

Anlage 9

Fachgutachten zur Standsicherheit

Anlage 9.1 Nachweis zur inneren und äußeren Stabilität des Altdeponiekörpers

IAG mbH

z. Hd. Herrn Bruckschen, Herrn Adler

Ihlenberg 1

23923 Selmsdorf

12.02.2006

Deponie Ihlenberg
Nachweis zur inneren und äußeren Stabilität des Altdeponiekörpers
- Geotechnisches Gutachten -

Bericht: 1024.2/2006

Verteiler: IAG

4-fach

Inhalt: (siehe Verzeichnis auf der nächsten Seite)

Ausfertigung:

Inhaltsverzeichnis

1. Vorbemerkungen	3
2. Unterlagen	3
3. Örtliche Gegebenheiten	5
3.1 Standort, geographische Lage	5
3.2 Entwicklung des Deponiestandorts	6
3.3 Abfallwirtschaftlicher Betrieb	7
4. Standsicherheitsuntersuchungen	7
4.1 Allgemeines	8
4.2 Berechnungssysteme	9
5. Ergebnisse der Berechnungen	11
6. Zusammenfassung	12
7. Anlagen	

Anlagenverzeichnis

Anlage 1	Dr. Kölsch Geo- und Umwelttechnik GmbH, Standsicherheitsberechnungen, Bericht Nr. 1.4, Februar 2005, mit Anlagen 1.1 bis 3.1
----------	---

1. Vorbemerkungen

Die Ihlenberger Abfallentsorgungsgesellschaft (IAG) hat die Stilllegung des Altbereichs der Deponie Ihlenberg nach § 36 KrW-/AbfG angezeigt. Daraufhin hatte das Staatliche Amt für Umwelt und Natur (STAUN) Schwerin eine Anordnung für die Teilstilllegung erlassen. Im Rahmen dieser Anordnung sind dem STAUN ergänzende Unterlagen einzureichen.

Mit dem Schreiben vom 02.11.2005 wurde die GGU Wismar beauftragt, ein geotechnisches Gutachten zu erarbeiten, im dem die folgenden Themenkomplexe behandelt werden:

1. Nachweis zur inneren und äußeren Stabilität des Altdeponiekörpers,
2. Setzungsverhalten des Deponiekörpers und Erstellung einer Setzungsprognose,
3. Wirksamkeit und Langzeitbeständigkeit natürlicher und künstlicher Barrieren.

Gegenstand des vorliegenden Berichts ist Teil 1.: „Nachweis zur inneren und äußeren Stabilität des Altdeponiekörpers“. Sowohl die durchgeführten Standsicherheitsberechnungen als auch der dazugehörige Bericht sind gemäß unserem Angebot vom 04.10.2005 durch die Dr. Kölsch Geo- und Umwelttechnik GmbH, Gliesmaroder Straße 100, 38106 Braunschweig, durchgeführt worden. Der Bericht und die Programmausdrucke zu den statischen Berechnungen liegen unserem Bericht als Anlagen bei.

2. Unterlagen

Für die Bearbeitung standen folgende Unterlagen zur Verfügung:

- [U1] ARGE Ihlenberger Deponie: Historische Recherche AB026 – Bau der Ihlenberger Deponie 1979 – 1992, 1993
- [U2] Bietergemeinschaft Brunnenbaugesellschaft Lebus mbH und Rudolph Brunnenbau Spezialtiefbau GmbH: Dokumentation über den „Neubau von 7 Sickerwassermesspegeln und 2 Fallfilterbrunnen, Mai-Juni 2005
- [U3] IAG: Deponie Ihlenberg, Teilstilllegungsanzeige gemäß §36 Abs. 1 KrW-/AbfG,

Ordner 1 von 3, Januar 2001

- [U4] IAG: Deponie Ihlenberg, Teilstillegungsanzeige gemäß §36 Abs. 1 KrW-/AbfG, Ordner 2 von 3, Januar 2001
- [U5] IAG: Deponie Ihlenberg (Deponiealtbereich), Ergänzende Unterlage zur Teilstillegungsanzeige, Mai 2004
- [U6] IAG: Deponie Ihlenberg, Betriebsplan 2005, Lageplan Entwicklungsstand der Deponie (Aufmaß Aug. 2005), Maßstab 1:2000

Berichte des Ingenieurbüros Dr.-Ing. Lehnert und Dipl.-Ing. Wittorf, Lübeck:

- [U7] 20.02.2004, Bericht D 20104 / 3.7.1, Standsicherheit der Böschungen, Prognose der zukünftigen Entwicklungen, Sickerwasserstände,
- [U8] 29.11.2003, Bericht D 20103 / 3.6.1, Standsicherheitsberechnungen, neue Kennwerte zu den Abfallschichten (Hausmüll, Klärschlamm)
- [U9] 26.09.2003, Bericht D 20103 / 3.6, Standsicherheit der Böschungen mit neu ermittelten Scherfestigkeitskennwerten für Abfall (Dr. Kölsch, September 2003), Schnitt I, II
- [U10] 11.04.2001, Bericht D 20101 / 3, Standsicherheit der Böschungen Prognose der zukünftigen Entwicklungen, Zeitpunkt Ende 2000, Schnitte I, II, Pegelwasserstände
- [U11] 30.04.2001, Bericht D 20101 / 3.1, Standsicherheit der Böschungen, Prognose der zukünftigen Entwicklungen – Nachtrag: Betriebsböschung BA. 1.2 –
- [U12] 20.06.2001, Bericht D 20101 / 3.2, Verbundfestigkeit zwischen KDB und Schutzschicht bzw. der mineralischen Dichtung, Vortriebsflächen BA. 5.3 und 1.1 der Deponie Ihlenberg
- [U13] 12.12.2001, Bericht D 20101 / 3.3, Standsicherheit der Böschungen, Prognose der zukünftigen Entwicklungen (Sonderprobenauswertung am Klärschlamm, Enslinversuch, Scherversuch)
- [U14] 19.02.2002, Bericht D 20101 / 3.4, Standsicherheit der Böschungen, Prognose der zukünftigen Entwicklungen (Betriebsplan 2002)
- [U15] 13.12.2002, Bericht D 20101 / 3.5, Standsicherheit der Böschungen, Prognose der zukünftigen Entwicklungen (Betriebsplan 2002), im Jahr 2002 um 1 m angestiegene

Sickerwasserstände

- [U16] Planunterlagen: Lage der Pegel und Gasbrunnen, Dezember 2002, Bodenprofile Schnitt 1, 21.11.2002, Bodenprofile Schnitt 2, 21.11.2002, Bodenprofile Schnitt 3, 21.11.2002, Bodenprofile Schnitt 4, 21.11.2002, Bodenprofile Schnitt 1, 21.11.2002
- [U17] Bietergemeinschaft Brunnenbaugesellschaft Lebus mbH und Rudolph Brunnenbau Spezialtiefbau GmbH: Dokumentation über den „Neubau von 7 Sickerwassermesspegeln und 2 Fallfilterbrunnen, Mai-Juni 2005
- [U18] IAG: Deponie Ihlenberg (Deponiealtbereich), Ergänzende Unterlage zur Teilstilllegungsanzeige, Mai 2004
- [U19] Angaben zum Vorhaben durch den Auftraggeber

Planunterlagen:

- [U20] IAG, Deponie Ihlenberg, Betriebsplan 2006, Lageplan Entwicklungszustand der Deponie, Aufmaß August 2005, Zeichnungsnummer: 051306
- [U21] IAG, Deponie Ihlenberg, Betriebsplan 2006, Lageplan Deponie Nord-Ost-Teil, Höhenlinien Endzustand, Zeichnungsnummer: 051302
- [U22] IAG, Deponie Ihlenberg, Betriebsplan 2006, Übersichtsplan Sickerpegel, Sickerwasserbrunnen und Horizontalentwässerungsbohrung, 10/2005, Zeichnungsnummer: 051306

Digitale Unterlagen

- [U23] MesspBr. 1-200 05.xls
- [U24] Pegel Standsi 04-05.xls

3. Örtliche Gegebenheiten

3.1 Standort, geographische Lage

Der Standort „Deponie Ihlenberg“ befindet sich zwischen Selmsdorf und Schönberg, direkt an der Bundesstraße B 104, und verfügt über eine Gesamtfläche von ca. 200 ha. Die bestehende Deponie ist in 6 Bauabschnitte auf ca. 67 ha aufgeteilt. Anlage 1 zeigt die örtliche Aufteilung der Deponie in Bauabschnitte.

Der Standort ist durch eine obere, nach Südosten gerichtete Hanglage an dem Höhenzug gekennzeichnet, der von Südwest nach Nordost streicht. Dieser Höhenzug bildet mit seiner Kammlinie die lokale Wasserscheide zwischen den natürlichen Vorflutern Wakenitz / Pallingener Bach und Selmsdorfer Graben im Nordwesten sowie Rupensdorfer Bach / Maurine im Südosten.

3.2 Entwicklung des Deponiestandorts

Die Deponie wurde mit fortlaufender Einlagerung in zahlreichen Bauabschnitten erweitert. Der Bericht [U1] beschreibt die Entwicklung des Deponiestandorts in verschiedenen Bauabschnitten und mit der Einlagerung verschiedenartiger Abfallstoffe. Danach können folgende Bauabschnitte unterschieden werden:

- BA 1: Einlagerung von Erdaushub, Bauschutt, Sonderabfälle zur Einlagerung in Halden, Mischdeponie für basische Abfälle,
- BA 2: Mischdeponie für saure Abfälle, Einlagerung von sauren Sonderabfällen, toxischen Abprodukten
- BA 3: Mischdeponie für basische Abfälle, Einlagerung von Klärschlämmen
- BA 4: Einlagerung von Sonderabfällen mit hohem Gefährdungsgrad,
- BA 5: Einlagerung von basischen Sonderabfällen, Kärschlämmen

In [U 1] wird außerdem die „Technische Dokumentation zur Deponie Schönberg“ vom 05.03.1981 zitiert, in der die Freigabe zur Einlagerung von:

- Flugaschen, Schlacken, Bauschutt, Siedlungsmüll, mineralölhaltige Erden, Bleicherden

erteilt wurde.

Nach [U1] war zusätzlich die Einlagerungen toxischer Abfälle laut Ministerratsbeschluss vom 15.01.19981 ab 1982 geplant.

In den jüngeren Bauabschnitten wurden nach [U19] Schlämme, mineralische Abfallstoffe und Siedlungsabfälle eingelagert.

Aus der Zusammensetzung der eingelagerten Abfallstoffe folgt gemäß der Verordnung über die umweltverträgliche Ablagerung von Siedlungsabfällen, Abfallablagerungsverordnung – AbfAbIV, die Eingruppierung der Deponie Ihlenberg in die Deponieklasse II.

3.3 Abfallwirtschaftlicher Betrieb

Die Deponie kann hinsichtlich des abfallwirtschaftlichen Betriebes eingeteilt werden in einen bereits verfüllten und abgedeckten Bereich, und in den „Restbereich“ (noch zu profilieren und abzudecken).

Die Entwicklung des gesamten „Nord-Ost-Teils“ der Deponie Ihlenberg (Deponiealtbereich) bis zum Endzustand ist aus den Planunterlagen [U20], [U21] zu erkennen. Der Plan [U20] stellt das geodätische Aufmaß des betrachteten Deponiebereichs im August 2005 dar, der Plan [U21] beschreibt die Endkubatur, und damit den Endzustand.

Der im „Restbereich“ noch bis zur Endkubatur aufzufüllende Bereich wird nach Auskunft der IAG [U19] mit mineralischen Abfallstoffen verfüllt. Die Oberflächenabdichtung wird gemäß Teilstillegungsanzeige [U5] auf den Deponiekörper aufgebracht.

4. Standsicherheitsuntersuchungen

4.1 Allgemeines

Die Standsicherheitsberechnungen wurden durch die Dr. Kölsch Geo- und Umwelttechnik GmbH, Gliesmaroder Straße 100, 38106 Braunschweig, durchgeführt. Der Bericht und die Programmausdrucke zu den statischen Berechnungen liegen unserem Bericht als Anlage 1 bei.

Nachfolgend werden die Berechnungsgrundlagen erläutert:

Geometrie:

Sowohl für den Zustand des Aufmaßes vom August 2005 gemäß [U20] als auch für die in [U21] gezeigte Endkubatur werden Standsicherheitsberechnungen an drei unterschiedlichen Schnitten durchgeführt.

Bodenkennwerte:

Die Bodenkennwerte werden aus früheren Standsicherheitsuntersuchungen übernommen ([U7] - [U15]). Für Siedlungsabfälle wird eine Faserkohäsion aus bewehrungsähnlichen Bestandteilen des Abfalls in Ansatz gebracht. Das Programmmodul STABILITY der GGU mbH berücksichtigt diese zusätzlich zum Scherwiderstand wirkenden Zugkräfte bei der Berechnung der Standsicherheiten.

Hydraulische Verhältnisse:

Die Berechnungen wurden einerseits unter Ansatz von Schichtwasserständen gemäß der in [U17] dokumentierten Bohraufschlüsse und andererseits auf der sicheren Seite liegend an einem Modell unter Annahme eines Volleinstaus unterhalb eines zusammenhängenden Wasserhorizonts im Deponiekörper durchgeführt.

Ansatz Schichtwasserstände mit Porenwasserdrucknetz:

Aus den Kenntnissen der Schichtwasserstände kann die Porenwasserdruckverteilung für die statische Sicherheit (globaler und örtlicher Böschungsbruch) abgeleitet werden. Die Grundwasserströmungen im Deponiekörper gehorchen dabei der La Place'schen Differentialgleichung und sind somit potentialtheoretisch zu behandeln. Eine geschlossene analytische Lösung der Differentialgleichung existiert nur für wenige Sonderfälle. Prakti-

sche Anwendungen erfordern daher eine numerische Lösung des untergrundhydraulischen Problems. Als flexibles numerisches Lösungsverfahren hat sich die Finite-Elemente-Methode (FEM) durchgesetzt. Dabei wird das System in viele kleine (finite) Dreieckselemente unterteilt, für die ein einfacher linearer Lösungsansatz gewählt wird. Die tatsächliche Lösung wird dann durch mosaikartiges Zusammensetzen der Teillösungen erhalten. Die Berechnungen mit der FEM erfolgten mit dem in der GGU mbH entwickelten Programmsystem GW 2 an vertikal-ebenen Schnitten für den stationären Zustand.

Die Ergebnisse dieser hydraulischen Berechnungen gehen direkt bei der Berechnung von Standsicherheiten in das Programmmodul STABILITY der GGU mbH mit ein.

Ansatz Volleinstau:

Der Deponiekörper wird unterhalb eines zusammenhängenden Wasserhorizonts als vollständig durchnässt betrachtet. Die Berechnungen liefern aufgrund der großen Einstauhöhen auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse.

Einwirkungen / Lasten:

Für die Berechnungen werden die Böschungen des Deponiekörpers nicht durch äußere Lasten belastet. Nur das Eigengewicht wirkt.

4.2 Berechnungssysteme

Exemplarisch wird in der Abbildung 1 das System mit den zugehörigen Bodenparametern entlang des Schnitts I - I gezeigt, an dem die Standsicherheitsuntersuchungen durchgeführt wurden.

Im Bereich des für die Standsicherheit maßgeblichen Ost-Hangs ist die Bodenschichtung gemäß den Bohrergebnissen nach [U2] dargestellt. Die Materialbezeichnungen werden in dem Bericht des Büros Dr. Kölsch eingehend erläutert.

„Material I“ beschreibt überwiegend Haus- und Gewerbemüll, „Material II“ hingegen ein überwiegend bodenähnliches Material. Die Kennwerte hierfür sind im Kapitel 3.1 des Berichts des Büros Dr. Kölsch erläutert.

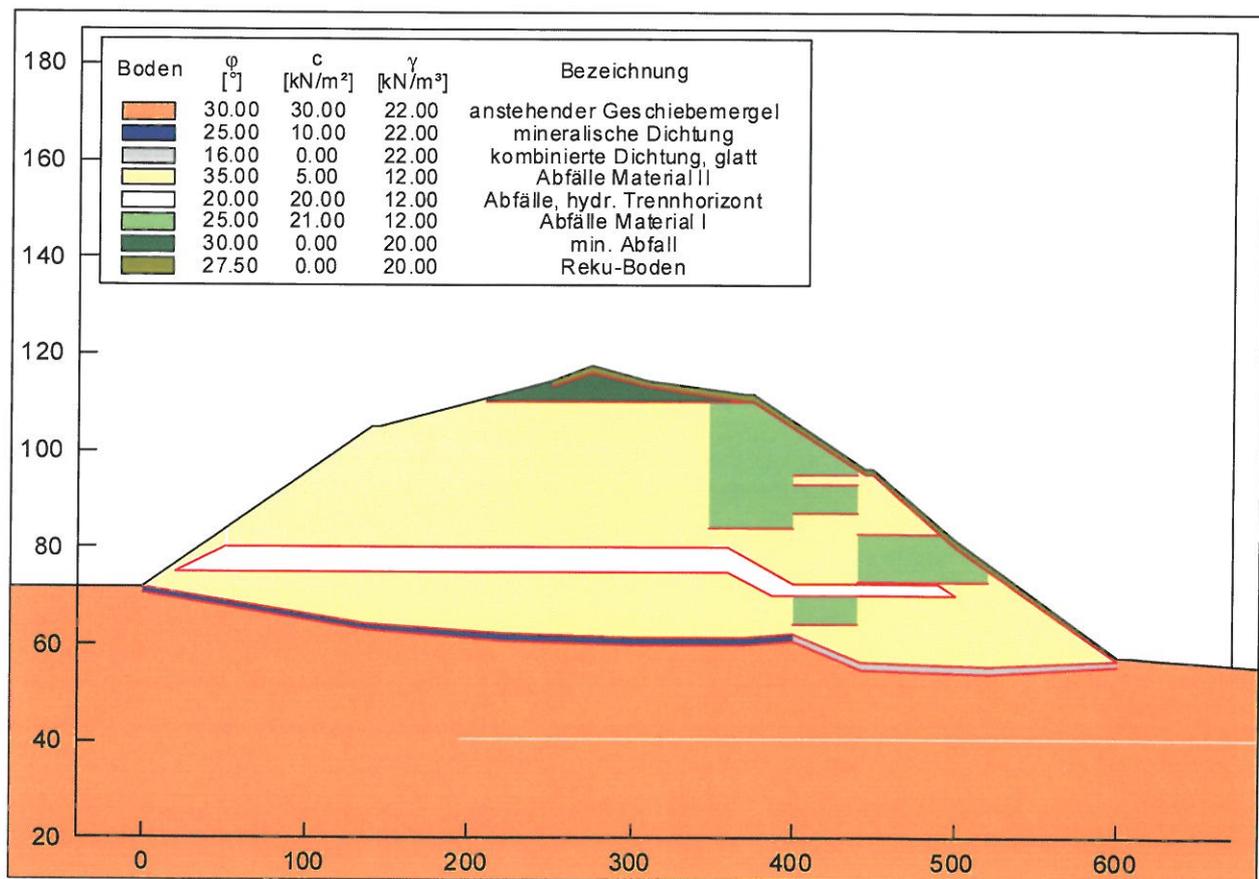


Abb. 1: Exemplarisch: Schnitt I-I der Deponie Ihlenberg mit zugehörigen Bodenparametern

Die Abbildung 1 zeigt, dass an der Basis zwischen Deponiekörper und dem Deponieuntergrund eine - glatte - Kombinations-Basisabdichtung angeordnet ist. Diese Schicht definiert für die Standsicherheitsuntersuchungen eine Gleitebene, die in den untersuchten Systemen berücksichtigt wurde. So zeigen die Anlagen 1.1 bis 3.1 des Berichts vom Büro Dr. Kölsch dort den Verlauf der maßgeblichen Gleitfuge.

Dunkelgrün ist in der Abbildung 1 die bis zur Endkubatur einzubringende Restabfallmenge aus mineralischen Abfällen nach [U19] dargestellt. Im Bereich des zu erwartenden maßgeblichen Gleitkörpers ist zusätzlich die Rekultivierungsschicht modelliert.

5. Ergebnisse der Berechnungen

Die Böschungsbruchuntersuchungen wurden für die Schnitte I - I bis III - III durchgeführt. Die Lage dieser Schnitte wird im Bericht des Büros Dr. Kölsch dargestellt. Die Berechnungen der Böschungsbruchsicherheit wurden auf der Grundlage der DIN 4084 mit dem Berechnungsverfahren und der Sicherheitsaussage nach BISHOP mit polygonalen Gleitflächen unter Verwendung des Teilsicherheitskonzepts gemäß DIN 1054:2005-01 durchgeführt. Dazu kam das Programm STABILITY der GGU mbH zum Einsatz.

Der Nachweis der Standsicherheit der Böschungen wurde für den Lastfall LF 1 im Grenzzustand des Verlusts der Gesamtstandsicherheit (GZ 1C nach DIN 1054:2005-01) geführt.

Die Eingangsdaten sowie die Ergebnisse sind dem Bericht des Büros Dr. Kölsch zu entnehmen. In den dort anliegenden Ergebnisausdrucken sind der maßgebende Gleitkörper mit der entsprechenden Porenwasserdruckbelastung sowie der errechnete Ausnutzungsgrad dargestellt.

Folgende Ergebnisse wurden ermittelt:

Schnitt	untersuchtes System	Hydraulisches System	Ausnutzungsgrad	Anlage Bericht Dr. Kölsch
I - I	Endkubatur	Volleinstau	0,88	1.1
I - I	Aufmaß Aug. 05	Volleinstau	0,88	1.2

I – I	Endkubatur mit Reku.-Schicht	Volleinstau	0,86	1.3
I – I	Endkubatur	Schichtwasserstände	0,64	1.4
II – II	Endkubatur	Volleinstau	0,84	2.1
III – III	Endkubatur	Volleinstau	0,84	3.1

Aus den Ergebnissen wird folgendes deutlich:

- Für alle Systeme, Schnitte und deren hydraulischen Verhältnisse wird ein Ausnutzungsgrad für den Lastfall LF 1 im Grenzzustand des Verlusts der Gesamtstandsicherheit (GZ 1C) von $f < 1,0$ ermittelt. Die Standsicherheit sämtlicher untersuchter Böschungssysteme ist damit nachgewiesen.
- Im direkten Vergleich zwischen den Systemen nach Anlage 1.1 (Endkubatur mit Volleinstau) und Anlage 1.4 (Endkubatur mit Schichtwasserständen) aus dem Bericht Dr. Kölsch, die sich hinsichtlich der hydraulischen Systeme unterscheiden, wird deutlich, dass für den Deponiekörper mit Schichtwasserständen – wie zu erwarten – signifikant geringere Ausnutzungsgrade berechnet werden. Die Sicherheit gegen Böschungsbruch ist dort größer.
- Die weiteren, vom Büro Dr. Kölsch durchgeführten Berechnungen der Deponie mit Volleinstau liefern daher auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse. Auch für diese Systeme wird der zulässige Ausnutzungsgrad von $f = 1$ nicht überschritten, so dass mit Ansatz von Schichtwasserständen nochmals geringere Ausnutzungsgrade ermittelt würden.

6. Zusammenfassung

Im Rahmen der Anzeige der Ihlenberger Abfallentsorgungsgesellschaft über die Stilllegung des Altbereichs der Deponie Ihlenberg sind dem STAUN Schwerin ergänzende Unterlagen einzureichen. Mit dem Schreiben vom 02.11.2005 wurde die GGU Wismar beauftragt, in

einem geotechnischen Gutachten den Nachweis zur inneren und äußeren Stabilität des Altdeponiekörpers zu erbringen.

Durch die GGU Wismar wurden die von der IAG zur Verfügung gestellten Unterlagen eingehend gesichtet und ausgewertet. Die Standsicherheitsuntersuchungen sind gemäß unserem Angebot vom 04.10.2005 durch die Dr. Kölsch Geo- und Umwelttechnik GmbH, Gliesmaroder Straße 100, 38106 Braunschweig, durchgeführt worden. Der Bericht und die Programmausdrucke zu den statischen Berechnungen liegen unserem Bericht als Anlagen bei.

Die Grundlagen für die Standsicherheitsuntersuchungen werden den durch die IAG zur Verfügung gestellten Unterlagen entnommen und in dem vorliegenden Bericht ausführlich dargelegt. Bodenkennwerte, statische Systeme und Wasserverhältnisse werden an aktuelle Geometrien und Bohrergergebnisse angepasst.

Die Standsicherheitsuntersuchungen werden auf der Grundlage der DIN 4084 mit dem Berechnungsverfahren und der Sicherheitsaussage nach BISHOP mit polygonalen Gleitflächen unter Verwendung des Teilsicherheitskonzepts gemäß DIN 1054:2005-01 durchgeführt. Dazu kam das Programm STABILITY der GGU mbH zum Einsatz.

Mit sämtlichen durchgeführten Berechnungen konnte eine ausreichende Standsicherheit des Deponiekörpers nachgewiesen werden.

Stand sicherheitsberechnungen

Projekt:

Deponie Ihlenberg
Stillgelegter Altbereich

Ihlenberger Abfallentsorgungsgesellschaft mbH

im Auftrag

der GGU Wismar

Bericht Nr. 1.5

Verfasser: Dr.-Ing. F. Kölsch
24. Mai 2006

Standsicherheitsberechnungen – Deponie Ihlenberg

1 Veranlassung

Die IAG betreibt in der Nähe der Ortschaft Selmsdorf die Deponie Ihlenberg. Zum 1.6.2005 hat die IAG die Stilllegung des Altbereiches der Deponie Ihlenberg (im weiteren „stillgelegter Altbereich“ genannt) angezeigt. Für die zugehörigen Deponieabschnitte soll im Zuge der Schließung und anschließenden Oberflächenabdichtung ein geotechnisches Gutachten vorgelegt werden. Als Gutachter wurde die GGU Wismar beauftragt, die Berechnungen zur Standsicherheit sollen von der Dr. Kölsch Geo- und Umwelttechnik GmbH (Braunschweig) durchgeführt werden. Das Ergebnis der Standsicherheitsanalyse ist Gegenstand dieses Berichtes.

2 Vorgehen

2.1 Ausgangssituation

Die hinsichtlich der Stabilität kritischen Abschnitte des stillgelegten Altbereiches liegen auf der Ostseite. Für diese Böschungsabschnitte waren seit 2001 eine Reihe von geotechnischen Gutachten durch das Ingenieurbüro für Geotechnik Dr. Lehnert, Dipl.-Ing. Wittorf erstellt worden. Das jüngste Gutachten datiert vom 20.2.2004.

Das vorliegende Gutachten knüpft an diese Vorarbeiten an. Im ersten Schritt wurden die Annahmen und Modellierungen der Gutachter machvollzogen und hinsichtlich ihrer Plausibilität und Aktualität geprüft und entsprechend überarbeitet. Die Aktualisierung der Berechnungen erfolgte unter Berücksichtigung der jüngsten Änderungen der Planung, insbesondere der gegenüber dem früher vorgesehenen Endzustand abgeänderten Geometrie, die nicht mehr die Verfüllung der Ostböschung bis zur planfestgestellten Endhöhe vorsieht. Weiterhin wurden die Berechnungen an neuere geotechnische Erkenntnisse angepasst. Auf signifikante Änderungen wird an den entsprechenden Stellen hingewiesen.

2.2 Verwendete Unterlagen

Unterlagen für die Standsicherheitsberechnungen wurden vom Deponiebetreiber IAG zur Verfügung gestellt. Als wichtigste Unterlagen wurden u.a. verwendet:

- Modellierung der Ostböschung mit vorgegebenen Gleitfiguren und Porenwasserdrucknetz. geotechnische Gutachten. Projekt Nummern D 20101/3 bis 20104/3.7, Schnitte I und II, Ingenieurbüro für Geotechnik Dr. Lehnert, Dipl.-Ing. Wittorf, 18.2.2002
- Bohrprotokolle der Pegelbohrungen im Schnitt I und II
- Deponie Ihlenberg, Betriebsplan 2006: Aufmaß 2005 (051306), Lageplan (Übersichtsplan 051315), Lageplan Höhenlinien Endzustand (051302)
- Aktuelle Pegelstände, Dateien: Pegel Standsi 04-05.xls, Messp. br. 1-200 05.xls
- Ergänzende Unterlagen zur Teilstilllegungsanzeige, IWA, AEW, Mai 2004

2.3 Örtliche Verhältnisse

Der östliche Böschungsbereich im Bereich der sogenannten „Einbuchtung“ (vgl. Abb. 1) der Deponie Ihlenberg hat eine Fläche von rund 12 ha. Der natürliche Untergrund ist ein anstehender Geschiebemergel, auf dem eine Kombinationsabdichtung errichtet wurde. Die Deponiebasis liegt etwa auf 55 mNN, die aktuelle Oberfläche auf 113 m NN. Die Endhöhe soll bei 120 m liegen, die Endkubatur soll durch die Verfüllung mineralischer Abfälle erreicht werden. Der Abfallkörper ist überwiegend trocken und nur in einigen Zonen eingestaut. Die Böschungsneigung soll im Endzustand 1:3,8 betragen.

3 Standsicherheitsberechnungen

3.1 Modellierung

Schnitte

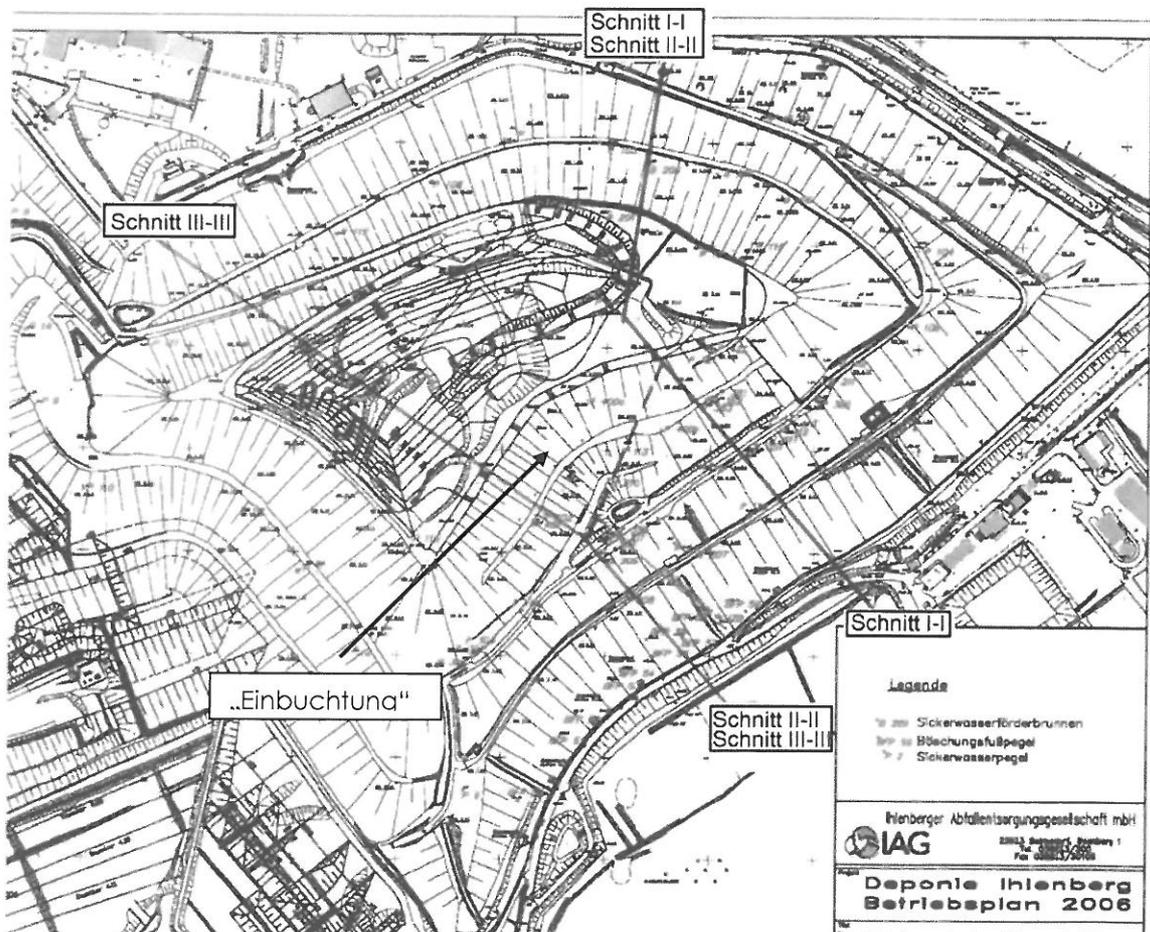


Abbildung 1: Lage der Schnitte

Es wurden für die vorliegende Standsicherheitsanalyse 3 Schnitte im Bereich der Ostböschung des stillgelegten Altkörpers untersucht. Als Schnitte wurden die bekannten Schnitte I und II untersucht (Abb. 1, gemäß Lageplan der Deponieschnitte, Gutachten 20101/3, Dr. Lehnert). Die Schnitte schneiden die Ostböschung wie in Abbildung 1 dargestellt. Beide Schnitte kreuzen nicht die geplante Gipffläche des Deponiekörpers. Es wurde daher ein Schnitt III untersucht, der im Fußbereich der Böschung dem Schnitt II entspricht, dann aber ab dem GB 6.08 dem Gradienten folgend zur Gipffläche läuft (vgl. Abb. 1, Knickpunkt). Für die beiden ursprünglichen Schnitte wurde zunächst die vorliegende Standsicherheitsberechnung nachvollzogen und anschließend die Aktualisierungen in die Berechnungen eingeführt.

Oberfläche

Bis zur Berme 113 mNN entsprechen die Oberflächengeometrien den bisher untersuchten Geometrien. In einer zweistufigen Vorgehensweise wurde zunächst die aktuell geplante Geometrie des Endzustandes (Plan 051315, Betriebsplan 2006, Anlage 8.2.3-1) für alle 3 Schnitte untersucht, mit dem Ziel, den schwächsten Schnitt zu identifizieren. Für den schwächsten Schnitt (Schnitt I) wurden zusätzlich verschiedene Varianten untersucht (aktuelle Geometrie, Einfluss der Rekultivierungsschicht). Varianten, die keine zusätzlichen Erkenntnisse zur Gefährdung erbringen, wurden nicht weiter untersucht. Dazu gehören bei den Schnitten 2 und 3 die aktuellen Geometrien (Aufhöhung berührt die Gleitfiguren nicht) und die Aufbringung der Rekultivierungsschicht (kein signifikanter Einfluss).

Wasserstände

In den vorliegenden Gutachten D 20101/3 bis 20104/3.7 (Ingenieurbüro Geotechnik, Dr. Lehnert, Dipl.-Ing. Wittorf) wurde zunächst mit einer Sickerlinie, später mit einem Porenwasserdrucknetz gerechnet. Die Modellierung der Porenwasserdrücke zeigt im Bereich der mineralischen Abdichtung einen Wasserdruck, der der Einstauhöhe der Beobachtungspiegel entspricht, d.h. es wurde von einem zusammenhängenden Wasserhorizont von der mineralischen Abdichtung bis zum höchsten Pegelstand ausgegangen (Gutachten D 20104). Diese Berechnung wurde für den Schnitt I-I nachgerechnet, jedoch unter Annahme einer Sickerlinie, die im Vergleich zum PW-Netz etwas ungünstiger ist.

Generell ist die Annahme eines Volleinstaus sehr ungünstig und entspricht nicht den Erfahrungen im Deponiebereich. In der Literatur finden sich keine Nachweise für zusammenhängende Wasserhorizonte mit mehr als 15 m Mächtigkeit. In einigen Berechnungen wurde die Modellierung dennoch beibehalten, da sie, obgleich nur bedingt realistisch, im Ergebnis auf die sichere Seite führen. Diese Berechnungen erlauben einen direkten Vergleich mit den vorliegenden Resultaten aus den Gutachten D 20101-20104 (Ingenieurbüro Geotechnik, Dr. Lehnert, Dipl.-Ing. Wittorf).

Die Wasserstände ergaben sich aus den laufenden Wasserstandsmessungen, die weitgehend konstante Wasserspiegel in den Beobachtungspiegeln zeigen. Abbildung 2 zeigt exemplarisch die Ergebnisse der Wasserstandsmessungen in den Pegeln 411-413, die auf der 89 m-Berme im Bereich des Schnittes I liegen (Ergebnisse der Wasserstandsmessungen, IAG, 2005, übermittelt als xls-Datei Prof. Glabisch).

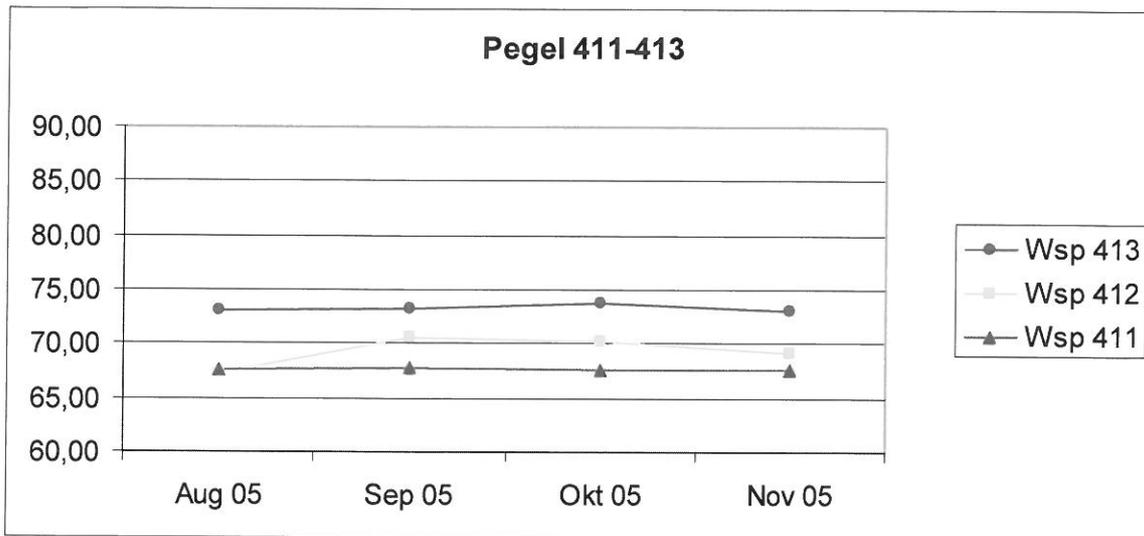


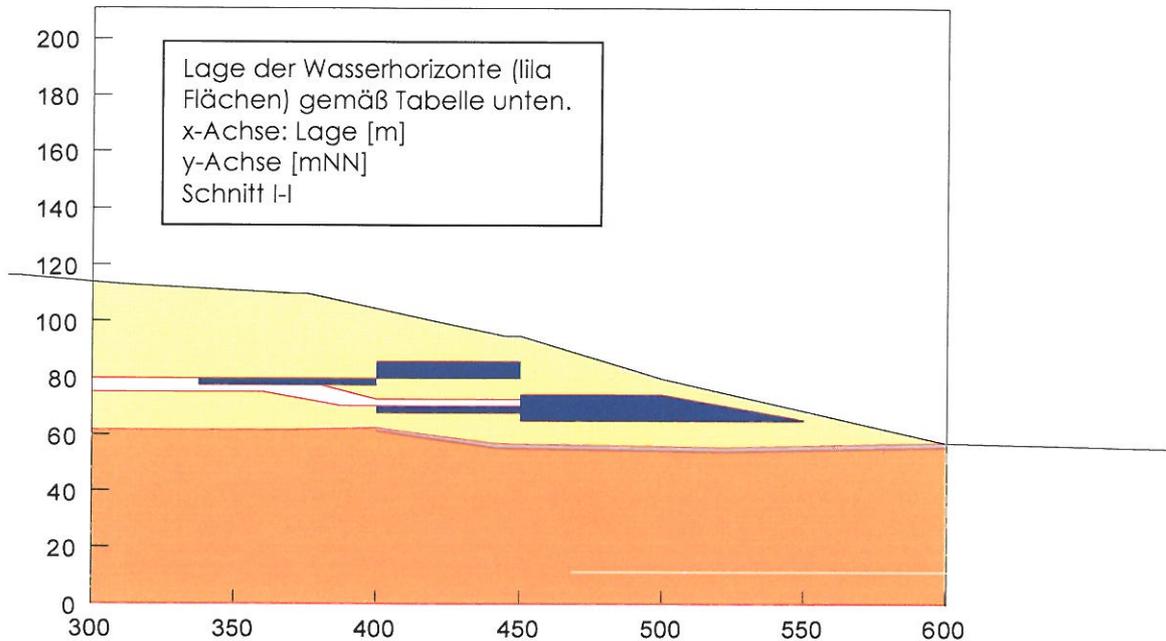
Abbildung 2: Wasserstände Pegel 411-413

Die unmittelbar benachbarten, in verschiedenen Tiefen verfilterten Pegel zeigen unterschiedliche Wasserstände, was auf „schwebende“ Wasserhorizonte schließen lässt. Für die Berechnungen, die einen Volleinstau modellieren, wurde der höchste Wasserspiegel (P 413: 74 mNN) für die Festlegung der Sickerlinie verwendet.

In den Schnitten II und III wurden für die vorliegenden Berechnungen mit dem Porenwasserdrucknetz gerechnet, vergleichbar den bisherigen Modellierungen gemäß Gutachten 20101-20104 (Ingenieurbüro Geotechnik, Dr. Lehnert, Dipl.-Ing. Wittorf). Die Porenwasserdruckverteilung zeigt keine Veränderungen an den Potentialen, da die Beobachtungspegel konstant sind (Pegel 401, 402).

Für den schwächsten Schnitt (Schnitt I) wurde zusätzlich die realistischere Variante mit „schwebenden“ Wasserhorizonten modelliert, wie sie auch in den Setzungsberechnungen verwendet wurden. Das Ergebnis zeigte erwartungsgemäß eine signifikant höhere Standsicherheit als bei Annahme einer Sickerlinie (Volleinstau), die Ergebnisse sind in Kapitel 3.3 beschrieben. Auf eine Berechnung der beiden anderen Schnitte mit „schwebenden“ Wasserhorizonten wurde verzichtet, da für die Bewertung einer Standsicherheitsgefährdung keine weiterführenden Erkenntnisse zu erwarten waren.

Die schwebenden Wasserhorizonte stützen sich auf die Erkenntnisse aus den Bohrungen zum Neubau der Sickerwassermessstellen (insbesondere 400 b/c, 421/422 und 411-413) durch die Brunnenbaugesellschaft Lebus vom Mai 2005. Die Auswertung erfolgte durch den Bodengutachter Prof. Glabisch (übermittelt als Datei Pegel_Schichtwasser.xls). Abbildung 3 zeigt die Lage der schwebenden Wasserhorizonte im Schnitt I-I. Die angegebenen Höhen der Wasserhorizonte wurden für das Raster des Porenwasserdrucknetzes (2,5 m in y-Richtung) angepasst. Die Einflussbreite (Tabelle in Abb. 3) wurde lagegemäß gemittelt.



Pegel	Höhe [mNN]	Lage (x-Wert) [m]	Einstau von-bis [mNN]	Einflussbreite (x, von-bis) [m]
421 422	109	370	77,5-80	344-400
400 b 400 c	107 100	423	67,5-70 80-86	400-450
411 412 413	87	477	65-74	450-500 abgeflacht bis 550 m

Abbildung 3: „Schwebende“ Wasserhorizonte im Schnitt I-I

Mit den angegebenen Einstauwasserständen wurden die zugehörigen Potentialhöhen in dem aus Bericht D 20103 (Ingenieurbüro Geotechnik, Dr. Lehnert, Dipl.-Ing. Wittorf) übernommenen Porenwasserdrucknetz abgeändert. Die sich daraus ergebende PW-Verteilung ist in Abbildung 4 in Form von Isolinien dargestellt. Die Gleichen liegen in den eingestauten Zonen dicht beieinander. Es ergeben sich in Folge der stark idealisierten Modellierung der „schwebenden“ Wasserhorizonte Unstetigkeitsstellen bei den Potentiallinien, so dass die Durchsickerungswege nur teilweise ersichtlich sind. Das liegt in den vereinfachten Annahmen der Modellierung begründet, nach denen es keinen Abfluss aus der oberen Stauschicht im Bereich 400-450 m in die benachbarten Bereiche gibt. Die Unstetigkeiten der Potentiallinien sind für die vorliegende Standsicherheitsberechnung jedoch nicht relevant.

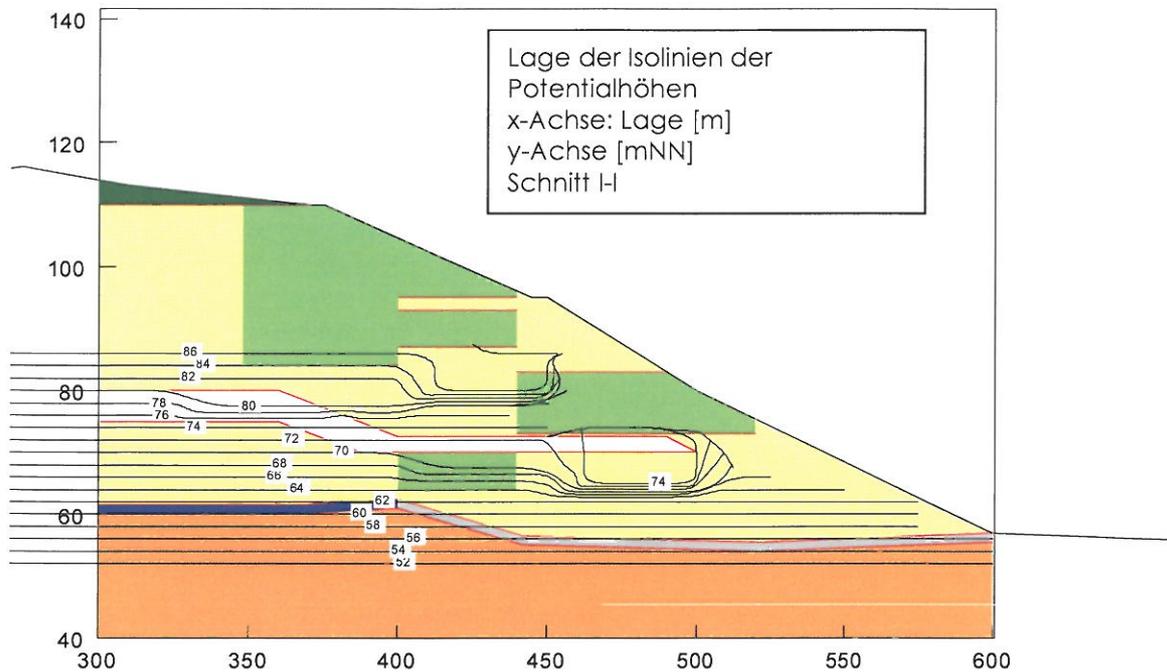


Abb. 4: Porenwasserdruckverteilung bei schwebenden Wasserhorizonten, Schnitt I-I

Der für die Standsicherheitsberechnung entscheidende Unterschied zum Ansatz einer Sickerlinie besteht darin, dass bei den schwebenden Wasserhorizonten in und unmittelbar oberhalb der Deponiebasis nicht der volle Wasserdruck aus dem Pegelwasserstand ansteht. Die effektive Normalspannung und damit die Scherwiderstände der Basis nehmen entsprechend deutlich zu (vergl. Anlage 1.1 und 1.4, Sickerlinie vs. schwebende Horizonte).

Materialkennwerte

Im Standsicherheitsgutachten D 20103/3.6 vom 26.9.2003 wurden neue Materialkennwerte in die Berechnungen eingeführt. Die in jenem Bericht dokumentierten Berechnungen unterscheiden sich grundlegend von den bis dahin vorgelegten Berechnungen. Seinerzeit wurden neuere Erkenntnisse zu den Scherparametern und zum Tragverhalten von Siedlungsabfällen berücksichtigt. Die damals angewandte Berechnungsmethode stützt sich auf die Untersuchungen von **Kölsch (1996)**, deren Ergebnisse in die jüngste Empfehlung zur Durchführung von Standsicherheitsberechnungen für Siedlungsabfalldeponien der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik eingeflossen sind (**DGGT, 1998**).

In den für das Standsicherheitsgutachten D 20103/3.6 durchgeführten Festigkeitsuntersuchungen (**Kölsch, 2003**) wurden Materialkennwerte für 2 unterschiedliche Abfallstoffe bestimmt, ein stärker bodenähnliches (Material II) und ein eher hausmüllähnliches Material (Material I), deren Materialeigenschaften in Tabelle 2 zusammengestellt sind.

Die Modellierung des Abfallkörpers erfolgte an Hand der für die Festigkeitsuntersuchung durchgeführten Bohrungen (Ebene 110 m, Tiefe 20 m) und älterer Bohrungen. Die Zuordnung der Materialkennwerte zu den jeweiligen Zonen des Deponiekörpers, sowie die zu Grunde liegenden Bohrprotokolle sind in Tabelle 1 zusammengestellt.

Ebene	Bohrpunkt	Station (Breite)	Material I	Material II	
Schnitt I					
110 m	Pegel 370	348-400 m	110-84		
					77-74
					70-63
100 m	Pegel 360	400-440 m	100-95		
					95-93
				93-87	
				64-69	
87 m	Pegel 350	440-520 m		87-83	
				83-73	
Schnitt II					
98 m	Pegel 340	410-490 m	98-84		
					78-66
85 m	Pegel 330	490-525 m	85-64		
75 m	Pegel 320	525-590 m		75-72	
				72-63	
				60-57	

Tabelle 1: Zuordnung der Ablagerungszonen zu den Materialien

Generell ergeben sich Schwierigkeiten bei der Zuordnung der untersuchten Materialien zu dem durch die Bohrfirma jeweils angesprochenen Bohrgut. Bei der Zuordnung der Materialkennwerte zu den erbohrten Bereichen wurden für die vorliegende Standsicherheitsanalyse nur jene Bereiche, deren Material in der Bohrgutansprache als „überwiegend Klärschlamm“ klassifiziert wurde, als Klärschlamm angesehen (Bereiche, die lediglich „Klärschlammanteile“ aufwiesen, jedoch nicht) und für die vorliegende Berechnung als Schichten modelliert. Diese Bewertung stützt sich auf eigene Erfahrungen, dass bei Bohrungen in durchnässten Zonen Hausmüll-Boden-Gemische als Bohrgut häufig geringe Konsistenz aufweisen, ihr Festigkeitsverhalten ist jedoch boden- und nicht schlammähnlich. Die visuelle Beurteilung täuscht dabei leicht. Die matschige Konsistenz hat ihre Ursache im hohen Wassergehalt, dessen Auswirkung in der Modellierung durch den Einstau bereits berücksichtigt ist.

Die so identifizierten Klärschlammschichten wurden in Fortführung der Bezeichnung aus den früheren Gutachten als „hydraulischer Trennhorizont“ bezeichnet, in der Berechnung wurden ihnen die entsprechenden Kennwerte zugeordnet. Analog wird jenen Bereichen, die beim Bohren als „Hausmüll mit Klärschlammanteilen“ angesprochen wurden, die Eigenschaften des Materials II zugeordnet. Diese Zuordnung unterscheidet sich von dem bisherigen Vorgehen, alle Bereiche mit Klärschlammanteilen als Klärschlamm einzustufen (D 20103/3.6.1, 29.11.03).

Für die vorliegenden Standsicherheitsuntersuchungen wurden die Festigkeitsparameter der speziellen Festigkeitsuntersuchungen verwendet, die in einem gesonderten Teilbericht (**Kölsch, 2003**) des Gutachtens D 20103/3.6 dokumentiert sind. Die abgelagerten Abfälle werden entsprechend ihrem Bodenanteil in Überwiegend Haus- und Gewerbemüll (Material I) und überwiegend bodenähnlich (Material II) unterschieden. Die Materialkennwerte für diese Materialien sind in der Tabelle 2 in einer Übersicht zusammengestellt. Materialvariationen wurden nicht durchgeführt.

Die Kennwerte wurden mit Ausnahme des Reibungswinkels für das Material I alle versuchstechnisch ermittelt (**Kölsch, 2003**). Gemäß der vorliegenden Empfehlung aus dem Festigkeitsgutachten wurde keine Abminderung der Kennwerte (üblich $\eta = 1,1$) vorgenommen, da dies bereits bei der Versuchsauswertung geschehen ist. Der Reibungswinkel des Materials I wurde vorsichtig abgeschätzt und liegt deutlich unter dem Reibungswinkel des Materials II.

	Material I Überwiegend Haus- und Gewerbemüll	Material II Überwiegend bodenähnlich
Reibungseigenschaften		
Reibungswinkel φ	25°	35°
Kohäsion c	21 kN/m ²	5
Zugeigenschaften		
Zugspannungswinkel ζ	13,7°	0°
Faserspezifische Zugfestigkeit z_{max}	100 kN/m ²	-
Aktivierungsgrad a_{ζ}	1 möglich: 0,65-1,05	-
Wichte		
	12 kN/m ³	12 kN/m ³

Tabelle 2: Übersicht über die verwendeten Materialkennwerte

Beim Ansatz der Zugfestigkeiten (aus den bewehrungsähnlichen Bestandteilen des Abfalls) wurde ein Aktivierungsfaktor a_{ζ} von 1.0 angesetzt. Der Aktivierungsfaktor a_{ζ} liegt theoretisch in einem Wertebereich von 0,65-1,05. Er beschreibt die Umsetzung von Zugkräften in Faserkohäsion (Scherwiderstand). je besser die Verbundwirkung bzw. die Einbettung der Fasern in die Kornmatrix ist, desto höher wird der Aktivierungsfaktor. Der hohe Bodenanteil der untersuchten Ihlenberger Abfälle (**Kölsch, 2003**) lässt eine gute Verbundwirkung erwarten. Deshalb wurde mit $a_{\zeta} = 1,0$, ein relativ hoher Wert für angemessen gehalten.

Für den Untergrund, dessen Materialeigenschaften nicht exakt bekannt sind, wurden die Materialkennwerte aus den bisherigen Gutachten verwendet.

3.2 Berechnungsverfahren

Die Berechnungen wurden auf der Grundlage der genannten GDA-Empfehlung E 2-29 durchgeführt (Ansatz der Faserkohäsion bei Hausmüll und hausmüllähnlichen Abfällen). Die Böschungsbruchuntersuchungen erfolgten mit dem Programmsystem BOESCH, das von der GGU entwickelt und in dem die herkömmlichen Berechnungsverfahren nach DIN 4084 speziell an die im Abfall auftretenden anisotropen, faserkohäsiven Kräfte angepasst wurden (gemäß E 2-29). Es ermöglicht die Untersuchung von kreisförmigen und polygonalen Gleitflächen unter Variation der Gleitkreismittelpunkte und -radien bzw. der Lage und Länge der polygonalen Gleitflächen. Das Programmsystem erlaubt die variable Anwendung der Materialkennwerte zu den Zugeigenschaften der Abfälle und damit eine realistische Erfassung der Tragfähigkeit des Abfalls.

Für die vorliegende Standsicherheitsanalyse wurde entsprechend dem aktuellen Stand der Technik die neue DIN 4084 (Version 2002-11) verwendet, der als Sicherheitskonzept die Verwendung von Teilsicherheitsbeiwerten nach DIN 1054 (neu, Version 2005-01) zu Grunde liegt. Bei dieser Vorgehensweise werden die haltenden Kräfte über Teilsicherheitsbeiwerte abgemindert, das Verhältnis von treibenden zu (abgeminderten) haltenden Kräften – der Ausnutzungsgrad $1/f$ – muss dann kleiner/gleich 1 sein. Ein Ausnutzungsgrad von 1 ist zulässig, da er die Sicherheit der Beiwerte enthält. Als Teilsicherheitsbeiwert wurde für den LF 1 (Endzustand) im Grenzzustand des Verlustes der Gesamtstandsicherheit (GZ 1C) folgender Wert verwendet:

$$\gamma_{\phi}, \gamma_c = 1,25$$

mit γ_{ϕ} : Teilsicherheitsbeiwert für den Reibungswinkel
 γ_c : Teilsicherheitsbeiwert für die Kohäsion

Da die Angabe der Sicherheit η als Quotient der ungeminderten haltenden zu den treibenden Kräften nach wie vor gebräuchlich ist, wurden diese Sicherheiten entsprechend dem Ansatz der DIN 4084 (alt) alternativ angegeben. dadurch ist auch der Vergleich mit den bisherigen Standsicherheitsanalysen (bis Bericht D 20104) möglich, die ausschließlich nach DIN 4084 (alt) gerechnet wurden.

3.3 Berechnungsergebnisse

Die maßgeblichen Berechnungsergebnisse sind in den Anlagen graphisch dargestellt. Die Anlagen x.1 zeigen die jeweiligen Schnitte I bis II in der Endkubatur ohne Rekultivierungsschicht. Die Anlage 1.2 zeigt die aktuelle Geometrie im Schnitt I. Die Anlage 1.3 zeigt exemplarisch die Auswirkung des Aufbringens der Reku-Schicht. Die Anlage 1.4 zeigt exemplarisch den Unterschied zwischen dem Volleinstau und der Annahme schwebender Wasserschichten.

Der Schnitt I weist im Endzustand einen Ausnutzungsgrad von $1/f = 0,88$ auf (entspricht einer Standsicherheit von $\eta = 1,40$). Im Schnitt II und III beträgt der Ausnutzungsgrad $0,84$ (entspricht $\eta = 1,44$). Die aktuelle Standsicherheit im Schnitt I beträgt $1/f = 0,88$, nach Aufbringen des Reku-Bodens verbessert sich die Standsicherheit auf $1/f = 0,86$ ($\eta = 1,43$), weil die haltenden Kräfte (Scherwiderstände in Folge höherer Normalspannungen) schneller wachsen als die treibenden Kräfte („flacher Hang“).

Am deutlichsten wird der Unterschied beim Ansatz der hängenden Wasserhorizonte. Der Ausnutzungsgrad $1/f$ des Systems beträgt nur $0,64$ (entspricht einer Sicherheit $\eta = 1,93$).

4 Bewertung

Die Böschungsbruchberechnungen haben gezeigt, dass die Böschung in allen betrachteten Schnitten standsicher ist, selbst wenn eine äußerst ungünstige Porenwasserdruckverteilung angenommen wird, bei der die KDB auf der mineralischen Abdichtung unter massivem Auftrieb steht. Alle betrachteten Schnitte und Modellierungen haben eine Nutzreserve von mehr als 10 %.

Braunschweig, den 24.5.2006



Dr.-Ing. Kölsch

Literatur

DGGT (1998): GDA-Empfehlungen der Deponien und Altlasten. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik (Hrsg.). E 2-29: Standsicherheitsnachweise für Deponiekörper unter Berücksichtigung der Anisotropie, veröffentlicht in Bautechnik, Heft 9. Berlin: Ernst

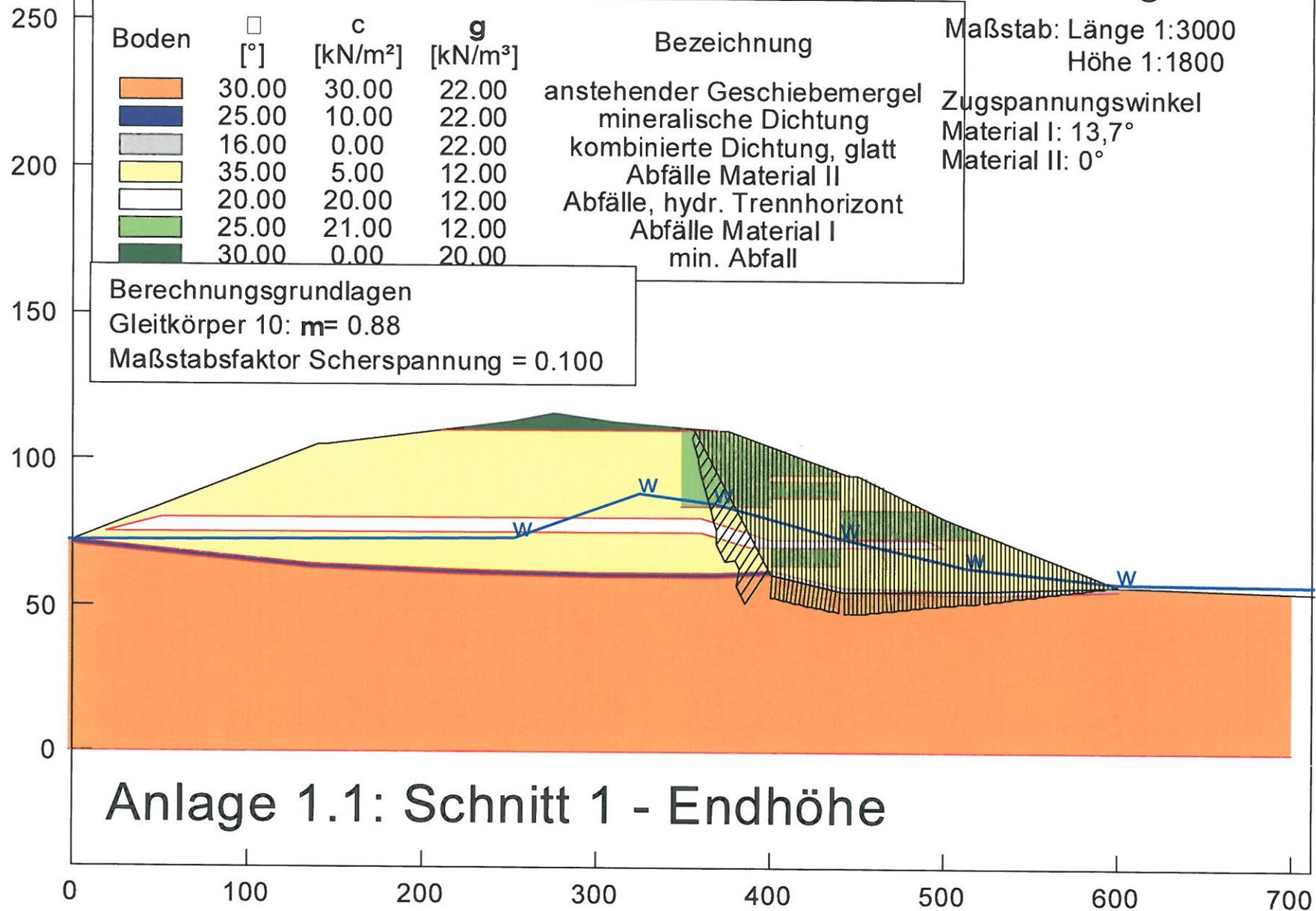
Kölsch (1996): Der Einfluss der Faserbestandteile auf die Scherfestigkeit von Siedlungsabfall. Dissertation am Fachbereich Bauingenieurwesen, TU Braunschweig

Kölsch (2003): Festigkeituntersuchungen. Deponie Ihlenberg Ostböschung. Braunschweig. In: Lehnert: Gutachterliche Stellungnahme zur Standsicherheit der Böschungen auf der Deponie Ihlenberg, D 20103/3.6

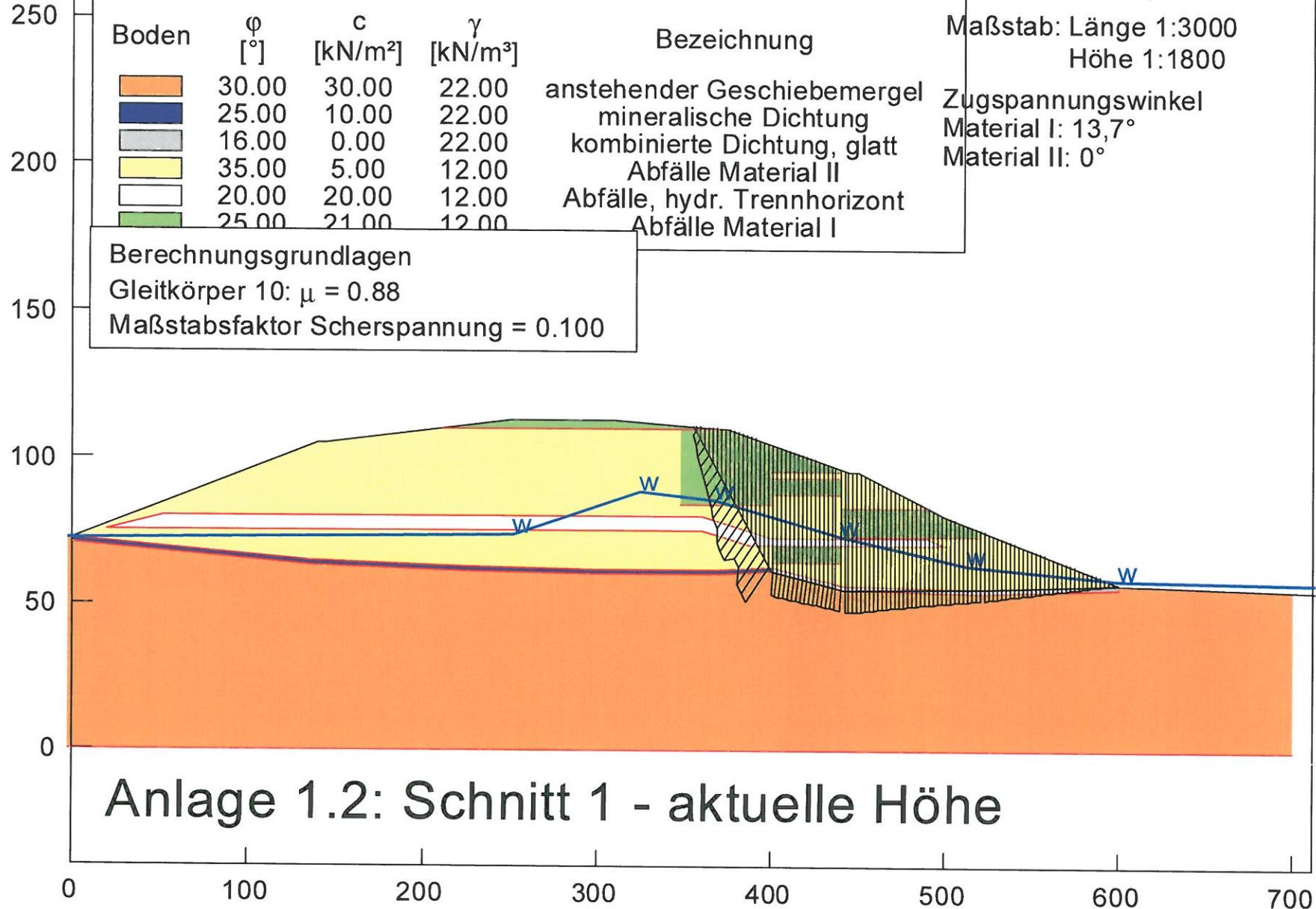
Verzeichnis der Anlagen

Anlage	Schnitt	Sicherheit η	Ausnutzung 1/f	Variante
1.1	Schnitt I	1,40	0,88	Endzustand
1.2	Schnitt I	1,40	0,88	Betriebszustand
1.3	Schnitt I	1,43	0,86	abgedeckt
1.4	Schnitt I	1,93	0,64	schwebendes Wasser
2.1	Schnitt II	1,44	0,84	Endzustand
3.1	Schnitt III	1,44	0,84	Endzustand

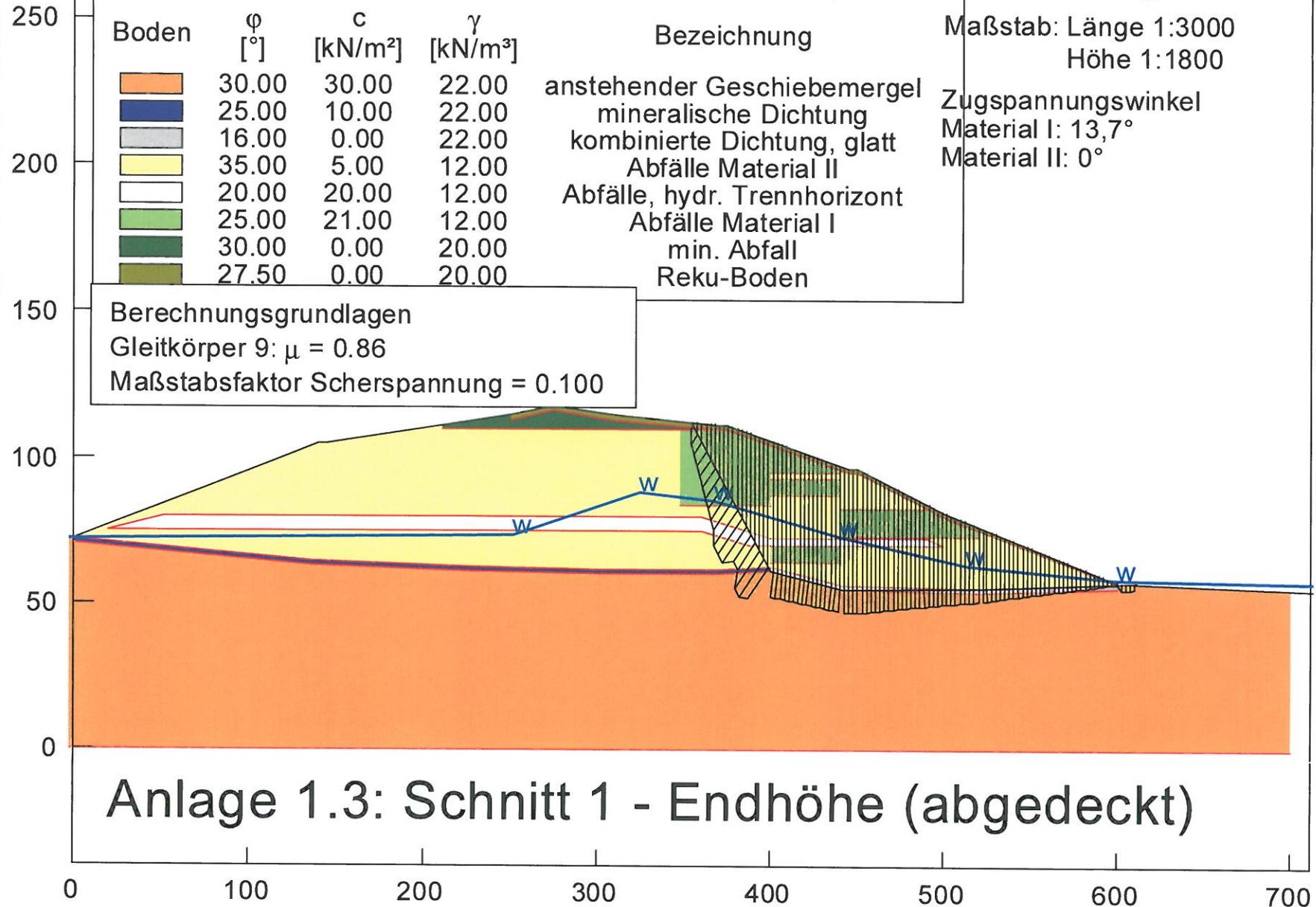
Standsicherheitsberechnung Deponie Ihlenberg



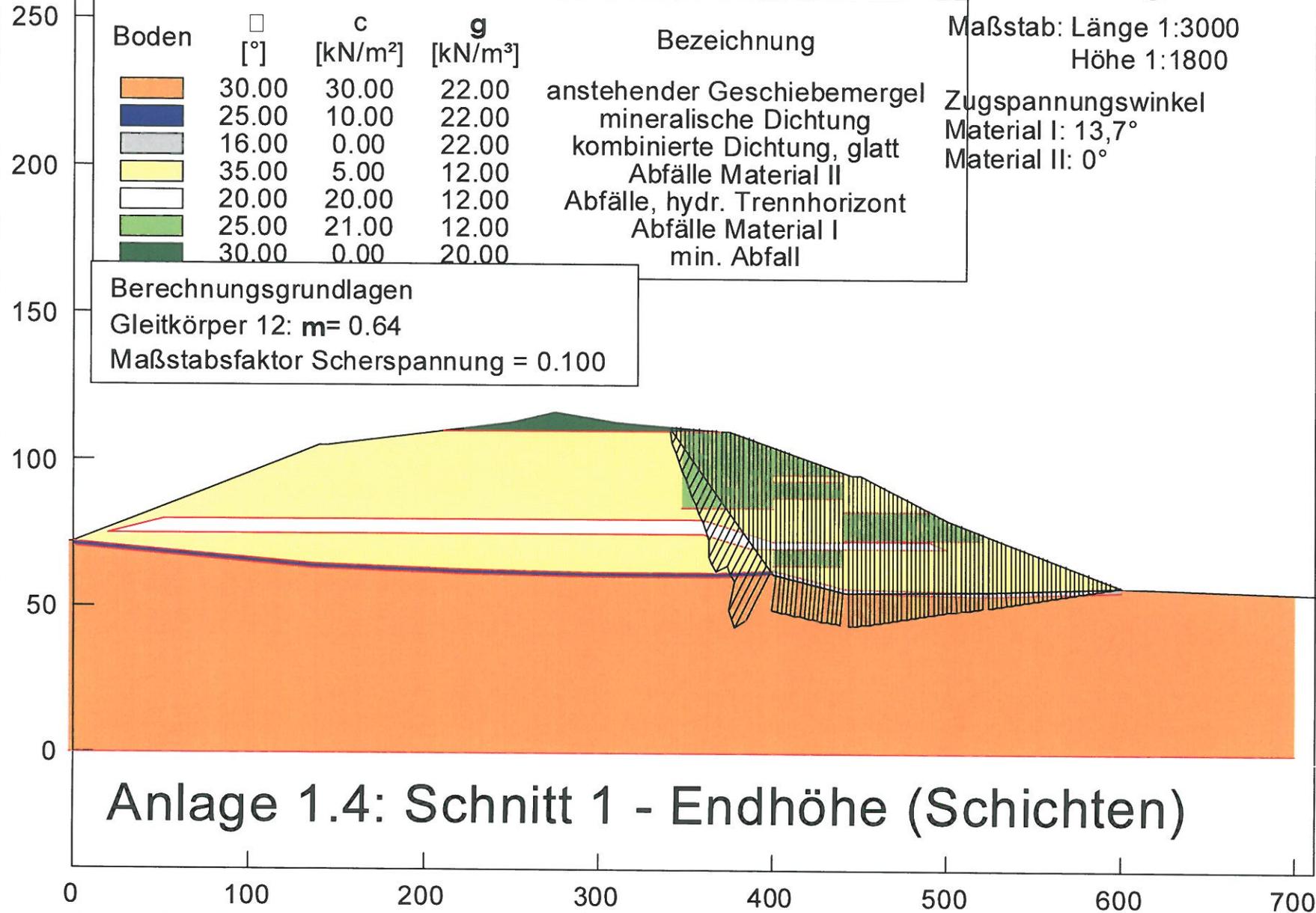
Standsticherheitsberechnung Deponie Ihlenberg



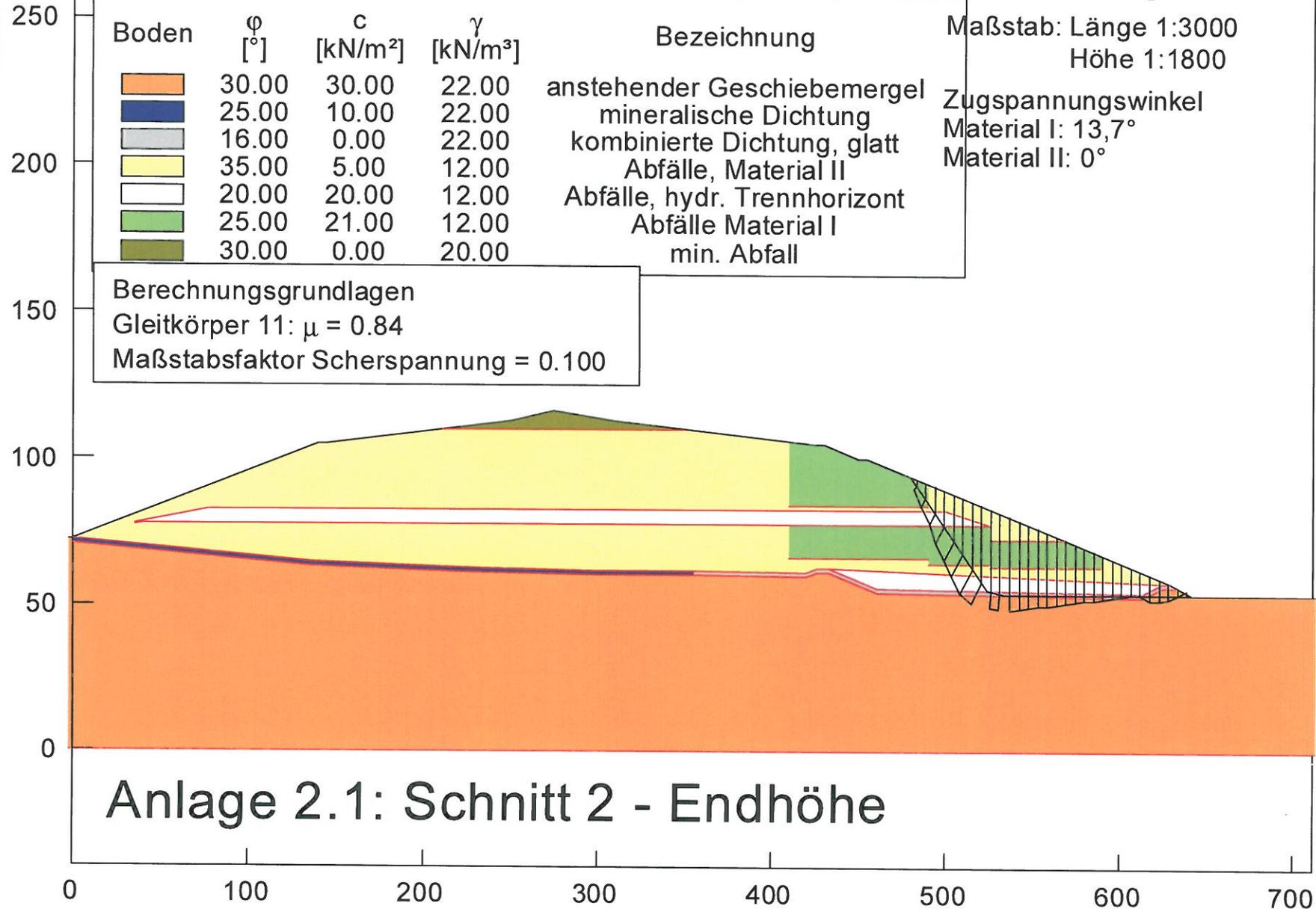
Standsicherheitsberechnung Deponie Ihlenberg



Standstabilitätsberechnung Deponie Ihlenberg



Standsticherheitsberechnung Deponie Ihlenberg



Standsticherheitsberechnung Deponie Ihlenberg

