

Anlage 8
Fachgutachten
Gleitsicherheit der MFA

Anlage 8.1 1. Bauabschnitt der MFA



Ingenieurgesellschaft
für Geotechnik und Umweltmanagement
Prof. Dr.-Ing. Salomo + Partner mbH

D - 29525 Uelzen
Sankt-Viti-Str. 1
Telefon: 05 81 / 9 76 05 -0
Telefax: 05 81 / 9 76 05 99

www.igu-uelzen.de
info@igu-uelzen.de

Deponie Ihlenberg
- Prüfung der
Standortsicherheitsberechnung -

Projekt-Nr. 12033

Auftraggeber: upi UmweltProjekt
Ingenieurgesellschaft mbH
Niederlassung Nord
Grubenstraße 20

D – 18055 Rostock

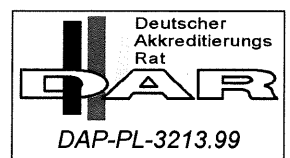
Bearbeiter: Prof. Dr.-Ing. Klaus-Peter Salomo
Dipl.-Ing. (FH) Strampe

Uelzen, 10.08.2012

Das Gutachten (1203302g) umfasst 6 Seiten und 1 Anhang.

Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Prüf- und Probenahmeverfahren

Geschäftsführer: Prof. Dr.-Ing. Klaus-Peter Salomo
Handelsregister Nr.: HRB 120675 Amtsgericht Lüneburg
Sparkasse Uelzen – Lüchow-Dannenberg (BLZ 258 501 10) Konto-Nr.: 81 810
Finanzamt Uelzen Steuer-Nr. 4720100928



02 - 1227



INHALTSVERZEICHNIS

1	Veranlassung	3
2	Berechnungen.....	3
2.1	Multi-Funktionelle-Abdichtung (MFA).....	3
2.2	Nachweis der Standsicherheit	3
3	Ergebnis der Prüfung	5
4	Zusammenfassung und Empfehlungen.....	6

VERZEICHNIS DER ANHÄNGE

Anhang 1: Standsicherheitsberechnung August 2012

Dieses Gutachten mit einem Umfang von 6 Seiten und 1 Anhang darf nur ungekürzt und nur mit Genehmigung der IGU mbH weitergegeben bzw. veröffentlicht werden.

1 Veranlassung

Die IGU mbH wurde von der upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH, Rostock, mit der Prüfung des Standsicherheitsnachweises für die Deponie Ihlenberg beauftragt.

Dazu wurde uns am 02.08.2012 die Standsicherheitsberechnung der Multi-Funktionellen-Abdichtung vom 02.08.2012, Projekt Nr. 039.011.01.05-12, erstellt von der upi Umwelt-Projekt Ingenieurgesellschaft mbH, Rostock, übergeben. Die Berechnung liegt diesem Prüfbericht als **Anhang 1** bei.

2 Berechnungen

2.1 Multi-Funktionelle-Abdichtung (MFA)

Die geplante MFA weist folgenden Aufbau auf (von oben nach unten):

- 0,30 m Frostschuttschicht
- Trenn- und Filtervlies
- 0,30 m Entwässerungsschicht
- Sandschuttmatten (MDDS) mit BAM-Zulassung
- 2,5 mm PEHD-Kunststoffdichtungsbahn, inkl. Dichtungskontrollsystem
- 0,50 m mineralische Dichtung in 2 Lagen á 0,25 m
- 1,0 m Gas-, Trag- und Ausgleichsschicht
- Geogitter innerhalb der Gas-, Trag- und Ausgleichsschicht (auf 1. Lage)
- vorprofilierter Abfall

2.2 Nachweis der Standsicherheit

Die Berechnung wurde nach dem Teilsicherheitskonzept durchgeführt und entspricht somit dem derzeitigen Europäischen Normenstandard.

Die Standsicherheitsberechnung bezieht sich auf den Bemessungsschnitt mit der maßgeblichen Böschungsneigung 1:2,5.

Die Gleitfuge zwischen der mineralischen Dichtung und der Kunststoffdichtungsbahn (KDB) wurde als kritische Fuge ermittelt. Der zugehörige Scherversuch liegt der Berechnung als Anlage 3.1 bei.

Die Scherwinkel wurden in der kritischen Fuge nach EAU um 10 % abgemindert. In den Fugen KDB / Sandschutzmatte und Sandschutzmatte / Entwässerungsschicht um 30 %.

Für die Standsicherheit wurden zwei unterschiedliche Situationen berücksichtigt:

- Bauzustand: Hierbei wurde die Belastung durch Baufahrzeuge durch den Ansatz einer Flächenverkehrslast berücksichtigt.
- Endzustand: Hierbei wurde der Endzustand des Gesamtsystems betrachtet. Zusätzlich wurde eine ungünstige Situation durch einen Wassereinstau in der Entwässerungsschicht in Ansatz gebracht.

Die Berechnungen liegen als ausführlich erläuterte und nachvollziehbare Rechenschritte vor. In einer Ergebnistabelle (Tabelle 1.4) werden die Bemessungswerte der Einwirkungen denen der Widerstände schichtenweise gegenübergestellt.

Die Standsicherheitsberechnung ist korrekt durchgeführt worden.

Es sind lediglich wenige formale Fehler aufgefallen, die in folgenden Standsicherheitsberechnungen geändert werden sollten. Gemäß aktuell gültiger DIN 1054:2010-12 sind folgende Ausdrücke zu verwenden:

- statt „Grenzzustand 1C“ nun „GEO-3“
- statt „Lastfall 1“ nun „BS-P“
- statt „Lastfall 2“ nun „BS-T“

3 Ergebnis der Prüfung

Die Standsicherheit der Böschung wurde geprüft. Sowohl für den Bauzustand, als auch für den Endzustand wurde eine ausreichende Standsicherheit nachgewiesen. Die Nachweise sind mängelfrei und zahlenmäßig richtig.

Die in Abschnitt 2 geführte Ableitung der Anforderungen an die Frostschuttschicht (nach Saathoff) ist ebenfalls geprüft worden. Die vorgeschlagenen Körnungsbänder (Berichtsanlage 4) können zur Materialauswahl der Frostschuttschicht herangezogen werden. Die Nachweise sind fehlerfrei.

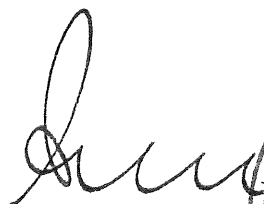
4 Zusammenfassung und Empfehlungen

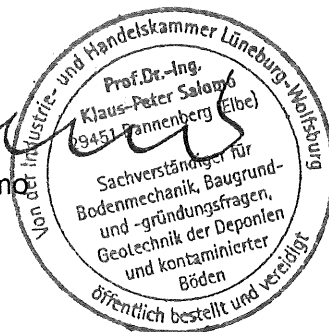
Der durchgeführte Standsicherheitsnachweis ist in der Fassung vom 02.08.2012 richtig.

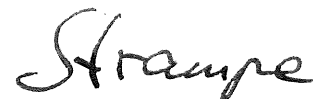
Die Standsicherheit der Böschung ist mit dem geplanten System der Multi-Funktionellen-Abdichtung sowohl für den Bauzustand, als auch für den Endzustand gegeben.

Weiterhin können die in Abschnitt 2 des Standsicherheitsnachweises vorgeschlagenen Körnungsbänder zur Materialauswahl der Frostschutzschicht herangezogen werden.

Für Rückfragen stehen wir Ihnen gerne zur Verfügung.


Prof. Dr.-Ing. Salomo




Dipl.-Ing. Strampe

Anhänge

Anhang 1

Stand sicherheitsberechnung
August 2012

Herstellung der Multi-Funktionellen-Abdichtung (MFA) der Deponie Ihlenberg

Standsicherheitsberechnung

Projekt Nr. 039.011.01.05-12

beauftragt durch:

Heilit Umwelttechnik GmbH
Haferwende 27
28357 Bremen

erarbeitet durch:

upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH
Niederlassung Nord
Grubenstraße 20
18055 Rostock

Rostock, August 2012



Inhaltsverzeichnis

1	Erdstatische Berechnungen	3
1.1	Vorbemerkungen	3
1.2	Bodenmechanische Kennwerte	4
1.2.1	Deponiekörper	4
1.2.2	Multi-Funktionelle-Abdichtung (MFA)	4
1.2.3	Lastannahmen	6
1.2.4	Gleitsicherheitsnachweis MFA	6
1.2.5	Nachgewiesene Bemessungswerte	8
2	Ableitung der Anforderungen an die Frostschutzschicht	9
3	Verwendete Unterlagen	10

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1—1: Bodenmechanische Parameter des Deponiegutes, nach /4/	4
Tabelle 1—2: Bodenmechanische Kennwerte des Bodenmaterials der MFA	5
Tabelle 1—3: Scherparameter in den Fugen der MFA	5
Tabelle 1—4: Nachgewiesene Bemessungswerte	8

Anlagenverzeichnis

1	Materialliste
2	Lageplan – maßgeblicher Bemessungsausschnitt
3	Scherversuche
3.1	Scherversuch Fuge: mineralische Dichtung / KDB
3.2	Scherversuch Fuge: KDB / Sandschutzmatte
3.3	Scherversuch Fuge: Sandschutzmatte / Entwässerungsschicht
3.4	Scherversuch mineralische Dichtung
4	Zulässige Kornverteilungen für die Frostschutzschicht

1 Erdstatische Berechnungen

1.1 Vorbemerkungen

Die Heilit Umwelttechnik GmbH wurde mit der Herstellung einer Multi-Funktionellen-Abdichtung (MFA) für die Deponie Ihlenberg – BA 1 beauftragt.

Die MFA übernimmt die Funktion der Oberflächenabdichtung der im Anlehnungsbereich befindlichen Deponieabschnitte 1-alt, 1-Mono und 2 sowie gleichzeitig der Basisabdichtung des Deponieabschnittes 7 der Deponie Ihlenberg.

Diese Doppelfunktion wird gewählt, um die Anforderungen sowohl für den Weiterbetrieb des DA 7 als auch für die Stilllegung der DA 1-alt, 1-Mono und 2 zu erfüllen.

Die geplante MFA weist daher folgenden Aufbau auf (von oben nach unten):

- 0,30 m Frostschutzschicht (AG-Material),
- Trenn- und Filtervlies,
- 30 cm Entwässerungsschicht,
- Sandschutzmatten (MDDS) mit BAM-Zulassung,
- 2,5 mm PEHD-Kunststoffdichtungsbahn inkl. Dichtungskontrollsystem mit BAM-Zulassung,
- 50 cm mineralische Dichtung in 2 Lagen á 25 cm ($k \leq 5 \times 10^{-10}$ m/s),
 - 2. Lage (AN-Material),
 - 1. Lage (AG-Material),
- 100 cm Gas-, Trag- und Ausgleichsschicht,
- Geogitter innerhalb der Gas-, Trag- und Ausgleichsschicht (auf 1. Lage),
- vorprofilierter Abfall.

Die zur Herstellung der MFA-Komponenten beabsichtigten eignungsgeprüften bzw. BAM-zugelassenen mineralischen sowie polymeren/geotextilen Materialien sind in Anlage 1 benannt.

Mit der vorliegenden Standsicherheitsberechnung wird das Gesamtdichtungssystem sowohl im Bau- als auch im Endzustand betrachtet. Als kritische Gleitfugen sind die Paarungen

- mineralische Dichtung (AN-Material) / Kunststoffdichtungsbahn,
- Kunststoffdichtungsbahn / Sandschutzmatte (MDDS),
- Sandschutzmatte / Entwässerungsschicht (Kies 16/32 – Rundkorn)

zu betrachten.

Hierfür wurden mit den zur Anwendung vorgesehenen mineralischen Materialien sowie polymeren/geotextilen Produkten Scherversuche durchgeführt bzw. auf aktuelle Referenzversuche zurückgegriffen (s. Anlagen 3.1 bis 3.3).

Der durchgeführte Scherversuch der Fuge mineralische Dichtung / KDB wurde gem. der 3. Baubesprechung vom 15.06.2012 mit den Laststufen 10, 20 und 50 kN/m² gefahren. Um eine zusätzliche Sicherheit für den Bauzustand zu simulieren, wurde gem. DIN 18137-3 Tabelle 1 die Vorschubgeschwindigkeit in Abhängigkeit der Plastizitätszahl des eingesetzten Tons gewählt.

Da die herangezogenen Referenzscherversuche für die Fugen KDB / Sandschutzmatte sowie Sandschutzmatte / Entwässerungsschicht mit höheren Laststufen gefahren wurden, ist diesem Umstand Rechnung getragen worden, indem die Scherwinkel mit 30 % statt sonst 10 % nach EAU /8/ abgemindert wurden (s. Punkt 1.2.2).

Für alle anderen Gleitfugen der MFA sind die nach DIN 1055 zutreffenden Reibungswinkel von $32,5^\circ$ als Berechnungsansatz verwendet worden (s. Punkt 1.2.2).

Die Standsicherheitsberechnung bezieht sich auf den maßgeblichen Bemessungsschnitt, der die Böschungsneigung 1:3 und 1:2,5 berücksichtigt (s. Anlage 2).

Entsprechend der 4. Baubesprechung vom 21.06.2012 ist für die Frostschutzschicht der erforderliche Mindestreibungswinkel sowie das Kornspektrum mit Blick auf die wirksame Öffnungsweite des verwendeten Trenn- und Filtervlieses anzugeben.

1.2 Bodenmechanische Kennwerte

1.2.1 Deponiekörper

Das bisherige Deponiegut besteht nach /1/ aus Schlacken, Aschen, Böden, Bauabfällen, hausmüllähnlichen Gewerbeabfällen, Produktionsabfällen, Schlämme, Asbestabfällen und Schredderleichtfraktionen.

Die Dichte des Müllkörpers ist in der Anfangsphase vor allem abhängig vom Einbauverfahren. Im Zuge der Alterung nimmt die Dichte infolge von Auflast und alterungsbedingten stofflichen Umsetzungen zu. Negativ auf die Scherfestigkeit kann sich vor allem der Abbau organischer Bestandteile auswirken (/4/). Der Scherwinkel und die Kohäsion verringern sich im Laufe der Alterung. Für die Berechnung können die bodenmechanischen Parameter für den Endzustand, d. h. hohe Dichte und geringe Scherfestigkeit, als maßgeblich erachtet werden.

Tabelle 1—1: Bodenmechanische Parameter des Deponiegutes, nach /4/

Reibungswinkel φ	25,0° ✓
Kohäsion c	5,0 kN/m ² ✓
Feuchtwichte γ	15,0 kN/m ³ ✓

Verschiedene Arbeiten zur Kennzeichnung des bodenmechanischen Verhaltens von Abfall sind durchgeführt und veröffentlicht worden. Auf Grund der großen Heterogenität des Deponiekörpers sind generelle bodenmechanische Kennzeichnungen nur schwer möglich.

Die publizierten Kennwerte weisen eine große Schwankungsbreite auf. Im Folgenden wird mit Parametern aus der Richtlinie Nr. 18 des Landesamtes für Wasser und Abfall in Nordrhein-Westfalen /4/ gerechnet (vgl. Tabelle 1—1).

1.2.2 Multi-Funktionelle-Abdichtung (MFA)

Im Rahmen der geostatischen Sicherheitsnachweise wird die MFA untersucht. Diese besitzt von unten nach oben folgenden Schichtenaufbau:

- Profillierter Abfall
- 1,0 m Gas-, Trag- und Ausgleichsschicht
- 0,50 mineralische Dichtung
- Kunststoffdichtungsbahn
- Sandschutzmatte
- 0,30 m Entwässerungsschicht

- Trenngeotextil
- 0,30 m Frostschuttschicht.

Das Dichtungskontrollsystem (DKS) sowie das Geogitter in der GT A werden nicht als relevant für die Standsicherheitsberechnung angesehen.

Tabelle 1—2: Bodenmechanische Kennwerte des Bodenmaterials der MFA

Bodenschicht	Bodengruppe nach DIN 18 196	Reibungswinkel cal ϕ' [°]	Kohäsion cal c' [kN/m ²]	Wichte cal γ [kN/m ³]
Gas-, Trag- und Ausgleichsschicht	SE	32,5 ✓	-	18,0 ✓
mineralische Dichtung	TL	30,4 ✓	23,2 ✓	20,5 ✓
Entwässerungsschicht	GE	32,5 ✓	-	17,0 ✓
Frostschuttschicht	SE	32,5 ✓	-	18,0 ✓

Die für die Berechnung verwendeten bodenmechanischen Parameter sind in der Tabelle 1—2 zusammengestellt.

Die Zusammenstellung erfolgte auf Grundlage von Laborversuchen welche als Anlage enthalten sind, bzw. nach DIN 105 5, Teil 2 (GTA, Entwässerungsschicht, Frostschuttschicht). Die in die Berechnung eingehenden Mess- und Rechenwerte wurden entsprechend EAU /8/ abgemindert. Die Scherwinkel der Fugen Kunststoffdichtungsbahn-Sandschutzmatte und Sandschutzmatte-Entwässerungsschicht wurden auf Grund höherer Auflastspannungen mit 30 % abgemindert.

Für die Scherparameter in den Fugen aufeinander treffender Bodenschichten sind nach DIN 1055 generell die niedrigeren Werte aus dem Vergleich der beiden Schichten für die Berechnung anzusetzen (s. Tabelle 1—3).

Tabelle 1—3: Scherparameter in den Fugen der MFA

Fuge	Reibungswinkel cal δ' [°]	Adhäsion cal a' [kN/m ²]
<i>Multi-Funktionelle-Abdichtung</i>		
Abfall/ Gas-, Trag- und Ausgleichsschicht	25,0 ✓	5,0 ✓
Gas-, Trag- und Ausgleichsschicht/ mineralische Dichtung	32,5 ²⁾ ✓	-
mineralische Dichtung/ Kunststoffdichtungsbahn	29,4 ✓	5,8 ✓
Kunststoffdichtungsbahn/ Sandschutzmatte	37,5 ¹⁾ ✓	-
Sandschutzmatte/ Entwässerungsschicht	38,0 ¹⁾ ✓	-
Entwässerungsschicht/ Trenngeotextil	32,5 ²⁾ ✓	-
Trenngeotextil/ Frostschuttschicht	32,5 ²⁾ ✓	-

¹⁾ abgemindert um 30 %

²⁾ Mindestreibungswinkel

1.2.3 Lastannahmen

Für den Standsicherheitsnachweis im Bauzustand wird von einer Belastung durch Baufahrzeuge ausgegangen. Diese Last wird in der Standsicherheitsberechnung durch den Ansatz einer Flächenverkehrslast von $16,7 \text{ kN/m}^2$ (SLW 30/30) berücksichtigt. ✓

Verkehrslasten, die Stöße oder Schwingungen verursachen, sind nach /9/ mit dem Schwingbeiwert φ zu vervielfachen. Dieser ergibt sich für überschüttete Bauwerke aus folgender Gleichung:

$$\varphi = 1,4 - 0,1 * h_{\bar{u}} \quad \checkmark$$

$h_{\bar{u}}$ Überschüttungshöhe in Abhängigkeit des Böschungswinkels β
= Schichtdicke / $\cos \beta$.

Für die jeweilige Fuge der MFA wurden folgende Schwingbeiwerte ermittelt:

- Abfall - Gas-, Trag- und Ausgleichsschicht	1,17	✓
- Gas-, Trag- und Ausgleichsschicht – mineralische Dichtung	1,28	✓
- mineralische Dichtung – Kunststoffdichtungsbahn	1,33	✓
- Kunststoffdichtungsbahn – Sandschutzmatte	1,33	✓
- Sandschutzmatte – Entwässerungsschicht	1,33	✓
- Entwässerungsschicht – Trenngeotextil	1,37	✓
- Trenngeotextil – Frostschutzschicht	1,37	✓

1.2.4 Gleitsicherheitsnachweis MFA

Grenzzustand 1C : Versagen des Baugrundes

Der Nachweis der Sicherheit gegen Gleiten für den GZ 1C berechnet sich wie folgt:

$$E_d \leq R_d \quad \checkmark$$

R_d = Bemessungswert Widerstände

E_d = Bemessungswert der Einwirkungen

Berechnung von R_d :

Beim Nachweis der Gesamtstandsicherheit (GZ 1C) sind die charakteristischen Werte der Scherfestigkeit mit den Teilsicherheitsbeiwerten für Widerstände in Bemessungswerte der Scherfestigkeit umzurechnen:

$$\tan \varphi'_d = \tan \varphi'_k / \gamma_\varphi \quad \checkmark \quad c'_d = c'_k / \gamma_c \quad \checkmark$$

BS-P
BS-T

Lastfall 1: $\gamma_\varphi = 1,25$ ✓
Lastfall 2: $\gamma_\varphi = 1,15$ ✓

$\gamma_c = 1,25$ ✓
 $\gamma_c = 1,15$ ✓

Alle aufnehmbaren Kräfte die aus den jeweiligen Schichten resultieren werden in der Berechnung wie folgt berücksichtigt:

$$\gamma * h * \cos \beta * \tan \phi / \gamma_\varphi + c / \gamma_c \quad \checkmark$$

Für den Nachweis der Sicherheit während des Bauzustandes wird die Flächenlast, P, der Baumaschinen berücksichtigt. Dabei wird die Baugerätelast, P, mittels des Schwingbeiwertes ϕ erhöht.

$$(\gamma \cdot h + P \cdot \phi) \cdot \cos \beta \cdot \tan \phi / \gamma_{\phi} + c / \gamma_c \quad \checkmark$$

Berechnung von E_d :

Beim Nachweis der Gesamtstandsicherheit (GZ 1C) sind die charakteristischen Werte der Einwirkungen mit den Teilsicherheitsbeiwerten für Einwirkungen in Bemessungswerte der Einwirkungen umzurechnen:

$$E_d = E_k \cdot \gamma_F \quad \checkmark \quad \gamma_F \text{ (Teilsicherheitsbeiwert allgemein)}$$

S.O.	<u>Lastfall 1:</u>	$\gamma_G = 1,00$ (ständige Einwirkungen) \checkmark
		$\gamma_Q = 1,30$ (ungünstige, veränderliche Einwirkungen) \checkmark
	<u>Lastfall 2</u>	$\gamma_G = 1,00$ (ständige Einwirkungen) \checkmark
		$\gamma_Q = 1,20$ (ungünstige, veränderliche Einwirkungen) \checkmark

Alle angreifenden Kräfte wie die abwärtsgerichteten Gewichtskräfte und die Strömungskräfte F_s werden wie folgt berechnet:

$$((\gamma \cdot h \cdot \gamma_G \cdot \sin \beta) + F_s \cdot \gamma_Q) \quad \checkmark$$

Für den Nachweis während des Bauzustandes die Baugerätelast P berücksichtigt. Diese wird um 20 % erhöht, um so die dynamische Bremskraft einzubeziehen:

$$((\gamma \cdot h \cdot \gamma_G) + (P \cdot \phi \cdot 1,2 \cdot \gamma_Q) \cdot \sin \beta + F_s \cdot \gamma_Q) \quad \checkmark$$

Die Strömungskraft des Wassers ist abhängig von der Wasseranstauhöhe in der Dränageschicht. Diese errechnet sich nach LESAFFRE // aus folgender Beziehung

$$d_w = \frac{L}{\sqrt{\frac{4 \cdot k_2}{k_1} + \left(\frac{k_2}{k_1} - 1\right)^2 \cdot (\tan \beta)^2}}$$

d_w	Wasseranstauhöhe in der Dränageschicht
L	maximale Böschungslänge
k_1	Dränspende auf der Entwässerungsschicht
k_2	Wasserdurchlässigkeit der Entwässerungsschicht
β	Böschungswinkel

Die bezogene Mächtigkeit des Wasseranstaus h_w ergibt sich aus dem Quotienten d_w / \cos des Böschungswinkels. Als zusätzliche Sicherheit wurde die gesamte Anstromlänge von 58,0 m und einer Böschungsneigung von 1 : 2,5 der Berechnung zu Grunde gelegt (s. Anlage 2) sowie der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert der Entwässerungsschicht mit $k_f = 1E-3$ m/s angesetzt¹.

¹ Der Ansatz eines k-Wertes für die Entwässerungsschicht ist hier aus rechentechnischen Gründen mit $k_f = 1E-3$ m/s erfolgt, da bei der Verwendung des tatsächlichen k-Wertes für den eingesetzten Kies 16/32 nur ein $k_f = 1,80 \dots 1,90E-0$ m/s vorliegt. Dieser würde jedoch zu keinem praktikablen Ergebnis der Strömungskraft führen. Dadurch wird die Sicherheit zusätzlich erhöht.

$$d_w = \frac{58,0 \text{ m}}{\sqrt{\frac{4 \cdot 10^{-3} \text{ m/s}}{1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}} + \left(\frac{10^{-3} \text{ m/s}}{1 \cdot 10^{-7} \text{ m/s}} - 1\right)^2} \cdot (\tan 21,8^\circ)^2} \approx 0,016 \text{ m}$$

$$h_w = \frac{0,016 \text{ m}}{\cos(21,8^\circ)} \approx 0,017 \text{ m} \quad \checkmark$$

Da sich bedingt durch Konglomerate sowie durch Bewuchs am Böschungsfuß die Dränleistung stark verringern kann, wird für die Anstauhöhe die halbe Schichtstärke (0,15 m) der Dränageschicht der Berechnung zu Grunde gelegt.

Die aus der gewählten Anstauhöhe, dem Böschungswinkel und der Dichte des Wassers resultierende Strömungskraft errechnet sich aus folgender Gleichung .

$$F_s = h_w \cdot \gamma_w \cdot \sin \beta \quad \checkmark$$

$$F_s = 0,15 \text{ m} \cdot 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \cdot \sin(21,8^\circ) = 0,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \checkmark$$

1.2.5 Nachgewiesene Bemessungswerte

Die nachgewiesenen Bemessungswerte für die Lastfälle 1 und 2 sind in Tabelle 1—4 zusammengefasst.

Tabelle 1—4: Nachgewiesene Bemessungswerte

Fuge	Bemessungswert im Endzustand GZ 1C, Lastfall 1		Bemessungswert im Bauzustand GZ 1C, Lastfall 2	
	E_d	R_d	E_d	R_d
<i>Multi-Funktionelle-Abdichtung</i>				
	E_d	R_d	E_d	R_d
Abfall/ Gas-, Trag- und Ausgleichsschicht	15,22 ✓	19,04 ✓	25,62 ✓	26,40 ✓
Gas-, Trag- und Ausgleichsschicht/ mineralische Dichtung	8,16 ✓	10,30 ✓	19,52 ✓	21,28 ✓
mineralische Dichtung/ Kunststoffdichtungsbahn	4,35 ✓	9,49 ✓	16,20 ✓	19,61 ✓
Kunststoffdichtungsbahn/ Sandschutzmatte	4,34 ✓	6,03 ✓	16,19 ✓	19,82 ✓
Sandschutzmatte/ Entwässerungsschicht	4,20 ✓	5,91 ✓	16,07 ✓	19,97 ✓
Entwässerungsschicht/ Trenngeotextil	2,03 ✓	2,81 ✓	14,24 ✓	14,56 ✓
Trenngeotextil/ Frostschutzschicht	2,01 ✓	2,78 ✓	14,22 ✓	14,53 ✓

Für alle Fugen der MFA konnte der erforderliche Nachweis $E_d \leq R_d$ für eine Böschung von 1:2,5 erbracht werden. Somit ist auch die Standsicherheit für die Böschung 1:3,0 gegeben.

Wird von den in der Berechnung zu Grunde gelegten Ansätzen abgewichen, ist ggf. eine neue Berechnung erforderlich.

2 Ableitung der Anforderungen an die Frostschuttschicht

Ausgehend von der durchgeführten Standsicherheitsberechnung ist für das Material der Frostschuttschicht ein Mindestreibungswinkel von $32,5^\circ$ bei einer Böschungsneigung von 1:2,5 erforderlich.

Hinsichtlich des Kornspektrums für die Frostschuttschicht ist von der charakteristischen Öffnungsweite O_{90} des zum Einsatz kommenden Trenn- und Filtervlieses HaTe®, Typ B 300 „O“ II der Fa. Huesker auszugehen (Flächenmasse: 300 g/m^2 , Dicke: $\geq 3 \text{ mm}$, Rohstoff: PP). Diese liegt gem. Datenblatt bei

$$O_{90} = 0,10 (\pm 0,02) \text{ mm.}$$

Da es jedoch zur Bestimmung eines Kornspektrums bisher zu wenige fachlich-produktspezifische Aussagen gibt, wurde nach Abstimmung mit der Fa. Huesker ein nahezu gleichwertiger Vliesstoff betrachtet, der für die BAM-zugelassene Dränmatte Enkadrain® ZB /15/ verwendet wird (Flächenmasse: 200 g/m^2 , Dicke: $2,0 \text{ mm}$, Rohstoff: PP). Dieser besitzt eine etwas tolerantere, aber etwa vergleichbare charakteristische Öffnungsweite von

$$O_{90} = 0,11 (\pm 0,03) \text{ mm.}$$

Da beide Vliese unterschiedliche Flächenmassen und Dicken besitzen, hat zur Kontrolle der Vergleichbarkeit der Vliese hinsichtlich der charakteristischen Öffnungsweite O_{90} der Abgleich nach der Formel

$$18 \times O_{90} \leq D_{\text{Vlies}} \text{ (nach Saathoff)}$$

zu erfolgen. Dabei gelten

$$O_{90} = 0,10 \text{ mm (Vlies: Typ B 300 „O“ II)}$$

$$D_{\text{Vlies}} = 2,0 \text{ mm (Deckvlies der Enkadrain® ZB).}$$

Es ergibt sich

$$18 \times 0,10 \text{ mm} = 1,8 \text{ mm} < 2,0 \text{ mm.}$$

Somit ist ein Vergleich der charakteristischen Öffnungsweite beider Vliese untereinander zulässig.

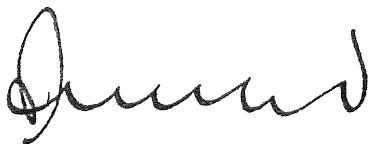
Somit können die in der aktuellen BAM-Zulassung für die Dränmatte Enkadrain® ZB unter Anlage 10 durch Herrn Prof.-Dr. F. Saathoff (Uni Rostock) ermittelten zulässigen Kornverteilungsbereiche für die Wahl des Korngrößenspektrums der Frostschuttschicht herangezogen werden.

Die zulässigen und ausgenommenen Korngrößensbereiche sind anhand von 14 Bildern in Anlage 4 des vorliegenden Berichtes dargestellt.

Zur Abstimmung der hier dargestellten Vorgehensweise für die Ermittlung des Kornspektrums der Frostschuttschicht der MFA im Kontaktbereich mit dem Vlies Typ B 300 „O“ II wurde zuvor eine telefonische Konsultation mit Herrn Prof.-Dr. F. Saathoff vorgenommen (Telefonat am 23.07.2012 zwischen Herrn Dr. Bierhenke und Herrn Prof.-Dr. F. Saathoff).

Aus fachtechnischer Sicht wird vorgeschlagen, die Körnungsbänder der Anlage 4 dieses Berichtes auch für die Materialauswahl der Frostschuttschicht heranzuziehen.

Rostock, 2. August 2012

Fachtechnisch geprüft	IGU	Ingenieurgesellschaft für Geotechnik und Umweltmanagement
<input type="checkbox"/> mit	<input checked="" type="checkbox"/> ohne	Änderungen freigegeben
Änderungen:		
		
Datum:	Unterschrift:	upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH, Projekt Nr.: 039.011.01.05-12

Bierhenke

upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH
Niederlassung Nord

3 Verwendete Unterlagen

- /1/ Deponie Ihlenberg, Deponieabschnittstrennung mittels MFA im BA 1, Baubeschreibung (BB), IAG – Ihlenberger Abfallentsorgungsgesellschaft mbH, Selmsdorf
- /2/ DIN 1055, Teil 2. Lastannahmen für Bauten. Bodenkenngößen. Wichte, Reibungswinkel, Kohäsion, Wandreibungswinkel.
- /3/ DIN 18 196. Erd- und Grundbau. Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke
- /4/ Landesamt für Wasser und Abfall NRW, Richtlinie Nr. 18 – Mineralische Abdichtungen. Düsseldorf. 1993
- /5/ TA Abfall, TA Siedlungsabfall. 1990
- /6/ Kruse, T. und T. Voigt. Reibungsverhalten von Kunststoffdichtungsbahnen. Mitteilung Inst. f. Grundbau u. Bodenmechanik TU Braunschweig. 1990
- /7/ Grett, H.-D. Das Reibungsverhalten von Geotextilien in bindigen und nichtbindigen Böden. Mitteilung des Franzius-Instituts für Wasserbau und Ingenieurwesen Universität Hannover, Heft 59. 1984
- /8/ Empfehlungen des Arbeitsausschusses „Ufereinfassungen“ EAU. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn. 1990
- /9/ Schneider, K.-J. Bautabellen. Werner-Verlag. 1992
- /10/ Jessberger, H. L., H. K. Neff und E. Gartung. Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponiebauwerke“. Bautechnik 72, Heft 9. 1995
- /11/ Smoltczyk, U. Grundbau Taschenbuch. Teil 1. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn. 1995
- /12/ Empfehlungen des Arbeitskreises „Geotechnik der Deponien und Altlasten“ – GDA. Verlag Wilhelm Ernst & Sohn. 1993
- /13/ Drescher, J. und H. Meyer. Zur Standsicherheit von Abfalldeponien. Neuzeitliche Deponietechnik. Balkema. Rotterdam. 1990
- /14/ DIN 4084. Gelände- und Böschungsbruchberechnung
- /15/ BAM-Zulassung Kunststoff-Dränelement für Deponieoberflächenabdichtungen, Enkadrain ZB Zul.-Nr.: 02/BAM IV.3/03/10 vom 25.05.2015 – Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, Berlin

ANLAGEN

Anlage 1

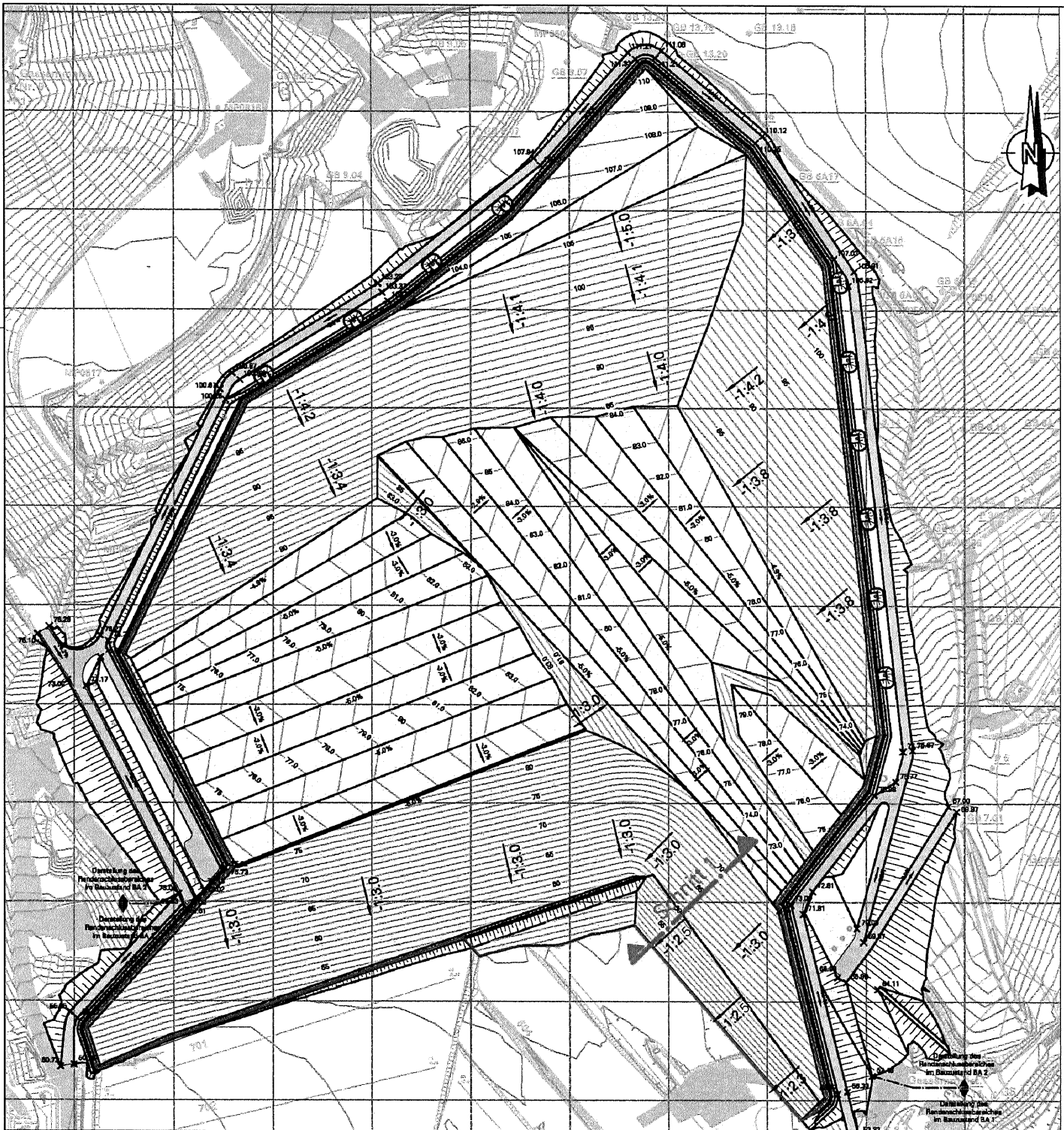
Materialliste

Materialliste

Komponente der MFA	Material-/ Produktbezeichnung	Herkunft/Hersteller
Gas-, Trag-, Ausgleichschicht (GTA)	Sand SE 0/4	Lagerstätte Möllin (Fa. Ohle und Lau)
Geogitter in GTA	Fortac® - Geogitter, Typ R600/50-30 T	Huesker Synthetic GmbH
Mineralische Dichtung (MD)		
1. Lage	Ton (AG-seitig)	Ziegelei Kronsfordener Allee
2. Lage	Ton (AN-seitig)	Lagerstätte Groß Pampau (Fa. Ohle und Lau)
Kunststoffdichtungsbahn (KDB)	KDB-PEHD BAM 2,5 mm 7,0 m Microspike+, MST+ Seite	AGRU Kunststofftechnik GmbH
Dichtungskontrollsystem (DKS)	SENSOR DKS-Systeme	SENSOR Dichtungs-Kontroll-Systeme GmbH
Schutzschicht	Sandschutzmatte (MDDS)	G-quadrat Geokunststoffgesellschaft mbH
Entwässerungsschicht (EWS)	Kies GE 16/32 (Rundkorn)	Lagerstätte Möllin (Fa. Ohle und Lau)
	Kies GE 16/32 (Rundkorn)	Kieswerk Krassow (Fa. Otto Dörner)
Trenn-/Filtervlies	HaTe®, Typ B 300 „O“ II	Huesker Synthetic GmbH
Frostschutzschicht	noch nicht definiert	-

Anlage 2

Lageplan – maßgeblicher Bemessungsausschnitt



LEGENDE

▲ ——— Schnittlinie - maßgeblicher Berechnungsschnitt

Nr.: Änderung: Art, Umfang, Ursache		Datum, Name	
Auftraggeber: HEILIT Umwelttechnik GmbH Haferwende 27 28357 Bremen		freigegeben: Datum:	
Projekt: Multi-Funktionelle-Abdichtung der Deponie Ihlenberg		Projekt-Nr.: 039.011.01.05-12	
Benennung: Lageplan maßgeblicher Berechnungsschnitt (Standsicherheit)		Maßstab: ohne	
		Niederlassung Nord Grubenstraße 20 18 055 Rostock	
Datum: 07/2012	Gezeichnet: Pydde	Bearbeitet: Bierhenke	Geprüft: Bierhenke
			Datel: LP_schnittführung.dwg (16/06/2012)
			Zeichn.-Nr.: -
			Anlage: 2

Anlage 3

Scherversuche

Anlage 3.1

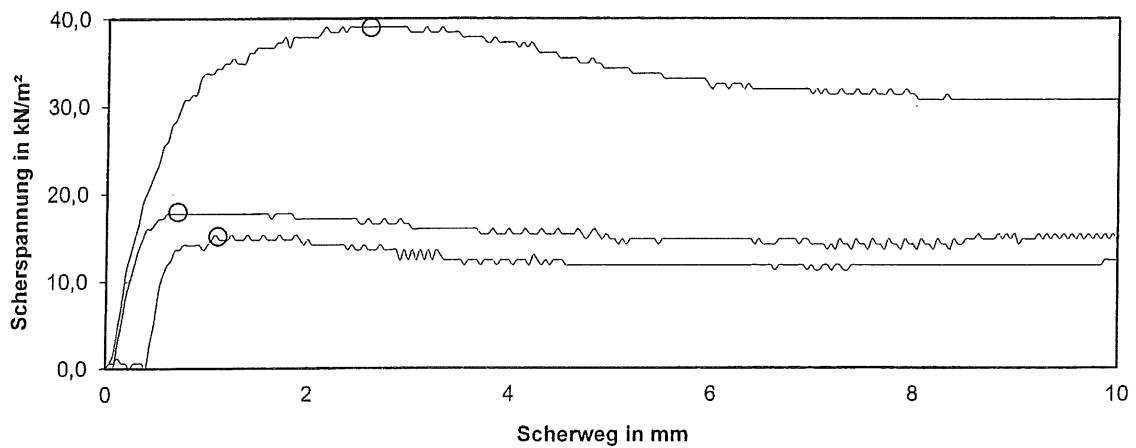
Scherversuch Fuge: mineralische Dichtung / KDB

Großrahmenscherversuch nach DIN 18 137 (Scherfläche 30 x 30 cm)

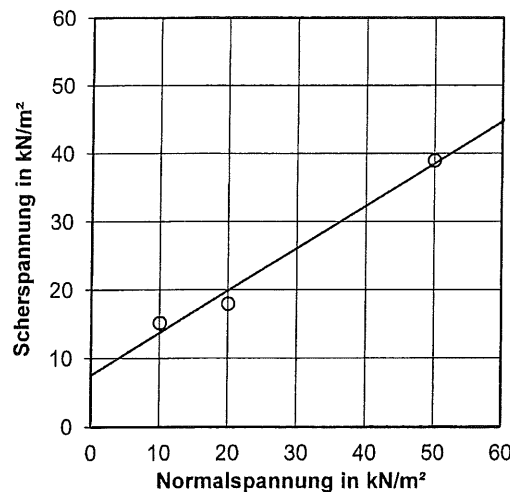
Material im oberen Rahmen: Mineralische Dichtung, Material Grube Ohle, Groß Pampau
(Versuchsdurchführung unter Wasser)

Material im unteren Rahmen: KDB 2,5 mm BAM AGRU Microspice +, MST +
(Versuchsdurchführung unter Wasser)

Scherspannungs-Weg-Diagramm



Scherspannungs-Normalspannungs-Diagramm



Konsolidierungszeit: 1440 Minuten
Konsolidierungsauflast: normalkonsolidiert
Versuchsgeschwindigkeit: 0,040 mm/min

$R^2 =$ 0,98
Reibungswinkel = 31,77 °
Kohäsion / Adhäsion = 7,55 kN/m²

Versuchsnummer	Normalspannung in kN/m ²	Scherspannung in kN/m ²	Scherweg in mm	Konsolidation in kN/m ²
1	10	15,2	1,1	10
2	20	18,0	0,7	20
3	50	39,0	2,6	50

PT

Auswertung Einbaudaten
Laststufe 50 kN/m²

P+E (vor Einbau): 12850,1 g
E+Restmaterial: 6310,9 g
Eingebautes Material = 6539,2 g

Volumen Scherkasten 0,009 m³

Höhe von OK Scherkasten bis zum eingebauten Material

h1: 6,7 cm
h2: 6,7 cm
h3: 6,2 cm
h4: 6,1 cm
mittlere Höhe = 6,4 cm

Volumen eingebautes Material

V = 0,00322 m³

Dichte des eingebauten Materials:

2032385,3924 g/m³
2032,3854 kg/m³
ρ = 2,0324 t/m³ (Dichte bei eingestelltem bzw. natürlichem Wassergehalt)

Wassergehalt

w1: 18,71 %
w2: 18,27 %
w3: 17,81 %
mittlerer
Wassergehalt: 18,26 %

Bestimmung der Trockendichte:

ρ_d = 1,7185 t/m³

Überprüfung der geforderten Proctordichte

D_{pr, opt.} = 1,728 t/m³

D_{pr, ist} = 1,7185 t/m³

vorh. Dichte 99,5 %

Vorgegebener Bereich: > 95 %

Auswertung Einbaudaten
Laststufe 20 kN/m²

P+E (vor Einbau): 11309,3 g
E+Restmaterial: 5489,3 g
Eingebautes Material = 5820,0 g

Volumen Scherkasten 0,009 m³

Höhe von OK Scherkasten bis zum eingebauten Material

h1: 7,0 cm
h2: 6,5 cm
h3: 6,8 cm
h4: 6,4 cm
mittlere Höhe = 6,7 cm

Volumen eingebautes Material

V = 0,00299 m³

Dichte des eingebauten Materials:

1944862,1554 g/m³
1944,8622 kg/m³
 $\rho = 1,9449 \text{ t/m}^3$ (Dichte bei eingestelltem bzw. natürlichem Wassergehalt)

Wassergehalt

w1: 16,74 %
w2: 17,29 %
w3: 17,36 %
mittlerer
Wassergehalt: 17,13 %

Bestimmung der Trockendichte:

$\rho_d = 1,6604 \text{ t/m}^3$

Überprüfung der geforderten Proctordichte

Dpr, opt. = 1,728 t/m³

Dpr, ist = 1,6604 t/m³

vorh. Dichte 96,1 %

Vorgegebener Bereich: > 95 %

Auswertung Einbaudaten
Laststufe 10 kN/m²

P+E (vor Einbau): 15875,3 g
E+Restmaterial: 10206,2 g
Eingebautes Material = 5669,1 g

Volumen Scherkasten 0,009 m³

Höhe von OK Scherkasten bis zum eingebauten Material

h1: 6,6 cm
h2: 6,8 cm
h3: 6,8 cm
h4: 6,7 cm
mittlere Höhe = 6,7 cm

Volumen eingebautes Material

V = 0,00295 m³

Dichte des eingebauten Materials:

1923358,7786 g/m³
1923,3588 kg/m³
ρ = 1,9234 t/m³ (Dichte bei eingestelltem bzw. natürlichem Wassergehalt)

Wassergehalt

w1: 17,27 %
w2: 16,61 %
w3: 15,03 %
mittlerer
Wassergehalt: 16,30 %

Bestimmung der Trockendichte:

ρ_d = 1,6537 t/m³

Überprüfung der geforderten Proctordichte

D_{pr, opt.} = 1,728 t/m³

D_{pr, ist} = 1,6537 t/m³

vorh. Dichte 95,7 %

Vorgegebener Bereich: > 95 %

Anlage 3.2

Scherversuch Fuge: KDB / Sandschutzmatte

Prüfbericht

Prüfnummer: L 8147 07.05.2012 dSV 30x30 WOL 001
Labor: Zentrallabor Lünen



LIMES GMBH

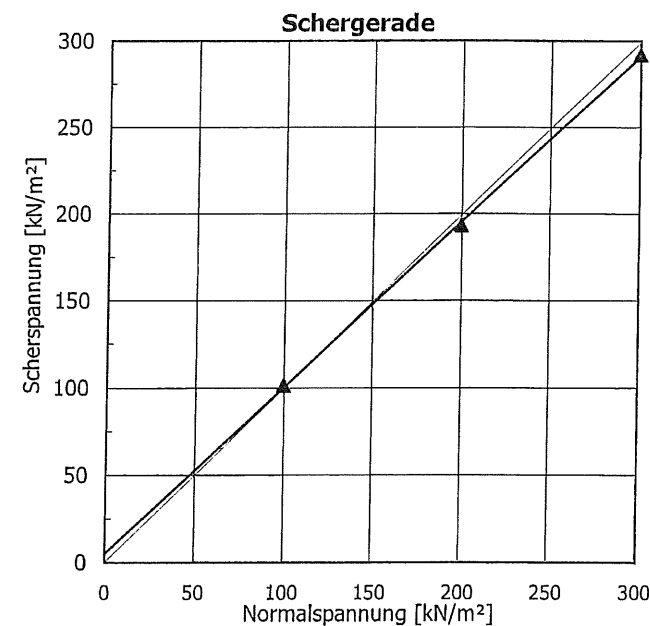
Am Brambusch 24, D-44536 Lünen
Tel.: 02 31/98 60-176 Fax: -178

Auftraggeber: **G² Geokunststoffgesellschaft mbH**
Adolf-Dembach Str. 4a
47829 Krefeld

Projekt: **Eignungsprüfung Sandschutzmatte MDDS**
Probenbezeichnung: KDB PEHD 2,5 mm, BAM Microspike+, MST+Seite vs. MDDS
Probennummer: L - 8147 - 07.05.2012 - EXT - 001
Projekt - Nr. Datum der Probennahme Probennehmer lfd.-Nr.

Bestimmung der Scherfestigkeit nach DIN 18 137 im direkten Scherversuch

Bodenart n. DIN 4022 T1:	-	Art der Probe:	aufbereitet
Korndichte:	-	Güteklasse der Probe:	
Konsolidierung:	unter Wasser	Schergeschwindigkeit:	0,167 mm/min
Scherfuge:	unter Wasser		
Teilprobe:	1 2 3		
Wassergehalt:			
Trockendichte:			
Porenzahl:			
Wassergehalt:			
Porenzahl:			



Bruchzustand
Reibungswinkel φ' **43,6 °**
Kohäsion c' **5,1 kN/m²**
Standardabweichung S_c 2,0163
Korrelationskoeffizient $r_{\tau\sigma}$ 0,9998

Gleitzustand
Reibungswinkel **44,9 °**
Kohäsion **0,0 kN/m²**
Standardabweichung 42,0258
Korrelationskoeffizient 0,9824

Bemerkung:

LIMES · GESELLSCHAFT MBH
INSPEKTION + MATERIALPRÜFUNG

Prüfbericht

Prüfnummer: L 8147 07.05.2012 dSV 30x30 WOL 001
Labor: Zentrallabor Lünen



LIMES GMBH

Am Brambusch 24, D-44536 Lünen
Tel.: 02 31/98 60-176 Fax: -178

Auftraggeber: **G² Geokunststoffgesellschaft mbH**

Adolf-Dembach Str. 4a
47829 Krefeld

Projekt: **Eignungsprüfung Sandschutzmatte MDSS**

Probenbezeichnung: KDB PEHD 2,5 mm, BAM Microspike+, MST+Seite vs. MDSS

Probennummer: L - 8147 - 07.05.2012 - EXT - 001

Projekt - Nr. Datum der Probenahme Probennehmer lfd.-Nr.

Bestimmung der Scherfestigkeit nach DIN 18 137 im direkten Scherversuch

Teilprobe: 1 2 3

Normalspannung: 100,0 kN/m² 200,0 kN/m² 300,0 kN/m²

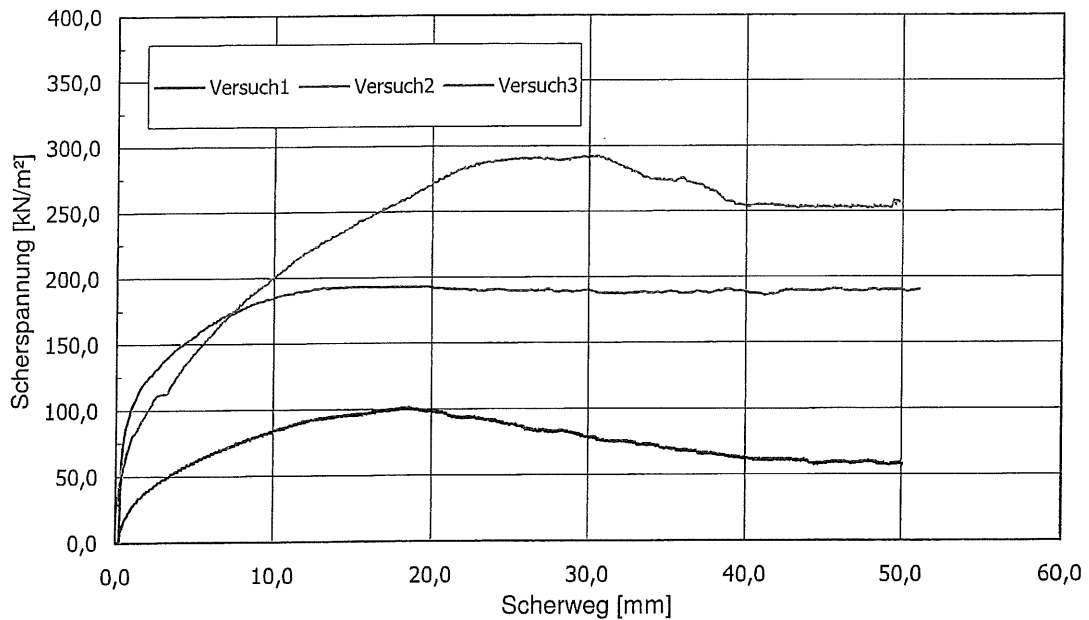
Bruchspannung: 101,6 kN/m² 193,4 kN/m² 292,2 kN/m²

Bruchweg: 18,29 mm 16,95 mm 30,11 mm

Gleitspannung: 58,1 kN/m² 190,5 kN/m² 257,4 kN/m²

Gleitweg: 50,09 mm 51,13 mm 49,83 mm

Scherspannungs-Weg-Diagramm



Bemerkung:

LIMES · GESELLSCHAFT MBH
INSPEKTION + MATERIALPRÜFUNG

Dokument: Scherversuch_L-8147-070512-EXT-001 MST+ vs MDSS
Version: 4

erstellt: JSC

Anlage 3.3
Scherversuch Fuge:
Sandschutzmatte /
Entwässerungsschicht

Prüfbericht

Prüfnummer: L 8159 25.06.2012 dSV 30x30 MUL 001
Labor: Zentrallabor Lünen



LIMES GMBH

Am Brambusch 24, D-44536 Lünen
Tel.: 02 31/98 60-176 Fax: -178

Auftraggeber: **G² Geokunststoffgesellschaft mbH**

Adolf-Dembach-Straße 4a
47829 Krefeld

Projekt: **Eignungsprüfung Sandschutzmatte MDDS**

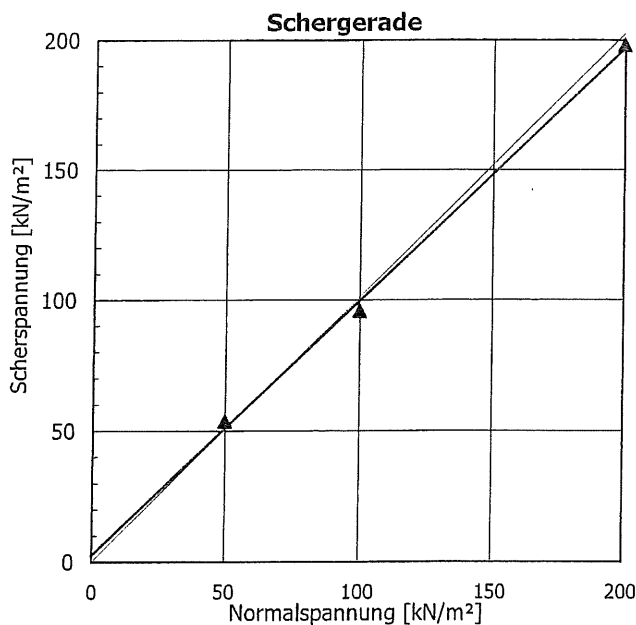
Probenbezeichnung: Sandschutzmatte MDDS vs. Rundkies 16/32 mm

Probennummer: L - 8159 - 25.06.2012 - EXT - 001

Projekt - Nr. Datum der Probenahme Probennehmer lfd.-Nr.

Bestimmung der Scherfestigkeit nach DIN 18 137 im direkten Scherversuch

Bodenart n. DIN 4022 T1:	G	Art der Probe:	aufbereitet
Korndichte:	2,65 g/cm ³	Güteklasse der Probe:	1
Konsolidierung:	unter Wasser	Schergeschwindigkeit:	0,167 mm/min
Scherfuge:	unter Wasser		
Teilprobe:	1	2	3
Anfangszustand Wassergehalt:	1,7 %	1,9 %	1,9 %
Trockendichte:	1,47 g/cm ³	1,46 g/cm ³	1,45 g/cm ³
Porenzahl:	0,81	0,81	0,82
Endzustand Wassergehalt:	2,0 %	2,1 %	2,3 %
Porenzahl:			



Bruchzustand
Reibungswinkel φ' **44,2 °**
Kohäsion c' **2,5 kN/m²**
Standardabweichung S_t 3,3834
Korrelationskoeffizient $r_{\tau\sigma}$ 0,9990

Gleitzustand
Reibungswinkel **45,4 °**
Kohäsion **0,0 kN/m²**
Standardabweichung 14,7557
Korrelationskoeffizient 0,9998

Bemerkung:

LIMES • GESELLSCHAFT MBH
INSPEKTION + MATERIALPRÜFUNG

Prüfbericht

Prüfnummer: L 8159 25.06.2012 dSV 30x30 MUL 001
Labor: Zentrallabor Lünen



LIMES GMBH

Am Brambusch 24, D-44536 Lünen
Tel.: 02 31/98 60-176 Fax: -178

Auftraggeber: **G² Geokunststoffgesellschaft mbH**
Adolf-Dembach-Straße 4a
47829 Krefeld

Projekt: **Eignungsprüfung Sandschutzmatte MDDS**

Probenbezeichnung: Sandschutzmatte MDDS vs. Rundkies 16/32 mm

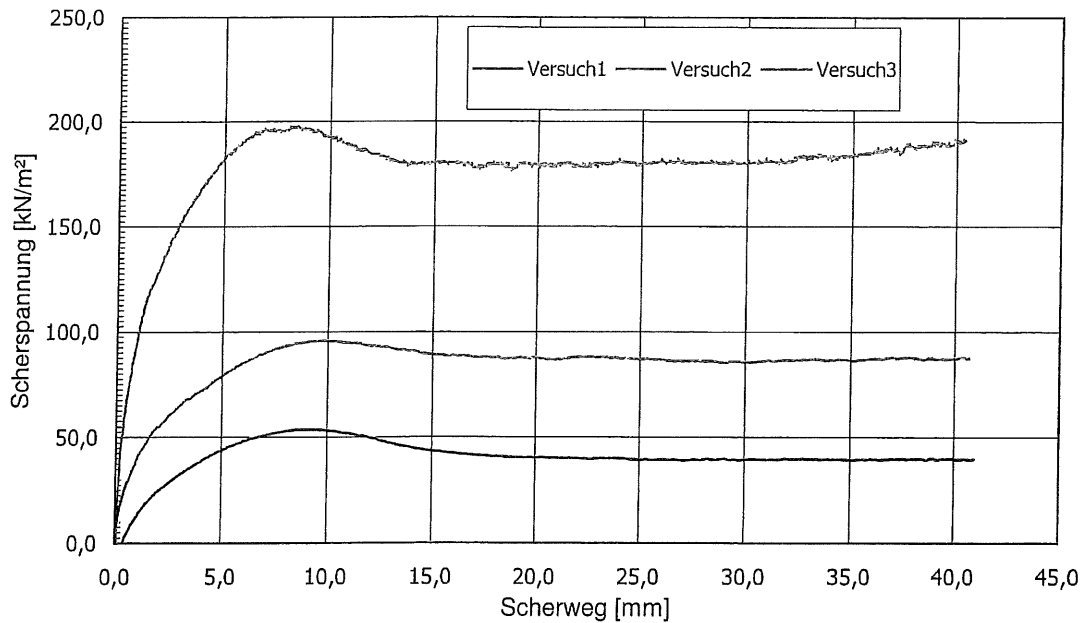
Probennummer: L - 8159 - 25.06.2012 - EXT - 001

Projekt - Nr. Datum der Probennahme Probennehmer lfd.-Nr.

Bestimmung der Scherfestigkeit nach DIN 18 137 im direkten Scherversuch

Teilprobe:	1	2	3
Normalspannung:	50,0 kN/m ²	100,0 kN/m ²	200,0 kN/m ²
Bruchspannung:	53,7 kN/m ²	95,9 kN/m ²	198,2 kN/m ²
Bruchweg:	9,64 mm	10,26 mm	8,49 mm
Gleitspannung:	39,8 kN/m ²	87,5 kN/m ²	191,2 kN/m ²
Gleitweg:	41,01 mm	40,73 mm	40,44 mm

Scherspannungs-Weg-Diagramm



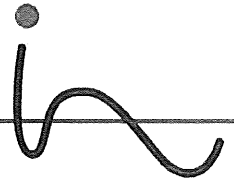
Bemerkung:

LIMES • GESELLSCHAFT MBH
INSPEKTION + MATERIALPRÜFUNG

Anlage 3.4

Scherversuch

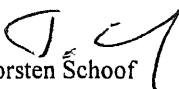
Mineralische Dichtung



Prüfbericht

Bericht-Nr.: BM 105a/2012
Auftraggeber: upi UmweltProjekt Ingenieurgesellschaft mbH
Objekt: Deponie Ihlenberg
Probenart: gestörte Proben
Probenahme: durch Auftraggeber
Probeneingang: 29.05.2012
Probenbearbeitung: 29.bis 31.05.2012
Angewandte Methoden: Scherversuch DIN 18 137

Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die angegebenen Proben.
Ohne schriftliche Genehmigung darf der Bericht nicht auszugsweise vervielfältigt werden.


Torsten Schoof
Dipl.-Ing. (FH)

IHU - Geologie und Analytik
Gesellschaft für Ingenieurbau,
Hydro- und Umweltgeologie mbH
Dr.-Kurt-Schumacher-Straße 23
39576 Stendal
Telefon (0392) 31-33049 Fax (0392) 31-33020

Stendal, den 31.05.2012

Seite 1 von 2

Prüfbericht-Nr.: BM 105a/2012

Rahmenscherversuch

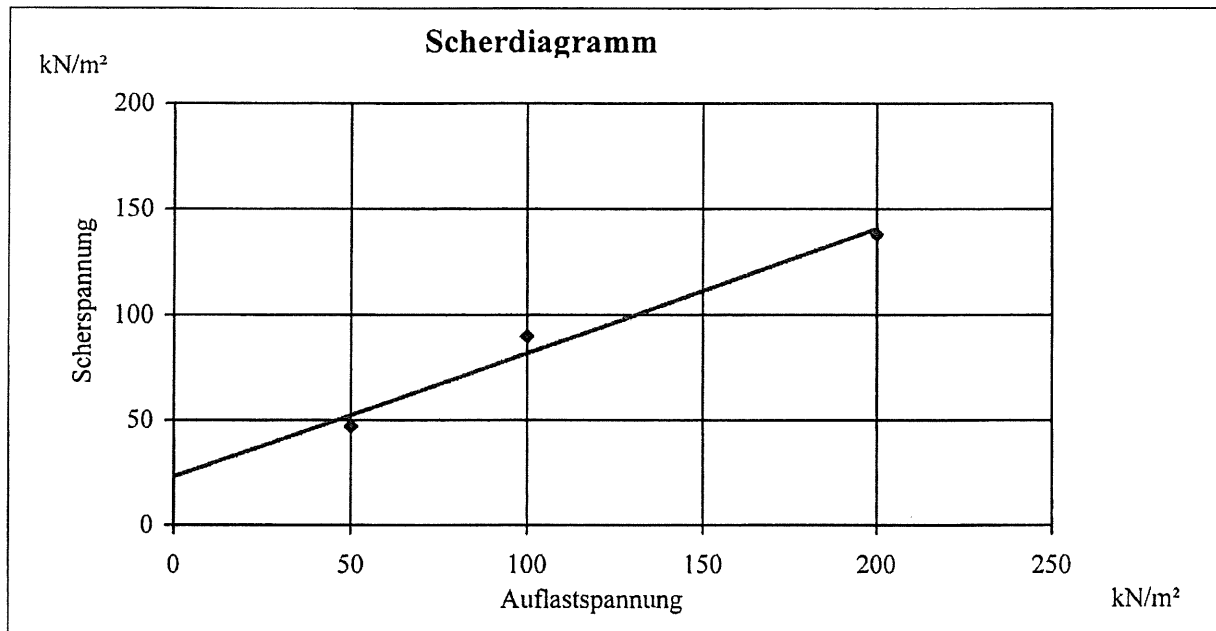
nach DIN 18 137, $A_{\text{Scherzelle}} 40 \text{ cm}^2$, kreisförmig, CU-Versuch

Objekt: Deponie Ihlenberg
 Probe: Probe 1, Grube Ohle - Groß Pampau

Probe-Nr.: BM 105a/1/12
 Probenart: gestörte Probe, gemischtkörniger organogener Boden
 Herstellung Probenkörper ($\rho 1,65 \text{ g/cm}^3$, $w 17,7 \%$)

Versuchsbedingungen: $V_{\text{Scher}} 0,5 \text{ mm/min}$, $t_{\text{Aufbau/Auflast}} 0,5 \text{ h}$, Separation Kornanteil $d > 7 \text{ mm}$ notwendig (ca. 5%)
 $t_{\text{Konsolidierung}} 2,0 \text{ h}$, Berechnung auf Grundlage der größten Scherspannung

Versuch	Normalspannung kN/m ²	Scherspannung kN/m ²
1	50	47,15
2	100	89,98
3	200	137,98



Reibungswinkel **30,4 °**

Kohäsion **23,2 kN/m²**

Bestimmtheitsmaß **97,5 %**
 (Punkte / Grade)

Anlage 4

Zulässige Kornverteilungen für die Frostschuttschicht

**(Auszug Anlage 10 aus der
BAM-Zulassung der Enkadrain® ZB)**

Bereiche zulässiger Kornverteilungen der Rekultivierungsschicht

Die folgenden Kornverteilungsdiagramme wurden dem im Abschnitt 4.3 des Zulassungsscheins genannten Gutachten von Prof. Dr. F. Saathoff (Universität Rostock) entnommen. Basis der Bestimmung der dargestellten zulässigen Bereiche waren die Regeln aus dem DVWK-Merkblatt 221 von 1992 (s. auch Saathoff 1995 und 2009). Es wurden ausschließlich hydrostatische Belastungen angenommen. Im DVWK-Merkblatt wird definiert:

Körnungsbereich A: $d_{40} \leq 0,06 \text{ mm}$

Körnungsbereich B: $d_{15} \geq 0,06 \text{ mm}$

Körnungsbereich C: $d_{15} \leq 0,06 \text{ mm}$ und $d_{40} > 0,06 \text{ mm}$

Die nachfolgend dargelegten Ergebnisse basieren auf einer Vielzahl von Bemessungen. Dabei wurde eine strenge Auslegung der Regeln zugrunde gelegt. So wurde stets ein Boden mit hoher Einzelkornmobilität angenommen. Eine langfristige ausreichende Wasserdurchlässigkeit wird gleichzeitig auch den Nachweis der Sicherheit gegen Kolmation beinhalten. Dazu ist die Öffnungsweite des Geotextils $gew O_{90}$ zwischen der unteren Grenze gegen Kolmation ($min O_{90}$) und der oberen Grenze gegen Erosion ($max. O_{90}$) so zu wählen, dass sie möglichst nahe an $max. O_{90}$, aber keinesfalls unter $0,2 max. O_{90}$ liegt (Saathoff, 2009). Es gilt somit das Kriterium:

$gew O_{90} = 0,2 \text{ bis } 1,0 \text{ zur } O_{90}$.

Die zulässige Öffnungsweite zur O_{90} wurde nach für das Gutachten den Regeln des DVWK für eine Vielzahl von Körnungslinien berechnet.

Das Ergebnis dieser umfangreichen Berechnungen ist in den Bildern 1 bis 14 dargestellt.

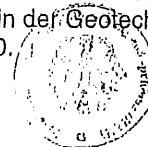
Liegt eine vorhandene Körnungslinie des Rekultivierungsbodens vollständig auf der weißen (zulässigen) Fläche eines der 14 Bilder ist das hier zugelassene Filter-Geotextil für die zu prüfende Körnungslinie unter Berücksichtigung der im Gutachten beschriebenen Randbedingungen geeignet. Schneidet eine relevante Körnungslinie auf jedem Bild eine grau eingefärbte Fläche, so ist das zugelassene Produkt filtertechnisch nicht geeignet.

Die Bilder 1 und 2 enthalten die zulässigen Flächen für Körnungslinien des Körnungsbereichs A. Die Bilder 3 bis 14 enthalten die zulässigen Flächen für Körnungslinien der Körnungsbereiche B und C.

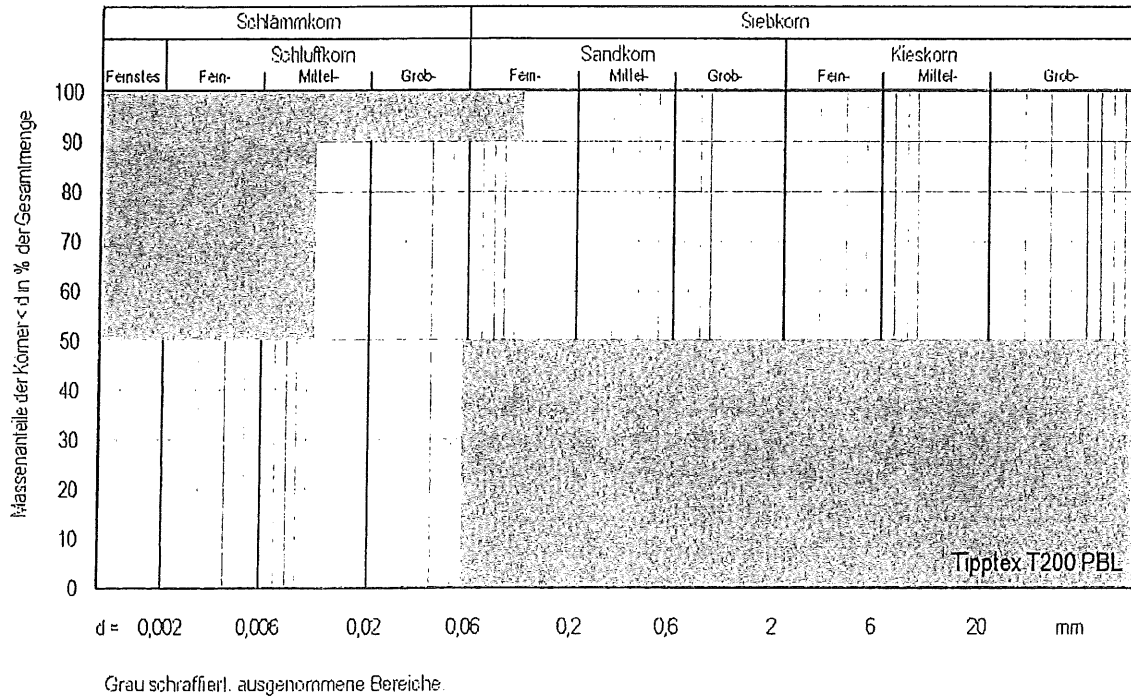
Für die Prüfung der Zulässigkeit in den Körnungsbereichen B und C ist es sinnvoll, zunächst das für die vorhandene Körnungslinie passende d_{60} -Fenster zu wählen. Für $d_{60} \leq 0,4 \text{ mm}$ sind jeweils zwei Bilder zu prüfen, für $d_{60} > 0,4 \text{ mm}$ jeweils nur eines.

Saathoff, F., 1995: Filtern mit Geotextilien. Technische Akademie Esslingen "Geokunststoffe in der Geotechnik".

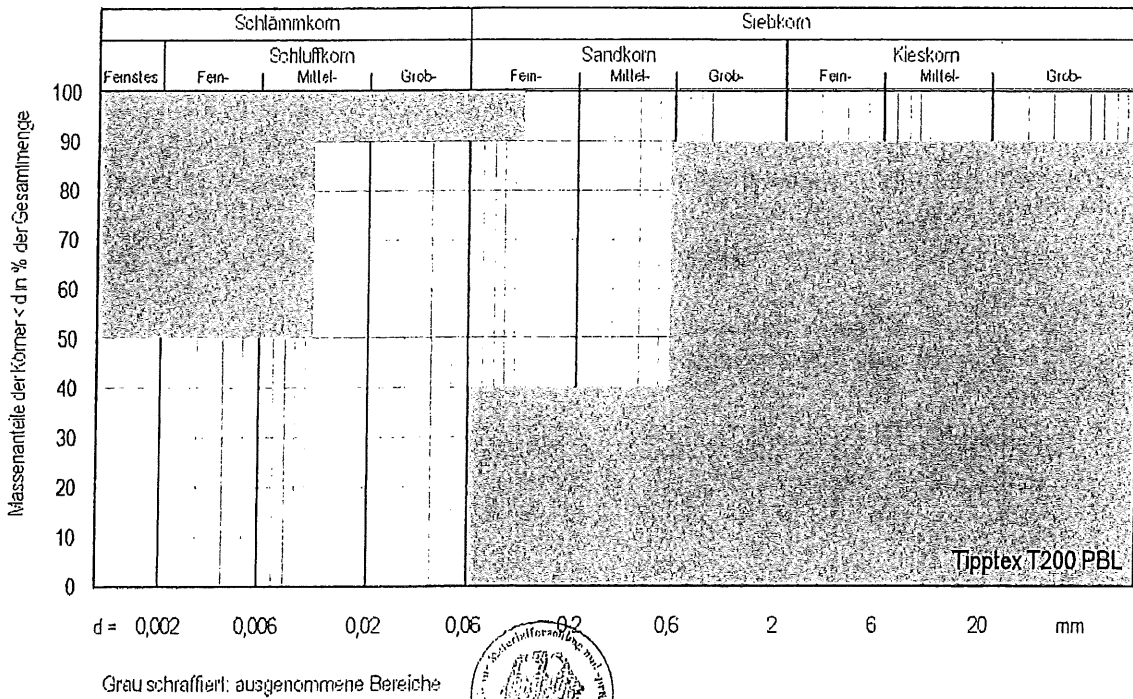
Saathoff, F., 2009: Vergleich von geotextilen und mineralischen Filterschichten im Wasserbau. Sonderheft Geotechnik zur 11. Informations- und Vortragstagung über „Kunststoffe in der Geotechnik“, DGGT, S. 111-123 (13 Seiten), VGE Verlag Essen, ISBN 978-3-940476-21-0.



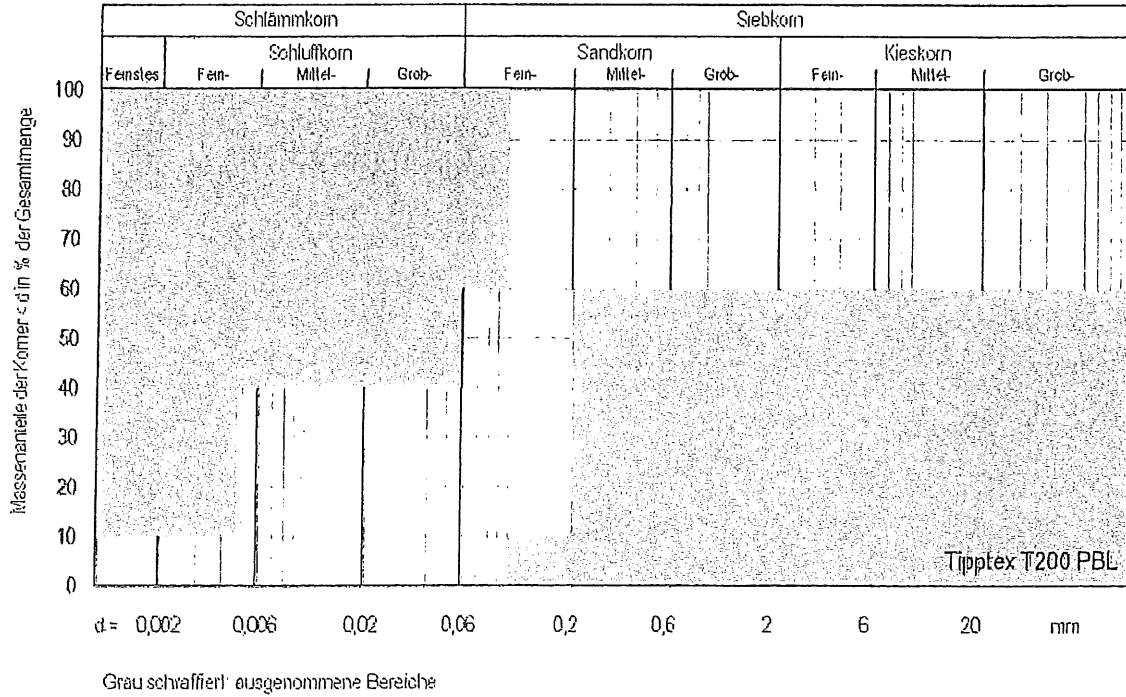
Zulässige Kornverteilungen Bild 1



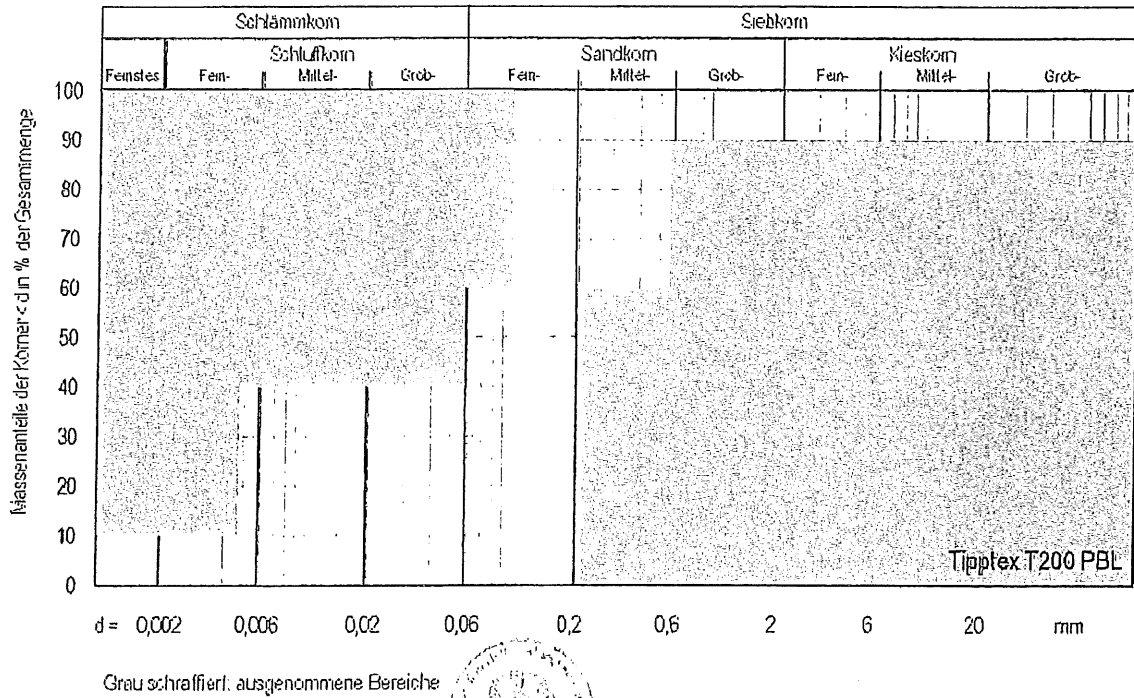
Zulässige Kornverteilungen Bild 2



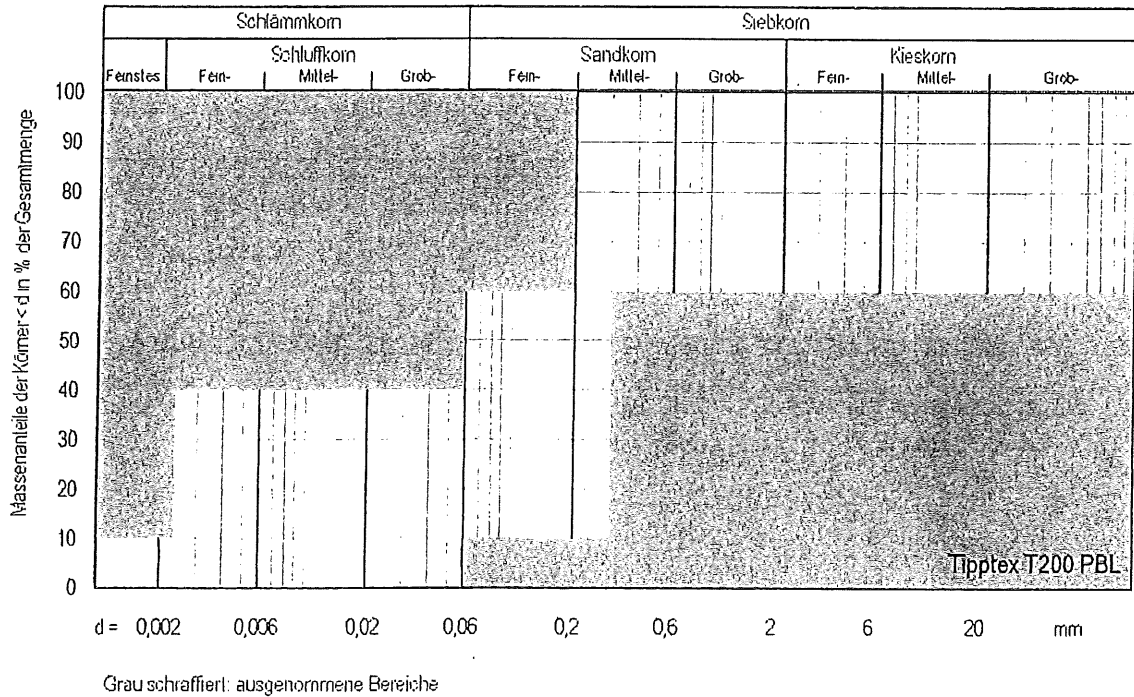
Zulässige Kornverteilungen Bild 3



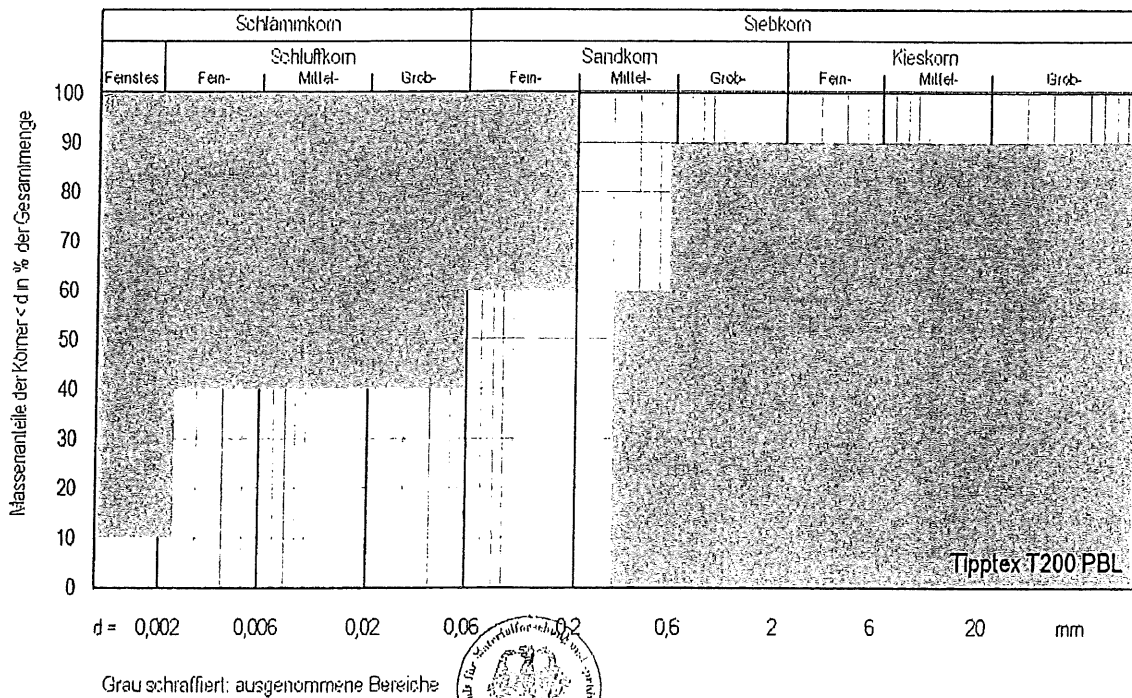
Zulässige Kornverteilungen Bild 4



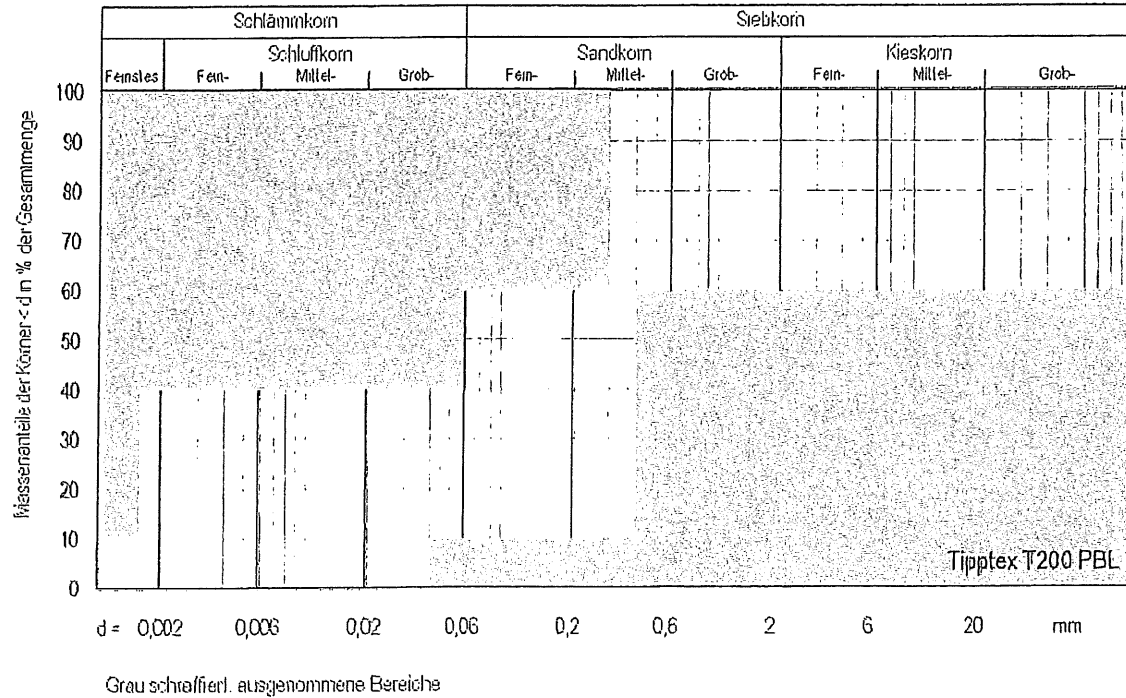
Zulässige Kornverteilungen Bild 5



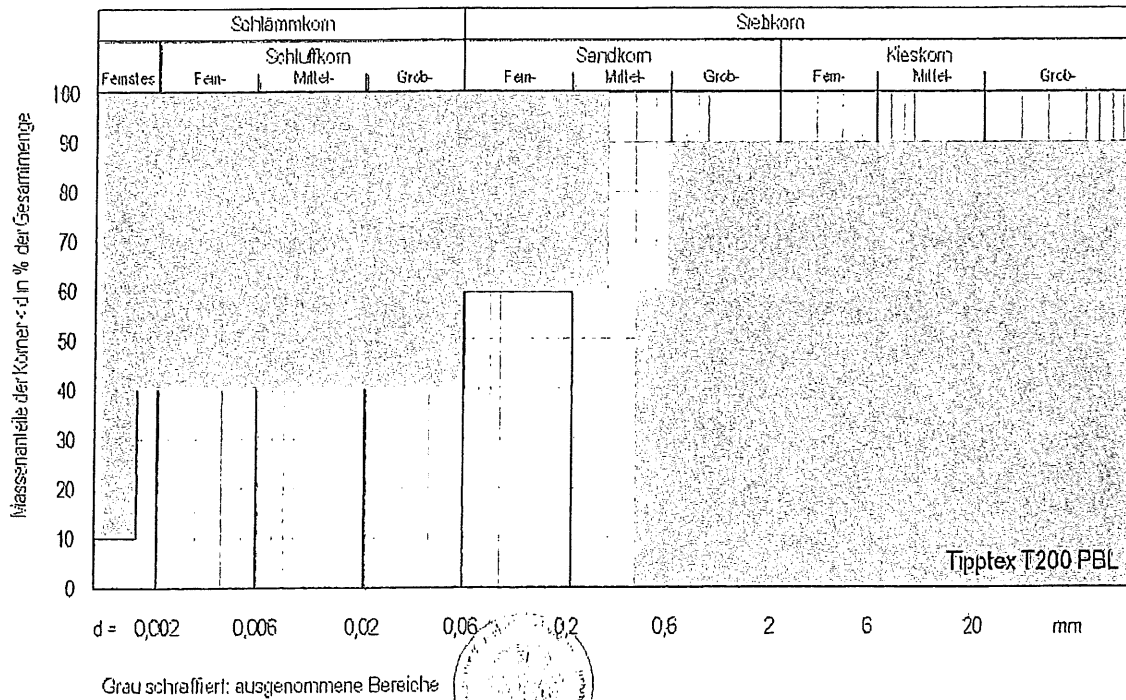
Zulässige Kornverteilungen Bild 6



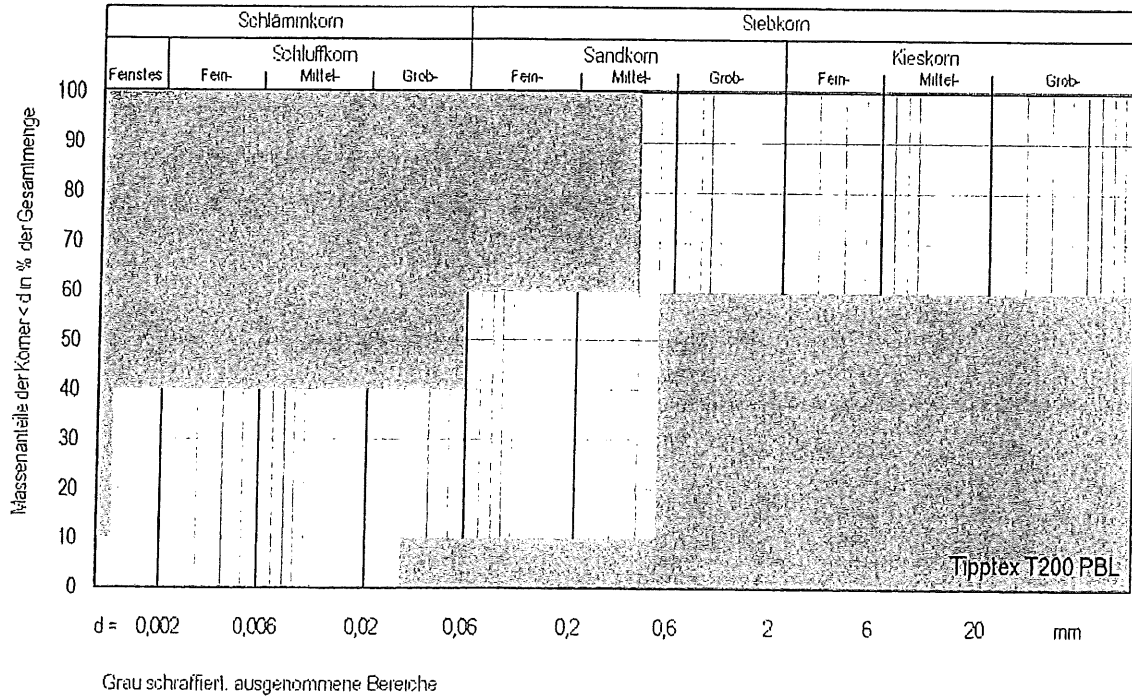
Zulässige Kornverteilungen Bild 7



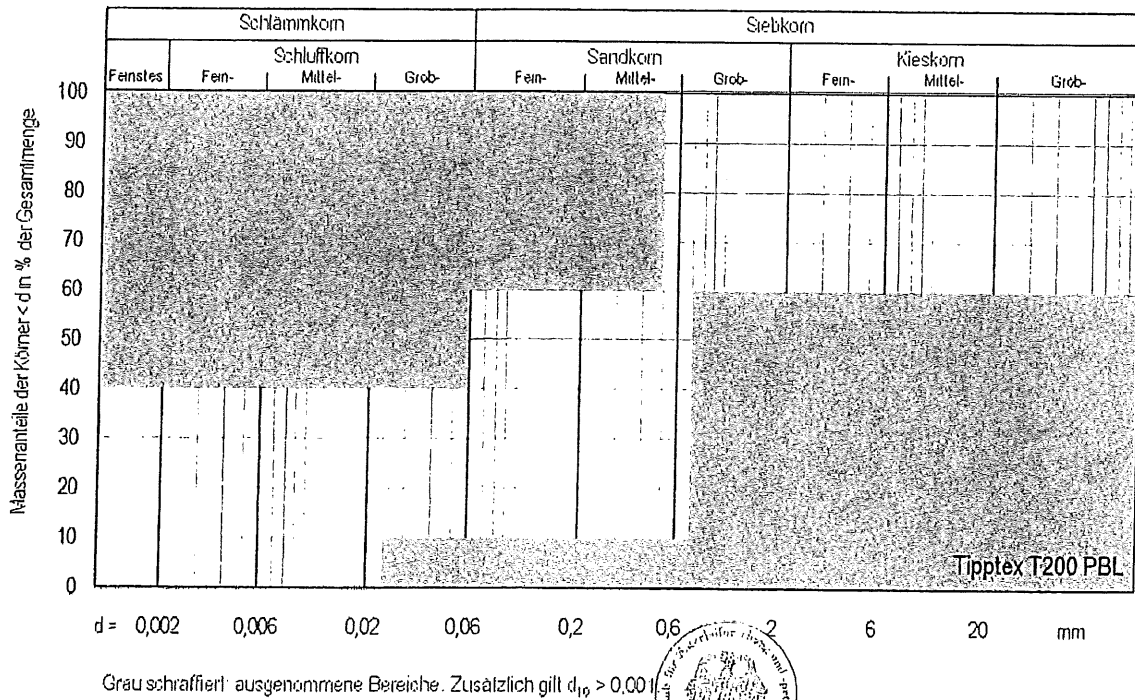
Zulässige Kornverteilungen Bild 8



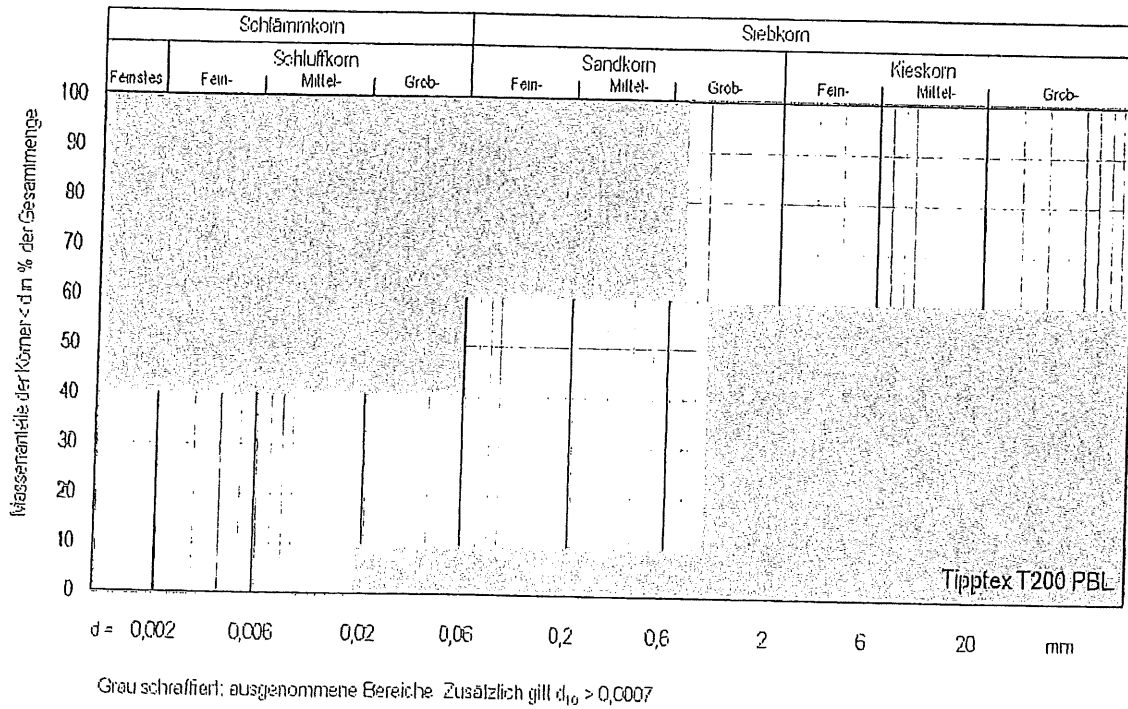
Zulässige Kornverteilungen Bild 9



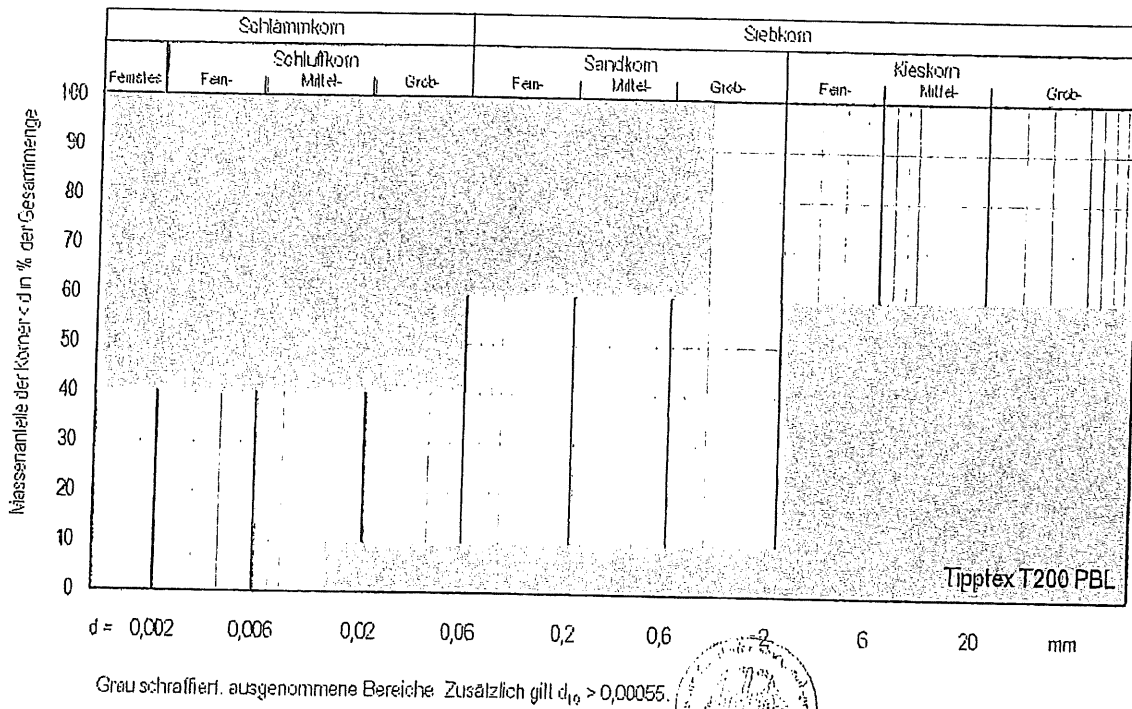
Zulässige Kornverteilungen Bild 10



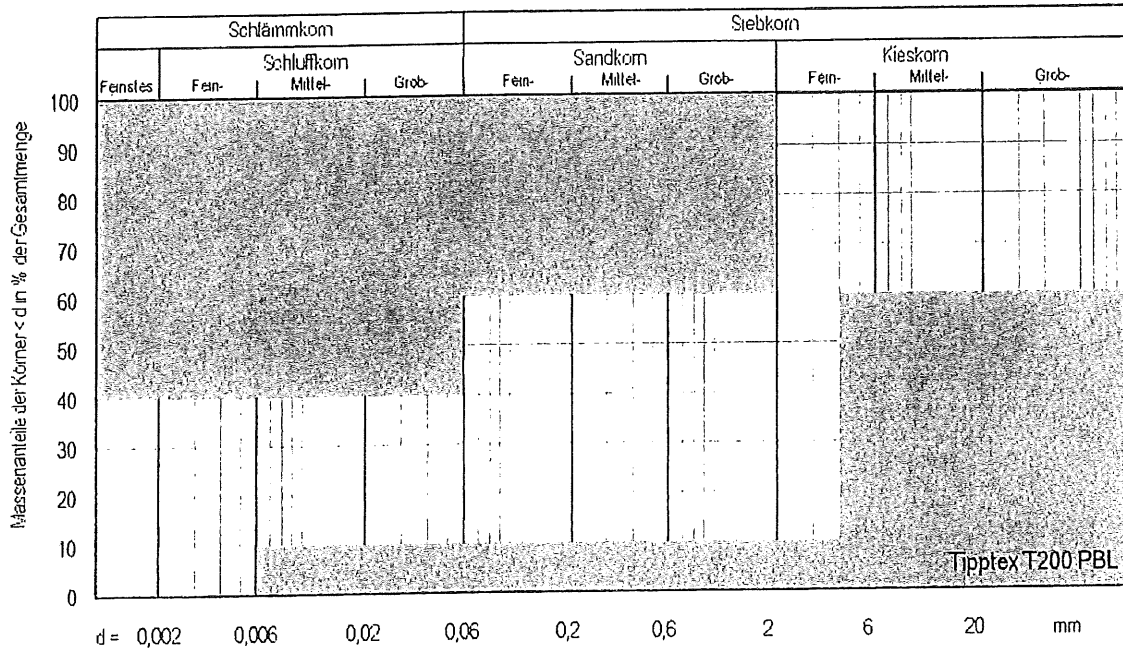
Zulässige Kornverteilungen Bild 11



Zulässige Kornverteilungen Bild 12



Zulässige Kornverteilungen Bild 13



Zulässige Kornverteilungen Bild 14

