

# NACHTRÄGLICHE STANDSICHERHEITSUNTERSUCHUNG – BANDUNG UND IHLENBERG

Dr.-Ing. Florian Kölsch  
Dr. Kölsch Geo- und Umwelttechnik GmbH  
Gliesmaroder Straße 100, 38106 Braunschweig, Germany  
T: +49.531.338962 F: +49.531.338963 E: office@dr-koelsch.de W: www.dr-koelsch.de

## EINLEITUNG

Der Siedlungsabfall der vergangenen Jahrzehnte war stets ein Material außerordentlich hoher Scherfestigkeit. Die Standsicherheitsnachweise für die Planung von Deponien konnten problemlos erbracht werden, da die verwendeten Materialkennwerte bei weitem nicht die tatsächliche Festigkeit des Abfalls beschrieben. Gefahrlos konnten die Deponiebetreiber auch genehmigte Böschungsneigungen temporär überhöhen und für Baumaßnahmen gar vertikale Grubenböschungen abgraben. Bei solchen Tragreserven konnte auf die in der TASI (**BMU, 1993**) vorgeschriebene jährliche Überprüfung der Standsicherheit durchweg bedenkenlos verzichtet werden. Lediglich in Einzelfällen erwies sich die hohe Festigkeit als bautechnisch kritisch, da die innere Festigkeit zu deutlich höheren Lasteinleitungen beispielsweise in Schachtbauwerke führte. In den 90er Jahren wurden zwar Berechnungsverfahren entwickelt, um die Tragfähigkeit des Abfalls exakter zu beschreiben, jedoch nur in Ausnahmefällen war die realistische Erfassung der Stabilität tatsächlich erforderlich.

Seit dem 1.6.2005 hat sich diese bequeme Situation nachhaltig geändert. Die Umsetzung der Abfallablagereungsverordnung AbfAbIV (**BMU, 2001**) hat zu einer grundlegenden Änderung der Zusammensetzung und der geotechnischen Eigenschaften der Siedlungsabfälle geführt (**Kölsch, 2000**): Die Scherfestigkeit der Abfallstoffe ist durch die Ausschleusung der Fasermaterialien (Papier, Plastik) deutlich vermindert, insbesondere bei MBA-Material. Die komfortablen Tragreserven sind verschwunden. Der abfallwirtschaftliche Umbruch hinterlässt geotechnisch weitere Spuren:

- Die Abfälle zur Ablagerung werden schwerer, da vorwiegende Bestandteile geringer Wichte (Organik, Kunststoffe) behandelt oder ausgeschleust werden.
- Die höhere Einbaudichte korrespondiert mit einem geringeren Porenvolumen, wodurch die Gefahr des Wassereinstaus zunimmt.
- Die bisher dominierende Ablagerungsfraction, der unbehandelte Restmüll verschwindet vollständig, zur Ablagerung gelangen verstärkt Monochargen von Gewerbeabfällen und von Reststoffen der Abfallbehandlung. Dadurch wird die Entstehung inhomogener Abfallkörper begünstigt, deren Stabilität für den Deponiebetreiber mangels Erfahrung nur schlecht einzuschätzen ist.

Den in der TASI Abschnitt 10.5 geforderten regelmäßigen Standsicherheitsanalysen kommt jetzt eine völlig neue Bedeutung zu. Der Verlust der Tragreserven und die Erhöhung der Belastungen erfordern zwingend, die Standsicherheit aufmerksam zu beobachten und mathematisch realistisch zu erfassen. Dabei stehen die bereits errichteten Abschnitte der Deponiekörper im Vordergrund, sofern auf diesen weiter verfüllt wird, nunmehr allerdings mit tragschwachen Abfällen. Um die Stabilität der Deponien nachzuweisen, ist es notwendig, die vorhandenen Tragreserven zu bestimmen und in der Berechnung zu berücksichtigen. Diese nachträgliche Bestimmung der Standsicherheit erfordert ein gezieltes Vorgehen, das im Folgenden an zwei Beispielen erläutert werden soll. Das Augenmerk liegt dabei auf der besonderen Problematik, die Materialkennwerte und die Geometrie nachträglich zu erfassen.

## BANDUNG DEPONIEVERSAGEN

Bandung, 180 km südöstlich von Jakarta gelegen, ist die Hauptstadt der indonesischen Provinz West Java. Im Großraum Bandung leben etwa 6 Millionen Menschen. Der Abfall der Region wird auf mehreren Kippen entsorgt, die größte ist die Leuwigajah dumpsite, rund 15 km nordwestlich vom Stadtzentrum gelegen. 4500 t Abfall werden täglich auf die Kippe verbracht. Betreiber sind Stadt und Landkreis Bandung sowie die Stadt Cimahi, in dessen Stadtgebiet die Deponie liegt.

Die Müllkippe wurde am Rande des Ortsteils Leuwigajah in einem schmalen Tal mit steilen Flanken errichtet. Hydrogeologisch handelt es sich um einen geeigneten Standort. Das unterliegenden Felsgestein wird von einer etwa 1 m starken Tonschicht überdeckt. Die im Labor bestimmten Durchlässigkeiten liegen zwischen  $k_f = 9,6 \times 10^{-9}$  und  $3,8 \times 10^{-10}$  m/s. Wie in allen Talklingen in humiden Regionen, floss vor der Verfüllung am Talgrund ein Bach. Der Niederschlag am Standort ist tropisch hoch mit 1500-2000 mm/Jahr (Deutschland ca. 700 mm/Jahr) und ungleichmäßig verteilt. In der Regenzeit (Oktober bis April) kommt es zu heftigen Schauern mit bis zu 100 mm Niederschlag innerhalb weniger Stunden.



Abb. 1: Leuwigajah, 1992 (Foto: Oeltzschner)

Die Abfallverfüllung fand auf technisch niedrigstem Niveau statt. Vom oberen Talende beginnend wurde der Abfall vor Kopf über eine Kippkante ins Tal geschüttet und mit Raupen eingebaut (Abb. 1). Die Schüttfläche wurde von der Aufsichtsbehörde, der West Java EPA, mit 6,5 ha angegeben (Stand: Ende 2003), schien aber deutlich größer zu sein. Die Talsohle hat ein natürliches Gefälle von 5-10 %, am oberen Ende ist sie etwas steiler geneigt. Auf der Talseite betrug die Böschungsneigung des Deponiekörpers etwa 30°-45°. Die Höhe der Schüttung lag bei 60-70 m.

Nachdem es zuvor 3 Tage geregnet hat, kam es am 21. Februar 2005 gegen 2 Uhr nachts zu einem Standsicherheitsversagen. Rund 2,7 Millionen m<sup>3</sup> Abfall rutschten zu Tal und verschütteten eine Fläche von 900 x 250 m. In zwei Dörfern im Tal starben 147 Menschen in den Trümmern ihrer Häuser. Abbildung 2 zeigt eine Satellitenaufnahme der Unglücksstelle. Die gelbe Linie stellt etwa die ursprüngliche Grenze des Deponiekörpers dar, die gewundene Linie rechts die aktuelle Abrisskante. In Bildmitte ist die mit Müll überdeckte Talfläche erkennbar, die am linken Rand an unberührte Reisfelder grenzt. Es wird deutlich, dass der verschüttete Bereich rund 4-5-mal größer ist als der herausgebrochene Deponiebereich.

Die forensischen Untersuchungen wurden vom Institut Teknologi Bandung (ITB) und der Dr. Kölsch Geo- und Umwelttechnik GmbH durchgeführt. Die Ortsbegehung zeigte, dass der Abfall zumeist recht gut mineralisiert war und einen hohen Anteil (geschätzt 20-25 %) an Bewehrungsbestandteilen (Plastik u.ä.) aufwies. Im Tal wurden zusammenhängende Abfallblöcke gefunden, die an der Oberseite sogar noch Bewuchs aufwiesen. Auch nach 300 m lawinenartiger Bewegung hatte der Abfall seine innere Festigkeit behalten. Die Scherfestigkeit des vorgefundenen Abfalls konnte zwar nicht im Versuch getestet werden, schien aber vergleichbar zu ähnlich gealterten Abfällen in Deutschland zu sein.



Abbildung 2: Satellitenaufnahme Leuwigajah dumpsite (ITB, Dept. of Geodetic Engineering)



Abb. 3: Talblick



Abb. 4: Böschungskante

Der Abbauzustand des Abfalls ließ darauf schließen, dass der Deponiekörper zuvor nicht dauerhaft eingestaut war und das entstehende Deponiegas abziehen konnte. Im verbliebenen Teil des Deponiekörpers war die oberste Abfallschicht nass, was zeigte, dass der Abfall eine kapillare Wasserhaltekapazität hat und Niederschläge am schnellen Versickern hindern konnte. Es erscheint zweifelhaft, dass es in Folge der heftigen Niederschläge tatsächlich zu einem massiven Wasseranstieg im Deponiekörper gekommen ist, wie zunächst vermutet. Die Lage und Form der Abruchzone zeigte deutlich, dass die Rutschung in weiten Bereichen auf der Tonschicht erfolgt war, die an vielen Stellen offen sichtbar war (Abb. 5). Der Ton war durchnässt und die früheren Wasserläufe hatten sich aus Oberflächen- und Grundwasser wieder gebildet.





Abb. 5: obere Abbruchzone



Abb. 6: Brandzone (rechts) ohne Häuser

Die Kombination von hoher Abfallfestigkeit und weichem, vermutlich durchnässtem Ton führte in einer ersten Abschätzung zu einer ungünstigen Gleitfigur, bei der die gesamte Deponie ins Rutschen geraten sein müsste. Diese Geometrie war in Leuwigajah jedoch nicht möglich, da das Tal eine Engstelle aufwies, durch die der Deponiekörper nicht durchpasste. Die Bruchfigur musste also teilweise auch durch den Abfall führen. Die weiteren Arbeiten konzentrierten sich auf die Suche nach geschwächten Zonen. Als auffällig erwies sich die Verteilung der Häuser und Unterstände der Abfallsortierer im unbeschädigten Teil der Deponie. Ganze Bereiche waren unbebaut. Befragungen ergaben, dass in diesen Zonen der Rauch und Gestank anhaltender Schwelbrände die Arbeiter vertrieben hatte. Die genauere Untersuchung der Abrisskante, soweit möglich, zeigte ebenfalls Brandspuren (Abb. 6). Schwelbrände kamen somit als weiterer, die Stabilität schwächender Faktor hinzu.

Die Standsicherheitsberechnungen wurden nach GDA-Empfehlung E 2-29 durchgeführt. Abbildung 7 zeigt den modellierten Schnitt. Es wurde eine polygonale Bruchfigur untersucht, die den vorgefundenen geometrischen Randbedingungen entspricht. Zum Vergleich wurden jeweils mehrere Hundert Vergleichsfiguren untersucht. Die hohe Scherfestigkeit des Abfallkörpers spiegelt sich in einem Spannungswinkel von  $\zeta = 35^\circ$  wieder. Für die Deponiebasis wurde angenommen, dass die untere Abfallschicht und die Kontaktfläche zum unterliegenden Ton voll durchströmt sind. In dieser Zone wurde ein Porenwasserdruck von rund 150 kPa angesetzt. Die in Abbildung 7 horizontal schraffierte Fläche stellt den Bereich mit den verschmolzenen Abfällen dar, dort wurden der Spannungswinkel und die Kohäsion auf 0 reduziert. Mit den gewählten Parametern stellt sich der an der Geometrie des Bruches orientierte Gleitkörper als ungünstigste Gleitfigur dar. Vor dem Brand wies der Deponiekörper noch eine Sicherheit von  $\eta = 1,13$  auf. Wären geeignete Vorkehrungen getroffen worden, um den Wasserdruck in der Tonschicht abzubauen, z.B. eine Verrohrung der natürlichen Wasserläufe und eine Hangdränage, hätte die Sicherheit sogar bei  $\eta = 1,63$  gelegen. Das Zusammenspiel von Wasserdruck und Brand haben zum Versagen des Deponiekörpers geführt.

Die Berechnungen lassen eine klare Folgerung zu: Nur durch den Ansatz der hohen Scherfestigkeit des Abfalls über die Faserkohäsion in den Berechnungen wird die vorliegende Bruchfigur als ungünstigste Gleitfigur erkannt. Normale Berechnungen hätten kleinere Bruchfiguren erbracht. Dadurch wäre der Einfluss der oberen Bruchzone für die Standsicherheit nicht erkennbar geworden. Die Gefährdung, die durch einen Brand am oberen Rand der Deponie weit von der Böschung entfernt droht, wäre ebenfalls falsch eingeschätzt worden.

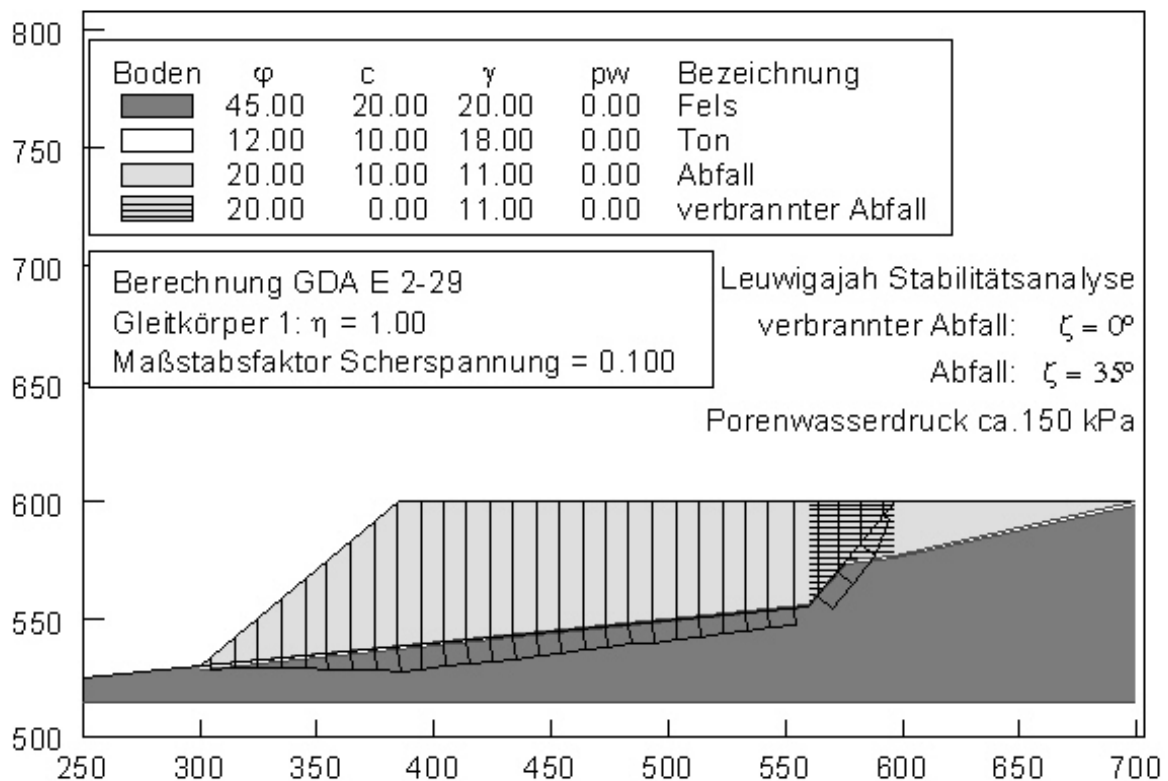


Abbildung 7: Standsicherheitsberechnung – kritischer Schnitt

Die unpräzisen Ansätze führen zwangsläufig zu falschen Maßnahmen. Um das Unglück zu verhindern, wären Drainagearbeiten und Brandschutz erforderlich gewesen. Dagegen bringt die übliche Standardmaßnahme, das Abflachen der Talböschung oder der Einbau von Bermen keine Verbesserung der Stabilität. Lediglich die Sicherheit gegen einen Böschungsbruch wird so erhöht, das ist allerdings nutzlos, da die Böschungen gar nicht gefährdet sind. Eben diese Maßnahme hat die Stadt Bandung auf der Ausweichdeponie Jelekong umgehend veranlasst, die vermeintlich höhere Sicherheit ist jedoch nur ein Trugschluss.

## IHLENBERG BÖSCHUNGSGEFÄHRDUNG

Die Deponie Ihlenberg liegt rund 15 km östlich von Lübeck in Mecklenburg-Vorpommern, Landkreis Nordwestmecklenburg. Es handelt sich um eine der größten Deponien Deutschlands. Sie unterteilt sich in mehrere Einzeldeponien bzw. Deponieabschnitte. Dies sind im Wesentlichen die Deponien für die Einlagerung besonders überwachungsbedürftiger Abfälle sowie die Deponie für die Ablagerung überwachungsbedürftiger Abfälle (maßgeblich Siedlungsabfälle) und der derzeit in der Errichtung befindliche Neubereich zur Ablagerung von DK II -Abfällen gemäß Abfallablagerungsverordnung (MBA- und MVA-Output). Die bisher betriebene Deponie zur Ablagerung überwachungsbedürftiger Abfälle wurde zum 01.06.2005 stillgelegt. Diese Deponie wurde auf einem hydrogeologisch günstigen Standort auf einer mehrere 10m-starken Tonschicht errichtet. Die Ablagerung begann 1979, wobei der überwiegende Teil der bislang belegten Flächen mit Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) gegen den Untergrund abgedichtet ist und in weiten Bereichen dem TASI Standard entspricht.

Die Ablagerungsmenge beträgt ca. 750.000 t/a. Die bisher abgelagerte Abfallmasse in der stillzulegenden Deponie beträgt ca. 16 Mio. m<sup>3</sup>, wobei die max. Schütthöhe ca. 60 m erreichen wird.

Für alle Deponieabschnitte wurden die Standsicherheitsanalysen, wie in TASI Abschnitt 10.5 gefordert, jährlich durchgeführt. Da die Sickerwasserstände bekanntermaßen eine erhebliche Auswirkung auf die Standsicherheit der Deponie haben, wurde der Deponiekörper mit Sickerwassermesspegeln versehen. Die Sickerwassermesspegel wiesen über die vergangenen Jahre schwankende Wasserstände auf. Nicht vollständig zu klären ist, ob es sich bei den in verschiedenen „Stockwerken“ gemessenen Wasserständen um Schichtenwässer, dem Pegel zulaufende Wässer (Verlust der Abdichtung der Pegel gegen den Abfall) oder einen Volleinstau in der Deponie handelt. Die Messergebnisse deuten darauf hin, dass es sich überwiegend um Schichtenwässer handelt, was angesichts eines ausgebauten Sickerwassersammelsystems in Verbindung mit einer KDB-Abdichtung in diesem Bereich auch zu erwarten ist.

Für die Standsicherheitsberechnungen wurde dennoch auf der sicheren Seite liegend davon ausgegangen, dass es sich um einen Volleinstau in der Deponie handelt. Hieraus ergab sich unter Anwendung der konventionellen bodenmechanischen Verfahren zur Berechnung der Standsicherheit (DIN 4084) im Jahre 2001 für den Bereich der Ostböschung eine Standsicherheit von  $\eta = 1,21$ . Da die durch das Staatliche Amt für Umwelt und Natur (StAUN) geforderte Sicherheit  $\eta = 1,30$  beträgt, ordnete diese daraufhin die Einstellung sämtlicher Ablagerungen im betroffenen Böschungsbereich an. Ein noch vorhandenes Deponievolumen von 400.000 m<sup>3</sup> konnte nicht verfüllt werden. In der Böschung entstand eine große Einbuchtung (Abb. 8), die zu weiteren betrieblichen Schwierigkeiten z.B. bei der Ableitung des Oberflächenwassers führte.



Abb. 8: Ostböschung Deponie Ihlenberg – Einbuchtung



Obwohl die Böschungsneigung mit 1 : 3,3 nicht besonders steil ist, schien die Stabilität der Böschung gefährdet. Hierbei hatten sich zwei Parameter in der Berechnung negativ niedergeschlagen: Die oben beschriebene, ungünstige Annahme der Wasserstände mit durchgehenden Wasserhorizonten bis zur Deponiebasis führte rechnerisch zu einem Sickerwasseraufstau von 20 m (gleichbedeutend mit einem Wasserdruck von 200 kPa). Gleichzeitig wurde die ungünstige Annahme getroffen, dass die KDB eine Leckage aufweist und der Wasserdruck voll in der schwachen Gleitfuge zwischen KDB und mineralischer Abdichtung ansetzt.

Die Scherfestigkeit des Abfalls wurde mit konventionellen Literaturwerten abgebildet. Hierbei wurde ein Scherwinkel  $\varphi$  von  $25^\circ$  und eine Kohäsion  $c$  von 10 kPa angesetzt. Dies ist deutlich weniger als nach neueren Erkenntnissen möglich und realistisch ist (GDA E 2-35). Deshalb beauftragte die Betreiberin, die Ihlenberger Abfallentsorgungsgesellschaft, IAG mbH, im Jahre 2003 die Dr. Kölsch Geo- und Umwelttechnik GmbH mit einer Standsicherheitsanalyse gemäß GDA- Empfehlung E2-29.

Für eine realistische Modellierung des Standsicherheitsverhaltens ist die Bestimmung von Materialkennwerten erforderlich. Dies kann durch Abschätzung gemäß Literaturwerten oder exakter durch Festigkeitsversuche erfolgen. Bei der Scherfestigkeit von Siedlungsabfall dominiert die Tragkomponente Faserkohäsion, die durch das bewehrungsähnliche Verhalten des Abfalls hervorgerufen wird. Zur Ermittlung der Materialkennwerte wurden im Juli 2003 zwei Bohrungen mit einem Durchmesser von 800 mm bis zu 30 m Tiefe in den Deponiekörper niedergebracht (Abb. 9). Dabei wurden ca. 5 t Probenmaterial erbohrt.



Abbildung 9: Bohrschnecke und Bohrgut

Mit dem erbohrten Probegut wurde an der TU Braunschweig ein Zugversuch unter Normalspannung durchgeführt (Abb. 10). Dort wird die Abfallprobe bei unterschiedlichen Auflasten auseinander gezogen. Der Zusammenhang zwischen Normalspannung und Zugspannung wird durch den Spannungswinkel  $\zeta$  beschrieben. Für die angelieferte Probe ergab sich ein Spannungswinkel  $\zeta$  von  $14^\circ$  und eine Kohäsion  $c$  von 21 kPa. Der gegenüber dem frischen Restmüll ( $\zeta$  bis  $35^\circ$ ) geringe Spannungswinkel resultiert aus dem Zersetzungsgrad der Abfälle, der Zusammensetzung der abgelagerten Abfälle (hoher Bodenanteil) sowie aus der Zerkleinerung durch die Bohrung.

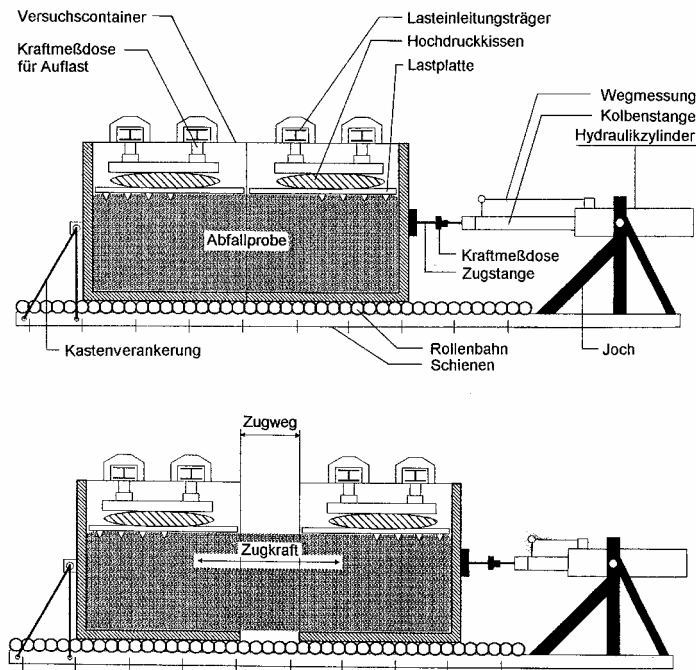


Abb. 10: Zugversuch unter Normalspannung – Versuchsprinzip (links) Bruchzustand (oben)

In der Standsicherheitsberechnung wurden für die oberen 30 m der Deponie, entsprechend der Tiefe der Bohrungen, die in den Versuchen ermittelten Werte angesetzt. Für die unteren Bereiche (ca. 30 m) wurde weiterhin konservativ mit den bisherigen Werten ( $\varphi=25^\circ$  und  $c=10$  kPa) gerechnet. Auf diese Weise enthält die Berechnung deutliche Sicherheitsreserven und die ermittelten Ergebnisse liegen entsprechend deutlich auf der sicheren Seite. Dennoch bedeutet der Ansatz der ermittelten Materialkennwerte in den oberen 30 m der Deponie, dass die Bewehrungswirkung bei 30 m Abfallauflast ( $360 \text{ kN/m}^2$ ) eine Kohäsion von  $111 \text{ kPa}$  hervorruft, davon  $90 \text{ kPa}$  Faserkohäsion, eben jene Komponente des Scherwiderstandes, die durch die Zugfestigkeit des Abfalls hervorgerufen wird.

Mit diesen Materialkennwerten wurde eine neue Böschungsbruchberechnung durchgeführt. In Abbildung 11 ist der kritische Schnitt durch die Ostböschung für den geplanten Endzustand dargestellt. Die polygonale Gleitfigur folgt der durch die Randbedingung bei der Berechnung vorgegebenen kritischen Trennfläche zwischen KDB und mineralischer Abdichtung und kreuzt etwa 130 m tief im Abfallkörper die verschiedenen Ablagerungsschichten. Durch den Ansatz der Bewehrungskräfte ergibt sich gegenüber dem konventionellen Berechnungsansatz eine höhere Sicherheit von  $\eta = 1,44$  gegenüber  $\eta = 1,21$ . Bei dieser Berechnung wurde ebenfalls von einem durchgehenden Wasserhorizont im Deponiekörper von 20 m ausgegangen. Es wurden auch realistischer erscheinende Szenarien (Schichtenwässer) gerechnet, die eine entsprechend höhere Sicherheit ergaben.

Im November 2003 wurde der Böschungsabschnitt zur Weiterverfüllung freigegeben.

## BEWERTUNG

Beide dargestellten Fallbeispiele zeigen, trotz der stark unterschiedlichen Randbedingungen, dass die exakten Berechnungen nach GDA-Empfehlung E 2-29 unter Ansatz der Faserkohäsion zu anderen Ergebnissen führen als die konventionellen Standsicherheitsberechnungen. Generell wird die Tragfähigkeit realistischer erfasst, die ermittelte Standsicherheit ist höher als in den traditionellen Ansätzen.



## Standsicherheitsberechnung Deponie Ihlenberg

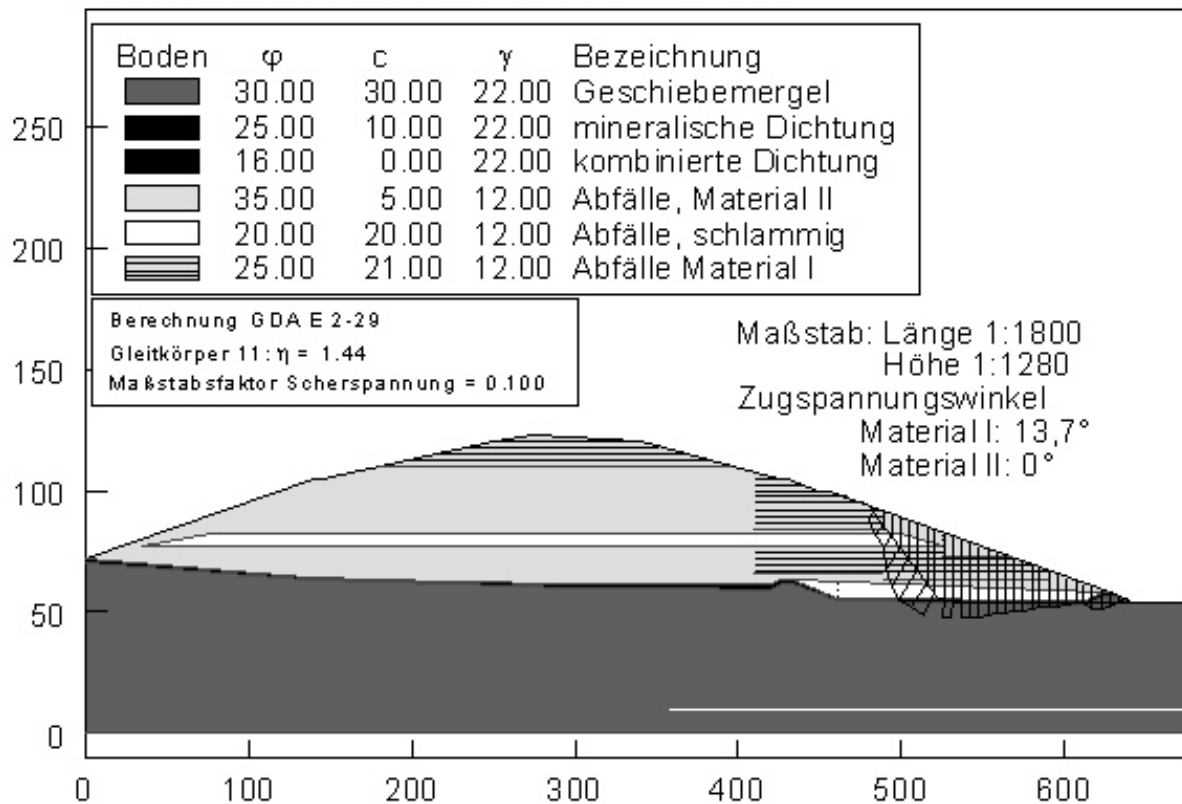


Abbildung 11: Ihlenberg Ostböschung – kritischer Schnitt

Es ergeben sich jedoch weitere wichtige Schlussfolgerungen:

- Die ungünstigen Bruchfiguren verlaufen vorzugsweise durch tragschwache Zonen wie die mineralischen Abdichtung, den weichen Deponieuntergrund oder Felder mit festigkeitsarmen Abfällen.
- Die Bruchfiguren können durch den inneren Zusammenhalt des Abfalls sehr groß werden, mithin kann der gesamte Deponiekörper wie in Bandung ins Rutschen geraten.
- Das Gefährdungspotential vermeintlich unbetreffener Ablagerungsbereiche im Zentrum des Deponiekörpers weit entfernt von den Böschungen wird schnell unterschätzt.
- Die Böschungsneigung der vorhandenen Altkörper aus üblichem Restmüll und der Wassereinstau darin sind dagegen von eher untergeordneter Bedeutung.

Ganz allgemein besteht die akute Gefahr, dass bei der Stabilitätsanalyse die falschen Bereiche betrachtet werden, die tatsächlichen Gefährdungen dagegen nicht erkannt und überwacht werden und wirkungslose Maßnahmen ergriffen werden. Hinsichtlich der neuen Ablagerungssituation seit dem 1.6.2005 kann mit Recht angenommen werden, dass den Deponiebetreibern die grundlegende Problematik klar ist. Der neue Abfall ist geotechnisch nicht mehr so gutmütig wie der alte Restmüll. Die labortechnische Bestimmung der Scherfestigkeit ist dagegen vielfach einfacher geworden. Es ist von daher nicht zu erwarten, dass es bei der Standsicherheit von Monoablagerungsfeldern für MBA-Material zu Problemen kommt, die ein geotechnischer Berater nicht lösen könnte. Schwieriger ist die Situation dann, wenn MBA-Abfälle oder Monochargen von Gewerbeabfällen auf vorhandenen Deponiekörpern aufgebaut werden. Dabei kann es mangels Verständnis für das tatsächliche Tragverhalten des Altkörpers leicht zu Fehleinschätzungen kommen.

Das Gefährdungspotential der einzelnen Anlagen ist dabei höchst unterschiedlich und hängt von vielen ortsspezifischen Parametern ab. Hinsichtlich der Gefährdung sind vorrangig hohe Deponien, insbesondere bei vorhandenen Tragschwächen im Untergrund, Hangdeponien und Deponien auf weichem Untergrund, z.B. in den Küstenbereichen betroffen.

## **EMPFEHLUNGEN**

Aus den vorgestellten Projekten lassen sich Empfehlungen für die geotechnische Bearbeitung von Deponien ableiten, die über 2005 hinaus betrieben werden sollen. Auf Deponien, auf denen vorhandene Abfallkörper überschüttet werden, werden die älteren (vor 2005 abgelagerten) Schichten für die Stabilität maßgeblich. Deren Festigkeitseigenschaften müssen intensiv –wie dargestellt- geprüft werden. Es ist dringend geraten, eine geotechnisch aussagekräftige Abfallanalyse nach GDA-Empfehlung E 1-7 durchzuführen und eine größere Rückstellprobe von 20-30 t zu ziehen, solange die Abfallschichten noch zugänglich sind.

Hinsichtlich der Genehmigungssituation 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. Eine Neuberechnung der Standsicherheit ist von daher dringend angeraten, auch wenn Materialkennwerte für die zukünftigen Abfälle derzeit noch abgeschätzt werden müssen. Insbesondere für MBA-Materialien fehlen entsprechende Referenzanlagen und Versuchsmaterialien.

Die Berechnungen für die Deponie Ihlenberg haben gezeigt, dass die dargestellten geotechnischen Probleme, insbesondere die verringerten Standsicherheiten, zu einem größeren Bedarf an Monitoringmaßnahmen führen werden, um Unsicherheiten hinsichtlich des Wassereinstaus und der Verformungen zu klären. Das Monitoring konzentriert sich dabei auf die maßgeblich standsicherheitsbeeinflussenden Parameter „Setzung“ und „Wasserhaushalt“. Darüberhinaus werden entsprechend der Beobachtungsmethode verstärkt Verschiebungen überwacht, um das bevorstehende Versagen einer Böschung rechtzeitig zu erkennen. Weiterführende Literatur zum Monitoring findet sich bei **Goedecke et al. (2004)**, **Ziehmann et al. (2002)** und **Kölsch (1998)**.

## **LITERATUR**

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

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

**Goedecke, Kölsch, Fricke (2004):** Messungen horizontaler Verformungen in Deponiekörpern. In: Stegmann, Rettenberger, Bidlingmaier, Ehrig, Fricke (Hrsg.): Deponietechnik 2004, 4. Hamburger Abfallwirtschaftstage, Verlag Abfall aktuell, Hamburg

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

**Kölsch (1998):** Vergleichsmessungen an verschiedenen Deponien - Meßergebnisse und Verfahrensvergleich. In: Rodatz (Hrsg.): Entwicklungen im Deponie- und Dichtwandbau. 8. Braunschweiger Deponietechnik-Symposium

**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)