



Martin Happenhofer, BSc

**Vergütung einer Kieswäsche für ein Abdichtungsmaterial im  
Deponiebau mit österreichweitem Rundversuch zur  
Eignungsprüfung an einem Probefeld**

**MASTERARBEIT**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

Masterstudium Bauingenieurwissenschaften – Geotechnik und Wasserbau

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Marte

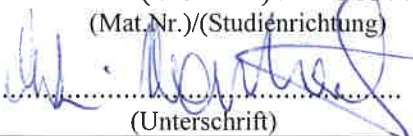



Zweitbetreuer

Oberrat Dipl.-Ing. Otto Leibniz

Institut für Bodenmechanik und Grundbau


Graz, August 2017

**MASTERARBEIT-AUSGABEPROTOKOLL**  
an der Fakultät für Bauingenieurwissenschaften der TU Graz

KANDIDAT: Martin HAPPENHOFER (Name)	F 066 466 (UG2002) / 11 30377 (Mat.Nr.)/(Studienrichtung)
 ..... (Unterschrift)	
<p>THEMA der Masterarbeit:</p> <p><b>Vergütung einer Kieswäsche für ein Abdichtungsmaterial im Deponiebau mit österreichweitem Rundversuch zur Eignungsprüfung an einem Probefeld</b></p> <p><u>Zielsetzung (stichwortartig):</u></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Literatursuche und -studium</li><li>- Grundlagen der Bodenmechanik von Deponien</li><li>- Beschreibung der erforderlichen Materialprüfungen</li><li>- Entwicklung einer geeigneten Materialkombination aus einer bestimmten Kieswäsche und anderen Zumischkomponenten</li><li>- Untersuchungen der Ausgangsmaterialien</li><li>- Versuche zur Eignungsprüfung im Labor</li><li>- Planung und Durchführung eines Versuchsfeldes zur Prüfung der Materialeignung in situ als österreichweiter Rundversuch</li><li>- Selbstständige Durchführung der erforderlichen Insitu-Prüfungen für die TU Graz</li><li>- Statistische Auswertung der Prüfergebnisse der teilnehmenden Labors</li><li>- Zusammenfassung, Schlussfolgerungen und Ausblick</li></ul>	
FACHGEBIET: Bodenmechanik und Grundbau ggf. 2. FACHGEBIET:	
BETREUER: O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Roman Marte (Name)	 ..... (Unterschrift)
2. BETREUER: Oberrat Dipl.-Ing. Otto Leibniz (Name)	 ..... (Unterschrift)
AUSGABEDATUM: 13.03.2017	
SPÄTESTER ABGABETERMIN: 31.08.2017	

**Beurteilung:**

Beurteilung erfolgt durch die Betreuer
--

  
.....  
Datum und Unterschrift des Studiendekans

## **EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe. Das in TUGRAZonline hochgeladene Textdokument ist mit der vorliegenden Masterarbeit identisch.

---

Datum

---

Unterschrift

# Danksagung

Ich möchte mich an dieser Stelle bei all jenen bedanken, die zum Gelingen dieser Arbeit beigetragen haben.

Mein Dank gilt Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Marte für die sehr interessanten und lehrreichen Vorlesungen im Fach Bodenmechanik und Grundbau, welche mich dazu bewegten, dieses Fachgebiet zu vertiefen.

Ein weiterer besonderer Dank gilt meinem Betreuer dieser Arbeit Herrn Oberrat Dipl.-Ing. Otto Leibniz für die kompetente Unterstützung bei der Verfassung der vorliegenden Masterarbeit und die zahlreichen Fachdiskussionen.

Ein besonderer gilt Dank meinen Eltern, Gerti und Peter, die mich während des gesamten Studiums und darüber hinaus unterstützt haben und stets zu mir gestanden sind. Ohne ihnen wäre es nicht möglich gewesen, dass ich im Zuge meiner Auslandssemester in Kanada und Norwegen eine sehr bereichernde Zeit im Ausland erleben durfte.

Ein Dank gilt auch meiner Schwester Birgit, die mir über das ganze Studium hindurch stets mit Rat und Tat zur Seite stand.

Weiters bedanke ich mich beim Team des Geotechnischen Labors des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau der TU Graz für die Unterstützung bei der Durchführung der unzähligen Versuche.

Zu guter Letzt möchte ich mich bei meinen Kollegen des Beton- und Holzbauzeichensaals, allen voran Markus, für die unzähligen gemeinsamen Stunden im Zeichensaal und die Aktivitäten abseits des Studiums bedanken.

Graz, im August 2017

Martin Happenhofer, BSc

# Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird die Verwendung einer Kieswäsche für ein mineralisches Basisabdichtungsmaterial im Deponiebau untersucht.

Um die bodenmechanischen Anforderungen gemäß den rechtlichen Vorgaben einzuhalten, werden geeignete Materialkombinationen aus einer bestimmten Kieswäsche und anderen Zuschlagkomponenten entwickelt. Hierbei wird einerseits der Filterkuchen aus einer Kammerfilterpresse und andererseits die abgesetzten Sedimente eines Schlammteiches untersucht.

Nach der Untersuchung der Ausgangsmaterialien werden mögliche Beimengungen zur Kieswäsche untersucht. Hierbei wird primär die Beimengung von Bentonit, welches aus Ungarn bezogen wird, forciert. Als alternatives Zuschlagmaterial wird Ziegelrecyclingmaterial, welches fein zermahlen wird, in Form von Ziegelpulver beprobt.

Neben der Eignungsprüfung des mineralischen Abdichtungsmaterials im Labor werden In-situ-Prüfungen an einem Probefeld durchgeführt. Die Prüfungen am Probefeld werden im Zuge eines österreichweiten Rundversuchs in der Obersteiermark ausgeführt. Die Ergebnisse der teilnehmenden geotechnischen Labors werden daraufhin ausgewertet und statistisch verglichen.

Es wurde erfolgreich ein mineralisches Basisabdichtungsmaterial entwickelt. Es muss bei Verwendung einer Kieswäsche jedoch ein Hauptaugenmerk auf die Einhaltung des optimalen Wassergehalts, wie er im Proctorversuch bestimmt wurde, gelegt werden, sodass die technischen Einbaukriterien erfüllt werden.

# Abstract

The present master's thesis deals with the usability of a side product that occurs at gravel washing processes. The goal is to use this side product as a mineral base sealing material in landfill construction.

To satisfy the soil mechanical requirements that are fixed in the legal regulations, different material combinations of the side product from the gravel washing process and other components are developed.

In general, two different basic raw materials from the gravel washing process had been used in this research. On the one hand the filter cake out of a filter press had been used and on the other hand the sedimented material from a tailing dam.

After the investigation of the basic raw material different impurities to the side product from the gravel washing process had been done. Primary the admixture of Bentonite from Hungary had been forced. Alternatively, pulverized recycled brick material had been added to the basic raw material.

In addition to the performance test of the mineral base sealing material in the laboratory, in situ tests on a trial field in Upper Styria had been done. This testing had been performed as part of an Austrian wide cooperative test. The results of the participating geotechnical laboratories had been interpreted and statistically compared.

A mineral base sealing material had been successfully developed. The main goal in using the side material from the gravel production is the adherence of the optimal water content. Hence, the main focus has to be directed on the water content to fulfill the technical requirements.

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1	Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017	2
1.2	Deponieverordnung	3
1.3	Altlastensanierungsgesetz	3
1.4	Baustoff-Recyclingverordnung	4
<b>2</b>	<b>Deponietechnik</b>	<b>5</b>
2.1	Standsicherheit	5
2.2	Deponiebasisabdichtung	6
2.3	Basisentwässerung	9
2.4	Deponieoberflächenabdeckung	10
<b>3</b>	<b>Eignungsprüfung einer mineralischen Basisabdichtung im Labor</b>	<b>12</b>
3.1	Mineralisches Dichtmaterial aus der Kieswäsche	12
3.1.1	Kieswäsche aus dem Schlammteich	14
3.1.2	Kieswäsche aus der Kammerfilterpresse	16
3.2	Kieswäsche vergütet mit Bentonit	18
3.2.1	Bentonit-Vorkommen und Lagerstätten	20
3.2.2	Für die Vergütung verwendetes Bentonit	21

3.3	Mit Ziegelrecyclingmaterial vergütete Kieswäsche	26
3.4	Tonmehl und Ca-Bentonit	29
3.5	Konzeptionierung der mineralischen Basisabdichtung	29
3.6	Vermischung der Materialien	32
3.7	Eignungsprüfung gemäß ÖNORM S 2074-2	32
3.7.1	Laborversuche gemäß ÖNORM S 2074-2	34
3.7.2	Ergebnisse und Interpretation	51
<b>4</b>	<b>Österreichweiter Rundversuch einer mineralischen Basisabdichtung</b>	<b>72</b>
4.1	Teilnehmende Labors am österreichweiten Rundversuch	72
4.2	Probefeld für die Vergleichsversuche	73
4.2.1	Geometrie des Probefeldes	73
4.2.2	Herstellung des Probefeldes	73
4.3	Insitu-Prüfungen am Probefeld	77
4.3.1	Durchlässigkeit – Standrohrversuch (vgl. ÖNORM B 4422-2:2002)	77
4.3.2	Bestimmung der Dichte des Bodens (vgl. ÖNORM B 4414-2:1979)	80
4.4	Auswertung	81
4.4.1	Definitionen (vgl. ISO 3535-1:2006)	81
4.4.2	Ausreißertest	82
4.5	Ergebnisse	83



4.5.1	Korngrößenverteilung	83
4.5.2	Wassergehalt	85
4.5.3	Korndichte	85
4.5.4	Zustandsgrenzen	86
4.5.5	Organischer Anteil	88
4.5.6	Wasseraufnahmevermögen	88
4.5.7	Standrohrversuch	89
4.5.8	Proctorversuch	89
4.5.9	Im Labor bestimmter Durchlässigkeitsbeiwert	91
4.5.10	Scherparameter	92
4.5.11	Kompressionsversuch	93
4.5.12	Bestimmung der Dichte	94
<b>5</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>95</b>
5.1	Unterlagen	95
5.2	Laboruntersuchungen	97
5.2.1	Allgemeines	97
5.2.2	Ermittlung der Korndichte gemäß ÖNORM B 4413	98
5.2.3	Bestimmung der Korngrößenverteilung durch Nasssiebung mit nachfolgender Schlämmanalyse gemäß ÖNORM B 4412	98

5.2.4	Untersuchung des Verdichtungsverhaltens nach Standard-Proctor gemäß ÖNORM B 4418 und ÖNORM EN 13286-2	99
5.2.5	Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes bei konstanter Druckhöhe gemäß ÖNORM B 4422-1	99
5.2.6	Bestimmung des organischen Anteils mittels Glühverlust gemäß ÖNORM B 4424	100
5.2.7	Bestimmung der Scherfestigkeit im Rahmenscherversuch gemäß ÖNORM B 4416	100
5.2.8	Untersuchung des Spannungs-Verformungsverhaltens im Ödometer gemäß ÖNORM B 4420	101
5.2.9	Bestimmung der Plastizität	103
5.3	Ergebnis der Eignungsprüfung	105
<b>6</b>	<b>Erkenntnisse und Ausblick</b>	<b>107</b>
<b>7</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>109</b>
<b>8</b>	<b>Anhangverzeichnis</b>	<b>113</b>

# Formelzeichen und Abkürzungen

## Große Buchstaben

$A$	[m <sup>2</sup> ]	Querschnittsfläche
$D_{Pr}$	[%]	Verdichtungsgrad
$C_{org}$	[%]	organischer Anteil
$I_P$	[%]	Plastizitätszahl
$I_C$	[-]	Konsistenzzahl
$E_S$	[MN/m <sup>2</sup> ]	Steifemodul
$V_d$	[cm <sup>3</sup> ]	Volumen des Probekörpers

## Kleine Buchstaben

$w$	[%]	Wassergehalt
$m$	[g]	Masse
$m_d$	[g]	Masse des Probekörpers im trockenen Zustand
$\Delta m_d$	[g]	Massenverlust
$w_A$	[M.-%]	Wasseraufnahme nach Enslin
$m_{wg}$	[g]	aufgesaugte Wassermenge nach 24 Stunden
$w_L$	[%]	Fließgrenze
$w_S$	[%]	Schrumpfgrenze
$w_{opt}$	[%]	optimaler Wassergehalt aus dem Proctorversuch
$k_{10}$	[m/s]	Durchlässigkeitsbeiwert
$i$	[-]	hydraulischer Gradient
$c_{gl,1}$	[%]	Glühverlust der ersten Glühung
$c_{gl,2}$	[%]	Glühverlust der zweiten Glühung
$c$	[kN/m <sup>2</sup> ]	Kohäsion

## Griechische Buchstaben

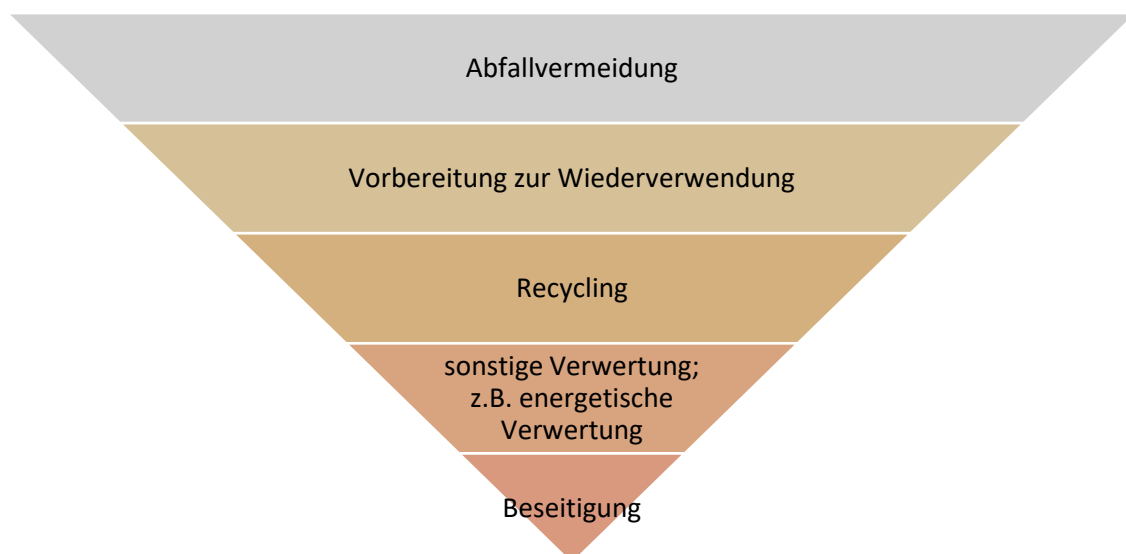
$\gamma$	[kN/m <sup>3</sup> ]	Wichte
$\gamma_w$	[kN/m <sup>3</sup> ]	Wichte des Wassers
$\varphi$	[°]	innerer Reibungswinkel des Bodens
$\varphi_r$	[°]	Restreibungswinkel
$\rho$	[g/cm <sup>3</sup> ]	Dichte
$\rho_w$	[g/cm <sup>3</sup> ]	Dichte des Wassers
$\rho_s$	[g/cm <sup>3</sup> ]	Korndichte
$\rho_d$	[g/cm <sup>3</sup> ]	Trockendichte
$\rho_{Pr}$	[g/cm <sup>3</sup> ]	Trockendichte
$\sigma_c$	[kN/m <sup>2</sup> ]	Normalspannung

# 1 Einleitung

Die gesetzliche Regulierung der Abfallwirtschaft erfolgt in Österreich durch das Abfallwirtschaftsgesetz 2002 (AWG 2002). Dieses Bundesgesetz definiert die Hierarchie, wie mit Abfall in Österreich umzugehen ist (siehe Abb. 1). Prioritär wird hier die Abfallvermeidung angesehen. Ohne die Entstehung von Abfall entfallen alle weiteren Schritte in der schrittweisen Abfallbehandlung und ein Mehrwert für die Umwelt entsteht. Als letzter Schritt in der Hierarchie der Entsorgungskette steht die Beseitigung von Abfall, was in Form einer Deponierung durchgeführt wird, welchen es jedoch durch die vorher gesetzten Schritte zu vermeiden gilt. (vgl. BMLFUW, 2017c)

Bei einer Deponie handelt es sich gemäß AWG 2002 um eine Anlage, welche zum endgültigen, reaktionsarmen und geordneten Ablagern von nicht verwertbaren und gegebenenfalls behandelten ungefährlichen Abfällen dient. Grundsätzlich muss zwischen dem „Ablagern“ und „Lagern“ von Abfällen unterschieden werden. Beim Lagern handelt es sich um das Bereithalten von Abfällen über einen maximalen Zeitraum von einem Jahr für die Abholung oder Aufarbeitung. (vgl. Kainz et al., 2012)

Gemäß Abfallwirtschaftsgesetz ist die Abfallwirtschaft im Sinne des Vorsorgeprinzips und der Nachhaltigkeit auszurichten, sodass schädliche Einwirkungen auf Mensch, Tier und Pflanzen und deren Lebensgrundlagen so gering wie möglich gehalten werden. Zudem soll die Emission von Luftschadstoffen verhindert werden und stofflich verwertete Abfälle kein höheres Gefährdungspotential als Produkte aus Primärrohstoffen aufweisen. Zurückbleiben sollen nur solche Abfälle, bei denen für nachfolgende Generationen keine Gefährdung ausgeht. (vgl. BMLFUW, 2017c)



**Abb. 1:** Abfallhierarchie nach dem Bundesgesetz (vgl. BMLFUW, 2017c)

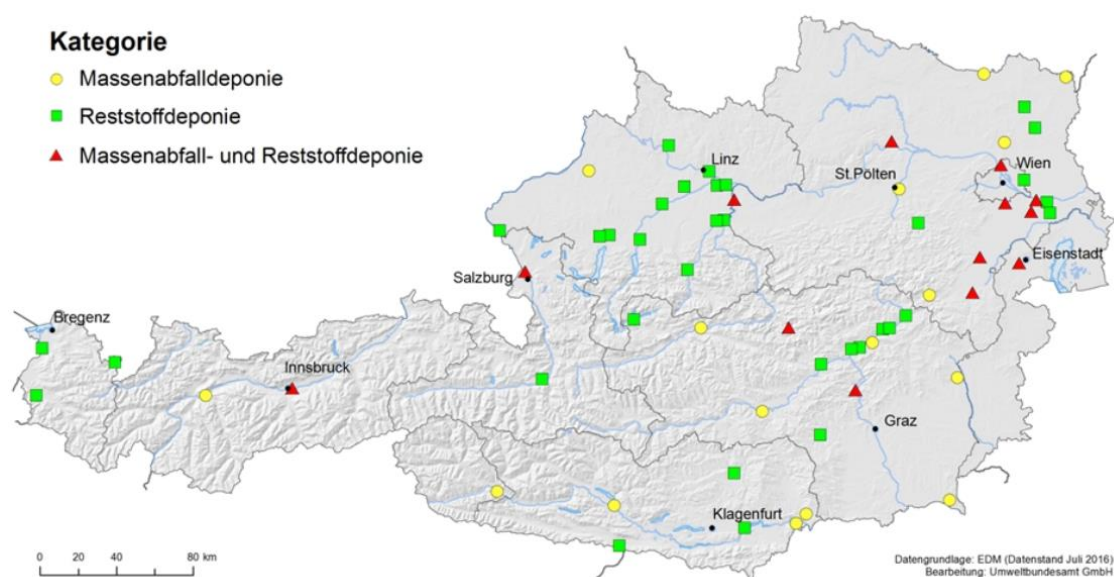
Bei Abfall handelt es sich um bewegliche Sachen, deren sich der Besitzer entledigt hat oder entledigen will, deren Behandlung, Beförderung, Sammlung, und Lagerung als Abfall erforderlich ist, um das öffentliche Interesse nicht zu beeinträchtigen. (vgl. BMLFUW, 2017c)

Die rechtlichen Rahmenbedingungen in Bezug auf die Behandlung von Abfall wurden im zuvor erläuterten Abfallwirtschaftsgesetz, im Bundes-Abfallwirtschaftsplan, im Altlastensanierungsgesetz und in der Baustoffrecyclingrichtlinie geschaffen. Diese Gesetze und Richtlinien stehen zueinander im Zusammenhang. Nachfolgend wird auf diese detailliert eingegangen.

## 1.1 Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017

Um die Ziele und Grundsätze des Abfallwirtschaftsgesetzes 2002 verwirklichen zu können, hat der Bundesminister für Land- und Forstwirtschaft alle sechs Jahre einen Bundes-Abfallwirtschaftsplan (BAWP) zu erstellen, welcher über das Internet zu veröffentlichen ist. (BMLFUW, 2017a)

Im Bundes-Abfallwirtschaftsplan erfolgt eine Bestandsaufnahme der aktuellen Situation der Abfallwirtschaft sowie der zukünftigen Entwicklungen im Hinblick auf die Abfallströme. Zudem wird die Verteilung der Anlagen zur Verwertung und Beseitigung von Abfällen in Österreich aufgezeigt. Des Weiteren erfolgt im BAWP die Beurteilung über die Notwendigkeit zusätzlicher Anlagen für die Behandlung von Abfällen und gegebenenfalls die Stilllegung bestehender Anlagen. Auch die Konkretisierung von Vorgaben aus dem Abfallwirtschaftsgesetz, wie beispielsweise für die Beseitigung von nicht vermeidbaren oder verwertbaren Abfällen, erfolgt im BAWP. (vgl. BMLFUW, 2017b)



**Abb. 2:** Massenabfall- und Reststoffdeponien in Österreich (BMLFUW, 2017a)

In Österreich wurden im Jahr 2015 25.843.000 Tonnen an Material deponiert. Das abgelagerte Material setzt sich zusammen aus Bodenaushub, sonstigen verunreinigten Böden, Schlacken und Aschen aus Abfallverbrennungsanlagen, mineralischer Bauschutt und restlichen Abfällen. Wobei aus dem deponierten Bodenaushubmaterial der größte Anteil von 21.909.000 t resultiert. Abb. 2 stellt hierfür beispielhaft die Verteilung von Massenabfall- und Reststoffdeponien in Österreich dar. Insgesamt verfügen die in Österreich vorhandenen 999 Deponien über ein freies Deponievolumen von 148,1 Mio. m<sup>3</sup>. (vgl. BMLFUW, 2017b)

## 1.2 Deponieverordnung

In der Deponieverordnung 2008 werden alle Anforderungen an abzulagernde Abfälle, an die Deponiebasis und an den Deponiestandort für die Ablagerung von Abfällen ober Tag geregelt. Ziel der Verordnung ist die Festlegung von Anforderungen für Deponien und Abfälle, um negative Auswirkungen, welche von Deponien ausgehen könnten, zu minimieren. (vgl. Kainz et al., 2012)

Gemäß Deponieverordnung wird zwischen folgenden Deponiearten unterschieden (BMLFUW, 2008):

- Bodenaushubdeponie
- Inertabfalldeponie
- Deponie für nicht gefährliche Abfälle
  - Baurestmassendeponie
  - Reststoffdeponie
  - Massenabfalldeponie
- Deponie für gefährliche Abfälle (nur als Untertagedeponie)

Genauere Erläuterungen zu den einzelnen Deponiearten und deren Anforderungen erfolgen in Kapitel 2.

## 1.3 Altlastensanierungsgesetz

Das Ziel des Altlastensanierungsgesetzes (ALSAG) ist die Finanzierung der Sicherung und Sanierung von Altlasten. (BMLFUW, 1989)

Für die Deponierung von Abfall, muss pro angefangener Tonne Material der Altlastensanierungsbeitrag entrichtet werden. Die Höhe des ALSAG-Beitrages richtet sich nach der Deponieart (siehe Tab. 1).

Der ALSAG-Beitrag muss zudem für das mehr als einjährige Lagern von Abfällen zur Beseitigung oder das mehr als dreijährige Lagern von Abfällen zur Verwen-

dung und das Verfüllen von Geländeunebenheiten entrichtet werden. Das Verbrennen von Abfällen, die Verwendung zur Herstellung von Brennstoffprodukten und die Beförderung von Abfällen außerhalb des Bundesgebietes sowie das Einbringen von Abfällen in einen Hochofen unterliegt ebenso der ALSAG-Beitragspflicht. (vgl. BMLFUW, 1989)

Für die Beitragspflicht gibt es verschiedene im Altlastensanierungsgesetz definierte Ausnahmen.

Im Jahr 2017 wurde das Altlastensanierungsgesetz novelliert. Eine wesentliche Änderung betrifft diesbezüglich die Verwendung von Recycling-Baustoffen im Deponiebau. Demnach sind Recycling-Baustoffe von der Beitragspflicht ausgenommen, wenn diese zur Errichtung eines genehmigten Deponiebasisabdichtungssystems, einer genehmigten Deponieoberflächenabdichtung oder eines genehmigten Basisentwässerungssystems verwendet werden, sofern die geforderten Vorgaben gemäß Recycling-Baustoffverordnung eingehalten werden. (vgl. BMLFUW, 1989)

Dies ermöglicht den wirtschaftlichen Einsatz von Recyclingbaustoffen im Deponiebau, was im Zuge dieser Arbeit Anwendung findet.

**Tab. 1:** Höhe des Altlastensanierungsbeitrages in Abhängigkeit der Deponieart (BMLFUW, 1989)

Deponieart	€/to
Bodenaushub-, Inertabfall- oder Baurestmassendeponien	9,20
Reststoffdeponien	20,60
Massenabfalldeponien oder Deponien für gefährliche Abfälle	29,80

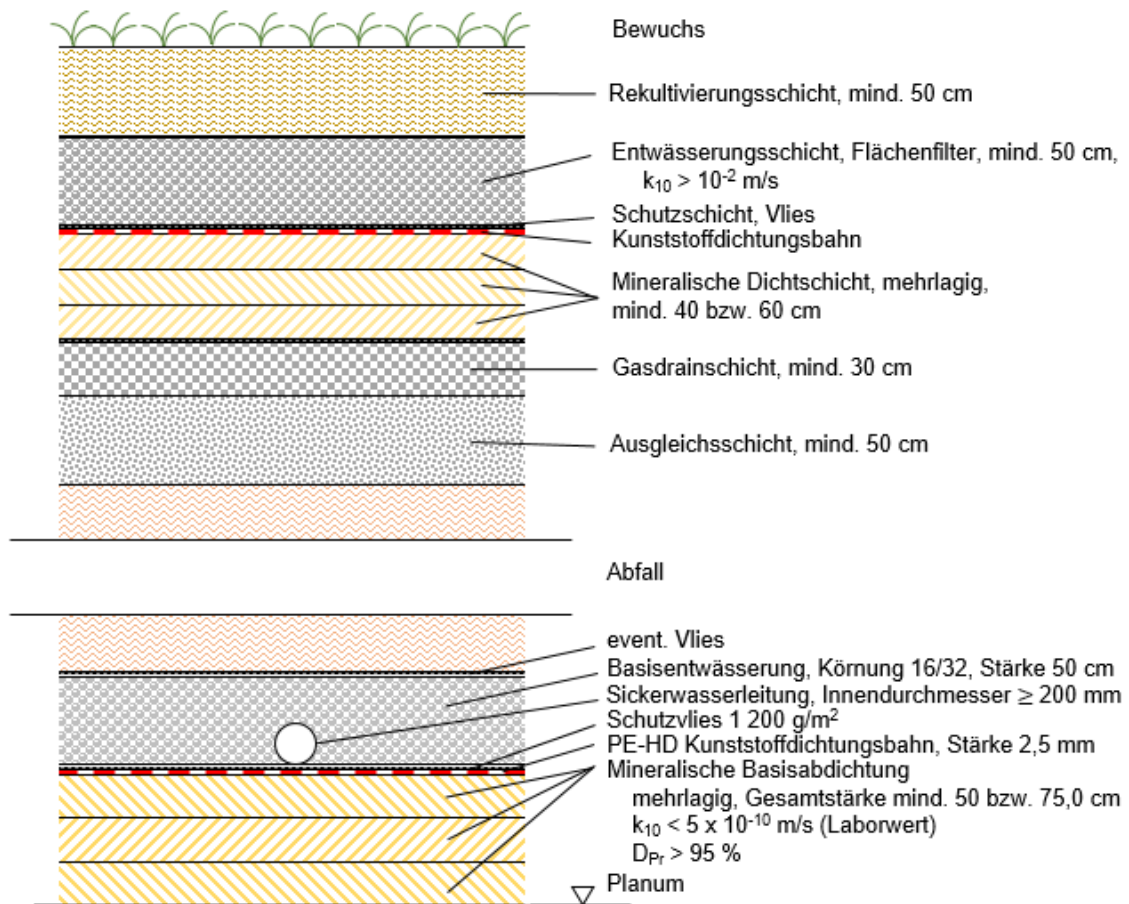
## 1.4 Baustoff-Recyclingverordnung

Ziel der Baustoff-Recyclingverordnung ist die Sicherstellung von qualitativ hochwertigen Recycling-Baustoffen und das Recycling von Bauabfällen auf Grundlage von Zielvorgaben der Europäischen Union sowie die Förderung der Kreislaufwirtschaft. (vgl. BMLFUW, 2016)

Recyclingbaustoffe werden in der Baustoff-Recyclingverordnung unterschiedlichen Qualitätsklassen zugeordnet. Als höchste Qualitätsklasse wird hierbei die „Qualitätsklasse U-A“ definiert. Werden die in der Verordnung definierten Parameter und Grenzwerte eingehalten, wird die „Qualitätsklasse U-A“ erreicht und damit das Abfallende erzielt. Mit dem Abfallende entfällt die ALSAG-Beitragspflicht für den erzeugten Recyclingbaustoff. Das Abfallende kann jedoch nur erreicht werden, wenn einerseits die „Qualitätsklasse U-A“ eingehalten wird und der Recyclingbaustoff vom Hersteller an einen Dritten übergeben wird. (vgl. BMLFUW, 2016)

## 2 Deponietechnik

Die technischen Rahmenbedingungen für den Bau einer Deponie werden in der Deponieverordnung definiert. Abb. 3 zeigt beispielhaft den Aufbau einer Reststoff- und Massenabfalldeponie. Die einzelnen Komponenten des Deponieaufbaus werden in den folgenden Punkten detailliert erläutert.



**Abb. 3:** Schematische Darstellung eines möglichen Deponieaufbaus gemäß Deponieverordnung 2008

### 2.1 Standsicherheit

Bei der Errichtung einer Deponie müssen Nachweise sowohl für die innere als auch die äußere Standsicherheit geführt werden. Im Zuge der Nachweise müssen das Gewicht und die Eigenschaften des abzulagernden Abfalls sowie Zeit- und Witterungseinflüsse berücksichtigt werden. Vorgaben an die Standsicherheits-



nachweise werden in der Deponieverordnung definiert. Folgende Nachweise bezüglich der inneren Standsicherheit des Deponiekörpers können unter anderem erforderlich sein (vgl. BMLFUW, 2008):

- **Böschungsbruchsicherheit**  
Der Nachweis muss für den Endzustand als auch für den Bauzustand geführt werden. Der Nachweis muss auch für den Fall der versagenden Basisentwässerung geführt werden ( $\eta > 1,3$ ).
- **Sicherheit gegen Spreizdruckversagen**  
Für den Nachweis auf Spreizdruckversagen muss eine Sicherheit  $\eta > 2$  gegeben sein.
- **Stabilität der Deponiebasisabdichtung bei geneigter Aufstandsfläche**  
Hierbei sind Nachweise für mineralische Dichtschichten, Kunststoffdichtungsbahnen und alternative Abdichtungsmaterialien zu führen.
- **Stabilität des Basisentwässerungssystems**
- **Stabilität der Deponieoberflächenabdichtung**  
Hierzu zählen die Ausgleichsschicht, die Gasdrainschicht, die Oberflächenabdichtung, die Oberflächenentwässerung und die Rekultivierungsschicht.
- **Verformungen des Deponiekörpers**  
Zudem muss die äußere Standsicherheit, welche die Sicherheit gegen ein Versagen des Deponiekörpers und des Untergrunds betrachtet, untersucht werden. Hierzu zählen beispielsweise die Geländebruchsicherung ( $\eta > 1,3$ ) und Setzungsberechnungen des Untergrundes. (BMLFUW, 2008)

Vor der Errichtung einer Deponie muss für jede Deponie ein Deponierohplanum hergestellt werden. Das Rohplanum hat ein entsprechendes Gefälle aufzuweisen, sodass die darauffolgende Basisabdichtung eine Neigung für die Entwässerung aufweist. Der Verdichtungsgrad und die Verformbarkeit sind, mit Ausnahme von Böschungsneigungen steiler 1:2, nachzuweisen. (vgl. BMLFUW, 2008)

## 2.2 Deponiebasisabdichtung

Mit Ausnahme der Bodenaushubdeponie ist für jede Deponie eine Deponiebasisabdichtung auf dem Rohplanum vorzusehen, um eine zusätzliche Barriere gegen das Austreten von Deponiesickerwässern in den Untergrund zu errichten. Die Basisabdichtung besteht bei Inertabfall- und Baurestmassendeponien aus einer zwei-

lagigen mineralischen Dichtungsschicht, welche eine Stärke im verdichteten Zustand von mindestens 20 cm und maximal 27 cm pro eingebauter Lage aufweist. Die Gesamtstärke beträgt mindestens 50 cm. (vgl. BMLFUW, 2008)

Bei Reststoff- und Massenabfalldeponien muss eine dreilagige Dichtungsschicht mit den gleichen Anforderungen und einer Gesamtstärke von mindestens 75 cm hergestellt werden. Zusätzlich muss eine PE-HD-Kunststoffdichtungsbahn direkt auf die mineralische Dichtungsschicht aufgebracht werden, welche eine Mindeststärke von 2,5 mm aufzuweisen hat (siehe Abb. 3). (vgl. BMLFUW, 2008)

Die Ausführung von alternativen Deponieabdichtungen kann für Böschungsneigungen mit einer Neigung von 1:2 oder steiler durchgeführt werden, sofern diese über eine technisch gleichwertige Dichtwirkung und Dauerhaftigkeit verfügen. Die Oberfläche der Basisabdichtung muss ein Längsgefälle von mindestens 2 % und ein Quergefälle von mindestens 3 % aufweisen. Zudem sind die geotechnischen Anforderungen gemäß

Tab. 2 zu erfüllen. (vgl. BMLFUW, 2008)

Parameter	Anforderung / Grenzwerte
Durchlässigkeitsbeiwert $k_{10}$ bei einem hydraulischen Gefälle von $i = 30$	$5 \times 10^{-10}$ m/s (Eignungsprüfung im Labor) $10^{-9}$ m/s (Abnahmeprüfungen in situ) Für Inertabfalldeponien: $10^{-8}$ m/s (Eignungsprüfung im Labor) $5 \times 10^{-8}$ m/s (Abnahmeprüfungen in situ)
Verdichtungsgrad $D_{Pr}$	> 95 %
Suffusionsbeständigkeit und geringe Rissanfälligkeit	Muss gegeben sein
Feinstkornanteil ( $< 2 \mu\text{m}$ )	Mindestens 20 Masseprozent, wobei davon der Anteil an Tonmineralien mindestens 50 % betragen muss. Für Bentonit-vergütete Dichtschichten mind. 40 % Tonmineralien, wenn Mischvorgang in einer Zentralmischanlage erfolgt
Kornfraktionen über 63 mm	Dürfen nicht vorhanden sein
Oberste Lage	Keine scharfkantigen Körner und Größtkorn von 20 mm
Organischer Anteil	Maximal 5 Masseprozent
Erosionsstabilität	Muss gegenüber dem Untergrund gegeben sein, gegebenenfalls Einbau eines Geotextils
Homogenität	Muss vorhanden sein
ÖNORM S 2074-2:2004, Punkt 6	Anforderungen müssen erfüllt werden

Eine Alternative zu mineralischen Deponiebasisabdichtungen können Basisabdichtungen aus Deponieasphalt sein. Asphaltabdichtungen sind mechanisch sehr widerstandsfähig, standsicher, robust und unter Beibehaltung der Dichtheit im hohen Maße verformbar. Zudem sind sie frostsicher, beständig gegen Durchwurzelung, erosions- und suffusionsbeständig und widerstandsfähig gegen Chemikalien. In Abhängigkeit von der Verformbarkeit des Untergrundes können unterschiedliche Varianten zum Einsatz kommen. Bei einer Verformungsbeständigkeit von  $E_{v2} \geq 45 \text{ MN/m}^2$  erfolgt ein zweischichtiger Aufbau aus einer mindestens 6 cm dicken Deponieasphalttragschicht mit einem Größtkorn von 16 mm und einer darauffolgenden mindestens 4 cm starken Deponieasphaltabdichtungsschicht mit einem Größtkorn von 11 mm. Bei einer Verformungsbeständigkeit und Tragfähigkeit des Bodens von  $E_{v2} \geq 80 \text{ MN/m}^2$  kann eine kombinierte 8 cm dicke Deponieasphalttragabdichtungsschicht eingesetzt werden. (vgl. Egloffstein & Burkhardt, 2016)

Für Kunststoffdichtungsbahnen, welche verpflichtend bei Reststoff- und Massenabfalldeponien auf die mineralische Dichtungsschicht aufzubringen sind, müssen die Anforderungen gemäß den einschlägigen Normen erfüllt sein. Kunststoffabdichtungsbahnen sind mit einem mindestens  $1\,200 \text{ g/m}^2$  schweren Vlies abzudecken, um Beschädigungen der Abdichtungsbahn zu verhindern. (vgl. BMLFUW, 2008)

**Tab. 2:** Anforderungen an mineralische Dichtungsschichten gemäß DVO 2008

Parameter	Anforderung / Grenzwerte
Durchlässigkeitsbeiwert $k_{10}$ bei einem hydraulischen Gefälle von $i = 30$	$5 \times 10^{-10}$ m/s (Eignungsprüfung im Labor) $10^{-9}$ m/s (Abnahmeprüfungen in situ) Für Inertabfalldeponien: $10^{-8}$ m/s (Eignungsprüfung im Labor) $5 \times 10^{-8}$ m/s (Abnahmeprüfungen in situ)
Verdichtungsgrad $D_{Pr}$	> 95 %
Suffusionsbeständigkeit und geringe Rissanfälligkeit	Muss gegeben sein
Feinstkornanteil ( $< 2 \mu\text{m}$ )	Mindestens 20 Masseprozent, wobei davon der Anteil an Tonmineralien mindestens 50 % betragen muss. Für Bentonit-vergütete Dichtschichten mind. 40 % Tonmineralien, wenn Mischvorgang in einer Zentralmischanlage erfolgt
Kornfraktionen über 63 mm	Dürfen nicht vorhanden sein
Oberste Lage	Keine scharfkantigen Körner und Größtkorn von 20 mm
Organischer Anteil	Maximal 5 Masseprozent
Erosionsstabilität	Muss gegenüber dem Untergrund gegeben sein, gegebenenfalls Einbau eines Geotextils
Homogenität	Muss vorhanden sein
ÖNORM S 2074-2:2004, Punkt 6	Anforderungen müssen erfüllt werden

## 2.3 Basisentwässerung

Ein Basisentwässerungssystem ist für jede Deponie, mit Ausnahme von Bodenaushubdeponien, zu errichten. Das Basisentwässerungssystem besteht aus einem Flächenfilter mit darin verlegten Sickerwasserleitungen und gegebenenfalls Sickerwasserschächten und Sickerwasserstollen. Das Ziel eines Basisentwässerungssystems ist die dauerhafte Erfassung von anfallenden Deponiesickerwässern und deren Ableitung. Die Sickerwässer aus dem Basisentwässerungssystem sind in einem Speicherbecken, welches sich außerhalb des Deponiekörpers, aber innerhalb des Deponiebereichs befindet, zu sammeln. (vgl. BMLFUW, 2008)

Der Flächenfilter des Basisentwässerungssystems besteht aus einem gewaschenem Kies mit einer bevorzugten Körnungsgruppe von 16/32 und einer Mindeststärke

von 50 cm. Der Durchlässigkeitsbeiwert darf einen Wert von  $1 \times 10^{-2}$  m/s nicht unterschreiten. Um die Filterwirkung des Entwässerungssystems aufrecht erhalten zu können, sind geeignete Maßnahmen erforderlich, die verhindern, dass Abfall in den Flächenfilter eindringt. Dies kann einerseits durch die Verlegung von Filtervliesen oder den gesteuerten Abfalleinbau erfolgen. (vgl. BMLFUW, 2008)

Die im Flächenfilter befindlichen Sickerwasserleitungen sind geradlinig und mit einem Gefälle von mindestens 2 % zu verlegen. Die Sickerwasserleitungen bestehen aus einem perforierten Rohr mit einem Innendurchmesser von mindestens 200 mm. Für die Wartung von Sickerwasserleitungen sind Sickerwasserschächte und Sickerwasserstollen vorzusehen. (vgl. BMLFUW, 2008)

## 2.4 Deponieoberflächenabdeckung

Nach dem Einbau des Abfalls muss eine Oberflächenabdeckung hergestellt werden, welche die Rekultivierbarkeit sowie den Erosionsschutz garantieren muss. Für die unmittelbare Abdeckung des Deponiekörpers wird eine Ausgleichsschicht mit einer Mindeststärke von 50 cm hergestellt, welche aus grobkörnigem Material mit einem Größtkorn von 100 mm besteht (siehe Abb. 3). Die Gasdurchlässigkeit der Ausgleichsschicht muss gegeben sein. Daraufhin folgt bei Deponien, bei denen eine erhöhte Gasbildung zu erwarten ist, eine Gasdrainschicht. Diese besteht aus einem gasdurchlässigen Material mit einer Mindeststärke von 30 cm und einem Kalzium- und Magnesiumcarbonatanteil von maximal 30 Gewichtsprozent. Handelt es sich bei der hergestellten Deponie um eine Inertabfall-, Baurestmassen-, Reststoff- oder Massenabfalldeponie, muss eine Oberflächenabdichtung zur Reduzierung des Niederschlagseintrages hergestellt werden. Die Oberflächenabdichtung hat mit Ausnahme von Reststoff- und Massenabfalldeponien eine Gesamtstärke von mindestens 40 cm aufzuweisen und andernfalls ist eine Gesamtstärke von 60 cm in Verbindung mit einer Kunststoffabdichtungsbahn vorzusehen. Die Durchlässigkeit der mineralischen Dichtungsschichten darf im Labor bei einem hydraulischen Gradienten von  $i = 30$ , einen  $k$ -Wert von  $1 \times 10^{-9}$  m/s nicht überschreiten. Alternativen zur mineralischen Oberflächenabdichtung sind zulässig. (vgl. BMLFUW, 2008)

Als Alternative zu mineralischen Oberflächenabdichtungen können Geosynthetische Tondichtungsbahnen (Bentonit-Matten) eingesetzt werden. Bei mineralischen Dichtungsschichten muss auf das Schwindverhalten bei Austrocknung Acht gegeben werden. Dies kann nur durch eine entsprechende Materialwahl und dementsprechende Einbaubedingungen erfolgen. (vgl. Pohl, 2012)

Auf die Oberflächenabdichtung folgt eine Entwässerungsschicht mit einer Gesamtstärke von mindestens 50 cm und abschließend eine Rekultivierungsschicht, für welche die Qualitätskriterien in der Deponieverordnung definiert werden. (vgl. BMLFUW, 2008)



## **3 Eignungsprüfung einer mineralischen Basisabdichtung im Labor**

Um ein Material, welches aus der Natur entnommen wird, als mineralische Basisabdichtung verwenden zu dürfen, ist es erforderlich, einerseits eine Eignungsprüfung im Labor und andererseits eine Eignungsprüfung am Probefeld durchzuführen. Die Eignungsprüfung wird gemäß ÖNORM S 2074-2:2004 durchgeführt. Ge-regelt werden in der Norm die geotechnischen Untersuchungen, die erdbautechnischen Anforderungskriterien für den Untergrund, das Deponierohplanum, die mineralischen Basisdichtungen, die Sickerschichte, die Oberflächenabdichtung und die Erdbauwerke. Werden die Grenzwerte gemäß Deponieverordnung und ÖNORM S 2074-2:2004 eingehalten, darf das Material als mineralische Basisabdichtung Verwendung finden.

Die ÖNORM S 2074-2:2004 regelt zudem die Art und Häufigkeit der Kontrollprüfungen während der Bauausführung, sowie die erforderlichen Abnahmeprüfungen am fertiggestellten Bauwerk. Die Eignungs- und Abnahmeprüfungen sind von einer einschlägig akkreditierten Prüfanstalt oder einer von der Behörde anerkannten Stelle durchzuführen (vgl. ÖNORM S 2074-2:2004).

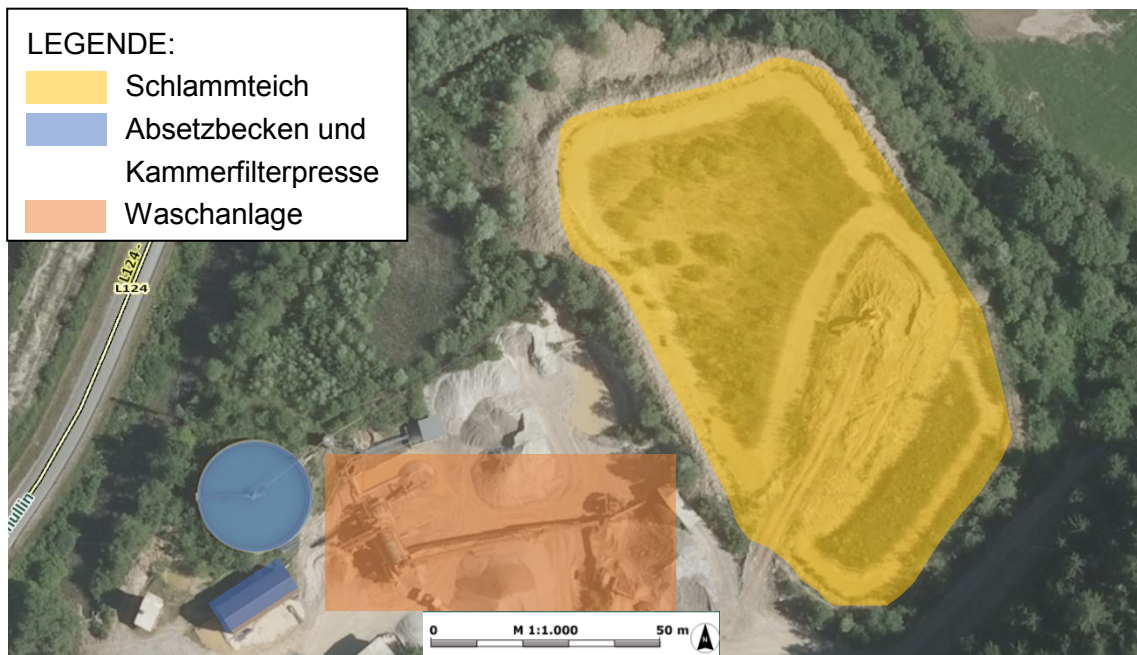
### **3.1 Mineralisches Dichtmaterial aus der Kieswäsche**

In dieser Arbeit werden verschiedene Materialien, welche von einem Kieswerk aus der Obersteiermark (siehe Abb. 4) stammen, bodenmechanisch untersucht und damit eine Eignungsprüfung durchgeführt.

Bei der Herstellung von Kies muss der abgebaute Rohstoff einer Kieswäsche unterzogen werden, damit Feinanteile ausgewaschen werden. Hierbei wird mit einer Waschtrommel vor dem Siebvorgang der Anteil von abschlämmbarem Material, welches einen Durchmesser von kleiner 0,125 mm aufweist, ausgewaschen (siehe Abb. 5). Die so entstandene trübe Suspension wird einer Weiterverarbeitung zugeführt. Prinzipiell stehen hier zwei Möglichkeiten zur Verfügung. Einerseits kann die Suspension in einen direkt beim Werk befindlichen Schlammteich gepumpt werden, wie es im gegenständlichen Kieswerk von 1979 bis 2000 praktiziert wurde. Andererseits kann die Suspension in ein Absetzbecken (siehe Abb. 6) gepumpt werden, in dem sich die Feinanteile absetzen und dieser abgesetzte Brei daraufhin in eine Kammerfilterpresse gepumpt wird. In der Kammerfilterpresse wird der Wassergehalt auf ca. 23 % reduziert, sodass ein Filterkuchen entsteht und das Material mit LKWs zur Bodenaushubdeponie transportiert und deponiert werden kann. Aufgrund des Platzmangels wird die Kieswäsche nicht mehr in den beim Werk befindlichen Schlammteich gepumpt, sondern nur mehr mit der Kammerfilterpresse bearbeitet und deponiert.

Das für die Kieswäsche verwendete Wasser, wird in einem geschlossenen Wasserkreislauf geführt (siehe Abb. 7).

Wie in Abb. 4 am Orthofoto des Kieswerkes ersichtlich, befinden sich der Schlammteich, das Absetzbecken und die Kammerfilterpresse direkt auf dem Werksgelände.



**Abb. 4:** Übersicht der Kieswaschanlage in Thullin bei Aflenz



**Abb. 5:** Anlage zur Kiesproduktion am Standort mit Waschtrommel, Sieben und Zyklonen



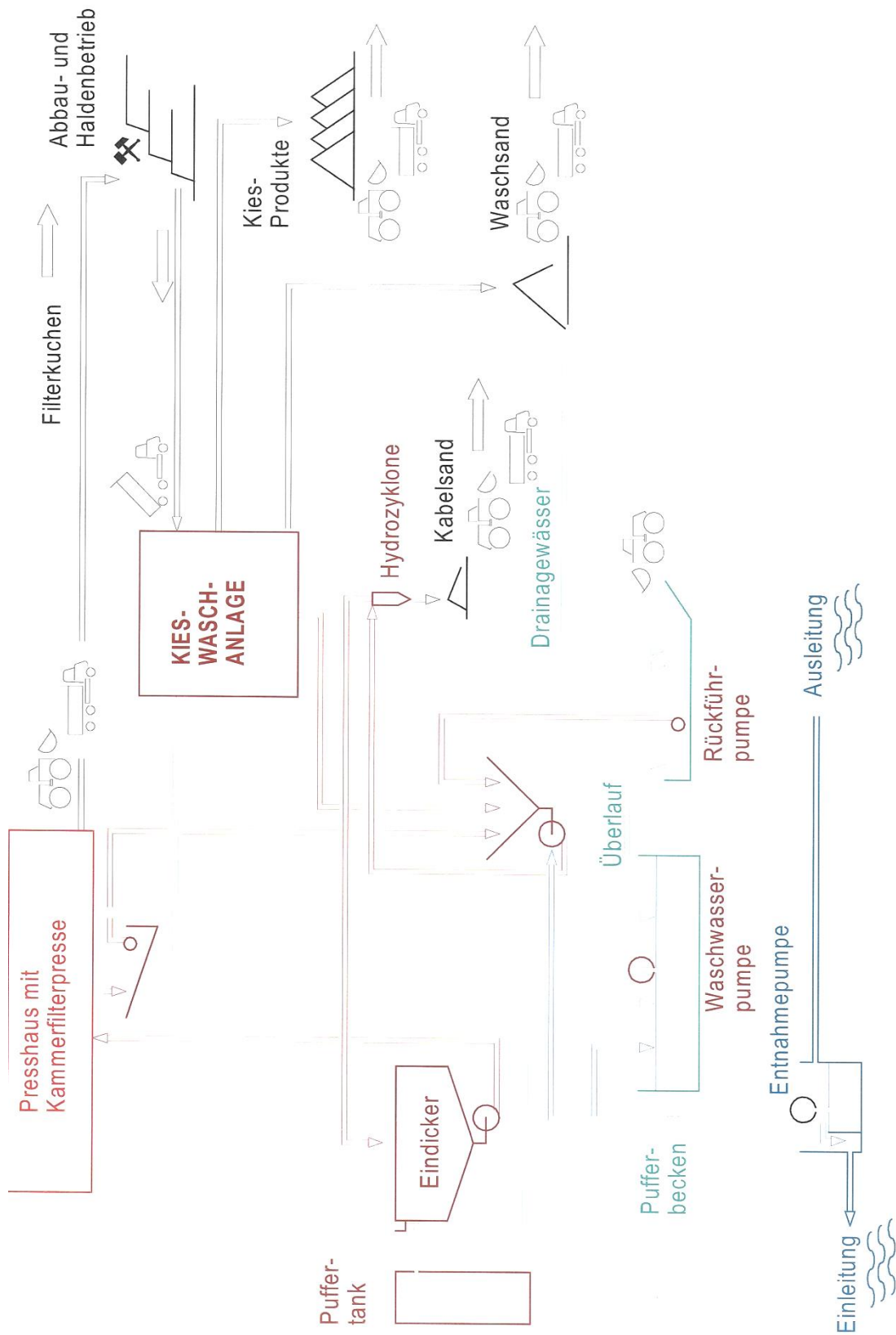


**Abb. 6:** Absetzbecken

### 3.1.1 Kieswäsche aus dem Schlammteich

Beim Speicherteich (siehe Abb. 4), welcher ein abgelagertes Materialvolumen von 45.000 m<sup>3</sup> aufweist, handelt es sich um ein Schlammmaterial, das im Zeitraum von 1979 bis 2000 in den Teich zur Endlagerung gepumpt wurde. Am Speicherteich setzten sich die Feinanteile ab und das überschüssige Wasser floss in den angrenzenden Vorfluter. Die Lage der Zuleitung zum Speicherteich wurde nach Auskunft des Betreibers in regelmäßigen Abständen verändert. Prinzipiell besteht das Problem, dass ausgehend von der Zuleitung schwere Teilchen und somit größere Kornfraktionen in Einlassnähe abgelagert werden und sich feinere Partikel in größerer Distanz absetzen. Die Homogenität des Materials gilt es zu untersuchen. Nach Beendigung des Zuflusses von Schlammmaterial auf den Speicherteich im Jahr 2000, begann der Bewuchs durch Gräser und Stauden, welche bis in eine Tiefe von zwei Metern in den Teich wurzeln. Das Material aus der Kieswäsche wurde bisher keiner Verwendung zugeführt.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Durchführung einer Eignungsprüfung, sodass dieses Material für eine mineralische Basisabdichtung im Deponiebau eingesetzt werden kann.



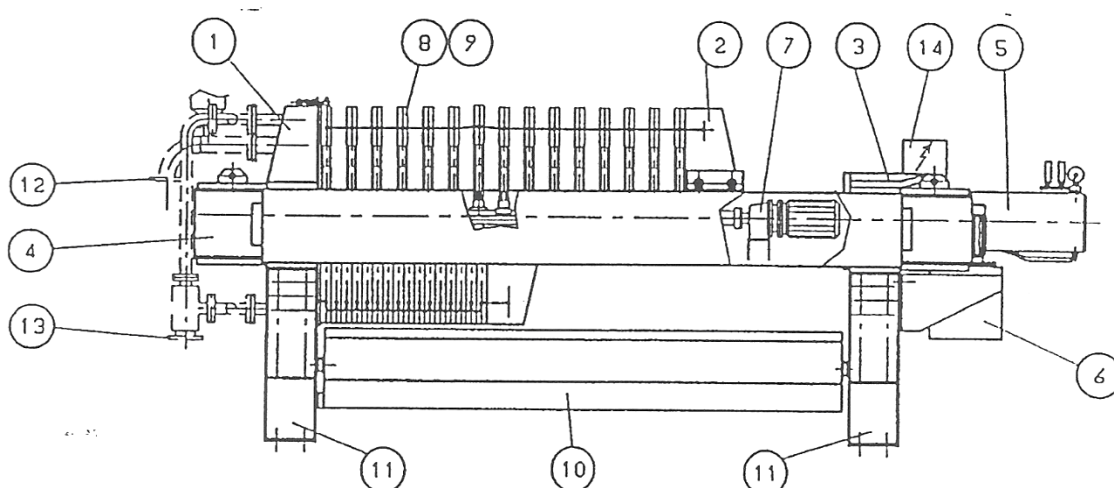
**Abb. 7:** Fließschema zum geschlossenen Wasserkreislauf bei der Produktion

### 3.1.2 Kieswäsche aus der Kammerfilterpresse

Aufgrund der zunehmenden behördlichen Auflagen wurde 2000 auf dem Gelände des Kieswerkes (siehe Abb. 4) eine Anlage errichtet, welche aus der Suspension der Kieswäsche einen gepressten Filterkuchen erzeugt. Dieser Filterkuchen wird durch das Absetzen der Bodenteilchen in einem Absetzbecken und weiterer Verarbeitung in einer Kammerfilterpresse produziert. Das Absetzbecken (siehe Abb. 6) besteht aus einem kreisförmigen Betonbecken, welches mit der Suspension gefüllt wird damit sich darin die Feinteile absetzen. Im Absetzbecken ist ein Besen montiert, der sich über den gesamten Radius erstreckt. Der Besen rotiert während der Kiesproduktion permanent, womit die abgesetzten Feinteile in einen Pumpensumpf gefegt werden. Vom Pumpensumpf erfolgt das Abpumpen in die Kammerfilterpresse (siehe Abb. 8).

Die Kammerfilterpresse besteht aus Plattenpressfiltern, welche eine widerstandsfähige Metallstruktur, bestehend aus einem fixen Kopf, einem Kopf für die Halterung der Hubspindel, sowie einem beweglichen Kopf, aufweisen.

Der bewegliche Kopf, der entlang zweier Längsträger gleitet, die ihrerseits den fixen Kopf mit dem Kopf der Hubspindel verbinden, wird mittels eines Hydraulikzylinders nach vor- und zurückgeschoben. Dieser Zylinder ist in der Lage Kräfte zu erzeugen, mit deren Hilfe eine Serie an Platten, die zur Befestigung der Filtertücher dienen, gegeneinandergepresst werden. (vgl. Diemme S.p.A., 1998)

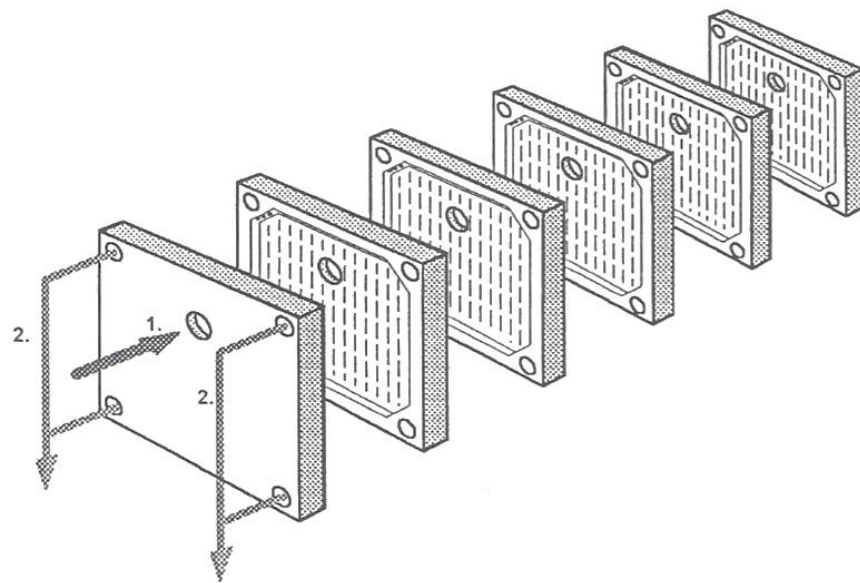


- |                                 |                                 |
|---------------------------------|---------------------------------|
| 1. Fixer Kopf                   | 8. Platten des Pressfilters     |
| 2. Beweglicher Kopf             | 9. Tücher des Pressfilters      |
| 3. Kopf der Hubspindel          | 10. Bunker-Cover                |
| 4. Längsträger                  | 11. Standfüsse des Pressfilters |
| 5. Hubspindel                   | 12. Speisungsflansch            |
| 6. Öldynamische Steuerung       | 13. Entladeflansch              |
| 7. Getriebe Schüttelmechanismus | 14. Schalttafel                 |

**Abb. 8:** Hauptkomponenten der Kammerfilterpresse

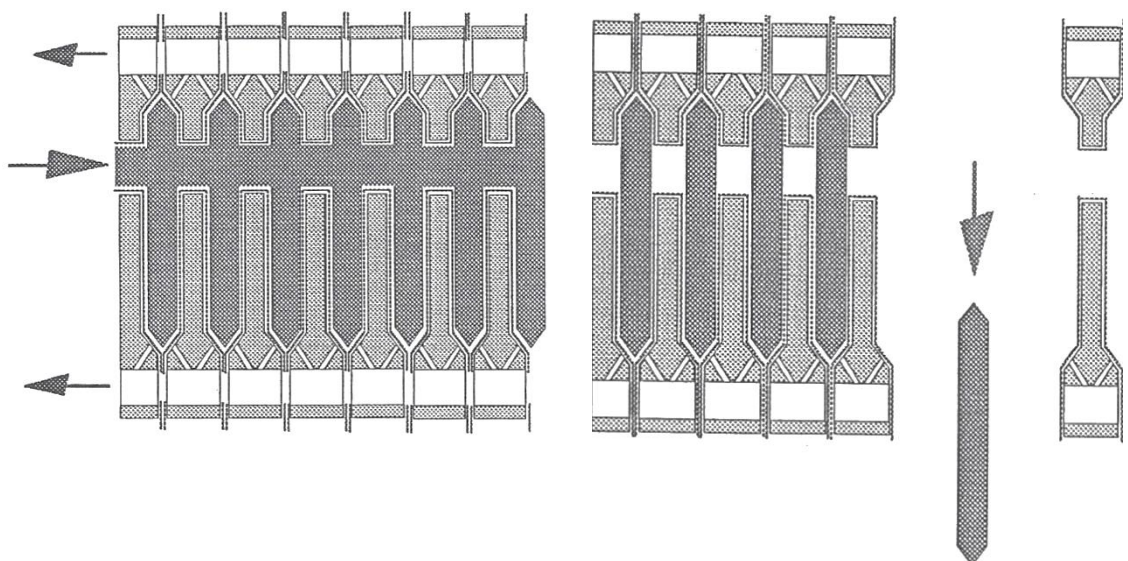
Der fixe Kopf ist mittels Rohrleitungen an die Speisungspumpe angeschlossen. Der Schlamm wird in die von den Platten gebildeten Kammern gepumpt und das Wasser durch eine Reihe von Tüchern, die an den Platten befestigt sind, gefiltert. Der besondere Aufbau der Platten ermöglicht das Einfüllen des Schlammes und das Ableiten des Filtrats über eine Reihe von Öffnungen, die in der Regel am fixen Kopf angebracht sind (siehe Abb. 9). (vgl. Diemme S.p.A., 1998)

Bei der eingesetzten Kammerfilterpresse handelt es sich um ein Fabrikat der Firma Diemme mit der Bezeichnung „ME 1500“. Bei dieser Filterpresse bringt der Zylinder einen Druck von 300 bar während des Pressvorgangs auf. Abb. 11 zeigt diese Kammerfilterpresse im Auspressvorgang.



1. Schlammeinleitung
2. Rückgewinnung des ausgepressten Wassers

**Abb. 10:** Platten der Kammerfilterpresse



**Abb. 9:** Produktion des Filterkuchens mit der Kammerfilterpresse

Nach dem Pressvorgang wird der Hydraulikzylinder wieder eingefahren und der entstandene Filterkuchen fällt aus der Maschine (Abb. 10). Die Konsistenz des Filterkuchens ermöglicht es, dass das Material der Bodenaushubdeponie zugeführt werden kann.

Der Wassergehalt der Kieswäsche aus der Kammerfilterpresse und aus dem Speicherteich ist unterschiedlich, was einen wesentlichen Faktor bei der nachfolgenden Eignungsprüfung darstellt.



**Abb. 11:** Detailaufnahme Kammerfilterpresse im Auspressvorgang

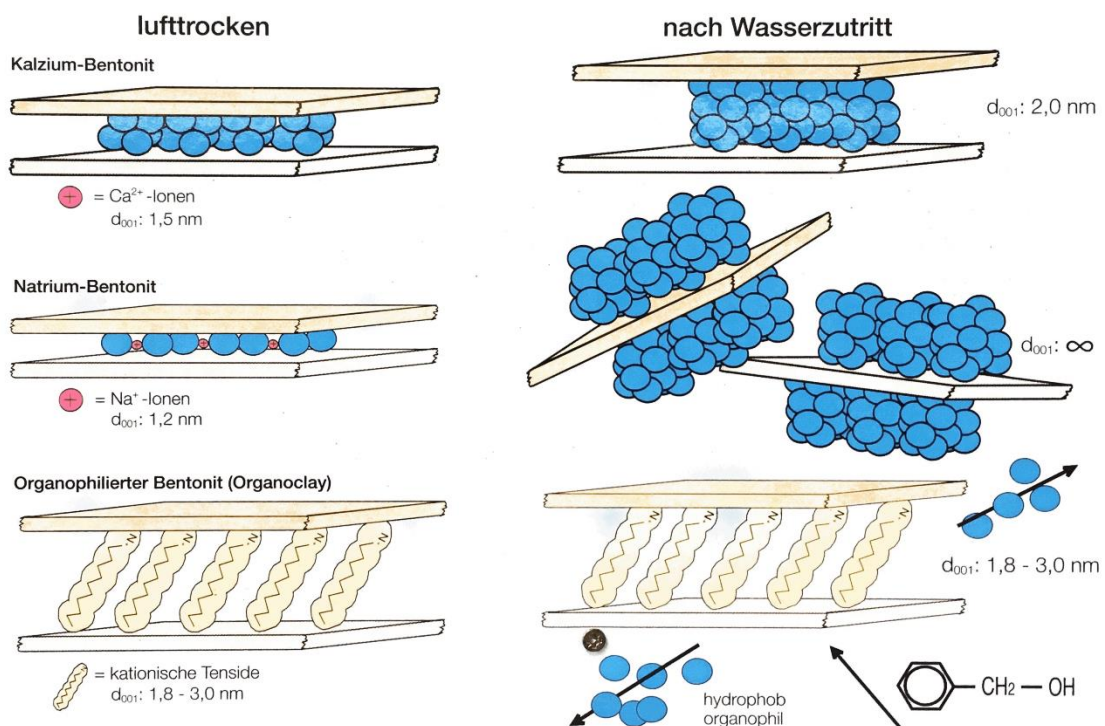
### 3.2 Kieswäsche vergütet mit Bentonit

Für eine erfolgreiche Eignungsprüfung ist es erforderlich, dass das Material die geringe Durchlässigkeit, welche in der Deponieverordnung und in der ÖNORM S 2074-2:2004 gefordert wird, aufweist. Um aus einem Grundmaterial, welches die erforderliche Durchlässigkeit nach dem Einbau nicht erfüllt, ein Material mit einem geringen  $k$ -Wert zu erzeugen, wird Bentonit zugemischt.

Bei Bentonit handelt es sich um ein Tonmineral, welches einen hohen Anteil an Montmorillonit aufweist. Montmorillonit ist ein Dreischichtsilikat mit variabler Zusammensetzung. Bentonite besitzen wertvolle technische Eigenschaften wie Quellfähigkeit, Thixotropie und Ionenaustauschvermögen. Bentonit entsteht bei

der Verwitterung und Diagenese oder bei der hydrothermalen Zersetzung von glasreichen vulkanischen Aschen und Tuffen. (vgl. Okrusch & Matthes, 2014) Neben Montmorillonit kann Bentonit auch noch Begleitminerale wie Feldspat, Quarz, Glimmer, Kaolinit u.a. enthalten. Erscheinungsarten sind Kalzium- und Natriumbentonit.

Die Eigenschaften von Bentonit lassen sich für verschiedenste Einsatzmöglichkeiten nutzen. Durch technische Verarbeitungsprozesse können diese noch verstärkt oder modifiziert werden. Zum Beispiel durch Kationenaustausch können Ca-Bentonite (Calciumbentonite) in Na-Bentonite (Natriumbentonite) umgewandelt werden. Mit dem Kationenaustausch ändern sich bei den Tonmineralien nicht nur deren Sorptionsfähigkeit, worin man die Fähigkeit fester oder flüssiger Substanzen, gasförmige oder gelöste Stoffe aufzunehmen versteht, sondern auch die Struktur und die physikalischen Eigenschaften der Tongesteine. Der natürliche Ca-Bentonit, welcher ein Montmorillonit mit überwiegend Ca-Kationen ist, kann durch chemischen Eingriff in Na-Bentonit umgewandelt werden, der eine bis zu zweimal größere Sorptionsfähigkeit als der ursprüngliche Ton besitzt. Dieser auch als „Aktivierung“ (siehe Abb. 12) bezeichnete Vorgang kann entweder auf natürlichem Weg, z.B. durch Kontakt mit Salzwasser, oder durch technische Verfahren erfolgen.



**Abb. 12:** Zwischenschichtabstand von Ca- und Na Bentonit

### 3.2.1 Bentonit-Vorkommen und Lagerstätten

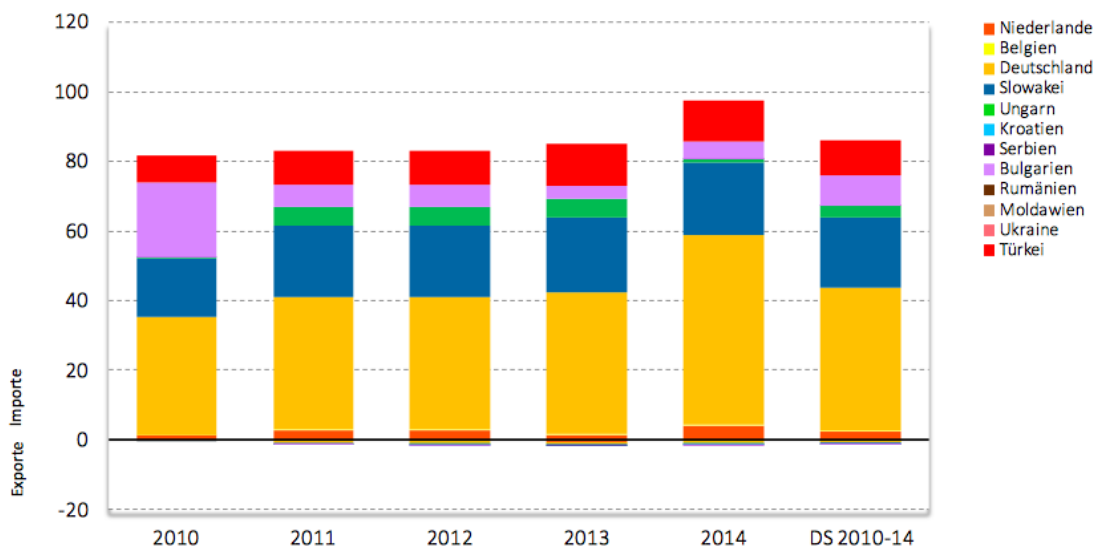
Weltwirtschaftlich bedeutende Bentonit-Lagerstätten befinden sich in den USA in South Dakota, Montana, Wyoming und Arizona, sowie im Westen von Kanada. (vgl. Okrusch & Matthes, 2014)

Lagerstätten von Bentonit und europäischen Hauptförderregionen befinden sich in Bayern, auf der griechischen Insel Milos und auf Sardinien. (vgl. Ohrdorf & Flachberger, 2009)

In Österreich befinden sich keine nutzbaren Bentonit-Lagerstätten, sodass bei Erfordernis von Bentonit in Österreich dieses importiert werden muss.

Insgesamt hat sich in Österreich die Importmenge an Bentonit stetig gesteigert und liegt im Jahr 2014 bei 104.000 t (siehe Abb. 13). Die Bezugsländer sind Deutschland (41.000 t/Jahr), die Slowakei (rund 20.000 t/Jahr), sowie Bulgarien (8.600 t/Jahr) und die Türkei (10.200 t/Jahr). (Kirchmayr-Novak et al., 2016)

Österreichs Außenhandel mit Baustoffen 2010-2014  
Nationale Außenhandelströme Bentonit, 1000 t



Quelle: Statistik Austria.  
Gütergruppe bestehend aus: Bentonit (KN25081000)

**Abb. 13:** Außenhandel Österreichs mit Bentonit (Kirchmayr-Novak et al., 2016)

In der Steiermark befinden sich in den Tertiärbecken vulkanische Tuffe, die in Form von Bentoniten und Glastuffen auftreten (siehe Abb. 14).

Die Tuff führenden Schichten im Steirischen Tertiärbecken treten in Sedimenten des Zeitraumes Karpant und unteres Badenien (ca. vor 16 Jahrmillionen) auf. Zeitgleich tritt der Vulkanismus im Raum Gleichenberg auf, welcher der Lieferant für das Aschenmaterial war (siehe Abb. 15). Flächenmäßig mit großer Verbreitung sind Tuff führende Schichten im Weststeirischen Tertiärbecken, um die Sausalchwelle und am Grundgebirgsrand zwischen Hartberg und Friedberg aufge-

schlossen. Im Inneren des Oststeirischen Beckens sind sie durch jüngere Sedimente verdeckt, während sie als Füllungen der inneralpinen Tertiärbecken entlang der Nordischen Linie eine weite Verbreitung besitzen. (vgl. Ebner & Gräf, 1982) Der Montmorillonitgehalt der verschiedenen Tuff-Fundorte ist unterschiedlich. So bestehen die Tuff-Vorkommen in Ehrenhausen bis zu 100 Prozent aus Montmorillonit. Vor allem Tuffe aus kohleführenden Schichten weisen hochprozentige Anteile an Montmorillonit auf. Ist der Montmorillonitgehalt im Tuff über 40 %, so bezeichnet man diesen als Bentonit. Abb. 15 zeigt die schematische Darstellung der Tuff führenden Schichten des Ost- und Weststeirischen Tertiärbeckens. (vgl. Ebner & Gräf, 1982)

Die nächstgelegenen Bentonitfunde in der Nähe des Kieswerks, welche geringe Transportwege gewährleisten, befinden sich in Bruck an der Mur und im Mürztal. Hier befindet sich ein Kohlenstreif, der von Kapfenberg bis ins Mürztal zieht und neben Kohle Bentoniteinschaltungen aufweist. In Parschlug wurde eine Zeit lang Bentonit abgebaut. Auch in Deuchendorf fand sich Bentonit. (vgl. Ebner, 1981) Wesentlich ist jedoch zu erwähnen, dass diese Funde Mitte des 20. Jahrhunderts auftraten und die Kohlebergbaue, im Zuge derer Bentonit gefunden wurde, nicht mehr bestehen. (vgl. Ebner, 1981)

Grundsätzlich handelte es sich hierbei um Bentonitvorkommen, jedoch um keine nennenswert nutzbaren Lagerstätten.

### **3.2.2 Für die Vergütung verwendetes Bentonit**

Für die Vergütung des Materials aus der Kieswäsche wird Bentonit aus Ungarn bezogen. Die Firma MIKRO-PULVER KFT mit Firmensitz in Pápa, 200 km von Graz entfernt, bezieht das Bentonit aus der Slowakei und bereitet dieses in Pápa auf. Das fein gemahlene Bentonit wird entweder in 50 kg-Säcken oder in Big Bags nach Österreich geliefert. Der Preis für ein Kilogramm Bentonit beträgt 0,15 Euro exklusive der Anlieferung.

Die vom Hersteller zur Verfügung gestellten Parameter sind in Tab. 3 zusammengefasst. Den Einfluss der unterschiedlichen Mischungsverhältnisse des Materials aus der Kieswäsche mit dem Bentonit auf die Durchlässigkeit des Materials, gilt es in dieser Arbeit zu untersuchen.

Die Korngrößenverteilung des Bentonits (siehe Abb. 17), wie im Geotechnischen Labor vom Institut für Bodenmechanik und Grundbau der TU Graz bestimmt, bestätigt den vom Hersteller angegebenen Gehalt von Montmorillonit von 60 % bis 70 %.



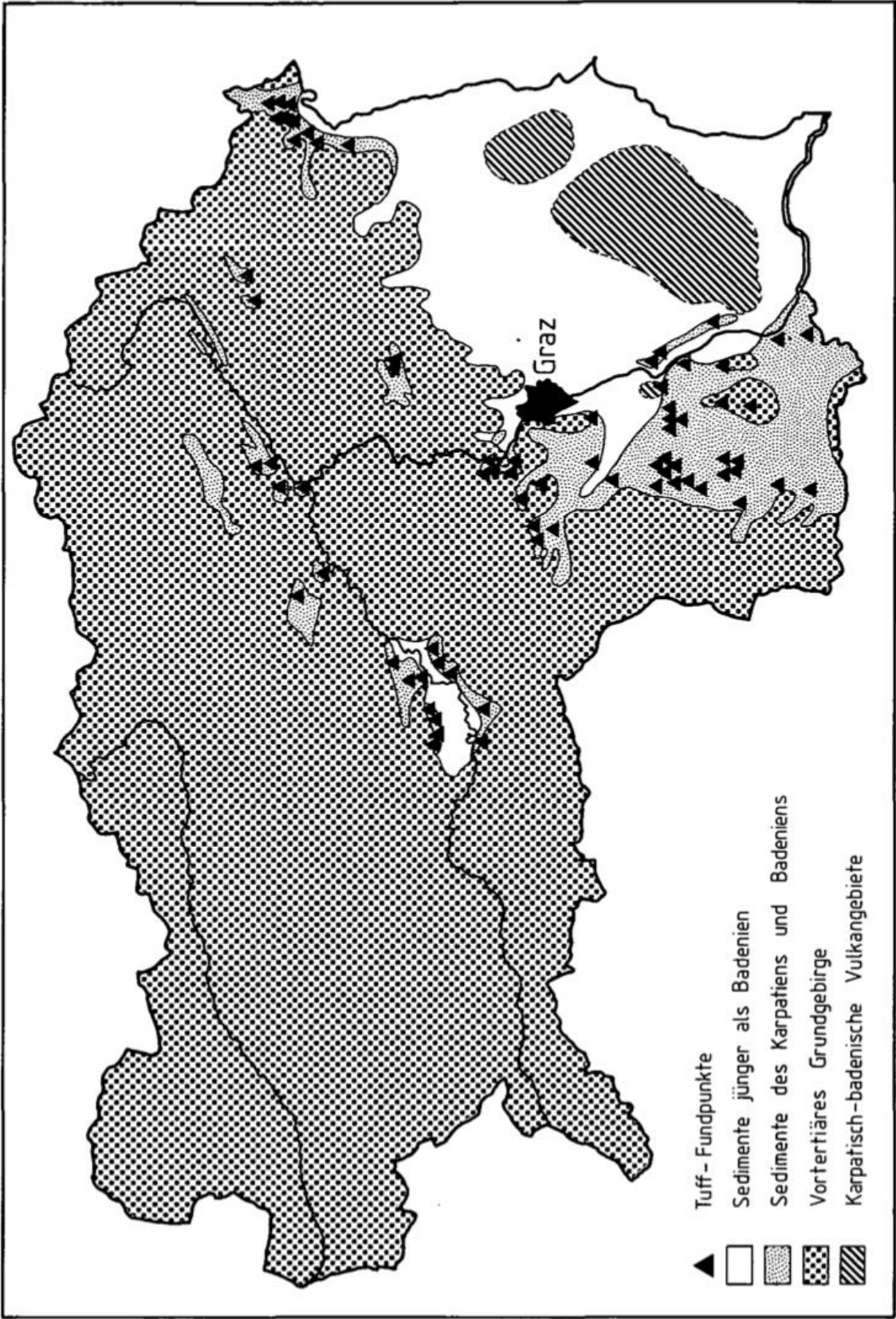


Abb. 14: Schematische Darstellung der Vorkommen von miozäner, vulkanischer Tuffe in der Steiermark (Ebner, 1981)

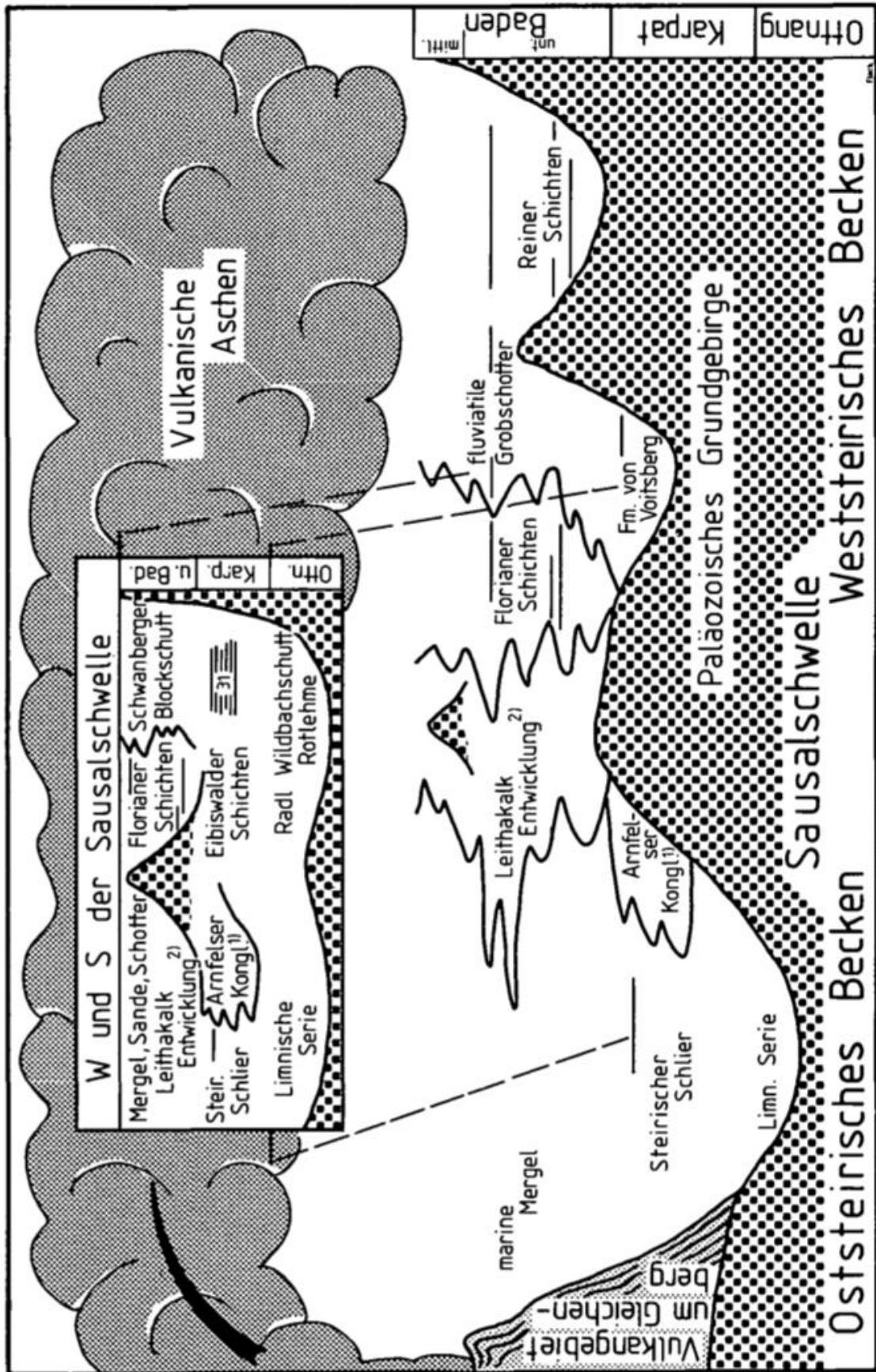


Abb. 15 Schematische Darstellung der Tuff führenden Schichten des Ost- und Weststeirischen Tertiärbeckens (Ebner, 1981)

**Tab. 3:** Vom Hersteller zur Verfügung gestellte Bentonit-Parameter (vgl. Kiss, 2017)

Montmorillonitgehalt	60 – 70 %
Prallfähigkeit	20 – 25 ml/2 gr
Basizität	9 - 10
Wärmebeständigkeit	680 °C
Feuchtigkeitsgehalt	10 – 12 %
Körnung 0-63 $\mu$	90 %
Körnung über 100 $\mu$ max.	3 %
Nasszugfestigkeit bei 20 °C	0,250 N/cm <sup>2</sup>
Nasszugfestigkeit nach Wärmebehandlung	0,150 N/cm <sup>2</sup>
Druckfestigkeit	12,7 Nm/cm
Scherfestigkeit	3,5 – 4 N/cm <sup>2</sup>
Gasdurchlässigkeit	130 - 150
Fließgrenze	9,9 – 13 N/m <sup>2</sup>
Wasserabgabe	19 – 22 ml
Dichte	1,03 g/cm <sup>3</sup>
Viskosität	39 – 45 sec/l
Wasserdurchlässigkeit	6,8 x 10 <sup>-9</sup> cm/sec
pH-Wert	9 - 10

**Abb. 16:** Verwendetes Bentonit aus Ungarn

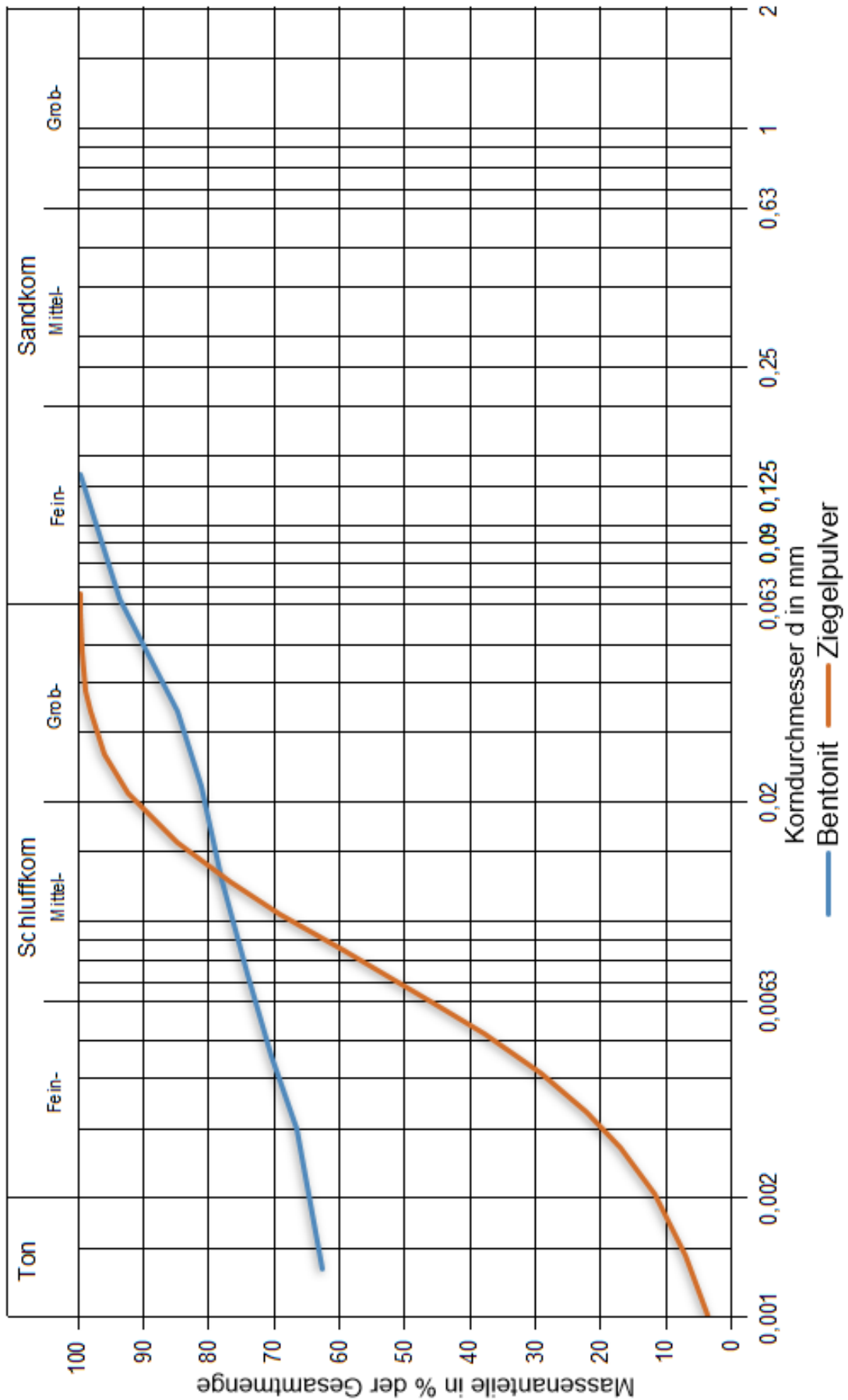


Abb. 17: Korngrößenverteilungen von Bentonit und Ziegelpulver

### 3.3 Mit Ziegelrecyclingmaterial vergütete Kieswäsche

Durch die Novellierung des Altlastensanierungsgesetzes im April 2017 wurde die Beitragspflicht für Recyclingbaustoffe, wenn diese bei der Errichtung eines genehmigten Deponiebasisabdichtungssystems, eines Basisentwässerungssystems oder einer genehmigten Deponieoberflächenabdeckung verwendet werden, aufgehoben, unter der Voraussetzung, dass die Vorgaben der Recycling-Baustoffverordnung eingehalten werden. (vgl. BMLFUW, 1989)

Ziegelschutt, der bei Abbrucharbeiten von Hochbauten anfällt, wird zu einem hochwertigen Ziegelrecyclingmaterial aufbereitet. Hierbei wird Ziegelschutt (siehe Abb. 19) zu unterschiedlichen Kornfraktionen gebrochen und gegebenenfalls auch gewaschen.

Das Ziegelrecyclingmaterial findet Anwendung als Bettungsmaterial von Rohrleitungen, mit dem Vorteil, dass dieses eine thermische Dämmwirkung aufweist, als Zuschlagsstoff für Beton und als Schüttmaterial für verschiedene Flächen. Grundsätzlich besteht die Problematik, dass in Österreich ein Überangebot an Ziegelrecyclingmaterial besteht und viele Hersteller von Recyclingbaustoffen die hergestellten Ziegelrecyclingprodukte nicht vollständig verkaufen können. Ein Hauptgrund für die geringe Absetzbarkeit von Recyclingbaustoffen besteht unter anderem in der wirtschaftlichen Konkurrenz der Ziegelrecyclingprodukte mit den Primärrohstoffen Kies und Sand. Daher wählt der Kunde im Regelfall Primärrohstoffe, anstatt ein Recyclingmaterial zu wählen. Durch diese Novelle besteht durch den Wegfall des Altlastensanierungsbeitrages die Möglichkeit Ziegelrecyclingmaterial finanziell wirtschaftlich einzusetzen.

Um beim Filterkuchen aus der Kieswäsche die Durchlässigkeit zu verringern, wird versucht, Ziegelrecyclingmaterial fein zu zermahlen und das daraus entstehende Ziegelpulver (siehe Abb. 20) zuzumischen, sodass der Anteil an Feinanteilen im Material erhöht wird.

Das Mahlen des Ziegelrecyclingmaterials erfolgt durch die Firma CEMTEC Cement and Mining Technology GmbH in Enns, Oberösterreich. Das Mahlen erfolgt mit einer Walzenschüsselmühle VRM 200 B (siehe Abb. 18), mit welcher die Bestimmung des erforderlichen Energiebedarfs bezogen auf das zu mahlende Material und dessen Feinheit bestimmt wird. Sie dient lediglich für Vorversuche, um die adäquate Großmühle, welche für große Mahldurchgänge in der Praxis Anwendung findet, bestimmen zu können. Bei der VRM 200 B handelt es sich um eine Vertikalmühle mit zwei Mahlwalzen mit einem Mahltellerdurchmesser von 200 mm. Das Mahlen erfolgt in einem geschlossenen Kreislauf mit integriertem Sieb. Mit der Mühle können Produktfeinheiten von 40 – 120  $\mu\text{m}$  bei  $D_{98}$  erreicht werden (siehe Abb. 17), mit einem Mindestmaterialbedarf von 100 – 200 kg.

Das Grundprinzip der Walzenschüsselmühle besteht darin, dass durch drehende Mahlteller, wie beispielhaft in Abb. 21 für eine VRM 600 gezeigt, das vorgebrochene Ziegelrecyclingmaterial mit einer Körnung von 0/4 mm zerrieben wird.



**Abb. 19:** Unaufbereitetes Ziegelrecyclingmaterial vor der Zerkleinerung



**Abb. 18:** Walzenschüsselmühle VRM 200 B (CEMTEC, 2017)



**Abb. 20:** Zu Ziegelpulver gemahlenes Ziegelrecyclingmaterial



**Abb. 21:** Innenansicht Walzenschüsselmühle VRM 600 (CEMTEC, 2017)

### 3.4 Tonmehl und Ca-Bentonit

Aufgrund der hohen Kosten für das Bentonit wurden alternative Möglichkeiten als Beimengung zur Kieswäsche gesucht. Neben Bentonit mit hohem Montmorillonitanteil wurde alternativ ein Tonmehl, welches entsprechend zermahlen wurde, beprobt. Die Herstellung dieses Tonmehls erfolgte wiederum durch die Firma MIKRO-PULVER KFT in Pápa, Ungarn.

Zudem wurde auch ein alternatives Bentonit seitens der MIKRO-PULVER KFT zur Verfügung gestellt. Bei diesem Bentonit handelt es sich um ein Ca-Bentonit. Da Ca-Bentonit eine geringere Quellfähigkeit als Na-Bentonit besitzt, und somit die Durchlässigkeit des Materials im geringeren Maße reduziert wird, werden keine weiteren Versuche mit Ca-Bentonit durchgeführt.

Die geringe Quellfähigkeit des Ca-Bentonits bewirkte bei vergleichbaren Versuchen eine Vergrößerung des Durchlässigkeitsbeiwertes auf der nassen Seite der Proctorkurve um fast eine Zehnerpotenz im Vergleich zu Mischungen mit Na-Bentonit. Auf der trockenen Seite der Proctorkurve fiel der Unterschied noch stärker ins Gewicht. Hier betrug der Unterschied drei Zehnerpotenzen. (Heyer D. et al., 2003)

### 3.5 Konzeptionierung der mineralischen Basisabdichtung

Die vorhin erläuterten Materialien werden für die Konzeption einer mineralischen Basisabdichtung verwendet. Das Hauptaugenmerk wird hierbei auf den bodenmechanischen Einfluss bei der Beimengung der verschiedenen Materialien zur Kieswäsche gelegt.

Am Lehrstuhl Abfallwirtschaft der Brandenburgischen Technischen Universität Cottbus wurde erfolgreich ein Baumaterial für Deponien unter Verwendung von schwer absetzbarem Ziegelbruch entwickelt, das als mineralischer Dichtungsstoff für temporäre und Endabdeckungen geeignet ist. Die Kennwerte, insbesondere die Durchlässigkeit und die Trockenrissbeständigkeit, weisen das gefundene Materialgemisch auch als Alternative zur Regelabdeckung aus. (Pöttsch & Busch, 2003)

Das von der Technischen Universität Cottbus entwickelte Dichtungsmaterial besteht aus Ziegelbruch der Kornfraktionen 0 - 8 mm und 0 – 4 mm, sowie Flugsand, Tonmehl und Bentonit. Ein Hauptfaktor für ein mineralisches Basisabdichtungsmaterial ist die Durchlässigkeit. Eine geringe Durchlässigkeit wird erreicht, wenn das Material eine optimale Korngrößenverteilung, welche sich der FULLER-Kurve annähernd, aufweist. Bei der FULLER-Kurve handelt es sich um jene Korngrößenverteilung, welche den geringsten Hohlraumgehalt aufweist.



Um eine optimale Korngrößenverteilung der mineralischen Basisabdichtung zu erreichen, wurde eine Berechnung der Anteile mit der Regressionsgleichung für die FULLER-Kurve vorgenommen (Pöttsch & Busch, 2003):

Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgt nach Gleichung (1).

$$a = (d / D)^n \quad (1)$$

$a$	[%]	Siebdurchgang
$d$	[mm]	betrachteter Korndurchmesser
$D$	[mm]	größter Korndurchmesser des Gemisches
$n$	[-]	variabler Exponent

Der variable Exponent  $n$  beträgt für annähernd runde Körner 0,5. Bei Abweichungen von der Kugelform wird ein kleinerer Exponent gewählt, der zwischen 0,5 und 0,3 liegt. (Pöttsch & Busch, 2003)

Für das mineralische Dichtungsmaterial würde ein Exponent von 0,4 gewählt. Mit dem bekannten Größtkorn der Kieswäsche von 0,125 mm kann die FULLER-Kurve mit Formel (1) berechnet werden.

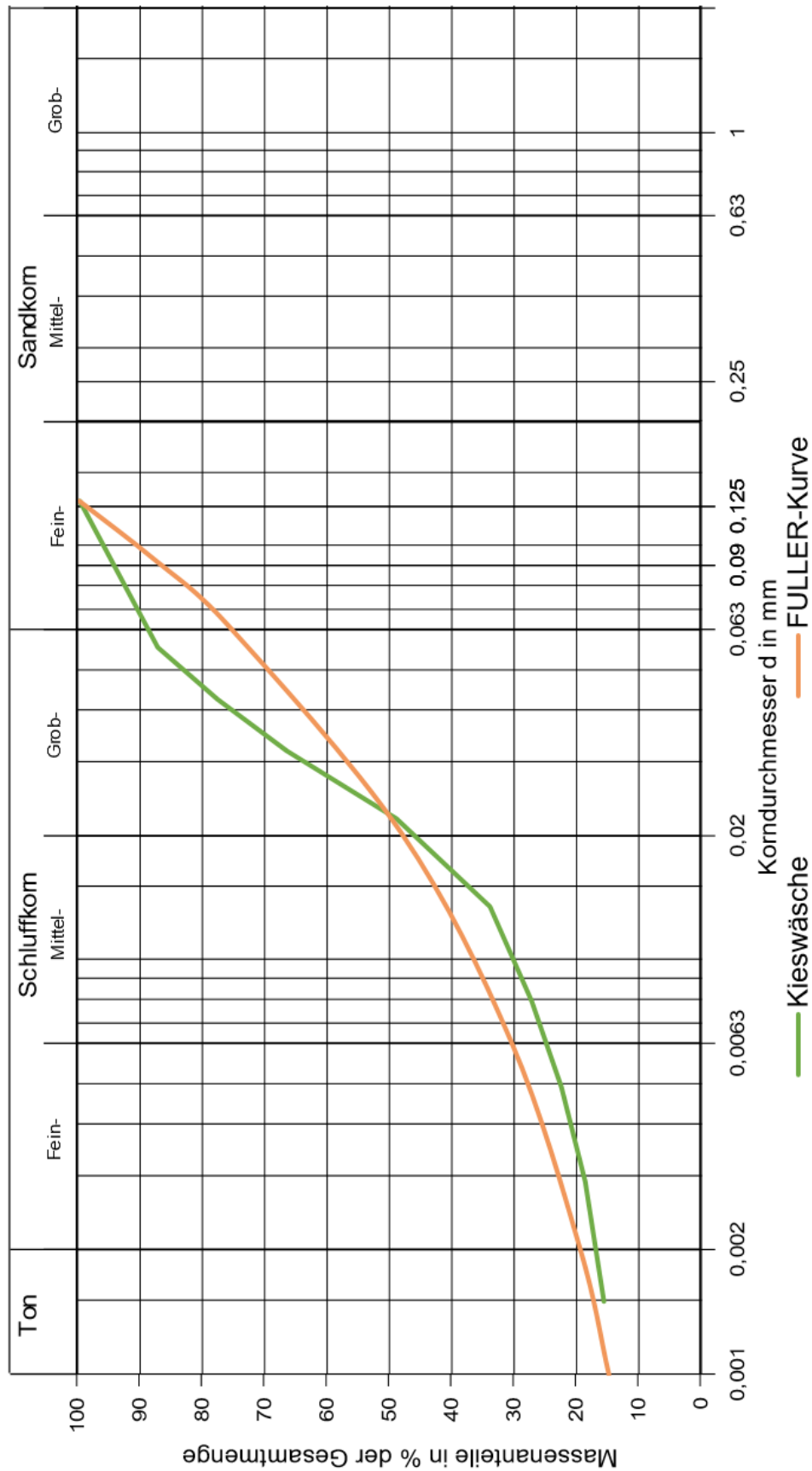
Die berechnete FULLER-Kurve (siehe Abb. 22) weist bei 0,002 mm Durchmesser einen Siebdurchgang von 20 % auf. Dies entspricht exakt dem Grenzwert der einschlägigen Normung für mineralisches Basisabdichtungsmaterial, welcher nachfolgend genauer erläutert wird.

Vergleicht man die FULLER-Kurve mit dem Grundmaterial aus der Kieswäsche ist zu erkennen, dass vom Ton- bis Mittelschluffbereich die Korngrößenverteilung der Kieswäsche unter der FULLER-Kurve liegt und im Grobschluff- bis Sandbereich darüber.

Strebt man eine Optimierung der Kieswäsche an die FULLER-Kurve an, so muss der Fein- und Mittelsandanteil in Verbindung mit dem Ton- und Feinschluffanteil erhöht werden.

Erhöht man lediglich den Grobschluff und Sandanteil durch Beimengung einer entsprechenden Kornfraktion so wird der Ton- und Feinschluffanteil im Gesamtmaterial reduziert und die Anforderungen an das Deponieabdichtungsmaterial können nicht mehr erfüllt werden. Zur Kompensation müsste somit ein größerer Anteil an Feinstkorn in Form von Bentonit oder Ziegelpulver beigemischt werden. Da diese Materialien jedoch sehr teuer in der Anschaffung sind muss davon abgewichen werden, dass Grobschluff- und Sand zur Kieswäsche beigemengt wird.

Es wird somit lediglich der Feinstkornanteil erhöht und dessen Einfluss auf die Kieswäsche untersucht.



**Abb. 22:** Zusammenstellung - Korngrößenverteilung Kieswäsche und FULLER-Kurve

Die Beimengung von Bentonit oder Ziegelpulver beeinflusst den Wassergehalt des Materials. Durch die Zumischung von trockenerem Material als das Grundmaterial, wird der Wassergehalt im gesamten Material reduziert. Da die Beimengung in sehr kleinen Mengen erfolgt, wird der Wassergehalt nur sehr gering verringert. Eine diesbezügliche Untersuchung, erfolgt in den nachfolgenden Kapiteln.

### 3.6 Vermischung der Materialien

Für kleinmaßstäbliche Untersuchungen im Labor erfolgt die Vermischung der Materialien maschinell mit einem Flügelmischer, um eine größtmögliche Homogenität zu erzielen. Für die Herstellung optimierter Abdichtungsmaterialien im Baustellenmaßstab können verschiedene Verfahren zum Einsatz kommen:

- **Mixed-in-plant-Verfahren**  
Die Mischung erfolgt bei Mixed in plant mit stationären Mischanlagen. Der Nachteil liegt hier im aufwändigen Vorgang und der geringen Flexibilität. Es müssen zuerst die Materialien im Werk vermischt werden und danach mit LKW auf die Deponie manipuliert werden.
- **Mixed-in-mobile-Plant-Verfahren**  
Als Mischsystem wird ein Gegenstrommischer eingesetzt, welcher abweichend vom Transportbetonbau mit einer Außen- und Innenwendel ausgerüstet ist. Das Mischgut wird mittels Außenwendel zum Trommelboden und mittels gegenläufiger Innenwendel kontinuierlich in Richtung Trommelöffnung gefördert. Dieses Prinzip ermöglicht eine sehr gute Homogenisierung der Materialien. (vgl. Beitzel & Bjelanovic, 1998)
- **Mixed-in-Place-Verfahren**  
Hierbei erfolgt die Vermischung der Materialien mit Fräsen welche als Anbaugeräte für Traktoren und LKW, oder als selbstständige Fräse Verwendung findet. Der Vorteil dieses Verfahrens ist die Einfachheit und Flexibilität in der Handhabung. Es ist keine aufwendige Baustelleneinrichtung erforderlich. Dieses Verfahren wird für die Herstellung des Probefeldes verwendet.

### 3.7 Eignungsprüfung gemäß ÖNORM S 2074-2

Für das mineralische Basisabdichtungsmaterial ist eine Eignungsprüfung durchzuführen. Hierzu sind die Kriterien, welche in der Deponieverordnung 2008 und in der ÖNORM S 2074-2:2004 definiert werden, einzuhalten.

Die durchzuführenden Versuche und deren Grenzwerte sind in Tab. 4 und Tab. 5 zusammengefasst.

**Tab. 4** Eignungsprüfung im Labor - Allgemeine Kennwerte (ÖNORM S 2074-2:2004)

Zeile	Kennwerte	Prüfung gemäß	Grenzwerte
1	Korngrößenverteilung	ÖNORM B 4412	$d_{\max} = 63$ mm (empfohlener Richtwert) Anteil mit Korn-durchmesser $< 0,06$ mm sollte mehr als 15 % betragen
2	natürlicher Wassergehalt	ÖNORM B 4410	max. 4 % über $w_{\text{opt}}$ .
3	Korndichte	ÖNORM B 4413	$\geq 2,5$ g/cm <sup>3</sup>
4	Zustandsgrenzen	ÖNORM B 4411	-
5	Schrumpfgrenze	DIN 18122-2	-
6	Glühverlust	Bei 600°C	max. 5 %
7	Wasseraufnahme	DIN 18132	80 % (Richtwert)
8	Quantitative Mineralbestimmung	RVS 8S.05.11	Der Anteil mit Korngröße $\leq 0,002$ mm sollte mindestens 50 % Tonminerale enthalten

**Tab. 5** Eignungsprüfung im Labor – Einbaukriterien/Eignung (ÖNORM S 2074-2:2004)

Zeile	Kennwerte	Prüfung gemäß	Grenzwerte
1	Proctorversuch mit nicht vergütetem Mat.	ÖNORM B 4418	$\rho_{\text{Pr}}: 1,7$ g/cm <sup>3</sup> (Richtwert)
2	Proctorversuch mit vergütetem Material (Bentonitanteil max. 6 %)	ÖNORM B 4418	$\rho_{\text{Pr}}: 1,7$ g/cm <sup>3</sup> (Richtwert)
3	Durchlässigkeitsbeiwert in Abhängigkeit von der Einbaudichte ( $\pm 3$ % von $w_{\text{opt}}$ )	ÖNORM B 4422-1	$k_f \leq 5,0 \cdot 10^{-10}$ m/s bei $i = 30$
4	Scherparameter	ÖNORM B 4416	$\varphi \geq 30^\circ$ ; $c = 0$ (Richtwert) $\varphi \geq 25^\circ$ ; $c \geq 10$ kN/m <sup>2</sup> (Richtwert) der Restscherwinkel ist anzugeben
5	Kompressionsversuch	ÖNORM B 4420	$E_s \geq 35$ MN/m <sup>2</sup> mit Normalspannungszustand des 0,3- bis 0,7-fachen der Deponieauflast (Richtwert); die Einbaudichte entspr. $\rho_{\text{Pr}} \pm 3$ %

### **3.7.1 Laborversuche gemäß ÖNORM S 2074-2**

In den nachfolgenden Punkten werden die einzelnen Versuche, welche für die Eignungsprüfung notwendig sind, genauer erläutert.

#### **3.7.1.1 Korngrößenverteilung (vgl. ÖNORM B 4412:1974)**

Die Bestimmung der Korngrößenverteilung erfolgt gemäß ÖNORM B 4412:1974 beim vorliegenden Material durch eine kombinierte Siebung und Sedimentation. Hierzu wird zuerst die Probe einer Nasssiebung unterzogen und das austretende Schlämmaterial mit einem Durchmesser  $d < 0,125$  mm gemeinsam mit dem Spülwasser aufgefangen. Die Siebung erfolgt mit einem kompletten Siebsatz mit den Maschenweiten 0,125 mm, 0,25 mm, 0,5 mm, 1,0 mm und 2,0 mm, und den Lochweiten 4 mm, 8 mm, 16 mm, 31,5 mm und 63 mm.

Das aufgefangene Schlämmaterial wird zu einer Suspension aufgerührt und in einem Zylinder stehen gelassen. Durch das nach der Korngröße unterschiedlich schnelle Absinken der Bodenteilchen verändert sich mit der Zeit die Verteilung der Dichte der Suspension und somit auch die Korngrößenverteilung in der Vertikalen der Suspension. Für die Schlämmanalyse wird der Probe Natriumphosphat als Dispergierungsmittel ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$ ) zur Vermeidung einer Teilchenagglomeration zugegeben. Daraufhin wird die Probe mit einem Rührwerk oder alternativen Mischeinrichtungen mit destilliertem Wasser homogenisiert, sodass die Probe vollständig in die einzelnen Bodenteilchen aufgelöst ist. Daraufhin wird die Dichte der Suspension in Abhängigkeit von der Zeit mittels eines Aräometers bestimmt. Die Aräometerablesung erfolgt in definierten Zeitabständen, am oberen Rand des Meniskus. (vgl. ÖNORM B 4412:1974)

Aus den Sieb- und Schlämmanalysen resultieren jeweils zwei Korngrößenverteilungen, welche zu einer gemeinsamen Korngrößenverteilung zusammengeführt werden. (vgl. ÖNORM B 4412:1974)

#### **3.7.1.2 Wassergehalt (vgl. ÖNORM EN ISO 17892-1:2015)**

Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgt nach ÖNORM EN ISO 17892-1:2015, dem Nachfolgedokument der ÖNORM B 4410:2009.

Für die Wassergehaltbestimmung wird die feuchte Probe in einen sauberen und trockenen Behälter mit bekannter Masse  $m_c$  gelegt. Daraufhin wird die Gesamtmasse des Behälters und der Probe bestimmt und der Wert als Masse  $m_1$  aufgezeichnet. Im Anschluss wird die feuchte Probe bei einer Temperatur von 105 °C bis 110 °C in den Trocknungsofen gestellt und entweder bis zur Massenkonstanz

oder für die in der ÖNORM EN ISO 17892-1:2015 festgelegten Mindestdauer getrocknet. Das Erreichen der Massekonstanz ist sichergestellt, wenn innerhalb eines Zeitraums von mindestens einer Stunde die Veränderung der Masse des getrockneten Bodens weniger als 0,1 % beträgt. (vgl. ÖNORM EN ISO 17892-1:2015)

Handelt es sich beim beprobten Material um Böden, die Gips oder andere Mineralien mit chemisch gebundenem Wasser enthalten, oder um Böden mit nennenswerten organischen Bestandteilen, kann der Masseverlust beim Trocknen nicht ausschließlich aufgrund des Verlusts von freiem Wasser entstehen. Bei diesen Bodenarten sollte die Trocknung bei niedrigen Temperaturen vorgenommen werden. Nach der Trocknung der Probe im Trocknungsöfen ist die Probe aus dem Ofen zu entnehmen und zur Abkühlung in einen Exsikkator zur Abkühlung auf Raumtemperatur zu stellen. Die Masse  $m_2$  des Behälters und der Probe ist innerhalb von einer Stunde nach der Entnahme aus dem Trockenschrank zu bestimmen. (vgl. ÖNORM EN ISO 17892-1:2015)

Die Bestimmung des Wassergehaltes erfolgt nach Gleichung (2)

$$w = \frac{m_1 - m_2}{m_2 - m_c} \times 100 = \frac{m_w}{m_d} \times 100 \quad (2)$$

$w$	[%]	Wassergehalt
$m_1$	[g]	Masse des Behälters und der feuchten Probe
$m_2$	[g]	Masse des Behälters und der getrockneten Probe
$m_c$	[g]	Masse des Behälters
$m_w$	[g]	Masse des Wassers
$m_d$	[g]	Masse der getrockneten Probe

### 3.7.1.3 Korndichte (vgl. ÖNORM EN ISO 17892-3:2015)

Die Korndichte  $\rho_s$  wird gemäß ÖNORM EN ISO 17892-3 definiert als Trockenmasse der Kornteilchen, bezogen auf das Volumen. Die Ermittlung der Korndichte erfolgte mit dem Kapillarpyknometer-Verfahren. Hierbei muss der Pyknometer ein Volumen von mindestens 50 ml aufweisen und über einen eingeschliffenen Glasstopfen und ein Kapillarrohr verfügen. Beim Kapillarpyknometer-Verfahren erfolgt die Bestimmung des Volumenunterschieds, welcher beim vollständigen Füllen des Pyknometers bei enthaltener und nicht enthaltener Bodenprobe resultiert. Aus dem Volumenunterschied und der Trockenmasse der Bodenteilchen wird daraufhin die Korndichte berechnet. Für die Versuchsdurchführung ist eine Kontrollflüssigkeit mit bekannter und gemessener Dichte für die Befüllung des Pyknometers erforderlich. Hierzu wurde destilliertes Wasser verwendet.

Die Probe muss eine Trockenmasse von mindestens 10 g aufweisen. Zudem muss die ofentrockene Probe feinkörniger Böden mit Mörser und Pistill vorsichtig zerkleinert werden. Das Entfernen von Luft nach der Befüllung mit der Kontrollflüssigkeit hat durch die Anwendung von Vakuum oder Luft zu erfolgen.

Es sind mindestens drei Versuche durchzuführen und die Temperatur der Suspension zu messen. Für alle Messungen ist eine Waage mit einer Fehlergrenze von 0,01 g oder 0,1 % der gewogenen Bodenmasse, je nach dem welcher Wert größer ist, zu verwenden. (vgl. ÖNORM EN ISO 17892-3:2015)

Die Berechnung der Korndichte erfolgt nach Formel (3).

$$\rho_s = \frac{m_s}{(m_1 - m_0) - (m_3 - m_2)} \times \rho_L \quad (3)$$

$\rho_s$	[Mg/m <sup>3</sup> ]	Korndichte
$m_0$	[g]	Masse des trockenen Pyknometers
$m_1$	[g]	Masse des Pyknometers mit Kontrollflüssigkeit gefüllt
$m_2$	[g]	Masse des Pyknometers mit trockenen Probe
$m_3$	[g]	Masse des Pyknometers mit der Probe und gefüllt mit der Kontrollflüssigkeit
$m_4$	[g]	Trockenmasse der Versuchsprobe
$\rho_L$	[Mg/m <sup>3</sup> ]	Dichte der Kontrollflüssigkeit bei Prüftemperatur

### 3.7.1.4 Zustandsgrenzen (vgl. ÖNORM B 4411:2009)

Die Konsistenz und somit die Zustandsform eines bindigen Bodens verändert sich mit dem Wassergehalt des Bodens. Mit zunehmenden Wassergehalt geht bindiger Boden vom festen Zustand in den halbfesten und daraufhin in den bildsamen, plastischen Zustand über. Bei weiterer Erhöhung des Wassergehalts verändert sich der Boden vom bildsamen Zustand in den flüssigen. Die von Atterberg festgelegten Zustands- bzw. Konsistenzgrenzen beschreiben die Übergänge einer Zustandsform in die andere.

Da die Konsistenzgrenzen ein Maß für die Plastizität des Bodens und für seine Empfindlichkeit gegenüber Änderung des Wassergehalts sind, werden sie zur Einteilung der bindigen Böden in Gruppen verwendet und geben mit dem jeweiligen Wassergehalt eines Bodens einen Anhalt für dessen Tragfähigkeit.

Zur Bestimmung der Plastizität wurden die Zustandsgrenzen nach Atterberg lt. ÖNORM B 4411:2009 im natürlichen Zustand mit entionisiertem Wasser bestimmt.

Die Fließgrenze  $w_L$  ist der Wassergehalt am Übergang von der flüssigen zur bildsamen Zustandsform.

Die Ausroll- oder Plastizitätsgrenze  $w_P$  ist der Wassergehalt am Übergang von der bildsamen zur halbfesten Zustandsform.

- **Fließgrenze**

Der Wassergehalt an der Grenze zwischen dem flüssigen und dem bildsamen Zustand wird Fließgrenze  $w_L$  definiert. Diese wird mit dem Fallkegelverfahren oder mit dem Fließgrenzengerät nach Casagrande (siehe Abb. 23/Abb. 24) bestimmt, bei denen falls erforderlich die Bodenteilchen mit einem Korndurchmesser von größer 0,4 mm entfernt werden. Das Fallkegelgerät muss so konstruiert sein, dass der Fallkegel arretiert werden und nach dem Lösen frei vertikal in den Boden eindringen kann. Die Eindringung des Kegels muss auf 0,1 mm gemessen werden. Dabei ist ein Messbereich von 5 mm bis 22 mm beim 60 g/60 °-Fallkegel erforderlich und von 10 mm bis 30 mm, wenn ein 80 g/30 °-Fallkegel verwendet wird. Der Fallkegel ist aus nichtrostendem Stahl oder Duraluminium mit einer Masse von 60 g und einem Öffnungswinkel von 60 ° oder mit einer Masse von 80 g und einem Öffnungswinkel von 30 ° herzustellen. Die Höhe des konischen Abschnitts des Fallkegels muss mindestens 20 mm sowie glatt ohne augenscheinlich erkennbare Beschädigungen sein. Der aufbereitete Boden wird gründlich durchgemischt und,



**Abb. 23:** Fallkegelgerät gemäß ÖNORM B 4411:2009



wenn erforderlich, Wasser zugegeben. Danach streicht man ihn mit dem Palettenmesser in eine saubere und trockene Probenschale so ein, dass eine glatte Oberfläche erhalten wird, wobei darauf zu achten ist, dass keine Luftporen eingeschlossen werden. Während der Fallkegel arretiert ist, muss die Halterung abgesenkt werden, bis die Spitze des Fallkegels die Oberfläche des Bodens berührt. Der Kegel muss für eine Zeit von  $(5 \pm 1)$  s gelöst werden. Es muss dann eine Teilprobe (etwa 10 g) dem Bereich entnommen werden, in den der Fallkegel eingedrungen ist, und daraus der Wassergehalt bestimmt werden. Der Zusammenhang zwischen dem Wassergehalt (in M-%) und der Eindringung des Fallkegels ist in halblogarithmischer Darstellung mit dem Wassergehalt im linearen Maßstab auf der Ordinate und der Kegel Eindringung im logarithmischen Maßstab als Abszisse darzustellen. Durch die Punkte der Prüfergebnisse ist eine Ausgleichsgerade zu zeichnen. Aus dieser Grafik kann dann der Wassergehalt  $w_L$  an der Fließgrenze ermittelt werden und ist auf halbe M-% anzugeben. Sie ergibt sich bei einem 60 g/60 °-Kegel bei einer Eindringung des Fallkegels von 10 mm oder bei einem 80 g/30 °-Fallkegel bei einer Eindringung von 20 mm. (vgl. ÖNORM B 4411:2009)



**Abb. 24:** Fließgrenzengerät nach Casagrande gemäß ÖNORM B 4411:2009

Bei der Bestimmung der Fließgrenze mit dem Fließgrenzengerät (siehe Abb. 24) wird die Schale mit der aufbereiteten Bodenprobe gefüllt und die Oberfläche mit einem Spatel glattgestrichen. Daraufhin wird mit dem Furchenzieher eine Furche bis auf den Grund der Schale gezogen. Die Probe darf hierbei nicht reißen und keine Luftporen aufweisen. Unmittelbar nach der Herstellung der Furche

wird mit der Versuchsdurchführung begonnen. Hierzu wird die Schale zweimal pro Sekunde angehoben und wieder fallen gelassen. Dies wird so lange wiederholt, bis die hergestellte Furche am Boden auf eine Länge von 10 mm geschlossen ist. Die Anzahl der Schläge, die erforderlich sind um diesen Zusammenschluss herzustellen, wird notiert. Unverzüglich wird aus dem geschlossenen Furchenbereich eine Probe mit etwa 5 g entnommen und deren Wassergehalt bestimmt. Dieser Vorgang wird mit verschiedenen Wassergehalten mehrmals wiederholt. Die Fließgrenze definiert den Wassergehalt der Probe, bei dem die Furche nach 25 Schlägen 10 mm geschlossen ist. Es werden mindestens vier Prüfungen mit verschiedenen Wassergehalten und daraus resultierenden Schlagzahlen ermittelt, welche in ein Diagramm mit der Schlagzahl auf der Abszisse mit logarithmischer Teilung und dem Wassergehalt auf der Ordinate mit linearer Teilung aufgetragen werden. Durch das Verbinden der Messpunkte kann der Wassergehalt bei 25 Schlägen abgegriffen werden, welcher auf halbe Prozent der Masse auf- oder abzurunden ist und die Fließgrenze  $w_L$  definiert. (vgl. ÖNORM B 4411:2009)

- **Ausroll- oder Plastizitätsgrenze:**

Der Wassergehalt an der Grenze zwischen plastischem und halbfestem Zustand wird als Ausroll- oder auch als Plastizitätsgrenze  $w_p$  bezeichnet. Die Ausrollgrenze definiert jenen Wassergehalt, bei der sich die Probe noch plastisch verhält. Die Bestimmung der Ausrollgrenze erfolgt auf direktem Weg mit dem Ausrollversuch nach Casagrande oder indirekt durch Auswertung über die lineare Schrumpfgrenze.

Bei der direkten Ermittlung über den Ausrollversuch werden durch kontinuierliches Ausrollen, Röllchen mit 3 mm Durchmesser erzeugt. Zudem müssen die Röllchen sowohl in Längsrichtung als auch in Querrichtung brechen, wenn der geforderte Durchmesser erreicht wird. Ist dies der Fall, so ist der Wassergehalt an der Ausrollgrenze erreicht und die Röllchen müssen sofort zur Bestimmung des Wassergehaltes gewogen werden. Zur Bestimmung der Ausrollgrenze  $w_p$  darf die Trockenmasse 2 g nicht unterschreiten.

Bei der Ermittlung über den Linearschrumpfvorsuch wird der Boden auf eine Glasplatte aufgebracht und sorgfältig mit destilliertem Wasser wie zur Bestimmung der Fließgrenze vermennt. Die Vermischung wird so lange fortgesetzt, bis eine weiche homogene Paste an der Fließgrenze entsteht. Die Paste wird unter Vermeidung von Lufteinschlüssen mit exakt ebener Oberfläche in drei Hohlformen eingebracht und der Lufttrocknung ausgesetzt. Nachdem sich der Boden durch Schrumpfung von der Wandung entfernt hat, werden die Hohlformen in einen Trocknungsofen bei einer Temperatur von 60 °C bis 65 °C gestellt. Sobald die Schrumpfung bei dieser Temperatur beendet ist, kann die Temperatur auf  $(105 \pm 5)$  °C erhöht werden, um die Trocknung abzuschließen. Die Länge der Bodenstücke wird mit einer Schiebelehre auf 0,5 mm genau gemessen, wobei je Probe zwei Ablesungen (längster und kürzester Abstand) durchgeführt werden und daraus der Mittelwert gebildet wird, der der einzelnen Trockenlänge  $L_{Di}$  entspricht. Die Trockenlänge  $L_o$  wird aus den einzelnen Trockenlängen  $L_{Di}$  ( $i = 1$  bis 3) durch Mittelbildung berechnet und

auf ganze Millimeter gerundet. Zur Bestimmung der Plastizitätsgrenze  $w_P$  ist vorweg die Plastizitätszahl  $I_P$  zu berechnen. Die Plastizitätsgrenze  $w_P$  ergibt sich dann als Differenz der Fließgrenze  $w_L$  und der Plastizitätszahl  $I_P$  und ist auf halbe Prozent anzugeben. (vgl. ÖNORM B 4411:2009)

- **Schrumpfgrenze**

Die Schrumpfgrenze  $w_s$  ist jener Wassergehalt, den eine Bodenprobe beim Übergang vom halbfesten zum festen Zustand aufweist. Das elementare Charakteristikum der Schrumpfgrenze ist, dass sich beim Austrocknen der Probe das Volumen unterhalb von  $w_s$  kaum mehr ändert und bei vielen Böden ein Farbumschlag zum Hellen auftritt. Zudem brechen Böden mit einem Wassergehalt unterhalb der Schrumpfgrenze scherbenartig.

In der ÖNORM B 4411:2009 sind verschiedene Verfahren für die Bestimmung der Schrumpfgrenze definiert. Für die Versuchsauswertung wurde das vereinfachte Verfahren mit einmaliger Wägung und Volumbestimmung nach Versuchsende gewählt. Die Probe wird mit einem Einbauwassergehalt, der etwa 10 % höher als die Fließgrenze ist, in eine Ringform luftporenfrei eingestrichen und an den Stirnflächen abgeglichen werden. Zuvor sind die Innenwand des Rings und die Glasplatte, auf welche der Ring gelegt wird, mit einem wasserabweisenden Film zu bestreichen. Nach erfolgter Wägung der Bodenprobe wird die Probe einer Lufttrocknung bei Raumtemperatur unterzogen und daraufhin im Trockenschrank bei  $(105 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$  getrocknet und das Volumen und die Trockenmasse bestimmt. Die Schrumpfgrenze wird daraufhin gemäß Formel (4) bestimmt. (vgl. ÖNORM B 4411:2009)

$$w_s = 100 \times \left( \frac{V_d}{m_d} - \frac{1}{\rho_s} \right) \times \rho_w \quad (4)$$

$w_s$	[%]	Wassergehalt an der Schrumpfgrenze
$V_d$	[cm <sup>3</sup> ]	Volumen des Probekörpers im trockenen Zustand, nach Trocknung bei $(105 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$
$m_d$	[g]	Masse des Probekörpers im trockenen Zustand, nach Trocknung bei $(105 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$
$\rho_s$	[g/cm <sup>3</sup> ]	Korndichte
$\rho_w$	[g/cm <sup>3</sup> ]	Dichte des Wassers

- **Konsistenzzahl  $I_c$**

Das Verhältnis der Differenz zwischen dem Wassergehalt an der Fließgrenze und dem natürlichen Wassergehalt und der Differenz zwischen dem Wassergehalt an der Fließgrenze und der Plastizitätsgrenze wird als Konsistenzzahl  $I_c$ , wie in Formel (5) dargestellt, bezeichnet. (vgl. ÖNORM B 4411:2009)

$$I_C = \frac{w_L - w}{w_L - w_P} \quad (5)$$

$w_L$	[%]	Fließgrenze
$w_P$	[%]	Plastizitätsgrenze
$w$	[%]	natürlicher Wassergehalt

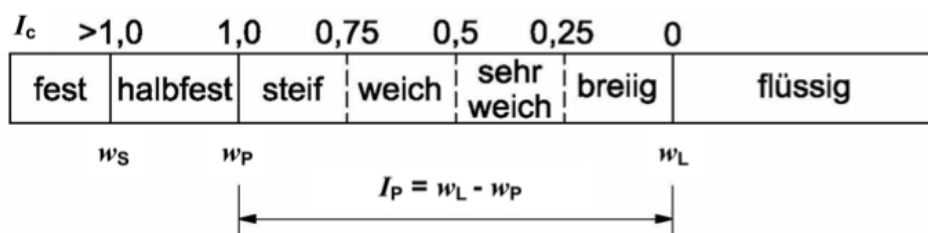
- **Plastizitätszahl  $I_p$**

Die Plastizitätszahl  $I_p$  ergibt sich aus der Differenz zwischen dem Wassergehalt der Bodenprobe an der Fließgrenze und an der Ausrollgrenze. Die Plastizitätszahl wird nach Formel (6) ermittelt. (vgl. ÖNORM B 4411:2009)

$$I_p = w_L - w_P \quad (6)$$

$w_L$	[%]	Fließgrenze
$w_P$	[%]	Plastizitätsgrenze

Die Zusammenhänge zwischen Konsistenzzahl, Plastizitätszahl und der jeweiligen Konsistenz sind anschaulich im Konsistenzband in Abb. 25 dargestellt.



**Abb. 25:** Konsistenzband gemäß ÖNORM B 4411:2009

### 3.7.1.5 Bestimmung des organischen Anteils (vgl. ÖNORM B 4424:2016)

Durch die Ermittlung des organischen Anteils gemäß ÖNORM B 4424:2016-02 kann der organische Anteil im Boden beschrieben werden. Hierbei wird der Masseverlust bei wiederholtem Glühen bei einer Temperatur von 600 °C der Masseverlust der Probe bestimmt. Der Masseverlust wird auf die Trockenmasse bezogen und in Prozent angegeben. (vgl. ÖNORM B 4424:2016)

Die Probe ist vor dem Glühen bei 105 °C bis 110 °C im Trockenschrank bis zur Massenkonstanz getrocknet und bei Raumtemperatur abgekühlt. Daraufhin werden feinkörnige Proben mit einem Mörser oder in der Kugelmühle zu einem Pulver zerkleinert. Die zermahlene Probe wird in einen Porzellantiegel gefüllt, welcher mit der Probe bis zur Massekonstanz bei 600 °C geglüht wird. Obligatorisch für

die Bestimmung des organischen Anteils ist ein zweiter Glühvorgang. Hierzu wird eine ausgeglühte Probe mit destilliertem Wasser versetzt, stehen gelassen, abermals bei 105 °C getrocknet und daraufhin nochmals geglüht. Der Grund für das abermalige Glühen ist, dass beim erstmaligen Glühen gebundenes Wasser und Kristallwasser aus den Mineralien freigesetzt wird, welche einen Masseverlust bewirken der jedoch nicht zum Glühverlust hinzugezählt wird. Durch den zweiten Glühvorgang wird durch das vorherige Versetzen der ausgeglühten Probe mit destilliertem Wasser, lediglich der Anteil an gebundenem Wasser und Kristallwasser in der Probe bestimmt. (vgl. ÖNORM B 4424:2016)

Der Glühverlust nach dem jeweiligen Glühvorgang wird mit Formel (7) ermittelt.

$$c_{gl} = \frac{\Delta m_{gl}}{m_d} \cdot 100 = \frac{m_d - m_{gl}}{m_d} \cdot 100 \quad (7)$$

$m_d$	[g]	Trockenmasse des Bodens vor dem Glühen
$m_{gl}$	[g]	Masse des Bodens nach dem Glühen
$\Delta m_{gl}$	[g]	Massenverlust

Der organische Anteil berechnet sich aus der Differenz zwischen dem Glühverlust aus der ersten Glühung und der zweiten Glühung, gemäß Formel (8).

$$C_{org} = c_{gl,1} - c_{gl,2} \quad (8)$$

$C_{org}$	[%]	organischer Anteil
$c_{gl,1}$	[%]	Glühverlust der ersten Glühung
$c_{gl,2}$	[%]	Glühverlust der zweiten Glühung

### 3.7.1.6 Wasseraufnahmevermögen

(vgl. Deutsches Institut für Normung e.V., 2005)

Das Wasseraufnahmevermögen der Feinbestandteile eines Bodens wird gemäß DIN 18132 bestimmt. Das Aufnahmevermögen hängt von der spezifischen Oberfläche des Feinkorns und der Zusammensetzung der Tonminerale ab. Das Maß für Wasseraufnahme berechnet sich gemäß Formel (9) aus dem aufgenommenen Wasser 24 Stunden nach Versuchsbeginn, bezogen auf die Trockenmasse der Bodenprobe. (vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2005)

Die Bodenprobe wird auf eine Korngröße von kleiner 0,4 mm abgesiebt und der Siebdurchgang bei 105 °C getrocknet. Daraufhin wird die getrocknete Probe pulverfein verrieben und abermals bei 105 °C bis zur Massenkonstanz nachgetrocknet. Die Bestimmung der Wasseraufnahme erfolgt mit dem Gerät nach Enslin (siehe Abb. 26). Das Gerät wird mit destilliertem Wasser blasenfrei gefüllt. Die

gemäß Tab. 6 in der DIN 18132 definierte Probemasse wird abgewogen und mittels Glastrichter auf die Glasfilterplatte aufgebracht. Hierbei ist zu achten, dass sich kein Material an der Innenwand des Glasbehälters ablagert. Mit dem Befüllen des Enslin-Geräts beginnt der Versuch und das verbrauchte Wasser in der Kapillare und die Raumtemperatur wird in regelmäßigen Abständen abgelesen. (vgl. DIN Deutsches Institut für Normung e.V., 2005)

Die Ermittlung der Wasseraufnahme erfolgt nach Formel (9).

$$w_A = \frac{m_{wg}}{m_d} \quad (9)$$

$w_A$	[M.-%]	Wasseraufnahme nach Enslin
$m_{wg}$	[g]	Aufgesaugte Wassermenge 24 Stunden nach Versuchsbeginn
$m_d$	[g]	Trockenmasse

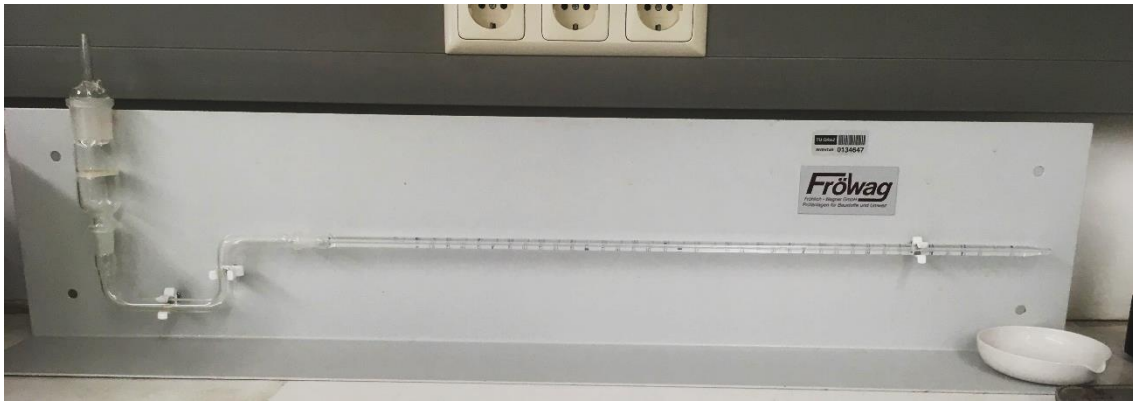
**Tab. 6:** Probemasse für den Einzelversuch (vgl. Deutsches Institut für Normung e.V., 2005)

Trockenmasse $m_d$	Wasseraufnahmevermögen $w_A$ [%]
1,0	< 100
0,2	≥ 100

Je nach aufgenommenen Wassermenge kann die Probe in verschiedene Bereiche eingeteilt werden (siehe Tab. 7).

**Tab. 7:** Bereiche des Wasseraufnahmevermögens (vgl. Deutsches Institut für Normung e.V., 2005)

Bereich	$w_A$ [%]
sehr gering	≤ 40
niedrig	über 40 bis 60
mittel	über 60 bis 85
hoch	über 85 bis 130
sehr hoch	> 130



**Abb. 26:** Enslin-Gerät zur Bestimmung der Wasseraufnahme

### 3.7.1.7 Quantitative Mineralbestimmung (vgl. ÖNORM B 4810:2013)

Für die Proben werden sowohl der Gesamtmineralbestand, als auch Tonmineralanalysen durchgeführt.

- ***Gesamtmineralbestand***

Ein Teil jeder Probe wird bis zur Röntgenfeinheit aufgemahlen und auf einen Träger gepresst. Die qualitative und semiquantitative Bestimmung der gesteinsbildenden Minerale erfolge mittels Röntgendiffraktometeranalyse (Panalytical XPert Pro/Co-Röhre) im Winkelbereich von  $3^\circ$  bis  $85^\circ 2\theta$ . Die semiquantitativen Bestimmungen der Mineralanteile erfolgen aufgrund von Vergleichen charakteristischer Röntgenreflexintensitäten mit Eichaufnahmen.

- ***Tonmineralanalysen***

Die Proben werden durch Schütteln in destilliertem Wasser aufgeschlossen und mit Ultraschall dispergiert. Proben mit höherem Karbonatanteil werden zur Entfernung des karbonatischen Anteils mit einer 0,1 molaren EDTE-Lösung, die mit NaOH auf einen pH-Wert von 8-8,5 eingestellt wurde, behandelt. Die Proben werden für ca. 1 Stunde auf  $60-80^\circ\text{C}$  erhitzt und weitere 12 Stunden zur vollständigen Ausreaktion geschüttelt. Danach wird die EDTE-Lösung durch Zentrifugieren, Dekantieren und Wiederaufnehmen mit destilliertem Wasser entfernt.

Nach Abtrennung der Kornfraktion  $< 2\mu\text{m}$  im Sedimentationsverfahren werden aus den Suspensionen je 3 Texturpräparate auf Keramikträgern angefertigt. Zur Differenzierung der Tonmineralgruppen werden an je 2 Texturpräparaten Ionenaustauschbehandlungen mit Kalium und Magnesium, sowie Quellversuche mit Glycerin und Dimethylsulfoxid durchgeführt.

Nach jedem Behandlungsschritt erfolgt eine Analyse mittels Röntgendiffraktometer. Die semiquantitativen bzw. quantitativen Bestimmungen erfolgten aufgrund von Vergleichen charakteristischer Röntgenreflexintensitäten mit Eichaufnahmen.

Durch Berücksichtigung des Anteiles der Kornfraktion  $< 2\mu\text{m}$  an der Gesamtprobe wurde der effektive Smektitgehalt errechnet.

### 3.7.1.8 Proctorversuch (vgl. ÖNORM B 4418:2012)

Ein Boden lässt sich in dem Maße verdichten, in dem es gelingt, seinen Porenanteil  $n$  zu verringern und gleichzeitig seine Trockendichte  $\rho_d$  zu erhöhen. Dazu ist eine Verdichtungsarbeit erforderlich, der allerdings die Reibungskräfte im Korngerüst entgegenwirken. Im Anfangsstadium des Versuches nehmen mit zunehmendem Wassergehalt diese Reibungskräfte ab und es wird eine gewisse Verdichtung erreicht. Ab einem bestimmten Wassergehalt, dem sogenannten optimalen Wassergehalt, nimmt die Verdichtbarkeit jedoch wieder ab, weil sich das Porenwasser durch die aufgebrachten dynamischen Kräfte nicht mehr verdrängen lässt. Beim optimalen Wassergehalt ist folglich die Verdichtung, bezogen auf eine bestimmte Verdichtungsarbeit, ein Maximum. Dem Standard - Proctor (siehe Abb. 27) ist eine Verdichtungsarbeit von  $0,6 \text{ MNm/m}^3$  zugeordnet. Mit ihr ergibt sich als maximale Trockendichte  $\rho_d$  die Proctordichte  $\rho_{Pr}$  bei einem optimalen Wassergehalt. Bei der Versuchsdurchführung werden alle Proben mit unterschiedlichen Wassermengen vermengt, womit unterschiedliche Wassergehalte für die Abstufung der Proctorkurve, welche aus dem Wassergehalt auf der Abszisse und der Trockendichte auf der Ordinate resultiert, erreicht werden. Die unterschiedlichen Wassergehalte sind so zu wählen, dass jeweils mindestens zwei Werte auf beiden Seiten des optimalen Wassergehaltes, bei dem die höchste Trockendichte erreicht wird,



**Abb. 27:** Proctorgerät gemäß ÖNORM B 4418:2012

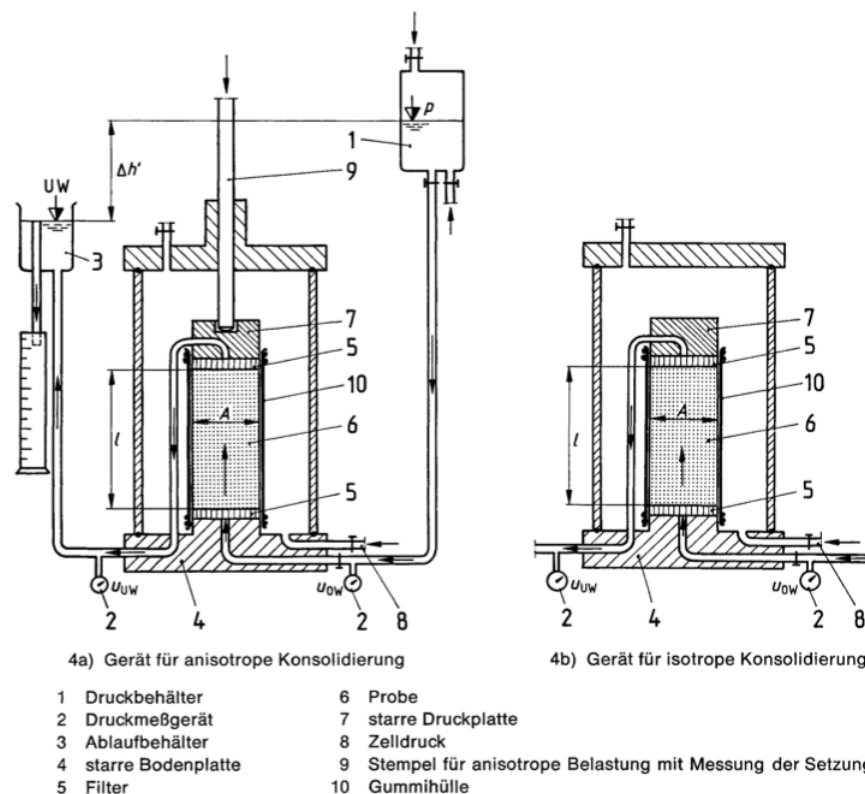


zu liegen kommen. Für Korngrößenverteilungen mit einem maximalen Durchmesser wird ein Proctortopf mit einem Durchmesser von 10 cm und eine Höhe von 12 cm verwendet. Beim Fallgewicht handelt es sich um eine Masse von 2,5 kg mit einer Fallhöhe von 305 mm. Zur Verdichtung des Gemisches wird das Material in drei gleich hohen Schichten eingebracht und nach jeder Schicht mit 25 Schlägen gleichmäßig verteilt verdichtet. Daraufhin wird die Oberfläche des Proctortopfes mit einem Stahllineal abgezogen und der Proctortopf samt Probe auf 1 g gewogen und die Masse aufgezeichnet. Daraufhin wird die Probe aus dem Proctortopf entnommen und der Wassergehalt bestimmt. (vgl. ÖNORM B 4418:2012)

### 3.7.1.9 Durchlässigkeitsbeiwert (vgl. ÖNORM B 4422-1:1992)

Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_{10}$  wird für fein- und gemischtkörniges Material bis zu einem Korndurchmesser von 20 mm gemäß ÖNORM B 4422-1:1992 an Proben mit Abmessungen von 10 cm Durchmesser und 12 cm Höhe in triaxialen Durchlässigkeitszellen bei einem hydraulischen Gefälle von  $i = 30$  bestimmt.

Hierbei wird eine Bodenprobe mit einem Wassergehalt, welcher in einem Schwankungsbereich von  $\pm 3\%$  vom optimalen Wassergehalt, der mittels Proctorversuch ermittelt wurde ( $w_{opt}$ ), in einen Proctortopf eingeklopft und aus dem Proctortopf ausgepresst. Die Probe wird an der Ober- und Unterseite mit einem Filterstein ver-



**Abb. 28:** Schematische Darstellung von triaxialen Durchlässigkeitszellen (ÖNORM B 4422-1)

sehen und mittels Gummihülle umschlossen und in die triaxiale Durchlässigkeitszelle mit isotroper Konsolidierung (siehe Abb. 28) eingebaut. Beim Einbau in die triaxiale Durchlässigkeitszelle ist höchste Vorsicht geboten, um die Probe nicht zu zerstören. Es folgt die Aufbringung des Zelldruckes der größer als der Oberwasserdruck sein muss beziehungsweise so groß sein muss, dass die Bodenprobe beim Durchströmen ausreichend bruchstabil bleibt. Der Zelldruck wird über die Versuchsdauer konstant gehalten. Die Probe wird mit entlüftetem Wasser von unten nach oben mit konstantem Druck durchströmt. Das aufgefangene Wasser wird vor Verdampfung geschützt und in regelmäßigen Abständen die durchströmte Wassermenge abgelesen (siehe Abb. 29) und die Wassertemperatur gemessen. Eine Wiederholung der Wasservolumenmessung ist so lange erforderlich, bis die daraus ermittelten Durchlässigkeitswerte eine maximale Abweichung vom Mittelwert der letzten fünf Messungen von  $\pm 5\%$  aufweisen. Abb. 28 zeigt eine schematische Darstellung von Triaxialgeräten. (vgl. ÖNORM B 4422-1:1992)



**Abb. 29:** Triaxiale Durchlässigkeitszellen im Labor des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau der TU Graz

### 3.7.1.10 Scherparameter (vgl. ÖNORM B 4416:1978)

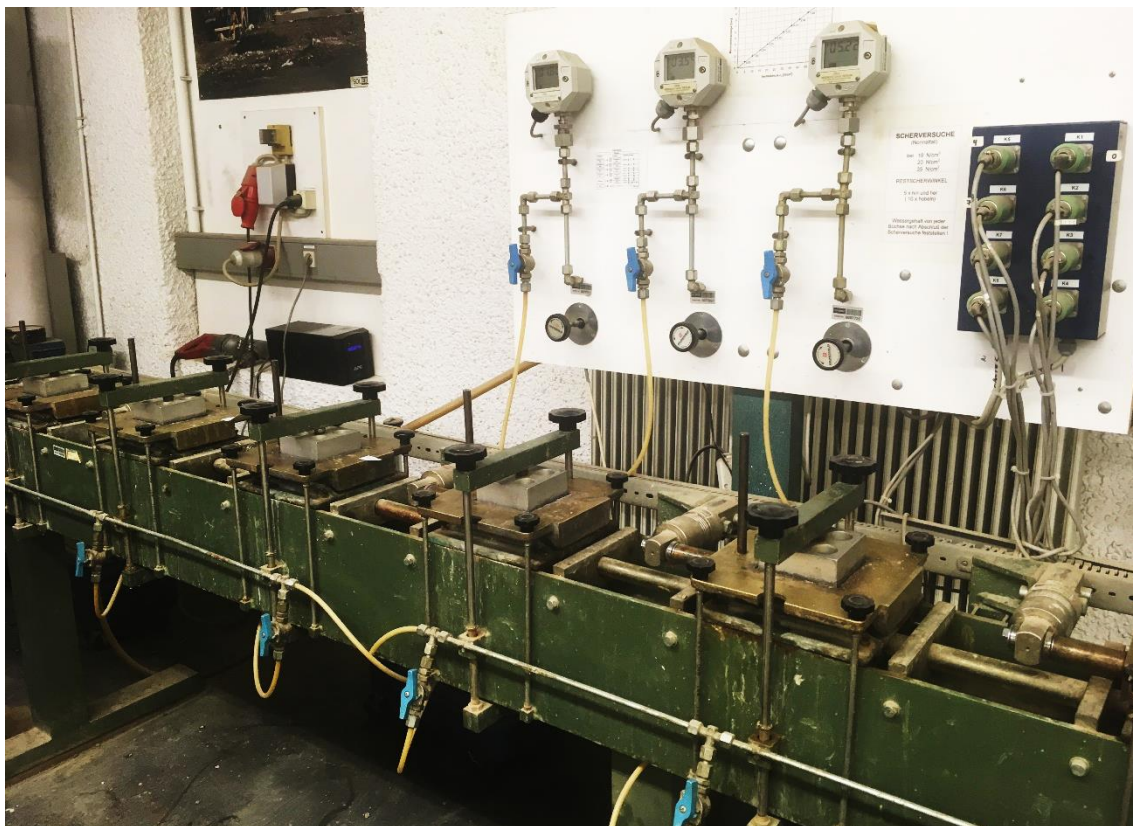
Die Bestimmung des effektiven Reibungswinkels  $\varphi'$ , der Kohäsion  $c'$  und des Restreibungswinkels  $\varphi_r$  erfolgt mittels konsolidiert - drainierter Rahmenscherversuche

in Scherbüchsen mit Probenabmessungen von 100 x 100 x 20 mm bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit gemäß ÖNORM B 4416:1978 (Abb. 30). Um das Entstehen von Porenwasserdrücken in den teilgesättigten Proben während des Schervorganges zu verhindern, werden unterhalb und oberhalb der Probe Filtersteine angeordnet. Die Schergeschwindigkeit beträgt 0,003 mm/min.

Bei diesen Versuchen kann Boden bis zu einem Korndurchmesser von  $d \leq 4$  mm eingebaut werden.

Vor dem Abschervvorgang wird der eingebaute Boden über einen Zeitraum von 72 Stunden mit einer Normalspannung von  $\sigma_c = 350$  kN/m<sup>2</sup> konsolidiert. Die beim Schervorgang aufgebrauchten Normalspannungen werden zwischen 100 kN/m<sup>2</sup> und 300 kN/m<sup>2</sup> variiert.

Zudem wird in den Versuchen der Restscherwinkel  $\varphi_r$  ermittelt, indem der Scherversuch über den Bruchpunkt hinaus mit einer Schergeschwindigkeit von 2,328 mm/min fortgesetzt wird. Dabei wird nach Erreichen des für die Scherbüchse möglichen maximalen Scherweges, die Scherrichtung umgedreht und in der Gegenrichtung weitergefahren. Dieser Prozess des Hin- und Zurückscherens wird solange fortgeführt, bis ein konstanter Wert für den Scherwiderstand erreicht wird. Der auf diese Weise gemessene Scherwiderstand wird als Restscherfestigkeit  $\varphi_r$  bezeichnet. Der zugehörige Restscherweg ergibt sich als Gesamtsumme der bei Hin- und Herscheren gemessenen Einzelscherwege. (vgl. ÖNORM B 4416:1978)



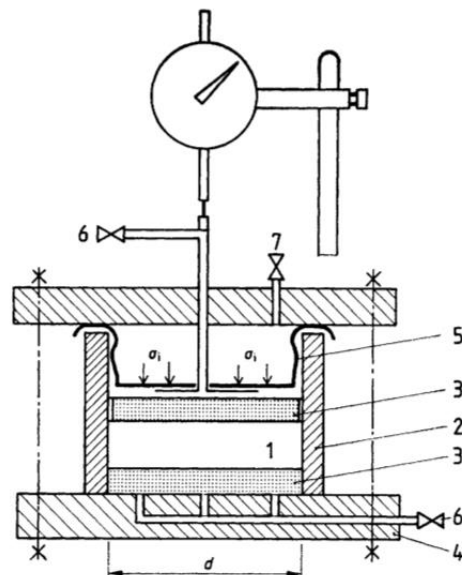
**Abb. 30:** Scherbank im Geotechnischen des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau der TU Graz

### 3.7.1.11 Kompressionsversuch (vgl. ÖNORM B 4420:1989)

Die Zusammendrückbarkeit von Böden wird unter anderem mit dem Steifemodul  $E_s$  aus dem Kompressionsversuch, auch Ödometerversuch genannt, beschrieben. Dieser Parameter ist ein Maß für die Setzung von Böden in Abhängigkeit von der Belastung. Aufgrund von Konsolidierungsvorgängen im Boden sind diese Setzungen zeitabhängig. Grundsätzlich handelt es sich beim Kompressionsversuch um einen einaxialen Druckversuch, bei dem die Last stufenweise aufgebracht wird, wobei die Querdehnung der Probe durch die Versuchsanordnung verhindert wird. Es wird ein Kompressionsversuch, bestehend aus den Phasen Erstbelastungs-, Entlastungs- und Wiederbelastungsversuch, gemäß ÖNORM B 4420:1989 durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen ist es, den Steifemodul  $E_s$  in Abhängigkeit von der Überlagerungsspannung zu bestimmen und gleichzeitig Aufschlüsse über das zeitabhängige Verformungsverhalten zu erlangen.

Der Versuch wird im Ödometer mit einem Durchmesser von  $d = 80$  mm und einer Probenhöhe von 20 mm durchgeführt (siehe Abb. 31). Der Probekörper wird seitlich durch einen Stahlring und an der Ober- und Unterseite mit Filterplatten, welche das Zu- und Abströmen von Wasser gewährleisten, begrenzt. Die Probe wird einer Trockendichte, welche die 98 %-ige Proctordichte überschreitet, eingepresst. (vgl. ÖNORM B 4420:1989)

Abb. 32 zeigt das Kompressionsgerät des geotechnischen Labors des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau der TU Graz.



- |   |                            |   |   |
|---|----------------------------|---|---|
| 1 | scheibenförmige Bodenprobe | 5 | Membrane                                      |
| 2 | Probeneinspannung          | 6 | Be- und Entwässerung                          |
| 3 | Filterplatten              | 7 | hydraulische oder pneumatische Beaufschlagung |
| 4 | starre Grundplatte         |   |   |

**Abb. 31:** Schema eines Kompressionsgerätes mit pneumatischer Gleichlasteintragung über eine Membrane gemäß ÖNORM B 4420:1989

- **Erstbelastungsversuch**

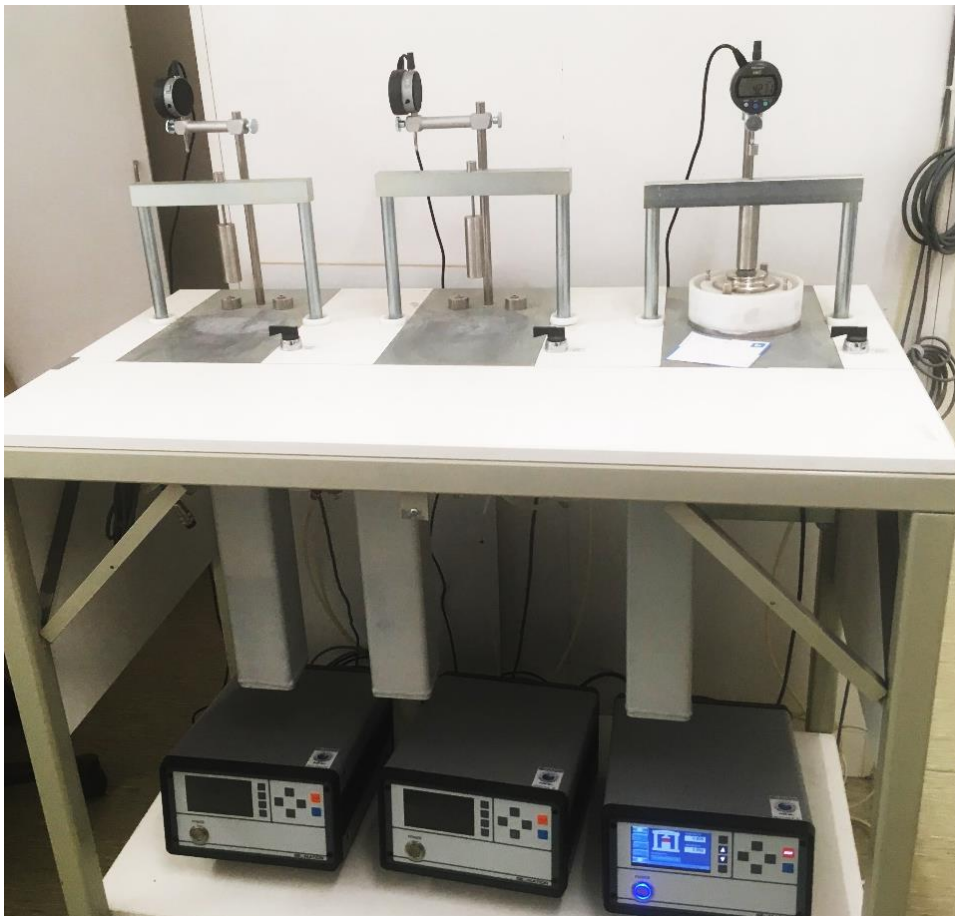
Die erste Versuchsphase dient der Erfassung des Setzungsverhaltens bei Erstbelastung. Die Belastung erfolgte in den 7 Laststufen  $\sigma = 10, 20, 40, 80, 160, 320 \text{ kN/m}^2$  und nach Entlastungs- und Wiederbelastungszyklus weiter auf  $640 \text{ kN/m}^2$ . Die Belastungsdauer wird jeweils mit der Erreichung des Endes der Primärsetzung gemäß ÖNORM B 4420:1989 determiniert und danach auf die nächste Belastungsstufe weitergeschaltet.

- **Entlastungszyklus**

Diese Versuchsphase dient zur Erfassung des elastischen Anteils der Setzungen bzw. des reversiblen Anteils an den Gesamtsetzungen. In diesem Fall wird eine Entlastung von  $\sigma = 320$  auf  $80 \text{ kN/m}^2$  und weiter auf  $20 \text{ kN/m}^2$  vorgenommen. Die Entlastungsdauer wird wie oben angeführt determiniert.

- **Wiederbelastungszyklus**

Diese Versuchsphase dient zur Erfassung des Wiederbelastungsverhaltens des Materials. Nach der oben erwähnten Entlastung auf  $20 \text{ kN/m}^2$  im Entlastungsversuch werden die 5 Laststufen  $\sigma = 40, 80, 160$  und  $320 \text{ kN/m}^2$  mit einer entsprechenden Belastungsdauer aufgebracht.



**Abb. 32:** Kompressionsversuchsgeräte im geotechnischen Labor des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau der TU Graz

### 3.7.2 Ergebnisse und Interpretation

Aus den in den Punkten 3.1, 3.2 und 3.3 beschriebenen Materialien wurden verschiedene Versuche durchgeführt, um eine entsprechende Mischung zu erkunden, welche den Anforderungen gemäß ÖNORM S 2074-2 entspricht.

Nachfolgend werden die einzelnen Versuchsergebnisse, mit den entsprechenden Mischungen durchgeführt.

Es Versuche mit folgenden Materialien und Materialmischungen durchgeführt:

- **Kieswäsche Kammerfilterpresse Produktion 2016**

Hierbei handelt es sich um den Filterkuchen aus der Kammerfilterpresse, aus dem Jahr 2016. Da aufgrund der meteorologischen und topografischen Bedingungen auf dem Kieswerk im Winter keine Produktion von gewaschenen Kies möglich ist, wird auch kein Filterkuchen produziert.

- **Kieswäsche Kammerfilterpresse Produktion 2017**

Die Produktion von gewaschenen Kies wurde im Jahr 2017 im April begonnen und für die Eignungsprüfung im Labor herangezogen.

- **Kieswäsche Schlammteich**

Vom Schlammteich wurden an verschiedenen Punkten Bodenproben entnommen und geprüft.

- **Bentonit**

Das quellfähige Na-Bentonit wurde in Säcken zu je 50 kg aus Ungarn geholt wurde.

- **Kieswäsche mit Bentonit-Vergütung**

Um den Einfluss der Beimengung von Bentonit auf die Kieswäsche zu bestimmen, wurden der Kieswäsche unterschiedliche Prozentanteile von Bentonit hinzugemischt.

- **Ziegelpulver**

Das Ziegelpulver wurde aus Oberösterreich in je 10 Liter Kübel angeliefert.

- **Kieswäsche mit Ziegelpulver**

Ziel bei dieser Mischung ist, den Feinkornanteil im Filterkuchen der Kieswäsche zu erhöhen. Das Hauptaugenmerk wurde bei der Beprobung auf die Veränderung des Durchlässigkeitsbeiwertes  $k_{10}$  in der triaxialen Durchlässigkeitszelle gelegt.

- **Mischung Kieswäsche Kammerfilterpresse und Kieswäsche Schlammteich**

Da die Kieswäsche aus der Kammerfilterpresse und die Kieswäsche aus dem Schlammteich, wie in den nachfolgenden Resultaten ersichtlich ist, unterschiedliche Korngrößenverteilungen aufweisen wurden unterschiedliche Mischungen beprobt um nach Möglichkeit ohne die Beimengung von Bentonit und Ziegelpulver die Anforderungen gemäß ÖNORM S 2074-2:2004 erfüllen zu können.

Die jeweiligen detaillierten Laborergebnisse und Laborprotokolle sind in den Anhängen gemäß Tab. 8 beigefügt.

**Tab. 8:** Anhänge für Laborprotokolle

Bezeichnung	Anhang
Korngrößenverteilung	A
Wassergehalt	B
Korndichte	C
Zustandsgrenzen	D
Organischer Anteil	E
Wasseraufnahmevermögen	F
Quantitative Mineralbestimmung	G
Proctorversuch	H
Durchlässigkeitsbeiwert	I
Scherparameter	J
Kompressionsversuch	K

### 3.7.2.1 Korngrößenverteilung

Die Kornabstufung einer mineralischen Basisabdichtung muss so gewählt werden, dass die Suffusionsbeständigkeit und eine geringe Rissanfälligkeit gewährleistet sind. Das Hauptaugenmerk wird auf den Masseprozentanteil des Korndurchmessers von kleiner 0,002 mm in der Bodenprobe gelegt. Der Masseanteil dieses Feinstkorns im mineralischen Dichtmaterial hat mindestens 20 % zu betragen. (vgl. BMLFUW, 2008)

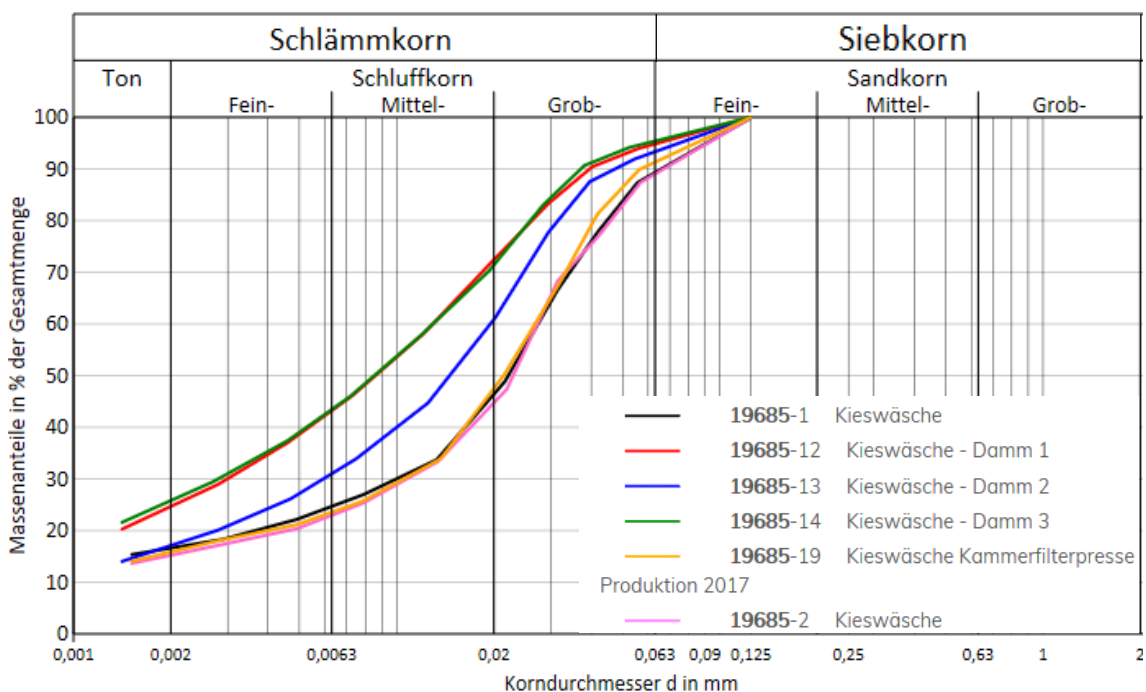
Die Zusammenstellung der Korngrößenverteilungen, sowie die einzelnen Korngrößenverteilungen sind in Anhang A ersichtlich.

Aus Abb. 33 ist ersichtlich, dass die Korngrößenverteilung der Kieswäsche aus der Kammerfilterpresse im Produktionsjahr 2016 und 2017 grundsätzlich ident sind und nur geringe Abweichungen aufweisen. Es können jedoch die geforderten 20 % an Feinstkornanteil nicht eingehalten werden. Um diesen geforderten Masseanteil zu erreichen, wäre die Zumischung eines anderen Materials erforderlich. Die

Korngrößenverteilung der Proben aus den Schlammteich variieren zunehmend. Es ist jedoch festzuhalten, dass alle Proben, welche dem Schlammteich entnommen wurden, einen höheren Feinstkornanteil als die Kieswäsche aus der Kammerfilterpresse aufweisen.

Durch die Beimengung von Bentonit zur Kieswäsche in verschiedenen Masseanteilen (siehe Abb. 34), wird bedingt durch den hohen Tonanteil im Bentonit von 60 – 70 Masseprozent, der Tonanteil in der Gesamtmischung erhöht. Durch die Korngrößenverteilung des Bentonits, resultiert jedoch eine Körnungslinie, bei welcher bei Zugabe von 3,5 % Bentonit nicht automatisch der Tonanteil um 3,5 % gesteigert wird, sondern lediglich dementsprechend abgemindert eine Erhöhung des Tonanteils eintritt. Zudem ist anzumerken, dass die Beimengungen von Bentonit mit einem Masseprozentanteil von 1 % und 2 % sehr gering sind und eine Veränderung in der Körnungslinie nicht ersichtlich ist. Es treten Fälle auf, bei denen der Feinstkornanteil beim mit Bentonit vergütetem Material geringer ausfiel als im nicht vergütetem Material. Eine Veränderung in der Durchlässigkeit konnte jedoch festgestellt werden.

Bodenmechanisch wird das untersuchte Korngemisch aus der Kieswäsche als gering sandiger, toniger Schluff (sa' cl Si) bezeichnet.



**Abb. 33:** Korngrößenverteilungen Kieswäsche

Das Tonmehl weist einen merklich geringeren Feinstkornanteil von kleiner 0,002 mm auf als das Bentonit (siehe Abb. 35). Zudem beinhaltet das Tonmehl einen geringeren Anteil an Montmorillonit. Die zu erwartete Dichtwirkung bei Beimischung zum Bentonit, fällt daher geringer aus als die Dichtwirkung des Bentonits. Die Bestimmung der Korngrößenverteilung mittels Schlämmanalyse gemäß



ÖNORM B 4412 für das Ziegelpulver ist nicht repräsentativ, da die Schlämmsuspension während der Versuchsdurchführung ausflockte. Es wurde somit die Korngrößenverteilung welche vom Hersteller ermittelt wurde für die weiteren Betrachtungen herangezogen.

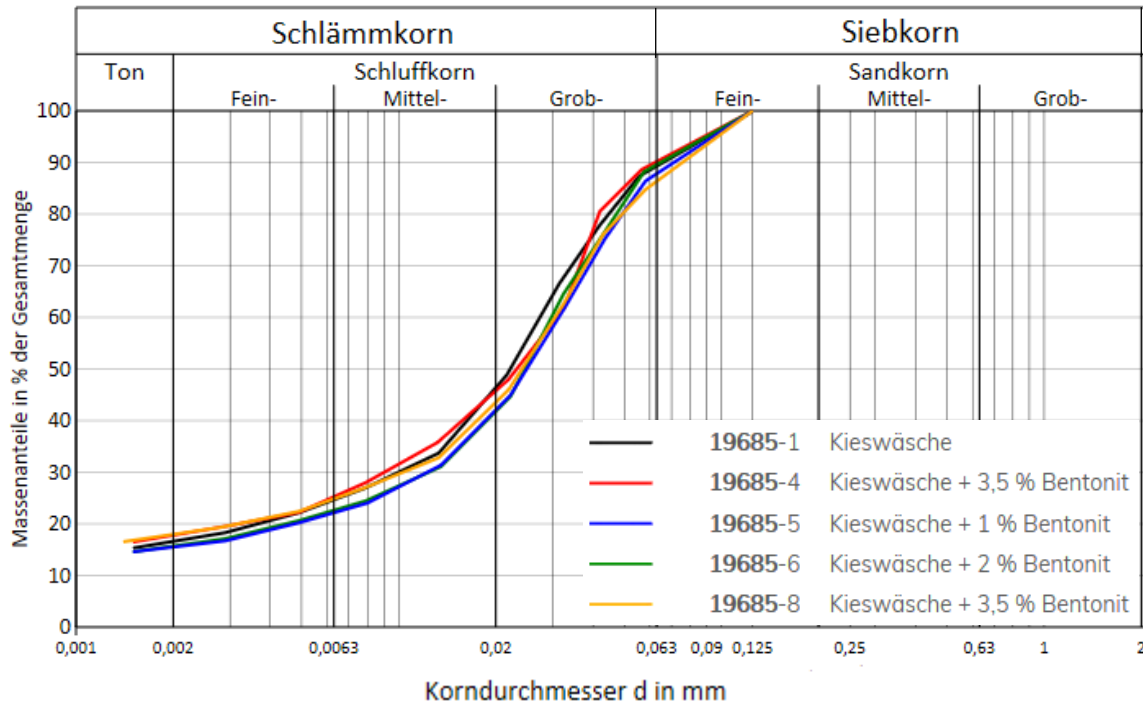


Abb. 34: Korngrößenverteilungen Kieswäsche Bentonit vergütetet

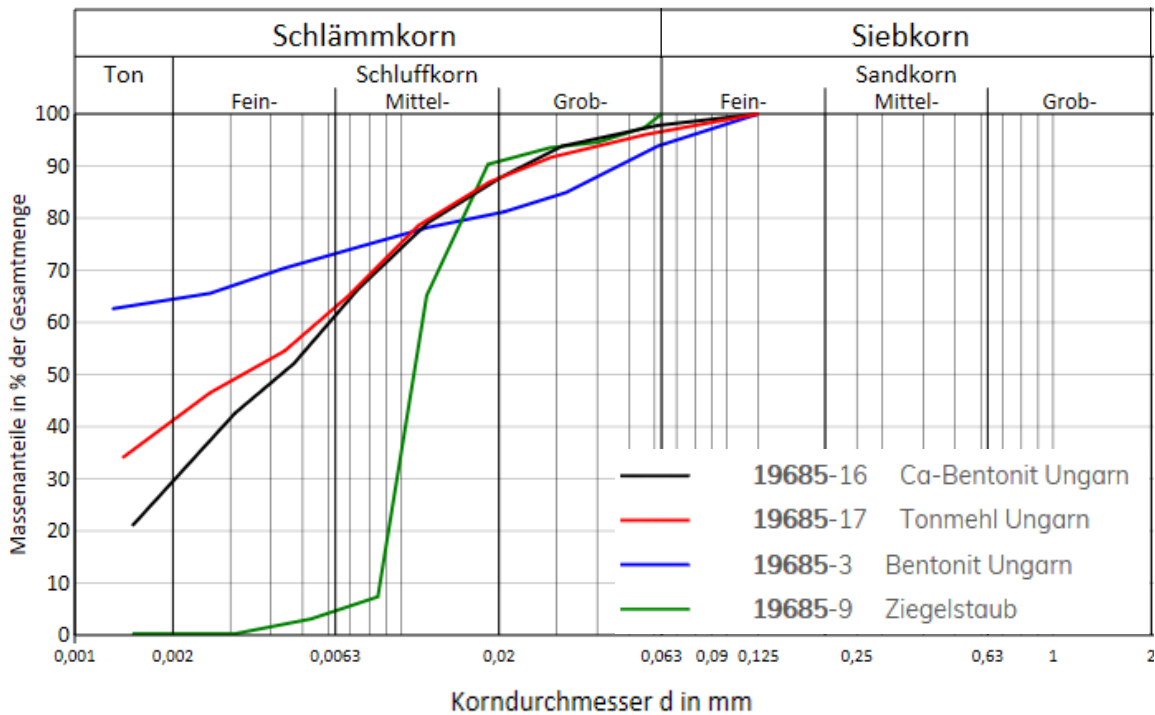


Abb. 35: Korngrößenverteilungen Bentonit, Tonmehl und Ziegelpulver

### 3.7.2.2 Wassergehalt

Der natürliche Wassergehalt wurde an verschiedenen Proben vom Schlammteich und der Kammerfilterpresse entnommen. Die entnommenen Proben aus dem Schlammteich, weisen einen natürlichen Wassergehalt  $w_{nat}$  in einem Schwankungsbereich von 14,8 % bis 28,0 % auf. Daraus resultiert eine sehr hohe Schwankungsbreite des Wassergehaltes auf dem Schlammteich. Bei lokalaugenscheinlicher Betrachtung des Schlammteiches und der Proben, ist erkennbar, dass hauptsächlich trockene Bereiche mit teilweisen feuchten Einlagerungen auftreten.

Der natürliche Wassergehalt des Filterkuchens aus der Kammerfilterpresse aus dem Produktionsjahr 2016 wurde nicht bestimmt, da es sich hierbei um kleinere Restbestände handelt und das Material einem Monat nach der Produktion entnommen wurde. Das Material trocknete hier in dieser Zeit zunehmend aus und ist somit nicht repräsentativ. Der natürliche Wassergehalt des Filterkuchens aus dem Produktionsjahr 2017, der unmittelbar nach der Produktion aus der Kammerfilterpresse entnommen wurde, beträgt 22,9 %.

Die Höhe des natürlichen Wassergehaltes ist von elementarer Bedeutung, da dieser beim Einbau der mineralischen Basisabdichtung gemäß ÖNORM S 2074-2 maximal 4 % über dem optimalen Wassergehalt, wie er beim Proctorversuch ermittelt wurde, liegen darf. Zudem wird in der Deponieverordnung 2008 gefordert, dass der Verdichtungsgrad  $D_{Pr}$  größer als 95 % sein muss. Dieser Forderung kann nur Rechnung getragen werden, wenn das eigebaute Material einen dementsprechenden Wassergehalt in diesem Bereich aufweist. Dies kann durch die Mischung des Materials aus der Kammerfilterpresse und aus dem Schlammteich erfolgen.

**Tab. 9:** Natürlicher Wassergehalt von Schlammteich und Kammerfilterpresse

Bezeichnung	Wassergehalt $w_{nat}$ [ % ]
Schlammteich Probe 1	19,1
Schlammteich Probe 2	14,8
Schlammteich Probe 3	15,1
Schlammteich Probe 4	15,0
Schlammteich Probe 5	17,3
Schlammteich Probe 6	27,2
Schlammteich Probe 7	28,0
Schlammteich Probe 8	18,6
Schlammteich Probe 9	17,5
Schlammteich Probe 10	19,1
Schlammteich Probe 11	14,8
Schlammteich Probe 12	18,6
Kammerfilterpresse 2017	22,9
Kammerfilterpresse 2017	22,9

Alle Laborergebnisse der Wassergehaltbestimmung sind ausführlich in Anhang B beigefügt.

### 3.7.2.3 Korndichte

Die Korndichten der verschiedenen Materialien sind in Tab. 10 zusammengefasst. Die in der ÖNORM S 2074-2 gestellte Anforderung mit einer Korndichte von  $\geq 2,5 \text{ g/cm}^3$  wird bei allen Proben eingehalten. Die ermittelten Korndichten werden für die entsprechenden weiteren Laborversuche verwendet.

**Tab. 10:** Zusammenfassung der Korndichten

Labornummer	Bezeichnung	Korndichte $\rho_s$ [ $\text{g/cm}^3$ ]
19685-50	Kieswäsche 2016	2,76
19685-51	Bentonit	2,56
19685-52	Kieswäsche + 3,5 % Bentonit	2,76
19685-64	Ziegelrecyclingmaterial	2,68
19685-65	Kieswäsche 2017	2,76
19685-73	Kieswäsche 2017 + Speicherteich Mischung 1:1	2,75
19685-77	Schlammteich feucht	2,71
19685-79	Schlammteich trocken	2,74

### 3.7.2.4 Zustandsgrenzen

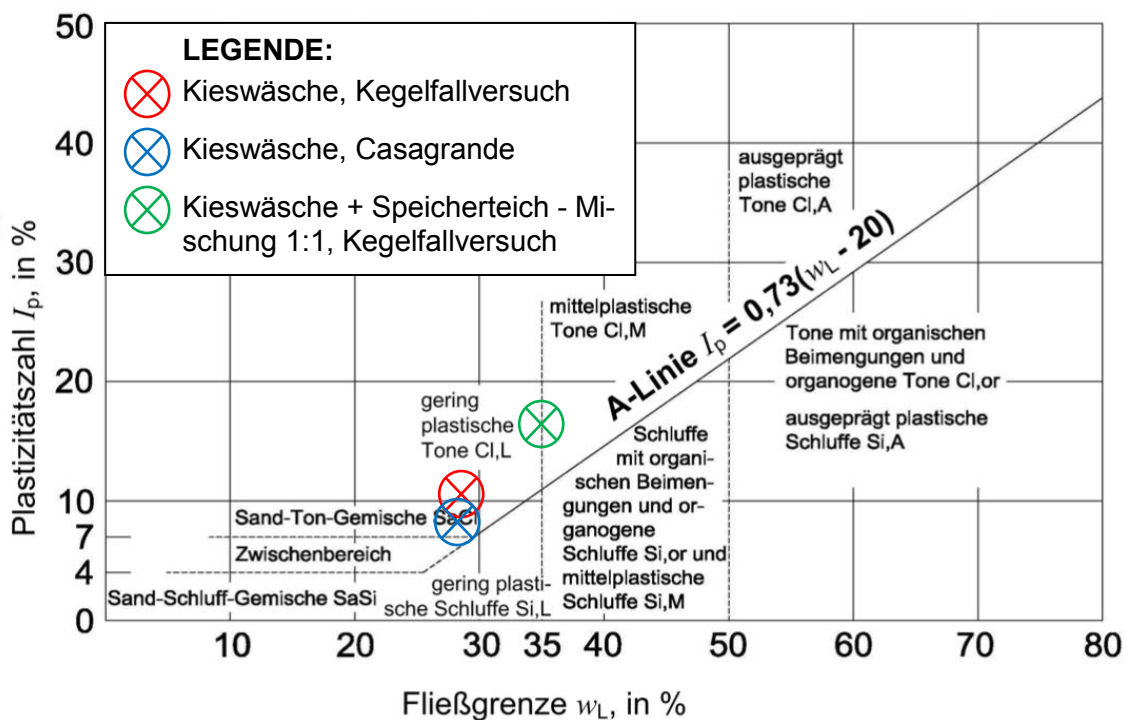
Tab. 11 gibt einen Überblick über die Ergebnisse der Fließgrenze  $w_L$ , der Austrollgrenze  $w_P$ , der Plastizitätszahl  $I_c$ , der Konsistenzzahl  $I_c$ , und der Schrumpfgrenze  $w_s$ . Die Bestimmung der Zustandsgrenzen des Filterkuchens aus der Kieswäsche wurde auf zwei Arten, einerseits mit dem Kegelfallversuch und andererseits nach Casagrande ermittelt. Beim Vergleich der Resultate ist erkennbar, dass die Abweichungen der zwei Resultate im plausiblen Bereich liegen und auf geringfügige Materialschwankungen zurückzuführen sind.

Die detaillierten Laborergebnisse sind in Anhang D beigefügt.

Das Plastizitätsdiagramm gemäß ÖNORM B 4400-1:2010 (siehe Abb. 36) stellt den Konnex zwischen der Plastizitätszahl  $I_P$  und der Fließgrenze  $w_L$  her. Bei den Resultaten aus Tab. 11 handelt es sich bei der Kieswäsche, bei Anwendung dieses Diagramms, um gering plastische Sand-Ton-Gemische SaCl und bei Mischung der Materialien aus der Kieswäsche und dem Speicherteich im Verhältnis 1:1, um gering plastische Tone.

**Tab. 11:** Zusammenfassung der Zustandsgrenzen für die beprobten Materialien

	WL [ % ]	WP [ % ]	I <sub>p</sub> [ % ]	I <sub>c</sub> [ - ]	ws [ % ]
<b>Kieswäsche</b> Kegelfallversuch	29,0	18,5	10,5	0,6	22,0
<b>Kieswäsche</b> Casagrande	28,5	20,5	8,0	0,7	22,0
<b>Kieswäsche + Speicherteich</b> <b>Mischung 1:1</b> Kegelfallversuch	35,0	18,0	17,0	0,9	19,0

**Abb. 36:** Plastizitätsdiagramm (ÖNORM B 4400-1:2010)

### 3.7.2.5 Organischer Anteil

Tab. 12 gibt einen Überblick über die bestimmten organischen Anteile. Aufgrund von Kapazitätsengpässen erfolgte die Bestimmung des organischen Anteils, mit Ausnahme der Kieswäsche aus dem Jahr 2016, nur mit einem Glühvorgang. Auf den zweiten Glühvorgang wurde verzichtet, da die Grenzwerte gemäß ÖNORM S 2074-2:2004 schon beim ersten Glühvorgang eingehalten wurden. Es wird für alle Proben der Grenzwert von 5,0 % gemäß ÖNORM eingehalten.

**Tab. 12:** Zusammenstellung der organischen Anteile

Labornummer	Bezeichnung	Glühverlust [%]
19685-62	Kieswäsche 2016	2,40 / 0,5
19685-81	Speicherteich	3,30
19685-82	Kieswäsche + Speicherteich, Mischung 1:1	3,06
19685-83	Kieswäsche 2017	4,31

### 3.7.2.6 Wasseraufnahmevermögen

Das Wasseraufnahmevermögen wurde sowohl für die Grundmaterialien aus der Kieswäsche (siehe Abb. 38), als auch für das aus Ungarn angelieferte Bentonit und das Tonmehl (siehe Abb. 37) bestimmt. Tab. 13 zeigt eine Zusammenstellung der Laborergebnisse für das Wasseraufnahmevermögen.

Nach der Kategorisierung gemäß DIN 18132:1995 handelt es sich bei den Materialien aus der Kieswäsche um ein niedrig einzustufendes Aufnahmevermögen, beim Tonmehl um ein mittleres Aufnahmevermögen und beim Bentonit um ein sehr hohes Wasseraufnahmevermögen. Dies bestätigt die hohe Qualität des aus Ungarn angelieferten Bentonits.

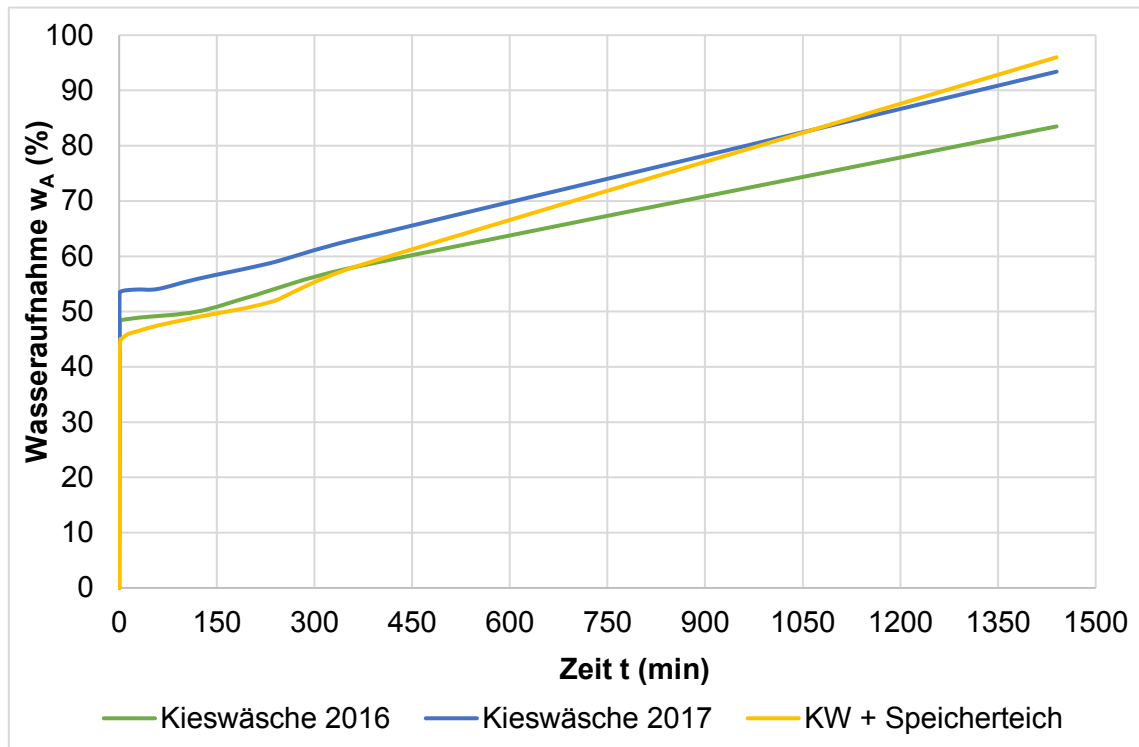
**Tab. 13:** Zusammenstellung der Wasseraufnahmevermögen der Proben

Labornummer	Bezeichnung	Wasseraufnahme [%]
19685-100	Kieswäsche 2016	49
19685-101	Kieswäsche 2017	53
19685-102	Kieswäsche + Speicherteich, Mischung 1:1	45
19685-103	Bentonit	360
19685-104	Tonmehl	88

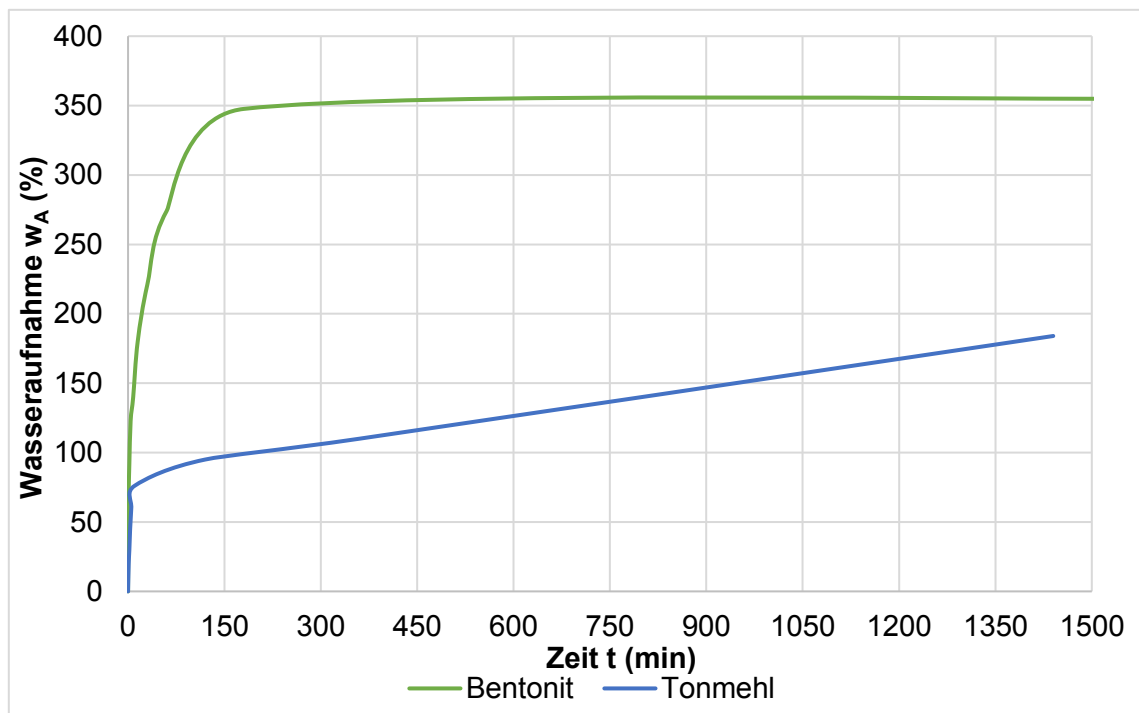
Der Verlauf der Wasseraufnahme mit der Zeit zeigt den typischen Verlauf für die jeweiligen Materialien. Die Materialien aus der Kieswäsche (siehe Abb. 38) und das Tonmehl (siehe Abb. 37) weisen einen rapiden Anstieg der Wasseraufnahme in den ersten 15 Minuten auf. Daraufhin erfolgt der Verlauf linear bis zum Versuchsende nach zwölf Stunden. Das Bentonit (siehe Abb. 37) weist einen kontinuierlichen Anstieg der Wasseraufnahme bis 150 Minuten und steigt daraufhin nur mehr sehr gering. Die Wasseraufnahme beim Bentonit über einen längeren Zeitraum als bei der Kieswäsche ist eine typische Eigenschaft des verwendeten Na-Bentontis.

Der lineare Anstieg, welcher bei der Kieswäsche und beim Tonmehl sehr ausgeprägt ist, charakterisiert die Verdunstung, welche bei der Auswertung noch nicht eliminiert wurde. Für die Bestimmung der Wasseraufnahmefähigkeit der Materialien, worin die Verdunstung abzuzählen ist, wurde der lineare Ast bis zur Ordinate

verlängert. Dieser Wert kann näherungsweise als das Wasseraufnahmevermögen unter Berücksichtigung der Verdunstung herangezogen werden. Alle detaillierten Ergebnisse sind im Anhang G aufgelistet.



**Abb. 38:** Wasseraufnahmevermögen der Materialien aus der Kieswäsche



**Abb. 37:** Wasseraufnahmevermögen von Bentonit und Tonmehl

### 3.7.2.7 Quantitative Mineralbestimmung

Die Ergebnisse der quantitativen Mineralbestimmung sind in Tab. 14 abgebildet. Gemäß Deponieverordnung wird an die mineralische Basisabdichtung die Forderung gestellt, dass der Mindestanteil der Korngrößenfraktion mit einem Durchmesser von kleiner  $2\ \mu\text{m}$ , mindestens 20 % betragen muss. Der Tonmineralgehalt in der Fraktion von  $2\ \mu\text{m}$ , muss zudem mindestens 50 % betragen. (vgl. BMLFUW, 2008)

Der Anteil an Tonmineralien in der Bodenprobe, welcher sich aus Smektit und Kaolinit zusammensetzt, beträgt 64 % (siehe Tab. 14). Die Forderung der Deponieverordnung wird somit eingehalten.

**Tab. 14:** Gesamt- und Tonmineralbestand der Kieswäsche

Gesamtmineralbestand							Tonmineralbestand							
Verteilung der Mineralbestandteile [%]							Summe	Mineralverteilung in der Fraktion $< 2\ \mu\text{m}$ [%]				Fraktion $< 40\ \mu\text{m}$	Fraktion $< 2\ \mu\text{m}$	Smektit eff
Quarz	Muskovit	Chlorit	Kalzit	Dolomit	Kaolinit	Smektit		Muskovit	Chlorit	Smektit	Kaolinit			
4	1	Sp.	6	74	4	11	100	21	15	47	17	87	23	11

### 3.7.2.8 Proctorversuch

Der optimale Wassergehalt und dazugehörige die optimale Proctordichte wurde für insgesamt drei Materialien bestimmt (Tab. 15). Für den Filterkuchen aus der Kammerfilterpresse, der Bentonit vergüteten Kieswäsche, um den Einfluss der Beimengung von Bentonit festzustellen, und der Mischung aus dem Filterkuchen und dem Speicherteich im Verhältnis 1:1.

Bei Betrachtung der Ergebnisse ist erkennbar, dass der optimale Wassergehalt der Kieswäsche mit 14,1 % (Tab. 15) deutlich unter dem natürlichen Wassergehalt von 22,9 % (siehe Tab. 9) liegt.

**Tab. 15:** Optimaler Wassergehalt und optimale Proctordichte der Versuche

Labor-nummer	Bezeichnung	W <sub>Pr</sub> [%]	ρ <sub>Pr</sub> [g / cm <sup>3</sup> ]
19685-55	Kieswäsche 2016	14,1	1,91
19685-56	Kieswäsche 2016 + 3 % Bentonit	14,5	1,89
19685-78	Kieswäsche + Speicherteich, Mischung 1:1	17,0	1,85

Gemäß Deponieverordnung 2008 muss der Verdichtungsgrad  $D_{Pr}$  größer als 95 % sein. (vgl. BMLFUW, 2008)

Am Beispiel der Kieswäsche ist ersichtlich, dass der bei Ermittlung des Verdichtungsgrades  $D_{Pr}$  von 95 %, welche in Abb. 39 als horizontale Linie dargestellt ist, der Einbauwassergehalt aufgrund der Forderung in der Deponieverordnung zwischen 9 % und 18 % schwanken darf.

Überdies muss jedoch der Forderung der ÖNORM S 2074-2 Rechnung getragen werden, dass der Einbauwassergehalt maximal 4 % über dem optimalen Wassergehalt liegen darf. Am Beispiel der Kieswäsche liegt der höchst zulässige Einbauwassergehalt somit bei 18,1 %. Der natürliche Wassergehalt des Material liegt jedoch bei 22,9 % und noch immer ca. 5 % über dem maximal zulässigen Wassergehalt.

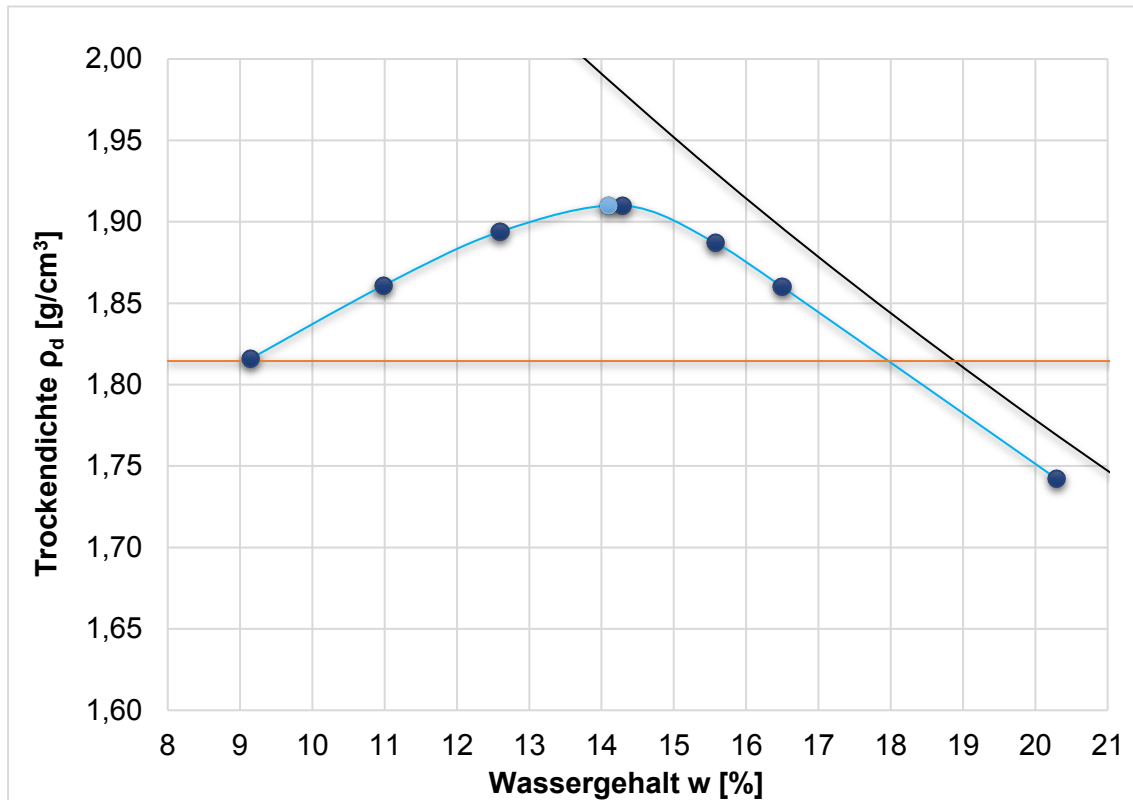
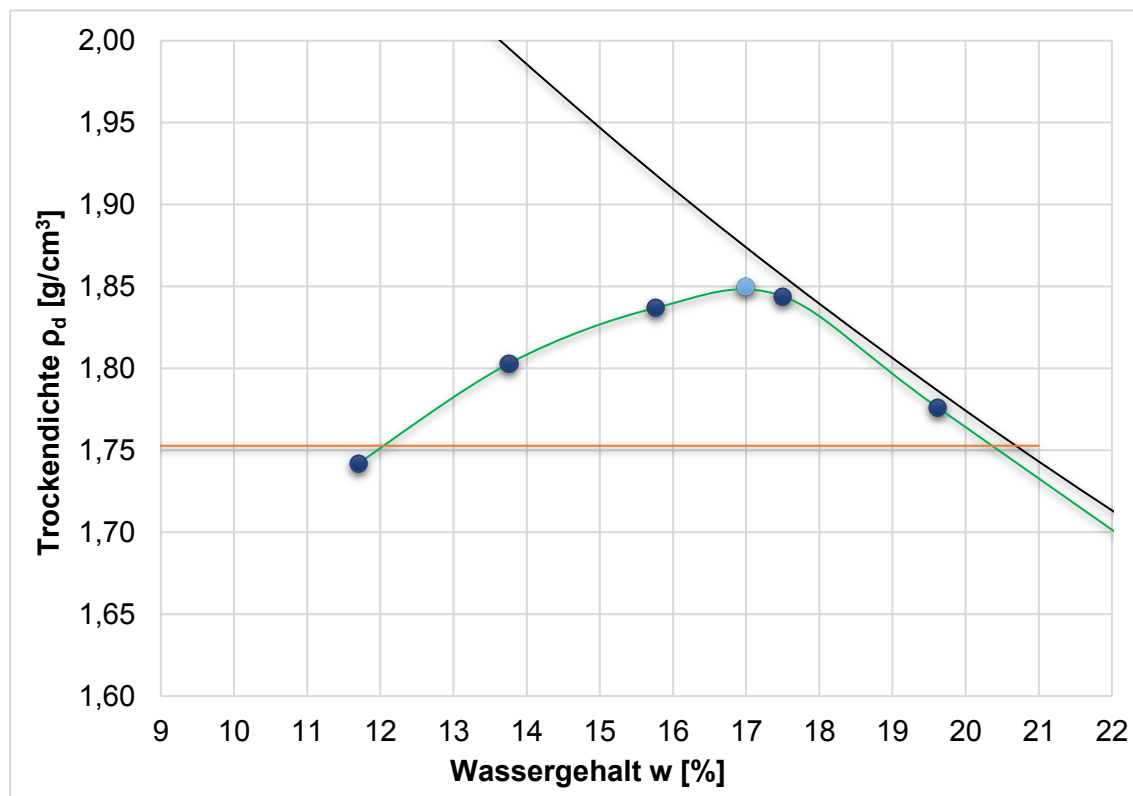
Aus der obigen Schilderung der Zusammenhänge zwischen natürlichem Wassergehalt, optimalen Wassergehalt und Proctordichte, wird einer der Hauptproblematiken bei Verwendung des Materials aus der Kieswäsche ersichtlich. Das Grundmaterial ist zu feucht, sodass alternative Lösungsmöglichkeiten gefunden werden müssen. Einerseits könnte das Material maschinell getrocknet werden, was einen nicht wirtschaftlichen Energieaufwand zu Folge hätte, oder das Material wird durch großflächige Lagerung in Hallen oder nicht überdacht gelagert. Bei der Lagerung im Freien muss jedoch darauf geachtet werden, dass das Material bei Regen abgedeckt wird.

Da der optimale Wassergehalt aus der Mischung von der Kieswäsche aus der Kammerfilterpresse und dem Speicherteich 17 % beträgt, kann der Einbauwassergehalt bei 20,4 % liegen (siehe Abb. 40). Da diese Mischung die günstigsten Parameter für den Einbau aufweist, wird diese für die Eignungsprüfung forciert.

Die Proctorkurve für eine Bentonit vergütete Kieswäsche wurde bestimmt, um den möglichen Einfluss einer Veränderung der Proctordichte und des optimalen Wassergehaltes bestimmen zu können. Aus den Resultaten ist ersichtlich, dass die Veränderung im Vergleich zur Kieswäsche ohne Bentonit-Vergütung gering und im Bereich der natürlichen Materialschwankungen liegt. Ein steilerer Anstieg des linken Astes bei der vergüteten Proctorkurve kann jedoch verzeichnet werden (siehe Abb. 41).

Alle detaillierten Ergebnisse sind im Anhang H aufgelistet.



**Abb. 39:** Proctorkurve der Kieswäsche**Abb. 40:** Proctorkurve - Mischung Speicherteich und Kieswäsche

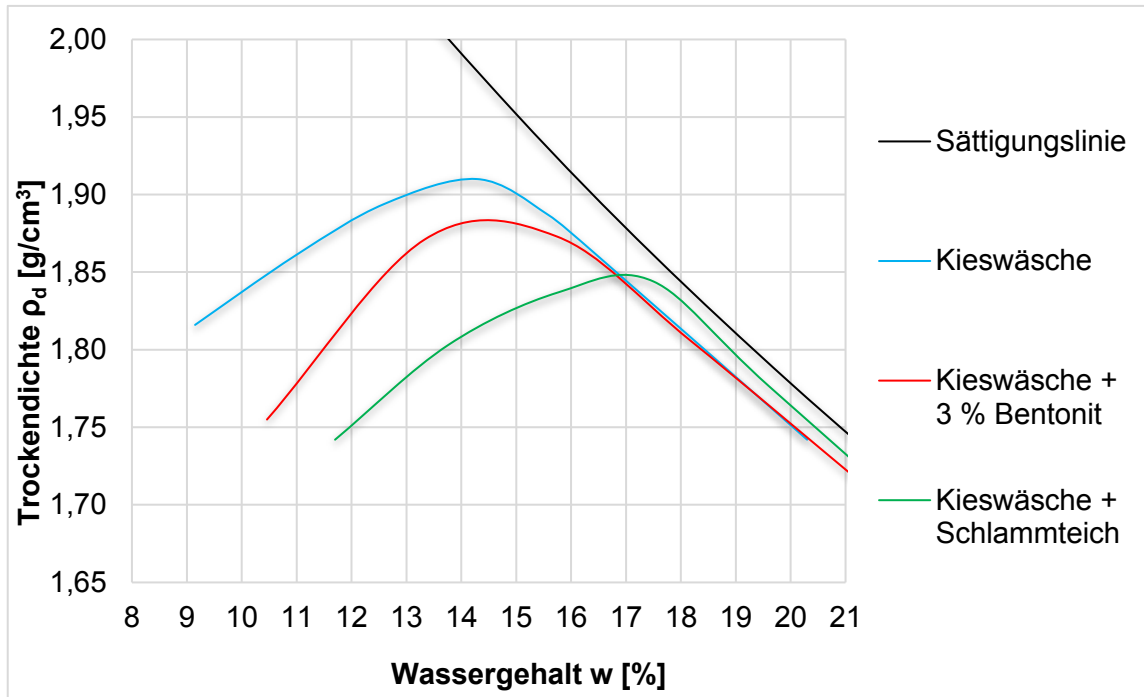


Abb. 41: Zusammenstellung der Proctorkurven

### 3.7.2.9 Durchlässigkeitsbeiwert

Eine entsprechend geringe Durchlässigkeit des mineralischen Dichtmaterials ist von elementarer Bedeutung. Die Durchlässigkeitsbeiwerte dürfen bei Laborversuchen für die Eignungsprüfung, bei einem hydraulischen Gradienten von  $i = 30$  die Durchlässigkeit von  $5 \times 10^{-10}$  m/s nicht überschreiten. (vgl. BMLFUW, 2008)

Für die unterschiedlichen Materialien erfolgte die Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes um die entsprechend gering durchlässige Mischung der Materialien ermitteln zu können, welche für die weiteren Versuche herangezogen wird. Bei Betrachtung der Versuchsergebnisse ist ersichtlich, dass bei fünf Proben der geforderte Grenzwert von  $5 \times 10^{-10}$  m/s nicht eingehalten werden kann (siehe Tab. 16, Abb. 44). Dies betrifft die Proben aus der Kieswäsche, sowie die gering Bentonit vergütete Kieswäsche. Die Beimengung von Bentonit erfolgte in sehr geringen Mengen, und auf Basis der Korngrößenverteilung. Um die in der Deponieverordnung geforderten 20 % von kleiner 0,002 mm einzuhalten, wurde versucht den optimalen Bentonitanteil zu ermitteln. Aufgrund der unterschiedlichen Korngrößenverteilung von Bentonit und Kieswäsche muss der Gesamtanteil des beigemengten Bentonits so gewählt werden, dass der Feinstkornanteil erhöht wird. Mit der Beimengung eines gewissen Prozentsatzes von Bentonit, steigt somit der Feinstkornanteil (kleiner 0,002 mm) nicht im gleichen Ausmaß (siehe Abb. 42). Grundsätzlich ist ersichtlich, dass die Durchlässigkeit nicht direkt proportional mit einem höheren Bentonitanteil sinkt (siehe Tab. 16). So weist die Kieswäsche,

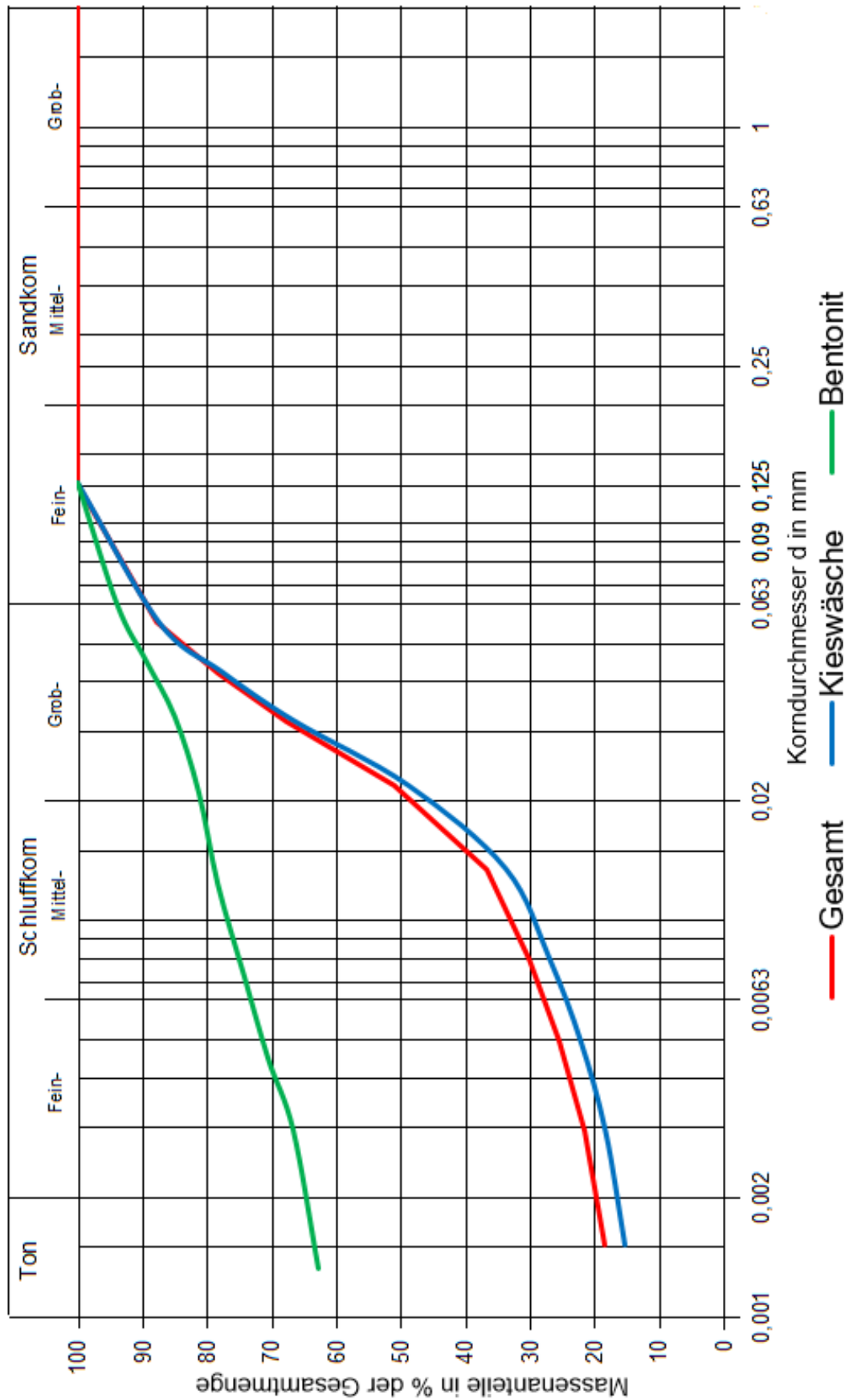


Abb. 42: Korngrößenverteilung bei Mischung von Bentonit und Kieswäsche

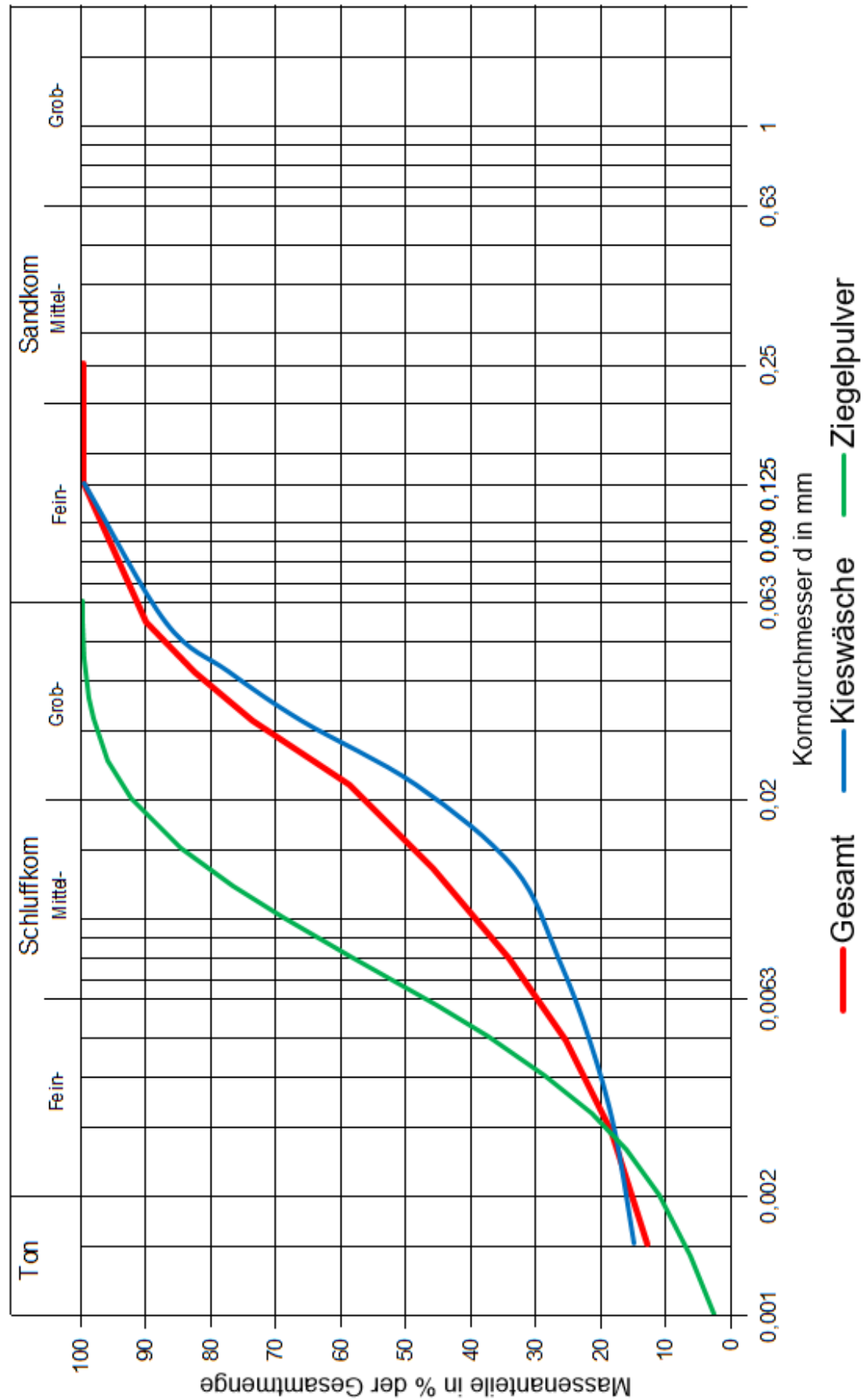
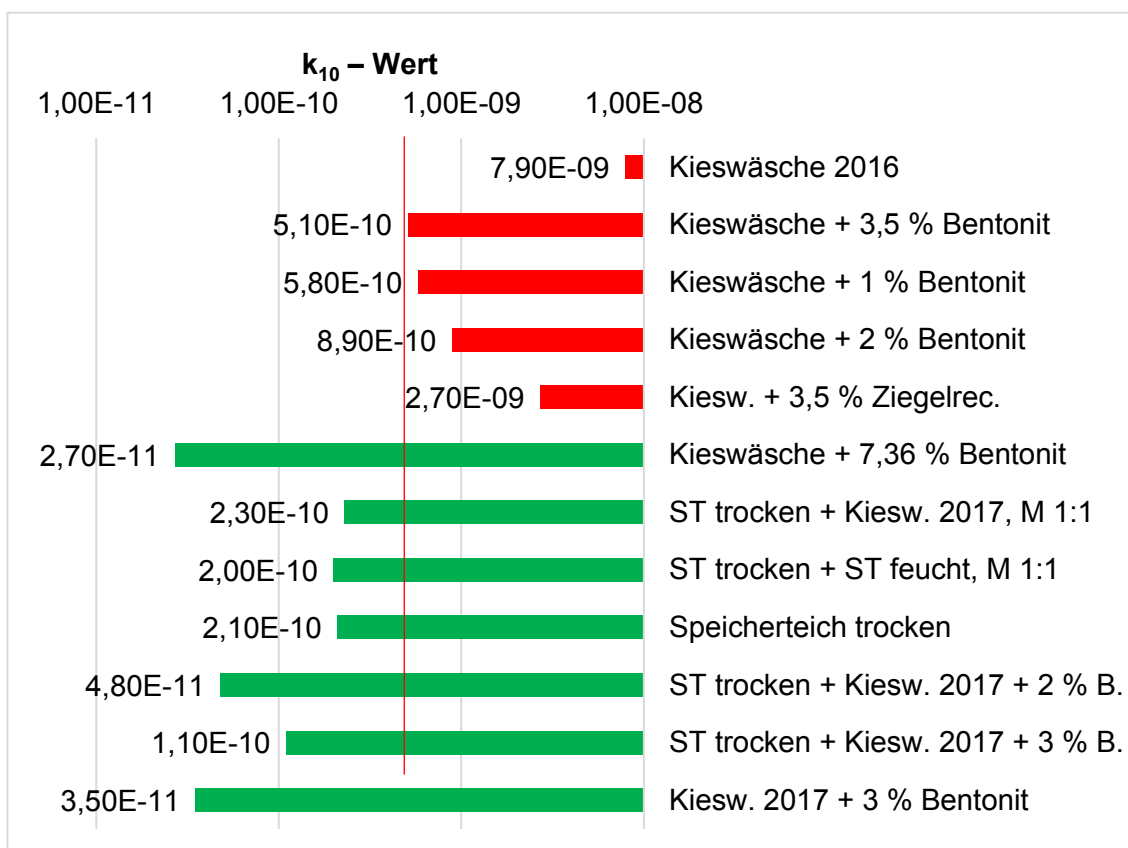


Abb. 43: Korngrößenverteilung bei Mischung von Ziegelpulver und Kieswäsche

**Tab. 16:** Zusammenstellung  $k_{10}$ -Werte

Labornummer	Bezeichnung	$k_{10}$ – Wert [%]
19685-57	Kieswäsche 2016	7,90E-09
19685-58	Kieswäsche + 3,5 % Bentonit	5,10E-10
19685-59	Kieswäsche + 1 % Bentonit	5,80E-10
19685-60	Kieswäsche + 2 % Bentonit	8,90E-10
19685-66	Kieswäsche + 3,5 % Ziegelrecyclingmaterial	2,70E-09
19685-67	Kieswäsche + 5,5 % Bentonit	2,70E-11
19685-68	Damm trocken + Kammerfilterpresse 2017 Mischung 1:1	2,30E-10
19685-69	Damm trocken + Damm Feucht Mischung 1:1	2,00E-10
19685-70	Damm trocken	2,10E-10
19685-71	Damm trocken + Kammerfilterpresse 2017 + 2 % Bentonit	4,80E-11
19685-72	Damm trocken + Kammerfilterpresse 2017 + 3 % Bentonit	1,10E-10
19685-73	Kammerfilterpresse 2017 + 3 % Bentonit	3,50E-11

**Abb. 44:** Grafische Darstellung der Durchlässigkeitsbeiwerte

welche mit 2 % Bentonit vergütet wurde, eine höhere Durchlässigkeit auf, als jene Kieswäsche, welche 1 % Bentonit beinhaltet. Hier kann der Grund in der geringen Beimengung des Bentonits und von Inhomogenitäten in der Kieswäsche gesehen werden.

Mit einer Beimengung von Ziegelpulver zur Kieswäsche kann der Durchlässigkeitsbeiwert auf  $2,7 \times 10^{-9}$  m/s reduziert werden. Da die Durchlässigkeit nicht im ausreichendem Maß erhöht werden kann, wird die Möglichkeit der Beimengung von Ziegelpulver zur Kieswäsche nicht weiterverfolgt. Ein Hauptgrund für die geringe Verringerung der Durchlässigkeit kann in der Korngrößenverteilung des Ziegelpulvers liegen. Da das Ziegelpulver einen Kleinstkornanteil von 12 % aufweist und somit in Summe der Anteil der Korngröße von kleiner 0,002 mm verringert wird (siehe Abb. 43). Zudem ist die Dichtwirkung des Ziegelpulvers schlechter als jene des Bentonits, da das Ziegelpulver keine aktiven Tonminerale, welche ein Quellverhalten aufweisen, beinhaltet, da diese beim der Ziegelherstellung im Zuge des Brennvorganges umgewandelt werden.

Eine Möglichkeit um die die Effektivität der Beimengung des Ziegelpulvers zu erhöhen, wäre das Ziegelpulver durch einen Sieb in zwei Teile zu separieren (siehe Abb. 45).

Durch die Beimengung des feineren Ziegelpulvers zur Kieswäsche würde der Feinstkornanteil im Gesamtmaterial erhöht werden. Abb. 46 stellt die Korngrößenverteilung dar, welche durch die Beimengung von 20 M-% zur Kieswäsche resultieren würde. Hierbei ist ersichtlich, dass der Feinstkornanteil durch das feinere Ziegelpulver erhöht wird. Zudem wird auch der Wassergehalt im Material verringert. Mit den Wassergehalten von 22,9 % für die Kieswäsche und einem vollkommen trockenen Ziegelpulver beträgt der Gesamtwassergehalt nach der Beimengung von 20 M-% Ziegelpulver 19,1 %.

Es ist festzuhalten, dass die Vermengung von Kieswäsche aus der Kammerfilterpresse und dem Material vom Speicherteich zu gleichen Teilen, die wirtschaftlich und technisch beste Mischung darstellt. Es wird sowohl vom Kieswerkbetreiber als wirtschaftlich bestätigt, als auch technisch der geforderte Durchlässigkeitsbeiwert, welcher mit dieser Mischung  $2,3 \times 10^{-10}$  m/s beträgt eingehalten. Die ausführlichen Versuchsergebnisse sind in Anhang I aufgelistet.

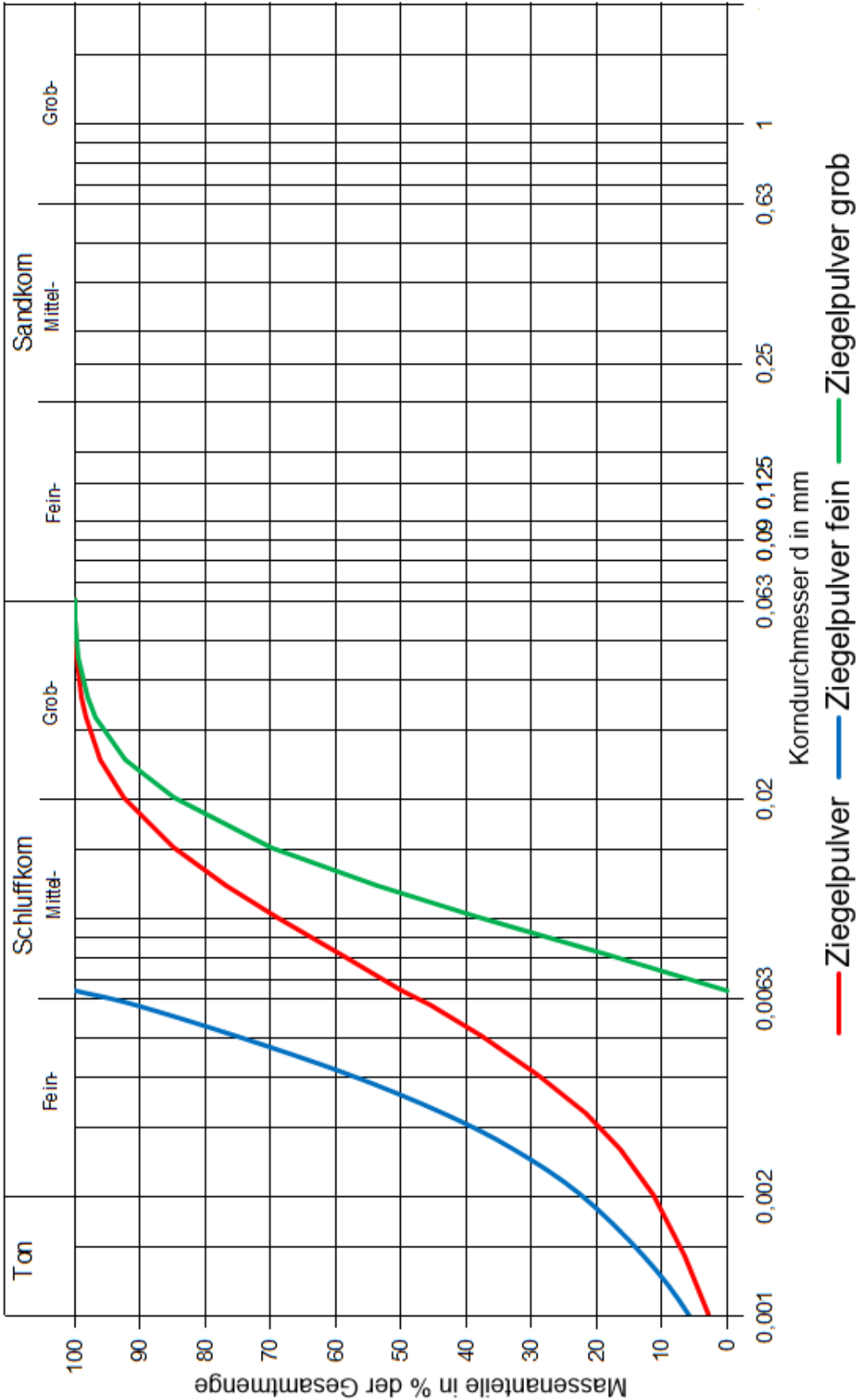


Abb. 45: Separation des Ziegelpulvers in zwei Teile durch einen Siebter

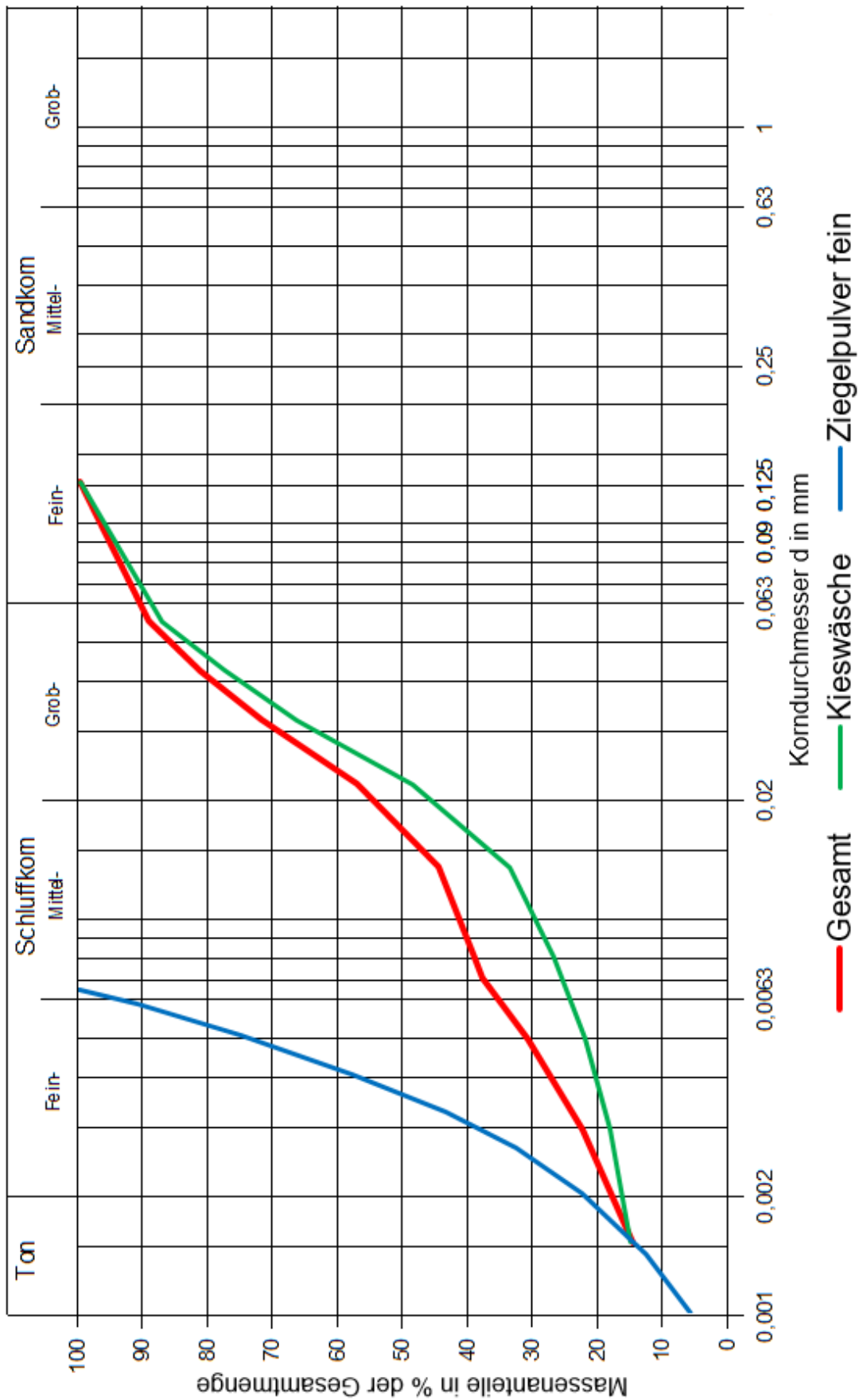


Abb. 46: Beimengung des feineren Teils des Ziegelpulvers zur Kieswäsche



### 3.7.2.10 Scherparameter

Es wurden zwei Schwerversuche mit unterschiedlichen Materialien durchgeführt (siehe Tab. 17). Der Reibungswinkel der Kieswäsche von  $\varphi = 35,9^\circ$  wird durch die Beimengung des Materials aus dem Speicherteich auf  $\varphi = 31,9^\circ$  reduziert. Der Forderung aus der ÖNORM S 2074-2 wird für beide beprobten Materialien Rechnung getragen und der Mindestreibungswinkel von  $\varphi \geq 30^\circ$  bei einer Kohäsion von  $0 \text{ kN/m}^2$  bzw.  $\varphi \geq 25^\circ$  bei  $c \geq 10 \text{ kN/m}^2$  eingehalten.

Die detaillierten Versuchsergebnisse sind in Anhang J zu finden.

**Tab. 17:** Zusammenstellung Scherparameter

Labornummer	Bezeichnung	Reibungswinkel $\varphi$	Restscherwinkel $\varphi_r$	Kohäsion $c$ [kN/m <sup>2</sup> ]
19685-7	Kieswäsche 2016	35,9	33,2	19,3
19685-23	Kieswäsche + Speicherteich, Mischung 1:1	31,9	30,8	17,7

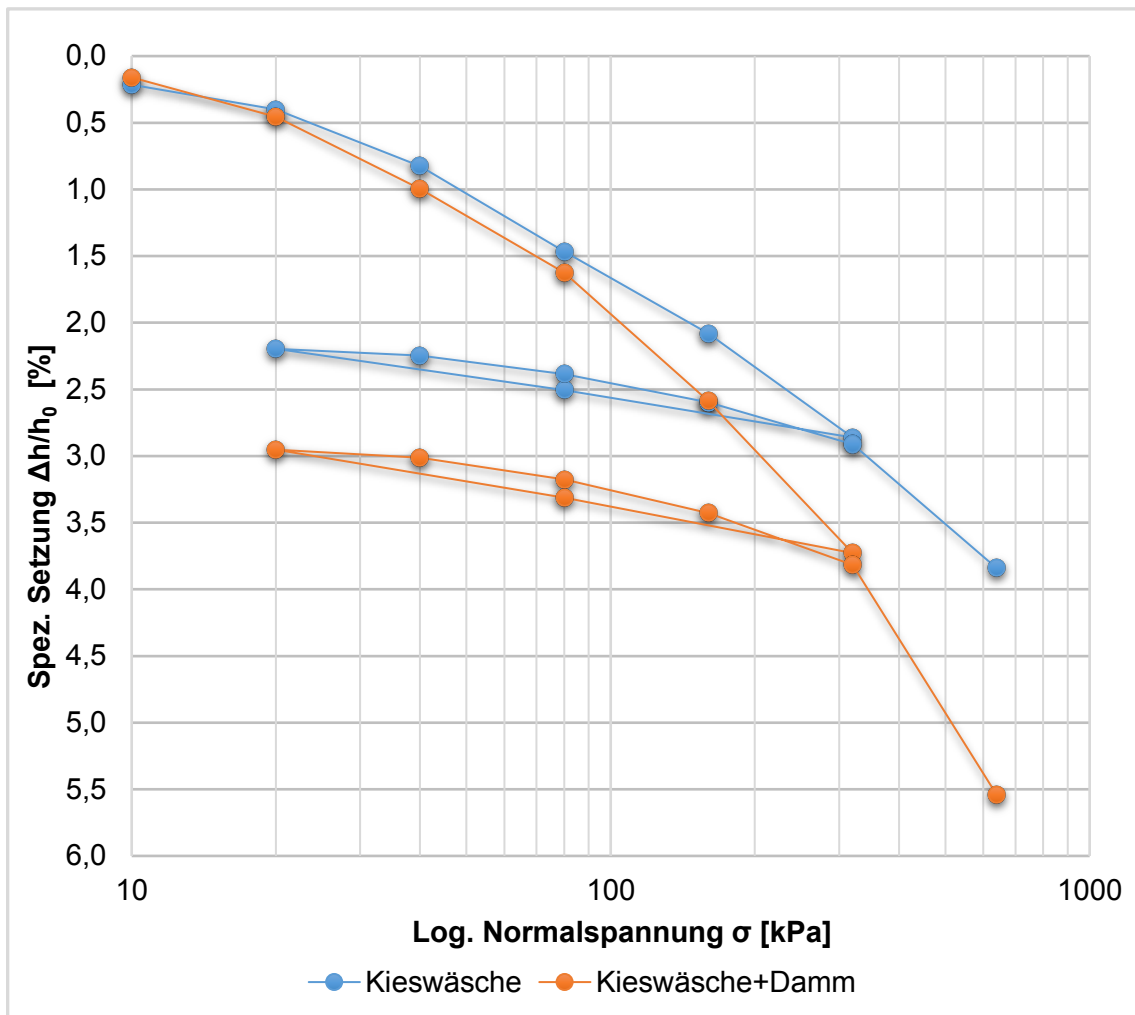
### 3.7.2.11 Kompressionsversuch

Wie beim Scherversuch erfolgte die Durchführung des Kompressionsversuches für die Kieswäsche, und für die Mischung aus der Kieswäsche und dem Speicherteich. Der Verlauf der bezogenen Setzungen in Abhängigkeit der in den Laststufen aufgebrachtten Vertikalspannung ist in Abb. 47 dargestellt. Bei Betrachtung der Ergebnisse ist zu erkennen, dass das reine Material aus der Kieswäsche ohne Beimengung eine höhere Steifigkeit aufweist.

Die Trockendichte der Ödometerproben betrug für die reine Kieswäsche  $\rho_d = 1,89 \text{ g/cm}^3$ , bei einem Verdichtungsgrad  $D_{Pr} = 99 \%$ , und für die Mischung aus Kieswäsche und Speicherteich  $\rho_d = 1,85 \text{ g/cm}^3$ , bei einem Verdichtungsgrad  $D_{Pr} = 99,9 \%$ .

In der ÖNORM S 2074-2 wird gefordert, dass das mineralische Dichtmaterial als Richtwert einen Steifemodul  $E_s \geq 35 \text{ MN/m}^2$  bei einem Normalspannungszustand des 0,3- bis 0,7-fachen der Deponieauflast aufweist. Der Normalspannungszustand beträgt bei einer angenommenen Müllaufschüttung von 25 m und einer Einbaudichte von ca.  $15 \text{ kN/m}^3$  ca.  $375 \text{ kN/m}^2$  ( $30 \% = 0,1125 \text{ MN/m}^2$ ,  $70 \% = 0,2625 \text{ MN/m}^2$ ). Bei Belastungsstufen von 0,08 bis 0,16  $\text{MN/m}^2$  und 0,16 bis 0,32  $\text{MN/m}^2$

ergeben sich Steifemodule von  $E_s = 13,0 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $20,5 \text{ MN/m}^2$  für die Kieswäsche und für die Mischung der zwei Materialien  $E_s = 8,3 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $14,0 \text{ MN/m}^2$  (Tab. 18).



**Abb. 47:** Grafische Darstellung der Ergebnisse aus dem Kompressionsversuch

**Tab. 18:** Zusammenstellung der Ergebnisse aus dem Kompressionsversuch

Laststufen [kPa]		10 - 20	20 - 40	40 - 80	80 - 160	160 - 320	320 - 640
<b>Kieswäsche</b>							
Steifemodul $E_s$ [kPa]	Erstbel.	5403	4704	6247	13002	20503	34391
	Zweitbel.		39980	28557	38076	50768	
<b>Kieswäsche + Speicherteich, Mischung 1:1</b>							
Steifemodul $E_s$ [kPa]	Erstbel.	3388	3702	6346	8329	14028	18541
	Zweitbel.		33317	24230	31984	41005	

## 4 Österreichweiter Rundversuch einer mineralischen Basisabdichtung

Neben der Eignungsprüfung im Labor muss für die Eignung der Herstellungsverfahren in situ ein Vergleich mit den Laborergebnissen durchgeführt werden, sodass das untersuchte Material als mineralische Basisabdichtung seine Anwendung finden kann. Dies erfolgt im Zuge der Herstellung eines Probefeldes. Am Probefeld sind die Dicke der einzelnen Lagen, die Anzahl der Lagen und die Eignung der verwendeten Erdbaugeräte zu bestimmen. Zudem erfolgt ein Vergleich mit den Laborkennwerten und die Bestimmung der Durchlässigkeit und Verformbarkeit. (vgl. ÖNORM S 2074-2:2004)

### 4.1 Teilnehmende Labors am österreichweiten Rundversuch

Für die Qualitätssicherung und Weiterentwicklung der bodenmechanischen Prüfmethode im Labor und in situ, werden in regelmäßigen Abständen Vergleichsversuche von akkreditierten geotechnischen Labors in Österreich durchgeführt. Die Vergleichsversuche werden sowohl in situ am Probefeld, als auch im Labor durchgeführt. Die Ergebnisse der einzelnen Labors werden gesammelt und in weiterer Folge wissenschaftlich aufbereitet und verglichen.

An den Vergleichsversuchen am Probefeld nahmen folgende Labors teil:

- BPS Linz
- GEOENGINEERING
- Amt der Steiermärkischen Landesregierung, Abteilung 16, Fachabteilung Straßenerhaltungsdienst, Referat Straßenbautechnik
- MAPAG Gumpoldskirchen
- NIEVELT Stockerau
- PRÜFBAU Lieboch
- Swietelsky Bau-ges.m.b.H
- TPA Wien
- TU Graz, Geotechnisches Labor, Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Die Listung der Labors erfolgte in alphabetischer Reihenfolge. Um die Anonymität der Labors zu wahren, sodass keine Nachteile aufgrund etwaiger abweichender Ergebnisse für jedes einzelne Labor entstehen, wurden für die weitere Auswertung den Labors von dieser Listung unabhängige Zahlen zugeordnet. Lediglich die teilnehmenden Labors haben Kenntnis über die zugeordneten Zahlen.

## 4.2 Probefeld für die Vergleichsversuche

Das Probefeld für die Vergleichsversuche wird in der Schottergrube der Firma Happenhofer Bau GmbH, welche sich bei Aflenz in der Obersteiermark befindet, errichtet.

Beim verwendeten Material handelt es sich um das im Labor bestimmte optimale technische und wirtschaftliche Gemisch aus dem Material aus der Kieswäsche aus der Kammerfilterpresse und dem Material vom Speicherteich. Demnach erfolgt eine Mischung der Materialien im Verhältnis 1:1.

### 4.2.1 Geometrie des Probefeldes

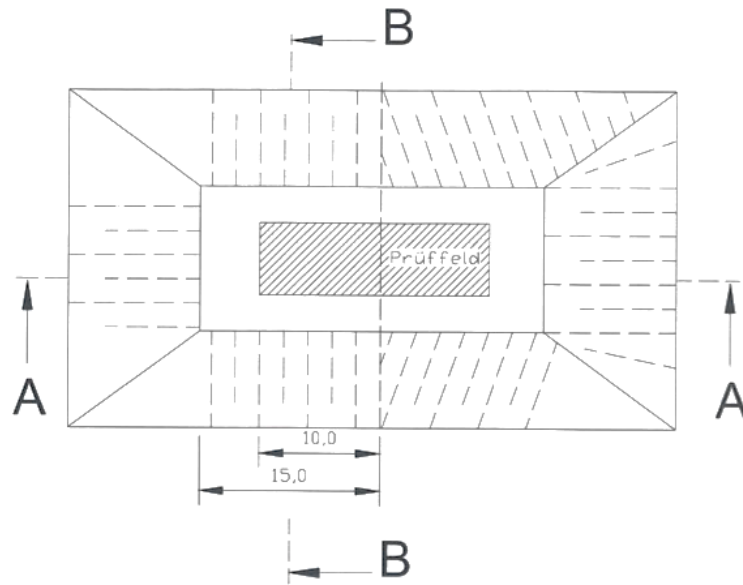
Das Probefeld wird gemäß der in der ÖNORM S 2074-2 definierten Geometrie hergestellt (siehe Abb. 48). Die Beprobung der mineralischen Basisabdichtung erfolgt lediglich im definierten Zentrum des Probefeldes mit einer Breite von 6,0 m und einer Länge von 20 m, da beim Herstellungsprozess die Randbereiche des Probefeldes eine andere Verdichtung aufweisen können.

Die Aufteilung der Labors auf dem Probefeld erfolgt zufällig. Abb. 49 stellt die Aufteilung dar, welche lediglich die den Labors zugewiesenen Nummer zeigen. Diese Nummer wurden für die weitere Auswertung herangezogen.

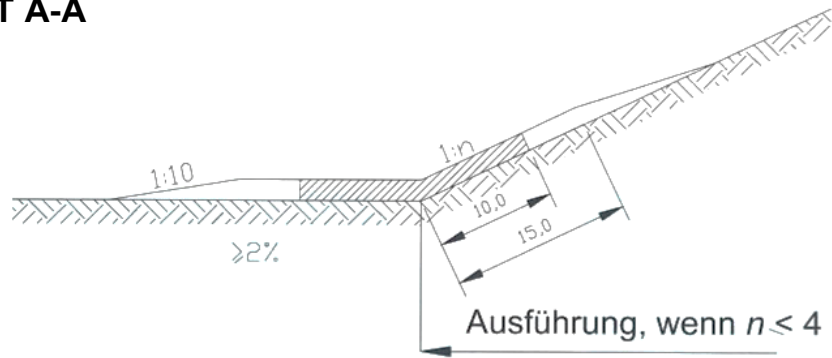
### 4.2.2 Herstellung des Probefeldes

Für die Herstellung des Probefeldes werden die zwei Materialien aus der Kieswäsche gemischt. Die Vermengung erfolgt vorab mit einem Radlader. Hierbei nimmt der Maschinist des Radladers jeweils eine Schaufel der zwei Materialien auf und vermischt diese durch das mehrmalige Aufnehmen mit der Laderschaufel und Entleerung aus ca. 4,0 m Höhe. Daraufhin wird das gemischte Material mit dem Radlader zum Probefeld transportiert und dort mit einem 26 Tonnen Kettenbagger aufgebracht und planiert (siehe Abb. 50). Nach der Vermengung mit dem Kettenbagger erfolgt die Vorverdichtung des Materials durch mehrmaliges Abfahren des Probefeldes mit dem Kettenbagger, um für den Traktor mit einer Anbaufräse (siehe Abb. 51) eine befahrbare Fläche zu erzeugen. Bei der verwendeten Fräse kann je nach Bodenart, die Umdrehungsgeschwindigkeit eingestellt werden. Dadurch ist es möglich, dass beispielsweise beim Einsatz im Straßenbau, das Material je nach Umdrehungsgeschwindigkeit entweder lediglich vermischt wird oder vermischt und zusätzlich auch zerkleinert wird.

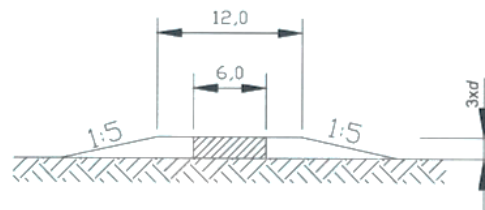
**GRUNDRISS**



**SCHNITT A-A**



**SCHNITT B-B**



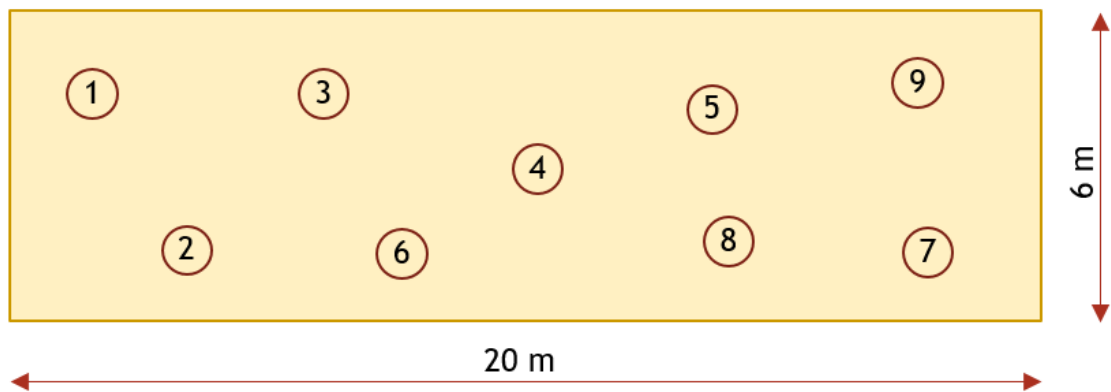
 vorbereitetes Planum

 Prüffeld

$n$  ... größte projektgemäße Neigung

$d$  ... projektierter Dichtungsaufbau

**Abb. 48:** Geometrie des Prüfbefeldes gemäß ÖNORM S 2074-2:2004



**Abb. 49:** Aufteilung der Labors am Probefeld

Optisch beurteilt wurde eine gute Homogenität erzielt, was durch die gering anders farbigen Materialien, vor der Vermischung kontrolliert werden kann (siehe Abb. 51 & Abb. 52).

Nach der Vermischung erfolgt das Planieren des Probefeldes mit einer 8,0-to-Erd-bauwalze.

Durch die Witterungsverhältnisse Tage und Wochen vor der Herstellung des Probefeldes mit Dauerregen, wurde der natürliche Wassergehalt im Material stark erhöht, was sich auf die Herstellung des Probefeldes negativ auswirkte. Aufgrund dessen wurde bei Belastung durch eine Person eine Setzung ohne Volumenverkleinerung erzeugt.



**Abb. 50:** Herstellung der Grobplanie mittels Kettenbagger und Radlader



**Abb. 51:** Homogenisierung der Materialien mittels Bodenfräse



**Abb. 52:** Material nach erfolgter Fräsung



**Abb. 53:** Detailaufnahme des Fräsgutes mit Größenvergleich

### **4.3 Insitu-Prüfungen am Probefeld**

Im Zuge der Erdbaulaborantentage 2017 erfolgt sowohl die Prüfung nach den in der ÖNORM S 2074-2 definierten Prüfungen, wie in Tab. 19 definiert, als auch die Eignungsprüfung im Labor. Für die Laborprüfungen werden am Probefeld Proben entnommen und von den jeweiligen Labors im Anschluss an die Laborantentage in deren Räumlichkeiten geprüft.

Es werden sowohl die geforderten In-situ-Prüfungen, als auch eine Eignungsprüfung für das gesamte Material von den jeweiligen Labors durchgeführt.

#### **4.3.1 Durchlässigkeit – Standrohrversuch (vgl. ÖNORM B 4422-2:2002)**

Die ÖNORM B 4422-2:2002 dient zur Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit „in situ“ für oberflächennahe Schichten, deren Durchlässigkeitsbeiwert  $k \leq 1 \times 10^{-3}$  m/s beträgt. (vgl. ÖNORM B 4422-2:2002)



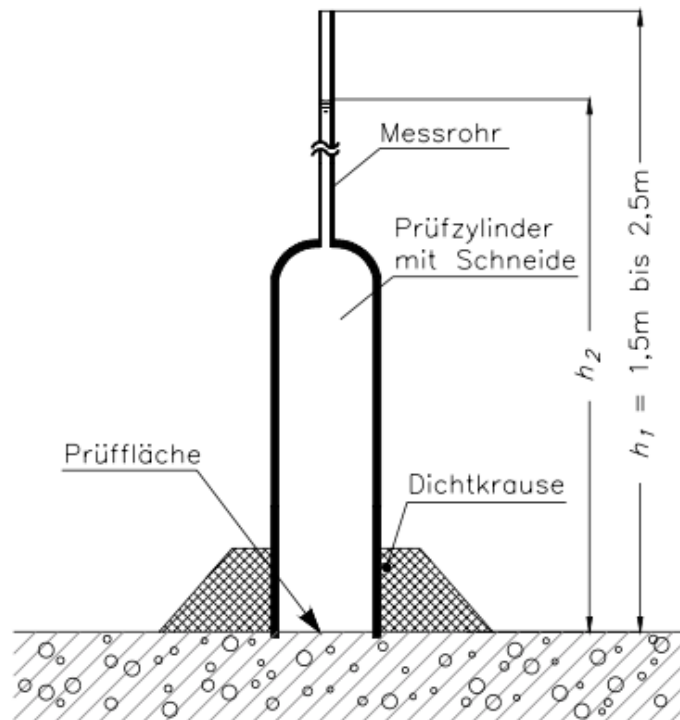
**Tab. 19:** Prüfungen am Probefeld gemäß ÖNORM S 2074-2

Zeile	Kennwerte	Prüfung gemäß	Grenzwerte
1	Korngrößenverteilung	ÖNORM B 4412	vgl. mit Eignungsprüfung
2	Einbauwassergehalt	ÖNORM B 4410	vgl. mit Eignungsprüfung
3	Mischung	Messblech	bei „mixed-in-place“
4	Einbauschichtdicke	Stechmaß	Maximal 35 cm
5	Verdichtung/Setzung in Abhängigkeit von den Walzenübergängen	geodätisch	mindestens 8 Stellen
6	Dichte	ÖNORM B 4414-1 und -2	mindestens 2 Stellen
7	Dichte	Isotopenmethode	mindestens 8 Stellen
8	Durchlässigkeit	Standrohr mit - fallenderer Druckhöhe - konstanter Druckhöhe i = 30	mindestens 3 Stellen je Lage, k entsprechend der jeweiligen Deponiebauklasse

Die Prüffläche im Bereich des Versuches ist hinsichtlich störender Einflüsse (Inhomogenität des Kornaufbaues, Einschlüsse von Fremdanteilen u.a.m.) nach Augenschein zu beurteilen. Am vorbereiteten Prüfplanum wird der Prüfzylinder wenige Millimeter eingedrückt, eingeschlagen oder dicht aufgesetzt. Die für das Prüfplanum repräsentative Prüffläche muss folgenden Bedingungen genügen (vgl. ÖNORM B 4422-2:2002):

- Die Aufstandsfläche des Prüfzylinders ist so auszuwählen, dass keine Körner größeren Durchmessers (höchstens 1/3 des Durchmessers des Prüfzylinders) vorhanden sind.
- Bei Versuchen auf einem Planum ist die geglättete Oberfläche (Walzhaut) abzutragen oder aufzurauen.
- Die Prüffläche darf weder nachverdichtet noch aufgelockert werden.

Um die Wasserumläufigkeit am Prüfzylinder zu unterbinden, wird eine Dichtkrause oder ein Dichtring hergestellt (siehe Abb. 54) und entsprechend belastet. Wenn durch das Füllen die Prüffläche durch Erosion verändert werden könnte, ist ein Erosionsschutz erforderlich (z.B. mit Filterkies 8/16 bedecken). Der Durchlässigkeitsbeiwert des Erosionsschutzes muss mindestens zwei Zehnerpotenzen größer sein als jener der zu prüfenden Schicht. Die Einhaltung dieser Bedingung ist nach Versuchsdurchführung zu überprüfen. (vgl. ÖNORM B 4422-2:2002)



**Abb. 54:** Standrohrversuch, Versuchsanordnung mit fallender Drückhöhe für feinkörnige und gemischtkörnige Böden (ÖNORM B 4422-2:2002)

Die Versuchsauswertung erfolgt nach Formel (10). (vgl. ÖNORM B 4422-2:2002)

$$k = \frac{f \cdot F \cdot r_m^2}{\Delta t \cdot 4 \cdot r_0} \cdot \ln \frac{h_{G,1}}{h_{G,2}} \quad (10)$$

$r_0$	[m]	Radius der Ausströmfläche
$r_m$	[m]	Radius der Messpipette
$p$	[m]	Abstand der Prüfzylinderfläche zum GWSP in m
$h_G$	[m]	Strömungspotential
$\Delta h$	[m]	Potentialdifferenz zwischen dem Strömungspotential $h_G$ und dem Strömungspotential der Prüfzylinderfläche in beliebiger Höhe über oder unter dem Grundwasserspiegel
$h_{G1}, h_{G2}$	[m]	Strömungspotential zum Zeitpunkt $t_1$ und $t_2$
$F$	[ - ]	Umrechnungsfaktor je nach Gestaltung oder Ausformung der Prüfzylinderfläche. $F = 2,5$ für eine kreisförmige Fläche
$f$	[ - ]	Faktor für den Einfluss der Strömungsausbreitung

### **4.3.2 Bestimmung der Dichte des Bodens (vgl. ÖNORM B 4414-2:1979)**

Zur Ermittlung des Volumens der Probe können folgende Verfahren angewendet werden (vgl. ÖNORM B 4414-2:1979):

- Ausstechzylinder-Verfahren
- Sandersatz-Verfahren
- Flüssigkeitsersatz-Verfahren
- Messkörper-Verfahren
- Schürfgruben-Verfahren
- Schüttkörper-Verfahren

Die Bestimmung der Dichte erfolgt im Zuge der Erdbaulaborantentage 2017 mittels Ausstechzylinder-Verfahren und Flüssigkeitsersatz-Verfahren.

Bei beiden Verfahren wird eine Bodenprobe vor Ort entnommen. Die Bestimmung des Volumens erfolgt beim Flüssigkeitsverfahren im Regelfall mit Wasser und beim Stechzylinder ist das Volumen des Zylinders bekannt.

Die Probe wird daraufhin mit in das Labor genommen und der Wassergehalt bestimmt. Mit dem Wassergehalt, der Masse welche im Labor oder auf der Baustelle bestimmt wird, und dem Volumen, kann die Feuchtdichte und die Trockendichte berechnet werden.

Alle weiteren Laborversuche wurden bereits in Punkt 3.7.1 erläutert.

## 4.4 Auswertung

### 4.4.1 Definitionen (vgl. ISO 3535-1:2006)

- **Präzision**  
Güte der Übereinstimmung zwischen unabhängig ermittelten Prüfergebnissen unter vereinbarten Bedingungen.
- **Wiederholbedingungen:**  
Bedingungen bei der Gewinnung voneinander unabhängiger Prüfergebnisse unter Anwendung desselben Verfahrens an identischem Prüfgut im selben Labor durch denselben Beobachter mit derselben Geräteausstattung innerhalb eines kurzen Zeitabstandes.
- **Wiederholgrenze:**  
Wert, unter dem oder gleich dem der absolute Betrag der Differenz zwischen zwei unter Wiederholbedingungen gewonnenen Prüfergebnissen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% erwartet werden kann. Verwendetes Symbol:  $r$ .
- **Vergleichsbedingungen:**  
Bedingungen bei der Gewinnung voneinander unabhängiger Prüfergebnisse unter Anwendung desselben Verfahrens an identischem Prüfgut in verschiedenen Labors durch verschiedene Beobachter mit verschiedener Geräteausstattung.
- **Vergleichsgrenze:**  
Wert, unter dem oder gleich dem der absolute Betrag der Differenz zwischen zwei unter Vergleichsbedingungen gewonnenen Prüfergebnissen mit einer Wahrscheinlichkeit von 95% erwartet werden kann. Verwendetes Symbol:  $R$ .
- **Straggler/Outlier:**  
Wert aus einer Wertereihe, der unvereinbar ist mit den anderen Werten der Reihe. Ein „straggler“ ist ein Wert, für den sich durch einen statistischen Test eine Abweichung von den übrigen Werten der Reihe mit einer Signifikanz von 5 % ergeben hat. Ein „outlier“ weist eine Abweichung mit einer Signifikanz von 1% auf.

## 4.4.2 Ausreißertest

Vor Auswertung der bekanntgegebenen Prüfergebnisse wurden diese auf Grundlage des ISO Guide 43-1:1996 in Hinblick auf ihre Plausibilität Ausreißertests gemäß ISO 5725-2:1994 unterworfen. Die Eliminierung von Ausreißern erfolgte schrittweise zuerst nach Grubbs (Ausreißer bezüglich Übereinstimmung mit dem Gesamtmittelwert) und Cochran (Ausreißer bezüglich Streuung bei Doppelbestimmungen) sowie in einem zweiten Schritt nach Mandel.

Eliminiert wurden für die Mittelbildung Ausreißer nach Grubbs mit  $p > 95\%$  und nach Mandel mit  $p > 99\%$ .

Wenn weniger als fünf Ergebnisse vorliegen, wird keine derartige Auswertung vorgenommen. Offensichtliche Ausreißer wurden durch den Arbeitskreis festgelegt und entsprechend behandelt. (FSV, 2016)

Die Ergebnisse der Labors wurden gesammelt und statistisch ausgewertet. Die Ergebnisse werden in Säulendiagrammen dargestellt. In den Säulendiagrammen sind auf der Abszisse die Nummern der Labors aufgelistet und auf der Ordinate der jeweilige Wert der Prüfung, wobei hier zudem der Mittelwert aller Prüfungen als horizontale Linie eingezeichnet ist. Abweichend vom Mittelwert ist die Standardabweichung eingezeichnet. (FSV, 2016)

## 4.5 Ergebnisse

### 4.5.1 Korngrößenverteilung

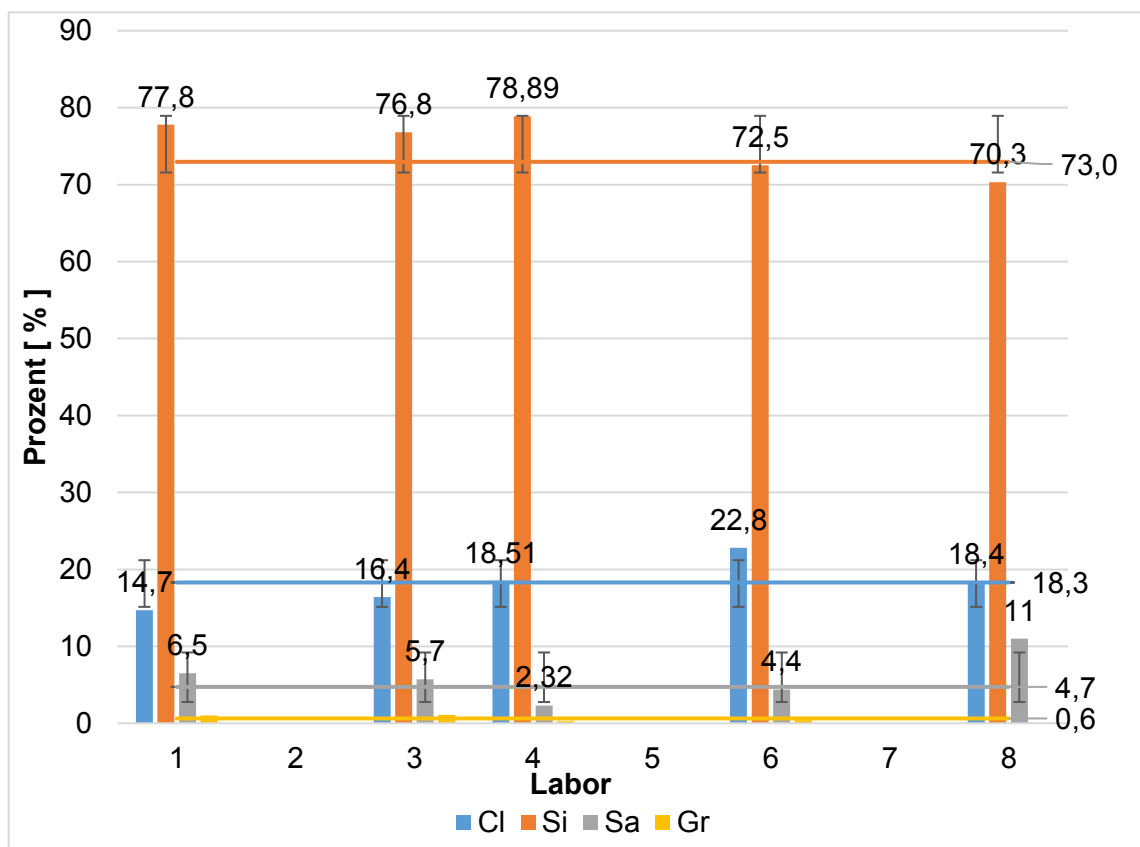
Die statistische Auswertung für die Korngrößenverteilung ist in Abb. 55 zusammengefasst. Abb. 56 gibt eine grafische Zusammenstellung der Korngrößenverteilungen.

Der Durchgang beim 0,002 mm Sieb (Tongehalt) liegt im Mittel bei 18,3 % und die Vergleichbarkeit bei 7,0 M.-%.

Der Schluffanteil (Si) liegt im Mittel bei 73,0 % und die Vergleichbarkeit bei 16,6 M.-%.

Der Sandanteil (Sa) liegt im Mittel bei 4,7 % und die Vergleichbarkeit bei 15,0 M.-%.

Der Kiesanteil (Gr) liegt im Mittel bei 0,6 % und die Vergleichbarkeit bei 1,2 M.-%.



**Abb. 55:** Korngrößenverteilungen – Österreichweiter Rundversuch

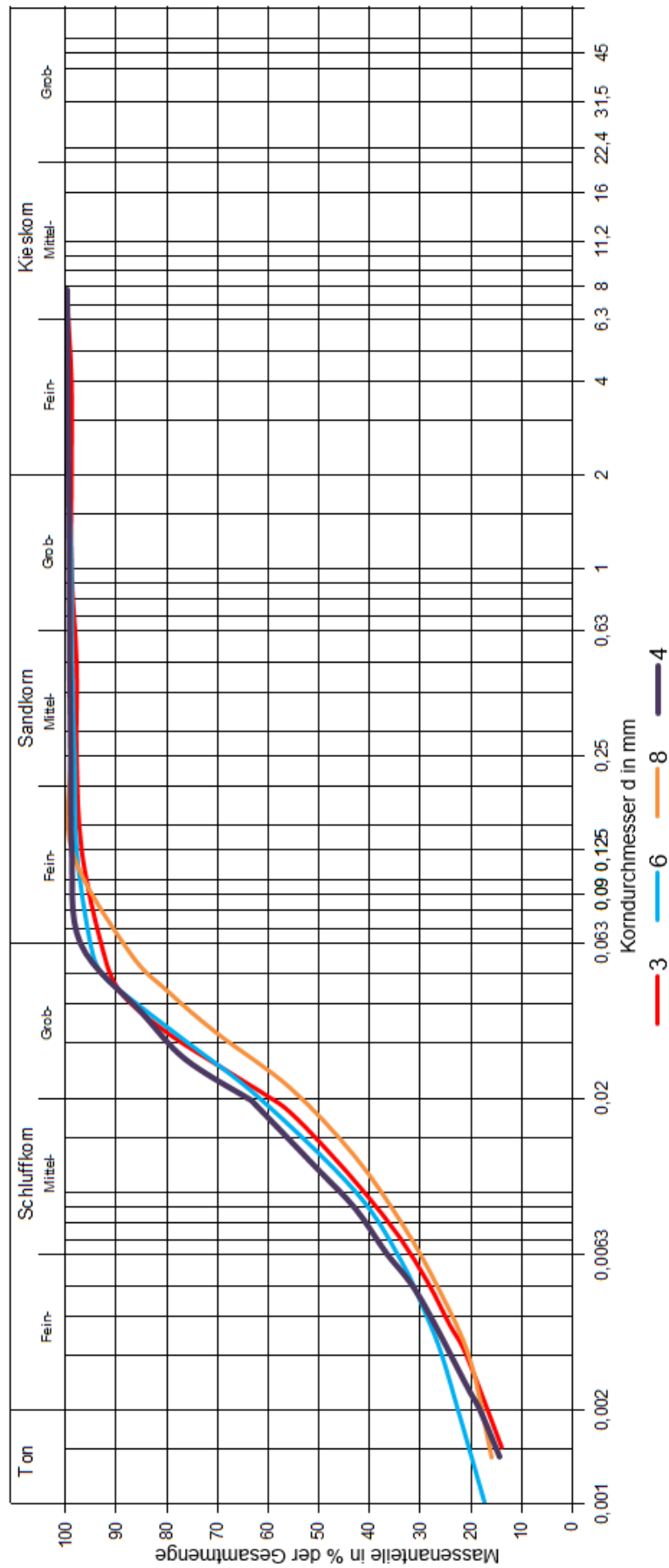


Abb. 56: Zusammenstellung der Korngrößenverteilungen - Österreichweiter Rundversuch

## 4.5.2 Wassergehalt

Der Wassergehalt liegt im Mittel bei 22,8 % und die Vergleichbarkeit bei 1,8 M.-% (siehe Abb. 57). Die größten Abweichungen vom Mittelwert treten bei Labor 5 und 6 auf. Die absolute Abweichung weist hier einen Wert von 1,0 % bzw. 1,1 % auf und die relative Abweichung vom Mittelwert beträgt 4,4 % bzw. 4,8 %.

Der in der (vgl. ÖNORM S 2074-2:2004) geforderte Grenzwert, welcher eine maximale Abweichung von 4 % vom optimalen Wassergehalt kann nicht eingehalten werden. Die Begründung liegt in den Witterungsbedingungen vor dem Einbau des Materials mit Starkregen.

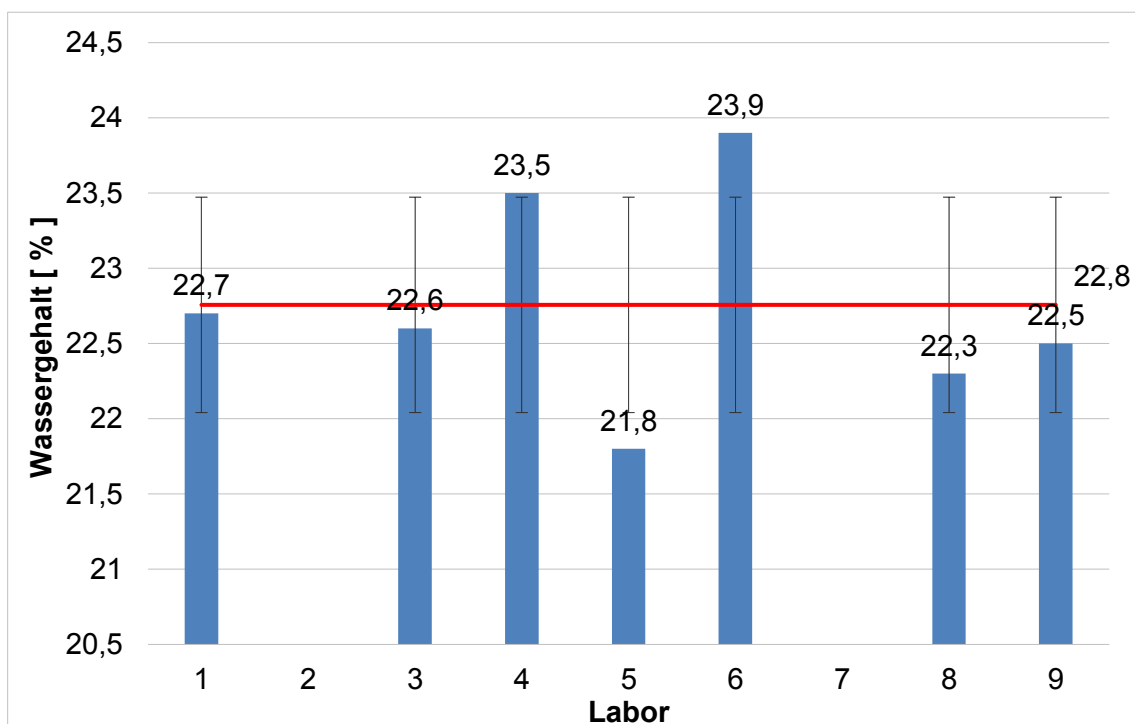


Abb. 57: Natürlicher Wassergehalt - Österreichweiter Rundversuch

## 4.5.3 Korndichte

Die Korndichte  $\rho_s$  liegt im Mittel bei 2,76 g/m<sup>3</sup> und die Vergleichbarkeit bei 0,45 g/m<sup>3</sup> (siehe Abb. 58).



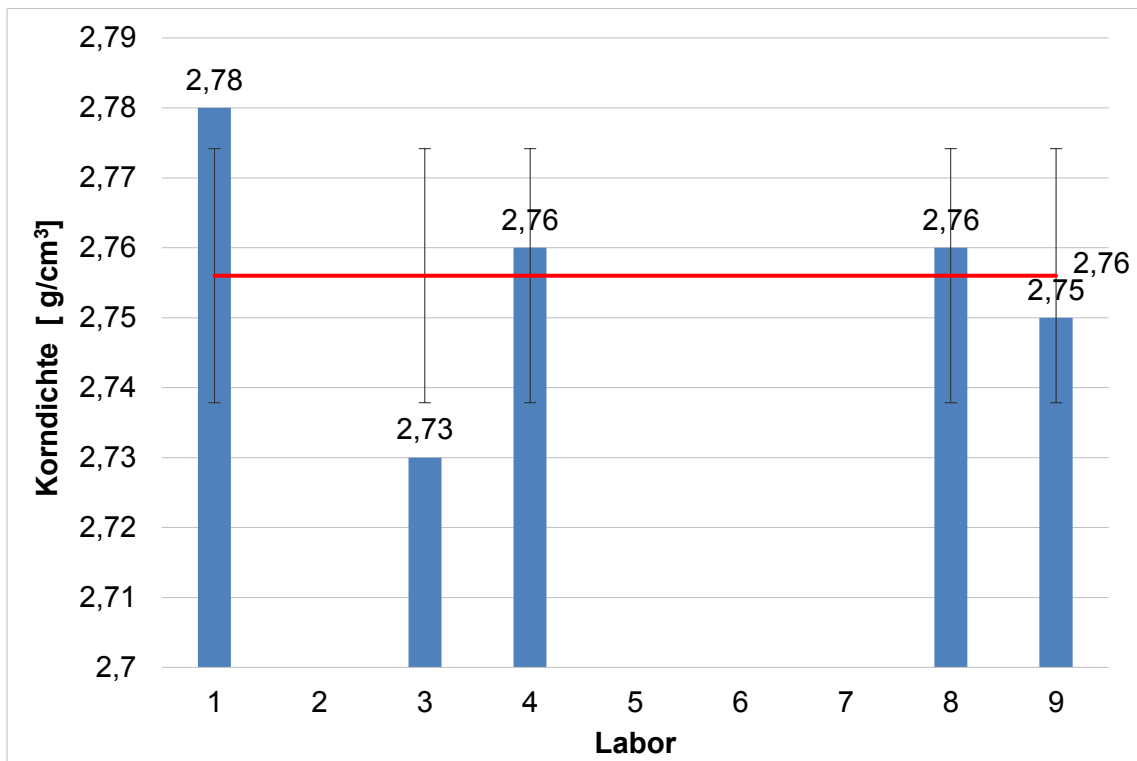


Abb. 58: Korndichte - Österreichweiter Rundversuch

#### 4.5.4 Zustandsgrenzen

Die Fließgrenze  $w_L$  liegt im Mittel bei 29,2 % und die Vergleichbarkeit bei 5,1 % (siehe Abb. 60).

Die Ausrollgrenze  $w_P$  liegt im Mittel bei 19,0 % und die Vergleichbarkeit bei 3,4 % (siehe Abb. 60).

Die Plastizitätszahl  $I_P$  liegt im Mittel bei 10,0 % und die Vergleichbarkeit bei 4,2 % (siehe Abb. 60).

Die Schrumpfgrenze  $w_S$  liegt im Mittel bei 16,1 % und die Vergleichbarkeit bei 8,4 % (siehe Abb. 59).

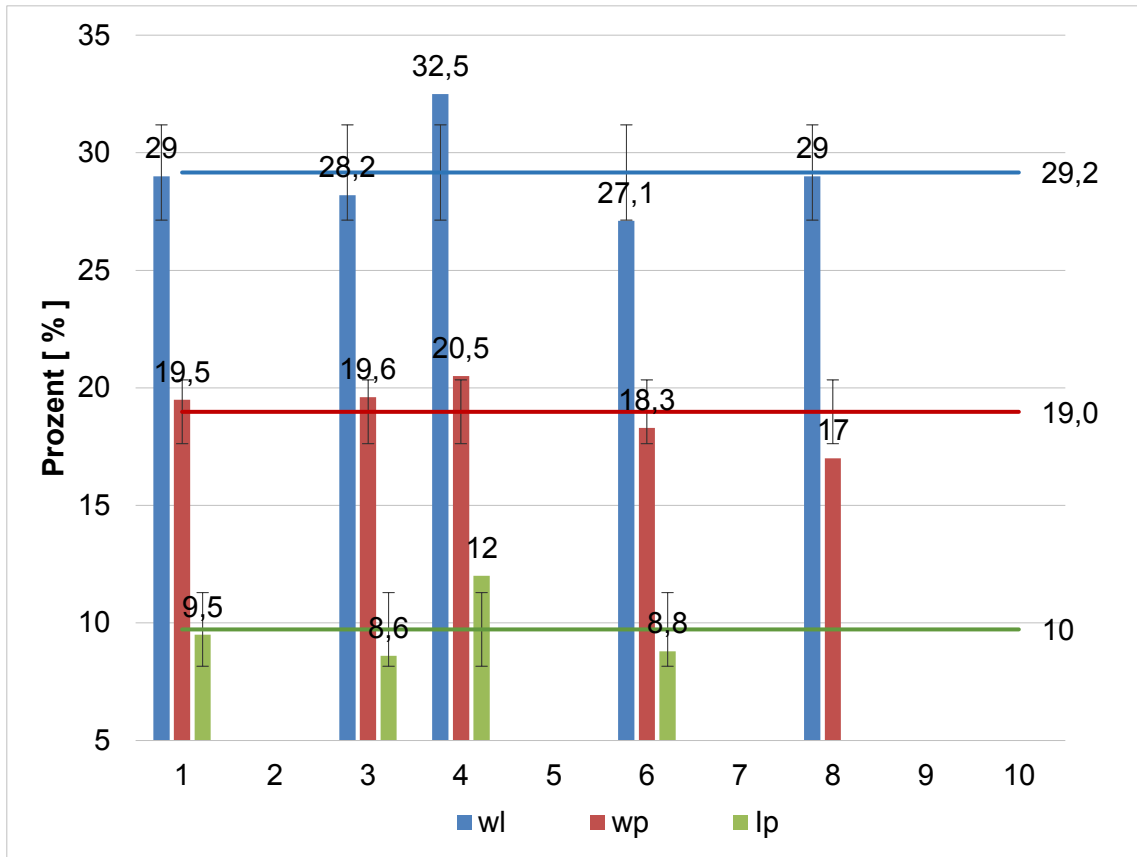


Abb. 60: Zustandsgrenzen - Österreichweiter Rundversuch

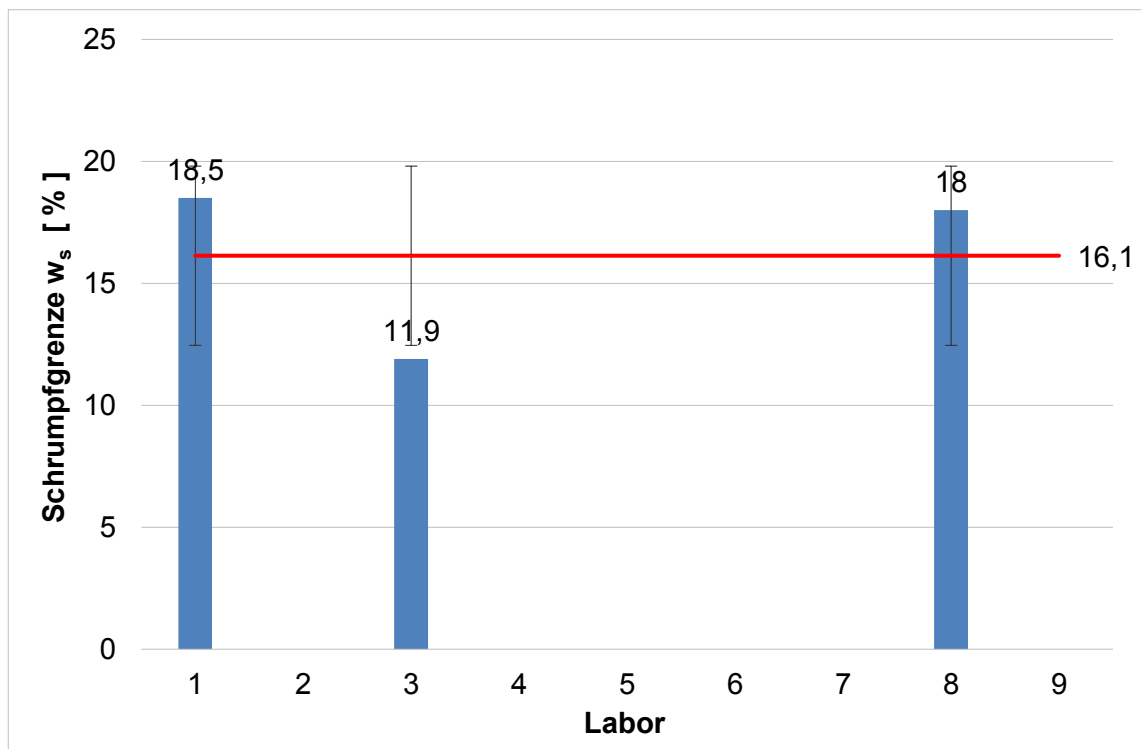


Abb. 59: Schrumpfgrenze - Österreichweiter Rundversuch

### 4.5.5 Organischer Anteil

Der organische Anteil liegt im Mittel bei 1,32 % und die Vergleichbarkeit bei 1,9 % (siehe Abb. 61).

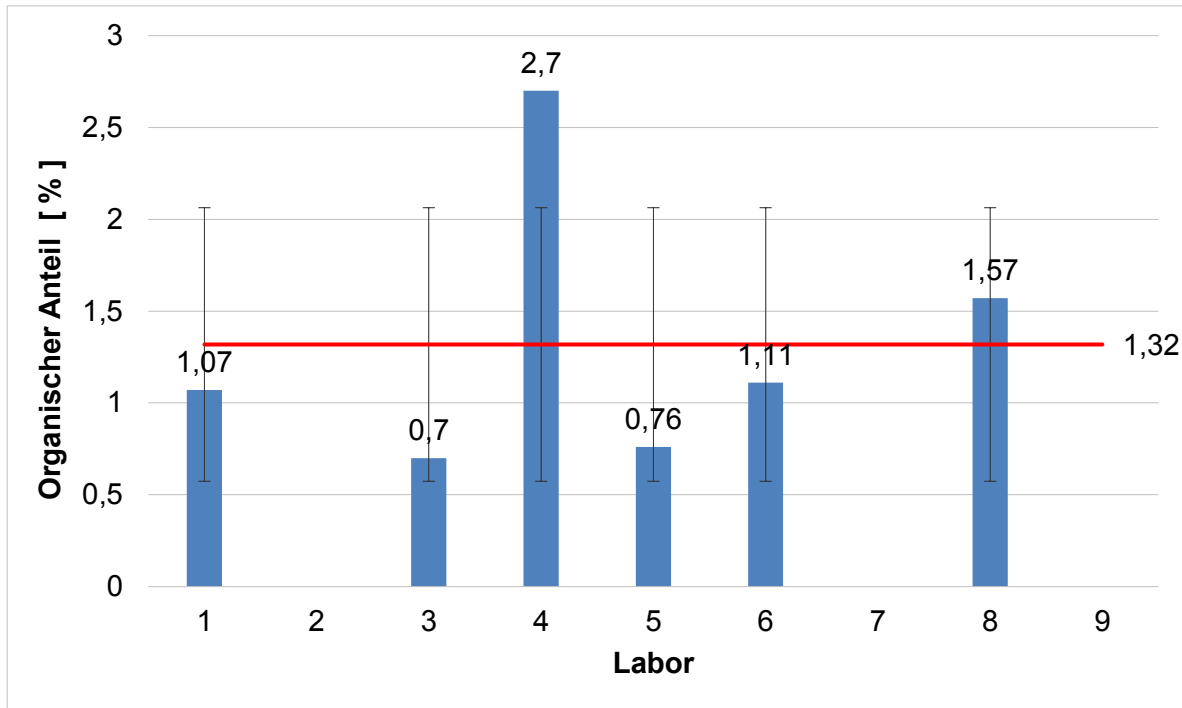


Abb. 61: Organischer Anteil - Österreichweiter Rundversuch

### 4.5.6 Wasseraufnahmevermögen

Das Wasseraufnahmevermögen liegt im Mittel bei 50 % und die Vergleichbarkeit bei 9,2 % (siehe Abb. 62).

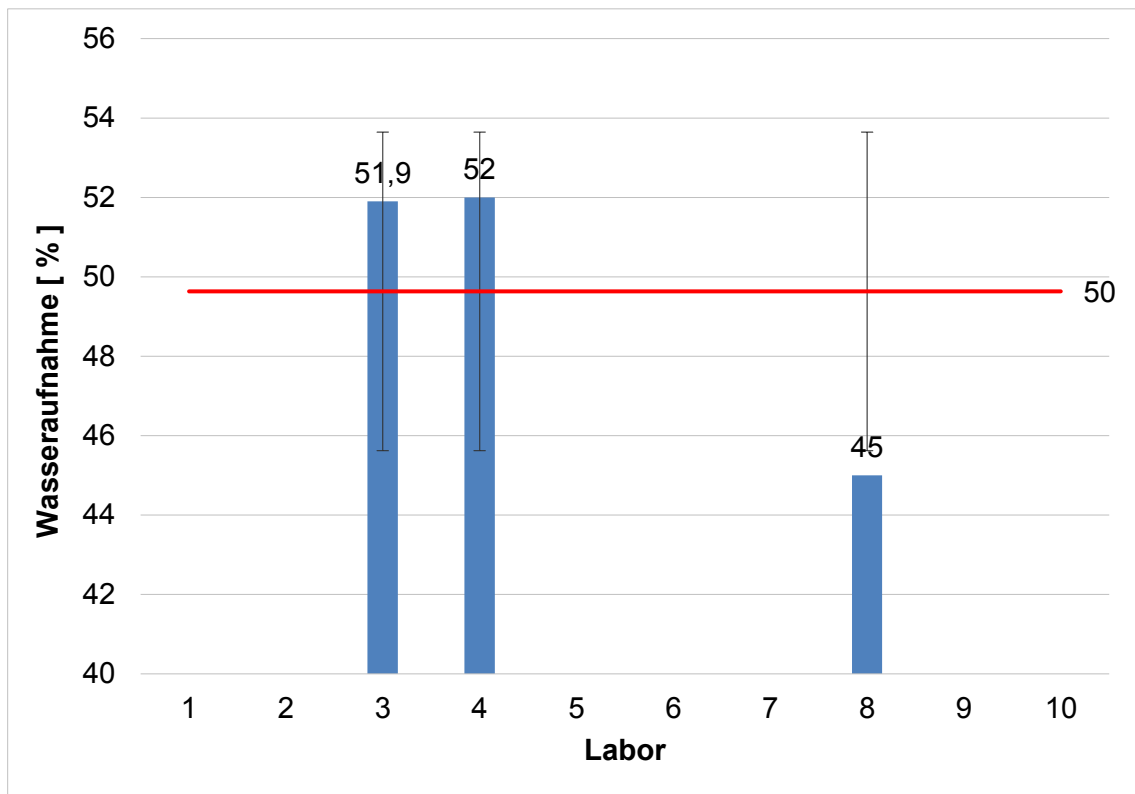


Abb. 62: Wasseraufnahmevermögen - Österreichweiter Rundversuch

### 4.5.7 Standrohrversuch

Der Standrohrversuch konnte aufgrund des hohen Wassergehalts nicht durchgeführt werden.

### 4.5.8 Proctorversuch

Die Zusammenstellung der Proctorkurven Streuungen beim trockenen Ast der Proctorkurven (siehe Abb. 63).

Der optimale Wassergehalt liegt im Mittel bei 15,6 % und die Vergleichbarkeit bei 4,17 % (siehe Abb. 64).

Die optimale Proctordichte liegt im Mittel bei 1,86 g/m<sup>2</sup> und die Vergleichbarkeit bei 0,07 g/m<sup>2</sup> (siehe Abb. 65).

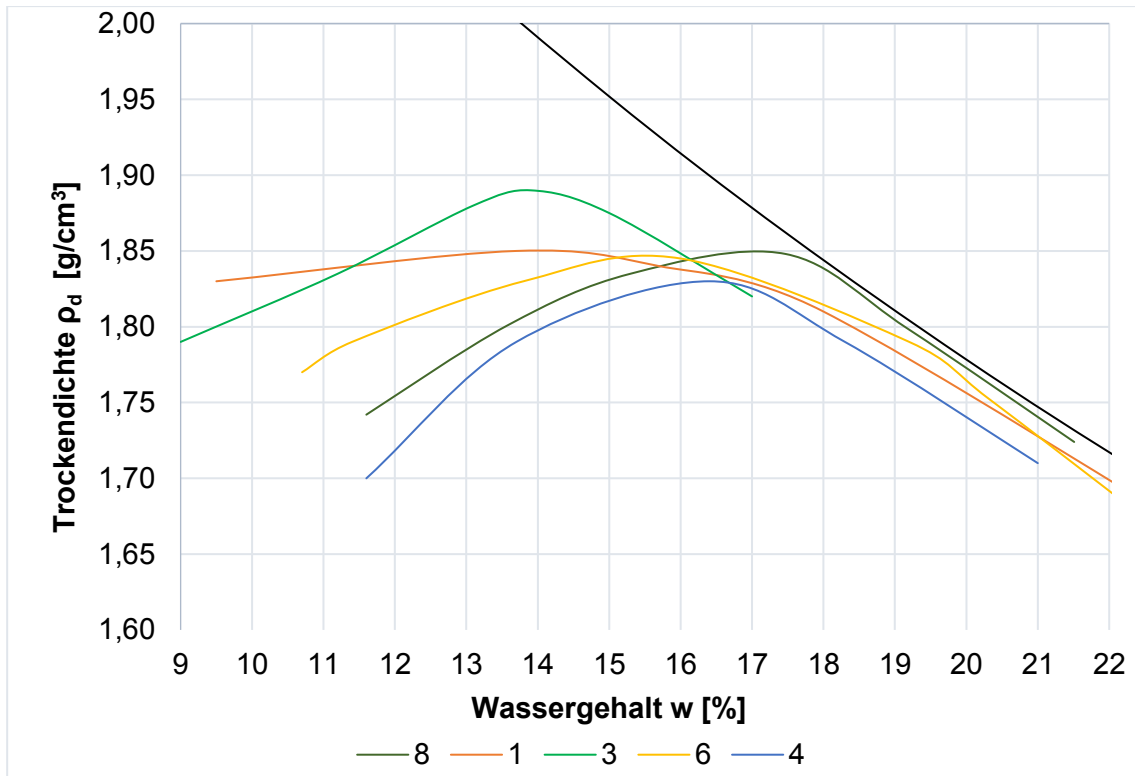


Abb. 63: Zusammenstellung der Proctorkurve - Österreichweiter Rundversuch

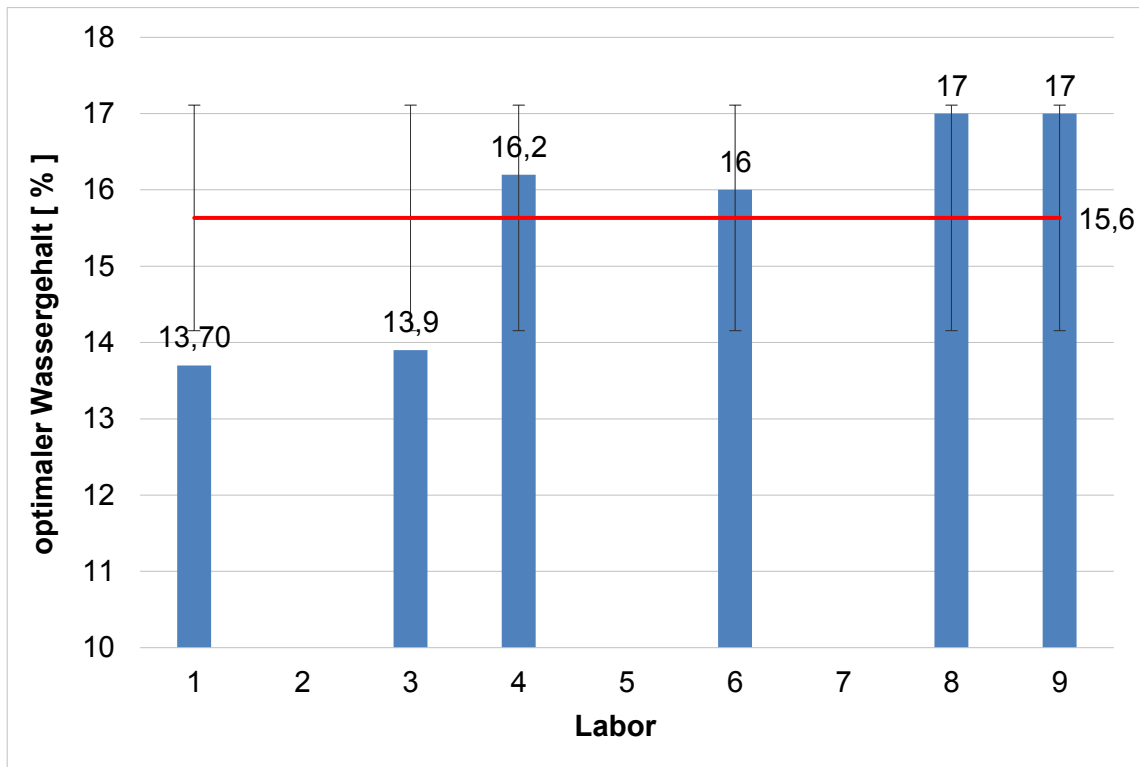


Abb. 64: Optimaler Wassergehalt - Österreichweiter Rundversuch

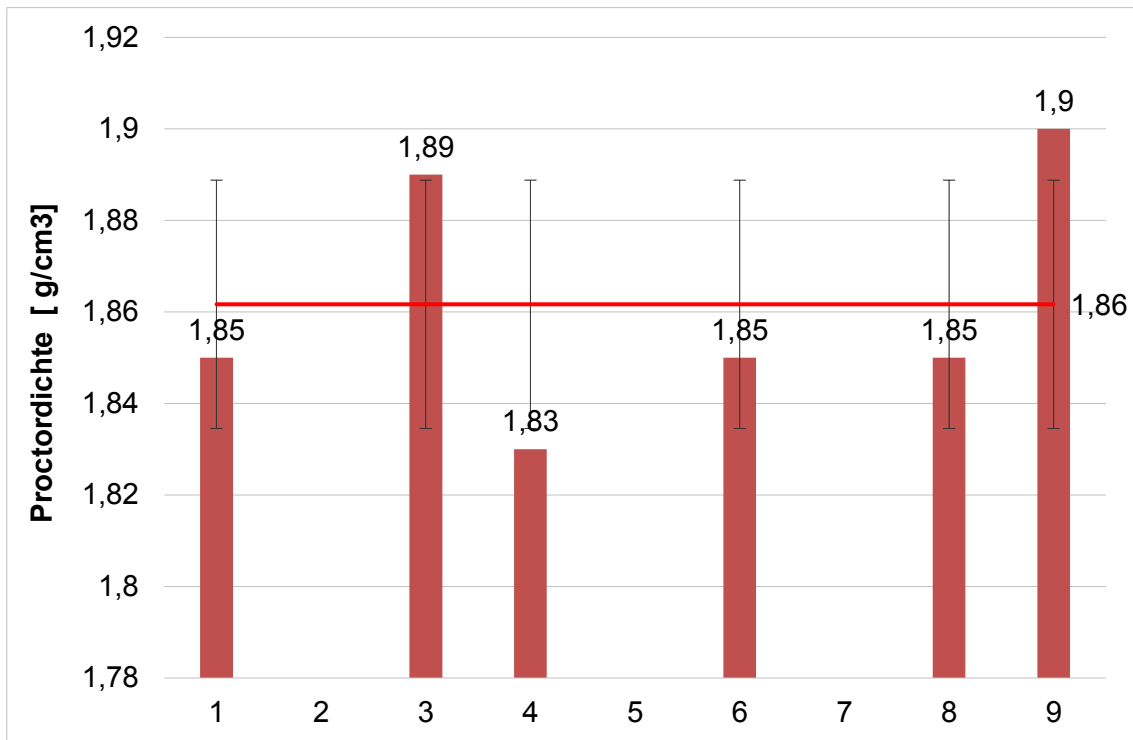


Abb. 65: Optimale Proctordichte - Österreichweiter Rundversuch

### 4.5.9 Im Labor bestimmter Durchlässigkeitsbeiwert

Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_{10}$  liegt im Mittel bei  $1,3\text{E-}09$  m/s und die Vergleichbarkeit bei  $2,4\text{E-}09$  m/s (siehe Abb. 66).

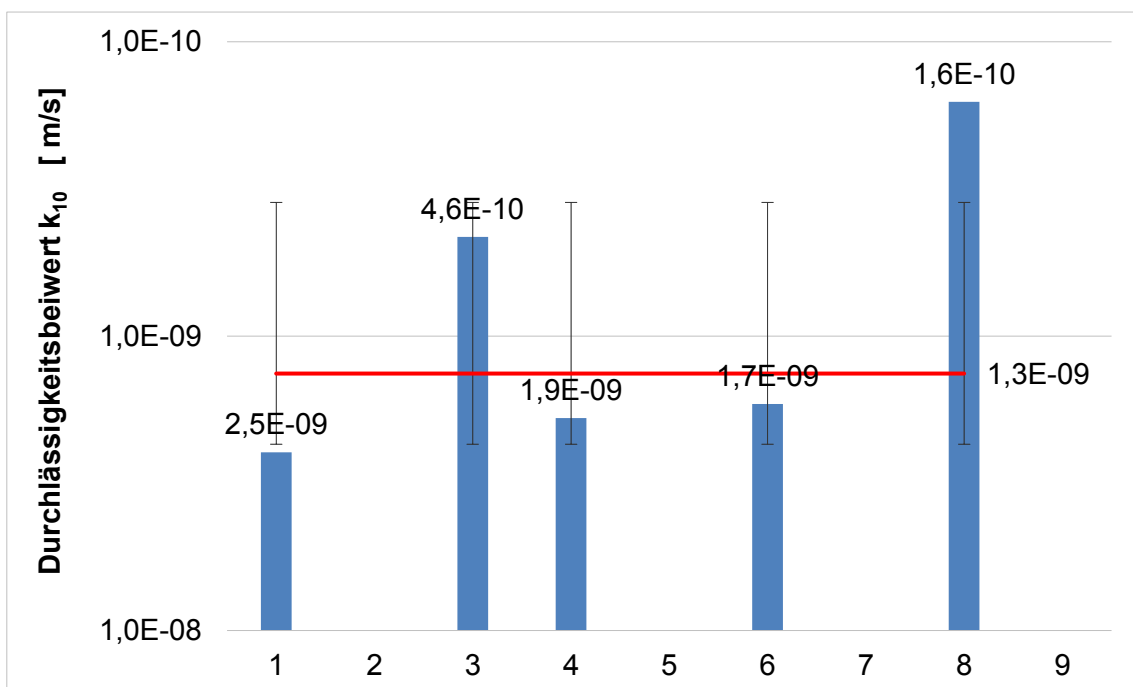


Abb. 66: Durchlässigkeitsbeiwert - Österreichweiter Rundversuch

### 4.5.10 Scherparameter

Der effektive Reibungswinkel liegt im Mittel bei  $32,0^\circ$  und die Vergleichbarkeit bei  $1,4^\circ$  (siehe Abb. 67).

Die effektive Kohäsion liegt im Mittel bei  $17,4 \text{ kN/m}^2$  und die Vergleichbarkeit bei  $0,84 \text{ kN/m}^2$  (siehe Abb. 68).

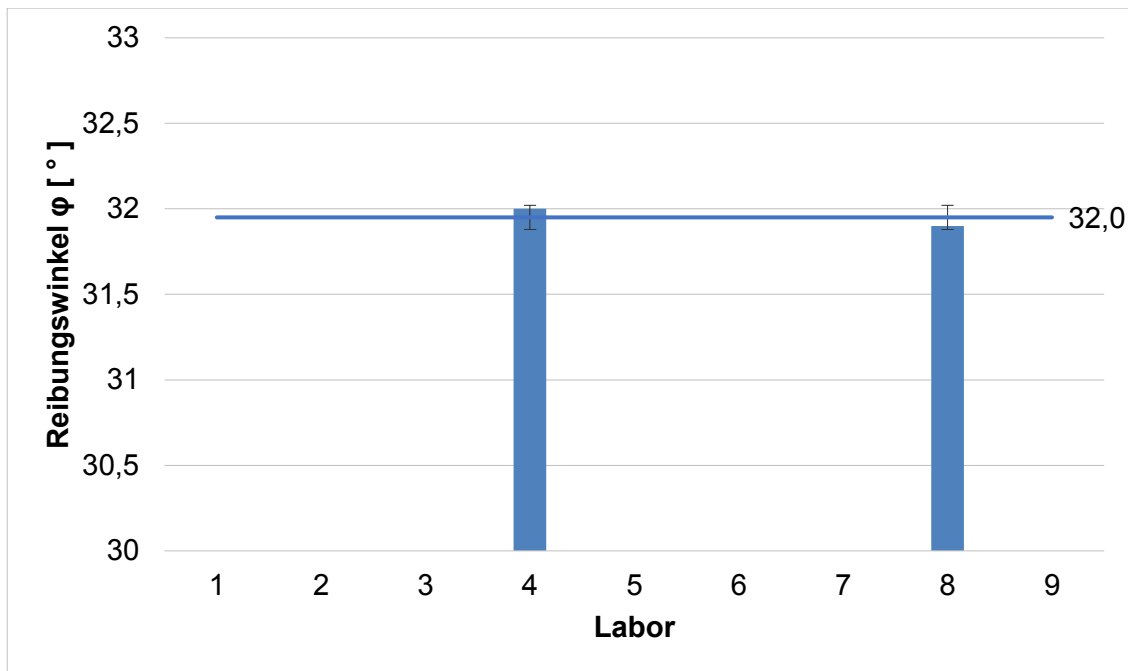


Abb. 67: Reibungswinkel - Österreichweiter Rundversuch

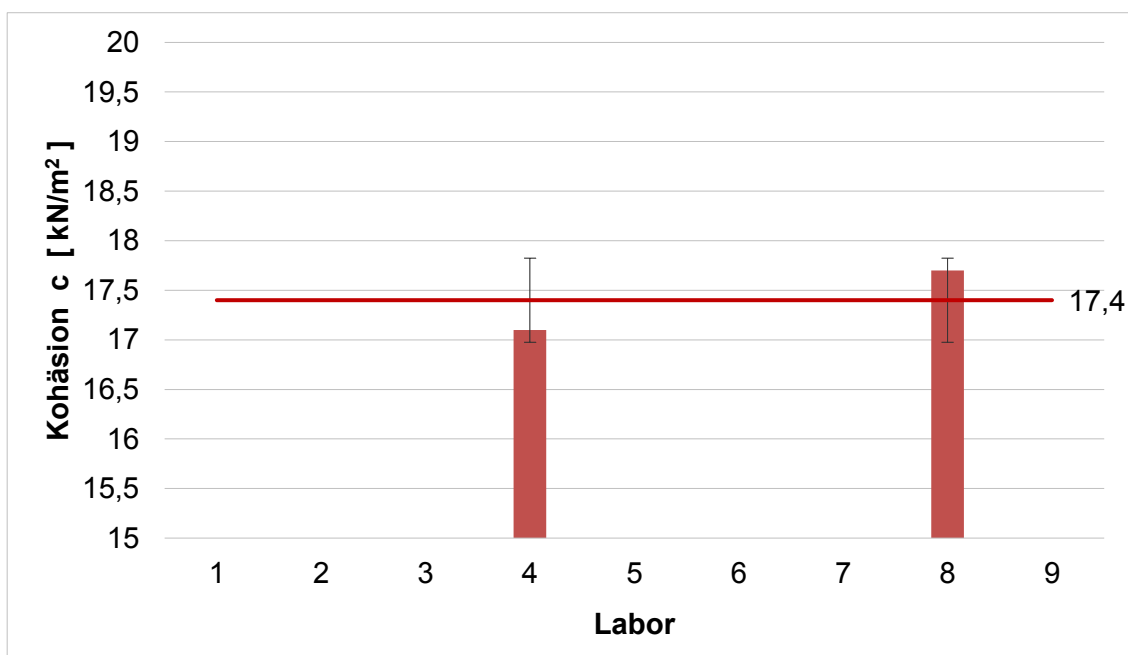
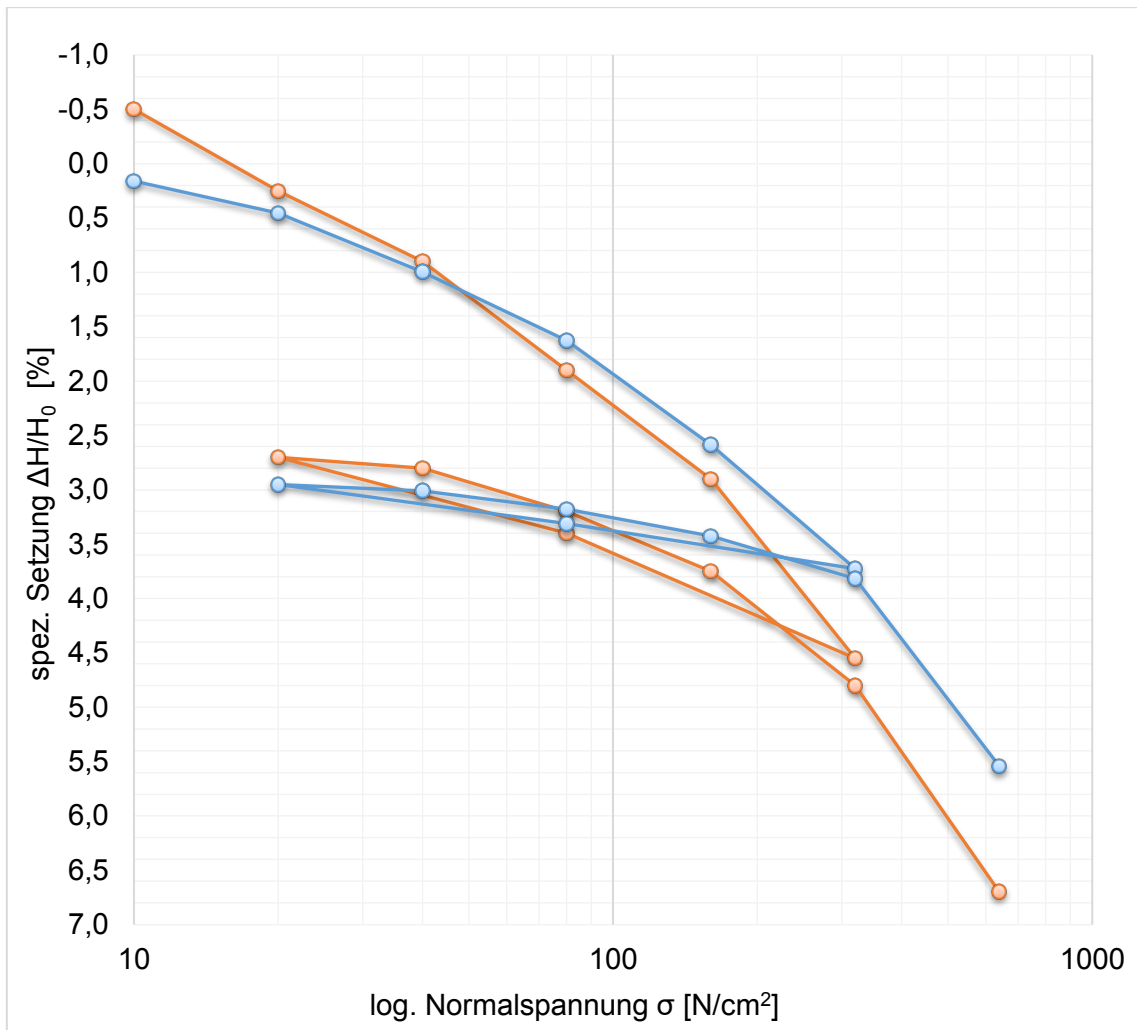


Abb. 68: Kohäsion - Österreichweiter Rundversuch

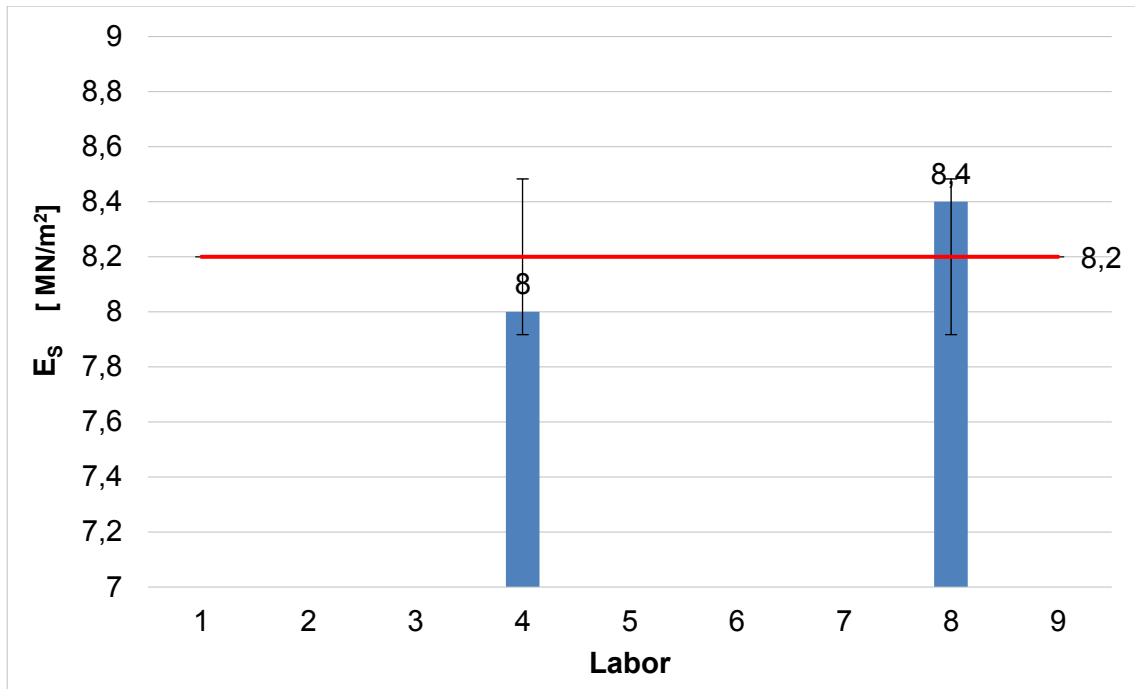
### 4.5.11 Kompressionsversuch

Die Steifemodul  $E_s$  im Spannungsbereich von 0,8 bis 0,16 MN/m<sup>2</sup> liegt im Mittel bei 8,2 MN/m<sup>2</sup> und die Vergleichbarkeit bei 0,60 MN/m<sup>2</sup> (siehe Abb. 70).



**Abb. 69:** Zusammenstellung Kompressionsversuch - Österreichweiter Rundversuch

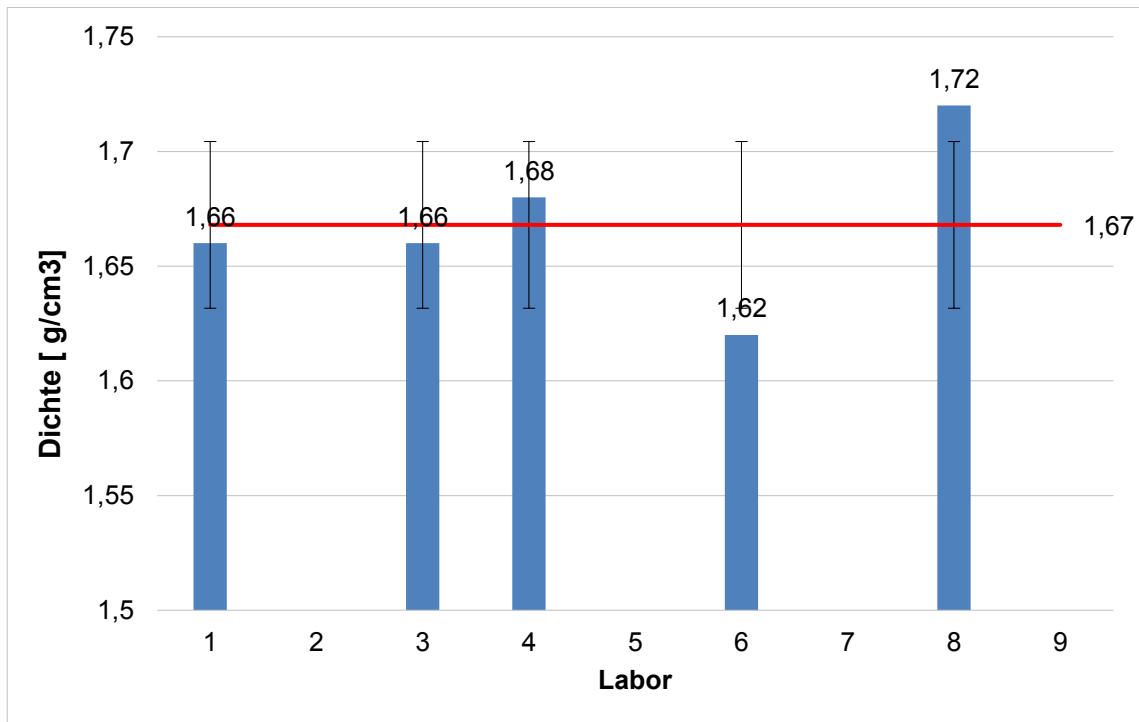




**Abb. 70:** Steifemodul beim gewählten Spannungsniveau - - Österreichweiter Rundversuch

#### 4.5.12 Bestimmung der Dichte

Die In-situ-Dichte liegt im Mittel bei  $1,67 \text{ kN/m}^3$  und die Vergleichbarkeit bei  $0,1 \text{ kN/m}^2$  (siehe Abb. 71).



**Abb. 71:** In-situ-Dichte - Österreichweiter Rundversuch

## 5 Zusammenfassung

Nachfolgend wird die Eignungsprüfung für die geeignete Materialkombination, welche aus dem Filterkuchen der Kieswäsche und aus dem Speicherteich zu jeweils gleichen Teilen besteht, zusammengefasst.

### 5.1 Unterlagen

- U1 ÖNORM S 2074: 2004 – Geotechnik im Deponiebau, Teil 2: Erdarbeiten
- U2 Verordnung des Bundesministers Verordnung des Bundesministers für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft über Deponien (Deponieverordnung 2008), BGBl. II Nr. 39/2008, mit den Novellen BGBl. II Nr. 185/2009, BGBl. II Nr. 178/2010, BGBl. II Nr. 455/2011 und BGBl. II Nr. 104/2014
- U3 ÖNORM B 4410:2009 – Geotechnik - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des Wassergehaltes durch Ofentrocknung unter Einbeziehung der VORNORM ÖNORM CEN ISO/TS 17892-1
- U4 ÖNORM B 4411:2009 – Geotechnik - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung von Fließ-, Plastizitäts- und Schrumpfgrenze unter Einbeziehung der VORNORM ÖNORM CEN ISO/TS 17892-12
- U5 ÖNORM B 4412:1974 – Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Korngrößenverteilung
- U6 ÖNORM B 4413: 2012 – Geotechnik - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Korndichte mit dem Kapillaryknometerverfahren unter Einbeziehung der VORNORM ÖNORM CEN ISO/TS 17892-3
- U7 ÖNORM B 4414-1:1976 – Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Dichte des Bodens; Labormethoden
- U8 ÖNORM B 4414-2:1979 – Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Bestimmung der Dichte des Bodens; Feldverfahren
- U9 ÖNORM B 4416:1978 – Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Grundsätze für die Durchführung und Auswertung von Scherversuchen

- U10 ÖNORM B 4418:2007 – Geotechnik - Durchführung von Proctorversuchen im Erdbau
- U11 ÖNORM EN 13286-2:2010 – Ungebundene und hydraulisch gebundene Gemische - Teil 2: Laborprüfverfahren für die Trockendichte und den Wassergehalt - Proctorversuch
- U12 ÖNORM B 4420:1989 – Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Grundsätze für die Durchführung und Auswertung von Kompressionsversuchen
- U13 ÖNORM B 4422-1:1992 – Erd- und Grundbau - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit - Laborprüfungen
- U14 ÖNORM B 4810:2006 – Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Frostsicherheit von Gemischen für ungebundene Tragschichten im Straßen- und Flugplatzbau
- U15 ÖNORM B 4424:2015 - Geotechnik - Laborversuche an Bodenproben - Bestimmung des organischen Anteiles
- U16 RVS 11.06.26:1987 – Wasseraufnahme der Kornklassen kleiner 0,125 mm (Enslin-Versuch)

## 5.2 Laboruntersuchungen

### 5.2.1 Allgemeines

Entsprechend der geplanten Verwendung des oben angeführten Materials als mineralisches Dichtmaterial im Deponiebau wurde seine Eignung gemäß ÖNORM S 2074, Teil 2, Kap. 5.1.1., mittels folgender Versuche untersucht:

- Bestimmung der Korndichte gemäß ÖNORM B 4413
- Sieb-Schlämmanalyse gemäß ÖNORM B 4412
- Ermittlung der Standard - Proctorkurve gemäß ÖNORM B 4418 und ÖNORM EN 13286-2 (Verdichtungsverhalten nach Proctor)
- Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit gemäß ÖNORM B 4422-1
- Bestimmung des organischen Anteiles gemäß ÖNORM B 4424
- Scherversuche gemäß ÖNORM B 4416
- Kompressionsversuch gemäß ÖNORM B 4420
- Bestimmung des Wassergehaltes gemäß ÖNORM B 4410
- Bestimmung der Zustandsgrenzen nach Atterberg gemäß ÖNORM B 4411
- Bestimmung der Wasseraufnahme nach Enslin gemäß RVS 11.06.26
- Bestimmung der Schrumpfgrenze gemäß ÖNORM B 4411
- Qualitative und semiquantitative Tonmineralanalyse gemäß ÖNORM B 4810

Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind in den Anlagen A bis K dargestellt.

Auf die wichtigsten Untersuchungen soll in den folgenden Abschnitten im Detail eingegangen werden:

## 5.2.2 Ermittlung der Korndichte gemäß ÖNORM B 4413

Die Korndichte eines Bodens wird laut ÖNORM B 4413 definiert als die Masse der festen Einzelbestandteile bezogen auf das Volumen der Einzelbestandteile, einschließlich ihrer von der Messflüssigkeit nicht benetzten Hohlräume. Die Korndichte ist demnach die Rohdichte der Einzelbestandteile eines Bodens. Ermittelt wird dieser Parameter mit dem Pyknometerverfahren.

Das untersuchte Material weist eine Korndichte von  $\rho_s = 2,75 \text{ g/cm}^3$  auf (siehe Anhang C).

## 5.2.3 Bestimmung der Korngrößenverteilung durch Nasssiegung mit nachfolgender Schlämmanalyse gemäß ÖNORM B 4412

Für die Bestimmung der Korngrößenverteilung wurde die Probe (Labornummer 19685-73) einer Nasssiegung unterzogen. Dafür wurde diese zunächst in eine Siebmaschine mit komplettem Siebsatz unter Wasserspülung aufgegeben. Der aus der Siebmaschine austretende Schlämmenteil  $d < 0,063 \text{ mm}$  wurde gemeinsam mit dem Spülwasser aufgefangen und einer Sedimentations- bzw. Schlämmanalyse unterzogen. Dabei wurde nach Zugabe von Natrium-Pyrophosphat ( $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10 \text{ H}_2\text{O}$ ) zur Vermeidung einer Teilchenagglomeration die Dichte der Suspension in Abhängigkeit von der Zeit mittels eines speziellen Aräometers gemessen.

Das Ergebnis ist tabellarisch und grafisch in Anhang A dargestellt.

Die Kornverteilungsanalyse ergab einen Massenanteil  $d < 0,002 \text{ mm}$  (Tonanteil) von 25,4% M-%, einen Massenanteil  $0,002 < d < 0,063 \text{ mm}$  (Schluffanteil) von 70,2 M-%, einen Anteil  $0,063 < d < 2 \text{ mm}$  (Sandanteil) von 4,4 M-%. Das Größtkorn liegt bei 0,125 mm.

Bodenmechanisch wird das untersuchte Korngemisch somit als sa" cl Si, also als „sehr gering sandiger, toniger Schluff“ bezeichnet. Der wirksame Korndurchmesser  $d_{10}$  liegt unter  $2 \text{ }\mu\text{m}$ .

## 5.2.4 Untersuchung des Verdichtungsverhaltens nach Standard-Proctor gemäß ÖNORM B 4418 und ÖNORM EN 13286-2

Ein Boden lässt sich in dem Maße verdichten, in dem es gelingt, seinen Porenanteil  $n$  zu verringern und gleichzeitig seine Trockendichte  $\rho_d$  zu erhöhen. Dazu ist eine Verdichtungsarbeit erforderlich, der allerdings die Reibungskräfte im Korngerüst entgegen wirken. Im Anfangsstadium des Versuches nehmen mit zunehmendem Wassergehalt diese Reibungskräfte ab, und es wird eine gewisse Verdichtung erreicht. Ab einem bestimmten Wassergehalt, dem sogenannten optimalen Wassergehalt, nimmt die Verdichtbarkeit jedoch wieder ab, weil sich das Porenwasser durch die aufgebrachten dynamischen Kräfte nicht mehr verdrängen lässt. Beim optimalen Wassergehalt ist folglich die Verdichtung, bezogen auf eine bestimmte Verdichtungsarbeit, ein Maximum. Dem Standard - Proctor ist eine Verdichtungsarbeit von  $0,6 \text{ MNm/m}^3$  zugeordnet. Mit ihr ergibt sich als maximale Trockendichte  $\rho_d$  die Proctordichte  $\rho_{Pr}$ .

Insgesamt wurden mit dem zu untersuchenden Material gemäß ÖNORM B 4418 und ÖNORM EN 13286-2 5 Proben mit unterschiedlichem Wassergehalt hergestellt (Anhang H).

Der optimale Wassergehalt liegt bei  $w_{opt} = 17,0 \text{ M-\%}$  und die einem Verdichtungsgrad von  $D_{Pr} = 100 \text{ \%}$  entsprechende Proctordichte bei  $\rho_{Pr} = 1,85 \text{ g/cm}^3$  (Anhang H).

## 5.2.5 Bestimmung des Durchlässigkeitsbeiwertes bei konstanter Druckhöhe gemäß ÖNORM B 4422-1

Der Durchlässigkeitsbeiwert  $k_{10}$  wird für fein- und gemischtkörniges Material bis zu einem Korndurchmesser von 20 mm gemäß ÖNORM B 4422-1 an Proben mit Abmessungen von 10 cm Durchmesser und 12 cm Höhe in triaxialen Durchlässigkeitszellen bei einem hydraulischen Gefälle von  $i = 30$  bestimmt.

Die Einbautrockendichte lag mit  $\rho_d = 1,78 \text{ g/cm}^3$  bei  $D_{Pr} = 96,2 \text{ \%}$  (siehe Anhang I). Der Einbau bei einem Wassergehalt von  $w = 19,3 \text{ M-\%}$  (Anhang I) lag 2,3 M-% über dem Proctoroptimum.

Für die  $k_{10}$ -Bestimmung wurden die Proben nach der Verdichtung mit einer Gummihülle versehen und in die triaxialen Durchlässigkeitszellen eingebaut.

Nach dreiwöchigem Verbleib in der triaxialen Durchlässigkeitszelle ergaben die Messungen Durchlässigkeitsbeiwerte  $k_{10} = 2,3 \cdot 10^{-10}$  m/s (Anhang I).

Die Ergebnisse machen deutlich, dass schon bei einem Verdichtungsgrad von  $D_{Pr} = 96,2$  % der Standard-Proctordichte der für die Eignungsprüfung im Labor geforderte  $k_{10}$  - Wert von  $5 \cdot 10^{-10}$  m/s unterschritten wird und bei entsprechender Verdichtung auch in situ ein  $k_{10}$  - Wert von kleiner  $2 \cdot 10^{-9}$  m/s sicher erreichbar ist.

### **5.2.6 Bestimmung des organischen Anteils mittels Glühverlust gemäß ÖNORM B 4424**

Der Gehalt an organischen Bestandteilen wurde durch den Masseverlust bei wiederholtem Glühen bei einer Temperatur von 600°C bestimmt. Dieser Masseverlust wird auf die Trockenmasse bezogen und in Prozent angegeben. Es ergab sich ein Glühverlust von  $c_{org,600} = 3,06$  M-% (siehe Anhang E).

### **5.2.7 Bestimmung der Scherfestigkeit im Rahmen- scherversuch gemäß ÖNORM B 4416**

Die Bestimmung des effektiven Reibungswinkels  $\varphi'$ , der Kohäsion  $c'$  und des Restreibungswinkels  $\varphi_r$  erfolgte mittels konsolidiert - drainierter Rahmenscherversuche in Scherbüchsen mit Probenabmessungen von 100 x 100 x 20 mm bei konstanter Verformungsgeschwindigkeit. Um das Entstehen von Porenwasserdrücken in den teilgesättigten Proben während des Schervorganges zu verhindern, waren unterhalb und oberhalb der Probe Filtersteine angeordnet. Die Schergeschwindigkeit betrug 0,003 mm/min.

Bei diesen Versuchen kann Boden bis zu einem Korndurchmesser von  $d \leq 4$  mm eingebaut werden.

Vor dem Abschervorgang wurde der eingebaute Boden über einen Zeitraum von 72 Stunden mit einer Normalspannung von  $\sigma_c = 300$  kN/m<sup>2</sup> konsolidiert. Die beim Schervorgang aufgebrachten Normalspannungen wurden zwischen 100 und 300 kN/m<sup>2</sup> variiert.

Die Ergebnisse der Scherversuche sind in der Anlage J dargestellt. Für die Scherfestigkeit des gegenständlichen Materials wurde eine effektive Kohäsion von  $c' = 17,7$  kN/m<sup>2</sup> und ein effektiver Reibungswinkel von  $\varphi' = 31,9^\circ$  ermittelt (siehe Anlage J).

Zur Mobilisierung der maximalen Scherfestigkeit sind Scherwege in der Größenordnung von 13,5 bis 13,8 mm notwendig.

Weiterhin wurde in den Versuchen der Restscherwinkel  $\varphi_r$  ermittelt, indem der Scherversuch über den Bruchpunkt hinaus mit einer Schergeschwindigkeit von 2,328 mm/min fortgesetzt wurde. Dabei wurde nach Erreichen des für die Scherbüchse möglichen maximalen Scherweges die Scherrichtung umgedreht und in der Gegenrichtung weitergefahren. Dieser Prozess des Hin- und Herscherens wurde solange fortgeführt, bis ein konstanter Wert für den Scherwiderstand erreicht wurde. Der auf diese Weise gemessene Scherwiderstand wird als Restscherfestigkeit  $\varphi_r$  bezeichnet. Der zugehörige Restscherweg ergibt sich als Gesamtsumme der bei Hin- und Herscheren gemessenen Einzelscherwege.

In Anlage 6 ist auch der ermittelte Restscherwinkel angegeben. Dieser ergibt sich zu  $\varphi_r = 30,8^\circ$ .

Somit ist im Hinblick auf den Reibungswinkel des Materials, der Richtwert der ÖNORM S 2074, Teil 2, Kap. 5.1.1, erfüllt (siehe Anhang J).

## 5.2.8 Untersuchung des Spannungs-Verformungsverhaltens im Ödometer gemäß ÖNORM B 4420

Die Zusammendrückbarkeit von Böden wird unter anderem mit dem Steifemodul  $E_s$  aus dem Ödometerversuch beschrieben. Dieser Parameter ist ein Maß für die Setzung von Böden in Abhängigkeit von der Belastung. Aufgrund von Konsolidierungsvorgängen im Boden sind diese Setzungen zeitabhängig.

Es wurde ein Kompressionsversuch, bestehend aus den Phasen Erstbelastungs-, Entlastungs- und Wiederbelastungsversuch, durchgeführt. Ziel dieser Untersuchungen war es, den Steifemodul  $E_s$  in Abhängigkeit von der Überlagerungsspannung zu bestimmen und gleichzeitig Aufschlüsse über das zeitabhängige Verformungsverhalten zu erlangen.

Der Versuch wurde im Ödometer mit einem Durchmesser von  $d = 80$  mm und einer Probenhöhe von 20 mm durchgeführt.

Die Trockendichte der Ödometerprobe betrug  $\rho_d = 1,85$  g/cm<sup>3</sup>, entspricht somit einem Verdichtungsgrad von  $D_{Pr} = 99,9$  %, bezogen auf den Standard-Proctorwert.

### *Erstbelastungsversuch*

Die erste Versuchsphase diente der Erfassung des Setzungsverhaltens bei Erstbelastung. Die Belastung erfolgte in den 7 Laststufen  $\sigma = 10, 20, 40, 80, 160, 320$  und nach Entlastungs- und Wiederbelastungszyklus weiter auf 640 kN/m<sup>2</sup>. Die Be-



lastungsdauer wurde jeweils mit der Erreichung des Endes der Primärsetzung gemäß ÖNORM B 4420 determiniert und danach auf die nächste Belastungsstufe weitergeschaltet.

#### *Entlastungszyklus*

Diese Versuchsphase diente zur Erfassung des elastischen Anteils der Setzungen bzw. des reversiblen Anteils an den Gesamtsetzungen. In diesem Fall wurde eine Entlastung von  $\sigma = 320$  auf  $80 \text{ kN/m}^2$  und weiter auf  $20 \text{ kN/m}^2$  vorgenommen. Die Entlastungsdauer wurde, wie oben angeführt, determiniert.

#### *Wiederbelastungszyklus*

Diese Versuchsphase dient zur Erfassung des Wiederbelastungsverhaltens des Materials. Nach der oben erwähnten Entlastung auf  $10 \text{ kN/m}^2$  im Entlastungsversuch wurden die 5 Laststufen  $\sigma = 40, 80, 160$  und  $320 \text{ kN/m}^2$  mit einer entsprechenden Belastungsdauer aufgebracht.

### **Versuchsergebnis:**

Anhang K zeigt den Verlauf der Setzungen in Abhängigkeit von der in den Laststufen 1 bis 6 aufgetragenen Vertikalspannung  $\sigma$ .

Die durchgeführten Kompressionsversuche ergaben bei 30 % bis 70 % des Normalspannungsbereiches von Basisabdichtungen bei einer Deponieauflast (angenommen: 25 m Müllschüttung mit einer Einbaudichte von ca.  $15 \text{ kN/m}^3$ ) von ca.  $375 \text{ kN/m}^2$  (30 % =  $112,5 \text{ kPa}$ , 70 % =  $262,5 \text{ kPa}$ ), Belastungsstufen von 80 bis  $160 \text{ kPa}$  und  $160$  bis  $320 \text{ kPa}$ , Steifemodule von  $E_s = 8,3 \text{ MN/m}^2$  bzw.  $14,0 \text{ MN/m}^2$  (siehe Anlage 1 und 7).

Der in der ÖNORM S 2074, Teil 2, Kap. 5.1.1, geforderte Steifemodul von  $E_s = 35 \text{ MN/m}^2$  ist als Richtwert für gemischtkörnige Basisabdichtungen gedacht, die nach dem Fuller-Prinzip aufgebaut sind, und daher kein Grenzwert für Abdichtungsmaterialien wie im vorliegenden Fall ist.

Da unter Belastungen und Verformungen keine Wasserdurchlässigkeitsänderung eintreten darf, darf nur ausreichend tonig-schluffiges Material mit kontrolliertem Sandgehalt verwendet werden, sodass durch Kriechvorgänge langsame Verformungen rissefrei aufgenommen werden können. Daher sollte der Steifemodul für feinkörniges Abdichtungsmaterial nicht zu groß sein. Vorhandene Tonminerale haben das Bestreben, im feuchten Milieu unter Überlagerungsdruck Mikrorisse selbst zu schließen.

## 5.2.9 Bestimmung der Plastizität

Zur Bestimmung der Plastizität wurden die Zustandsgrenzen nach Atterberg lt. ÖNORM B 4411 im natürlichen Zustand mit entionisiertem Wasser bestimmt.

Beim feinkörnigen Boden ist der Wassergehalt für seine Zustandsform, also seine Konsistenz, durch die seine Tragfähigkeit bestimmt wird, von ausschlagender Bedeutung. Mit abnehmendem Wassergehalt geht ein feinkörniger Boden vom flüssigen in den bildsamen (plastischen), dann halbfesten und schließlich in den festen Zustand über.

Diese Vorgänge wurden von Atterberg folgendermaßen definiert:

Die Fließgrenze  $w_L$  ist der Wassergehalt am Übergang von der flüssigen zur bildsamen Zustandsform.

Die Ausroll- oder Plastizitätsgrenze  $w_P$  ist der Wassergehalt am Übergang von der bildsamen zur halbfesten Zustandsform.

Fließgrenze:

Der Wassergehalt an der Grenze zwischen dem flüssigen und dem bildsamen Zustand ist die Fließgrenze  $w_L$ . Sie wird im Fließgrenzenapparat von Casagrande bestimmt. Eine Bodenprobe von 200 bis 300 g muss vor dem Versuch mit Wasser angereichert und gut durchgeknetet werden. Sie darf keine Körner mit  $d > 0,4$  mm enthalten. Diese Probe wird in die Messingschale gestrichen. Danach wird mit einem Furchenzieher eine Furche gezogen. Durch Drehen mit der Handkurbel (2 Umdrehungen pro Sekunde) wird die Schale dann so oft angehoben (10 mm) und wieder fallengelassen, bis sich die Furche am Boden der Schale auf einer Länge von 1 cm geschlossen hat. Die Anzahl der erforderlichen Schläge wird festgestellt und der Wassergehalt der Probe bestimmt. Der Wassergehalt der Probe, bei dem sich die Furche nach 25 Schlägen schließt, wird als Fließgrenze bezeichnet. (vgl. ÖNORM B 4411:2009)

Ausroll- oder Plastizitätsgrenze:

Der Wassergehalt an der Grenze zwischen plastischem und halbfesten Zustand wird als Ausroll- oder auch als Plastizitätsgrenze  $w_P$  bezeichnet. Die vorbereitete Probe (siehe Fließgrenze) wird dabei so lange auf einer saugenden Unterlage (Filterpapier, Tonziegel) zu 3 mm dicken Röllchen ausgerollt, wieder zusammengeknetet und ausgerollt, bis die Röllchen bei 3 mm Dicke zu bröckeln beginnen. Dann wird der Wassergehalt einer mind. 5 g schweren Probe bestimmt. Der Mittelwert des Wassergehaltes aus mind. 3 Versuchen wird als Ausrollgrenze  $w_P$  bezeichnet. (vgl. ÖNORM B 4411:2009)

Die Atterberg'schen Konsistenzgrenzen der untersuchten Materialprobe (Labornummer 19685) mit einer Fließgrenze  $w_L = 35$  M-% und einer Ausroll- bzw. Plastizitätsgrenze  $w_P = 18$  M-% ergeben eine Bildsamkeitszahl von  $I_p = 17$  M-% (siehe Anhang C).

Die Bestimmung der Wasseraufnahme nach Enslin-Neff ergab Werte von  $Q_e = 49$  % und das Ergebnis der Bestimmung der Schrumpfgrenze lt. ÖNORM B 4411 liegt bei  $w_{SL} = 19$  % (siehe Anlage D).

Da der natürliche Wassergehalt der Probe wie angeliefert bei 20,0 M-% liegt (siehe Anhang B) und damit 3,0 M-% über dem Proctoroptimum von  $w_{opt} = 17,0$  M-% sowie 2,0 M-% über der Plastizitätsgrenze von  $w_P = 20$  M-% bzw. 1,0 M-% unter der Schrumpfgrenze von  $w_{SL} = 19$  %, ergibt sich die Konsistenzzahl  $I_C$  für die untersuchte Materialprobe mit 0,9 – was auf eine steife Konsistenz des Ausgangsmaterials hinweist.

### 5.3 Ergebnis der Eignungsprüfung

Die nach Standard – Proctor erreichbare maximale Trockendichte beträgt  $1,85 \text{ g/cm}^3$ , bei einem optimalen Wassergehalt von 17,0 M-% (Anhang H).

Um unter Baustellenbedingungen zuverlässig einen Durchlässigkeitsbeiwert von  $k_{10} < 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ m/sec}$  und eine entsprechende Verdichtung zu erreichen, sollte das Material mit einem Wassergehalt eher auf der nassen Seite des Proctroptimums eingebaut werden.

Der bei diesem Material für den Einbau günstige Wassergehalt liegt im Bereich von ca. 10,5 M-% bis max. ca. 17 M-%. Der Verdichtungsgrad beträgt damit mindestens  $D_{Pr} = 95 \%$  und die Trockendichte  $\rho_d$  mindestens  $1,85 \text{ g/cm}^3$  (siehe Anlage H).

Da der für eine erfolgreiche Verdichtung optimale Wassergehalt nach Standard-Proctor mit  $w_{opt} = 17,0 \text{ M-%}$  unter der Plastizitätsgrenze von  $w_p = 18 \text{ M-%}$  und auch unter der Schrumpfgrenze von  $w_{SL} = 19 \text{ M-%}$  liegt, ist das Material beim empfohlenen Einbauwassergehalt unempfindlich gegen Austrocknung. Beim Einbau im Bereich des maximal möglichen Wassergehalts von ca. 20,4 M-% liegt das Material über der Schrumpfgrenze und das Material ist sensibel gegen Austrocknung. Daher sollte die Zeitspanne zwischen dem Einbau des Materials und der Verlegung der PE-HD-Folie möglichst kurz gehalten werden.

Der natürliche Wassergehalt des Materials liegt mit  $w_n = 20,0 \text{ M-%}$  bei einer Differenz von 9,5 M-% über dem für eine erfolgreiche Verdichtung mindestens zulässigen Wassergehalt von ca. 10,5 M-% und 0,4 M-% unter dem für eine erfolgreiche Verdichtung höchst zulässigen Wassergehalt von ca. 20,4 M-%, somit auf der nassen Seite der Proctorkurve und jedenfalls im für eine entsprechende Verdichtung noch günstigen Bereich.

Auf die Einhaltung des zulässigen Wassergehaltes ist trotzdem sorgfältig zu achten. Nur bei Einhaltung obiger Grenzwerte kann eine entsprechende Verdichtung und die geforderte geringe Durchlässigkeit von  $k_{10} < 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ m/sec}$  gewährleistet werden.

Das untersuchte Bodenmaterial kann bei Einhaltung der geforderten Einbaubedingungen gemäß ÖNORM S 2074, Teil 2 ('Geotechnik im Deponiebau - Erdarbeiten'), Abschnitt 5.1.1, als **geeignet** zum Einbau als mineralische Basisabdichtung im Deponiebau bezeichnet werden.

Es ist auf die Einhaltung des zulässigen Wassergehaltes besonders zu achten, da anderenfalls eine entsprechende Verdichtung und die geforderte geringe Durchlässigkeit von  $k_{10} < 1,0 \cdot 10^{-9} \text{ m/sec}$  nicht erreicht werden können, da das Material in

Bezug auf die geforderten bodenmechanischen Eigenschaften bei zu geringem oder zu hohem Wassergehalt sehr sensibel reagiert.

Weiters muss bezüglich Schwankungen in der Zusammensetzung, der Gleichförmigkeit sowie der Qualität des Dichtmaterials darauf geachtet werden, dass der Sand- und Kiesgehalt 25 M-% nicht übersteigt. Es wäre deshalb ratsam, bereits beim Abbau des Materials für die Dichtschicht Kontrollen zur Qualitätssicherung vorzunehmen, um von vornherein zu vermeiden, dass unter Umständen zu sandig-kiesiges Material eingebaut wird.

Es muss gewährleistet werden, dass ein Ton-Schluff-Anteil (Korngröße  $< 0,063$  mm) von 70 % nicht unterschritten wird.

Auch ist darauf zu achten, dass keine oberflächennahen Bodenschichten verwendet werden, da Material mit lokalen organischen Verunreinigungen (zB. Wurzeln, o.ä.) keinesfalls eingebaut werden darf.

In den unteren Lagen einer mineralischen Abdichtung dürfen gemäß oben angeführter Deponieverordnung Kornfraktionen über 63 mm nicht enthalten sein und die oberste Lage darf keine scharfkantigen Körner aufweisen sowie ein Größtkorn von 20 mm nicht überschreiten. (vgl. BMLFUW, 2008)

Maßgebend bleiben weiterhin die in der ÖNORM S 2074-2 und in der Verordnung geforderten Grenzwerte.

## 6 Erkenntnisse und Ausblick

Aus den Untersuchungen geht hervor, dass der Filterkuchen, welcher als Nebenprodukt bei der Kieswäsche entsteht, als mineralisches Basisabdichtungsmaterial verwendet werden kann. Je nach Durchlässigkeit des Materials muss eine Vergütung des Materials erfolgen.

Die Vergütung des Materials kann mit Bentonit erfolgen. Durch die sehr hohe Quellfähigkeit des Materials reichen je nach Material geringe Prozentanteile aus, sodass die erforderlichen Grenzwerte für die Durchlässigkeit eingehalten werden können.

Alternativ kann zur Kieswäsche gemahlenes Ziegelrecyclingmaterial beigemischt werden. Durch die geänderten rechtlichen Rahmenbedingungen stellt dies eine wirtschaftliche Alternative dar. Die Verringerung der Durchlässigkeit der Kieswäsche ist durch das Fehlen der aktiven Tonminerale geringer als bei der Beimischung durch das Bentonit.

Grundsätzlich besteht hier Forschungsbedarf, sodass verschiedene Mischungen aus Kieswäsche und Ziegelrecyclingmaterial in verschiedenen Kornfraktionen möglich sind. Dies würde gewährleisten, dass das zurzeit am Markt schwer absetzbare Ziegelrecyclingmaterial eine zusätzliche Anwendung findet.

Die Hauptproblematik bei der Verwendung des Filterkuchens aus der Kieswäsche, besteht darin, dass der Wassergehalt für den direkten Einbau als Deponieabdichtungsmaterial zu hoch ist. Um ein Material mit einem geringeren Wassergehalt zu erzeugen, kann einerseits ein trockeneres Material beigemischt werden, oder das Material durch entsprechende Lufttrocknung für den Einbau vorbereitet werden.

Die Rundversuche, welche von namhaften geotechnischen Labors in Österreich im Zuge der Erdbaulaborantentage durchgeführt wurden, haben die Wichtigkeit dieser Vergleichsversuche im Zuge der Auswertung der Laborergebnisse bestätigt. Durch den Vergleich untereinander wird der hohe Standard der geotechnischen Labors in Österreich aufrechterhalten und verbessert.



## 7 Literaturverzeichnis

Beitzel, H., Bjelanovic, M. (1998)

Verfahrenstechnische Optimierung des Herstellprozesses mineralischer Abdichtungssysteme im Deponiebau. In: August, H. (Hrsg.) Optimierung von Deponieabdichtungssystemen: Mit 31 Tabellen, S. 383–388. Springer, Berlin

BMLFUW (1989)

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft  
Bundesgesetz vom 7. Juni 1989 zur Finanzierung und Durchführung der Altlastensanierung (Altlastensanierungsgesetz) -Altlastensanierungsgesetz, vom 18.06.2017

BMLFUW (2008)

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft  
Deponieverordnung 2008 -DVO 2008, vom 01.06.2017

BMLFUW (2016)

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft  
Recycling-Baustoffverordnung -Recycling-BaustoffVO, vom 01.01.2016

BMLFUW (2017a)

Bundes-Abfallwirtschaftsplan. <https://www.bmlfuw.gv.at/greentec/bundes-abfallwirtschaftsplan>. Zugegriffen: 21. August 2017

BMLFUW (2017b)

Bundes-Abfallwirtschaftsplan 2017. Veröffentlichung des Entwurfs des Bundes-Abfallwirtschaftsplans 2017. <https://www.bmlfuw.gv.at/greentec/bundes-abfallwirtschaftsplan/BAWP2017.html>. Zugegriffen: 21. August 2017

BMLFUW (2017c)

Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft  
Abfallwirtschaftsgesetz 2002 -AWG 2002

Deutsches Institut für Normung e.V. (2005)

DIN 18132:1995, Bestimmung des Wasseraufnahmevermögens. In: DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) DIN-Taschenbuch 376: Untersuchung von Bodenproben und Messtechnik. Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich

Diemme S.p.A. (1998)

Filter "ME" Mod. 1500.2800 Bedieungs-, Montage- und Wartungsanleitung, Italien



- DIN Deutsches Institut für Normung e.V. (Hrsg.) (2005)  
DIN-Taschenbuch 376 -Untersuchung von Bodenproben und Messtechnik, Beuth Verlag GmbH, Berlin, Wien, Zürich
- Ebner, F. (1981)  
Vulkanische Tuffe im Miozän der Steiermark, Band III, Naturwissenschaftlicher Verein für Steiermark, Graz
- Ebner, F., Gräf, W. (Hrsg.) (1982)  
Bentonite und Glastuffe der Steiermark, Band 2, Archiv für Lagerstättenforschung der Geologischen Bundesanstalt, Wien
- Egloffstein, T., Burkhardt, G. (2016)  
Eignungsbeurteilung und baupraktische Erfahrungen mit den Bundeseinheitlichen Qualitätsstandards gemäß DepV unter Einbeziehung von Deponieasphaltdichtungen. In: Kranert, M., Sanwald, C. (Hrsg.) Zeitgemäße Deponietechnik 2016: Die Deponie: zwischen Neubau & Nachsorge : 15. März 2016. Stuttgarter Berichte zur Abfallwirtschaft, Band123, S. 150–171. DIV - Deutscher Industrieverlag GmbH, München
- FSV (2016)  
Endbericht über den Vergleichsversuch „Recyclingmaterial, Kornformbestimmung, Probenahme“. Österreichische Forschungsgesellschaft Straße - Schiene - Verkehr, Arbeitsgruppe „Steinstraßen und Steinmaterial“, Arbeitsausschuss 02 "Technologie und Prüfungen" (Hrsg.), Wien
- Heyer D., Bienen B., Maurer I. (2003)  
Optimierung der Zusammensetzung gemischtkörniger Abdichtungsmaterialien - Schlussbericht zum Forschungsvorhaben F157, Technische Universität München, München
- Kainz, H., Kauch, E.P., Fuchs-Hanusch, D., Gruber, G. (2012)  
Siedlungswasserbau und Abfallwirtschaft -Trinkwasser, Abwasser, Abfall und Recycling. 335 S., 5. Aufl., Manz, Wien
- Kirchmayr-Novak, S., Keringer, F., Zagorulko, D. (2016)  
Marktstudie Donaauraum: Bauindustrie -Endbericht. [http://www.viadonau.org/fileadmin/content/viadonau/05Wirtschaft/Dokumente/2017/20161227\\_Marktstudie\\_Donaauraum\\_Bauindustrie\\_final.pdf](http://www.viadonau.org/fileadmin/content/viadonau/05Wirtschaft/Dokumente/2017/20161227_Marktstudie_Donaauraum_Bauindustrie_final.pdf). Zugegriffen: 16. Juli 2017
- Kiss, E. (2017)  
Firmenbroschüre-Bentonit, Mikro-Pulver KFT, Pápa, Ungarn

Ohrdorf, K., Flachberger, H. (2009)

Zu Fragen der alkalischen Aktivierung von Bentoniten. In: Springer-Verlag (Hrsg.) BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte: Zeitschrift für Rohstoffe, Geotechnik, Metallurgie, Werkstoffe, Maschinen- und Anlagentechnik, 154. Aufl., S. 597–609, Wien

Okrusch, M., Matthes, S. (2014)

Mineralogie -Eine Einführung in die spezielle Mineralogie, Petrologie und Lagerstättenkunde. 728 S., 9. Aufl. Springer-Lehrbuch, Springer Spektrum, Berlin

ÖNORM B 4422-2:2002

Erd- und Grundbau – Untersuchung von Böden Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit – Feldmethoden für oberflächennahe Schichten, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ÖNORM B 4414-2:1979

Erd- und Grundbau, Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung der Dichte des Bodens, Feldverfahren, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ÖNORM B 4412:1974

Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Korngrößenverteilung, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ÖNORM B 4416:1978

Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Grundsätze für die Durchführung und Auswertung von Scherversuchen, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ÖNORM B 4420:1989

Erd- und Grundbau; Untersuchung von Bodenproben; Grundsätze für die Durchführung und Auswertung von Kompressionsversuchen, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ÖNORM B 4422-1:1992

Erd- und Grundbau - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit - Laborprüfungen, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ÖNORM S 2074-2:2004

Geotechnik im Deponiebau, Teil 2: Erdarbeiten, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ISO 3535-1:2006

Statistics -- Vocabulary and symbols -- Part 1: General terms and terms used in

probability, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ÖNORM B 4411:2009

Geotechnik - Untersuchung von Bodenproben, Bestimmung von Fließ-, Plastizitäts- und Schrumpfgrenze unter Einbeziehung der VORNORM ÖNORM CEN ISO/TS 17892-12, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ÖNORM B 4418:2012

Geotechnik - Durchführung von Proctorversuchen im Erdbau unter Einbeziehung der ÖNORM EN 13286-2, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ÖNORM B 4810:2013

Prüfverfahren für mechanische und physikalische Eigenschaften von Gesteinskörnungen - Frostsicherheit von Gemischen für ungebundene Tragschichten im Straßen- und Flugplatzbau, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ÖNORM EN ISO 17892-1:2015

Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben, Teil 1: Bestimmung des Wassergehaltes, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ÖNORM B 4424:2016

Geotechnik - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung des organischen Anteils, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

ÖNORM EN ISO 17892-3:2015

Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben, Teil 3: Bestimmung der Korndichte, Österreichisches Normungsinstitut, Wien

Pohl, C. (2012)

Mineralische Abdichtungen im Erdbau - Möglichkeiten, Anwendungsgrenzen und Alternativen. In: Dietzel, M., Kieffer, S., Marte, R., Schubert, W., Schweiger, H.F. (Hrsg.) Planung und Ausführung von Abdichtungsmaßnahmen in der Geotechnik: Beiträge zum 27. Christian Veder Kolloquium, 12. und 13. April 2012, Graz. Gruppe Geotechnik Graz, Bd. 46, S. 273–288. Verl. der Technischen Universität Graz, Graz

Pöttsch, G., Busch, G. (2003)

Ziegelbruch - ein alternatives Dichtungsmaterial für Deponien. [http://www.deponiestief.de/pdf/abdichtung\\_pdf/minab\\_cb.pdf](http://www.deponiestief.de/pdf/abdichtung_pdf/minab_cb.pdf). Zugegriffen: 16. Juli 2017

## **8 Anhangverzeichnis**

- A. Korngrößenverteilungen
- B. Wassergehalte
- C. Korndichten
- D. Zustandsgrenzen
- E. Organische Anteile
- F. Wasseraufnahmevermögen
- G. Qualitative Mineralbestimmungen
- H. Proctorversuche
- I. Durchlässigkeitsbeiwerte
- J. Scherversuche
- K. Kompressionsversuche
- L. Erdbaulaborantentage

# ANHANG A

## KORNGRÖSSENVERTEILUNGEN

Labornummer	Bezeichnung
19685-1	Kieswäsche 2016
19685-2	Kieswäsche 2016
19685-3	Bentonit Ungarn
19685-4	Kieswäsche + 3,5 % Bentonit
19685-5	Kieswäsche + 1 % Bentonit
19685-6	Kieswäsche + 2 % Bentonit
19685-8	Kieswäsche + 3,5 % Bentonit
19685-9	Ziegelrecyclingmaterial
19685-10	Kieswäsche + 4 % Ziegelrecyclingmaterial
19685-11	Kieswäsche + 5,5 % Bentonit
19685-12	Kieswäsche - Damm 1
19685-13	Kieswäsche - Damm 2
19685-14	Kieswäsche - Damm 3
19685-15	Kieswäsche Tonmineralanalyse
19685-16	Ca-Bentonit Ungarn
19685-17	Tonmehl Ungarn
19685-18	Kieswäsche Damm fett
19685-19	Kieswäsche Kammerfilterpresse Produktion 2017
19685-20	Damm trocken
19685-21	Damm trocken + Kammerfilterpresse 2017 + 2 % Bentonit
19685-22	Damm trocken + Kammerfilterpresse 2017 + 3 % Bentonit
19685-24	Kieswäsche + Damm 1:1

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-1
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> 1,20m - 1,30m
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 15.02.17 - 16.02.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

**Ø [mm] %**

0,1250 99,9

#### Schlammmanalyse

**Ø [mm] %**

0,0556 87,3  
0,0418 77,7  
0,0314 66,5  
0,0216 48,8  
0,0133 33,7  
0,0079 27,0  
0,0049 22,1  
0,0029 18,3  
0,0015 15,3

Auftraggeber  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
7

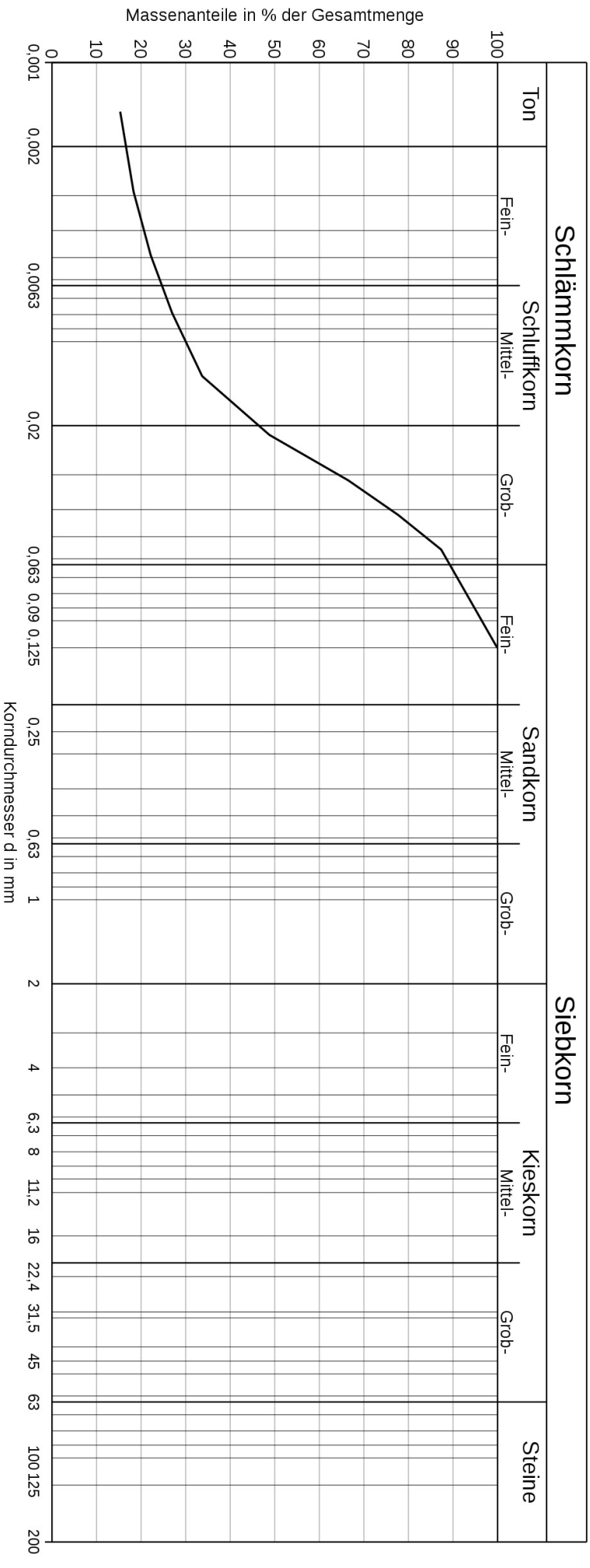
Bezeichnung  
Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
1,20m - 1,30m

Bearb.  
HapM

Datum  
15.02.17 - 16.02.17

## KÖRNUSSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-1	—	-	16,6	72,8	-	-	-	0,063; 10,7	cl Si	<0,002	0,0100mm	0,0274mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-2
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 15.02.17 - 16.02.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

**Ø [mm] %**

0,1250 99,9

#### Schlämmanalyse

**Ø [mm] %**

0,0568 87,3  
0,0426 77,3  
0,0315 68,3  
0,0219 47,3  
0,0134 33,3  
0,0079 25,3  
0,0049 20,3  
0,0029 17,3  
0,0015 13,6



Auftraggeber  
 Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
 Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
 7

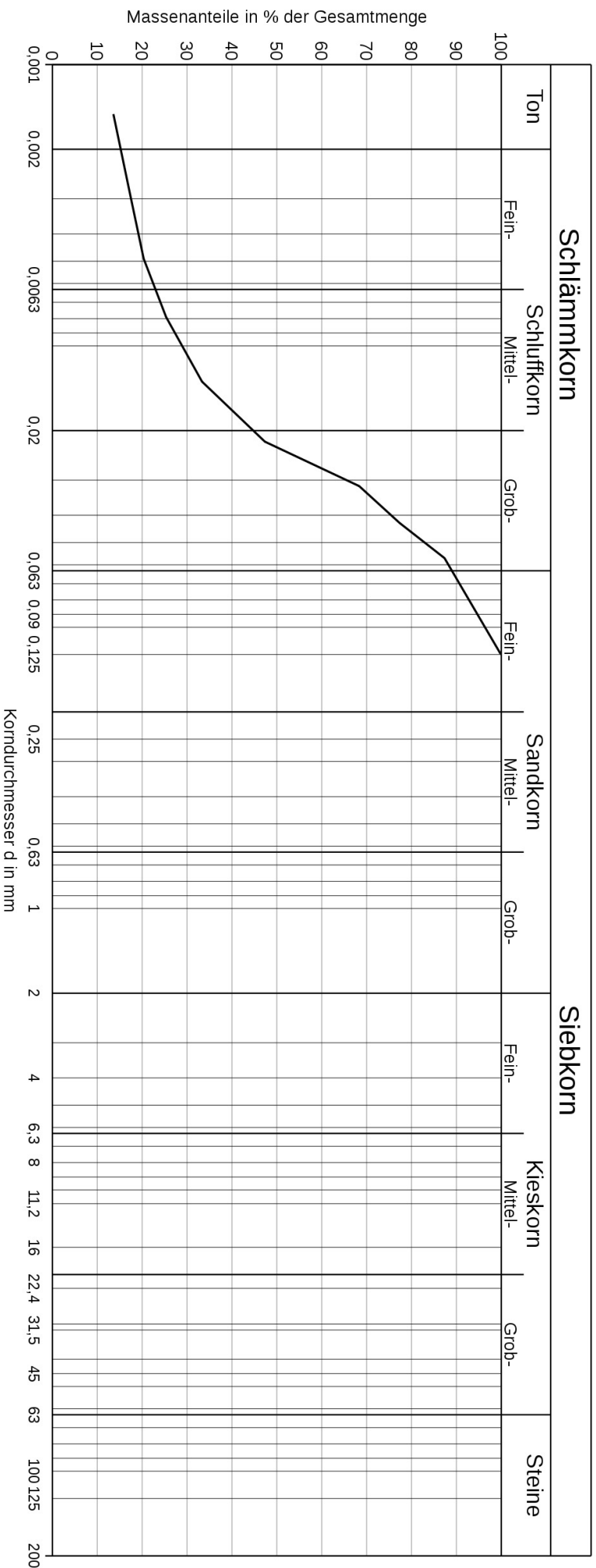
Bezeichnung  
 Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
 -

Bearb.  
 HapM

Datum  
 15.02.17 - 16.02.17

## KÖRNUNGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-2	—	-	15,2	73,9	-	-	-	0,063: 11,0	cl Si	<0,002	0,0107mm	0,0273mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-3
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 08.03.17 - 09.03.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0614	93,8
0,0444	89,4
0,0321	84,9
0,0207	81,2
0,0121	78,2
0,0071	74,1
0,0044	70,4
0,0026	65,6
0,0013	62,6

Auftraggeber  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
7

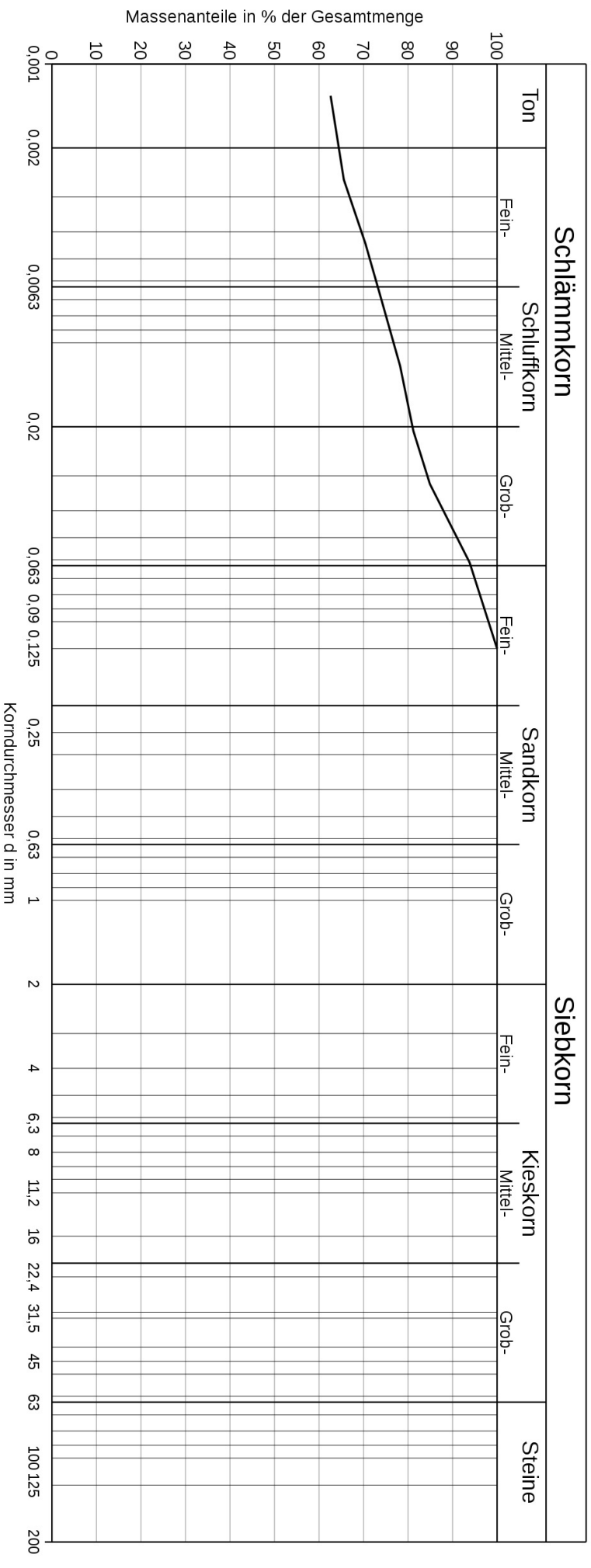
Bezeichnung  
Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
-

Bearb.  
HapM

Datum  
08.03.17 - 09.03.17

## KÖRNUNGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-3	—	-	64,4	29,7	5,9	-	-	-	sa' si' Cl	<0,002	<0,002	<0,002	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-4
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 08.03.17 - 10.03.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

**Ø [mm] %**

0,1250 100,0

#### Schlämmanalyse

**Ø [mm] %**

0,0567 88,7  
0,0420 80,5  
0,0326 61,9  
0,0219 48,0  
0,0132 35,8  
0,0079 28,0  
0,0049 22,2  
0,0029 19,5  
0,0015 16,5

Auftraggeber  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
7

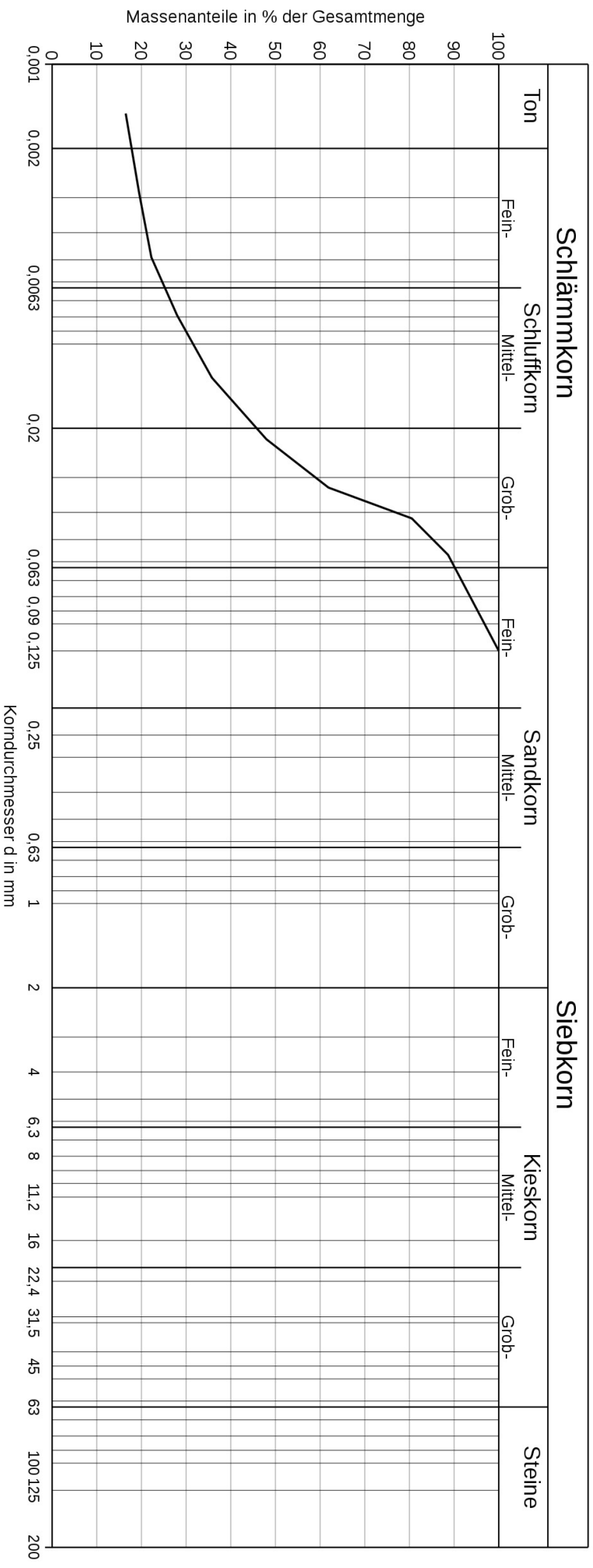
Bezeichnung  
Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
-

Bearb.  
HapM

Datum  
08.03.17 - 10.03.17

## KÖRNUINGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-4	—	-	17,8	72,4	9,8	-	-	-	sa' cl Sl	<0,002	0,0090mm	0,0309mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-5
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 16.03.17 - 17.03.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0582	86,4
0,0436	75,3
0,0328	62,0
0,0222	44,9
0,0135	31,4
0,0080	24,0
0,0049	20,2
0,0029	16,7
0,0015	14,6

Auftraggeber  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
7

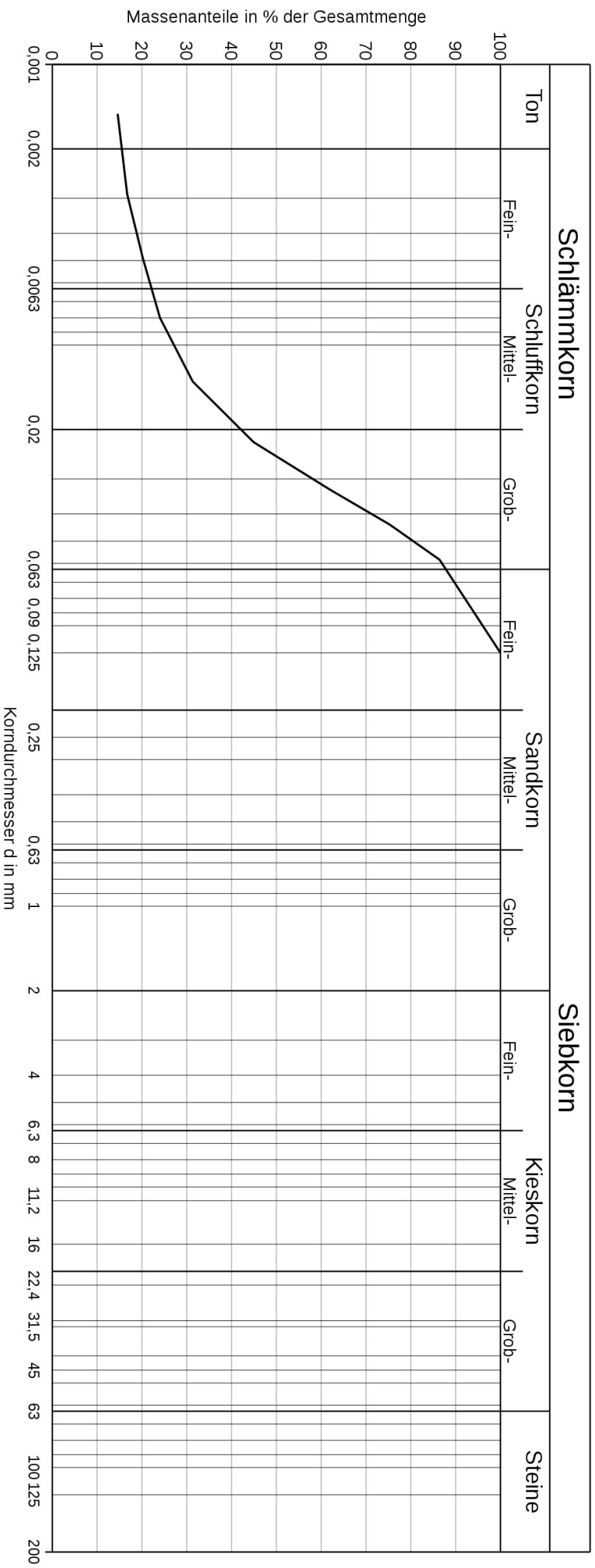
Bezeichnung  
Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
-

Bearb.  
HapM

Datum  
16.03.17 - 17.03.17

## KÖRNUINGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-5	—	-	15,5	72,3	12,2	-	-	-	sa' cl Sl	<0,002	0,0123mm	0,0313mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-6
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 16.03.17 - 17.03.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0576	88,2
0,0433	76,4
0,0324	64,5
0,0222	44,7
0,0135	31,1
0,0079	24,4
0,0049	20,6
0,0029	17,1
0,0015	14,6



Auftraggeber  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
7

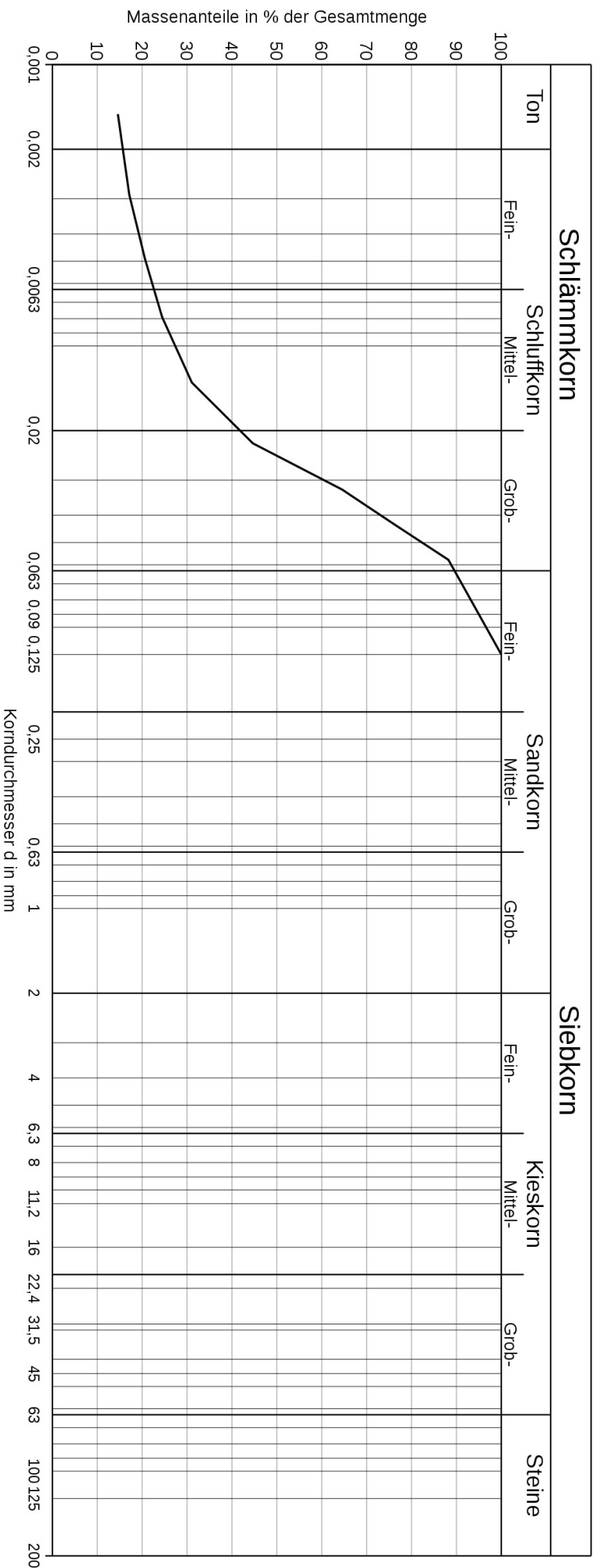
Bezeichnung  
Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
-

Bearb.  
HapM

Datum  
16.03.17 - 17.03.17

## KÖRNUNGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-6	—	-	15,7	73,9	10,4	-	-	-	sa' cl Sl	<0,002	0,0124mm	0,0297mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-8
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 22.03.17 - 24.03.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0581	84,7
0,0430	76,1
0,0324	62,6
0,0219	46,0
0,0133	32,8
0,0078	26,9
0,0049	22,4
0,0028	19,3
0,0014	16,5

Auftraggeber  
 Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
 Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
 7

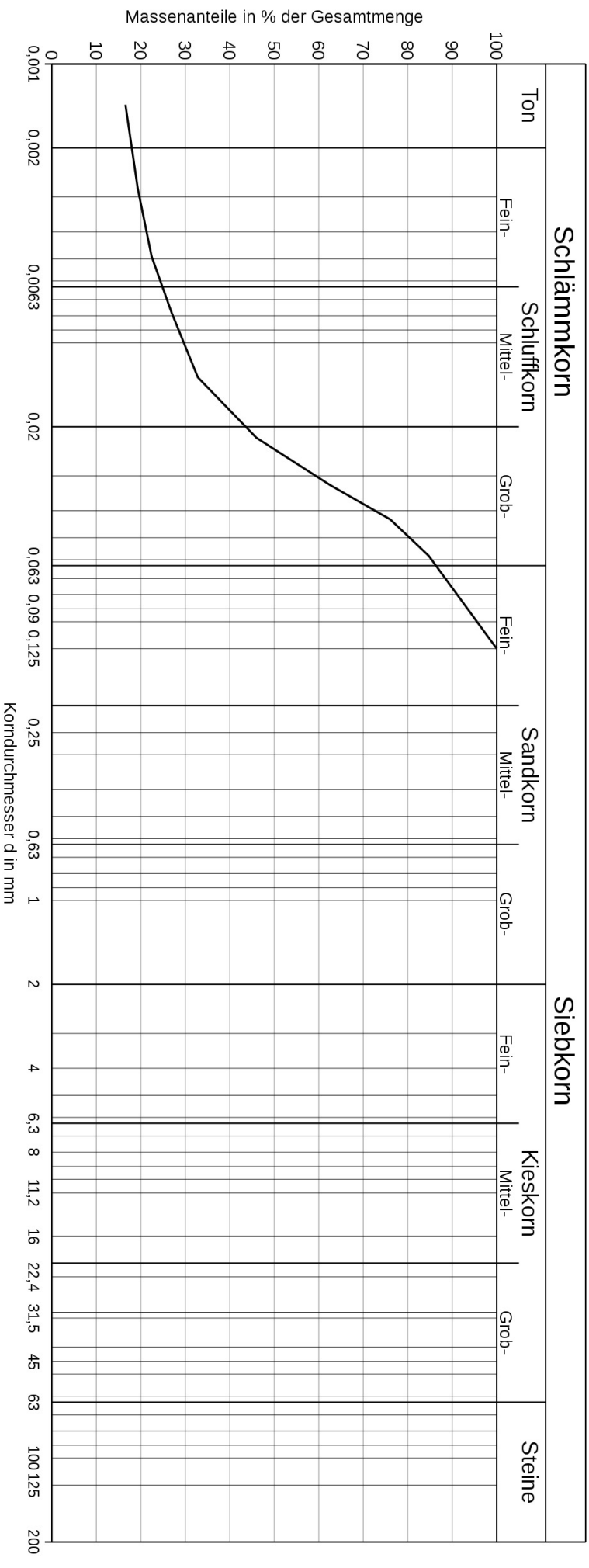
Bezeichnung  
 Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
 -

Bearb.  
 HapM

Datum  
 22.03.17 - 24.03.17

## KÖRNUSSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-8	—	-	18,0	68,3	13,7	-	-	-	sa' cl Sl	<0,002	0,0103mm	0,0305mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-9
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 03.04.17 - 05.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0630	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0560	97,4
0,0403	94,6
0,0287	93,5
0,0185	90,3
0,0120	65,2
0,0085	7,4
0,0053	3,1
0,0015	0,3
0,0031	0,3

Auftraggeber  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
7

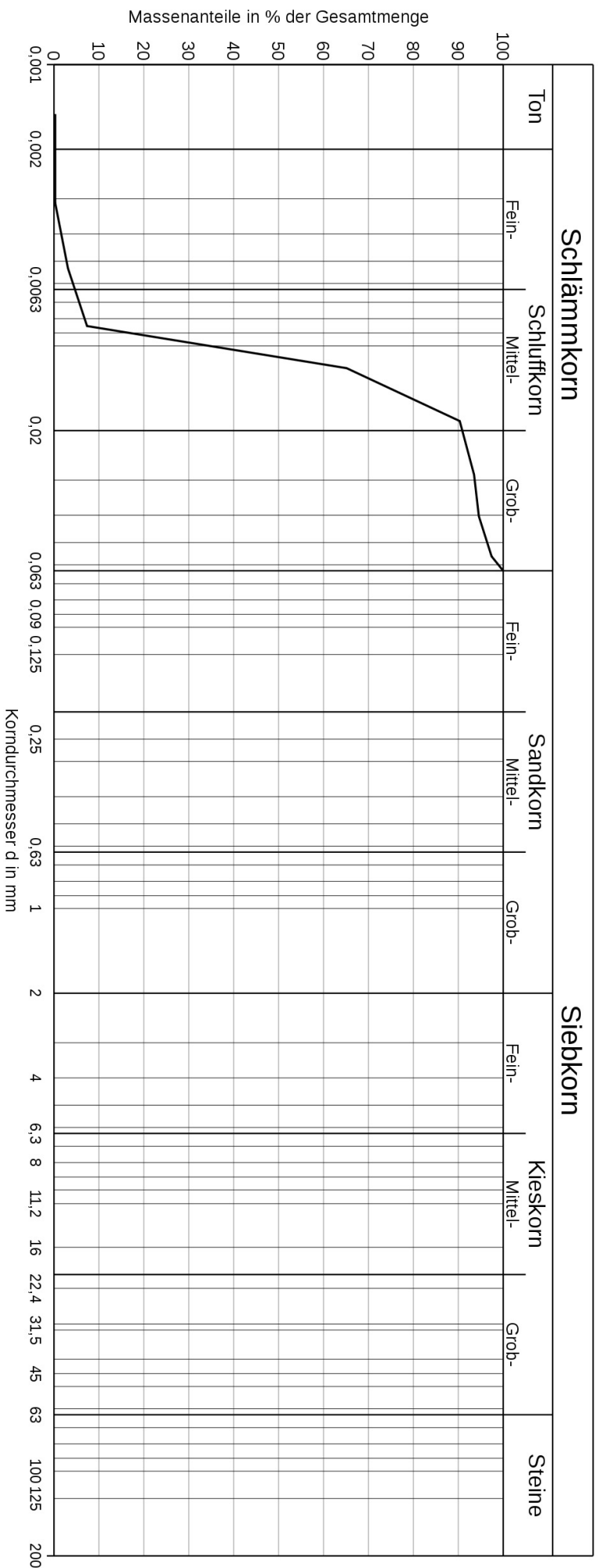
Bezeichnung  
Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
-

Bearb.  
HapM

Datum  
03.04.17 - 05.04.17

## KÖRNUINGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-9	—	-	0,3	99,7	-	-	-	-	Sl	0,0086mm	0,0097mm	0,0116mm	1,35	0,94

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-10
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 04.04.17 - 07.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0573	86,2
0,0422	78,6
0,0316	66,9
0,0213	52,4
0,0128	41,0
0,0076	32,0
0,0048	22,3
0,0028	16,8
0,0014	13,1

Auftraggeber  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
7

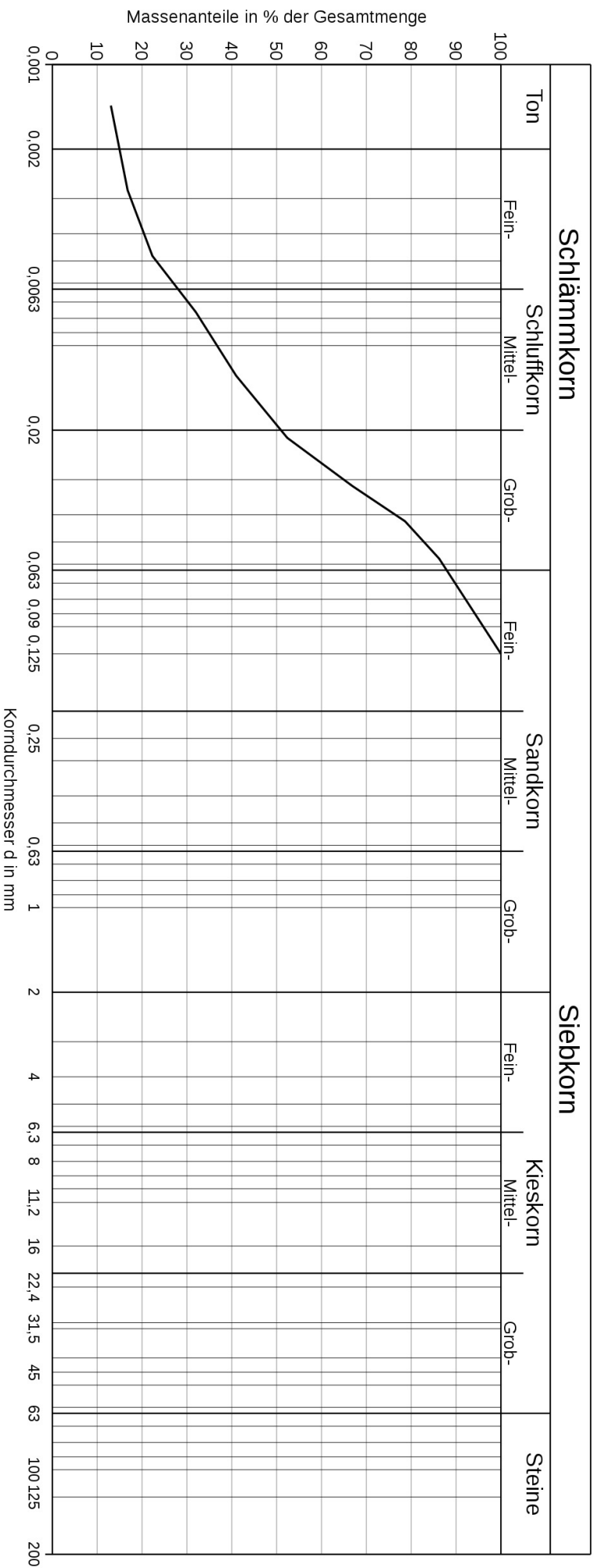
Bezeichnung  
Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
-

Bearb.  
HapM

Datum  
04.04.17 - 07.04.17

## KÖRNUSSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-10	—	-	15,0	72,9	12,1	-	-	-	sa' cl' Si	<0,002	0,0069mm	0,0262mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-11
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 09.04.17 - 11.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0585	84,8
0,0434	75,4
0,0325	63,2
0,0220	45,8
0,0134	32,6
0,0079	26,7
0,0049	22,5
0,0029	18,7
0,0014	18,0



Auftraggeber  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
7

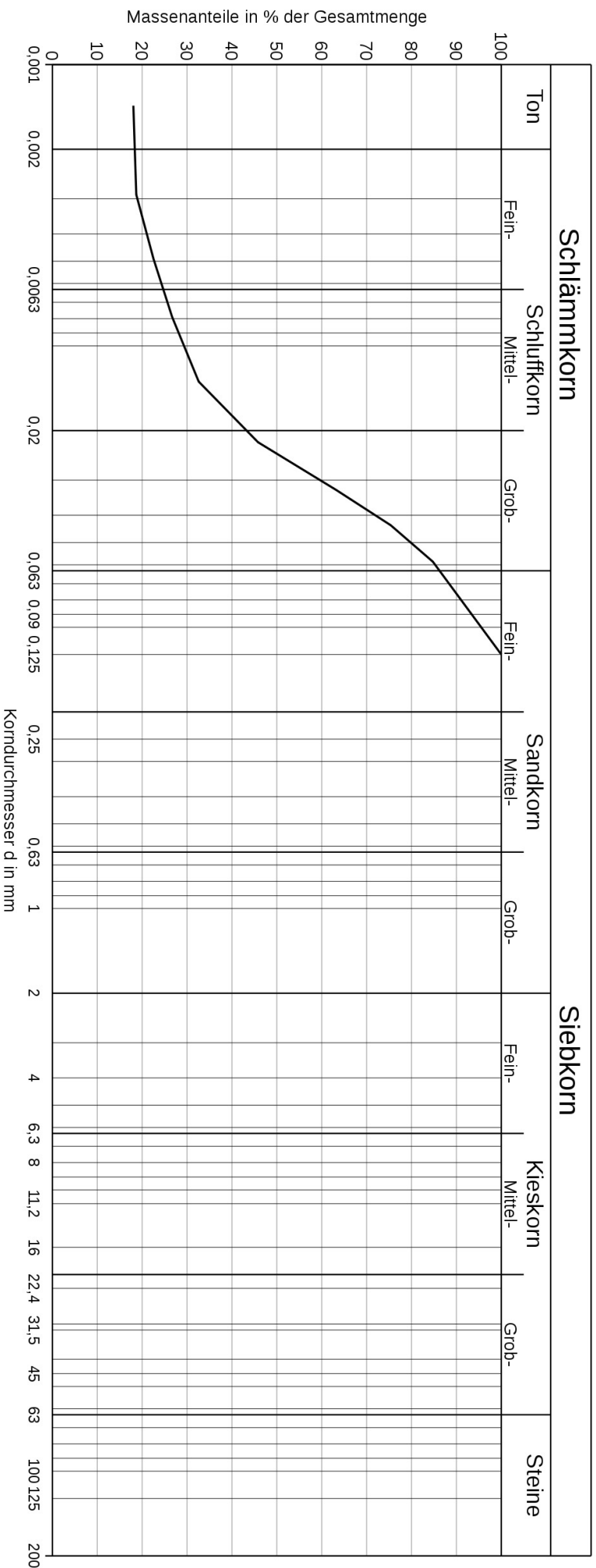
Bezeichnung  
Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
-

Bearb.  
HapM

Datum  
09.04.17 - 11.04.17

## KÖRNUINGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-11	—	-	18,4	67,8	13,8	-	-	-	sa' cl Sl	<0,002	0,0106mm	0,0302mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-12
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 11.04.17 - 13.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlammmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0559	93,9
0,0403	90,4
0,0296	83,4
0,0198	72,2
0,0121	58,1
0,0073	46,1
0,0046	37,0
0,0028	28,9
0,0014	20,2

Auftraggeber  
 Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
 Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
 7

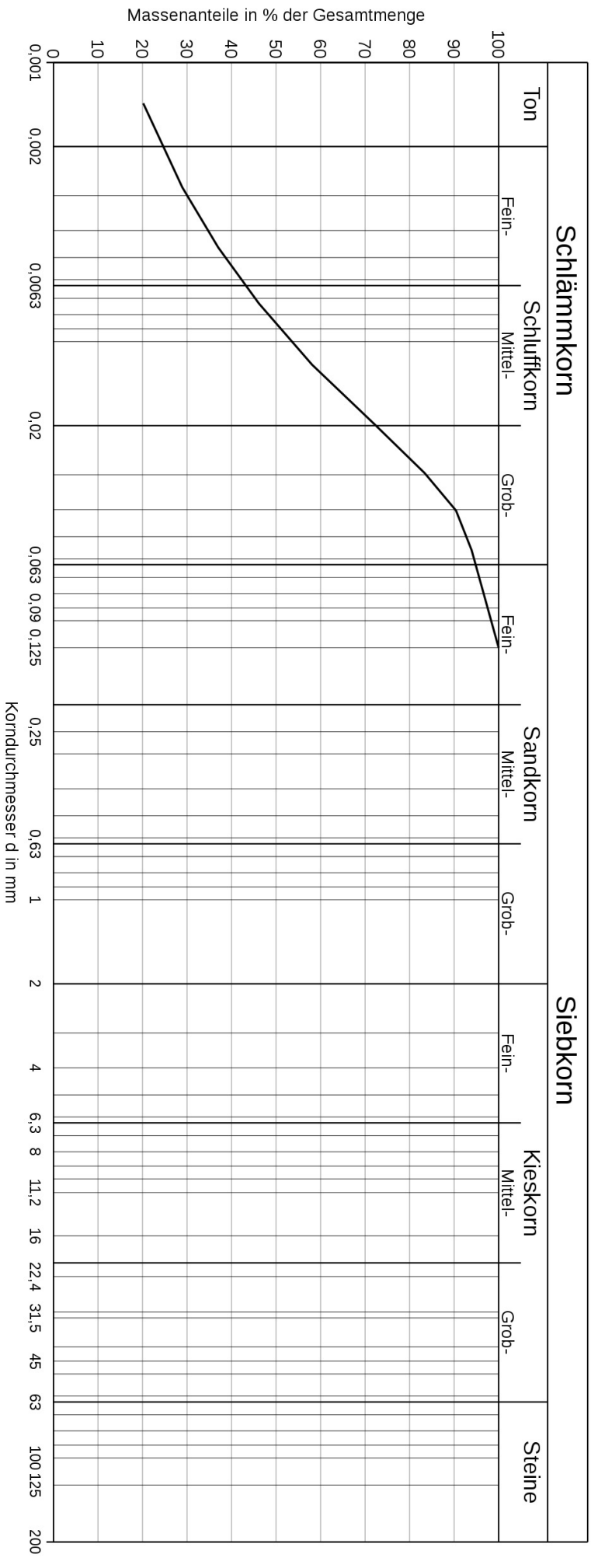
Bezeichnung  
 Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
 -

Bearb.  
 HapM

Datum  
 11.04.17 - 13.04.17

## KÖRNUSSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-12	—	-	24,7	70,1	5,2	-	-	-	sa' cl Sl	<0,002	0,0030mm	0,0129mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-13
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 11.04.17 - 13.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0545	91,9
0,0396	87,5
0,0295	77,8
0,0202	61,2
0,0125	44,7
0,0075	33,9
0,0047	26,1
0,0028	20,1
0,0014	13,9

Auftraggeber  
 Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
 Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
 7

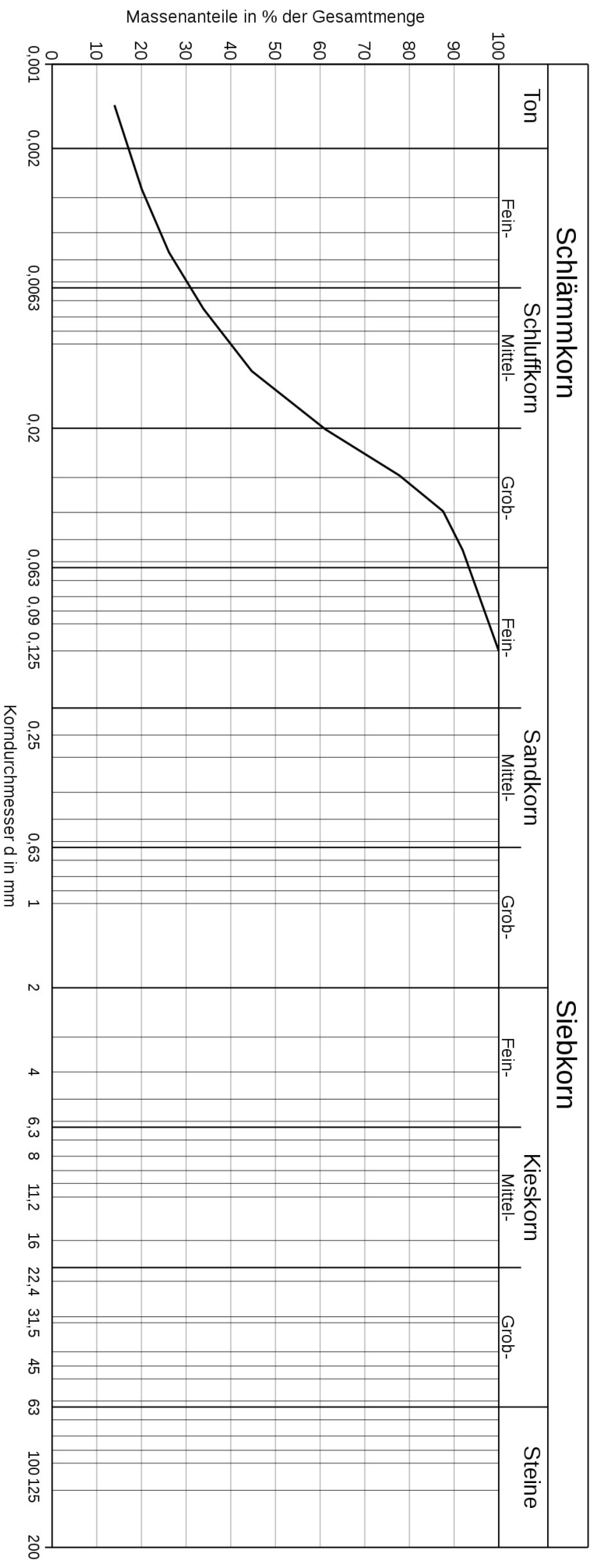
Bezeichnung  
 Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
 -

Bearb.  
 HapM

Datum  
 11.04.17 - 13.04.17

## KÖRNUNGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-13	—	-	17,1	76,2	6,7	-	-	-	sa' cl Sl	<0,002	0,0059mm	0,0195mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-14
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 11.04.17 - 13.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0526	94,2
0,0381	90,7
0,0284	83,0
0,0193	70,3
0,0119	57,8
0,0072	46,0
0,0046	37,4
0,0027	29,4
0,0014	21,5

Auftraggeber  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
7

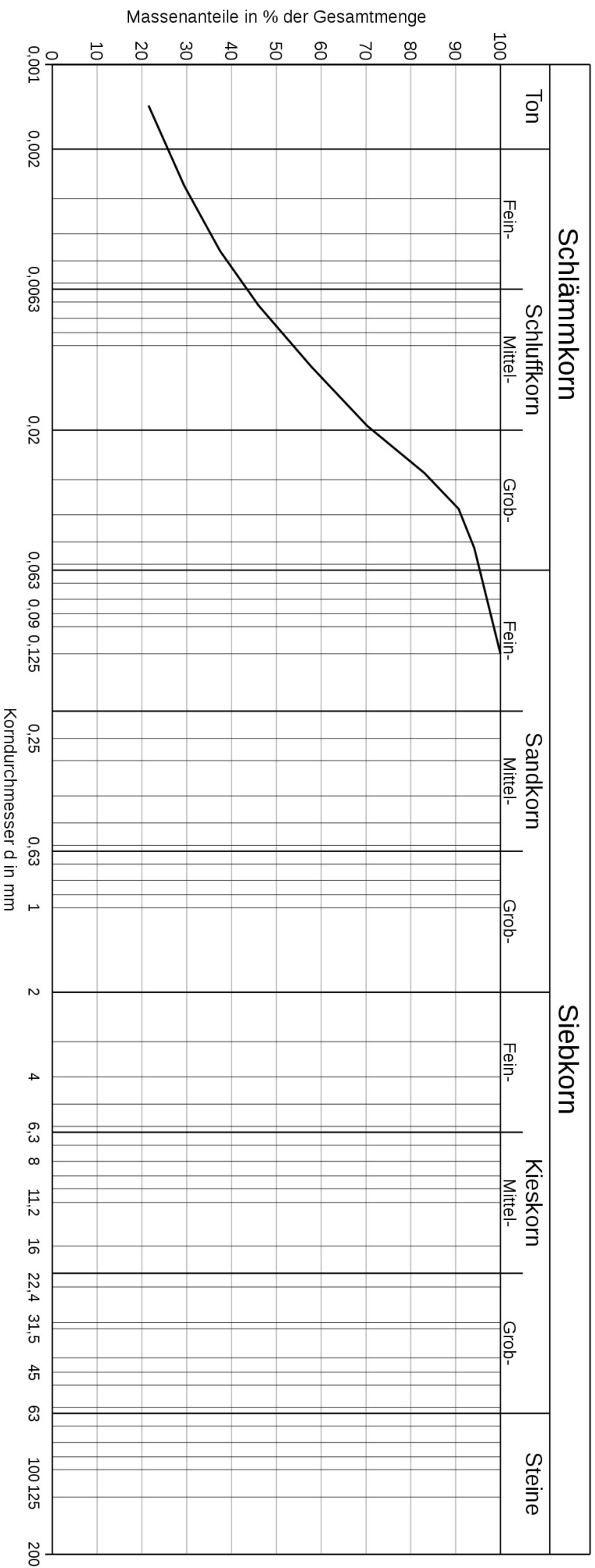
Bezeichnung  
Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
-

Bearb.  
HapM

Datum  
11.04.17 - 13.04.17

## KÖRNUINGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-14	—	-	25,8	69,6	4,6	-	-	-	sa" cl Si	<0,002	0,0028mm	0,0130mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-15
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 11.04.17 - 13.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0577	83,8
0,0426	75,3
0,0321	61,9
0,0218	44,1
0,0133	30,1
0,0078	23,9
0,0049	19,5
0,0028	16,1
0,0015	12,7



Auftraggeber  
 Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
 Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
 7

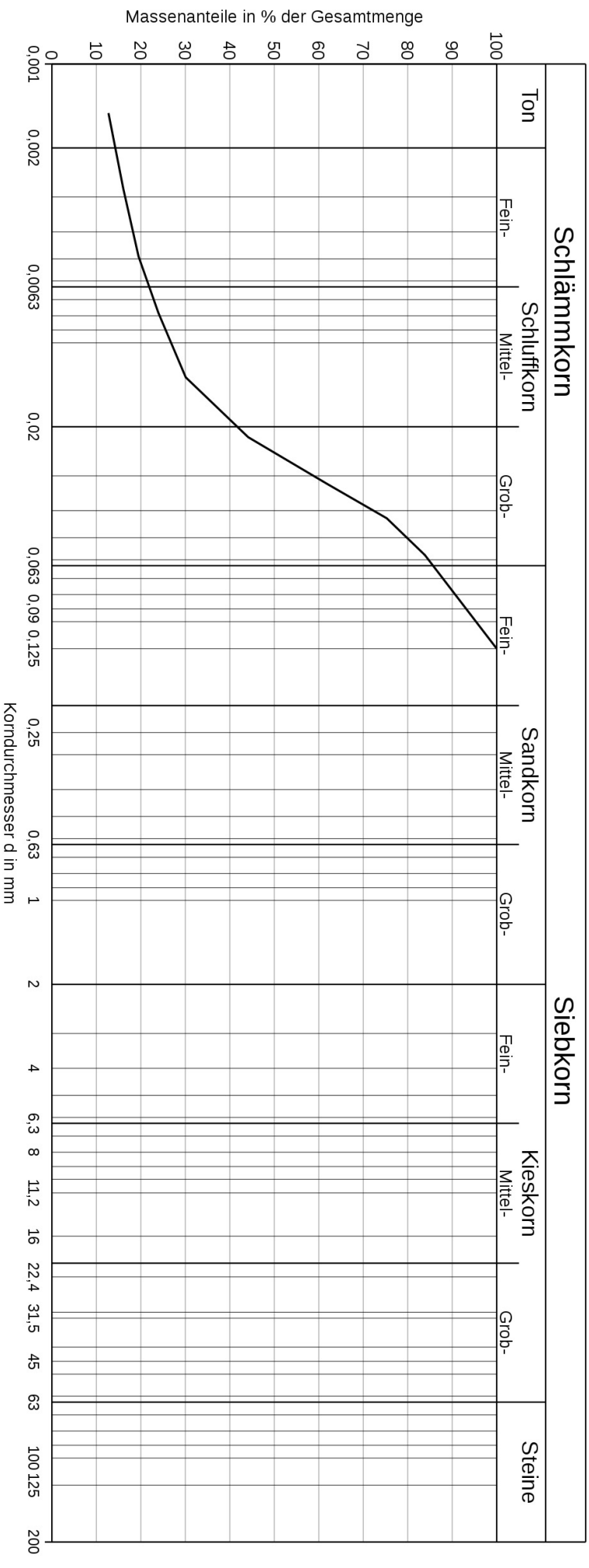
Bezeichnung  
 Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
 -

Bearb.  
 HapM

Datum  
 11.04.17 - 13.04.17

## KÖRNUSSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-15	—	-	14,3	71,4	14,3	-	-	-	cl' sa' Sl	<0,002	0,0132mm	0,0308mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-16
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 12.04.17 - 14.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0612	97,8
0,0437	95,8
0,0312	93,8
0,0203	87,8
0,0121	79,1
0,0074	66,4
0,0047	52,1
0,0031	42,6
0,0015	20,9

Auftraggeber  
 Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
 Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
 7

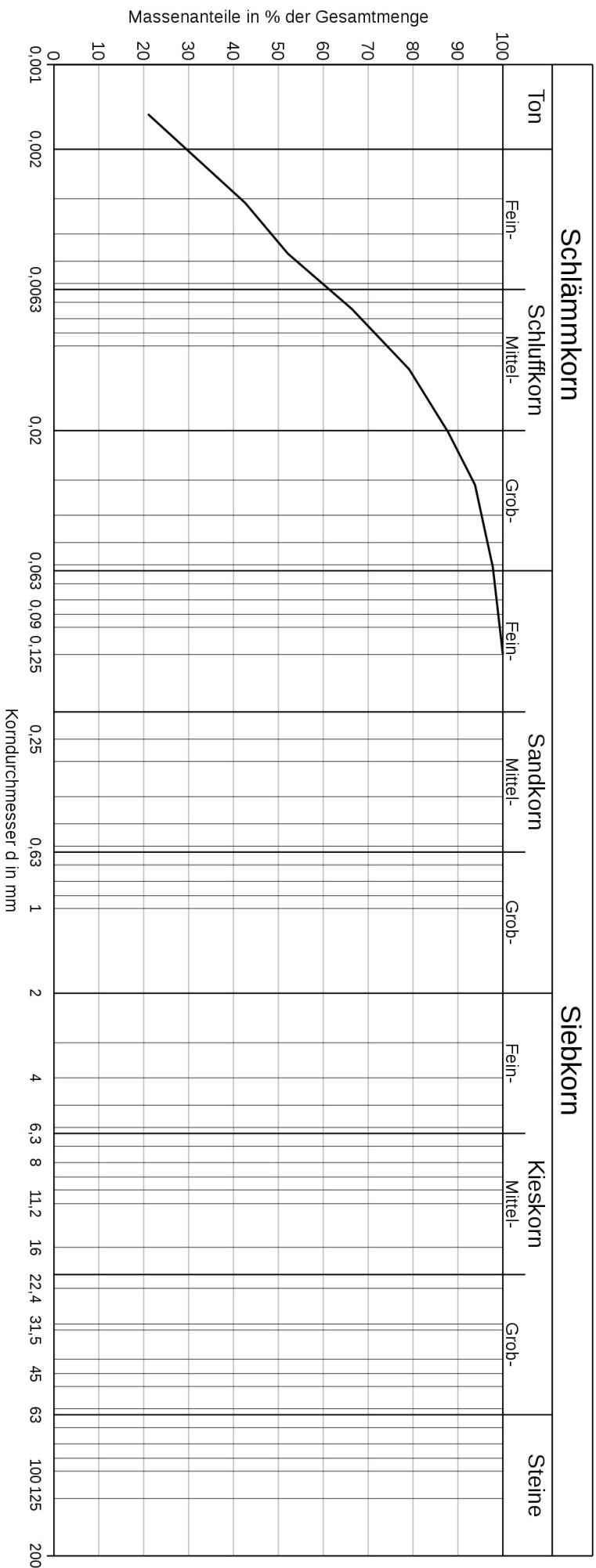
Bezeichnung  
 Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
 -

Bearb.  
 HapM

Datum  
 12.04.17 - 14.04.17

## KÖRNUINGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-16	—	-	29,5	68,4	2,1	-	-	-	sa" cl Sl	<0,002	0,0020mm	0,0060mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-17
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 12.04.17 - 14.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

<b>Ø [mm]</b>	<b>%</b>
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

<b>Ø [mm]</b>	<b>%</b>
0,0564	96,0
0,0404	93,8
0,0289	91,7
0,0187	86,9
0,0113	78,5
0,0069	65,1
0,0044	54,5
0,0026	46,5
0,0014	34,0

Auftraggeber  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
7

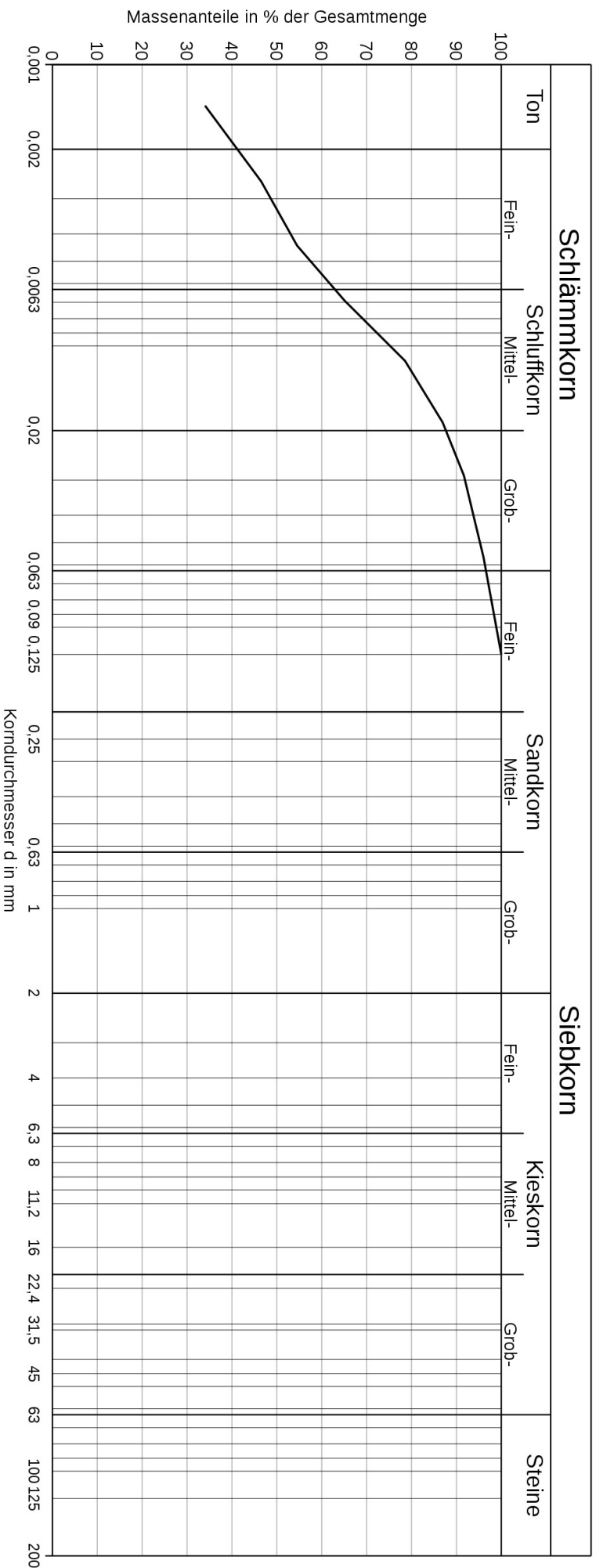
Bezeichnung  
Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
-

Bearb.  
HapM

Datum  
12.04.17 - 14.04.17

## KÖRNUSSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-17	—	-	41,2	55,4	3,4	-	-	-	sa''t'SI	<0,002	<0,002	0,0056mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-18
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 16.04.17 - 17.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0508	95,7
0,0364	94,1
0,0259	93,2
0,0166	91,7
0,0101	83,6
0,0064	69,0
0,0042	54,2
0,0026	39,9
0,0014	26,6

Auftraggeber  
 Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
 Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
 7

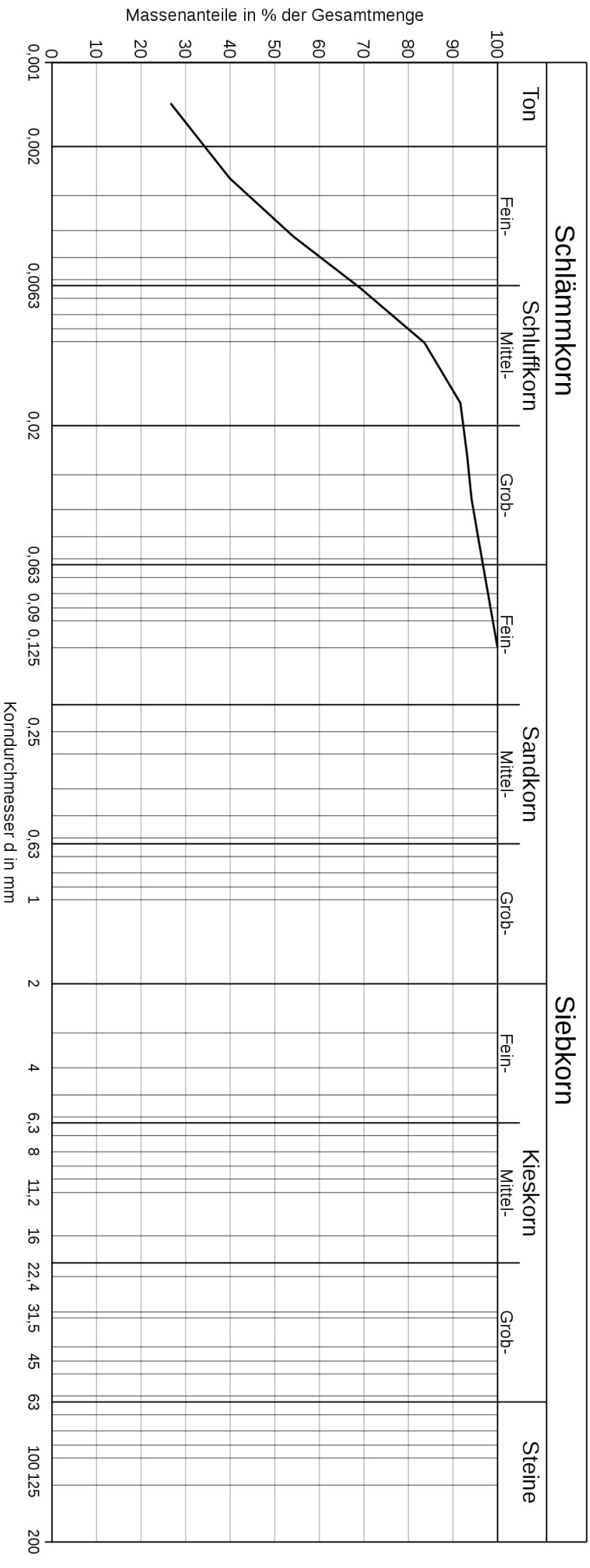
Bezeichnung  
 Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
 -

Bearb.  
 HapM

Datum  
 16.04.17 - 17.04.17

## KÖRNUINGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-18	—	-	34,2	62,5	3,3	-	-	-	sa"t" Si	<0,002	0,0016mm	0,0050mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-19
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 14.04.17 - 17.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0563	89,9
0,0418	81,2
0,0316	67,4
0,0215	50,1
0,0137	33,9
0,0078	25,6
0,0049	21,1
0,0028	18,0
0,0015	14,0



**Auftraggeber**  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

**Projekt**  
Masterarbeit Happenhofer Martin

**Proj. Nr.**  
7

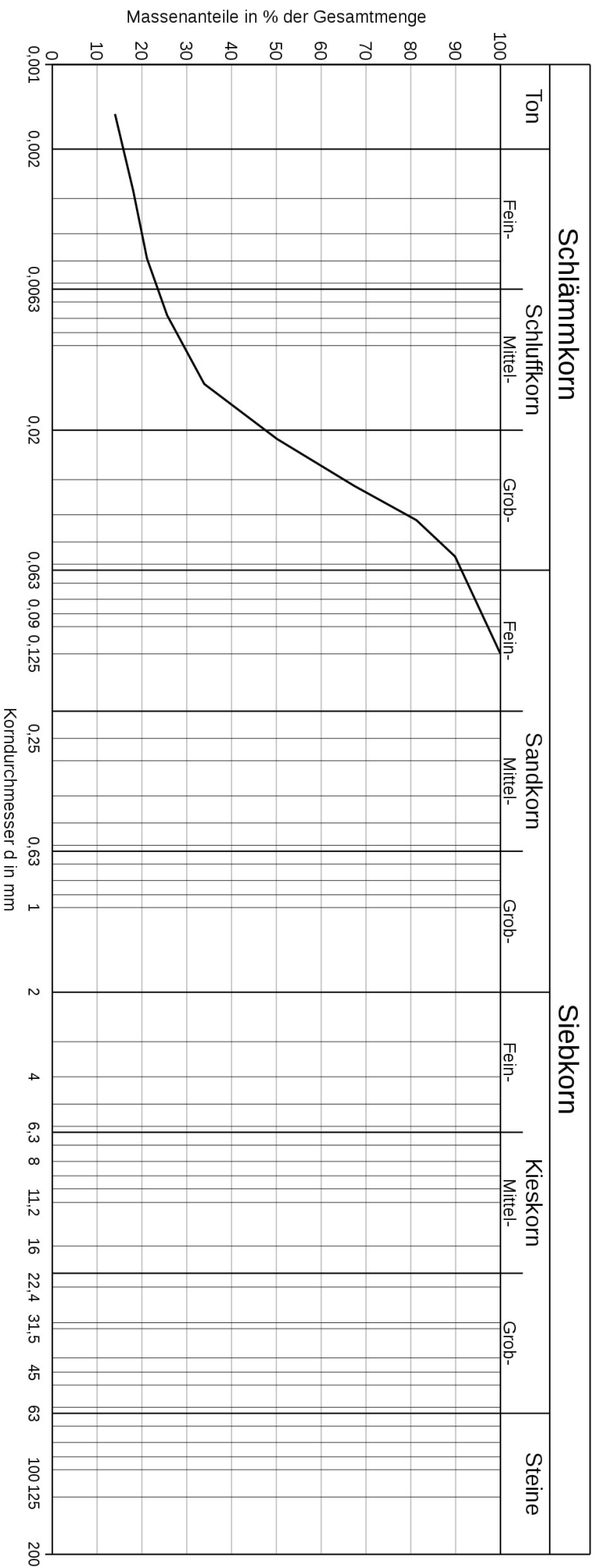
**Bezeichnung**  
Basisabdichtung Deponie

**Tiefe**  
-

**Bearb.**  
HapM

**Datum**  
14.04.17 - 17.04.17

## KÖRNUINGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-19	—	-	15,9	75,4	8,7	-	-	-	sa' cl Sl	<0,002	0,0105mm	0,0268mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-20
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 14.04.17 - 17.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0533	96,7
0,0388	92,3
0,0287	85,0
0,0196	71,0
0,0121	56,0
0,0073	45,6
0,0046	36,0
0,0028	28,3
0,0014	19,9

Auftraggeber  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
7

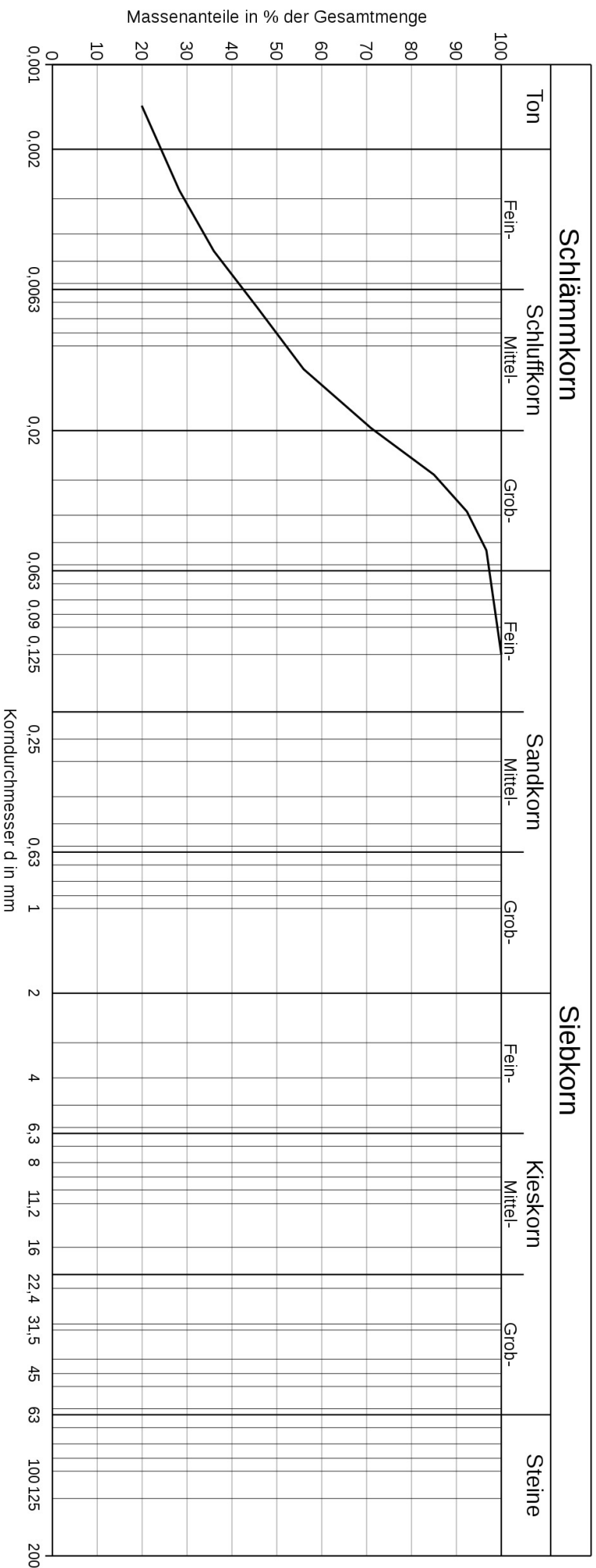
Bezeichnung  
Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
-

Bearb.  
HapM

Datum  
14.04.17 - 17.04.17

## KÖRNUNGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-20	—	-	24,2	73,1	2,7	-	-	-	sa" cl Si	<0,002	0,0031mm	0,0138mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-21
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 14.04.17 - 17.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0535	94,5
0,0391	89,2
0,0294	79,2
0,0202	63,0
0,0125	47,4
0,0075	38,5
0,0047	30,8
0,0028	26,5
0,0014	20,1

Auftraggeber  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
7

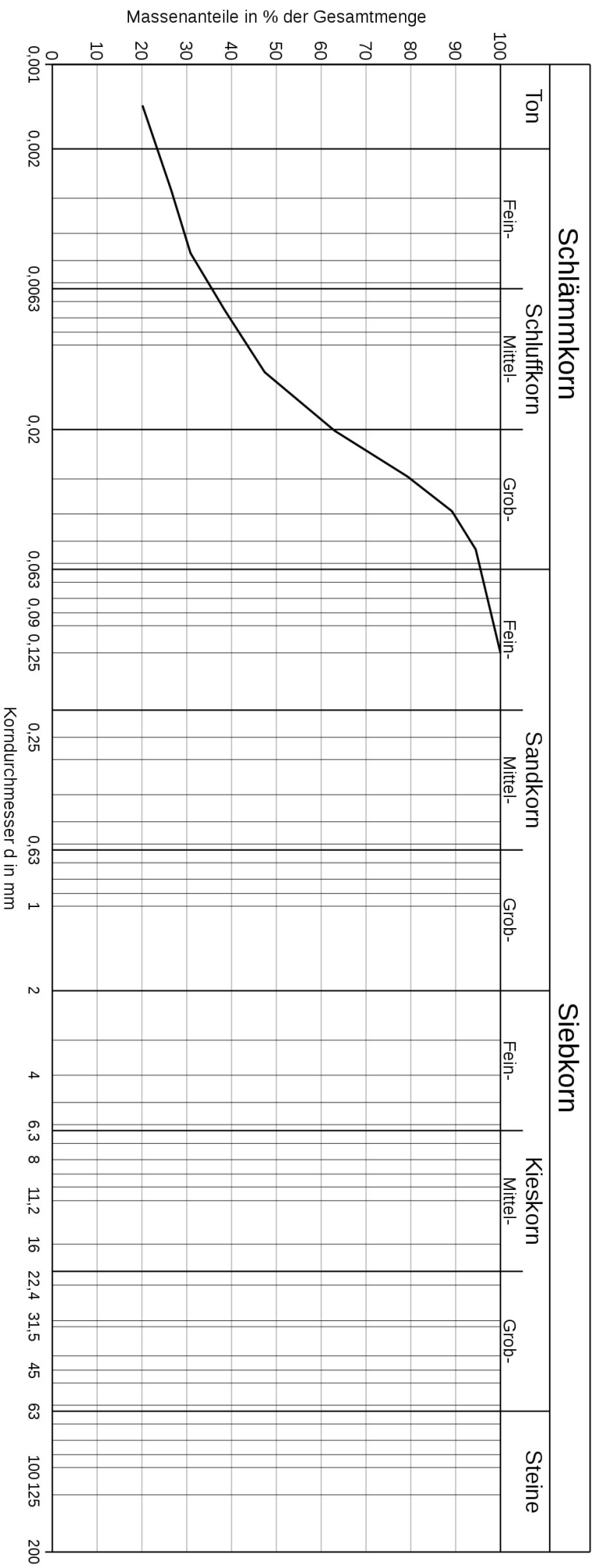
Bezeichnung  
Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
-

Bearb.  
HapM

Datum  
14.04.17 - 17.04.17

## KÖRNUSSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-21	—	-	23,4	72,1	4,5	-	-	-	sa" cl Si	<0,002	0,0043mm	0,0184mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-22
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 14.04.17 - 17.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlämmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0517	97,8
0,0382	91,3
0,0287	81,5
0,0199	64,9
0,0122	51,2
0,0074	40,7
0,0046	33,6
0,0027	28,0
0,0014	21,4

Auftraggeber  
 Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
 Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
 7

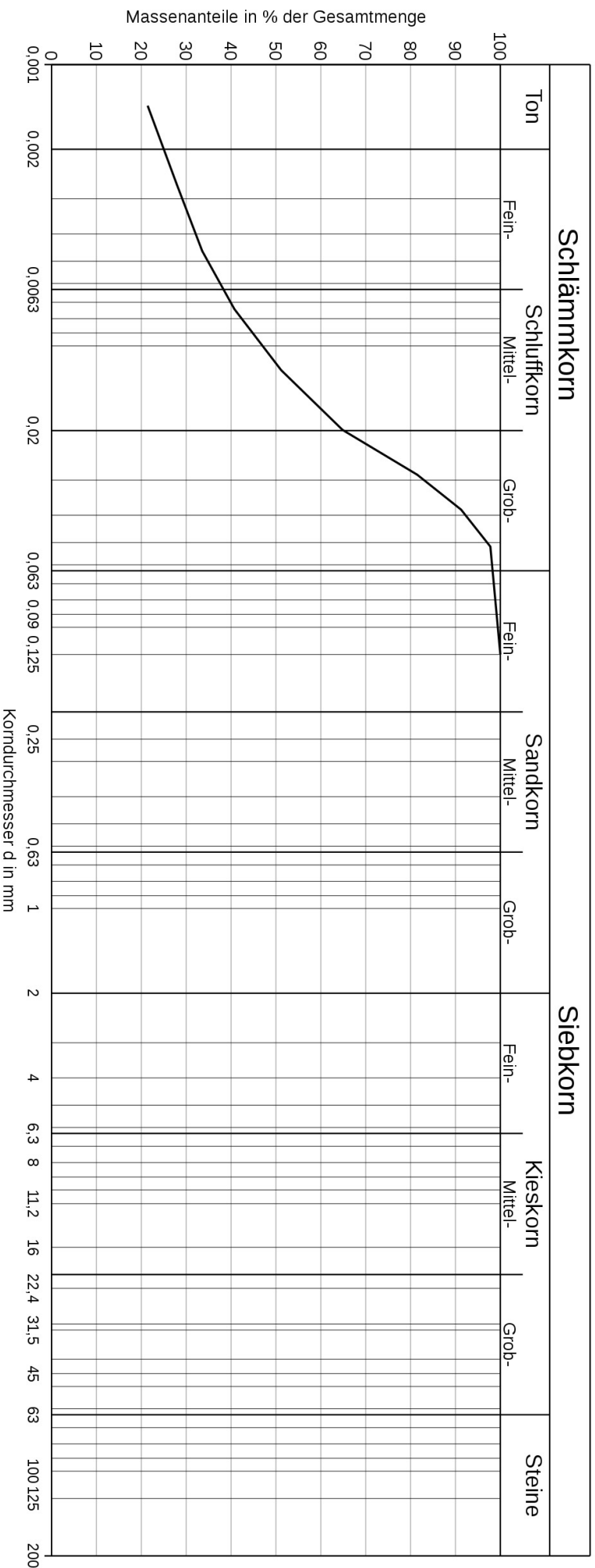
Bezeichnung  
 Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
 -

Bearb.  
 HapM

Datum  
 14.04.17 - 17.04.17

## KÖRNUSSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-22	—	-	25,0	73,3	1,7	-	-	-	cl Si	<0,002	0,0033mm	0,0167mm	-	-

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19685-24
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM
<b>Bezeichnung:</b> Basisabdichtung Deponie	<b>Datum:</b> 25.04.17 - 27.04.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,1250	100,0

#### Schlammmanalyse

$\varnothing$ [mm]	%
0,0540	94,7
0,0390	91,2
0,0295	79,3
0,0201	63,9
0,0122	51,6
0,0073	41,7
0,0046	35,2
0,0027	27,4
0,0014	23,1



Auftraggeber  
 Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
 Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
 7

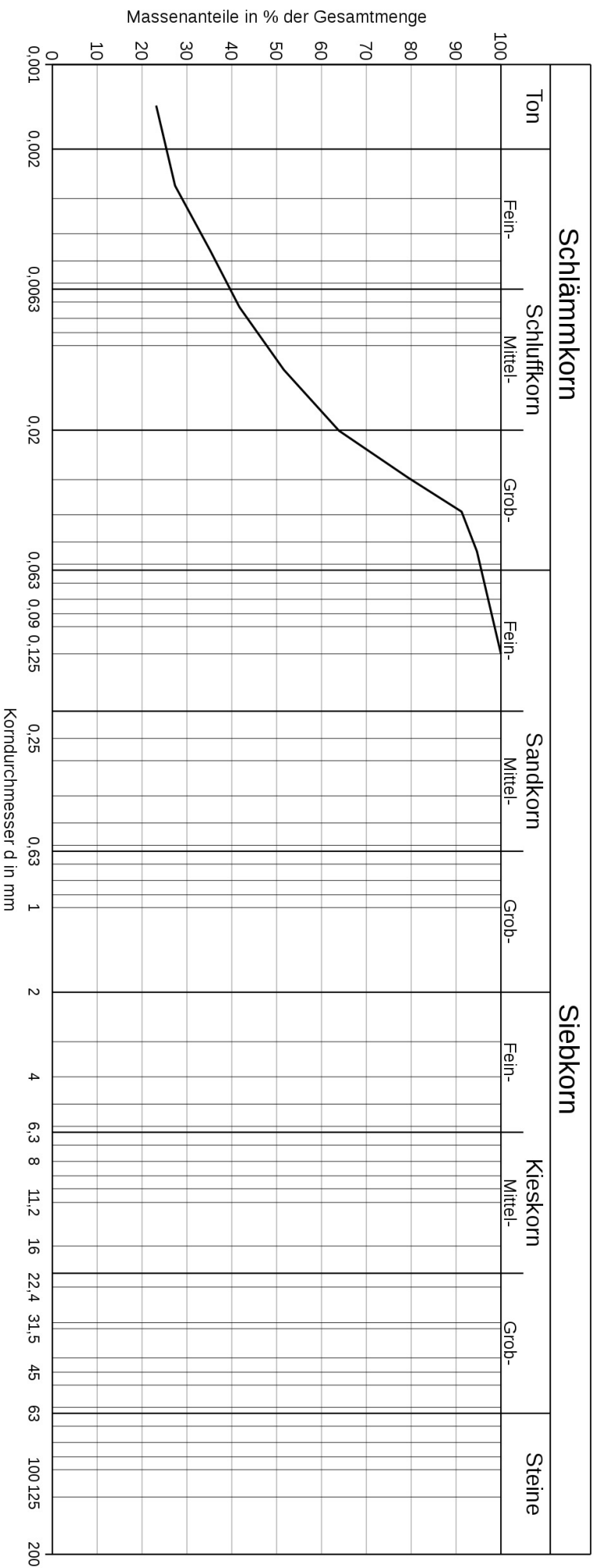
Bezeichnung  
 Basisabdichtung Deponie

Tiefe  
 -

Bearb.  
 HapM

Datum  
 25.04.17 - 27.04.17

## KÖRNUSSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19685-24	—	-	25,4	70,2	4,4	-	-	-	sa" cl Si	<0,002	0,0032mm	0,0172mm	-	-

# ANHANG B

## WASSERGEHALT

<b>Labornummer</b>	<b>Bezeichnung</b>
19685-74	Wassergehalt Schlammteich
19685-75	Wassergehalt Schlammteich und Filterpresse



**INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU  
GEOTECHNISCHES LABOR**

RECHBAUERSTRASSE 12, 8010 GRAZ, AUSTRIA  
Tel: +43(0)316/873-6237 Fax: +43(0)316/873-6238



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Schlammteich	LABORNUMMER: 19685-74
	TIEFE 2,0	PROJEKTNUMMER 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: HAPM	DATUM: 4/12/2017

# WASSERGEHALT

Behälter		201	202	204	206	207				
Probe feucht + Behälter	g	745.1	1126.2	931.8	508.6	259.3				
Probe trocken + Behälter	g	645.1	996.3	811.3	471.2	239.3				
Masse Behälter	g	120.8	120.6	14.2	221.9	123.7				
Masse Probe feucht	g	624.3	1005.6	917.6	286.7	135.6				
Masse Probe trocken	g	524.3	875.7	797.1	249.3	115.6				
Masse Wasser	g	100.0	129.9	120.5	37.4	20.0				
<b>Wassergehalt</b>	<b>%</b>	<b>19.1</b>	<b>14.8</b>	<b>15.1</b>	<b>15.0</b>	<b>17.3</b>				

ANMERKUNG:



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: FP & ST	LABORNUMMER: 19685-75
	TIEFE -	PROJEKTNUMMER 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 4/19/2017

## WASSERGEHALT

Behälter		FP	FP	ST 1	ST 2	ST 3	ST 4	ST 5	ST 6	ST 7
Probe feucht + Behälter	g	2572.80	217.60	445.80	305.60	562.80	479.00	745.10	1126.20	931.80
Probe trocken + Behälter	g	2209.20	194.60	384.50	265.10	506.80	439.00	645.10	996.30	811.30
Masse Behälter	g	621.00	94.10	158.70	120.60	205.80	210.20	120.80	120.60	163.90
Masse Probe feucht	g	1951.80	123.50	287.10	185.00	357.00	268.80	624.30	1005.60	767.90
Masse Probe trocken	g	1588.20	100.50	225.80	144.50	301.00	228.80	524.30	875.70	647.40
Masse Wasser	g	363.60	23.00	61.30	40.50	56.00	40.00	100.00	129.90	120.50
<b>Wassergehalt</b>	<b>%</b>	<b>22.89</b>	<b>22.89</b>	<b>27.15</b>	<b>28.03</b>	<b>18.60</b>	<b>17.48</b>	<b>19.07</b>	<b>14.83</b>	<b>18.61</b>

**ANMERKUNG:**

FP = Material aus der Filterpresse

ST = Material vom Schlammteich

# ANHANG C

## KORNDICHTEN

<b>Labornummer</b>	<b>Bezeichnung</b>
19685-50	Kieswäsche
19685-51	Bentonit
19685-52	Kieswäsche + 3,5 % Bentonit
19685-64	Ziegelrecyclingmaterial
19685-65	Kieswäsche 2017
19685-73	Korndichte - Kieswaesche 2017 + Damm Mischung 1 1
19685-77	Korndichte - Schlammteich feucht
19685-79	Korndichte - Schlammteich trocken



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Kieswäsche 2016	LABORNUMMER: 19685-50
	BODENART: sa' cl Si	PROJEKTNUMMER: 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 3/7/2017

## KORNDICHTE ÖNORM B 4413:2010

1	Pykometer Nr.				103	102	127
2	Tara	g	$m_0$	T	44.5611	44.6684	44.0226
3	Trockenmasse Probe + Tara	g	$m_1$	L	64.6065	64.9137	64.3057
4	Trockenmasse Probe	g	$m_2$	3-2	20.0454	20.2453	20.2831
5	Masse Pyknometer + Wasser + Probe (unter Auftrieb) bei t °C	g	$m_3$	L	155.666	156.465	156.765
6	Versuchstemperatur	°C	t	L	22.7	22.6	22.6
7	Temperaturkorrektur von 20° zu t °C	g	$\Delta m$	T	-0.0600	-0.0570	-0.0570
8	Masse Pyknometer + Wasser bei 20°C	g	$m_4$	T	142.928	143.602	143.872
9	Masse Pyknometer + Wasser bei t°C	g	$m_5$	7+8	142.868	143.545	143.815
10	Dichte Wasser bei t °C	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_w$	T	0.9976	0.9977	0.9977
11	Bodenvolumen	cm <sup>3</sup>	$V_K$	$\frac{(9+4-5)}{10}$	7.2646	7.3418	7.3501
12	Korndichte	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$	$\frac{4}{11}$	2.759	2.758	2.760
13	Mittelwert aus allen Versuchen	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$		2.76		



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Bentonit	LABORNUMMER: 19685-51
	BODENART: sa' cl Si	PROJEKTNUMMER: 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 3/8/2017

## KORNDICHTE ÖNORM B 4413:2010

1	Pykometer Nr.				25	115	110
2	Tara	g	$m_0$	T	44.2494	45.0835	43.9133
3	Trockenmasse Probe + Tara	g	$m_1$	L	49.2688	50.2157	50.4435
4	Trockenmasse Probe	g	$m_2$	3-2	5.0194	5.1322	6.5302
5	Masse Pyknometer + Wasser + Probe (unter Auftrieb) bei t °C	g	$m_3$	L	147.199	147.950	148.009
6	Versuchstemperatur	°C	t	L	23.1	22.9	22.9
7	Temperaturkorrektur von 20° zu t °C	g	$\Delta m$	T	-0.0690	-0.0640	-0.0640
8	Masse Pyknometer + Wasser bei 20°C	g	$m_4$	T	144.195	144.895	144.090
9	Masse Pyknometer + Wasser bei t°C	g	$m_5$	7+8	144.126	144.831	144.026
10	Dichte Wasser bei t °C	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_w$	T	0.9976	0.9976	0.9976
11	Bodenvolumen	cm <sup>3</sup>	$V_K$	$\frac{(9+4-5)}{10}$	1.9513	2.0179	2.5534
12	Korndichte	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$	$\frac{4}{11}$	2.572	2.543	2.557
13	Mittelwert aus allen Versuchen	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$		2.56		



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Kieswäsche 2016 + 3 % Bentonit	LABORNUMMER: 19685-52
	BODENART: sa' cl Si	PROJEKTNUMMER: 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 3/8/2017

## KORNDICHTE ÖNORM B 4413:2010

1	Pykometer Nr.				103	102	127
2	Tara	g	$m_0$	T	44.2494	45.0835	43.9133
3	Trockenmasse Probe + Tara	g	$m_1$	L	64.5783	65.0549	64.1238
4	Trockenmasse Probe	g	$m_2$	3-2	20.3289	19.9714	20.2105
5	Masse Pykometer + Wasser + Probe (unter Auftrieb) bei t °C	g	$m_3$	L	157.114	157.591	156.951
6	Versuchstemperatur	°C	t	L	22.4	22.1	21.9
7	Temperaturkorrektur von 20° zu t °C	g	$\Delta m$	T	-0.0530	-0.0460	-0.0410
8	Masse Pykometer + Wasser bei 20°C	g	$m_4$	T	144.195	144.895	144.090
9	Masse Pykometer + Wasser bei t°C	g	$m_5$	7+8	144.142	144.849	144.049
10	Dichte Wasser bei t °C	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_w$	T	0.9977	0.9978	0.9978
11	Bodenvolumen	cm <sup>3</sup>	$V_K$	$\frac{(9+4-5)}{10}$	7.3735	7.2454	7.3249
12	Korndichte	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$	$\frac{4}{11}$	2.757	2.756	2.759
13	Mittelwert aus allen Versuchen	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$		2.76		





AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Ziegelrecyclingmaterial	LABORNUMMER: 19685-64
	BODENART:	PROJEKTNUMMER: 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 4/5/2017

## KORNDICHTE ÖNORM B 4413:2010

1	Pykometer Nr.				107	115	103
2	Tara	g	$m_0$	T	43.9128	45.0643	44.2466
3	Trockenmasse Probe + Tara	g	$m_1$	L	53.9624	55.0651	54.2357
4	Trockenmasse Probe	g	$m_2$	3-2	10.0496	10.0008	9.9891
5	Masse Pyknometer + Wasser + Probe (unter Auftrieb) bei t °C	g	$m_3$	L	150.336	151.088	149.346
6	Versuchstemperatur	°C	t	L	22.9	23.4	22.8
7	Temperaturkorrektur von 20° zu t °C	g	$\Delta m$	T	-0.0640	-0.0760	-0.0620
8	Masse Pyknometer + Wasser bei 20°C	g	$m_4$	T	144.090	144.876	143.162
9	Masse Pyknometer + Wasser bei t°C	g	$m_5$	7+8	144.026	144.800	143.100
10	Dichte Wasser bei t °C	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_w$	T	0.9976	0.9975	0.9976
11	Bodenvolumen	cm <sup>3</sup>	$V_K$	$\frac{(9+4-5)}{10}$	3.7489	3.7222	3.7520
12	Korndichte	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$	$\frac{4}{11}$	2.681	2.687	2.662
13	Mittelwert aus allen Versuchen	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$		2.68		



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Kieswäsche 2017	LABORNUMMER: 19685-65
	BODENART:	PROJEKTNUMMER: 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 5/7/2017

## KORNDICHTE ÖNORM B 4413:2010

1	Pykometer Nr.				127	116	107
2	Tara	g	$m_0$	T	43.9613	43.4963	43.9141
3	Trockenmasse Probe + Tara	g	$m_1$	L	63.3918	63.4116	63.9094
4	Trockenmasse Probe	g	$m_2$	3-2	19.4305	19.9153	19.9953
5	Masse Pyknometer + Wasser + Probe (unter Auftrieb) bei t °C	g	$m_3$	L	156.846	155.846	156.801
6	Versuchstemperatur	°C	t	L	21.9	21.9	22.2
7	Temperaturkorrektur von 20° zu t °C	g	$\Delta m$	T	-0.0410	-0.0410	-0.0460
8	Masse Pyknometer + Wasser bei 20°C	g	$m_4$	T	144.483	143.168	144.091
9	Masse Pyknometer + Wasser bei t°C	g	$m_5$	7+8	144.442	143.127	144.045
10	Dichte Wasser bei t °C	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_w$	T	0.9978	0.9978	0.9978
11	Bodenvolumen	cm <sup>3</sup>	$V_K$	$\frac{(9+4-5)}{10}$	7.0413	7.2122	7.2555
12	Korndichte	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$	$\frac{4}{11}$	2.760	2.761	2.756
13	Mittelwert aus allen Versuchen	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$		2.76		



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Kieswäsche 2016 + ST, M 1:1	LABORNUMMER: 19685-73
	BODENART: sa' cl Si	PROJEKTNUMMER: 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 4/26/2017

## KORNDICHTE ÖNORM B 4413:2010

1	Pykometer Nr.				103	102	127
2	Tara	g	$m_0$	T	44.6690	44.2458	43.9610
3	Trockenmasse Probe + Tara	g	$m_1$	L	64.7101	64.2899	64.0688
4	Trockenmasse Probe	g	$m_2$	3-2	20.0411	20.0441	20.1078
5	Masse Pyknometer + Wasser + Probe (unter Auftrieb) bei t °C	g	$m_3$	L	156.293	155.857	157.221
6	Versuchstemperatur	°C	t	L	24.1	24.1	23.9
7	Temperaturkorrektur von 20° zu t °C	g	$\Delta m$	T	-0.0930	-0.0930	-0.0890
8	Masse Pyknometer + Wasser bei 20°C	g	$m_4$	T	143.601	143.161	144.482
9	Masse Pyknometer + Wasser bei t°C	g	$m_5$	7+8	143.508	143.068	144.393
10	Dichte Wasser bei t °C	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_w$	T	0.9973	0.9973	0.9974
11	Bodenvolumen	cm <sup>3</sup>	$V_K$	$\frac{(9+4-5)}{10}$	7.2758	7.2750	7.2991
12	Korndichte	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$	$\frac{4}{11}$	2.754	2.755	2.755
13	Mittelwert aus allen Versuchen	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$		2.75		



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Schlammteich feucht	LABORNUMMER: 19685-77
	BODENART:	PROJEKTNUMMER: 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 4/16/2017

## KORNDICHTE ÖNORM B 4413:2010

1	Pykometer Nr.				110	128	102
2	Tara	g	$m_0$	T	44.0215	44.5605	44.6672
3	Trockenmasse Probe + Tara	g	$m_1$	L	64.2070	64.6571	64.8158
4	Trockenmasse Probe	g	$m_2$	3-2	20.1855	20.0966	20.1486
5	Masse Pyknometer + Wasser + Probe (unter Auftrieb) bei t °C	g	$m_3$	L	156.587	155.593	156.295
6	Versuchstemperatur	°C	t	L	22.2	22.0	22.0
7	Temperaturkorrektur von 20° zu t °C	g	$\Delta m$	T	-0.0480	-0.0440	-0.0440
8	Masse Pyknometer + Wasser bei 20°C	g	$m_4$	T	143.871	142.928	143.600
9	Masse Pyknometer + Wasser bei t°C	g	$m_5$	7+8	143.823	142.884	143.556
10	Dichte Wasser bei t °C	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_w$	T	0.9978	0.9978	0.9978
11	Bodenvolumen	cm <sup>3</sup>	$V_K$	$\frac{(9+4-5)}{10}$	7.4383	7.4035	7.4269
12	Korndichte	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$	$\frac{4}{11}$	2.714	2.714	2.713
13	Mittelwert aus allen Versuchen	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$		2.71		



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Schlammteich trocken	LABORNUMMER: 19685-79
	BODENART:	PROJEKTNUMMER: 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 4/17/2017

## KORNDICHTE ÖNORM B 4413:2010

1	Pykometer Nr.				128	103	127
2	Tara	g	$m_0$	T	44.5497	44.2324	43.9489
3	Trockenmasse Probe + Tara	g	$m_1$	L	64.5113	64.2484	63.9514
4	Trockenmasse Probe	g	$m_2$	3-2	19.9616	20.0160	20.0025
5	Masse Pyknometer + Wasser + Probe (unter Auftrieb) bei t °C	g	$m_3$	L	155.540	155.808	157.117
6	Versuchstemperatur	°C	t	L	22.8	22.6	22.6
7	Temperaturkorrektur von 20° zu t °C	g	$\Delta m$	T	-0.0620	-0.0570	-0.0570
8	Masse Pyknometer + Wasser bei 20°C	g	$m_4$	T	142.917	143.148	144.470
9	Masse Pyknometer + Wasser bei t°C	g	$m_5$	7+8	142.855	143.091	144.413
10	Dichte Wasser bei t °C	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_w$	T	0.9976	0.9977	0.9977
11	Bodenvolumen	cm <sup>3</sup>	$V_K$	$\frac{(9+4-5)}{10}$	7.2944	7.3160	7.3162
12	Korndichte	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$	$\frac{4}{11}$	2.737	2.736	2.734
13	Mittelwert aus allen Versuchen	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$		2.74		

# ANHANG D

## ZUSTANDSGRENZEN

<b>Labornummer</b>	<b>Bezeichnung</b>
19685-24	Kegelfallversuch – Kieswäsche 2017 + Damm Mischung 1:1
19685-53	Konsistenzgrenzen – Kieswaesche 2016
19685-54	Kegelfallversuch - Kieswäsche 2016
19685-74	Schrumpfgrenze - Kieswaesche 2017 + Damm Mischung 1 1
19685-80	Schrumpfgrenze - Kieswäsche



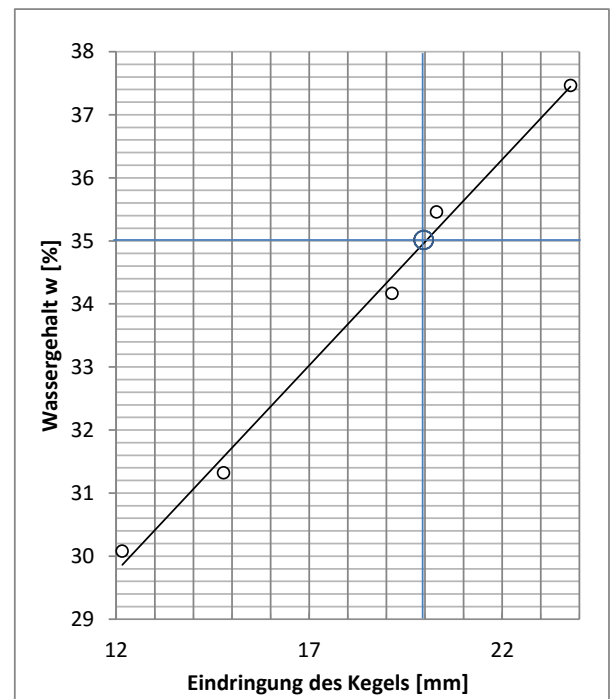
AUFTRAGGEBER:	BEZEICHNUNG:	LABORNUMMER:
	KW + Speicherteich	19685-24
PROJEKT:	TIEFE	PROJEKTNUMMER
	MA Happenhofer	
	BEARBEITER:	DATUM:
	HapM.	3/14/2017

## KONSISTENZGRENZEN ÖNORM B 4411:2009

### KEGELFALLVERSUCH

Behälter		310	311	307	325	308			
Eindringung	mm	12.16	14.78	19.15	20.3	23.77			
Probe feucht + Behälter	g	58.238	70.0795	58.5487	51.6329	55.5701			
Probe trocken + Behälter	g	49.6766	58.5573	49.0335	43.583	46.3214			
Masse Behälter	g	21.2135	21.7683	21.185	20.88	21.6358			
Masse Probe feucht	g	37.0245	48.3112	37.3637	30.7529	33.9343			
Masse Probe trocken	g	28.4631	36.789	27.8485	22.703	24.6856			
Masse Wasser	g	8.5614	11.5222	9.5152	8.0499	9.2487			
<b>Wassergehalt</b>	<b>%</b>	<b>30.1</b>	<b>31.3</b>	<b>34.2</b>	<b>35.5</b>	<b>37.5</b>			

$W_L =$	35.0 %
$W_P =$	18.0 %
$I_P =$	17.0 %
$I_C =$	0.9 %



Lineare Schrumpfgrenze				
Versuchsmulde Nr.			1	2
Natürlicher Wassergehalt	w	%	20.0	
Länge d. Versuchsmulde	$L_0$	mm	137.1	137.0
Länge der trockene Probe	$L_D$	mm	128.2	129.3
Lineare Schrumpfgrenze	$L_S$	%	8.5	7.6
Bildsamkeitszahl	$I_P$	%	18.0	16.3
Ausrollgrenze	$W_P$	%	17.0	18.7
Konsistenzzahl	$I_C$	-	0.8	0.9

ANMERKUNG:



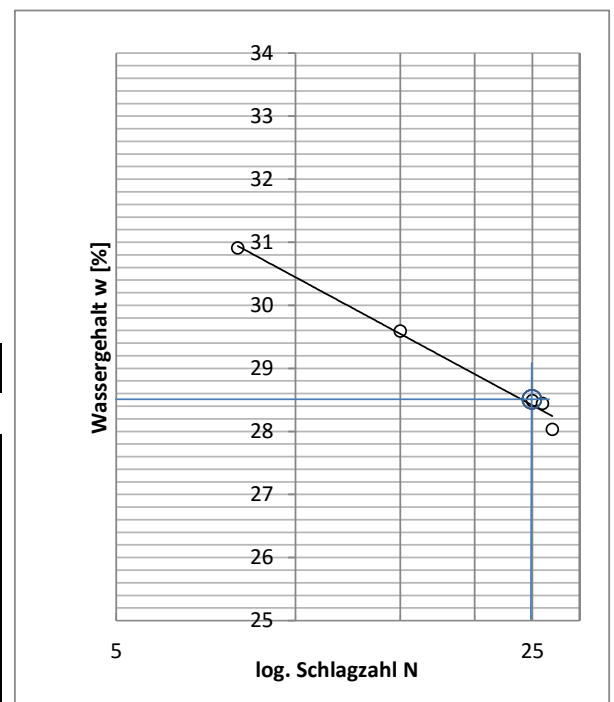
AUFTRAGGEBER:	BEZEICHNUNG:	LABORNUMMER:
	KW	19685-53
PROJEKT:	TIEFE	PROJEKTNUMMER
	MA Happenhofer	
	BEARBEITER:	DATUM:
	HapM	2/3/2016

## KONSISTENZGRENZEN ÖNORM B 4411:2009

		Flie遶grenze					Ausrollgrenze		
		313	308	318	319	304	311	319	313
Behälter		313	308	318	319	304	311	319	313
Schlagzahl N		15	25	26	27	8	-	-	-
Probe feucht + Behälter	g	27.0173	28.431	26.671	31.1127	29.624	27.4937	26.8703	23.66
Probe trocken + Behälter	g	25.5566	26.9238	25.2731	29.2574	27.8144	26.5433	26.1277	23.1507
Masse Behälter	g	20.6206	21.6337	20.3584	22.6397	21.9598	21.753	22.6397	20.6206
Masse Probe feucht	g	6.3967	6.7973	6.3126	8.473	7.6642	5.7407	4.2306	3.0394
Masse Probe trocken	g	4.936	5.2901	4.9147	6.6177	5.8546	4.7903	3.488	2.5301
Masse Wasser	g	1.4607	1.5072	1.3979	1.8553	1.8096	0.9504	0.7426	0.5093
<b>Wassergehalt</b>	<b>%</b>	<b>29.6</b>	<b>28.5</b>	<b>28.4</b>	<b>28.0</b>	<b>30.9</b>	<b>19.8</b>	<b>21.3</b>	<b>20.1</b>

$W_L =$	28.5 %
$W_P =$	20.5 %
$I_P =$	8.0 %
$I_C =$	0.7 %

Lineare Schrumpfgrenze			
Versuchsmulde Nr.			
Natürlicher Wassergehalt	w	%	22.9
Länge d. Versuchsmulde	$L_0$	mm	
Länge der trockene Probe	$L_D$	mm	
Lineare Schrumpfgrenze	$L_S$	%	
Bildsamkeitszahl	$I_P$	%	
Ausrollgrenze	$W_P$	%	
Konsistenzzahl	$I_C$	-	



ANMERKUNG:





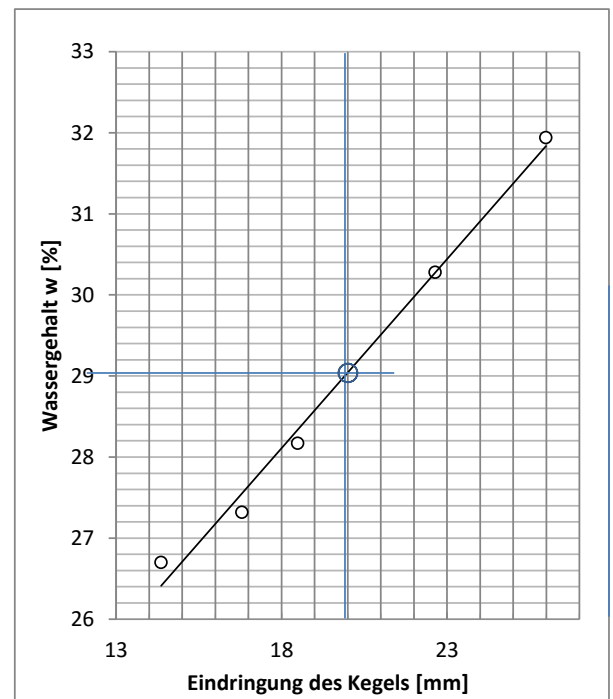
AUFTRAGGEBER:	BEZEICHNUNG:	LABORNUMMER:
	Kieswäsche	19685-54
PROJEKT:	TIEFE	PROJEKTNUMMER
	MA Happenhofer	
	BEARBEITER:	DATUM:
	HapM	3/14/2017

## KONSISTENZGRENZEN ÖNORM B 4411:2009

### KEGELFALLVERSUCH

Behälter		321	330	210	208	15		
Eindringung	mm	14.36	16.8	18.49	22.64	25.99		
Probe feucht + Behälter	g	51.758	44.88	45.4196	56.1765	57.9743		
Probe trocken + Behälter	g	45.4078	39.4528	38.4942	46.3777	48.7227		
Masse Behälter	g	21.6257	19.5859	13.9111	14.0152	19.7575		
Masse Probe feucht	g	30.1323	25.2941	31.5085	42.1613	38.2168		
Masse Probe trocken	g	23.7821	19.8669	24.5831	32.3625	28.9652		
Masse Wasser	g	6.3502	5.4272	6.9254	9.7988	9.2516		
<b>Wassergehalt</b>	<b>%</b>	<b>26.7</b>	<b>27.3</b>	<b>28.2</b>	<b>30.3</b>	<b>31.9</b>		

$W_L =$	29.0 %
$W_P =$	18.5 %
$I_P =$	10.5 %
$I_C =$	0.6 %



Lineare Schrumpfgrenze				
Versuchsmulde Nr.			1	2
Natürlicher Wassergehalt	w	%	22.9	
Länge d. Versuchsmulde	$L_0$	mm	137.1	137.0
Länge der trockene Probe	$L_D$	mm	133.3	132.6
Lineare Schrumpfgrenze	$L_S$	%	4.8	5.3
Bildsamkeitszahl	$I_P$	%	10.2	11.3
Ausrollgrenze	$W_P$	%	18.8	17.7
Konsistenzzahl	$I_C$	-	0.6	0.5

ANMERKUNG:



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Kieswäsche + Schlammteich, Mischung 1-1	LABORNUMMER: 19685-74
	BODENART:	PROJEKTNUMMER: 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 27.04.2017

## SCHRUMPFGRENZE

					Versuch Nr.		
					1	2	3
1	Fließgrenze	$w_L$	%		28.5	28.5	
2	Sollwassergehalt	$w_o$	%	$1.1 \cdot w_L$	31.35	31.35	
3	Korndichte	$Mg/m^3$	$\rho_s$	L	2.76	2.76	
4	Masse Ring + Glasplatte	g	$m_B$	L	260.1	263.1	
5	Masse Probe feucht + $m_B$	g	$m_f + m_B$	L	363.8	368.1	
6	Masse Probe trocken + $m_B$	g	$m_d + m_B$	L	336.9	340.9	
7	Masse Wasser (Versuchsbeginn)	g	$m_w$	5-6	26.9	27.2	
8	Masse Probe trocken	g	$m_d$	5-4-7	76.8	77.8	
9	Volumen Probe trocken	$cm^3$	$V_d$		42.21	42.67	
10	Dichte Probe trocken	$Mg/m^3$	$\rho_d$	8/9	1.820	1.823	
11	Dichte Wasser	$Mg/m^3$	$\rho_w$		1.000	1.000	
12	Schrumpfgrenze	%	$w_s$	$(1/\rho_d - 1/\rho_s)$	0.187	0.186	
13	Mittelwert aus allen Versuchen	%	$w_s$		18.7%		

ANMERKUNG:



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Kieswäsche	LABORNUMMER: 19685-80
	BODENART:	PROJEKTNUMMER: 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 21.04.2017

## SCHRUMPFGRENZE

					Versuch Nr.		
					1	2	3
1	Fließgrenze	$w_L$	%		28.5	28.5	
2	Sollwassergehalt	$w_o$	%	$1.1 \cdot w_L$	31.35	31.35	
3	Korndichte	$Mg/m^3$	$\rho_s$	L	2.76	2.76	
4	Masse Ring + Glasplatte	g	$m_B$	L	181.2	186.3	
5	Masse Probe feucht + $m_B$	g	$m_f + m_B$	L	287.9	289.3	
6	Masse Probe trocken + $m_B$	g	$m_d + m_B$	L	264.7	260.1	
7	Masse Wasser (Versuchsbeginn)	g	$m_w$	5-6	23.2	29.2	
8	Masse Probe trocken	g	$m_d$	5-4-7	83.5	73.8	
9	Volumen Probe trocken	$cm^3$	$V_d$		48.59	42.67	
10	Dichte Probe trocken	$Mg/m^3$	$\rho_d$	8/9	1.719	1.730	
11	Dichte Wasser	$Mg/m^3$	$\rho_w$		1.000	1.000	
12	Schrumpfgrenze	%	$w_s$	$(1/\rho_d - 1/\rho_s)$	0.220	0.216	
13	Mittelwert aus allen Versuchen	%	$w_s$		21.8		

ANMERKUNG:

# ANHANG E

## GLÜHVERLUSTE

<b>Labornummer</b>	<b>Bezeichnung</b>
19685-62	Kieswäsche 2016
19685-81	Speicherteich
19685-82	Kieswäsche + Speicherteich, Mischung 1:1
19685-83	Kieswäsche 2017

AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BODENART: sa' cl Si	BEZEICHNUNG: Kieswäsche 2016	LABORNUMMER: 19685-62
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	UNGESTÖRT <input type="checkbox"/> GESTÖRT <input type="checkbox"/>	TIEFE: -	PROJEKTNUMMER: 7
		BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 19.03.2017

## GLÜHVERLUST

Versuch Nr.				1	2	3	4	5
Behälter Nr.				101	102			
1	Probe vorher + Behälter	$m_1 + m_B$	g	361,5	357,7			
2	Probe nachher + Behälter	$m_2 + m_B$	g	356,1	353,5			
3	Masse Behälter	$m_B$	g	136,4	136,4			
4	Masse Probe vorher	$m_1$	g	1-3	225,1	221,3		
5	Masse Probe nachher	$m_2$	g	2-3	219,7	217,1		
6	Masse organ. Bestandteile	$m_{org.}$	g	4-5	5,4	4,2		
7	Glühverlust (Gewicht)	$m_{gl}$	%	6:4	<b>2,40</b>	<b>1,90</b>		
8	Glühverlust (Volumen)	$V_{gl}$	%					

Versuch Nr.				6	7	8	9	10
Behälter Nr.								
1	Probe vorher + Behälter	$m_1 + m_B$	g					
2	Probe nachher + Behälter	$m_2 + m_B$	g					
3	Masse Behälter	$m_B$	g					
4	Masse Probe vorher	$m_1$	g	1-3				
5	Masse Probe nachher	$m_2$	g	2-3				
6	Masse organ. Bestandteile	$m_{org.}$	g	4-5				
7	Glühverlust (Gewicht)	$m_{gl}$	%	6:4				
8	Glühverlust (Volumen)	$V_{gl}$	%					

**ANMERKUNGEN:**

Der Glühverlust berechnet sich aus der Differenz der Resultate aus den zwei Glühvorgängen und beträgt somit 0,5 %.

AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BODENART: sa' cl Si	BEZEICHNUNG: Speicherteich	LABORNUMMER: 19685-81
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	UNGESTÖRT <input type="checkbox"/> GESTÖRT <input type="checkbox"/>	TIEFE: -	PROJEKTNUMMER: 7
		BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 17.04.2017

## GLÜHVERLUST

Versuch Nr.					1	2	3	4	5
Behälter Nr.					101				
1	Probe vorher + Behälter	$m_1 + m_B$	g		409,4				
2	Probe nachher + Behälter	$m_2 + m_B$	g		400,4				
3	Masse Behälter	$m_B$	g		136,4				
4	Masse Probe vorher	$m_1$	g	1-3	273,0				
5	Masse Probe nachher	$m_2$	g	2-3	264,0				
6	Masse organ. Bestandteile	$m_{org.}$	g	4-5	9,0				
7	Glühverlust (Gewicht)	$m_{gl}$	%	6:4	<b>3,30</b>				
8	Glühverlust (Volumen)	$V_{gl}$	%						

Versuch Nr.					6	7	8	9	10
Behälter Nr.									
1	Probe vorher + Behälter	$m_1 + m_B$	g						
2	Probe nachher + Behälter	$m_2 + m_B$	g						
3	Masse Behälter	$m_B$	g						
4	Masse Probe vorher	$m_1$	g	1-3					
5	Masse Probe nachher	$m_2$	g	2-3					
6	Masse organ. Bestandteile	$m_{org.}$	g	4-5					
7	Glühverlust (Gewicht)	$m_{gl}$	%	6:4					
8	Glühverlust (Volumen)	$V_{gl}$	%						

ANMERKUNGEN:

AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BODENART: sa' cl Si	BEZEICHNUNG: KW & Speicherteich	LABORNUMMER: 19685-82
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	UNGESTÖRT <input type="checkbox"/> GESTÖRT <input type="checkbox"/>	TIEFE: -	PROJEKTNUMMER: 7
		BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 09.04.2017

## GLÜHVERLUST

Versuch Nr.					1	2	3	4	5
Behälter Nr.					1				
1	Probe vorher + Behälter	$m_1 + m_B$	g		348,7				
2	Probe nachher + Behälter	$m_2 + m_B$	g		342,2				
3	Masse Behälter	$m_B$	g		136,5				
4	Masse Probe vorher	$m_1$	g	1-3	212,2				
5	Masse Probe nachher	$m_2$	g	2-3	205,7				
6	Masse organ. Bestandteile	$m_{org.}$	g	4-5	6,5				
7	Glühverlust (Gewicht)	$m_{gl}$	%	6:4	<b>3,06</b>				
8	Glühverlust (Volumen)	$V_{gl}$	%						

Versuch Nr.					6	7	8	9	10
Behälter Nr.									
1	Probe vorher + Behälter	$m_1 + m_B$	g						
2	Probe nachher + Behälter	$m_2 + m_B$	g						
3	Masse Behälter	$m_B$	g						
4	Masse Probe vorher	$m_1$	g	1-3					
5	Masse Probe nachher	$m_2$	g	2-3					
6	Masse organ. Bestandteile	$m_{org.}$	g	4-5					
7	Glühverlust (Gewicht)	$m_{gl}$	%	6:4					
8	Glühverlust (Volumen)	$V_{gl}$	%						

ANMERKUNGEN:

AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BODENART: sa' cl Si	BEZEICHNUNG: Kieswäsche 2017	LABORNUMMER: 19685-83
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	UNGESTÖRT <input type="checkbox"/> GESTÖRT <input type="checkbox"/>	TIEFE: -	PROJEKTNUMMER: 7
		BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 25.04.2017

## GLÜHVERLUST

Versuch Nr.				1	2	3	4	5
Behälter Nr.				101				
1	Probe vorher + Behälter	$m_1 + m_B$	g	252,4				
2	Probe nachher + Behälter	$m_2 + m_B$	g	247,4				
3	Masse Behälter	$m_B$	g	136,5				
4	Masse Probe vorher	$m_1$	g	1-3	115,9			
5	Masse Probe nachher	$m_2$	g	2-3	110,9			
6	Masse organ. Bestandteile	$m_{org.}$	g	4-5	5,0			
7	Glühverlust (Gewicht)	$m_{gl}$	%	6:4	<b>4,31</b>			
8	Glühverlust (Volumen)	$V_{gl}$	%					

Versuch Nr.				6	7	8	9	10
Behälter Nr.								
1	Probe vorher + Behälter	$m_1 + m_B$	g					
2	Probe nachher + Behälter	$m_2 + m_B$	g					
3	Masse Behälter	$m_B$	g					
4	Masse Probe vorher	$m_1$	g	1-3				
5	Masse Probe nachher	$m_2$	g	2-3				
6	Masse organ. Bestandteile	$m_{org.}$	g	4-5				
7	Glühverlust (Gewicht)	$m_{gl}$	%	6:4				
8	Glühverlust (Volumen)	$V_{gl}$	%					

ANMERKUNGEN:



# ANHANG F

## WASSERAUFNAHMEVERMÖGEN

<b>Labornummer</b>	<b>Bezeichnung</b>
19685-100	Kieswäsche 2016
19685-101	Kieswäsche 2017
19685-102	Kieswäsche + Speicherteich, Mischung 1:1
19685-103	Bentonit
19685-104	Tonmehl



AUFTRAGGEBER:

BEZEICHNUNG:

LABORNUMMER:

Kieswäsche 2016

19685-100

TIEFE:

PROJEKTNUMMER:

PROJEKT:

BEARBEITER:

DATUM:

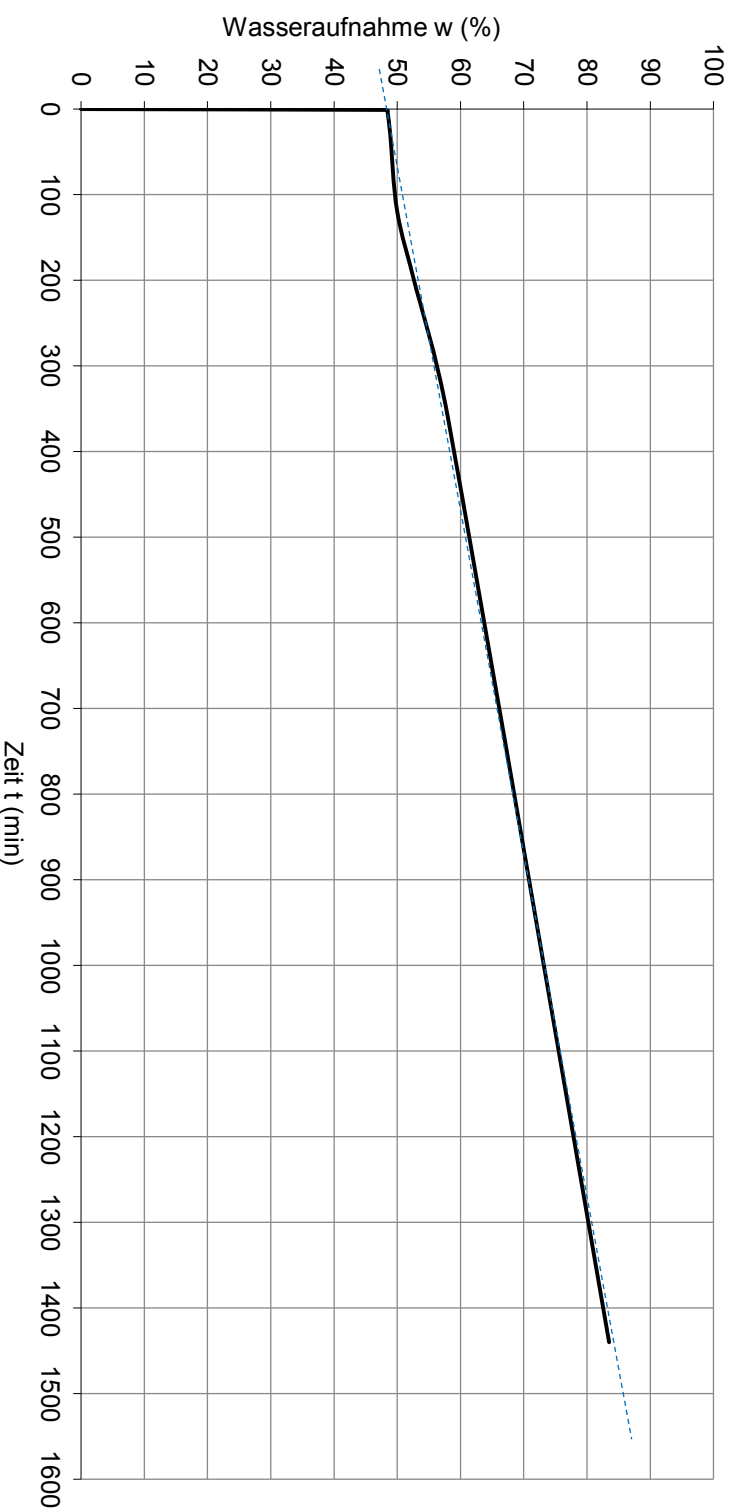
MA Happenhofer

Happenhofer Martin

13/07/2017

## WASSERAUFNAHME (ENSLIN)

t	Lesung	aufg. Wassermenge *)
[min]	[ml]	[ml]
0	0.00	0.00
1	0.48	48.00
2	0.485	48.50
5	0.485	48.50
30	0.489	48.90
120	0.5	50.00
210	0.53	53.00
360	0.58	58.00
1440	0.835	83.50



Probe trocken [g]  
 1.000 g

Wasseraufnahme (\*\*)  
 49 %

\*) Wert inklusive Verdunstung

\*\*) Wert exclusive Verdunstung



AUFRAGGEBER:

BEZEICHNUNG:

LABORNUMMER:

PROJEKT:

TIEFE:

PROJEKTNUMMER:

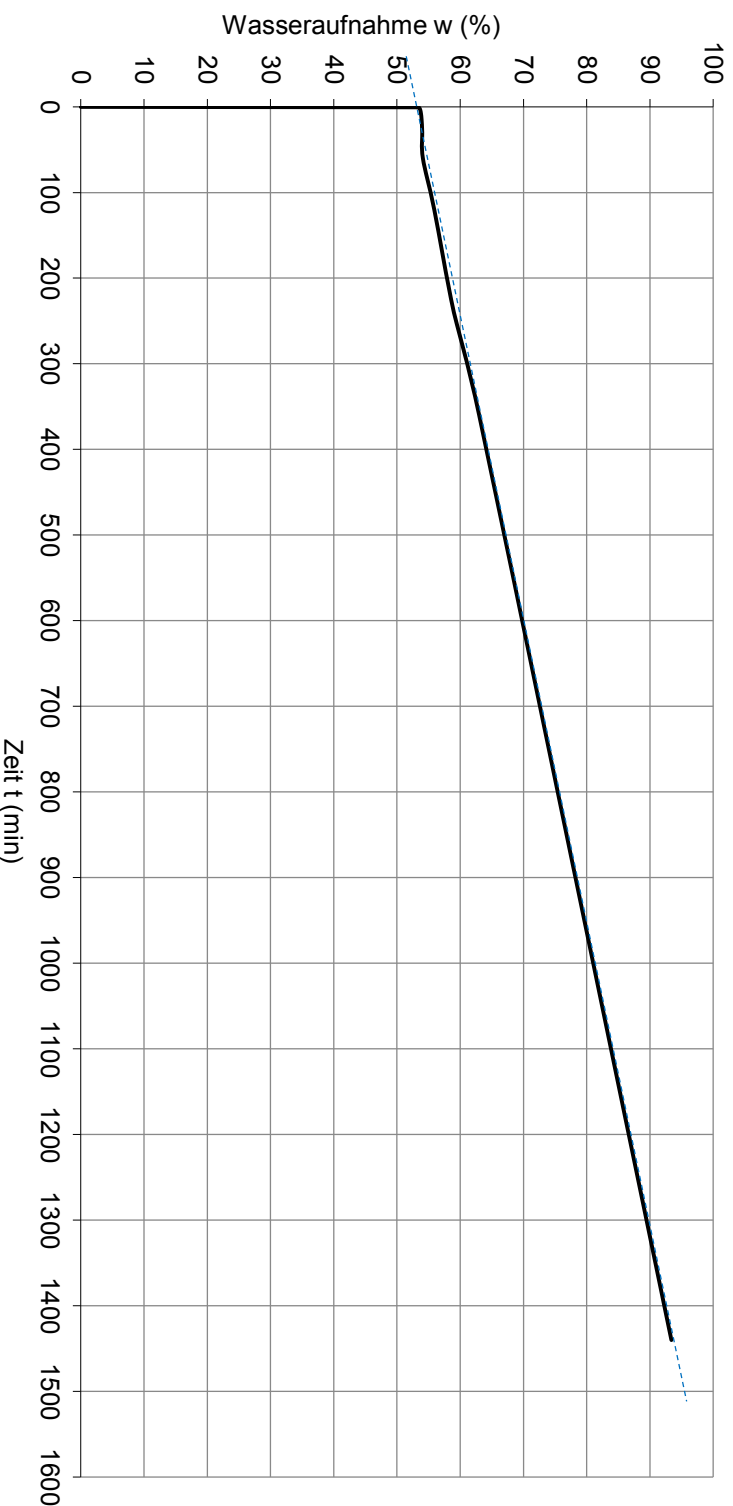
MA Happenhofer

BEARBEITER:  
Happenhofer Martin

DATUM:  
13/07/2017

## WASSERAUFNAHME (ENSLIN)

t	Lesung	aufg. Wassermenge *)
[ min ]	[ ml ]	[ ml ]
0	0.00	0.00
0.5	0.53	53.00
1	0.535	53.50
2	0.536	53.60
4	0.537	53.70
8	0.538	53.80
15	0.539	53.90
30	0.54	54.00
60	0.541	54.10
120	0.559	55.90
240	0.59	59.00
360	0.63	63.00
1440	0.934	93.40



Probe trocken [ g ]

1.000 g

Wasseraufnahme \*\*)

53 %

\*) Wert inklusive Verdunstung

\*\*) Wert exclusive Verdunstung



AUFTRAGGEBER:

BEZEICHNUNG:

LABORNUMMER:

Kieswäsche + Speichertreich M 1:1

19685-102

TIEFE:

PROJEKTNUMMER:

PROJEKT:

BEARBEITER:

DATUM:

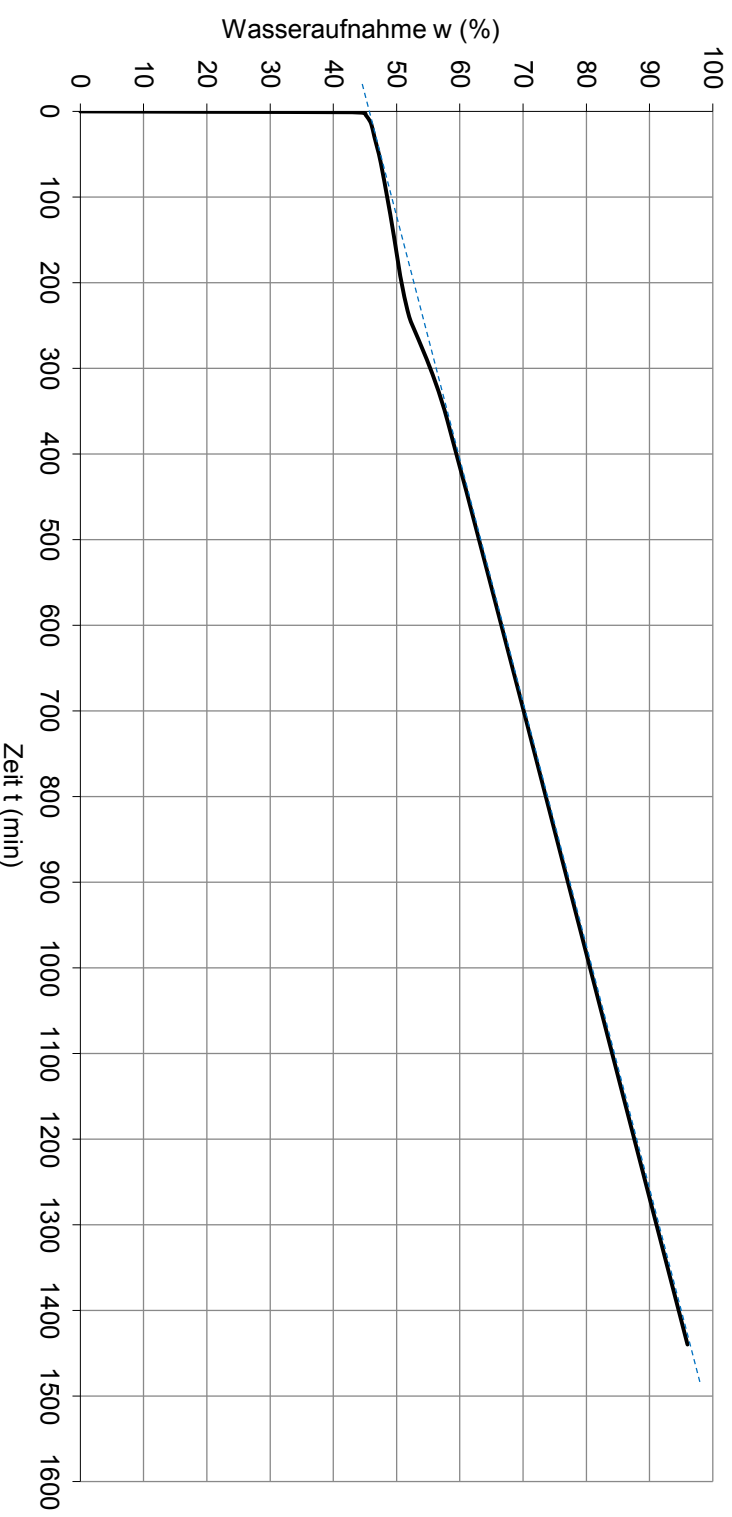
MA Happenhofer

Happenhofer Martin

25/04/2017

## WASSERAUFNAHME (ENSLIN)

t	Lesung	aufg. Wassermenge *)
[min]	[ml]	[ml]
0	0.00	0.00
0.5	0.2	20.00
1	0.43	43.00
2	0.45	45.00
4	0.451	45.10
8	0.455	45.50
15	0.46	46.00
30	0.465	46.50
60	0.475	47.50
120	0.49	49.00
240	0.52	52.00
360	0.58	58.00
1440	0.96	96.00



\*) Wert inklusive Verdunstung

\*\*) Wert exclusive Verdunstung



AUFTRAGGEBER:

BEZEICHNUNG:

LABORNUMMER:

PROJEKT:

Bentonit

19685-103  
PROJEKTNUMMER:

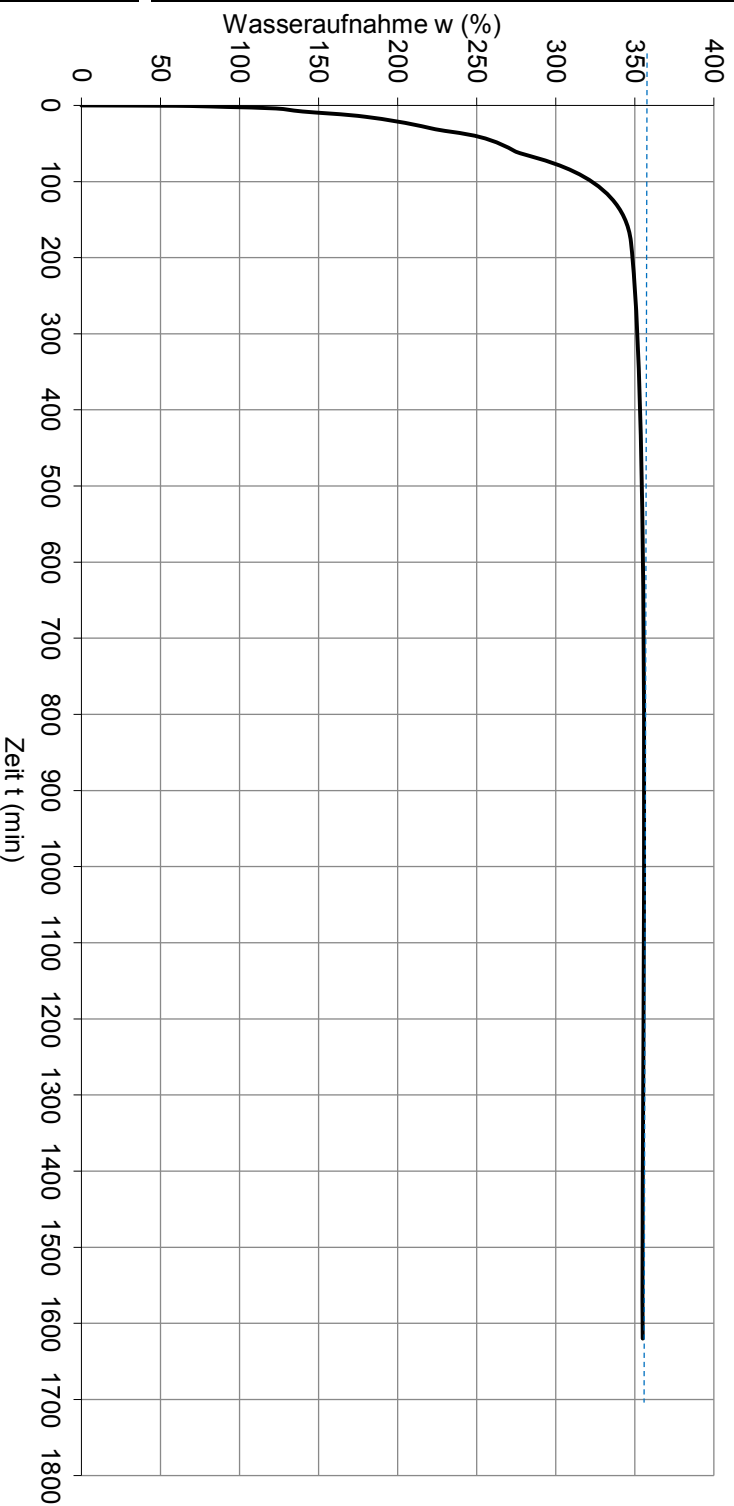
IMA Happenhofer

BEARBEITER:  
Happenhofer Martin

DATUM:  
13/07/2017

## WASSERAUFNAHME (ENSLIN)

t	Lesung	aufg. Wassermenge *)
[ min ]	[ ml ]	[ ml ]
0	0.00	0.00
0.5	0.30	60.00
1	0.37	74.00
2	0.46	92.00
4	0.615	123.00
8	0.7	140.00
15	0.9	180.00
30	1.105	221.00
60	1.37	274.00
180	1.738	347.60
1620	1.775	355.00



Probe trocken [ g ]

0.500 g

Wasseraufnahme \*\*)

360 %

\*) Wert inklusive Verdunstung

\*\*) Wert exclusive Verdunstung



**ANHANG G**

**QUANTITATIVE**

**MINERALBESTIMMUNG**

Mineralogische Untersuchung

LABORTABELLE GESAMTMINERAL- UND TONMINERALBESTAND

PROBENBEZEICHNUNG	GESAMTMINERALBESTAND													TONMINERALBESTAND														
	Verteilung der Mineralbestandteile in %													Mineralverteilung in der Fraktion < 2µm (%)														
Lab- Nr (intern)	Probenbezeichnung	Quarz	Muskovit	Chlorit	Plagioklas	Kalifeldspat	Kalzit	Dolomit	Magnesit	Gips	Pyroxen	Hämatit	Amphibol	Kaolinit	Smektit	Mixed Layer	Sonstiges	Summe	Muskovit	Chlorit	Smektit	Kaolinit	Vermikulit	Mixed Layer	Fraktion <40µm	Fraktion <2µm	Smektit eff	
		4	1	Sp.			6	74							4	11			100	21	15	47	17			87	23	11
Master Ha																												

Sp.=Spuren

Anmerkung: Die Differenz der Analysensumme auf 100% kann durch schlechte Kristallinität der Minerale, hohen Untergrund durch eisenhaltige Minerale und Erze, Auftreten von Silizium- und Aluminium und dem analytischen Fehler erklärt werden.



# ANHANG H

## PROCTORVERSUCHE

<b>Labornummer</b>	<b>Bezeichnung</b>
19685-55	Kieswäsche 2016
19685-56	Kieswäsche 2016 + 3 % Bentonit
19685-78	Kieswäsche + Speicherteich, Mischung 1:1

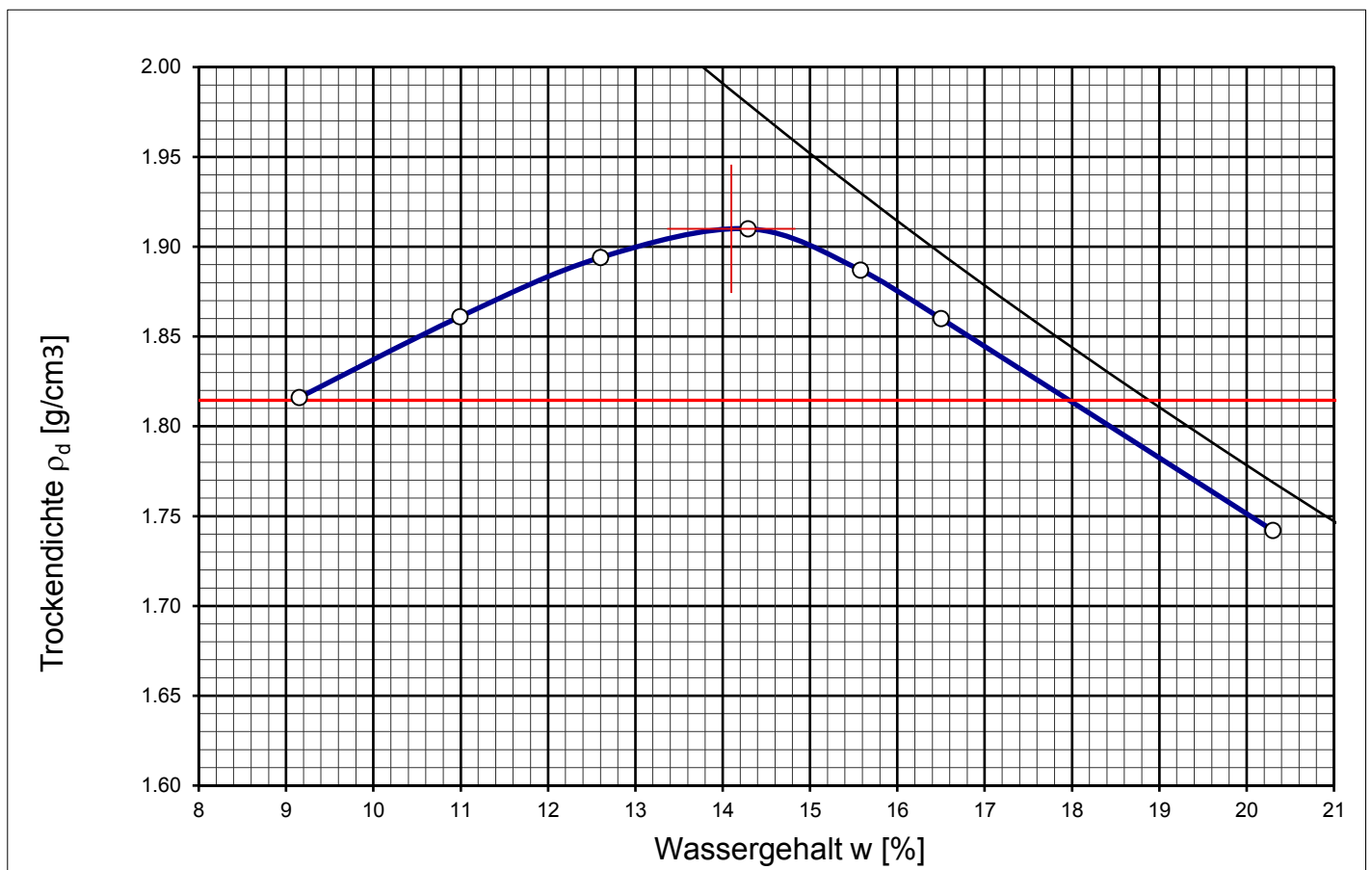
AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Kieswäsche	LABORNUMMER: 19685-55
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BODENART:	PROJEKTNUMMER: 7
	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 14/02/2017

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT		
Durchmesser	mm	100
Höhe	mm	120

Verdichtungsenergie	MNm/m <sup>3</sup>	0.6	
---------------------	--------------------	-----	--

Überkornanteil	%	-	
----------------	---	---	--



ERGEBNIS		
w <sub>opt</sub>	%	14.1
ρ <sub>Pr</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1.91

ANMERKUNG: Die rote horizontale Linie charakterisiert die 95 % Proctordichte.
--

AUFTRAGGEBER:

Institut für Bodenmechanik und Grundbau

PROJEKT:

Masterarbeit Happenhofer

BEZEICHNUNG:

Kieswäsche + 3,5 % Bentonit

BODENART:

BEARBEITER:

Happenhofer Martin

LABORNUMMER:

19685-56

PROJEKTNUMMER:

7

DATUM:

15/02/2017

## PROCTOR-VERSUCH

### GERÄT

Durchmesser	mm	100
Höhe	mm	120

Verdichtungsenergie

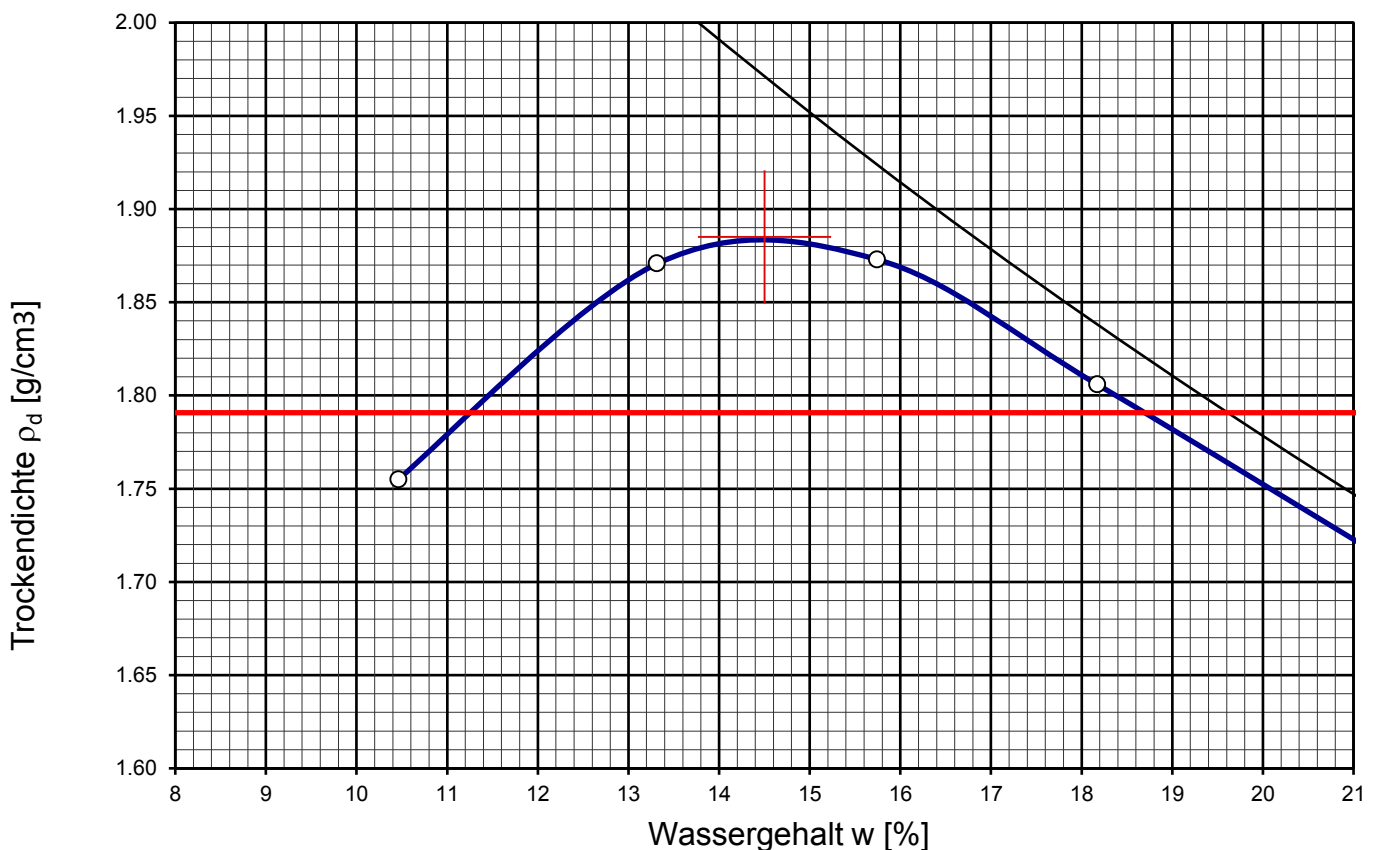
MNm/m<sup>3</sup>

0.6

Überkomanteil

%

-



### ERGEBNIS

W <sub>opt</sub>	%	14.5
ρ <sub>Pr</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1.89

ANMERKUNG:

Die rote horizontale Linie charakterisiert die 95 % Proctordichte.



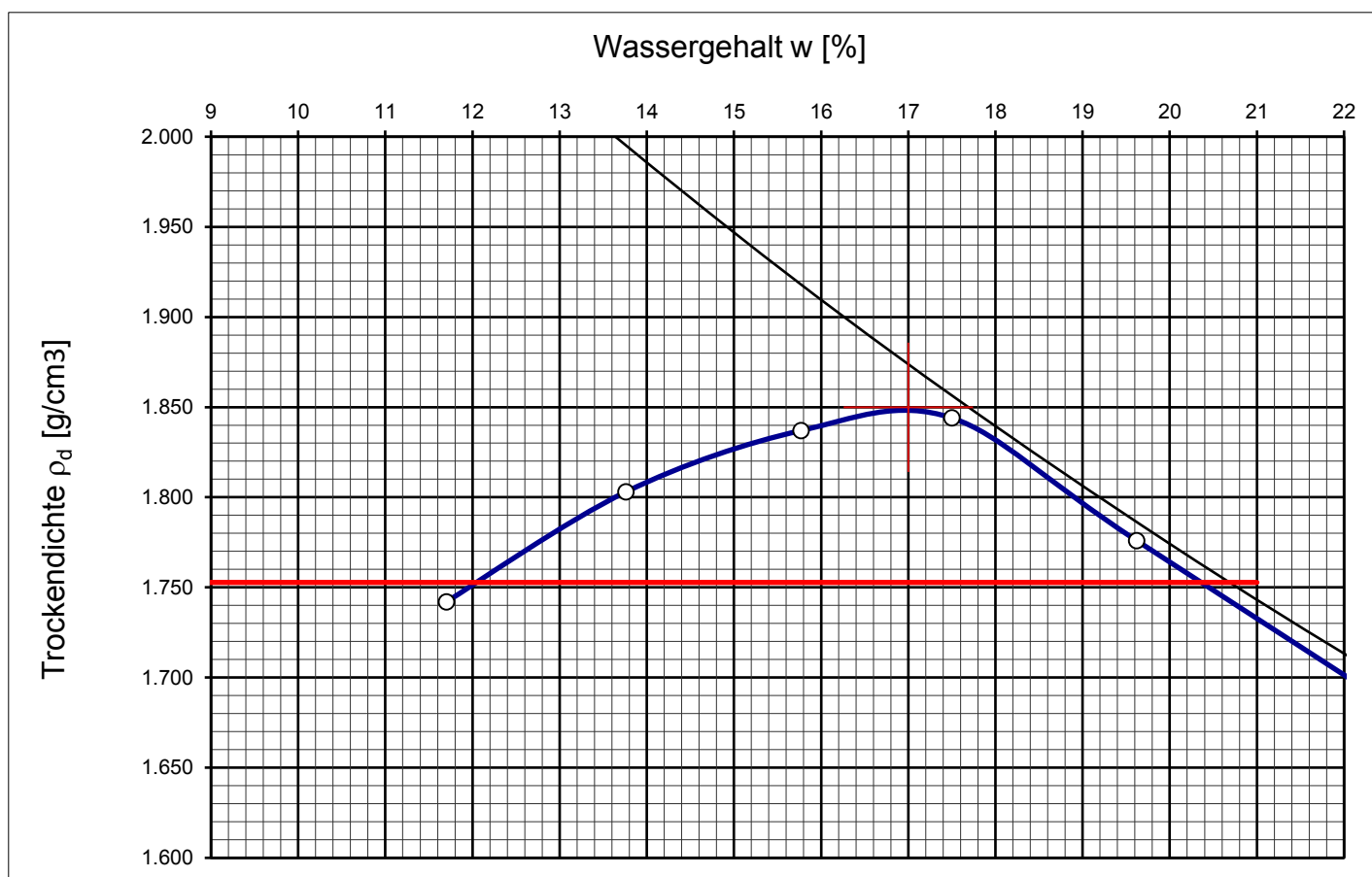
AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: KW + Schlammteich, Mischung 1:1	LABORNUMMER: 19685-78
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BODENART: sa" cl Si	AUFTRAGSNUMMER: 7
	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 20/04/2017

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT		
Durchmesser	mm	100
Höhe	mm	120

Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0.6	
---------------------	-------------------	-----	--

Überkornanteil	%	-	-
----------------	---	---	---



ERGEBNIS		
$w_{Pr}$	%	17.0
$\rho_{Pr}$	g/cm <sup>3</sup>	1.85

**ANMERKUNG:**

Die rote horizontale Linie charakterisiert die 95 % Proctordichte.

# ANHANG I

## DURCHLÄSSIGKEITSBEIWERTE

Labornummer	Bezeichnung
19685-57	Kieswäsche 2016
19685-58	Kieswäsche + 3,5 % Bentonit
19685-59	Kieswäsche + 1 % Bentonit
19685-60	Kieswäsche + 2 % Bentonit
19685-66	Kieswäsche + 3,5 % Ziegelrecyclingmaterial
19685-67	Kieswäsche + 7,36 % Bentonit
19685-68	Damm trocken + Kammerfilterpresse 2017 - Mischung 1:1
19685-69	Damm trocken + Damm feucht - Mischung 1:1
19685-70	Damm trocken
19685-71	Damm trocken + Kammerfilterpresse 2017 + 2 % Bentonit
19685-72	Damm trocken + Kammerfilterpresse 2017 + 3 % Bentonit
19685-73	Kammerfilterpresse 2017 + 3 % Bentonit



## Durchlässigkeit in der triaxialen Durchlässigkeitszelle

<b>AUFTRAGGEBER:</b>		Masterarbeit Happenhofer									
<b>PROJEKT:</b>		19685-57									
<b>LABORNUMMER</b>		Kieswäsche 2016									
<b>Bezeichnung</b>		Kieswäsche 2016									
Durchmesser (cm)	10	<b>EINBAU</b>				<b>AUSBAU</b>				<b>MESSGLAS</b>	
Durchströmte Länge L (cm)	12	mf [g]	1042.36	mf [g]	2078.4	Q · l		k = $4.24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$		k = 4.24 · 10 <sup>-6</sup> · $\frac{Q}{t}$	
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78.54	md [g]	920	w [%]	13.3	md [g]	1791.1	w [%]	16.04		
Datum (Beginn)	Tag, Monat, Jahr	2/16/2017	2/20/2017	2/20/2017	2/20/2017	2/21/2017	2/21/2017	2/22/2017	2/22/2017	2/23/2017	2/23/2017
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	8.17	6.52	13.5	17.3	17.3	7.2	7.2	8.17	8.17	13.09
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	20.6	19.3	21.9	21.9	21.9	20.3	20.3	23.3	23.3	23.5
Datum (Ende)	Tag, Monat, Jahr	2/17/2017	2/20/2017	2/20/2017	2/20/2017	2/21/2017	2/22/2017	2/22/2017	2/23/2017	2/23/2017	2/24/2017
Versuchsende	t <sub>2</sub>	11	13.5	17.3	17.3	7.2	8.17	8.17	13.09	13.09	13.04
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	21.6	21.9	22.5	20.3	20.3	23.3	23.3	23.5	23.5	23.9
Versuchsdauer	t	96180	25080	13200	49800	89820	103920	86100			
Messglass (Beginn)	m1	104.81	104.9	105.5	104.8	104.7	105.4	104.9			104.9
Messglass (Ende)	m2	266.34	170	139.8	229.8	330.5	381.3	328			328
Wassermenge	Q	161.53	65.1	34.3	125	225.8	275.9	223.1			223.1
Höhendifferenz	ΔH	360	360	360	360	360	360	360			360
Hydraul. Gefälle	i	30	30	30	30	30	30	30			30
Temperatur Mittelwert	δ	21.1	20.6	22.2	21.1	21.8	23.4	23.7			23.7
Fk Temp (α)	1	0.751237054	0.760246036	0.731997073	0.751237054	0.738903079	0.711874933	0.706979663			0.706979663
Durchlässigkeit	k <sub>s</sub>	7.1E-09	1.1E-08	1.1E-08	1.1E-08	1.1E-08	1.1E-08	1.1E-08			1.1E-08
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	k <sub>10</sub>	5.4E-09	8.4E-09	8.1E-09	8.0E-09	7.9E-09	8.0E-09	7.8E-09			7.8E-09



## Durchlässigkeit in der triaxialen Durchlässigkeitszelle

<b>AUFTRAGGEBER:</b>		Masterarbeit Happenhofer										
<b>PROJEKT:</b>		19685-58										
<b>LABORNUMMER</b>		Kieswäsche + 3,5 % Bentonit										
<b>Bezeichnung</b>	Kieswäsche + 3,5 % Bentonit											
Durchmesser (cm)	10	<b>EINBAU</b>				<b>AUSBAU</b>				<b>MESSGLAS</b>		
Durchströmte Länge L (cm)	12	mf [g]	340.5	mf [g]	2053	k = $\frac{Q \cdot l}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$		Q · l		k = $4.24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{t}$		
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78.54	md [g]	291.1	md [g]	1761.8							
		w [%]	16.97	w [%]	16.53							
Datum (Beginn)	Tag, Monat, Jahr	3/12/2017	3/13/2017	3/14/2017	3/15/2017	3/16/2017	3/17/2017	3/17/2017	3/19/2017	3/19/2017	3/19/2017	
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	Std., Minuten	18.45	8.08	10.05	7.29	7.56	7.56	9.04	9.04	20.25	
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	°C	19.5	20.8	22.8	22	21.8	21.8	22.7	22.7	20.1	
Datum (Ende)	Tag, Monat, Jahr	3/13/2017	3/14/2017	3/15/2017	3/16/2017	3/17/2017	3/17/2017	3/19/2017	3/19/2017	3/19/2017	3/21/2017	
Versuchsende	t <sub>2</sub>	Std., Minuten	8.08	10.05	7.29	7.56	9.04	9.04	20.25	20.25	9.19	
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	°C	20.8	22.8	22	21.8	22.7	22.7	20.1	20.1	23.1	
Versuchsdauer	t	s	48180	93420	77040	88020	90480	90480	213660	213660	132840	
Messglass (Beginn)	m1	g	105.6	104.9	79.5	81.1	79.8	79.8	82.1	82.1	81	
Messglass (Ende)	m2	g	118.4	127.5	132.3	100.1	96.1	96.1	115.7	115.7	100.5	
Wassermenge	Q	cm <sup>3</sup>	12.8	22.6	52.8	19	16.3	16.3	33.6	33.6	19.5	
Höhendifferenz	ΔH	cm	360	360	360	360	360	360	360	360	360	
Hydraul. Gefälle	i	1	30	30	30	30	30	30	30	30	30	
Temperatur Mittelwert	δ	°C	20.2	21.8	22.4	21.9	22.3	22.3	21.4	21.4	21.6	
Fk Temp (α)		1	0.768500005	0.738903079	0.728581943	0.737167029	0.731140942	0.731140942	0.745911811	0.745911811	0.742394472	
Durchlässigkeit	k <sub>s</sub>	m/s	1.1E-09	1.0E-09	2.9E-09	9.2E-10	7.6E-10	7.6E-10	6.7E-10	6.7E-10	6.2E-10	
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	K <sub>10</sub>	m/s	8.7E-10	7.6E-10	2.1E-09	6.8E-10	5.6E-10	5.6E-10	5.0E-10	5.0E-10	4.6E-10	



## Durchlässigkeit in der triaxialen Durchlässigkeitszelle

<b>AUFTRAGGEBER:</b>		Masterarbeit Happenhofer									
<b>PROJEKT:</b>		19685-59									
<b>LABORNUMMER</b>		Kieswäsche + 1 % Bentonit									
<b>Durchmesser (cm)</b>	10	<b>EINBAU</b>				<b>AUSBAU</b>				<b>MESSGLAS</b>	
<b>Durchströmte Länge L (cm)</b>	12	mf [g]	228.6	mf [g]	2068.3	$Q \cdot l$		$k = 4.24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{t}$			
<b>Fläche (cm<sup>2</sup>)</b>	78.54	md [g]	199.4	md [g]	1778.6	$k = \frac{Q \cdot l}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$					
		w [%]	14.64	w [%]	16.29						
<b>Datum (Beginn)</b>	Tag, Monat, Jahr	3/15/2017	3/16/2017	3/17/2017	3/19/2017	3/21/2017	3/24/2017	3/27/2017	3/29/2017		
<b>Versuchsbeginn</b>	t <sub>1</sub>	18.29	10.42	9.02	20.27	15.08	9.03	8.45	8.45		
<b>Temperatur (Beginn)</b>	δ <sub>1</sub>	24	23.5	22.6	20.1	24	23.1	21.9	21.9		
<b>Datum (Ende)</b>	Tag, Monat, Jahr	3/16/2017	3/17/2017	3/19/2017	3/21/2017	3/24/2017	3/27/2017	3/29/2017			
<b>Versuchsende</b>	t <sub>2</sub>	10.42	9.02	20.27	15.08	9.03	8.45	12.15			
<b>Temperatur (Ende)</b>	δ <sub>2</sub>	23.5	22.6	20.1	24	23.1	21.9	24			
<b>Versuchsdauer</b>	t	58380	80400	213900	153660	237300	258120	185400			
<b>Messglass (Beginn)</b>	m1	108.9	105.7	105.7	105.4	79.8	82.1	80.6			
<b>Messglass (Ende)</b>	m2	125.8	130.5	153.6	133.9	126.6	131.6	114.2			
<b>Wassermenge</b>	Q	16.9	24.8	47.9	28.5	46.8	49.5	33.6			
<b>Höhendifferenz</b>	ΔH	360	360	360	360	360	360	360			
<b>Hydraul. Gefälle</b>	i	30	30	30	30	30	30	30			
<b>Temperatur Mittelwert</b>	δ	23.8	23.1	21.4	22.1	23.6	22.5	23.0			
<b>Fk Temp (α)</b>	1	0.70616891	0.717653492	0.74679523	0.73457492	0.709420686	0.726883733	0.71931801			
<b>Durchlässigkeit</b>	k <sub>s</sub>	1.2E-09	1.3E-09	9.5E-10	7.9E-10	8.4E-10	8.1E-10	7.7E-10			
<b>Durchlässigkeit k<sub>10</sub></b>	k <sub>10</sub>	8.7E-10	9.4E-10	7.1E-10	5.8E-10	5.9E-10	5.9E-10	5.5E-10			





## Durchlässigkeit in der triaxialen Durchlässigkeitszelle

<b>AUFTRAGGEBER:</b>		Masterarbeit Happenhofer									
<b>PROJEKT:</b>		19685-60									
<b>LABORNUMMER</b>		Kieswäsche + 2 % Bentonit									
Durchmesser (cm)	10	<b>EINBAU</b>				<b>AUSBAU</b>				<b>MESSGLAS</b>	
Durchströmte Länge L (cm)	12	mf [g]	471.3	mf [g]	2065.5	$k = \frac{Q \cdot l}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$		$k = 4,24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{t}$			
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78.54	md [g]	413.2	md [g]	1763						
		w [%]	14.06	w [%]	17.16						
Datum (Beginn)	Tag, Monat, Jahr	3/17/2017	3/19/2017	3/21/2017	3/23/2017	3/27/2017					
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	9	20.28	15.1	9.05	8.42					
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	22.6	20.1	24	23	21.9					
Datum (Ende)	Tag, Monat, Jahr	3/19/2017	3/21/2017	3/23/2017	3/24/2017	3/29/2017					
Versuchsende	t <sub>2</sub>	20.28	15.1	9.05	9.05	12.17					
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	20.1	24	23	23.1	24					
Versuchsdauer	t	214080	153720	150900	86400	185700					
Messglass (Beginn)	m1	105	104.8	81.2	81.5	105.4					
Messglass (Ende)	m2	169.3	150.8	128	108.1	154.4					
Wassermenge	Q	64.3	46	46.8	26.6	49					
Höhendifferenz	ΔH	360	360	360	360	360					
Hydraul. Gefälle	i	30	30	30	30	30					
Temperatur Mittelwert	δ	21.4	22.1	23.5	23.1	23.0					
Fk Temp (α)	1	0.74679523	0.73457492	0.710237295	0.717653492	0.71931801					
Durchlässigkeit	k <sub>s</sub>	1.3E-09	1.3E-09	1.3E-09	1.3E-09	1.1E-09					
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	k <sub>10</sub>	9.5E-10	9.3E-10	9.3E-10	9.4E-10	8.1E-10					



## Durchlässigkeit in der triaxialen Durchlässigkeitszelle

<b>AUFTRAGGEBER:</b>		Masterarbeit Happenhofer									
<b>PROJEKT:</b>		19685-66									
<b>LABORNUMMER</b>		Kieswäsche + 4 % Ziegelrecyclingmaterial									
Durchmesser (cm)	10	<b>EINBAU</b>		<b>AUSBAU</b>				<b>MESSGLAS</b>			
Durchströmte Länge L (cm)	12	mf [g]	2003.4	mf [g]	2020.9	mf [g]	2020.9	$Q \cdot l$	$Q \cdot l$	$Q \cdot l$	$Q \cdot l$
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78.54	md [g]		md [g]		md [g]		$k = \frac{Q \cdot l}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$	$k = 4.24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{t}$	$k = 4.24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{t}$	$k = 4.24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{t}$
Datum (Beginn)	Tag, Monat, Jahr	4/4/2017	4/4/2017	3/14/2017	3/14/2017	4/6/2017	4/7/2017	4/9/2017	4/9/2017	4/13/2017	4/13/2017
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	9.24	14.1	10.05	10.05	9.01	14.41	20.08	20.08	7.15	7.15
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	23.2	24.6	22.8	22.8	23	24.4	22.1	22.1	22.8	22.8
Datum (Ende)	Tag, Monat, Jahr	4/4/2017	4/5/2017	3/15/2017	3/15/2017	4/7/2017	4/9/2017	4/13/2017	4/13/2017	4/14/2017	4/14/2017
Versuchsende	t <sub>2</sub>	14.1	8.2	7.29	7.29	14.41	20.08	7.15	7.15	14.4	14.4
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	24.6	23	22	22	24.4	22.1	22.8	22.8	24.8	24.8
Versuchsdauer	t	17160	65400	77040	77040	106800	192420	299220	299220	113100	113100
Messglass (Beginn)	m1	104.9	81	79.5	79.5	104.9	105.2	105.4	105.4	105.7	105.7
Messglass (Ende)	m2	113.1	136.8	132.3	132.3	192.9	291.1	352.7	352.7	208.9	208.9
Wassermenge	Q	8.2	55.8	52.8	52.8	88	185.9	247.3	247.3	103.2	103.2
Höhendifferenz	ΔH	360	360	360	360	360	361	362	362	363	363
Hydraul. Gefälle	i	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30
Temperatur Mittelwert	δ	23.9	23.8	22.4	22.4	23.7	23.3	22.5	22.5	23.8	23.8
Fk Temp (α)	1	0.703745365	0.705359612	0.728581943	0.728581943	0.706979663	0.714342502	0.727732062	0.727732062	0.705359612	0.705359612
Durchlässigkeit	k <sub>s</sub>	2.0E-09	3.6E-09	2.9E-09	2.9E-09	3.5E-09	4.1E-09	3.5E-09	3.5E-09	3.8E-09	3.8E-09
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	k <sub>10</sub>	1.4E-09	2.6E-09	2.1E-09	2.1E-09	2.5E-09	2.9E-09	2.5E-09	2.5E-09	2.7E-09	2.7E-09



## Durchlässigkeit in der triaxialen Durchlässigkeitszelle

<b>AUFTRAGGEBER:</b>		Masterarbeit Happenhofer									
<b>PROJEKT:</b>		19685-67									
<b>LABORNUMMER</b>		Kieswäsche + 7,36 % Bentonit									
Durchmesser (cm)	10	<b>EINBAU</b>				<b>AUSBAU</b>				<b>MESSGLAS</b>	
Durchströmte Länge L (cm)	12	mf [g]	1998.3	mf [g]	2051.2	Q · l	$k = \frac{Q \cdot l}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$	$k = 4,24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{t}$			
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78.54	md [g]	1687.9	md [g]	1687.9						
		w [%]	18.39	w [%]	21.52						
Datum (Beginn)	Tag, Monat, Jahr	6/27/2017	6/29/2017	7/4/2017	7/5/2017	7/10/2017	7/10/2017	7/12/2017			
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	Std., Minuten	11.3	20.11	10.4	7	7.41	7.41	10.5	10.5	
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	°C	23.5	24.1	21.7	21	22.6	22.6	22.5		
Datum (Ende)	Tag, Monat, Jahr	6/29/2017	7/4/2017	7/5/2017	7/10/2017	7/11/2017	7/12/2017	7/13/2017			
Versuchsende	t <sub>2</sub>	Std., Minuten	20.11	10.4	7	7.41	10.5	10.5	9	9	
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	°C	24.1	21.7	21	22.6	22.5	22.5	22.6		
Versuchsdauer	t	s	204060	397740	73200	434460	184140	79800			
Messglass (Beginn)	m1	g	79.8	81.6	57.4	80.5	81	81.6			
Messglass (Ende)	m2	g	82.2	84.4	58	84.5	82.7	82.3			
Wassermenge	Q	cm <sup>3</sup>	2.4	2.8	0.6	4	1.7	0.7			
Höhendifferenz	ΔH	cm	360	360	360	360	361	362			
Hydraul. Gefälle	i	1	30	30	30	30	30	30			
Temperatur Mittelwert	δ	°C	23.8	22.9	21.4	21.8	22.6	22.6			
Fk Temp (α)	1	1	0.706359612	0.720152539	0.74679523	0.738903079	0.726036954	0.726036954			
Durchlässigkeit	k <sub>s</sub>	m/s	5.0E-11	3.0E-11	3.5E-11	3.9E-11	3.9E-11	3.9E-11			
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	k <sub>10</sub>	m/s	3.5E-11	2.2E-11	2.6E-11	2.9E-11	2.8E-11	2.7E-11			



## Durchlässigkeit in der triaxialen Durchlässigkeitszelle

<b>AUFTRAGGEBER:</b>		Masterarbeit Happenhofer										
<b>PROJEKT:</b>		19685-68										
<b>LABORNUMMER</b>		Damm trocken + Kammerfilterpresse 2017 - Mischung 1:1										
Durchmesser (cm)	10	<b>EINBAU</b>		<b>AUSBAU</b>		<b>MESSGLAS</b>						
Durchströmte Länge L (cm)	12	mf [g]	239.2	mf [g]	1961.5	$k = \frac{Q \cdot l}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$		$k = 4,24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{t}$				
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78.54	md [g]	200.5	md [g]	1644.9							
		w [%]	19.30	w [%]	19.25							
Datum (Beginn)	Tag, Monat, Jahr	4/16/2017	4/18/2017	4/19/2017	4/20/2017	4/21/2017						
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	23.23	11.27	16.05	23.43	12.39						
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	21.9	23.6	24.6	22.2	23.5						
Datum (Ende)	Tag, Monat, Jahr	4/18/2017	4/19/2017	4/20/2017	4/21/2017	4/23/2017						
Versuchsende	t <sub>2</sub>	11.27	16.05	23.43	12.39	21.14						
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	23.6	24.6	22.2	23.5	21.4						
Versuchsdauer	t	129840	103080	113880	46560	203700						
Messglass (Beginn)	m1	80.7	57.4	80.6	57.4	81.2						
Messglass (Ende)	m2	90.8	65.9	89.3	60.9	97.4						
Wassermenge	Q	10.1	8.5	8.7	3.5	16.2						
Höhendifferenz	ΔH	360	360	360	360	361						
Hydraul. Gefälle	i	30	30	30	30	30						
Temperatur Mittelwert	δ	22.8	24.1	23.4	22.9	22.5						
Fk Temp (α)	1	0.722665247	0.700534169	0.711874933	0.720988585	0.727732062						
Durchlässigkeit	k <sub>s</sub>	3.3E-10	3.5E-10	3.2E-10	3.2E-10	3.4E-10						
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	k <sub>10</sub>	2.4E-10	2.5E-10	2.3E-10	2.3E-10	2.4E-10						



## Durchlässigkeit in der triaxialen Durchlässigkeitszelle

<b>AUFTRAGGEBER:</b>		Masterarbeit Happenhofer									
<b>PROJEKT:</b>		19685-69									
<b>LABORNUMMER</b>		Damm trocken + Damm feucht - Mischung 1:1									
Durchmesser (cm)	10	<b>EINBAU</b>		<b>AUSBAU</b>				<b>MESSGLAS</b>			
Durchströmte Länge L (cm)	12	mf [g]	220.3	md [g]	180.4	mf [g]	1961.5	Q · l		k = 4,24 · 10 <sup>-6</sup> · $\frac{Q}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$	
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78.54	w [%]	22.12	w [%]	22.12	w [%]	19.25				
Datum (Beginn)	Tag, Monat, Jahr	4/16/2017	4/18/2017	4/19/2017	4/20/2017	4/21/2017	4/21/2017				
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	23.38	11.39	16	23.45	23.45	12.4				
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	21.9	23.6	24.6	22.2	23.5	23.5				
Datum (Ende)	Tag, Monat, Jahr	4/18/2017	4/19/2017	4/20/2017	4/21/2017	4/23/2017	4/23/2017				
Versuchsende	t <sub>2</sub>	11.39	16	23.45	12.4	23.04	23.04				
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	23.6	24.6	22.2	23.5	21.11	21.11				
Versuchsdauer	t	129660	102060	114300	46500	210240	210240				
Messglass (Beginn)	m1	80.6	57.5	82.2	81.6	80.4	80.4				
Messglass (Ende)	m2	89.2	64.8	89.6	84.5	94.3	94.3				
Wassermenge	Q	8.6	7.3	7.4	2.9	13.9	13.9				
Höhendifferenz	ΔH	360	360	360	360	361	361				
Hydraul. Gefälle	i	1	30	30	30	30	30				
Temperatur Mittelwert	δ	22.8	24.1	23.4	22.9	22.3	22.3				
Fk Temp (α)	1	0.722665247	0.700534169	0.711874933	0.720988585	0.730201008	0.730201008				
Durchlässigkeit	k <sub>s</sub>	2.8E-10	3.0E-10	2.7E-10	2.6E-10	2.8E-10	2.8E-10				
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	k <sub>10</sub>	2.0E-10	2.1E-10	2.0E-10	1.9E-10	2.0E-10	2.0E-10				



## Durchlässigkeit in der triaxialen Durchlässigkeitszelle

<b>AUFTRAGGEBER:</b>		Masterarbeit Happenhofer										
<b>PROJEKT:</b>		19685-70										
<b>LABORNUMMER</b>		19685-70										
<b>Bezeichnung</b>		Damm trocken										
Durchmesser (cm)	10	<b>EINBAU</b>				<b>AUSBAU</b>				<b>MESSGLAS</b>		
Durchströmte Länge L (cm)	12	mf [g]	525.6	mf [g]	2025.5	$k = \frac{Q \cdot l}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$		$k = 4,24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{t}$				
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78.54	md [g]	443.4	md [g]	1704							
		w [%]	18.54	w [%]	18.87							
Datum (Beginn)	Tag, Monat, Jahr	4/16/2017	4/18/2017	4/19/2017	4/20/2017	4/21/2017						
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	Std., Minuten	23.38	11.39	16.03	23.46	12.41	12.41				
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	°C	21.9	23.6	24.6	22.2	23.5	23.5				
Datum (Ende)	Tag, Monat, Jahr	4/18/2017	4/19/2017	4/20/2017	4/21/2017	4/23/2017						
Versuchsende	t <sub>2</sub>	Std., Minuten	11.4	16.03	23.46	12.41	20.08	20.08				
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	°C	23.6	24.6	22.2	23.5	21.4	21.4				
Versuchsdauer	t	s	129720	102240	114180	46500	199620	199620				
Messglass (Beginn)	m1	g	82.1	79.8	80.7	57.5	79.5	79.5				
Messglass (Ende)	m2	g	91.1	87	88.2	60.5	93.5	93.5				
Wassermenge	Q	cm <sup>3</sup>	9	7.2	7.5	3	14	14				
Höhendifferenz	ΔH	cm	360	360	360	360	361	361				
Hydraul. Gefälle	i	1	30	30	30	30	30	30				
Temperatur Mittelwert	δ	°C	22.8	24.1	23.4	22.9	22.5	22.5				
Fk Temp (α)	1	1	0.722665247	0.700534169	0.711874933	0.720988585	0.727732062	0.727732062				
Durchlässigkeit	k <sub>s</sub>	m/s	2.9E-10	3.0E-10	2.9E-10	2.7E-10	3.0E-10	3.0E-10				
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	k <sub>10</sub>	m/s	2.1E-10	2.1E-10	2.0E-10	2.0E-10	2.2E-10	2.2E-10				



## Durchlässigkeit in der triaxialen Durchlässigkeitszelle

<b>AUFTRAGGEBER:</b>		Masterarbeit Happenhofer									
<b>PROJEKT:</b>		19685-71									
<b>LABORNUMMER</b>		Damm trocken + Kammerfilterpresse 2017 + 2 % Bentonit									
Durchmesser (cm)	10	<b>EINBAU</b>		<b>AUSBAU</b>				<b>MESSGLAS</b>			
Durchströmte Länge L (cm)	12	mf [g]	2009.8	mf [g]	2003.3	Q · l		k = $\frac{4,24 \cdot 10^{-6} \cdot Q}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$			
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78.54	md [g]	1662.1	md [g]	1689.1						
		w [%]	17.30	w [%]	18.60						
Datum (Beginn)	Tag, Monat, Jahr	4/20/2017	4/21/2017	4/23/2017	4/24/2017	4/25/2017	4/25/2017	4/27/2017	4/27/2017		
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	Std., Minuten	23.5	12.44	21.16	15.45	8.17	8.17	13.11	13.11	
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	°C	22.2	23.5	21.4	24.7	23.9	23.9	24.5		
Datum (Ende)	Tag, Monat, Jahr	4/21/2017	4/23/2017	4/24/2017	4/25/2017	4/27/2017	4/27/2017	4/28/2017			
Versuchsende	t <sub>2</sub>	Std., Minuten	12.44	21.16	15.45	8.17	8.17	13.11	13.2		
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	°C	23.5	21.4	24.7	23.9	24.5	24.5	24.5		
Versuchsdauer	t	s	46440	203520	66540	59520	190440	86940			
Messglass (Beginn)	m1	g	80.6	80.7	81.6	81.5	57.4	82.1			
Messglass (Ende)	m2	g	81.3	84.2	82.6	82.6	60.5	83.3			
Wassermenge	Q	cm <sup>3</sup>	0.7	3.5	1	1.1	3.1	1.2			
Höhendifferenz	ΔH	cm	360	360	360	360	360	360			
Hydraul. Gefälle	i	1	30	30	30	30	30	30			
Temperatur Mittelwert	δ	°C	22.9	22.5	23.1	24.3	24.2	24.5			
Fk Temp (α)	1		0.720988585	0.727732062	0.717653492	0.697345847	0.698937163	0.694180175			
Durchlässigkeit	k <sub>s</sub>	m/s	6.4E-11	7.3E-11	6.4E-11	7.8E-11	6.9E-11	5.9E-11			
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	k <sub>10</sub>	m/s	4.6E-11	5.3E-11	4.6E-11	5.5E-11	4.8E-11	4.1E-11			



## Durchlässigkeit in der triaxialen Durchlässigkeitszelle

<b>AUFTRAGGEBER:</b>		Masterarbeit Happenhofer									
<b>PROJEKT:</b>		19685-72									
<b>LABORNUMMER</b>		19685-72									
<b>Bezeichnung</b>		Damm trocken + Kammerfilterpresse 2017 + 3 % Bentonit									
Durchmesser (cm)	10	<b>EINBAU</b>		<b>AUSBAU</b>				<b>MESSGLAS</b>			
Durchströmte Länge L (cm)	12	mf [g]	2040.2	mf [g]	2075.2	Q, l		k = $\frac{Q \cdot l}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$		k = $4,24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{t}$	
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78.54	md [g]	1734.1	md [g]	1769.8						
		w [%]	15.00	w [%]	17.26						
Datum (Beginn)	Tag, Monat, Jahr	4/20/2017	4/21/2017	4/23/2017	4/24/2017	4/25/2017	4/27/2017	4/28/2017			
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	Std., Minuten	23.47	12.42	21.15	15.43	8.16	13.13			
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	°C	22.2	23.5	21.4	24.6	23.9	24.5			
Datum (Ende)	Tag, Monat, Jahr	4/21/2017	4/23/2017	4/24/2017	4/25/2017	4/27/2017	4/28/2017				
Versuchsende	t <sub>2</sub>	Std., Minuten	12.42	21.15	15.43	8.16	13.13	13.2			
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	°C	23.5	21.4	24.6	23.9	24.5	24.5			
Versuchsdauer	t	s	46500	203580	66480	59580	190620	86820			
Messglass (Beginn)	m1	g	79.8	82.1	57.5	79.8	80.7	79.8			
Messglass (Ende)	m2	g	81.5	90.2	60.4	82.1	87.4	82.3			
Wassermenge	Q	cm <sup>3</sup>	1.7	8.1	2.9	2.3	6.7	2.5			
Höhendifferenz	ΔH	cm	360	360	360	360	360	360			
Hydraul. Gefälle	i	1	30	30	30	30	30	30			
Temperatur Mittelwert	δ	°C	22.9	22.5	23.0	24.3	24.2	24.5			
Fk Temp (α)	1		0.7209888585	0.727732062	0.718484996	0.698140796	0.698937163	0.694180175			
Durchlässigkeit	k <sub>s</sub>	m/s	1.6E-10	1.7E-10	1.9E-10	1.6E-10	1.5E-10	1.2E-10			
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	k <sub>10</sub>	m/s	1.1E-10	1.2E-10	1.3E-10	1.1E-10	1.0E-10	8.5E-11			





## Durchlässigkeit in der triaxialen Durchlässigkeitszelle

<b>AUFTRAGGEBER:</b>		Masterarbeit Happenhofer									
<b>PROJEKT:</b>		19685-73									
<b>LABORNUMMER</b>		Kammerfilterpresse 2017 + 3 % Bentonit									
Durchmesser (cm)	10	<b>EINBAU</b>		<b>AUSBAU</b>		<b>MESSGLAS</b>					
Durchströmte Länge L (cm)	12	mf [g]	1935	mf [g]	1929.7	Q · l					
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78.54	md [g]	1582.8	md [g]	1582.8	k = $\frac{Q \cdot l}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$		k = 4,24 · 10 <sup>-6</sup> · $\frac{Q}{t}$			
		w [%]	22.25	w [%]	21.92						
Datum (Beginn)	Tag, Monat, Jahr	4/23/2017	4/25/2017	4/27/2017	4/28/2017	5/2/2017	5/4/2017	5/4/2017			
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	21.19	8.19	13.14	13.21	16.33	12.44	12.44			
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	21.4	23.9	24.5	24.5	23.8	24.5	24.5			
Datum (Ende)	Tag, Monat, Jahr	4/25/2017	4/27/2017	4/28/2017	5/2/2017	5/4/2017	5/9/2017	5/9/2017			
Versuchsende	t <sub>2</sub>	8.19	13.14	13.21	16.33	12.44	10.45	10.45			
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	23.9	24.5	24.5	23.8	23.6	23.5	23.5			
Versuchsdauer	t	126000	190500	86820	357120	159060	424860	424860			
Messglass (Beginn)	m1	80.6	57.4	80.6	82.1	82.1	57.4	57.4			
Messglass (Ende)	m2	82.5	60.1	81.7	84.5	85.4	60.4	60.4			
Wassermenge	Q	1.9	2.7	1.1	2.4	3.3	3	3			
Höhendifferenz	ΔH	360	360	360	360	360	360	360			
Hydraul. Gefälle	i	30	30	30	30	30	30	30			
Temperatur Mittelwert	δ	22.7	24.2	24.5	24.2	23.7	24.0	24.0			
Fk Temp (α)	1	0.724348026	0.698937163	0.694180175	0.699734953	0.706979663	0.702136893	0.702136893			
Durchlässigkeit	k <sub>s</sub>	6.4E-11	6.0E-11	5.4E-11	2.9E-11	8.8E-11	3.0E-11	3.0E-11			
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	K <sub>10</sub>	4.6E-11	4.2E-11	3.7E-11	2.0E-11	6.2E-11	2.1E-11	2.1E-11			

# ANHANG J

## SCHERVERSUCHE

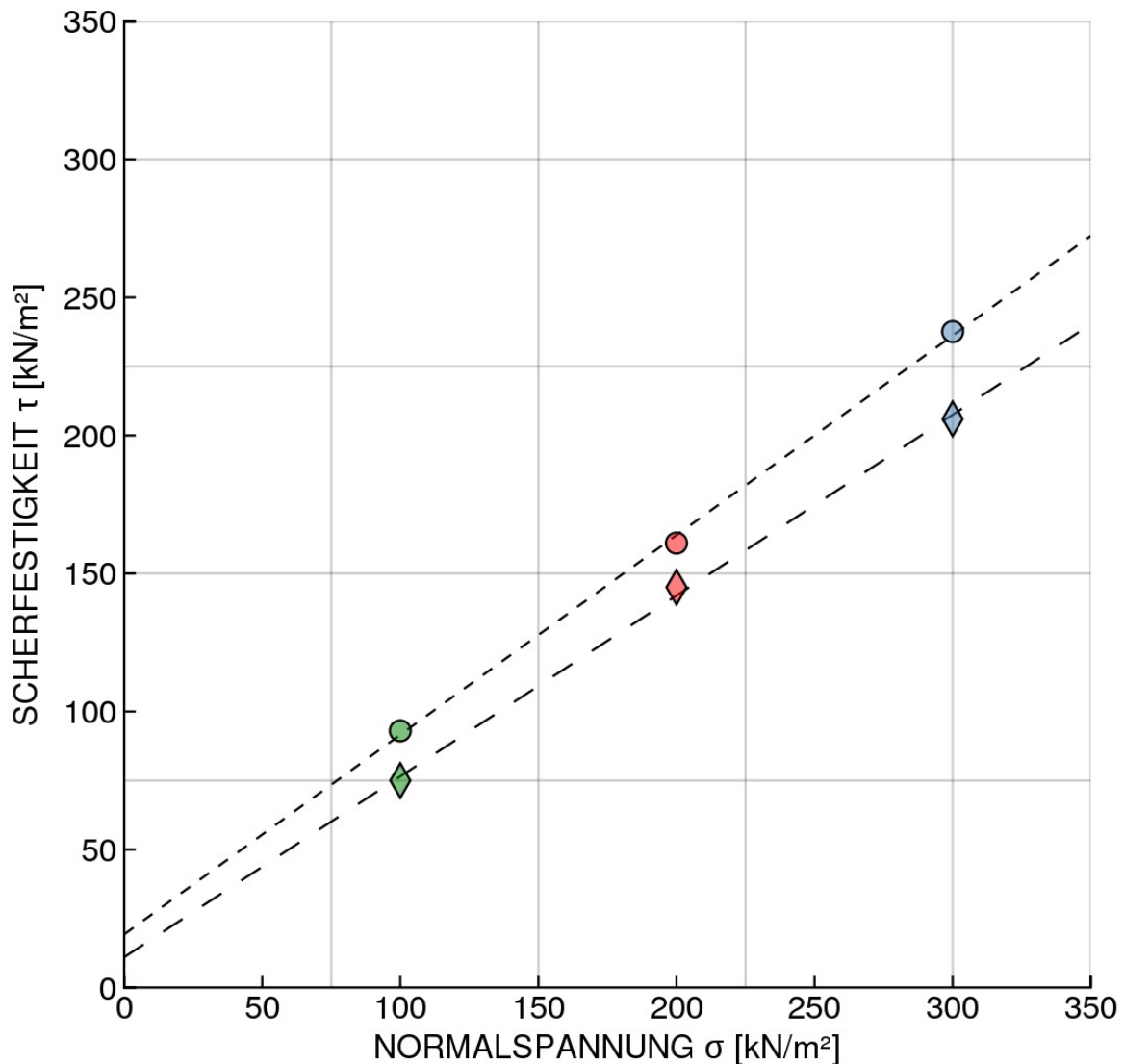
<b>Labornummer</b>	<b>Bezeichnung</b>
19685-7	Kieswäsche 2016
19685-23	Kieswäsche + Speicherteich, Mischung 1:1

AUFTRAGGEBER: <b>Institut für Bodenmechanik und Grundbau</b>	BODENART:	LABORNUMMER: <b>19685-7</b>
PROJEKT: <b>Masterarbeit Happenhofer Martin</b>	TIEFE: -	AUFTRAGSNR: <b>7</b>
BEZEICHNUNG: <b>Basisabdichtung Deponie</b>	BEARBEITER: <b>HapM</b>	DATUM: <b>17.03.17 - 23.03.17</b>

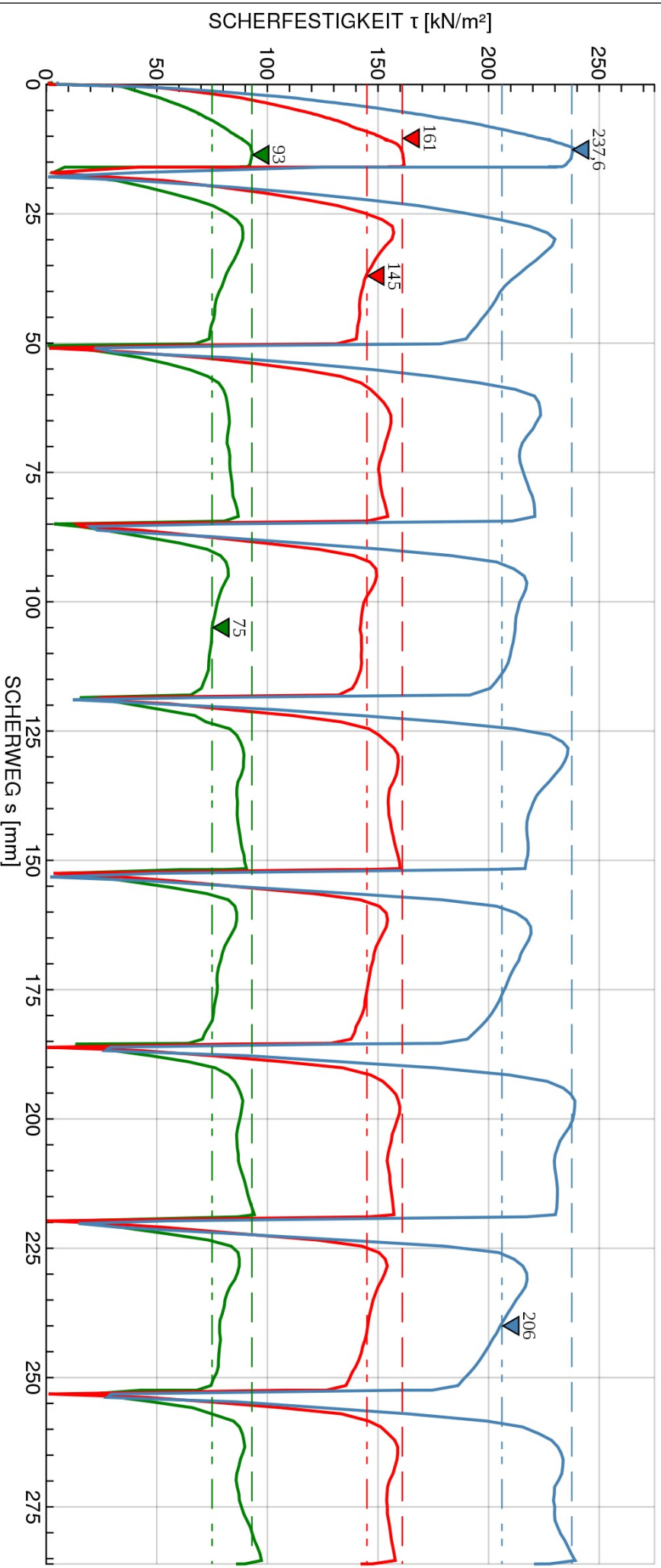
## RAHMENSCHERVERVERSUCH NACH ÖNORM B 4416

Büchsengröße: 100 x 100 x 20 mm

GRÖSSTKORN: < 4 mm		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
KONSOLIDIERUNGSDRUCK	$\sigma_c$ kN/m <sup>2</sup>	300	300	300
KONSOLIDIERUNGSZEIT	$t_c$ h	72	72	72
NORMALSPANNUNG	$\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	100	200	300
SCHERFESTIGKEIT	$\tau_f$ kN/m <sup>2</sup>	93,0	161,0	237,6
SCHERWEG	$s_1$ mm	13,6	10,4	12,6
RESTSCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	75,0	145,0	206,0
RESTSCHERWEG	$s_2$ mm	105,0	37,0	240,0
WASSERGEHALT nach dem Versuch	w %	17,0	16,2	15,7
REIBUNGSWINKEL ( $\phi'$ )	35,9 °	PROBENZUSTAND		gestört
KOHÄSION ( $c'$ )	19,3 kN/m <sup>2</sup>	SCHERGESCHWINDIGKEIT		0,003 mm/min
RESTSCHERWINKEL ( $\phi_r$ )	33,2 °	RESTSCHERGESCHWINDIGKEIT		2,328 mm/min



<ul style="list-style-type: none"> <li><span style="color: blue;">—</span> <math>\sigma = 300 \text{ kN/m}^2</math>, <math>t = 72 \text{ h}</math>, <math>\sigma_c = 300 \text{ kN/m}^2</math>, gestört</li> <li><span style="color: red;">—</span> <math>\sigma = 200 \text{ kN/m}^2</math>, <math>t = 72 \text{ h}</math>, <math>\sigma_c = 300 \text{ kN/m}^2</math>, gestört</li> <li><span style="color: green;">—</span> <math>\sigma = 100 \text{ kN/m}^2</math>, <math>t = 72 \text{ h}</math>, <math>\sigma_c = 300 \text{ kN/m}^2</math>, gestört</li> </ul>	<p>Labornummer <b>19685-7</b></p> <p>Versuchsdatum <b>17.03.17 - 23.03.17</b></p> <p>Schergeschwindigkeit <b>0,003 mm/min</b></p> <p>Größtkorn <b>&lt; 4 mm</b></p>
--	---

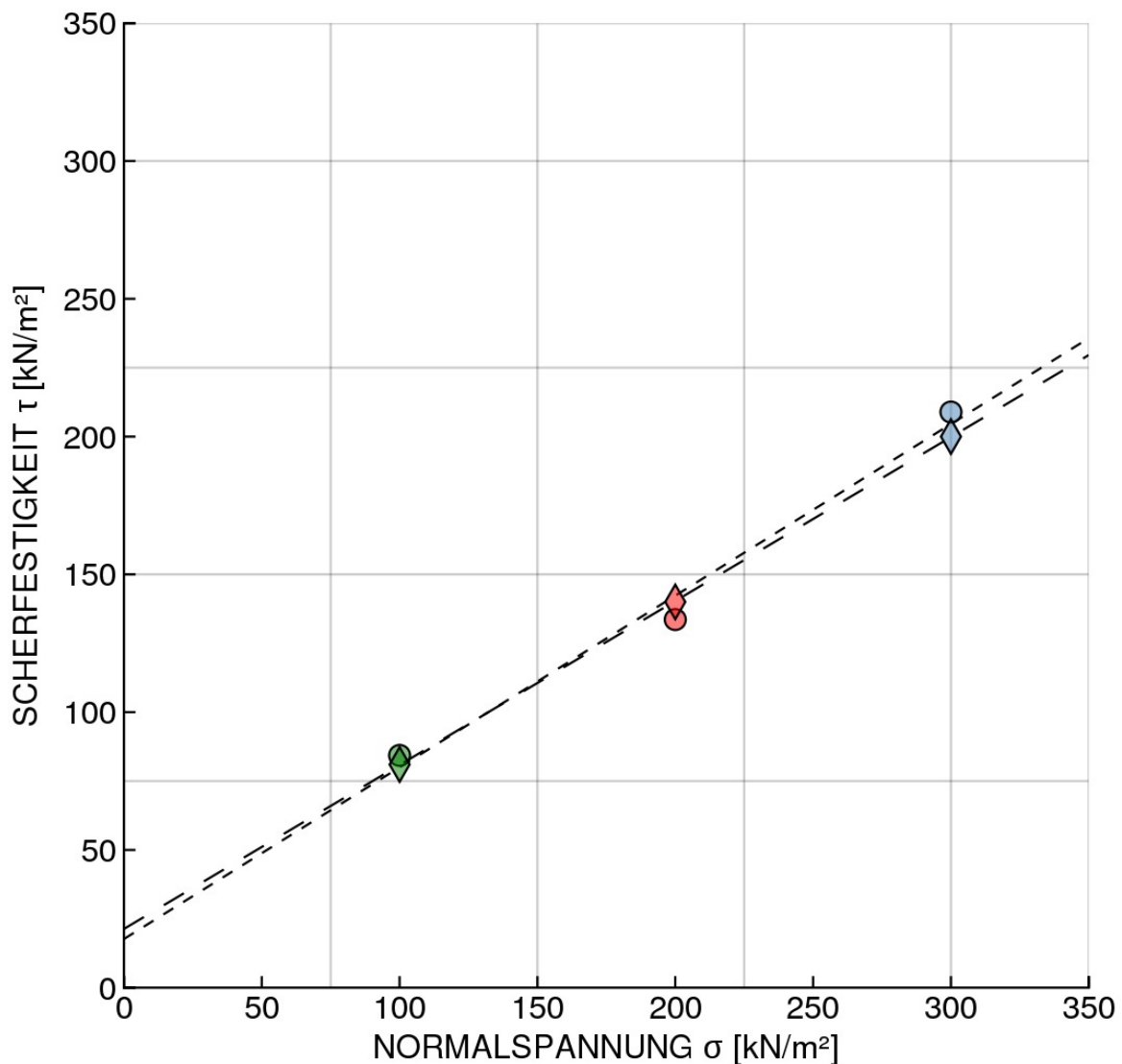


AUFTRAGGEBER: <b>Institut für Bodenmechanik und Grundbau</b>	BODENART:	LABORNUMMER: <b>19685-23</b>
PROJEKT: <b>Masterarbeit Happenhofer Martin</b>	TIEFE: -	AUFTRAGSNR: <b>7</b>
BEZEICHNUNG: <b>Basisabdichtung Deponie</b>	BEARBEITER: <b>HapM</b>	DATUM: <b>28.04.17 - 10.05.17</b>

## RAHMENSCHERVERVERSUCH NACH ÖNORM B 4416

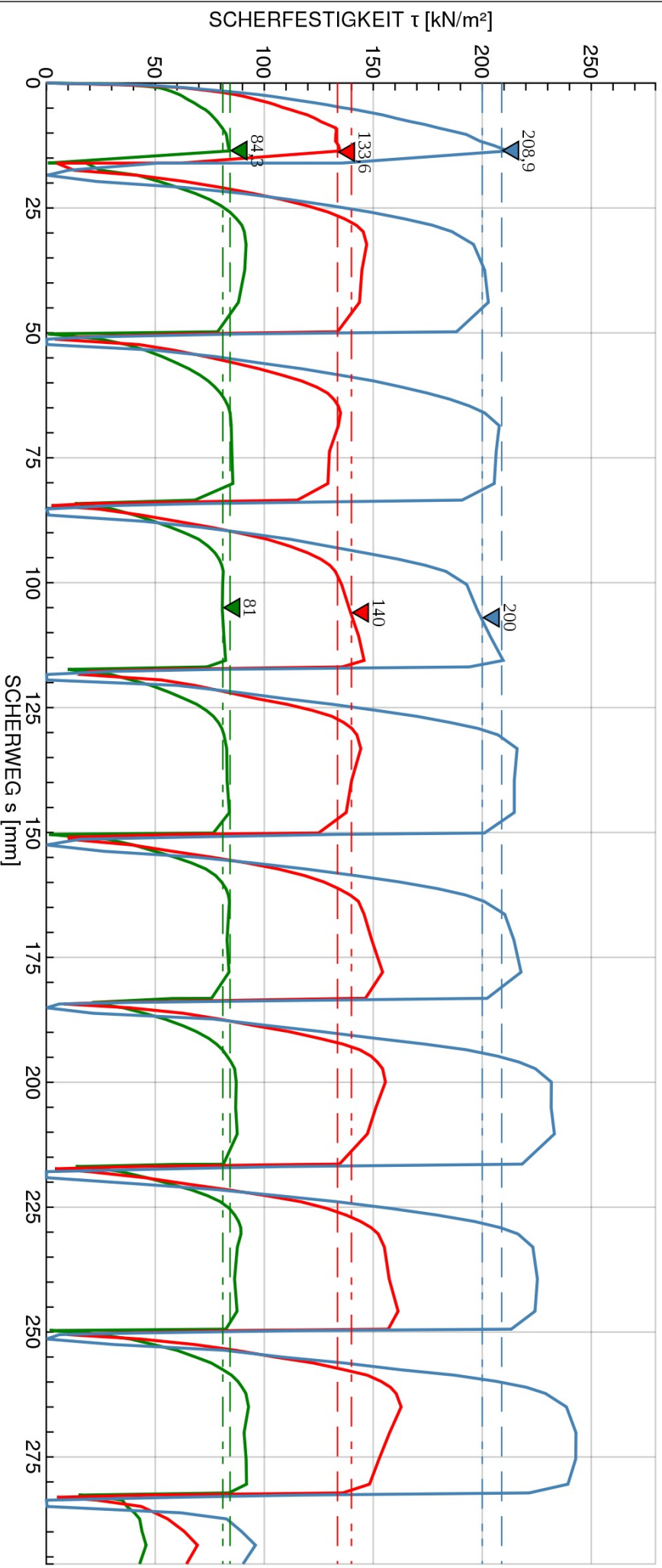
Büchsengröße: 150 x 150 x 20 mm

GRÖSSTKORN: < 4 mm		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
KONSOLIDIERUNGSDRUCK	$\sigma_c$ kN/m <sup>2</sup>	300	300	300
KONSOLIDIERUNGSZEIT	$t_c$ h	72	72	72
NORMALSPANNUNG	$\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	100	200	300
SCHERFESTIGKEIT	$\tau_f$ kN/m <sup>2</sup>	84,3	133,6	208,9
SCHERWEG	$s_1$ mm	13,5	13,8	13,5
RESTSCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	81,0	140,0	200,0
RESTSCHERWEG	$s_2$ mm	105,0	106,0	107,0
WASSERGEHALT nach dem Versuch	w %	18,7	16,9	16,6
REIBUNGSWINKEL ( $\phi'$ )	31,9 °	PROBENZUSTAND		gestört
KOHÄSION ( $c'$ )	17,7 kN/m <sup>2</sup>	SCHERGESCHWINDIGKEIT		0,003 mm/min
RESTSCHERWINKEL ( $\phi_r$ )	30,8 °	RESTSCHERGESCHWINDIGKEIT		2,328 mm/min



—  $\sigma = 300 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = 72 \text{ h}$ ,  $\sigma_c = 300 \text{ kN/m}^2$ , gestört  
—  $\sigma = 200 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = 72 \text{ h}$ ,  $\sigma_c = 300 \text{ kN/m}^2$ , gestört  
—  $\sigma = 100 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = 72 \text{ h}$ ,  $\sigma_c = 300 \text{ kN/m}^2$ , gestört

Labornummer **19685-23**  
 Versuchsdatum **28.04.17 - 10.05.17**  
 Schergeschwindigkeit **0,003 mm/min**  
 Größtkorn **< 4 mm**



# ANHANG K

## KOMPRESSIONSVERSUCHE

<b>Labornummer</b>	<b>Bezeichnung</b>
19685-61	Kieswäsche 2016
19685-81	Kieswäsche + Speicherteich, Mischung 1:1

AUFTRAGGEBER: Institut fuer Bodenmechanik und Grundbau	BODENART: sa Si	BEZEICHNUNG: Kieswäsche	LABORNUMMER: 19685-61
		TIEFE: -	PROJEKTNUMMER: 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	UNGESTÖRT	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 08.03.2017
	GESTÖRT x		

## KOMPRESSIONSVERSUCH

### LASTSTUFEN $\sigma$ [kpa]

Gerät Nr.	$F_0$	$cm^2$	50,26
3 a	$h_0$	cm	2,0

Spannung [N/cm <sup>2</sup> ]	Nach Wasser- zugabe	1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14													
		0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	0,8	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4	
Zeit	*)	Setzung [1/100 mm]													
5"															
10"															
15"															
30"															
1'															
2'															
4'															
8'															
16'															
32'															
2h															
4h															
8h															
Endablesung															
Endsetzung $\Delta h_i$ [1/100 mm]	1,0	4,3	8,0	16,5	29,3	41,6	57,2	50,1	43,9	44,9	47,7	51,9	58,2	76,8	
$\Delta h_{a,i} / h_a$ [%]		0,215	0,400	0,825	1,466	2,081	2,861	2,506	2,196	2,246	2,386	2,596	2,911	3,842	
$\Delta h_{i,i+1} / h_a$ [%]															
Steifemodul		5403	4704	6247	13002	20503				49980	28557	38076	50768	34391	

#### Bodenkennwerte aus dem Versuch

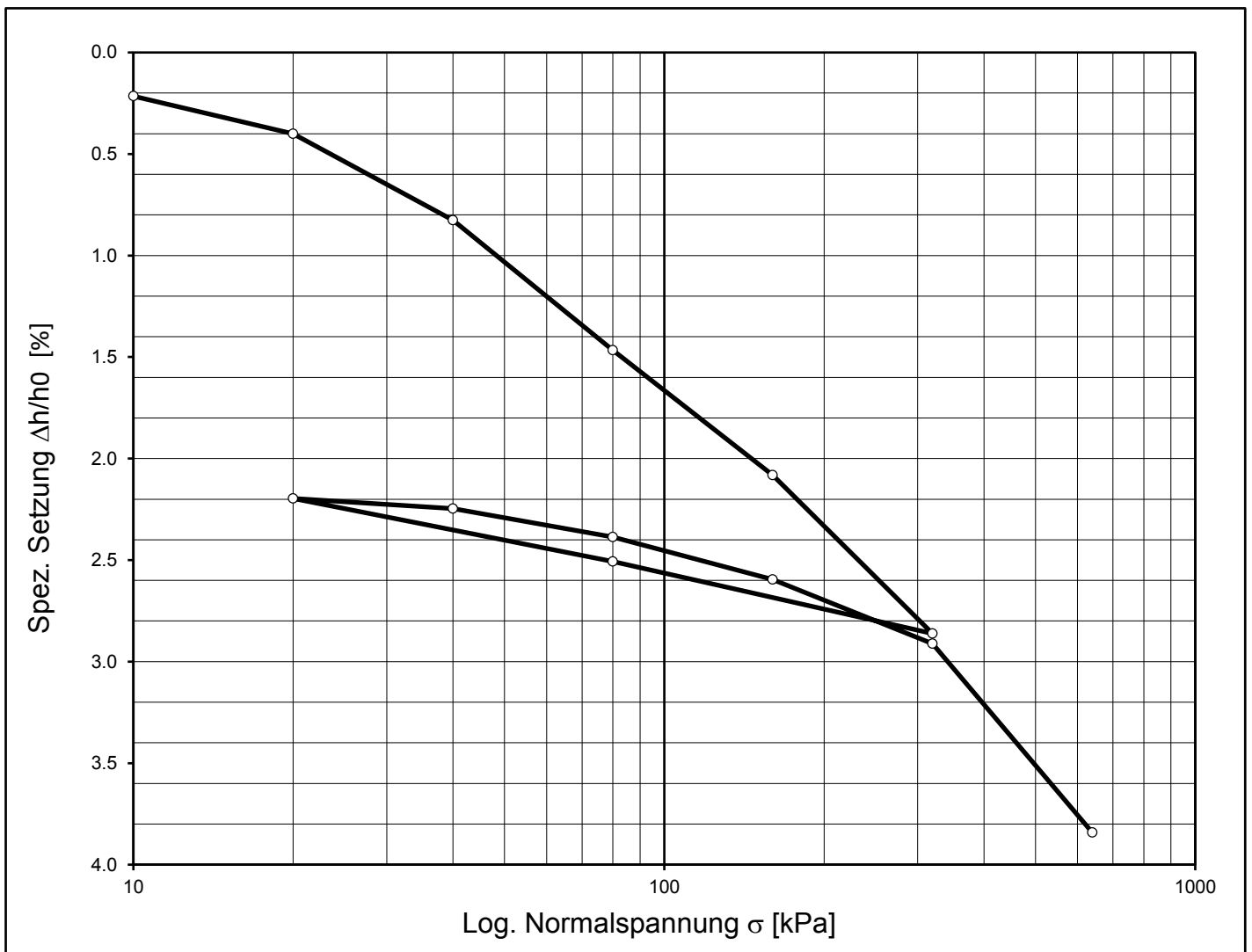
$m + m_B$	g	457,5	aus der Volumbestimmung	mit Tauchwägung	$h_a = h_0 + h_{\text{Schwellung}}$ $h_a = h_0 - h_{\text{Sackung}}$  Steifemodu   $E_{s,i,i+1}$ : $E_{s,i,i+1} = \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_i \text{ [N/cm}^2\text{]}}{\Delta(\Delta h_{i,i+1}/h_a) \text{ [%]}} \cdot 100 \text{ [N/cm}^2\text{]}$
$m_d + m_B$	g	431,0			
$m_B$	g	240,8			
$w_n$	%	13,9			
$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	2,76			
$n_0$	%	31,4			
$c_0$	1				
$S_r$	%	8,38			
$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	2,156			
$\rho_d$	g/cm <sup>3</sup>	1,892			

\*) Ödometer – Anfangslesung vor Versuchsbeginn: .....



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Kieswäsche	LABORNUMMER: 19685-61
	TIEFE: -	AUFTRAGSNUMMER: 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: HAPM	DATUM: 3/8/2017

## KOMPRESSIONSVERSUCH STEIFEMODULI



Laststufen [kPa]		10 - 20	20 - 40	40 - 80	80 - 160	160 - 320	320 - 640		
Steifemodul $E_s$ [kPa]	Erstbel.	5403	4704	6247	13002	20503	34391		
	Zweitbel.		39980	28557	38076	50768			

AUFTRAGGEBER: Institut fuer Bodenmechanik und Grundbau	BODENART: sa Si	BEZEICHNUNG: Kieswäsche + Schlamm. Mischung 1:1	LABORNUMMER: 19685-84
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	UNGESTÖRT GESTÖRT x	TIEFE: -	PROJEKTNUMMER: 7
		BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 25.04.2017

## KOMPRESSIONSVERSUCH

### LASTSTUFEN $\sigma$ [kpa]

Gerät Nr.	$F_0$	$cm^2$	50,26
3 a	$h_0$	cm	2,0

Spannung [N/cm <sup>2</sup> ]	Nach Wasser- zugabe	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
		0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	0,8	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,4	
Zeit	*)	Setzung [1/100 mm]													
5"															
10"															
15"															
30"															
1'															
2'															
4'															
8'															
16'															
32'															
2h															
4h															
8h															
Endablesung															
Endsetzung $\Delta h_i$ [1/100 mm]	1,0	3,2	9,1	19,9	32,5	51,7	74,5	66,2	59,0	60,2	63,5	68,5	76,3	110,8	
$\Delta h_{a,i} / h_a$ [%]		0,160	0,455	0,995	1,626	2,586	3,727	3,312	2,951	3,011	3,177	3,427	3,817	5,543	
$\Delta h_{i,i+1} / h_a$ [%]															
Steifemodul		3388	3702	6346	8329	14028				33317	24230	31984	41005	18541	

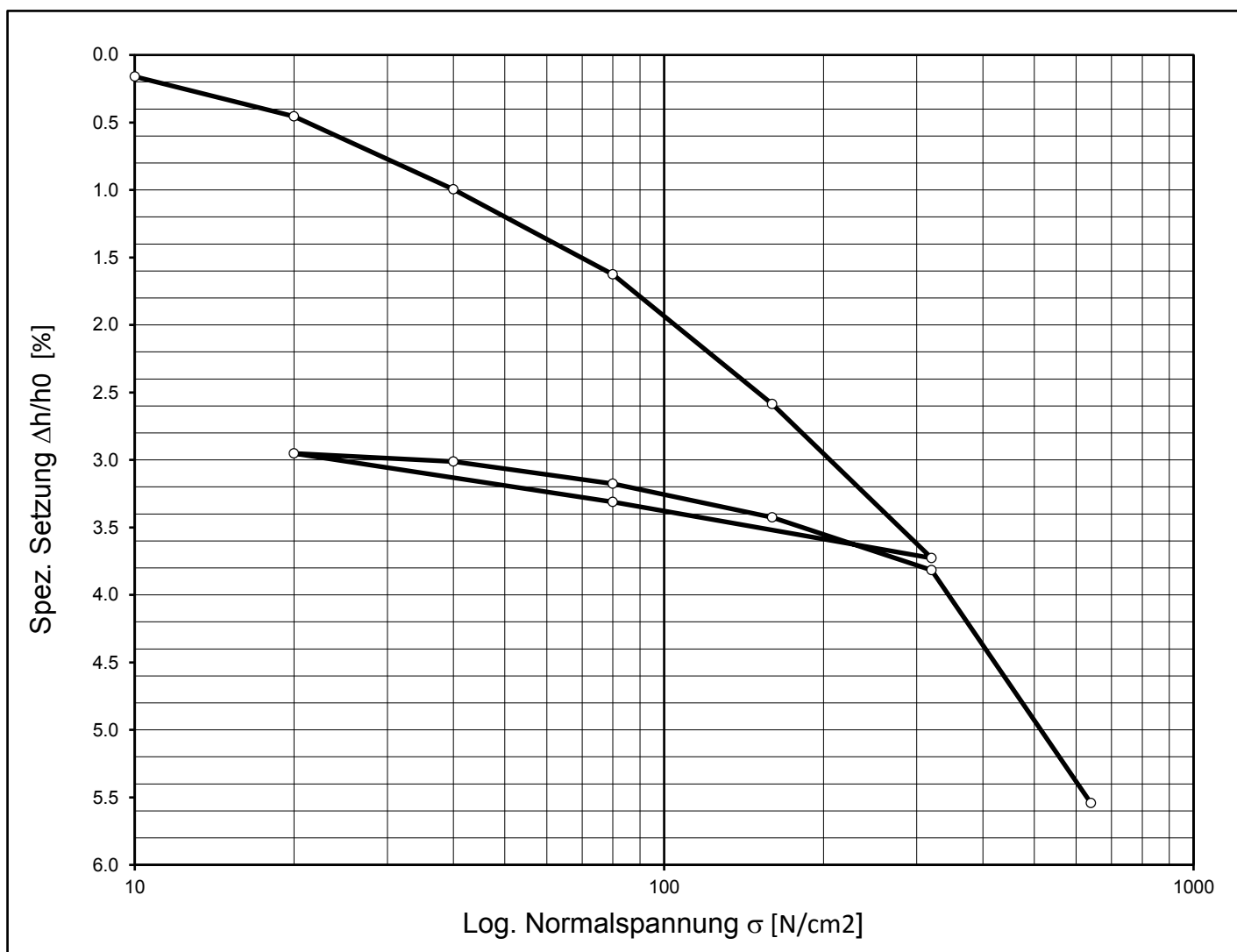
#### Bodenkennwerte aus dem Versuch

$m + m_B$	g	455,9	aus der Volumbestimmung	mit Tauchwägung	$h_a = h_0 + h_{\text{Schwellung}}$ $h_a = h_0 - h_{\text{Sackung}}$  Steifemodu   $E_{s,i,i+1}$ : $E_{s,i,i+1} = \frac{\sigma_{i+1} - \sigma_i \text{ [N/cm}^2\text{]}}{\Delta(\Delta h_{i,i+1}/h_a) \text{ [%]}} \cdot 100 \text{ [N/cm}^2\text{]}$
$m_d + m_B$	g	425,4			
$m_B$	g	237,6			
$w_n$	%	16,24			
$\rho_s$	g/cm <sup>3</sup>	2,74			
$n_0$	%				
$c_0$	1				
$S_r$	%				
$\rho$	g/cm <sup>3</sup>	2,15			
$\rho_d$	g/cm <sup>3</sup>	1,85			

\*) Ödometer – Anfangslesung vor Versuchsbeginn: .....

AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: KW + Schlammteich	LABORNUMMER: 19685-84
	TIEFE: -	AUFTRAGSNUMMER: 7
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer	BEARBEITER: HAPM	DATUM: 4/25/2017

## KOMPRESSIONSVERSUCH STEIFEMODULI



Laststufen [kPa]		10 - 20	20 - 40	40 - 80	80 - 160	160 - 320	320 - 640		
Steifemodul $E_s$ [kPa]	Erstbel.	3388	3702	6346	8329	14028	18541		
	Zweitbel.		33317	24230	31984	41005			

# ANHANG L

## ERDBAULABORANTENTAGE

<b>Labornummer</b>	<b>Bezeichnung</b>
19778	Korngrößenverteilung
19778	Wassergehalt
19778	Korndichte
19778	Zustandsgrenzen
19778	Schrumpfgrenze
19778	Glühverlust
19778	Wasseraufnahmevermögen
19778	Proctorversuch
19778	Durchlässigkeitsbeiwert
19778	Scherversuch, siehe Lab-Nr.: 19685-23
19778	Kompressionsversuch, siehe Lab-Nr.: 19685-81

Zudem befinden sich die anonymisierten zusammengefassten Laborergebnisse der jeweiligen Labors im Anhang.

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> Masterarbeit Happenhofer Martin	<b>Labornummer:</b> 19778-3
<b>Projekt Nr.:</b> 7	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>Bearbeiter:</b> HapM, Has
<b>Bezeichnung:</b> Erdbaulaborantentage 2017	<b>Datum:</b> 04.08.17 - 11.08.17

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

<b>Ø [mm]</b>	<b>%</b>
4,0	99,6
2,0	99,5
1,0	99,2
0,5000	99,1
0,2500	99,0
0,1250	98,8

#### Schlämmanalyse

<b>Ø [mm]</b>	<b>%</b>
0,0544	92,8
0,0396	88,0
0,0291	80,4
0,0198	65,2
0,0121	50,8
0,0073	40,4
0,0046	33,2
0,0027	25,6
0,0014	18,6

Auftraggeber  
Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Projekt  
Masterarbeit Happenhofer Martin

Proj. Nr.  
7

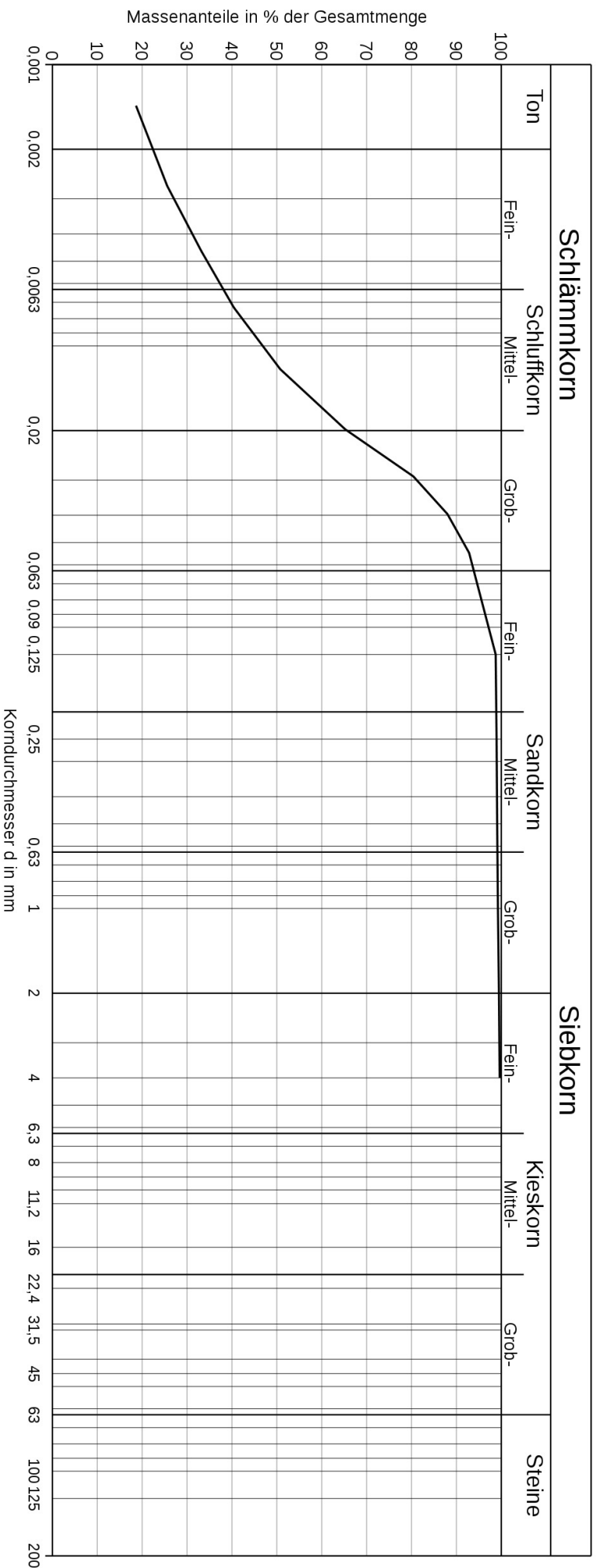
Bezeichnung  
Erdbaulaborantentage 2017

Tiefe  
-

Bearb.  
HapM, Has

Datum  
04.08.17 - 11.08.17

## KÖRNUNGSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
19778-3	—	-	22,4	71,8	5,6	-	-	2: 0,5	sa' cl Si	<0,002	0,0037mm	0,0166mm	-	-



**INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU  
GEOTECHNISCHES LABOR**

RECHBAUERSTRASSE 12, 8010 GRAZ, AUSTRIA  
Tel: +43(0)316/873-6237 Fax: +43(0)316/873-6238



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: BA Deponie	LABORNUMMER: 19778
	TIEFE	PROJEKTNUMMER 7
PROJEKT: Erdbaulaborantentage 2017	BEARBEITER: HAPM	DATUM: 5/12/2017

# WASSERGEHALT

Behälter		201								
Probe feucht + Behälter	g	2251.7								
Probe trocken + Behälter	g	1969.0								
Masse Behälter	g	699.9								
Masse Probe feucht	g	1551.80								
Masse Probe trocken	g	1269.10								
Masse Wasser	g	282.70								
<b>Wassergehalt</b>	<b>%</b>	<b>22.3</b>								

ANMERKUNG:



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: KW + Speicherteich - M 1:1	LABORNUMMER: 19778
	BODENART:	PROJEKTNUMMER: 7
PROJEKT: Erdbaulaborantentage 2017	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 10.05.2017

## KORNDICHTE ÖNORM B 4413:2010

1	Pykometer Nr.				103	102	127
2	Tara	g	$m_0$	T	44,0866	44,5294	43,8317
3	Trockenmasse Probe + Tara	g	$m_1$	L	64,3800	64,6614	63,9655
4	Trockenmasse Probe	g	$m_2$	3-2	20,2934	20,1320	20,1338
5	Masse Pykometer + Wasser + Probe (unter Auftrieb) bei t °C	g	$m_3$	L	155,919	156,276	157,164
6	Versuchstemperatur	°C	t	L	21,6	21,7	21,5
7	Temperaturkorrektur von 20° zu t °C	g	$\Delta m$	T	-0,0350	-0,0370	-0,0320
8	Masse Pykometer + Wasser bei 20°C	g	$m_4$	T	143,002	143,463	144,353
9	Masse Pykometer + Wasser bei t°C	g	$m_5$	7+8	142,967	143,426	144,321
10	Dichte Wasser bei t °C	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_w$	T	0,9979	0,9979	0,9979
11	Bodenvolumen	cm <sup>3</sup>	$V_K$	$\frac{(9+4-5)}{10}$	7,3567	7,2976	7,3058
12	Korndichte	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$	$\frac{4}{11}$	2,758	2,759	2,756
13	Mittelwert aus allen Versuchen	g/cm <sup>3</sup>	$\rho_s$		2,76		





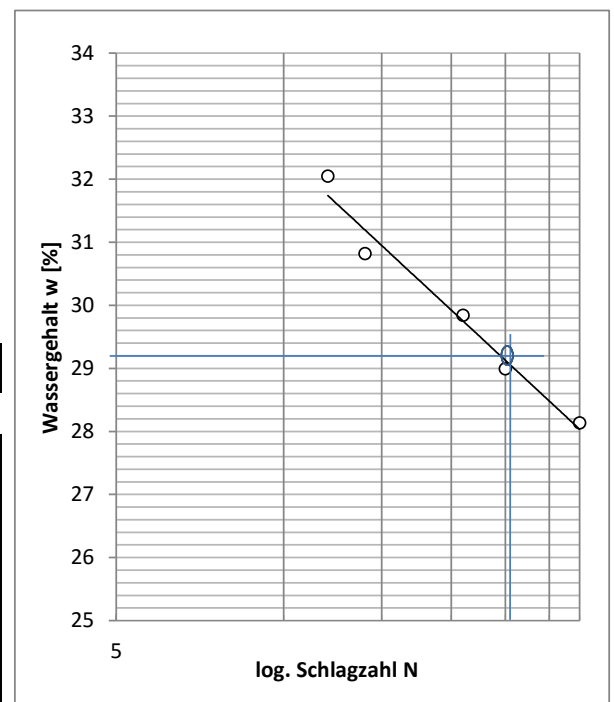
AUFTRAGGEBER:	BEZEICHNUNG:	LABORNUMMER:
	KW + Speicherteich	19778
PROJEKT:	TIEFE	PROJEKTNUMMER
	Erdbaulaborantentage 2017	
	BEARBEITER:	DATUM:
	HapM	5/9/2017

## KONSISTENZGRENZEN ÖNORM B 4411:2009

		Fließgrenze					Ausrollgrenze		
		112	122	139	126	121	148	130	149
Behälter									
Schlagzahl N		34	21	25	14	12	-	-	-
Probe feucht + Behälter	g	12.642	13.7304	12.4544	11.8186	11.4143	6.8032	5.7374	6.2584
Probe trocken + Behälter	g	10.6185	11.3548	10.4262	9.8411	9.476	6.3042	5.4067	5.8531
Masse Behälter	g	3.4264	3.3951	3.4306	3.4253	3.4286	3.4303	3.4349	3.4322
Masse Probe feucht	g	9.2156	10.3353	9.0238	8.3933	7.9857	3.3729	2.3025	2.8262
Masse Probe trocken	g	7.1921	7.9597	6.9956	6.4158	6.0474	2.8739	1.9718	2.4209
Masse Wasser	g	2.0235	2.3756	2.0282	1.9775	1.9383	0.499	0.3307	0.4053
<b>Wassergehalt</b>	<b>%</b>	<b>28.1</b>	<b>29.8</b>	<b>29.0</b>	<b>30.8</b>	<b>32.1</b>	<b>17.4</b>	<b>16.8</b>	<b>16.7</b>

$W_L =$	29.0 %
$W_P =$	17.0 %
$I_P =$	12.0 %
$I_C =$	0.5 %

Lineare Schrumpfgrenze			
Versuchsmulde Nr.			
Natürlicher Wassergehalt	w	%	22.9
Länge d. Versuchsmulde	$L_0$	mm	
Länge der trockene Probe	$L_D$	mm	
Lineare Schrumpfgrenze	$L_S$	%	
Bildsamkeitszahl	$I_P$	%	
Ausrollgrenze	$W_P$	%	
Konsistenzzahl	$I_C$	-	



ANMERKUNG:



AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BEZEICHNUNG: Basisabdichtung Deponie	LABORNUMMER: 19778
	BODENART: sa' cl Si	PROJEKTNUMMER: 7
PROJEKT: Erdbaulaborantentage 2017	BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 17.05.2017

## SCHRUMPFGRENZE

					Versuch Nr.		
					1	2	3
1	Fließgrenze	$w_L$	%		28.5	28.5	
2	Sollwassergehalt	$w_o$	%	$1.1 \cdot w_L$	31.35	31.35	
3	Korndichte	$Mg/m^3$	$\rho_s$	L	2.74	2.74	
4	Masse Ring + Glasplatte	g	$m_B$	L	169	390.1	
5	Masse Probe feucht + $m_B$	g	$m_f + m_B$	L	271.5	493.2	
6	Masse Probe trocken + $m_B$	g	$m_d + m_B$	L	248.7	470	
7	Masse Wasser (Versuchsbeginn)	g	$m_w$	5-6	22.8	23.2	
8	Masse Probe trocken	g	$m_d$	5-4-7	79.7	79.9	
9	Volumen Probe trocken	$cm^3$	$V_d$		43.88	43.42	
10	Dichte Probe trocken	$Mg/m^3$	$\rho_d$	8/9	1.816	1.840	
11	Dichte Wasser	$Mg/m^3$	$\rho_w$		1.000	1.000	
12	Schrumpfgrenze	%	$w_s$	$(1/\rho_d - 1/\rho_s)$	0.186	0.178	
13	Mittelwert aus allen Versuchen	%	$w_s$		18.2%		

ANMERKUNG:

AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau	BODENART: sa' cl Si	BEZEICHNUNG: Basisabdichtung	LABORNUMMER: 19778
PROJEKT: Erdbaulaborantentage 2017	UNGESTÖRT <input type="checkbox"/> GESTÖRT <input type="checkbox"/>	TIEFE: -	PROJEKTNUMMER: 7
		BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 08.05.2017

## GLÜHVERLUST

Versuch Nr.				1	2	3	4	5
Behälter Nr.				101	102			
1	Probe vorher + Behälter	$m_1 + m_B$	g	370,5	364,3			
2	Probe nachher + Behälter	$m_2 + m_B$	g	362,3	359,9			
3	Masse Behälter	$m_B$	g	136,5	136,5			
4	Masse Probe vorher	$m_1$	g	1-3	234,0	227,8		
5	Masse Probe nachher	$m_2$	g	2-3	225,8	223,4		
6	Masse organ. Bestandteile	$m_{org.}$	g	4-5	8,2	4,4		
7	Glühverlust (Gewicht)	$m_{gl}$	%	6:4	<b>3,50</b>	<b>1,93</b>		
8	Glühverlust (Volumen)	$V_{gl}$	%					

Versuch Nr.				6	7	8	9	10
Behälter Nr.								
1	Probe vorher + Behälter	$m_1 + m_B$	g					
2	Probe nachher + Behälter	$m_2 + m_B$	g					
3	Masse Behälter	$m_B$	g					
4	Masse Probe vorher	$m_1$	g	1-3				
5	Masse Probe nachher	$m_2$	g	2-3				
6	Masse organ. Bestandteile	$m_{org.}$	g	4-5				
7	Glühverlust (Gewicht)	$m_{gl}$	%	6:4				
8	Glühverlust (Volumen)	$V_{gl}$	%					

**ANMERKUNGEN:**

Der Glühverlust berechnet sich aus der Differenz der Resultate aus den zwei Glühvorgängen und beträgt somit 1,57 %.



**AUFTRAGGEBER:**

**BEZEICHNUNG:**

Kieswäsche + Speichertreich M 1:1

**LABORNUMMER:**

19778

**TIEFE:**

**PROJEKTNUMMER:**

**PROJEKT:**

Erdbaulaborantentage 2017

**BEARBEITER:**

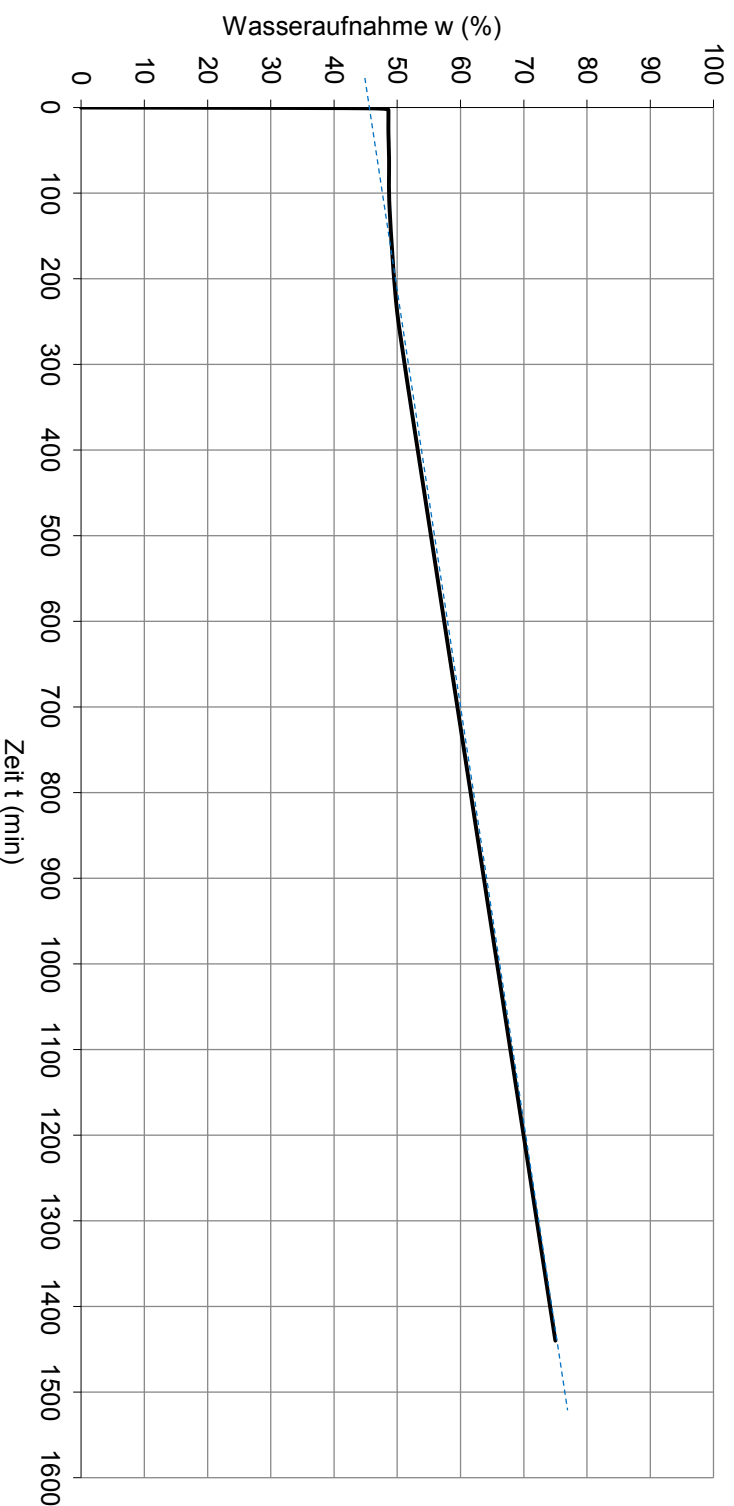
Happenhofer Martin

**DATUM:**

20/07/2017

## WASSERAUFNAHME (ENSLIN)

t	Lesung	aufg. Wassermenge *)
[ min ]	[ ml ]	[ ml ]
0	0.00	0.00
0.5	0.32	32.00
1	0.465	46.50
2	0.485	48.50
4	0.486	48.60
8	0.486	48.60
15	0.486	48.60
30	0.486	48.60
60	0.487	48.70
120	0.488	48.80
240	0.5	50.00
360	0.524	52.40
1440	0.75	75.00



\*) Wert inklusive Verdunstung

\*\*) Wert exclusive Verdunstung

Probe trocken [ g ]

1.000 g

Wasseraufnahme (\*\*)

45 %



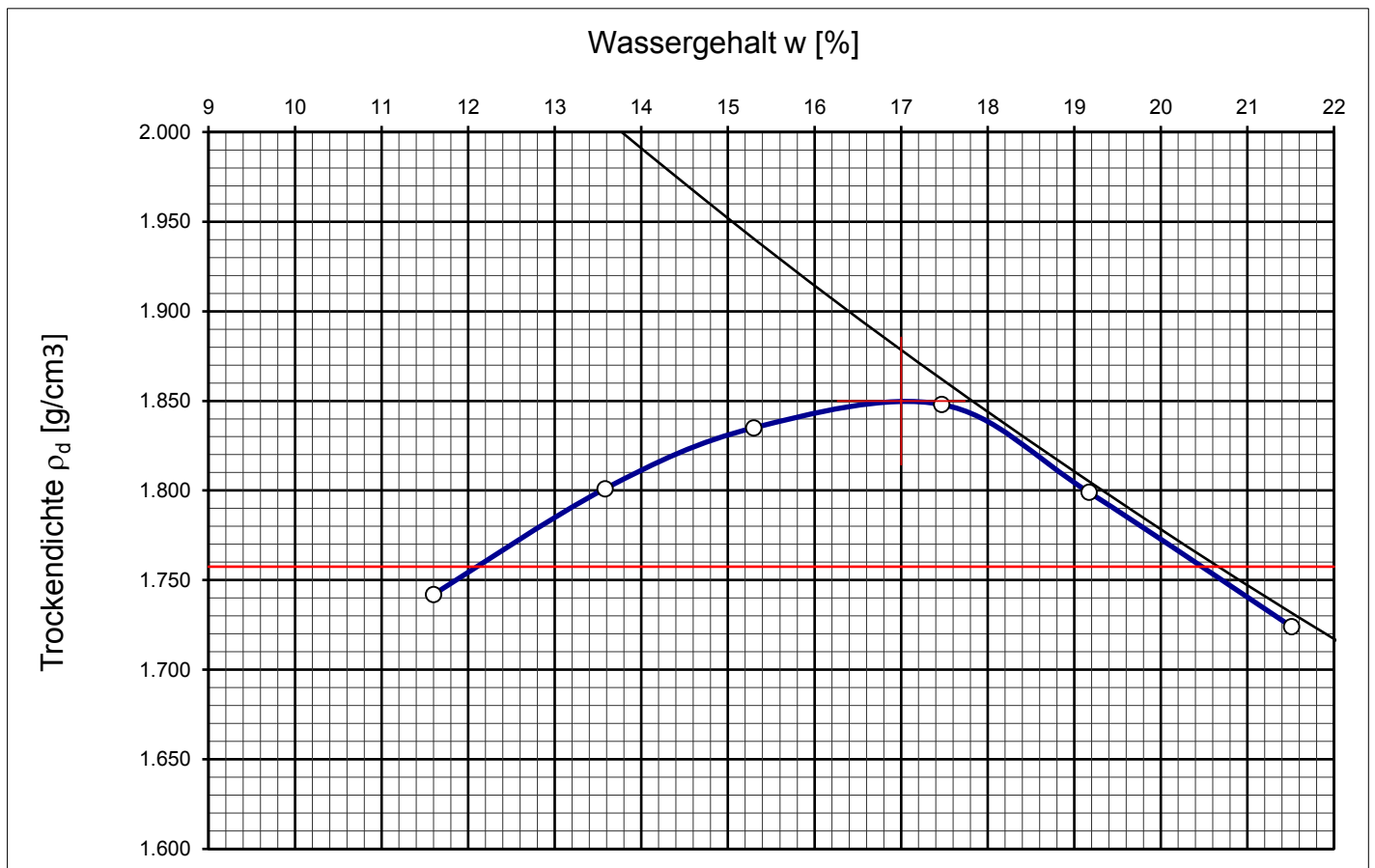
AUFTRAGGEBER: Institut für Bodenmechanik und Grundbau		BEZEICHNUNG: Basisabdichtung Deponie	LABORNUMMER: 19778
PROJEKT: Masterarbeit Happenhofer		BODENART: sa" cl Si	AUFTRAGSNUMMER
		BEARBEITER: Happenhofer Martin	DATUM: 08/05/2017

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT		
Durchmesser	mm	100
Höhe	mm	120

Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0.6	
---------------------	-------------------	-----	--

Überkornanteil	%	-	-
----------------	---	---	---



ERGEBNIS		
W <sub>Pr</sub>	%	17.0
ρ <sub>Pr</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1.85

**ANMERKUNG:**

Die rote horizontale Linie charakterisiert die 95 % Proctordichte.



## Durchlässigkeit in der triaxialen Durchlässigkeitszelle

<b>AUFTRAGGEBER:</b>	Institut für Bodenmechanik und Grundbau										
<b>PROJEKT:</b>	Erdbaulaborantentage 2017										
<b>LABORNUMMER</b>	19778										
<b>Bezeichnung</b>	Basisabdichtung Deponie										
Durchmesser (cm)	10	<b>EINBAU</b>				<b>AUSBAU</b>				<b>MESSGLAS</b>	
Durchströmte Länge L (cm)	12	mf [g]	2050.6	md [g]	1749.9	mf [g]	2041.3	Q · l	$k = 4.24 \cdot 10^{-6} \cdot \frac{Q}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$		
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78.54	w [%]	17.18	w [%]	16.65	k = $\frac{Q \cdot l}{A \cdot \Delta h \cdot t \cdot 100}$					
Datum (Beginn)	Tag, Monat, Jahr	5/11/2017	5/12/2017	5/14/2017	5/15/2017	5/16/2017	5/17/2017	5/19/2017	5/23/2017		
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	Std., Minuten	12.4	7.16	18.58	6.43	8.05	9.34	11.57	11.57	
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	°C	23.4	22.6	21.2	21.2	21.2	21.2	22.1	23.2	
Datum (Ende)	Tag, Monat, Jahr	5/12/2017	5/14/2017	5/15/2017	5/16/2017	5/17/2017	5/19/2017	5/23/2017			
Versuchsende	t <sub>2</sub>	Std., Minuten	7.16	18.58	6.43	8.05	9.34	11.57	14.25		
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	°C	22.6	21.2	21.2	21.2	22.1	23.2	25.8		
Versuchsdauer	t	s	66960	214920	42300	91320	91740	181380	354480		
Messglass (Beginn)	m1	g	81.3	105.7	80.6	81.3	80.7	79.8	80.6		
Messglass (Ende)	m2	g	84.8	115.4	82.6	85.8	85.6	89.3	97.7		
Wassermenge	Q	cm <sup>3</sup>	3.5	9.7	2	4.5	4.9	9.5	17.1		
Höhendifferenz	ΔH	cm	360	360	360	360	360	360	360		
Hydraul. Gefälle	i	1	30	30	30	30	30	30	30		
Temperatur Mittelwert	δ	°C	23.0	21.9	21.2	21.2	21.7	22.7	24.5		
Fk Temp (α)	1		0.718484996	0.737167029	0.749455363	0.749455363	0.741519202	0.724348026	0.694180175		
Durchlässigkeit	k <sub>s</sub>	m/s	2.2E-10	1.9E-10	2.0E-10	2.1E-10	2.3E-10	2.2E-10	2.0E-10		
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	k <sub>10</sub>	m/s	1.6E-10	1.4E-10	1.5E-10	1.6E-10	1.7E-10	1.6E-10	1.4E-10		

**Arbeitsgruppe „Steinstraßen und Steinmaterial“**  
**Arbeitsausschuss 02 „Technologie und Prüfungen“**

OR DI O. Leibniz, Inst. f. Bodenmechanik u. Grundbau, Techn.Univ. Graz  
 Tel. 0664 / 48 27 445, E-Mail: otto.leibniz@TUGraz.at

KARLSGASSE 5  
 A - 1040 WIEN  
 Tel.: +43/1/585 55 67  
 Fax.: +43/1/504 15 55  
 Email: office@fsv.at  
 http://www.fsv.at

LABOR: <div style="text-align: center; font-size: 2em; color: red; font-weight: bold; margin-top: 10px;">LABOR 1</div>	
PROJEKT: ERDBAULABORANTENTAGE 2017 IN AFLENZ	

## EIGNUNGSPRÜFUNG AM PROBEFELD

### MINERALISCHE BASISABDICHTUNG

Kennwerte	Prüfung gemäß	Ergebnisse	Anmerkungen
Korngrößenverteilung	ÖNORM B 4412	68,5 % Cl; 24,0 % Si 6,5 % Sa; 1,0 % Gr	
Wassergehalt (wie entnommen)	ÖN EN 17892-1	$w = 22,7 \%$	
Korndichte	ÖN EN 17892-2	$\rho_s = 2,78 \text{ g/cm}^3$	
Zustandsgrenzen	ÖNORM B 4411	$w_L = 29,0 \%$ ; $w_P = 19,5 \%$ $I_P = 9,5 \%$	
Schrumpfgrenze	ÖNORM B 4424	$w_s = 18,5 \%$	
Glühverlust	ÖNORM B 4424	$C_{org,600} = 1,07 \%$	
Wasseraufnahme nach Enslin	RVS 11.06.26	$Q_e = \text{_____} \%$	
Standrohrversuch	ÖNORM B 4422-2	$k_{10} = 8,37 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$	
Proctorversuch	ÖNORM B 4418 bzw. ÖN EN 13286-2	$\rho_{Pr} = 1,85 \text{ g/cm}^3$ $w_{opt.} = 13,7 \%$	
Durchlässigkeitsbeiwert Zustand in Abh. v. d. Einbaudichte $w_{opt} = \pm 3 \%$	ÖNORM B 4422-1	$k_{10} = 2,48 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$	kleiner $5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ bei $i = 30 \pm 5$
Schерparameter	ÖNORM B 4416	$\varphi' = \text{_____}^\circ$ $c' = \text{_____} \text{ kN/m}^2$	Konsolidierungszeit: 72 Stunden Konsolidierungsdruck: 300 kN/m <sup>2</sup> Normalspannungen: 100/200/300 kN/m <sup>2</sup>
Kompressionsversuch	ÖNORM B 4420	$E_s = \text{_____} \text{ MN/m}^2$	Bei $\sigma = 0,8$ bis $0,16 \text{ MN/m}^2$ Einbaudichte $\rho_{Pr} \pm 2 \%$
Bestimmung der Dichte des Bodens Stechzylinder Sandersatz Wassersatz	ÖNORM B 4414-2	$\rho = 1,66 \text{ g/cm}^3$ $\rho = \text{_____} \text{ g/cm}^3$ $\rho = \text{_____} \text{ g/cm}^3$	

Arbeitsgruppe „Steinstraßen und Steinmaterial“  
Arbeitsausschuss 02 „Technologie und Prüfungen“  
OR DI O. Leibniz, Inst. f. Bodenmechanik u. Grundbau, Techn. Univ. Graz  
Tel. 0664 / 48 27 445, E-Mail: otto.leibniz@TU Graz.at

KARLSGASSE 5  
A - 1040 WIEN  
Tel.: +43/1/585 55 67  
Fax.: +43/1/504 15 65  
Email: office@fsv.at  
http://www.fsv.at

LABOR:	<h1>LABOR 3</h1>
PROJEKT:	
ERDBAULABORANTENTAGE 2017 IN AFLENZ	

## EIGNUNGSPRÜFUNG AM PROBEFELD

### MINERALISCHE BASISABDICHTUNG

Kennwerte	Prüfung gemäß	Ergebnisse	Anmerkungen
Korngrößenverteilung	ÖN EN 17892-4	16,4 % Cl; 76,8 % Si 5,7 % Sa; 1,1 % Gr	
Wassergehalt (wie entnommen)	ÖN EN 17892-1	w = 22,6 %	
Korndichte	ÖN EN 17892-2	$\rho_s = 2,73 \text{ g/cm}^3$	
Zustandsgrenzen	ÖNORM B 4411	$w_L = 28,2\%$ ; $w_P = 19,6\%$ $I_P = 8,6\%$	
Schrumpfgrenze	ÖNORM B 4424	$w_s = 11,9\%$	
Glühverlust	ÖNORM B 4424	$c_{org,600} = 0,7\%$	
Wasseraufnahme nach Enslin	RVS 11.06.26	$Q_e = 51,9\%$	
Standrohrversuch	ÖNORM B 4422-2	$k_{10} = \text{---} \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ *	* DIE IN DER ÖNORM B 4422-2, PUNKT 4.3.1 VORGESEHENE MINDESTSATIGUNGSZEIT VON $\geq 3$ STUNDEN KONNTE AUFGRUND VON BESTEHENDEN WASSERUMLÄUFIGKEITEN NICHT ENGEHALTEN WERDEN
Proctorversuch	ÖNORM B 4418 bzw. ÖN EN 13286-2	$\rho_{Pr} = 1,89 \text{ g/cm}^3$ $w_{opt} = 13,9\%$	
Durchlässigkeitsbeiwert Zustand in Abh. v. d. Einbaudichte $w_{opt} = \pm 3\%$	ÖNORM B 4422-1	$k_{10} = 4,6 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	kleiner $5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ bei $i = 30 \pm 5$
Scherparameter	ÖNORM B 4416	$\varphi' = \text{---}^\circ$ $c' = \text{---} \text{ kN/m}^2$	Konsolidierungszeit: 72 Stunden Konsolidierungsdruck: 300 kN/m <sup>2</sup> Normalspannungen: 100/200/300 kN/m <sup>2</sup>
Kompressionsversuch	ÖNORM B 4420	$E_s = \text{---} \text{ MN/m}^2$	Bei $\sigma = 0,8$ bis $0,16 \text{ MN/m}^2$ Einbaudichte $\rho_{Pr} \pm 2\%$
Bestimmung der Dichte des Bodens Stechzylinder Sandersatz Wassersersatz	ÖNORM B 4414-2	$\rho = 1,66 \text{ g/cm}^3$ $\rho = 1,88 \text{ g/cm}^3$ * $\rho = \text{---} \text{ g/cm}^3$	* KAUF GRUND DER STEIFEN KONZISTENZ DES BODENS VERÄNDERTE SICH DAS VOLUMEN DES MESSLOCHES WÄHREND DER MESSUNG. DESHALB KANN DER ERMITTELTE WERT NICHT GEWERTET WERDEN



Arbeitsgruppe „Steinstraßen und Steinmaterial“

Arbeitsausschuss 02 „Technologie und Prüfungen“

OR DI O. Leibniz, Inst. f. Bodenmechanik u. Grundbau, Techn.Univ. Graz  
Tel. 0664 / 48 27 445, E-Mail: otto.leibniz@TUGraz.at

KARLSGASSE 5  
A - 1040 WIEN  
Tel.: +43/1/585 55 67  
Fax.: +43/1/504 15 55  
Email: office@fsv.at  
http://www.fsv.at

LABOR:	<b>LABOR 6</b>
PROJEKT:	
ERDBAULABORANTENTAGE 2017 IN AFLENZ	

## EIGNUNGSPRÜFUNG AM PROBEFELD

### MINERALISCHE BASISABDICHTUNG

Kennwerte	Prüfung gemäß	Daten d. Eignungsprüfg.	Anmerkungen
Korngrößenverteilung	ÖN EN 17892-4	22,8 % Cl; 72,5 % Si 4,4 % Sa; 0,4 % Gr	
Wassergehalt (wie entnommen)	ÖN EN 17892-1	w = 23,2 % / 24,5 %	
Korndichte	ÖN EN 17892-2	$\rho_s = \text{_____ g/cm}^3$	
Zustandsgrenzen	ÖNORM B 4411	$w_L = 27,1 \%$ ; $w_P = 18,3 \%$ $I_P = 8,8 \%$	
Schrumpfgrenze	ÖNORM B 4424	$w_s = \text{_____} \%$	
Glühverlust	ÖNORM B 4424	$C_{org,600} = \text{_____} \%$	
Wasseraufnahme nach Enslin	RVS 11.06.26	$Q_e = \text{_____} \%$	
Standrohrversuch	ÖNORM B 4422-2	$k_{10} = \text{_____} \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$	in situ nicht repräsentativ
Proctorversuch	ÖNORM B 4418 bzw. ÖN EN 13286-2	$\rho_{Pr} = 1,88 \text{ g/cm}^3$ $w_{opt.} = 16,0 \%$	
Durchlässigkeitsbeiwert Zustand in Abh. v. d. Einbaudichte $w_{opt} = \pm 3 \%$	ÖNORM B 4422-1	$k_{10} = 1,7 \cdot 10^{-9} \text{ m/s}$	kleiner $5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ bei $i = 30 \pm 5$
Scherparameter	ÖNORM B 4416	$\varphi' = \text{_____}^\circ$ $c' = \text{_____ kN/m}^2$	Konsolidierungszeit 72 Stunden Konsolidierungsdruck 300 kN/m <sup>2</sup> Normalspannungen 100/200/300 kN/m <sup>2</sup>
Kompressionsversuch	ÖNORM B 4420	$E_s = \text{_____ MN/m}^2$	Bei $\sigma = 0,8$ bis $0,16 \text{ MN/m}^2$ Einbaudichte $\rho_{Pr} \pm 2 \%$
Bestimmung der Dichte des Bodens Stechzylinder Sandersatz Wasserersatz	ÖNORM B 4414-2	$\rho = 1,618 \text{ g/cm}^3$ / $1,630$ $\rho = \text{_____ g/cm}^3$ $\rho = \text{_____ g/cm}^3$	

**Arbeitsgruppe „Steinstraßen und Steinmaterial“**  
**Arbeitsausschuss 02 „Technologie und Prüfungen“**  
 OR DI O. Leibniz, Inst. f. Bodenmechanik u. Grundbau, Techn.Univ. Graz  
 Tel. 0664 / 48 27 445, E-Mail: otto.leibniz@TUGraz.at

KARLSGASSE 5  
 A - 1040 WIEN  
 Tel.: +43/1/585 55 67  
 Fax.: +43/1/504 15 55  
 Email: office@fsv.at  
 http://www.fsv.at

LABOR: <div style="text-align: center; font-size: 2em; color: red; font-weight: bold; margin-top: 10px;">LABOR 8</div>	
PROJEKT: ERDBAULABORANTENTAGE 2017 IN AFLENZ	

## EIGNUNGSPRÜFUNG AM PROBEFELD

### MINERALISCHE BASISABDICHTUNG

Kennwerte	Prüfung gemäß	Ergebnisse	Anmerkungen
Korngrößenverteilung	ÖNORM B 4412	18,4 % Cl; 70,3 % Si 11,0 % Sa; 0 % Gr	
Wassergehalt (wie entnommen)	ÖN EN 17892-1	w = 22,3 %	
Korndichte	ÖN EN 17892-2	$\rho_s = 2,76 \text{ g/cm}^3$	
Zustandsgrenzen	ÖNORM B 4411	$w_L = 29,0 \%$ ; $w_P = 17,0 \%$ $I_P = 12,0 \%$	
Schrumpfgrenze	ÖNORM B 4424	$w_s = 18,0 \%$	
Glühverlust	ÖNORM B 4424	$c_{org,600} = 1,57 \%$	
Wasseraufnahme nach Enslin	RVS 11.06.26	$Q_e = 45 \%$	
Standrohrversuch	ÖNORM B 4422-2	$k_{10}$ nicht durchführbar	
Proctorversuch	ÖNORM B 4418 bzw. ÖN EN 13286-2	$\rho_{Pr} = 1,85 \text{ g/cm}^3$ $w_{opt} = 17,0 \%$	
Durchlässigkeitsbeiwert Zustand in Abh. v. d. Einbaudichte $w_{opt} = \pm 3 \%$	ÖNORM B 4422-1	$k_{10} = 1,6 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	kleiner $5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ bei $i = 30 \pm 5$
Scherparameter	ÖNORM B 4416	$\varphi' = 31,9^\circ$ $c' = 17,1 \text{ kN/m}^2$	Konsolidierungszeit: 72 Stunden Konsolidierungsdruck: $300 \text{ kN/m}^2$ Normalspannungen: $100/200/300 \text{ kN/m}^2$
Kompressionsversuch	ÖNORM B 4420	$E_s = 8,4 \text{ MN/m}^2$	Bei $\sigma = 0,8 \text{ bis } 0,16 \text{ MN/m}^2$ Einbaudichte $\rho_{Pr} \pm 2 \%$
Bestimmung der Dichte des Bodens Stechzylinder Sandersatz Wasserersatz	ÖNORM B 4414-2	$\rho = \underline{\hspace{2cm}} \text{ g/cm}^3$ $\rho = \underline{\hspace{2cm}} \text{ g/cm}^3$ $\rho = 1,72 \text{ g/cm}^3$	

Arbeitsgruppe „Steinstraßen und Steinmaterial“  
Arbeitsausschuss 02 „Technologie und Prüfungen“  
OR DI O. Leibniz, Inst. f. Bodenmechanik u. Grundbau, Techn.Univ. Graz  
Tel. 0664 / 48 27 445, E-Mail: otto.leibniz@TUGraz.at

KARLSGASSE 5  
A - 1040 WIEN  
Tel.: +43/1/585 55 67  
Fax.: +43/1/504 15 55  
Email: office@fsv.at  
http://www.fsv.at

LABOR: <b>LABOR 9</b>	
PROJEKT: ERDBAULABORANTENTAGE 2017 IN AFLENZ	

## EIGNUNGSPRÜFUNG AM PROBEFELD

### MINERALISCHE BASISABDICHTUNG

Kennwerte	Prüfung gemäß	Ergebnisse	Anmerkungen
Korngrößenverteilung	ÖN EN 17892-4	19,0 % Cl; 61,5 % Si 18,5 % Sa; 1,0 % Gr	/
Wassergehalt (wie entnommen)	ÖN EN 17892-1	w = 22,5 %	/
Korndichte	ÖN EN 17892-2	$\rho_s = 2,75 \text{ g/cm}^3$	/
Zustandsgrenzen	ÖNORM B 4411	$w_L = \text{ / } \%$ ; $w_P = \text{ / } \%$ $I_P = \text{ / } \%$	/
Schrumpfgrenze	ÖNORM B 4424	$w_s = \text{ / } \%$	/
Glühverlust	ÖNORM B 4424	$c_{org,600} = \text{ / } \%$	/
Wasseraufnahme nach Enslin	RVS 11.06.26	$Q_e = \text{ / } \%$	/
Standrohrversuch	ÖNORM B 4422-2	$k_{10} = \text{ / } \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	/
Proctorversuch	ÖNORM B 4418 bzw. ÖN EN 13286-2	$\rho_{Pr} = 1,90 \text{ g/cm}^3$ $w_{opt} = 17,0 \%$	/
Durchlässigkeitsbeiwert Zustand in Abh. v. d. Einbaudichte $w_{opt} = \pm 3 \%$	ÖNORM B 4422-1	$k_{10} = 1,2 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$	kleiner $5 \cdot 10^{-10} \text{ m/s}$ bei $i = 30 \pm 5$
Scherparameter	ÖNORM B 4416	$\varphi' = \text{ / } ^\circ$ $c' = \text{ / } \text{ kN/m}^2$	Konsolidierungszeit: 72 Stunden Konsolidierungsdruck: 300 kN/m <sup>2</sup> Normalspannungen: 100/200/300 kN/m <sup>2</sup>
Kompressionsversuch	ÖNORM B 4420	$E_s = \text{ / } \text{ MN/m}^2$	Bei $\sigma = 0,8$ bis $0,16 \text{ MN/m}^2$ Einbaudichte $\rho_{Pr} \pm 2 \%$
Bestimmung der Dichte des Bodens	ÖNORM B 4414-2	$\rho = 2,056 \text{ g/cm}^3$	/
Stechzylinder		$\rho = \text{ / } \text{ g/cm}^3$	/
Sandersatz		$\rho = \text{ / } \text{ g/cm}^3$	/
Wasserersatz		$\rho = \text{ / } \text{ g/cm}^3$	/