglück von Rumpke 1996 stellt den typischen Fall des Böschungsbruches dar. Die Rumpke Landfill wurde 1945 eröffnet, bis zum Januar 1996 wurde der Altbereich des Standortes bis auf eine Höhe von 75 m über Ursprungsgelände verfüllt. Die Nord-West-Böschung, an der sich der Böschungsbruch ereignete, wurde mit einer mittleren Neigung von 1:2,6 aufgebaut. Der Abfallkörper hatte keine Entgasung und die Entwässerung erfolgte lediglich über eine umlaufende Dränage am Böschungsfuß. Für den geplanten Bau einer Erweiterungsfläche wurde entlang der Nord-West-Böschung das Ursprungsgelände auf eine Tiefe von 42 m unter Böschungsfuß ausgekoffert. Die Neigung in die Grube hinein betrug 1: 2,3

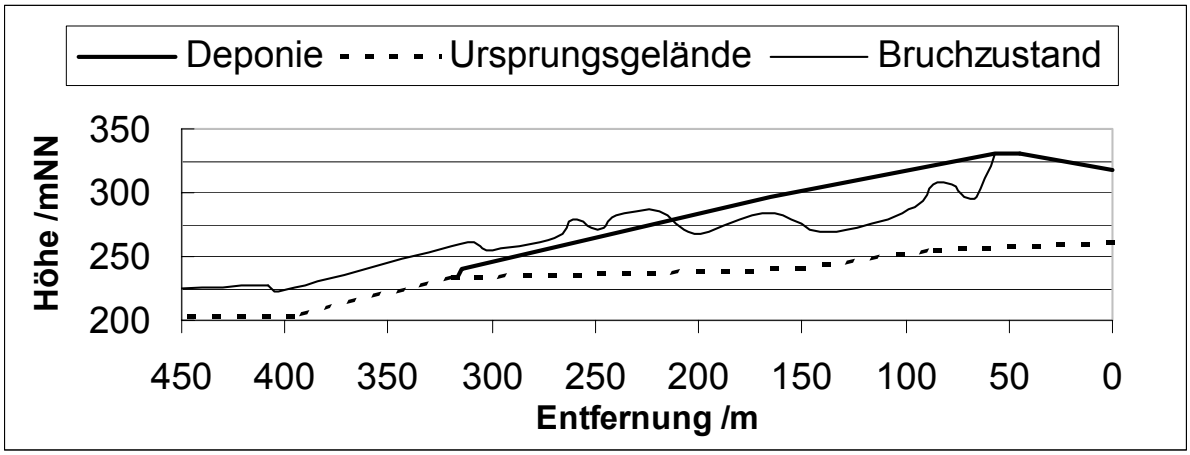

Bild 2: Böschungsbruch Rumpke – Bruchmuschel

Am 9. März 1996 geriet die gesamte Böschung in Bewegung und innerhalb von 5 Minuten glitten aus einer Fläche von 5 ha 1,2 Mio m^3 Abfall rund 360 m weit in die im Bau befindliche Erweiterungsfläche. Zurück blieb eine 300 m messende halbkreisförmige Bruchmuschel mit einer nahezu senkrechten Bruchfläche von etwa 60 m Höhe (Bild 2). Während ein Teil des Abfalls völlig seine Struktur verloren hatte, blieben trotz der massiven horizontalen Bewegung Blöcke von Abfall mit bis zu 20 m Höhe stabil erhalten. Die Schnittskizze in Abb. 2 verdeutlicht den Umfang der Abfallbewegungen in Folge des Böschungsbruches. Die entstehende Bruchmuschel stimmt recht gut mit dem Versagen auf der Payatas dumpsite (Manila, Philippinen) überein, wie Bild 3 zeigt.

Bild 3: Böschungsbruch Payatas (Philippinen) - Bruchmuschel

Einen gegensätzlichen Fall stellt das Abrutschen bzw. Auseinanderbrechen ganzer Abfallkörper dar. Bild 4 zeigt eine 1989 auseinander gebrochene Deponie in Maine (USA). Das Ereignis in Maine zeigt, dass keineswegs nur hohe Deponien von Standsicherheitsproblemen betroffen sind. Bei der Deponie handelt es sich um eine kleine, kommerzielle Abfallentsorgungsanlage, die 1970 eröffnet worden war. Die Deponie besteht aus mehreren Einzelpoldern für Asche-Schlamm, Asbest und Hausmüll. Hydrogeologisch gesehen bietet der Standort, eine ausgebeutete Kiesgrube, hervorragende Randbedingungen. Über einem mächtigen Geschiebemergelhorizont stehen 12 bis 18 m weicher und weitere 3 m steifer Ton an, wenig tragfähige Untergrundverhältnisse wie sie z.B. in den norddeutschen Küstenregionen häufig vorliegen. Die Höhe des Deponiekörpers betrug 22 m mit einer mittleren Böschungsneigung von 1:2,75.

Im Frühjahr 1989 wurde, ähnlich wie in Rumpke, angrenzend an den Altkörper mit Erdarbeiten für eine Erweiterungsfläche begonnen. Vor der später weggerutschten Westböschung wurden 1-3 m Boden abgetragen, um die Fläche für den Bau einer Kombinationsabdichtung vorzubereiten. Der stützende Erdkörper vor der Böschung wurde weiterhin durch die Anlage eines Sickerwasserfanggrabens am Böschungsfuß geschwächt.

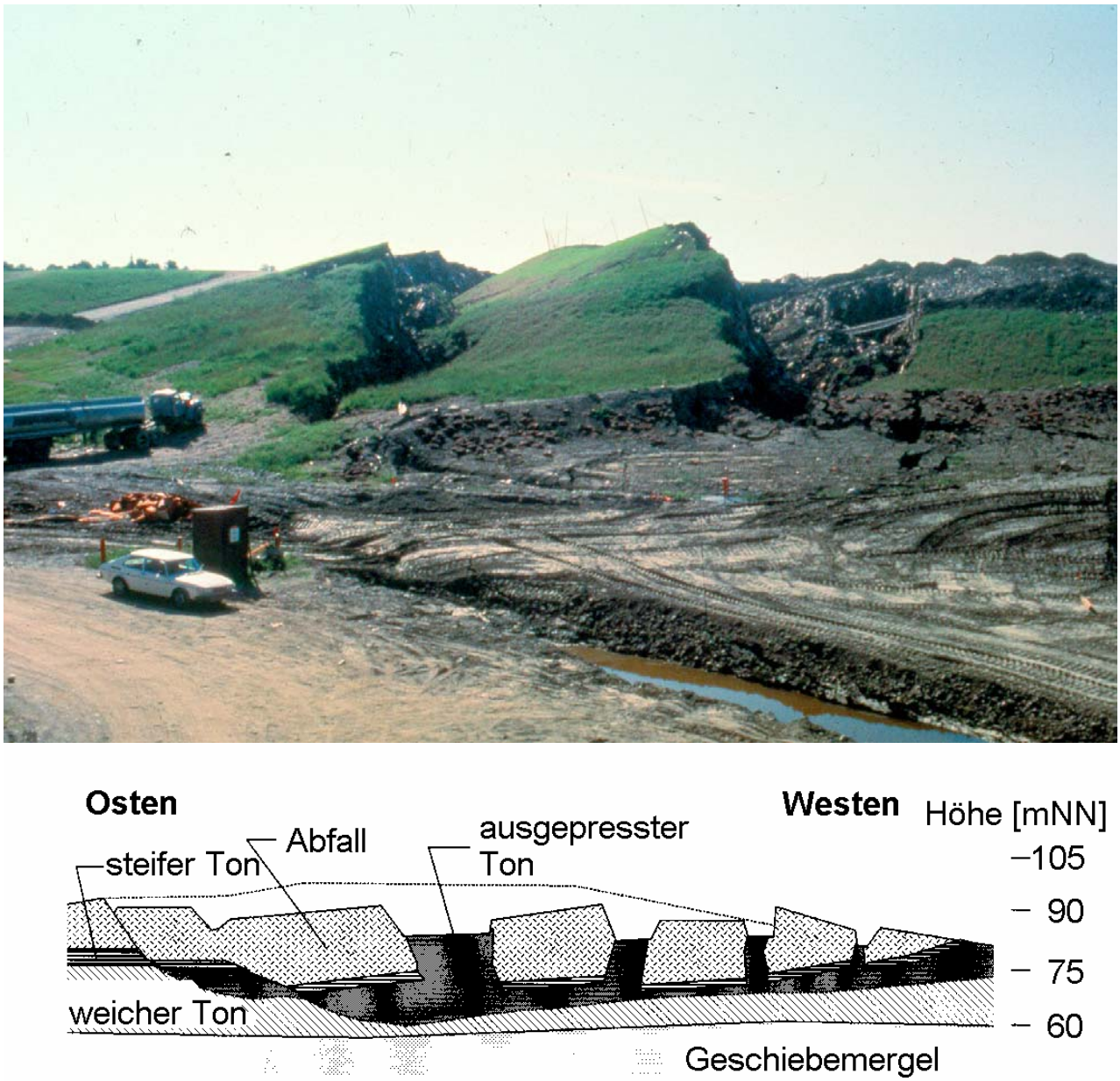

Bild 4: Böschungsbruch, Maine (USA), 1989

Nach einer 10tägigen Regenperiode mit mehr als 12 cm Niederschlag begann am Morgen des 14. August 1989 die Westböschung zu rutschen. Innerhalb von 15 Sekunden brach der gesamte Deponiekörper auseinander und der Abfall glitt westwärts in die geplante Erweiterungsfläche. Bild 4 zeigt die Situation am Tag des Böschungsbruches sowie eine schematische Schnittdarstellung des Abfallkörpers nach der Rutschung. Der Deponiekörper war in 6 große Blöcke auseinandergebrochen und hatte sich bis zu 50 m weit nach Westen bewegt. Die Bruchmuscheln liefen tief durch den weichen Ton im Untergrund. Infolge der Belastung wurde der Ton stellenweise verflüssigt und zwischen den Blöcken herausgepresst. Besonders am Kopf des Gleitkörpers am ehemaligen Böschungsfuß wurden größere Tonmengen herausgedrückt und flossen bis zu 120 m weit weg.

Die forensischen Untersuchungen ergeben ein klares Bild der Ursachen. Alle Bruchfiguren führen durch tragschwache Schichten im Untergrund der Deponien. Dies sind meist natürlich anstehende, etwas mächtigere Tonschichten, die aus hydrogeologischen Gründen vorteilhaft sind.

Die Ausbildung der Bruchfiguren belegt, dass der Abfall durch die hohe Scherfestigkeit immer eine stabilisierende Wirkung auf das Tragsystem hat. Böschungsbrüche, die ausschließlich durch den Abfallkörper führen, wurden nicht beobachtet. Ein tragschwacher Untergrund alleine reicht indes nicht aus, um eine Deponieböschung zum Einsturz zu bringen. Zusätzlich muss die Festigkeit des Abfalls massiv beeinträchtigt sein. Diese Beeinträchtigung wird durch Porenwasserüberdruck bzw. Strömungsdruck hervorgerufen, der aus der Kombination von hohen Wasserständen und starken Setzungen in Verbindung mit Entwässerungsproblemen entsteht. Nur in diesem Fall reichen die Lasten aus, die Bewehrungskräfte des Abfallkörpers zu überwinden. Daneben ist es möglich, dass die gesamte Deponie auf einer tragschwachen Untergrundschicht ins Rutschen gerät und dann auseinander bricht. Hierzu muss entweder der Untergrund geneigt sein (Hangdeponien wie in Thüringen und BaWü) oder die Geometrie muss eine geneigte Gleitfuge durch den Ton zulassen (Maine, 1989).

Die gegenwärtige Standsicherheitssituation der Siedlungsabfalldeponien lässt sich so auf folgende Kernaussagen reduzieren:

Böschungsbruch:	**tragschwacher Ton + Wasser im Deponiekörper**
Deponierutschung:	**tragschwacher Ton geneigt** oder **geneigte Gleitfuge**

3 Grundlagen der Standsicherheitsuntersuchung

Der derzeit anfallende Siedlungsabfall ist ein Gemisch aus körnigen und faserigen Bestandteilen. Unter Scherverformung wird zwischen den körnigen Bestandteilen -wie im Boden- Reibung erzeugt, während die faserigen Bestandteile ähnlich einer Bewehrung Zugspannungen aufnehmen und so zur Erhöhung des Scherwiderstandes beitragen. Dieser Anteil der Scherfestigkeit wird Faserkohäsion genannt. Die Faserkohäsion wächst linear mit der Auflast und ist begrenzt durch die Zugfestigkeit der Fasern. Die Ermittlung der zugehörigen Materialkennwerte muss bei anisotroper Faserverteilung im druckabhängigen Zugversuch erfolgen (**Kölsch, 1996**). Bei der derzeit angewandten Betriebstechnik (Dünnschichteinbau unbehandelter Siedlungsabfälle) liegt meist eine anisotrope Struktur vor. Im Sonderfall der isotropen Verteilung der Fasern (evtl. bei Kippkanteneinbau, Altkörper) kann die Scherfestigkeit geschlossen im triaxialen Druckversuch bestimmt werden (**Kockel, 1995**). 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).

4 Fallstudie Heinde

Der Zweckverband Abfallwirtschaft Hildesheim beitreibt 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 geshredderte Produktionsrückstände aus der Autoverwertung mit etwa 6000 t/Jahr die Hauptfraktion darstellen. Im Januar 2002 wurde die Ablagerung aller anfallenden Siedlungsabfälle wieder aufgenommen.

Die inhomogene Schichtung des Abfallkörpers, die durch die Aussetzung der Restmüllablagerung zwischen 1998 und 2002 entstand, warf die oben beschriebenen Fragen der Standsicherheit und Entwässerung auf. 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 es als Folge der inhomogenen Schichtung zu Entwässerungsproblemen wegen Gasdruck, sowie kapillarer und hydraulischer Barrierebildung kommt

Bild 5 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 $\gamma = 8$ 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 bei $\eta = 2{,}20$ liegt. Insgesamt ist die Stabilität des Deponiekörpers somit 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.

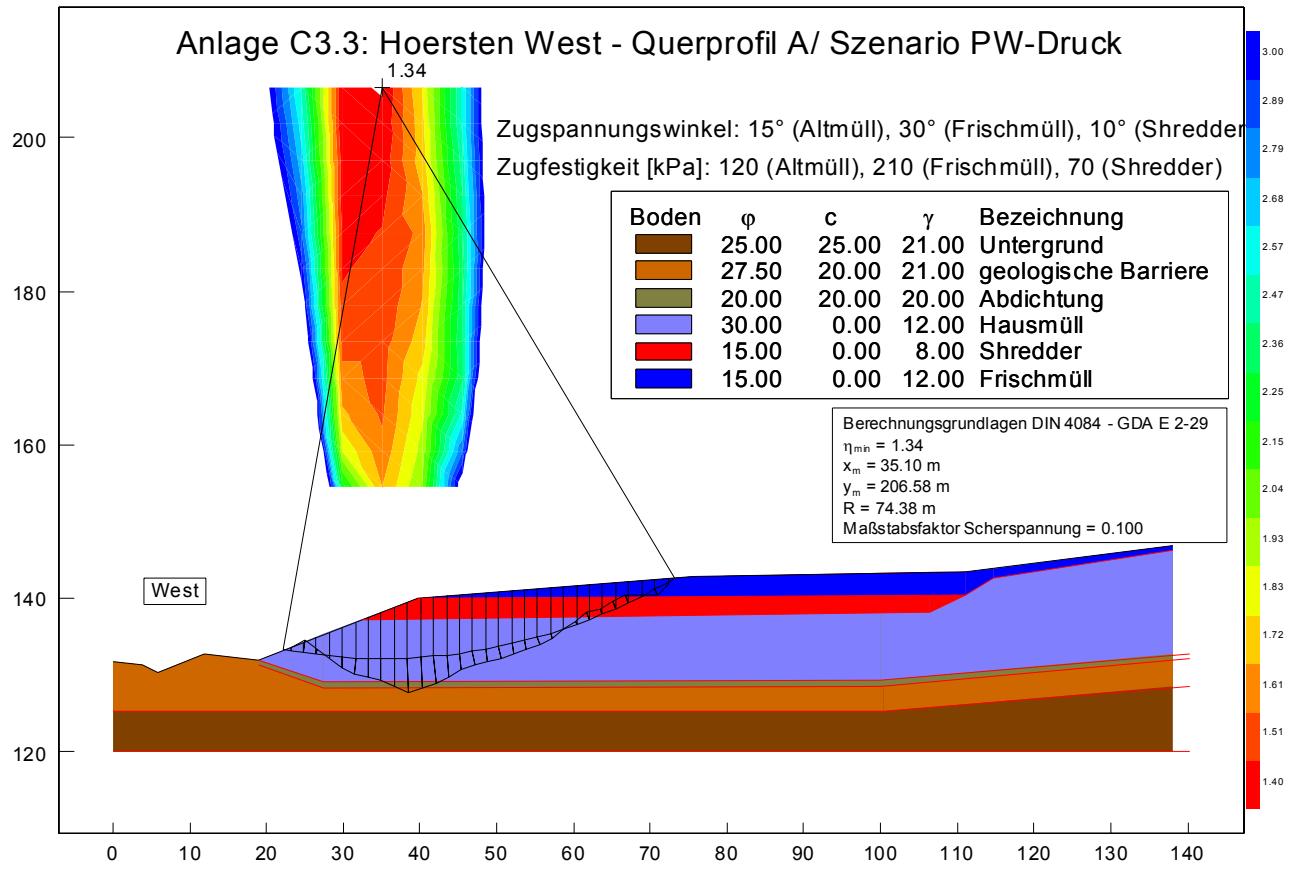

Bild 5: Standsicherheit Deponie Heinde – Szenario „Porenwasserdruck“

Die Materialkennwerte für die Berechnungen waren aus der Literatur abgeleitet worden. Hierzu waren zunächst Bohrungen im Abfallkörper niedergebracht worden, anschließend wurde das Material gemäß GDA-Empfehlung E 1-7 sortiert, die Bewertung orientierte sich an der GDA-Empfehlung E 2-35, tendenziell jedoch eher deutlich auf der sicheren Seite. Bei dieser Vorgehensweise enthält die Berechnung ausreichend Reserven, um ggf. in weiterführenden Festigkeitsversuchen bestimmte Reibungs- oder Zugspannungswinkel einzuführen. Im Fall Heinde wurde einem Monitoringprogramm der Vorzug gegeben, das insgesamt ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis erwarten ließ.

Nach der Wiederaufnahme der Restmülldeponierung wurde im Frühjahr 2002 das Monitoringprogramm gestartet, im Rahmen dessen die für die Standsicherheit maßgeblichen Parameter Setzung des Abfallkörpers, Sickerwasser und Böschungsgeometrie überwacht werden.

- **Setzung des Abfallkörpers**
  Da im vorliegenden (eher seltenen) Fall eine Bruchfigur durch den Untergrund ausgeschlossen werden konnte, konnte auf eine exakte hydrostatische Setzungsmessung in den Sickerwasserrohren verzichtet werden. Maßgeblich sind die Setzungen des Abfallkörpers, die zu Porenwasserdrücken führen können. Zur Überwachung wurden auf der Shredderschicht einfache DN32 PE-HD-Leerrohre verlegt. In den Leitungen wurden im Februar und August 2002 eine neuartige, kostengünstige hydrostatische Höhenvermessung durchgeführt. Die gemessenen Setzungen betrugen im Mittel 75 cm.
- **Wasserstände**
  Zur Beobachtung der Wasserstände wurden 2''-Bohrungen niedergebracht und zu Beobachtungspegeln ausgebaut. Das Bohrgut war teilweise schlammig, die Wasserstände in den ausgebauten Brunnen lagen stellenweise bei 3 m unter OK Abfall. Um die genauen Ursachen des Einstaus heraus zu finden, wurden weitere Untersuchungen durchgeführt, u.a. kam ein von der TU Braunschweig entwickeltes Messgerät zur punktuellen Abflussmessung in Sickerwasserrohren zum Einsatz (**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 (Bild 7). Durch mehrere Messungen an verschiedenen Messpunkten, kann ein horizontales Abflussprofil ermittelt werden. Bild 8 zeigt das Abflussprofil im Sammler 3. Der Gesamtabfluss der 200 m langen Leitung, die rund 1 ha Deponiefläche entwässert, beträgt etwa 4 m^3/Tag, davon treten rund 90 % des Abflusses auf den letzten 50 m vor dem Schacht in die Leitung ein.

Bild 6: Pegelbohrung

oben:
Kamerafahrzeug mit aufmontiertem Messwehr

links:
Messwehr im eingestauten Zustand während der Abflussmessung

Bild 7: Abflussmessgerät

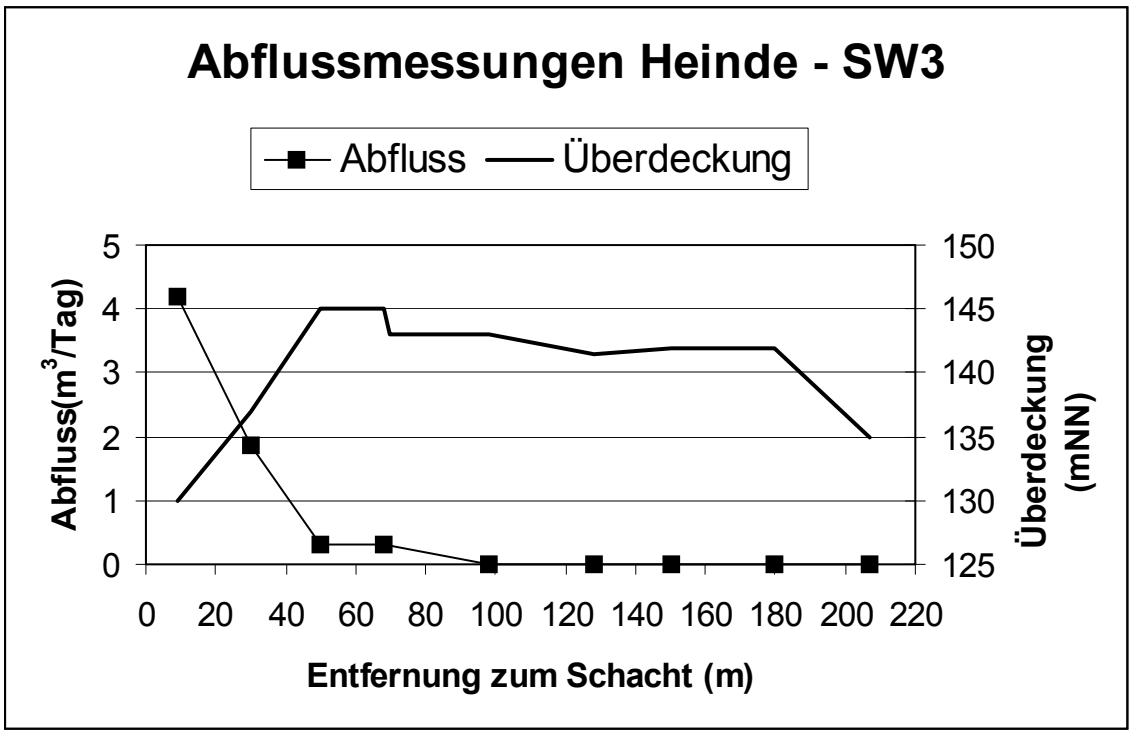

Bild 8: Deponie Heinde – Abflussprofil Sickerwasserleitung 3

Auf der Grundlage der Monitoringergebnisse werden die Berechnungen an die gemessenen Parameter angepasst und, falls erforderlich, betriebliche Maßnahmen eingeleitet. Die Wasserstandsbeobachtungen ergaben, dass im Abfallkörper ein hoher Wasserstand vorliegt, der Abfluss insgesamt dennoch unterdurchschnittlich ist, große Teile des Feldes sogar gar nicht vertikal entwässern. Da gleichzeitig Hangwasseraustritte beobachtet wurden, lag der Verdacht einer Barrierebildung nahe. Als einfachste Sofortmaßnahme wurden im Frühjahr 2003 die Pegel zu Gasbrunnen ausgebaut und an die vorhandene Absaugung des Altkörpers angeschlossen. Die Wasserstände werden überwacht, erste Ergebnisse werden demnächst vorliegen. Sollte die Entgasung nicht zu dem gewünschten Absinken der Wasserstände führen, werden weitere Maßnahmen, z.B. vertikale Dränung, erwogen.

5 Konsequenzen

Die ab dem Jahr 2005 zu erwartenden Veränderungen der Abfallzusammensetzung werden nach dem bisherigen Erkenntnisstand die Standsicherheit erheblich beeinträchtigen. Der übliche faserhaltige Siedlungsabfall, der maßgeblich für die innere Standsicherheit des Abfallkörpers ist, wird verschwinden. Stattdessen werden nur noch Monoabfälle abgelagert wie Schlacken, mineralische Abfälle oder MBA-Material. Durch die Ablagerung dieser Abfälle sind verschiedene, einschneidende Änderungen der geotechnischen Abfalleigenschaften zu erwarten:

- Die Wichte wird von 12 auf etwa 15 kN/m^3 (MBA mit Leichtfraktion) oder sogar 17-18 kN/m^3 (Mineralstoffe, MBA ohne Leichtfraktion) zunehmen.
- Die Durchlässigkeit des eingebauten Abfalls nimmt deutlich ab (MBA-Material).
- Die Bewehrungswirkung wird infolge der Zerkleinerung in der mechanischen Behandlung verringert, durch anschließendes Abtrennen der Leichtfraktion (Kunststoffe, evtl. Papier) fast eliminiert.
- Die höhere Wichte führt nicht nur zu einer Erhöhung der treibenden Kräfte, sondern auch zu erhöhten Setzungen und ggf. Porenwasserüberdrücken
- Durch die Erhöhung der Wichte wird die faserspezifische Zugfestigkeit der Fasern, selbst wenn die Bewehrungseigenschaften ansonsten unberührt bleiben, bereits bei geringeren Deponiehöhen erreicht. Besonders für hohe Deponien wird sich die Situation bei den Tragreserven dadurch nochmals verschärfen.

Das größere Problem dürfte jedoch die Beeinträchtigung der Bewehrungseigenschaften infolge mechanischer Vorbehandlung oder Stoffstromtrennung sein. Bislang wurde davon ausgegangen, dass der Verlust an Faserkohäsion durch die Zunahme der Reibung (Mineralisierung) ausgeglichen wird. Neuere Berechnungen (**Kölsch, 2001**) ergaben jedoch, dass dieser Effekt durch die Verlagerung von Bruchfiguren teilweise aufgehoben wird. Das schwierigste geotechnische Problem wird jedoch die Hydraulik im Deponiekörper sein. Die zunehmenden Setzungen in Folge der höheren Wichte, die Gefahr von Barrierebildungen und die Ablagerung wasserhaltender oder leicht Wasser aufnehmender Abfälle erleichtert die Entstehung von Porenwasserüberdrücken.

Generell ist es ist ratsam, die Umstellung des Deponiebetriebes im Jahr 2005 geotechnisch zu begleiten und zumindest zu diesem Zeitpunkt die in der TASi geforderten Untersuchungen durchzuführen. Das gilt besonders für den Fall, dass der Betreiber schnell in die Nachsorgephase eintreten möchte oder muss. Setzungen von Abfall beruhen nicht nur auf konsolidationsähnlichen Effekten (Auspressen von Wasser, Verringerung von Luftporen, Zusammendrückung von Abfallbestandteilen), sondern in erheblichem Maße auf sog. Formänderungssetzungen. Die Auflast führt dabei zu zwangsläufigen Formänderungen, um die für das Gleichgewicht erforderliche Scherspannung im Abfall zu mobilisieren.

6 Referenzen

Die publizierten Untersuchungen wurden mit freundlicher Unterstützung der Engineering & Environmental Affairs Division der Rumpke Consolidated Companies Cincinnatti, USA), dem Massachusetts Institute of Technology (Boston, USA), der Asian Development Bank (Manila, Philippines), dem Zweckverband Abfallwirtschaft Hildesheim und der Technischen Universität Braunschweig durchgeführt.

Literaturangaben

BMU (1993): 3.Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Abfallgesetz (TA Siedlungsabfall)

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

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, (1997): Verbesserte Standsicherheitsberechnung für Abfalldeponien. *Entsorgungspraxis 15*, Heft 6, S.40-45, Gütersloh: Bertelsmann

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

Kölsch (2001): Stability problems of landfills – The Payatas landslide. 17th International Conference on Solid Waste Technology and Management. Philadelphia (USA)

Reynolds (1991): Geoechnical field techniques used in monitoring slope stability at a landfill. 3rd International Symposium on Field Measurements in Geomechanics, Oslo

Schmucker, Hendron (1997): Forensic analysis of the 9th March 1996 landslide at the Rumpke Sanitary Landfill, Ohio. ASCE seminar „slope stability in waste systems“

Spillmann (1980): Beitrag zur langzeitig standsicheren Konstruktion hoher Abfalldeponien. *Müll und Abfall 12*, Heft 10. Berlin: Erich Schmidt Verlag

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