

Standsicherheit und Ablagerungsbetrieb der MBA-Deponie Hillern

Karsten Hupe¹, Wolfgang Oltmanns², Kai-Uwe Heyer¹,

Rainer Jäger³, Rainer Stegmann¹

¹IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner, Hamburg

²PROF. DR.-ING. WALTER RODATZ UND PARTNER,
Beratende Ingenieure für Geotechnik GmbH, Braunschweig

³AHK – Abfallwirtschaft Heidekreis,
Kommunale Anstalt des Landkreises Soltau-Fallingb., Soltau

Stability and Operation of the MBP-landfill Hillern

Abstract

The technical requirements for landfilling of MBP-residues on landfills in Lower Saxony are described and the realisation of the requirements on the MBP-landfill Hillern is explained. In terms of a certain compliance with the geomechanical stability of the MBP-landfill body recommendations for the landfill operation are developed based on extensive site-specific investigations and stability calculations.

Zusammenfassung

Es werden die Anforderungen des Landes Niedersachsen an den Einbau von MBA-Material und die Umsetzung dieser Anforderungen im MBA-Deponieabschnitt der Deponie Hillern erläutert. Im Hinblick auf die sichere Einhaltung der geomechanischen Stabilität des MBA-Deponiekörpers werden auf der Grundlage umfassender standortbezogener Untersuchungen und Standsicherheitsbetrachtungen Empfehlungen zum Einbaubetrieb abgeleitet.

Keywords

MBA-Deponie, Einbautechnik, Stabilitätsbetrachtungen, Standsicherheitsnachweis, MBP-landfill, landfill operation, stability calculation, stability proof

1 Einleitung

Seit Mitte 2005 dürfen Hausmüll und hausmüllähnliche Siedlungsabfälle in Deutschland nur noch nach einer Vorbehandlung abgelagert werden. Aufgrund der Vorbehandlung unterscheiden sich die abzulagernden Abfälle bzw. Behandlungsrückstände signifikant von den bis dahin abgelagerten Abfällen sowohl hinsichtlich der chemisch-physikalischen und biologischen als auch der abfallmechanischen Eigenschaften. Die großtechnischen Erfahrungen zum Ablagerungsverhalten von mechanisch-biologisch vorbehandelten Abfällen (MBA) waren zum Zeitpunkt der Umstellung gering. Differen-

zierte Vorgaben zum Ablagerungsbetrieb und zum Aufbau entsprechender Deponiekörper mussten unter Berücksichtigung standortbezogener Randbedingungen, der jeweils spezifischen Abfallzusammensetzung und der physikalischen sowie mechanischen Eigenschaften erst entwickelt werden.

Der vorliegende Beitrag skizziert die Anforderungen des Landes Niedersachsen an den Einbau von MBA-Material und deren Umsetzung im MBA-Deponieabschnitt der Deponie Hillern im Landkreis Soltau-Fallingb. In diesem Zusammenhang werden die Ergebnisse geotechnischer Nachweise zum Aufbau des MBA-Deponiekörpers und die daraus resultierenden Vorgaben zum Einbaubetrieb dargestellt.

Das Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner (IFAS), hat die Einbauversuche zur Ablagerung des MBA-Materials auf der Deponie Hillern Mitte 2005 koordiniert und begleitet seitdem den Einbaubetrieb (Hupe et al., 2006). Die Durchführung der geotechnischen Untersuchungen und die geotechnischen Nachweise zum Einbau der MBA-Materialien erfolgten in Zusammenarbeit mit dem Ingenieurbüro Prof. Dr.-Ing. Walter Rodatz und Partner, Beratende Ingenieure für Geotechnik GmbH (RuP) und dem Institut für Grundbau und Bodenmechanik der Technischen Universität Braunschweig (IGB-TUBS).

2 Randbedingungen

2.1 Grundsätzliches zur Standsicherheit von MBA-Deponien

Standsicherheitsprobleme wie Böschungsbrüche sind bei Siedlungsabfalldeponien in Deutschland, auf denen bis Mitte 2005 Abfälle unvorbehandelt abgelagert wurden, bisher kaum aufgetreten. Maßgeblich dafür ist u.a. die vergleichsweise hohe Zugfestigkeit des frischen Hausmülls, insbesondere durch festigkeitserhöhende Fasern, die sog. Faserkohäsion (Kölsch, 1996) und teilweise grobstückige Deponate sowie die vergleichsweise hohe Durchlässigkeit infolge der heterogenen Struktur.

MBA-Material hat dagegen eine grundsätzlich andere strukturelle Zusammensetzung und geotechnische Charakteristik: Durch die Ausschleusung von bewehrungsartigen Fasermaterialien wird u.a. die Zugfestigkeit vermindert und durch die Vorbehandlung das Deponat wesentlich feiner, homogener und auch geringer durchlässig. Die mechanisch-hydraulischen Eigenschaften von MBA-Material können danach zwischen grobstrukturiertem konventionellem Hausmüll und feinstrukturiertem Klärschlamm erwartet werden.

Standsicherheitsprobleme in Deponien stehen häufig in engem Zusammenhang mit dem Wasserhaushalt und dem Entwässerungsverhalten der abgelagerten Abfälle. Rodatz und Oltmanns (1993) erläutern beispielsweise die Rutschung von 80.000 m³ kondi-

tioniertem Klärschlamm (Festigkeit $\varphi' = 34^\circ$, Durchlässigkeit $k_f = 1 \times 10^{-9}$ m/s) einer 19 m hohen Böschung infolge Porenwasserüberdruck bei Umlagerungsarbeiten.

Porenwasserdruck $u = \gamma_w \times h_w$ entsteht in wassergesättigten Deponaten, insbesondere bei hohem Einbauwassergehalt oder Vernässung und ungünstiger Drainage, und ist bei Standsicherheitsnachweisen zu berücksichtigen (s. a. NMU, 2007/8) Porenwasserüberdruck Δu entsteht bei Spannungsinkrementen $\Delta \sigma$ z.B. infolge weiterer Schüttstufen oder bei Deformationen des Deponiekörpers. Bei Totalspannungsanalysen muss u.a. die undrained Festigkeit bekannt sein und darf der Porenwasserüberdruck vernachlässigt werden. Bei Effektivspannungsanalysen u.a. mit dränierten Festigkeiten muss der Porenwasserüberdruck berücksichtigt werden.

Praxisüblich werden von MBA-Materialien die dränierten Festigkeitsparameter Reibungswinkel φ' und Kohäsion c' sowie die Steifigkeit E_s labortechnisch ermittelt und nach den einschlägigen geotechnischen Methoden daraus charakteristische Werte für Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsnachweise abgeleitet. Mit den charakteristischen Festigkeiten, Wichten und ggf. Wasserständen werden dann für den geplanten Deponieaufbau

- die Standsicherheit, hier: die Böschungsbruchsicherheit, für erforderliche globale Sicherheiten (bis 2007) bzw. mit Partialsicherheiten (spätestens ab 2008) und
- die Gebrauchstauglichkeit, hier: systemverträgliche Deformationen, nachgewiesen.

Erforderliche Sicherheiten orientieren sich dabei im Allgemeinen an geotechnischen Situationen resp. Lastfällen.

2.2 MBA-Abschnitt der Deponie Hillern

Die mechanisch-biologische Abfallbehandlung der auf der Deponie Hillern abgelagerten Abfälle erfolgt in der RABA Bassum. Die Einbaufläche im MBA-Abschnitt beträgt an der Basis ca. 5.000 m². Bei einer Ablagerungsmenge von 26.000-30.000 Mg/a ab 2008 beträgt die jährliche Zunahme der Ablagerungsmächtigkeit ca. 4-5 m. Der MBA-Deponiekörper wird den angrenzenden Deponieabschnitt, der bis Mitte 2005 mit unvorbehandelten Siedlungsabfällen befüllt wurde, in zwei Böschungsbereichen überlagern.

Auf der Grundlage der im Sommer 2005 von IFAS betreuten Untersuchungen zur verordnungsgemäßen Ablagerung des MBA-Materials im MBA-Versuchsfeld erfolgt der Regeleinbau mit einer Raupe und einem 30 Mg-Kompaktor, der bereits vorher im Einbaubetrieb eingesetzt wurde. Die dabei erreichbare Einbaudichte im Regelbetrieb liegt bei 0,65 kg_{TM}/l (bzw. 95% des Wertes gemäß Anhang 3 AbfAbIV) bei einem anzustrebenden Wassergehalt von 25-30 % bezogen auf die Feuchtmasse (Hupe et al., 2006). Im Einbaubetrieb wurde im Zeitraum 2005-2008 eine mittlere Einbaudichte von 0,66-

0,86 kg_{TM}/l bei einem Wassergehalt von 17-32% bezogen auf die Feuchtmasse erreicht. Damit liegen die ermittelten Einbaudichten in einer Größenordnung, die auch an anderen Standorten festgestellt werden:

- Einbaudichten für eine MBA-Reststofffraktion < 60 mm von 0,6-0,9 kg_{TM}/l (Kühle-Weidemeier, 2004)
- Trockendichten in Abhängigkeit von der Trockenrohdichte des Materials und der gewählten Einbautechnik: 0,75-0,88 kg_{TM}/l (Entenmann, 2007)
- Ergebnisse der Bestimmung der Trockendichten für 7 Deponien 0,75-1,12 kg_{TM}/l (Entenmann, 2008)

2.3 Abfallmechanische und -hydraulische Parameter

Für die geotechnischen Nachweise wie die Standsicherheit der Deponieaußenböschungen und das Last-Zeit-Setzungsverhalten, müssen die charakteristischen abfallmechanischen und -hydraulischen Parameter der abzulagernden Abfälle bekannt sein. Da diese Parameter für MBA-Material aus üblichen (geotechnisch) klassifizierenden Parametern nicht indirekt ableitbar sind, waren dafür projektspezifische Laboruntersuchungen erforderlich. Bei MBA-Materialien ist u.a. zu berücksichtigen, dass es sich um nicht bodenähnliche Abfälle handelt und die gegenüber herkömmlichen unbehandelten Siedlungsabfällen Zugkraft aufnehmenden und bewehrend wirkenden Abfallbestandteile weitgehend fehlen. Für die Nachweise der Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit wurden labortechnisch folgende Parameter analog zu geotechnischen Verfahren standortbezogen bestimmt (s. a. Abschnitt 4):

- Wassergehalt nach DIN 18 121
- Proctordichte und optimaler Wassergehalt nach DIN 18 127
- Korngrößenverteilung über Nasssiebung nach DIN 18 123
- Scherparameter im Scherversuch im Großrahmenschergerät nach DIN 18 137
- Durchlässigkeit gemäß DIN 18 130 (k-Wert-Bestimmung)

3 Anforderungen an den Einbau von MBA-Material

3.1 Niedersächsische Anforderungen

Das Niedersächsische Umweltministerium hat im April 2007 Festlegungen zum Einbau mechanisch-biologisch behandelter Abfälle getroffen. Die Festlegungen wurden vom Niedersächsischen Umweltministerium im Januar 2008 durch Hinweise zur Ermittlung

der abfallmechanischen Parameter, zur Überwachung des Porenwasserüberdrucks und zur Minimierung der Sickerwasserbildung ergänzt. Im Folgenden werden die Anforderungen an die geotechnische Stabilität aufgegriffen sowie Maßnahmen zur Minimierung des Eintrags von Niederschlagswasser und zur Begrenzung der Sickerwassermenge in MBA-Deponien/Deponieabschnitten erläutert. Hinsichtlich der geotechnischen Stabilität werden dabei Anforderungen an folgende Parameter und Maßnahmen formuliert:

- Standsicherheit
- Prüfung und Einsatz geeigneter bautechnischer Maßnahmen
- Einbaubetrieb
- Monitoringmaßnahmen (in Verbindung mit betriebsbegleitenden Nachrüstungsmaßnahmen)
- Dokumentation und Auswertung der Betriebs- und Überwachungsmaßnahmen

3.2 Standsicherheit und Einbaubetrieb

Wesentliche Anforderungen zur Ablagerung von MBA-Material auf Deponien/ Deponieabschnitten in Niedersachsen sind:

Standsicherheit: „Es muss daher sichergestellt sein, dass die Standsicherheit durch Reibung im Deponiekörper oder durch Widerlager gewährleistet ist. Porenwasserüberdruck kann maßgeblich zur Reduzierung der Reibung beitragen und somit zur Gefährdung der Standsicherheit führen. Sofern kein ausreichendes Widerlager vorhanden ist, darf das Entstehen von Porenwasserüberdruck nur zugelassen werden, wenn nachweislich die Standsicherheit hierdurch nicht gefährdet wird. Anderenfalls sind Maßnahmen zu ergreifen, um das Entstehen von Porenwasserüberdruck grundsätzlich zu vermeiden.“

Entwässerungselemente im Deponiekörper: „Der Gefahr der Bildung von Porenwasserüberdruck in gering durchlässigen Deponiekörpern kann auch durch Verkürzung des Fließweges des Sickerwassers begegnet werden. Hierzu können grundsätzlich linienförmige sowie horizontale oder senkrechte flächige Entwässerungselemente im Deponiekörper eingebaut werden. Für die Herstellung derartiger Dränkörper können auch geeignete Abfälle verwendet werden, wenn sie die Anforderungen der AbfAbIV bzw. DepVerwV einhalten. Die Dränkörper sind unmittelbar an die Sickerwasserfassung der Deponie anzuschließen.“

Zum Nachweis der Standsicherheit sind standortbezogen Laborversuche zur Bestimmung der Scherfestigkeit, Wasserdurchlässigkeit und Kompressibilität vorzunehmen. Alternativ können die Messwerte entsprechender Parameter aus Verbundprojekten zu-

grunde gelegt werden, wenn ein Sachverständiger die Übertragbarkeit zu der jeweiligen Einzeldeponie bestätigt. Auf dieser Grundlage erfolgt bezogen auf die Deponierandbedingungen der Nachweis, unter welchen Voraussetzungen ein Porenwasserüberdruck und eine Gefährdung der Standsicherheit nicht auftreten.

Bei den Nachweisen müssen die Aufbaugeschwindigkeit des MBA-Deponiekörpers und die möglichen Auswirkungen auf den Porenwasserdruck berücksichtigt werden. In diesem Zusammenhang ist durch Versuche nachzuweisen, dass zur Vermeidung von standsicherheitsgefährdendem Porenwasserdruck der Deponiekörper auch bei kompakter Lagerung eine ausreichende Wasserdurchlässigkeit bzw. zügige Konsolidation, d.h. einen zügigen Abbau der Porenwasserüberdrücke, aufweist.

Mit Blick auf kritische Porenwasserdrücke bzw. -überdrücke wurden für die MBA-Deponie Hillern vorsorglich drainierende Zwischenschichten entwickelt und in die rechnerische Nachweisführung einbezogen (s. a. Abschnitt 5). Mit dieser konstruktiven Möglichkeit zur Minimierung potenzieller Porenwasserdrücke kann auf Messungen der Porenwasserdrücke während des Deponiebetriebs verzichtet werden.

3.3 Maßnahmen zur Minimierung des Niederschlagseintrags und der Sickerwasserbildung

Nach der Änderung der AbfAbIV ist es nicht mehr zwingend vorgeschrieben, die Oberfläche des Einbaubereichs für MBA-Abfälle mit wasserundurchlässigen Materialien abzudecken. Nur „soweit erforderlich sind weitere bautechnische Maßnahmen zur Minimierung des Eintrags von Niederschlagswasser zu treffen“.

Für die Deponie Hillern hat es sich im Einbaubetrieb der MBA-Abfälle als vorteilhaft herausgestellt, wenn aus technischen wie betrieblichen Gründen auf eine temporäre Abdeckung des aktuellen Einbaubereichs mit wasserundurchlässigen Materialien verzichtet wird. Es werden dafür u.a. ergänzende Monitoringmaßnahmen zur Überwachung des Wasserhaushalts durchgeführt.

Gemäß den niedersächsischen Anforderungen zur Ablagerung von MBA-Material muss die Sickerwasserbildung in einem MBA-Deponieabschnitt so gering wie nach dem Stand der Technik möglich gehalten werden und darf die Größenordnung von 7% des Jahresniederschlags nicht übersteigen .

Der Einbaubetrieb auf dem MBA-Abschnitt der Deponie Hillern wird dieser Anforderung weitestgehend gerecht, indem folgende Maßnahmen ergriffen werden:

- Der offene Einbaubereich wird auf das Maß begrenzt, das für einen technisch einwandfreien, reibungslosen Einbaubetrieb erforderlich ist.

- Über längere Zeit nicht beschickte Bereiche werden im Winterhalbjahr nach Erfordernis mit einer temporären Abdeckung versehen, so dass Niederschlagswasser abgeleitet wird.
- Die MBA-Abfälle werden relativ trocken abgelagert und weisen eine nennenswerte Wasserhaltekapazität auf, so dass auch über die Verdunstung der offenen Einbaufläche wenig Niederschlag in den tieferen MBA-Deponiekörper eindringt und zur klimatischen Sickerwasserneubildung führt.

Die bisherigen Beobachtungen zum Sickerwasserabfluss bestätigen diesen Sachverhalt. Im Sommer 2006 und 2007 war über längere Zeiträume keinerlei Sickerwasserabfluss in der Basisdrainage festzustellen. Im Winter fließt Sickerwasser nur sehr geringfügig. Selbst nach Regenereignissen tritt kein nennenswert erhöhter Sickerwasserabfluss auf. Damit werden die Anforderungen an die Minimierung der Sickerwasserbildung erfüllt.

4 Laboruntersuchungen zur Bestimmung geotechnischer Parameter

4.1 Gesamtübersicht

Die Ergebnisse der projektspezifischen Laboruntersuchungen an repräsentativen MBA-Abfallfeststoffen, hier: frische MBA-Abfälle und drei Monate abgelagerte MBA-Abfälle aus dem Deponiekörper, sind in der Tabelle 4.1 zusammengestellt.

Tab. 4.1: Geotechnische Parameter an frischen und abgelagerten MBA-Feststoffproben der Deponie Hillern

MBA-Feststoffprobe	Wassergehalt DIN 18121		Durchlässigkeit k_{10}	Steifemodul E_s	Proctordichte ρ_{pr}	
	Mittelwert [% TM]	Mittelwert [% FM]			Bezug TM [g/cm ³]	Bezug FM [g/cm ³]
3 Monate abgelagertes MBA-Material (MBA-A mit je drei Einzelproben)						
MBA-A1	58	37	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
MBA-A2	64	39	3×10^{-10}	1,1 - 2,5	0,862	1,411
Frisches MBA-Material (MBA-N mit je drei Einzelproben)						
MBA-N1	47	32	n.b.	n.b.	n.b.	n.b.
MBA-N2	47	32	2×10^{-6}	1,4 - 2,1	0,856	1,260

TM: Trockenmasse; FM: Feuchtmasse; n.b.: nicht bestimmt

4.2 Wassergehalt

Von den vier Probenchargen wurden jeweils drei Einzelproben entnommen und auf die Wassergehalte untersucht. Die beiden Frischproben zeigen sehr homogene Wasserge-

halte von etwa 47 %-TM bzw. 32 %-FM. Die Abfallproben nach 3-monatiger Lagerung zeigen dagegen heterogene Wassergehalte, die den kleinräumig unterschiedlichen Wasserhaushalt im MBA-Deponiekörper widerspiegeln. Sie liegen im Mittelwert bei 58 – 64 %-TM bzw. bei 37 – 39 %-FM.

4.3 Verdichtbarkeit (Proctordichte)

Die Verdichtbarkeit des MBA-Materials wurde im Proctorversuch gemäß DIN 18127 (Proctorarbeit $W \approx 0,6 \text{ MNm/m}^3$, Versuchszylinder $D = 20,4 \text{ cm}$) bestimmt.

Tab. 4.2: Ergebnisse der Laboruntersuchungen zur Proctordichte an MBA-Material der Deponie Hillern (IGB TUBS)

Parameter	Frischmaterial	Abgelagertes
	MBA-N2	Material MBA-A2
Wassergehalt [%-FM]	32,1	38,9
Wassergehalt [%-TM]	47,2	63,8
Proctordichte ρ_{pr} [g/cm^3]	0,856	0,862
Dichte der feuchten Probe [g/cm^3]	1,260	1,411

FM: Feuchtmasse, TM: Trockenmasse

Die Untersuchungsergebnisse liegen im oberen Bereich der Proctordichten, die bereits bei vorangegangenen Untersuchungen im Bereich von $0,77$ bis $0,84 \text{ g/cm}^3$ bei w_{Pr} von 47–52 % für frisches MBA-Material bestimmt wurden. Die Ergebnisse liegen in der praxisüblichen MBA-Bandbreite.

4.4 Durchlässigkeit

Die Ermittlung der Wasserdurchlässigkeit erfolgte nach DIN 18130-1 an zwei MBA-Feststoffproben über einen Zeitraum von fünf Wochen. Die bei den Laborversuchen ermittelten Durchlässigkeitsbeiwerte k_{10} (Elementversuch) betragen:

- Frischmaterial MBA-N2 $k_{10} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m/s}$
- Abgelagertes Material MBA-A2 $k_{10} = 3 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$

Aufgrund der stofflichen Zusammensetzung mit einem vergleichsweise geringen Feinanteil wurde unter Berücksichtigung der Literaturangaben für die Standsicherheits- und Deformationsnachweise für das MBA-Material der Deponie Hillern der Durchlässigkeitsbeiwert $k_f = 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$ (mittlere Systemdurchlässigkeit) angesetzt. Zudem wurde als Grenzfallbetrachtung im Rahmen einer Sensitivitätsstudie die Standsicherheit für lokale Durchlässigkeiten $k_f = 1 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ untersucht.

4.5 Steifigkeit

Der Steifemodul E_S wurde in Anlehnung an DIN 18135 unter den in Tabelle 4.3 aufgeführten Randbedingungen ermittelt. Die Kompressionsversuche erfolgten in acht Laststufen $\sigma_v = 0,02-0,25 \text{ MN/m}^2$ mit Ent- und Wiederbelastungszyklen zwecks Simulation der in situ Spannungen (Verdichtungs- und Überlagerungsdruck) mit Spannungskrementen infolge Überschüttung sowie drei Zeitsetzungsaufnahmen an zwei MBA-Proben.

Tab. 4.3: Ergebnisse der Laboruntersuchungen zum Steifemodul E_S an MBA-Material der Deponie Hillern (IGB TUBS)

Parameter	Frischmaterial	Abgelagertes
	MBA-N2	Material MBA-A2
Einbau-Wassergehalt [%-TM]	47	64
Ausbau-Wassergehalt [%-TM]	41	48
Einbaudichte $\rho_{d,E}$ [g/cm ³]	0,85	0,86
E_S [MN/m ²] bei $\sigma = 0,02$ bis $0,06 \text{ MN/m}^2$	1	1
E_S [MN/m ²] bei $\sigma = 0,06$ bis $0,12 \text{ MN/m}^2$	2	2
E_S [MN/m ²] bei $\sigma = 0,12$ bis $0,25 \text{ MN/m}^2$	7	7

TM: Trockenmasse

Beim frischen wie beim abgelagerten MBA-Material wurden bei gleichen Belastungsstufen die gleichen Steifemoduli ermittelt. Bei beiden Feststoffproben trat ein ausgeprägtes Zeit-Setzungsverhalten auf. Der (geotechnische) Übergang von Konsolidationssetzungen (endliche Primärsetzungen) zu Kriechsetzungen ('unendliche' Sekundärsetzungen) war nicht eindeutig. Während bei dem abgelagerten Material im Versuch nach etwa drei Wochen die Primärsetzungen abklagen, waren bei dem Frischmaterial nach 4–5 Wochen gleiche bis teilweise zunehmende Setzungsgeschwindigkeiten zu verzeichnen. Die Ursache hierfür dürfte bei dem frischen Material der noch etwas aktivere biologisch-chemische Abbauprozess sein.

Bei den Nachweisen wurde die Steifigkeit der MBA-Deponate mit Blick auf das Zeit-Setzungsverhalten bzw. auf potenzielle Kriechsetzungen zur sicheren Seite angesetzt mit $E_{S,k} = 1 \text{ MN/m}^2$ bei $\Delta\sigma = 0,02-0,25 \text{ MN/m}^2$.

5 Geotechnische Nachweise

5.1 Annahmen und Randbedingungen

Die geotechnischen, hydraulischen und geostatischen Berechnungen erfolgten für den MBA-Deponiekörper in Hillern unter Berücksichtigung

- der standortbezogenen Randbedingungen,
- der Ergebnisse der Laboruntersuchungen,
- der zur Zeit gültigen Vorschriften, Normen und Empfehlungen,
- der Verkehrslasten auf dem Gelände,
- des Einbaus von drainierenden Zwischenschichten in den MBA Deponiekörper und
- des Versagens der drainierenden Zwischenschichten, was letztlich einem Vergleich zur Standsicherheit ohne drainierende Zwischenschichten entspricht.

Für die geotechnischen Nachweise wurden aufgrund der eigenen Untersuchungen im Spiegel weiterer Literaturangaben folgende Parameter gewählt:

- mittlere Feuchtwichte $\gamma_k = 12 - 15 \text{ kN/m}^3$
- Sättigungsgrad S_R bei mittleren Korndichten $\rho_s = 2,0 - 2,5 \text{ g/cm}^3$ für
 - frisches MBA-Material $S_R = 65 - 75 \%$ bei $w = 47 \%$
 - abgelagertes MBA-Material $S_R = 85 - 95 \%$ bei $w = 64 \%$
- Berechnungen mit Sättigungsgrad S_R konservativ, d.h. auf der sicheren Seite mit
 - MBA-Material Hillern $S_R = 100 \%$

Weitere Randbedingungen der Ablagerung der MBA-Abfälle auf der Deponie Hillern sind:

- Einbaufläche an der Basis: ca. 5.000 m^2
- Ablagerungsmenge jährlich: $20.000 - 24.000 \text{ Mg/a}$
- Zunahme der Ablagerungsmächtigkeit jährlich: ca. $4 - 5 \text{ m/a}$
- Variation der Einbaumengen bzw. saisonal- oder witterungsbedingter diskontinuierlicher Einbaubetrieb resp. variierende Schüttgeschwindigkeiten

Drainierende flächige Zwischenschichten werden im MBA-Deponiekörper mit 5 m vertikalem Abstand, 30 cm Mächtigkeit und $1,5\%$ Gefälle nach außen angelegt und in den geotechnischen Nachweisen entsprechend berücksichtigt. In Verbindung mit der möglichen Sättigung des MBA-Materials von $S_R = 100\%$ ergibt sich danach bei den Regelastfällen mit sukzessiver Erhöhung des Abfallkörpers u. a. ein jeweils auflastinduzierter Porenwasserüberdruck infolge 1 m mächtiger Schüttlage mit Konsolidation von 5 m mächtigen Lagen bei druckloser Entwässerung in die Drainagen.

5.2 Böschungsstandsicherheit

Die Böschungsstandsicherheit η wurde im Sinne der DIN 4084 unter Variation möglicher kreisförmiger und polygonaler Gleitflächen unter Berücksichtigung des lagenweisen Aufbaus und jeweils zeitlich überschneidender Konsolidation der lagenweise eingebauten Schichten berechnet. Die nachzuweisende (in 2007: globale) Sicherheit wurde für den Betriebszustand mit $\eta \geq 1,3$ (LF 2: Bauzustand gemäß DIN 1054) und für den Endzustand mit $\eta \geq 1,4$ (LF 1 gemäß DIN 1054) angesetzt. Für die Situation „Ausfall der drainierenden Zwischenschichten“ wurde $\eta \geq 1,2$ (LF 3 gemäß DIN 1054) gewählt.

Die Durchlässigkeit des MBA-Materials wurde aufgrund der Untersuchungen generell mit $k_f = 1 \cdot 10^{-9}$ m/s angesetzt. Die zulässige maximale Schüttgeschwindigkeit wurde mit max. $v \approx 8$ m/a anfangs bis abnehmend auf max. $v = 6$ m/a bei Erreichen der Endhöhe festgelegt. Die über die Zeit veränderlichen maximalen Schüttgeschwindigkeiten v_{MBA} betragen danach

$$H_{MBA} = 0 - 3 \text{ m} \quad v_{MBA} = 0,7 \text{ m/Monat}$$

$$H_{MBA} = 3 - 13 \text{ m} \quad v_{MBA} = 0,6 \text{ m/Monat}$$

$$H_{MBA} = 13 - 18 \text{ m} \quad v_{MBA} = 0,5 \text{ m/Monat}$$

Auszugsweise betragen für Betriebszustände $H_{10} = 10 \text{ m} + 1 \text{ m}$ (Einbauhöhe) = 11 m Gesamthöhe, $H_{15} = 16 \text{ m}$ und max. $H_{18} = 19 \text{ m}$ Gesamthöhe unter Berücksichtigung des generellen Durchlässigkeitsbeiwerts $k_f = 1 \cdot 10^{-9}$ m/s die Böschungsstandsicherheiten η :

$$H_{10} = 11 \text{ m Gesamthöhe} \quad k_f \approx 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} \quad \eta = 3,05$$

$$H_{15} = 16 \text{ m Gesamthöhe} \quad k_f \approx 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} \quad \eta = 1,86$$

$$H_{18} = 19 \text{ m Gesamthöhe} \quad k_f \approx 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} \quad \eta = 1,34 \quad \eta > 1,3 \text{ (LF 2)}$$

sowie bei reduzierter Durchlässigkeit ($k_f = 1 \cdot 10^{-10}$ m/s)

$$H_{18} = 19 \text{ m Gesamthöhe} \quad k_f \approx 1 \cdot 10^{-10} \text{ m/s} \quad \eta = 1,18 \quad \eta < 1,3 \text{ (LF 2)}$$

Mit wachsender Schütthöhe nimmt die Böschungsstandsicherheit sukzessive ab, weist jedoch auch im Endzustand noch die erforderliche Standsicherheit auf. Rechnerisch läge die Böschungsstandsicherheit unmittelbar nach Erreichen der Endhöhe bei einer reduzierten Durchlässigkeit von $k_f \approx 1 \cdot 10^{-10}$ m/s in einer Schicht und insgesamt vollständig gesättigtem MBA-Material mit $\eta = 1,18$ bereits auf dem Niveau für den LF 3: Ausfall von Betriebseinrichtungen/Havarien und unter der erf. Sicherheit $\eta \geq 1,3$ (LF 2). Bei einer mittleren Durchlässigkeit des Materials der MBA-Hillern von $k_f \geq 1 \cdot 10^{-9}$ m/s kann der Einbaubetrieb planmäßig und ohne weitergehende Nachweise, z.B. für - im Sinne der Standsicherheit positive - langsamere Verfüllungen oder teilgesättigte Depo-nate erfolgen.

Als vorsichtige Annahme zur sicheren Seite wurden bei den Standsicherheitsnachweisen hohe Verfüllgeschwindigkeiten von $v_{MBA} = 0,5 - 0,7$ m/Monat angesetzt. Bereits etwa einen Monat nach Abschluss der Verfüllung auf Endhöhe erhöht sich die Böschungsstandsicherheit von $\eta = 1,34$ auf $\eta = 1,49$:

$$H_{18} = 19 \text{ m Endhöhe (1 Monat)} \quad k_f \approx 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} \quad \eta = 1,49 \quad \eta > 1,4 \text{ (LF 1)}$$

Bei Ausfall einer drainierenden Zwischenschicht oder wenn keine Drainagezwischenschichten eingerichtet würden, beträgt die Sicherheit statt $\eta = 1,49$ nur $\eta = 1,11$:

$$H_{18} = 19 \text{ m Gesamthöhe} \quad k_f \approx 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} \quad \eta = 1,11 \quad \eta < 1,3 \text{ (LF 2)}$$

Die Nachweise zeigen die positiven Auswirkungen resp. Notwendigkeit drainierender Zwischenschichten im Deponieböschungsbau bei sehr schwach durchlässigem MBA-Material. Weitere Vergleichsberechnungen bei höheren Schüttgeschwindigkeiten ergaben bei einer Höhe $H_{15} = 16$ m für

$$v_{MBA} = 0,8 \text{ m/Monat} \quad k_f \approx 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} \quad \eta = 1,69$$

$$v_{MBA} = 1,1 \text{ m/Monat} \quad k_f \approx 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} \quad \eta = 1,32 \quad \eta > 1,3 \text{ (LF 2)}$$

$$v_{MBA} = 1,7 \text{ m/Monat} \quad k_f \approx 1 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} \quad \eta = 0,63 \quad \eta \ll 1,3 \text{ (LF 2)!}$$

Danach besteht bei Schüttgeschwindigkeiten deutlich über 1 m/Monat bei gleichzeitig ungünstigem Wasserhaushalt und geringer Wasserdurchlässigkeit des Abfalls kurz nach der Schüttstufe die Gefahr eines großräumigen Böschungsbruchs. Diese Gefahr wird im Ablagerungsbetrieb auf der MBA-Deponie Hillern betrieblich und konstruktiv vermieden. Die Berechnungen wurden mit einem Reibungswinkel $\varphi_k' = 35^\circ$ des MBA-Materials durchgeführt. Scherfestigkeitsuntersuchungen am MBA-Material der RABA Bassum im Oktober 2005 hatten Reibungswinkel $\varphi' = 37 - 41^\circ$ ergeben. Die mindestens erforderliche Scherfestigkeit für die notwendige Böschungsstandsicherheit unter sonst gleichen Bedingungen ($k_f \approx 1 \cdot 10^{-9}$ m/s, $S_R = 100$ %, max. $v_{MBA} = 0,8$ m/Monat) beträgt für das Material der MBA-Hillern erf. $\varphi_k' \geq 34^\circ$:

$$\eta_{34^\circ} = 1,30 \text{ statt } \eta_{35^\circ} = 1,34 \quad \text{und damit } \eta \geq 1,3 \text{ (LF 2)}$$

5.3 Deformationsprognosen

Für die drainierenden Zwischenschichten (Schichtstärke 0,3 m, jeweils nach maximaler MBA Ablagerungsmächtigkeit bis 5 m, Neigung $N \approx 1,5\%$ nach außen) wurden unter Berücksichtigung des Aufbaus und jeweils zeitlich überschneidender Konsolidation der lagenweise eingebauten Schichten die Setzungen S ermittelt. Für die erläuterten Schüttgeschwindigkeiten wurden jeweils Konsolidationsgrade $U = 50\%$ (= 50% Restsetzungen) der unteren MBA-Schichten beim Einbau der Flächendrainagen bzw. der obo-

ren MBA-Schichten berücksichtigt. Zudem wurden als Orientierung die Setzungen für jeweilige Konsolidationsgrade $U = 100\%$, also allein aus der Kompressibilität des MBA-Materials infolge weiterer Überbauung, als mindestens zu erwartende Setzung ermittelt. Die Durchlässigkeit wurde mit $k_f \approx 1 \cdot 10^{-9}$ m/s, die Steifigkeit mit $E_{s,k} = 1$ MN/m² und die mittlere Feuchtdichte mit $\rho_k = 1,2$ g/cm³ für das MBA-Material angesetzt. Gemäß Setzungsberechnung betragen die maximalen Setzungen über dem Böschungsfuß der Altdeponie unter bzw. bei höchster Überschüttung auf dem Niveau:

$$H_{\text{Drain}} \approx 3 \text{ m} \quad \text{max. } S_{\text{Drain}} \approx 0,64 \text{ m} \quad \text{min. } S_{\text{Drain}} \approx 0,60 \text{ m}$$

$$H_{\text{Drain}} \approx 10 \text{ m} \quad \text{max. } S_{\text{Drain}} \approx 1,27 \text{ m} \quad \text{min. } S_{\text{Drain}} \approx 1,06 \text{ m}$$

$$H_{\text{Drain}} \approx 15 \text{ m} \quad \text{max. } S_{\text{Drain}} \approx 1,42 \text{ m} \quad \text{min. } S_{\text{Drain}} \approx 0,86 \text{ m}$$

$$H_{\text{DOF}} \approx 19 \text{ m} \quad \text{max. } S_{\text{DOF}} \approx 1,07 \text{ m}$$

H_{Drain} Höhenlage der drainierenden Zwischenschicht

H_{DOF} Höhenlage der Deponieoberfläche (Endhöhe MBA-Deponiekörper)

S_{Drain} Setzungen der drainierenden Zwischenschicht

Die berechneten Setzungen der Drainagen müssen durch Überhöhungen beim Einbau mit Blick auf die angestrebte Neigung $N \geq 1,5\%$ im Endzustand kompensiert werden. Die berechneten Setzungen der zwecks Abfluss von Niederschlägen geneigten Deponieoberfläche können durch Überhöhung beim Einbau oder mit Nachprofilierungen kompensiert werden.

6 Empfehlungen

Durch die mechanisch-biologische Behandlung von Siedlungsabfällen werden neben der Zusammensetzung der abzulagernden Materialien auch deren chemisch-physikalische, biologische sowie abfallmechanische Eigenschaften verändert. So müssen für neue MBA-Deponien geotechnische Nachweise erbracht und neue Anforderungen an den Einbau der MBA-Materialien berücksichtigt werden.

Im Rahmen des Beitrages werden die niedersächsischen Anforderungen an den Einbau der MBA-Materialien diskutiert und deren Umsetzung exemplarisch für den MBA-Bauabschnitt der Deponie Hillern der Abfallwirtschaft Heidekreis im Landkreis Soltau-Fallingb. dargestellt.

Im Hinblick auf die sichere Einhaltung der geomechanischen Stabilität des MBA-Deponiekörpers in Hillern und vergleichbarer MBA-Deponien leiten sich folgende Empfehlungen ab:

- Die Durchlässigkeit des MBA-Materials soll, insbesondere bei Veränderung des angelieferten MBA-Outputs, überprüft werden.
- Die Scherfestigkeit des MBA-Materials soll, insbesondere bei Veränderung des angelieferten MBA-Outputs, überprüft werden.
- Geotechnische Methoden (Kornverteilung, Wassergehalt, Verdichtbarkeit) haben bei der Klassifikation von MBA-Material orientierenden Charakter und sollten insb. hinsichtlich Festigkeit, Steifigkeit und Durchlässigkeit nicht überinterpretiert werden.
- Zur Entspannung potenzieller Porenwasserüberdrücke sollen drainierende Zwischenschichten mit Überhöhung zwecks Setzungskompensation entsprechend der Dimensionierung eingebaut werden; bei der Deponie Hillern sind dies angeordnet
 - in der Böschung zwischen dem MBA-Deponiekörper und dem angrenzenden Hausmüll (Altdeponiekörper) und
 - im MBA-Deponiekörper im vertikalen Abstand $\Delta H \approx 5$ m bei maximalen MBA-Schichtdicken $D \approx 5$ m sowie
 - mit Schichtstärke der Drainage mindestens 30 cm und
 - mit Neigung der Drainage nach Abklingen der Setzungen mindestens 1,5%.
- Die max. Schüttgeschwindigkeit soll im Regelbetrieb 5 m/Jahr nicht überschreiten.
- Die Verfüllung soll durch ein raumzeitliches Abfallkataster dokumentiert werden.
- Die geotechnischen Nachweise sollen, insbesondere wenn sich die technischen Randbedingungen auf der Deponie oder die Qualität des angelieferten MBA-Outputs ändern, überprüft und ggf. aktualisiert werden.
- Für den Einbaubetrieb sind weitere grundlegende Aspekte zu beachten:
 - Bei geringen Einbauwassergehalten und funktionstüchtiger Drainage sowie langsamer Aufbaugeschwindigkeit kann die Entstehung von Porenwasserüberdrücken minimiert werden. Damit werden die Standsicherheit erhöht und Deformationen reduziert.
 - Geneigte, glatte MBA-Oberflächen im Einbauzustand minimieren die Vernässung durch Niederschlag, mithin die ungünstige Sättigung.
 - Längerfristig nicht beschickte Ablagerungsbereiche sollen mit einer temporären Abdeckung zur Ableitung von Oberflächenwasser versehen werden.
 - Böschungen sollen im Betriebszustand maximale Neigungen von 1:3 aufweisen.

Zum Betrieb des MBA-Abschnitts auf der Deponie Hillern ist festzustellen, dass die Anforderungen des Niedersächsischen Umweltministeriums und der ZUS AWG an den Einbau von MBA Material erfüllt werden bezüglich

- der Standsicherheit,
- der Prüfung und des Einsatzes geeigneter bautechnischer Maßnahmen,
- des Einbaubetriebs,
- der Monitoringmaßnahmen (in Verbindung mit betriebsbegleitenden Nachrüstungsmaßnahmen),
- voraussichtlich der Begrenzung der Sickerwassermenge sowie
- der Dokumentation und Auswertung der Betriebs- und Überwachungsmaßnahmen.

7 Literatur

- | | | |
|---|------|--|
| Hupe, K., Heyer, K.-U.,
Stegmann, R. | 2006 | Einbauversuche mit MBA-Reststoffen – Erfahrungen von der Deponie Hillern. In: Deponietechnik 2006 (Hrsg.: Stegmann, Rettenberger, Bidlingmaier, Bilitewski, Fricke), Hamburger Berichte 29, Verlag Abfall aktuell, Stuttgart, 111-130. |
| Kölsch, F. | 1996 | Der Einfluss der Faserbestandteile auf die Scherfestigkeit von Siedlungsabfall. Mitteilungen Heft 133/1996, Leichtweiss-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig |
| Rodatz, W., Oltmanns, W. | 1993 | Rutschung einer Klärschlammdeponie bei Sanierungsmaßnahmen. 8. Christian Veder Kolloquium, Institut für Bodenmechanik und Grundbau, TU Graz |
| Kühle-Weidemeier, M. | 2004 | Konstruktion und Betrieb einer MBA-Deponie unter Berücksichtigung der rechtlichen Vorgaben und aktueller Erkenntnisse. In: AVL-Workshop „2005“ – Deponien stilllegen – Deponien weiterbetreiben – am 05.05.04 in Ludwigsburg |
| Entenmann, W. | 2007 | Einbau von MBA-Material und anderen Reststoffen auf Deponien. In: Müll-Handbuch (Hrsg.: Bilitewski, Schnurer, Zeschmar-Lahl), Erich Schmidt Verlag, Berlin, 4350 |
| Entenmann, W. | 2008 | Einbau von MBA-Material – Anforderungen, Monitoringmaßnahmen, Emissionen, Erfahrungen. In: Deponietechnik 2008 (Hrsg.: Stegmann, Rettenberger, |

		Bidlingmaier, Bilitewski, Fricke, Heyer), Hamburger Berichte 31, Verlag Abfall aktuell, Stuttgart, 249-263.
Niedersächsisches Umweltministerium	2007	Ablagerung von mechanisch-biologisch behandelten Abfällen: Umsetzung AbfAbIV Anhang 3 Nr.2 Satz 3“; ZUS AWG, Dezernat 32 – Abfallwirtschaftliche Beratung, 10.04.2007
Niedersächsisches Umweltministerium	2008	Annahme und Einbau mechanisch-biologisch behandelte Abfälle: Ergänzende Hinweise vom 16.01.2008 zum Erlass vom 10.04.2007

Anschrift der Verfasser(innen)

Dr.-Ing. Karsten Hupe, Dr.-Ing. Kai-Uwe Heyer, Prof. Dr.-Ing. Rainer Stegmann
IFAS – Ingenieurbüro für Abfallwirtschaft, Prof. R. Stegmann und Partner
Schellerdamm 19-21
21079 Hamburg
Telefon: 040 / 7711 0741 (42)
Email: info@ifas-hamburg.de

Dipl.-Ing. Wolfgang Oltmanns
PROF. DR.-ING. WALTER RODATZ UND PARTNER
Beratende Ingenieure für Geotechnik GmbH
Nußbergstraße 17
38102 Braunschweig
Telefon: 0531 / 70 136 11
Email: info@rup-geotechnik.com

Dipl.-Ing. Rainer Jäger
AHK – Abfallwirtschaft Heidekreis
Kommunale Anstalt des Landkreises Soltau-Fallingb.ostel
Bornemannstraße 4
29614 Soltau
Telefon: 05191 / 970 681