

# **Masterarbeit**

zum Erwerb des akademischen Grades  
Master of Science  
der Studienrichtung Rohstoffgewinnung und Tunnelbau

ausgeführt am  
Lehrstuhl für Subsurface Engineering  
an der Montanuniversität Leoben

von Hans Schmidt  
Amtsgasse 6; 2020 Hollabrunn

Leoben, im November 2016

**Thema**

**Verklebungspotential von Gesteinen  
im Tunnelbau**

### **Eidesstattliche Erklärung/ Affidavit**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubter Hilfsmittel bedient habe.

I declare in lieu of oath, that I wrote this thesis and performed the associated research myself, using only literature cited in this volume.

Leoben, 16.11.2016  
Ort, Datum

  
Hans Schmidt

## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich in erster Linie bei Herrn Dipl.-Ing. Dr. mont. Gerhard Pittino bedanken, der mir durch zur Verfügung Stellung diverser theoretischer Unterlagen und Hilfestellung bei auftretenden Fragen es erst ermöglicht hat diese Masterarbeit zu verfassen.

Weiter möchte ich mich bei Herrn Jörg Krainz bedanken, der bei auftretenden technischen Fragen stets bereit war schnelle und praktikable Lösungen zu finden.

Auch möchte ich mich bei den Firmen „Collomix GmbH“, vertreten durch Herrn Rainer Füger, MSc und „Elektrowerkzeuge GmbH Eibenstock“, vertreten durch Herrn Bernd Dittrich für die kostenlose zur Verfügung Stellung der benötigten Rührquirle bedanken.

Mein größter Dank gilt jedoch meiner Familie. Besonders meinen Eltern, die durch ihren unermüdlichen Einsatz die Rahmenbedingungen geschaffen haben, welche es mir ermöglicht haben diese Masterarbeit zu verfassen und somit mein Studium abzuschließen.



## Kurzfassung

Ziel dieser Masterarbeit war es, eine einfache Untersuchungsmethode zur Bestimmung des Verklebungspotentials von Gesteinen im Tunnelbau zu entwickeln. Diese Methode sollte ohne aufwendige Laboruntersuchung auskommen und somit eine Bestimmung des Verklebungspotentials direkt auf der Baustelle ermöglichen.

Erster Ansatz dafür war der sogenannte Rührversuch. Dabei wird ein Standard-Mörtelrührquirl drehend in die vorbereitete und gleichmäßig verdichtete Probe eingebracht und die Masse des anhaftenden Bodens am Rührquirl ins Verhältnis zur Gesamtmasse des verwendeten Bodens gesetzt. Das Ergebnis der Rührmethode stellt der Verklebungsindex  $I_v$  in Prozent dar. Vor Beginn der Testreihe wurden verschiedene Geometrien und Drehzahlen des Rührers hinsichtlich der hervorgerufenen Anhaftungen getestet. Die endgültige Testreihe wurde mit 11 Proben unterschiedlichen Verklebungspotentials nach Thewes durchgeführt. Dabei wurde jede Abstufung des Verklebungspotentials mindestens einmal beprobt. Die Ergebnisse zeigen, dass die Rührmethode grundsätzlich gut mit dem Verklebungspotential nach Thewes korreliert. Eine Ausnahme dabei bilden Proben mit breiiger Konsistenz, mit einem erhöhten Verklebungsindex von 3,5 % bis 4,0 %. Vermindert man den Verklebungsindex dieser Proben um den erhöhten Wert kann festgehalten werden, dass ein Verklebungsindex ab ca. 14 % auf hohes Verklebungspotential schließen lässt. Mittleres Verklebungspotential ist gegeben wenn der Verklebungsindex ungefähr zwischen 11 % und 13 % liegt. Ein Verklebungsindex unter ca. 10 % weist auf geringes Verklebungspotential hin. Parallel zur Ermittlung des Verklebungsindex wurde bei jeder Probe der Wassergehalt bestimmt. Breiige Konsistenz trat ab einem Wassergehalt von ca. 32 % auf.

Einen weiteren Ansatz stellte der Flügelsondenversuch dar. Dabei wird mittels Laborflügelsonde und einem geeigneten Probengefäß (z.B. Aluminiumrohr) ein Scherversuch durchgeführt, der den Scherwiderstand zwischen Boden und Metalloberfläche bestimmt. Die Winkelgeschwindigkeit der Flügelsonde ist konstant und das aufnehmbare Drehmoment wird gemessen. Erste Testversuche wurden mit einer Winkelgeschwindigkeit von 6°/min durchgeführt. Diese Testversuche zeigten, dass die gleichmäßige Einbringung der Probe in das Probengefäß der entscheidende Faktor für den Erfolg des Versuchs sein wird. Insbesondere müssen die zusätzlichen Horizontalspannungen beim Einbringen berücksichtigt werden. In dieser Masterarbeit sind Ergebnisse von nur zwei Testversuchen des Flügelsondenversuchs und die daraus folgenden ersten Erkenntnisse dargestellt, da eine komplette Testreihe den Rahmen dieser Arbeit übersteigen würde.

## Abstract

The aim of this thesis was to develop a simple method for studying the clogging potential of rocks in tunnelling. This method should work without time consuming laboratory tests and thus enable determination of clogging potential directly on site.

First approach was the so-called stirring method. Here, a standard grout stirrer is rotary inserted into the prepared and uniformly compacted sample and the mass of adhering soil on the stirrer set in relation to the total mass of the soil used. The result of the stirring method represents the clogging index  $I_v$  in percent. Before starting the test series different geometries and speeds of the stirrer with respect to the induced adhesions were tested. The final series of tests was performed with 11 samples with different clogging potentials by Thewes. Each gradation of clogging potential was sampled at least once. The results show that the stirring method generally correlates well with the clogging potential by Thewes. An exception here are samples with pulpy consistency, these have a 3.5 % to 4.0 % increased clogging index. So the clogging index of these samples have to be reduced by this value. Then a clogging index from about 14 % indicates to high clogging potential. Medium clogging potential is given when the clogging index is about 11 % to 13 %. A clogging index below about 10 % indicates low clogging potential. Parallel to the determination of clogging index the water content was determined for each sample. Pulpy consistency occurred at a water content about 32 %.

Another approach represented the vane testing device method. In this case a shear test determines the shear resistance between the soil and the metal surface of a suitable sample vessel (aluminium pipe e.g.) is performed by means of a laboratory vane testing device. The angular speed of the vane probe is set constant and the receivable torque is measured. First experiments were carried out with an angular speed of 6 °/min. These tests showed that the homogenous introduction of the sample in the sample vessel will be the determining factor for the success. In particular, the horizontal stresses during insertion have to be in mind. In this thesis results of only two test trials of the vane testing device method and the consequent initial findings are presented. A complete set of tests would be beyond the scope of this work.

## Inhaltsverzeichnis

<b>EIDESSTATTLICHE ERKLÄRUNG/ AFFIDAVIT .....</b>	<b>I</b>
<b>DANKSAGUNG.....</b>	<b>II</b>
<b>KURZFASSUNG.....</b>	<b>III</b>
<b>ABSTRACT.....</b>	<b>IV</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS .....</b>	<b>V</b>
<b>1 EINLEITUNG .....</b>	<b>1</b>
<b>2 THEORIE DER VERKLEBUNG (1).....</b>	<b>2</b>
<b>3 GRUNDLEGENDE LITERATUR.....</b>	<b>3</b>
3.1 DISSERTATION HOLLMANN (2) .....	3
3.1.1 <i>Erweiterter Siebtrommelversuch</i> .....	3
3.1.2 <i>Bewertungsdiagramme für Bodenproben</i> .....	5
3.2 KONUSZUGVERSUCH (5) .....	7
<b>4 DURCHGEFÜHRTE UNTERSUCHUNGEN .....</b>	<b>9</b>
4.1 WASSERGEHALT NACH ÖNORM EN ISO 17892-1 (6) .....	9
4.2 SIEBTROMMELVERSUCH .....	9
4.3 ERMITTLUNG DER KONSISTENZGRENZEN NACH ÖNORM B 4411 (7) .....	11
4.3.1 <i>Ausrollgrenze – Plastizitätsgrenze</i> .....	11
4.3.1.1 Ausrollversuch (7 S. 15) .....	11
4.3.1.2 <i>Fließgrenze</i> .....	13
4.3.2.1 Versuch nach Casagrande (7 S. 6) .....	13
4.3.2.2 Fallkegelversuch (7 S. 11) .....	15
<b>5 SIEBTROMMELVERSUCHE .....</b>	<b>17</b>
5.1 VERSUCHSERGEBNIS MERGEL .....	18
5.2 VERSUCHSERGEBNIS OPALINUSTON 1 .....	20
5.3 VERSUCHSERGEBNIS OPALINUSTON 2 .....	21
<b>6 BODENPROBEN .....</b>	<b>23</b>
6.1 PROBE TON 254 .....	23
6.2 SCHLUFF DOMINIERT FEINKORNSSEDIMENTE AUS UNTERKÄRNTEN.....	24
6.2.1 <i>Probe Nr. 11</i> .....	24
6.2.2 <i>Probe Nr. 12</i> .....	25
6.2.3 <i>Probe Nr. 13</i> .....	25
6.2.4 <i>Probe Nr. 15</i> .....	26

---

6.3	FEINKORNSSEDIMENTE AUS DEM NEOGEN, AUS UNTERKÄRNTEN .....	26
6.3.1	<i>Probe Nr. 16</i> .....	26
6.3.2	<i>Probe Nr. 17</i> .....	27
6.3.3	<i>Probe Nr. 18</i> .....	27
6.3.4	<i>Probe Nr. 19</i> .....	28
6.3.5	<i>Probe Nr. 20</i> .....	28
6.3.6	<i>Probe Nr. 21</i> .....	29
6.3.7	<i>Probe Nr. 22</i> .....	29
6.3.8	<i>Probe Nr. 23</i> .....	30
6.3.9	<i>Probe Nr. 24</i> .....	30
6.3.10	<i>Probe Nr. 25</i> .....	31
6.3.11	<i>Probe Nr. 26</i> .....	31
6.3.12	<i>Probe Nr. 27</i> .....	32
6.3.13	<i>Probe Nr. 28</i> .....	32
6.3.14	<i>Probe Nr. 29</i> .....	33
6.3.15	<i>Probe Nr. 30</i> .....	33
6.3.16	<i>Probe Nr. 31</i> .....	34
6.4	ZUSAMMENSTELLUNG UND DARSTELLUNG ALLER PROBEN .....	35
<b>7</b>	<b>RÜHRMETHODE</b> .....	<b>37</b>
7.1	RÜHRQUIRLE .....	37
7.1.1	<i>Collomix Ankerrührer AR 90 S</i> .....	37
7.1.2	<i>Collomix Farbenrührer FM 80 S</i> .....	37
7.1.3	<i>Collomix Turbo-Rührer LX 90 S</i> .....	38
7.1.4	<i>Eibenstock Ronden-Rührer R 85</i> .....	38
7.1.5	<i>Eibenstock Scheiben-Rührer S 80</i> .....	39
7.1.6	<i>Eibenstock Wendel-Rührer W 85</i> .....	39
7.1.7	<i>Testversuche Rührquirlgeometrie/ Rührquirldrehzahl</i> .....	40
7.2	PROBENGEFÄß UND BENÖTIGTE GERÄTSCHAFTEN .....	40
7.3	PROBENVORBEREITUNG .....	43
7.3.1	<i>Homogenisierung</i> .....	43
7.3.2	<i>Einbringung in das Probengefäß</i> .....	43
7.4	VERSUCHSDURCHFÜHRUNG .....	44
7.4.1	<i>Homogenisierung der Probe</i> .....	44
7.4.2	<i>Wägung des Probengefäßes inkl. Fußplatte</i> .....	44
7.4.3	<i>Wägung des verwendeten Rührquirls</i> .....	45
7.4.4	<i>Einbringung der Probe in das Probengefäß</i> .....	45
7.4.5	<i>Wägung des befüllten Probengefäßes inkl. Fußplatte</i> .....	45

---

7.4.6	<i>Montage des Probengefäßes und des Rührquirls in der Standbohrmaschine .....</i>	<i>46</i>
7.4.7	<i>Einstellungen Standbohrmaschine .....</i>	<i>46</i>
7.4.8	<i>Rührvorgang.....</i>	<i>48</i>
7.4.9	<i>Rührquirl samt anhaftendem Material ausspannen und wiegen.....</i>	<i>48</i>
7.4.10	<i>Verklebungsindex mittels Formblatt ermitteln .....</i>	<i>49</i>
7.5	AUSWERTUNG RÜHRVERSUCHE .....	50
7.5.1	<i>Verklebungsdiagramme.....</i>	<i>50</i>
7.5.2	<i>Ergebnisse der Rührversuche.....</i>	<i>51</i>
7.6	ZUSAMMENFASSUNG RÜHRVERSUCHE.....	53
<b>8</b>	<b>FLÜGELSONDENVERSUCH .....</b>	<b>57</b>
8.1	PROBENGEFÄß BZW. PROBENAUFBEREITUNG.....	57
8.2	PRÜFAUFBAU .....	58
8.3	TESTDURCHFÜHRUNG UND AUSWERTUNG .....	60
8.4	ZUSAMMENFASSUNG FLÜGELSONDENVERSUCHE.....	63
<b>9</b>	<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS.....</b>	<b>64</b>
<b>10</b>	<b>TABELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>68</b>
<b>11</b>	<b>LITERATURVERZEICHNIS.....</b>	<b>69</b>
<b>ANHANG</b>	<b>.....</b>	<b>70</b>

## 1 Einleitung

Beim maschinellen Tunnelbau stellt die Verklebung der Tunnelvortriebsmaschine, in Folge TVM genannt, ein häufiges Problem dar. Die Bewertung des Verklebungspotentials eines Bodens ist daher essentiell für die Auswahl der richtigen TVM. Durch verknüpfte Betrachtung diverser geotechnischer Untersuchungen (Siebtrommelversuch, Sieblinie, Atterberg'sche Grenzen,...) kann das Verklebungspotential lt. aktueller Literatur, durch aufwendige Laborversuche sehr gut beschrieben werden.

Derzeit besteht keine Möglichkeit während der Bauphase rasch das Verklebungspotential des Bodens bestimmen zu können. Die zur Beschreibung des Verklebungspotentials notwendigen Untersuchungen sind nur in einem geotechnischen Labor möglich und sehr zeitaufwendig.

Um schnell auf die Veränderungen im Boden reagieren zu können muss dessen Untersuchung am Baustellengelände durch einfache Methoden möglich sein.

Ziel der Arbeit ist es, eine Methode zu entwickeln, welche die Bestimmung des Verklebungspotentials eines Bodens im Labor bzw. bevorzugt auf der Baustelle selbst, durch geringen Einsatz von Zeit und einfachen Gerätschaften ermöglicht. Durch die neue Methode soll schneller auf Veränderungen der geologischen Bedingungen reagiert werden können.

## 2 Theorie der Verklebung (1)

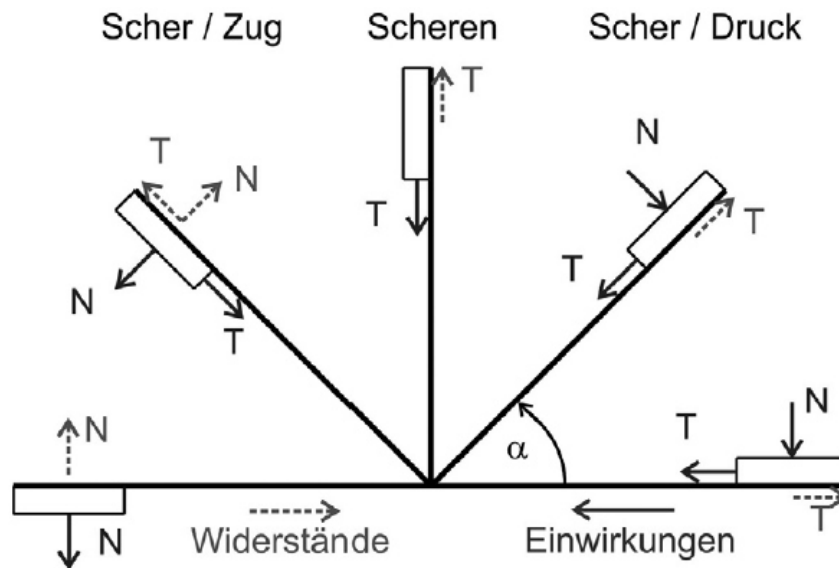


Abb. 2-1: Wirkmechanismen der Adhäsion (1 S. 104)

Verklebungen treten aufgrund der im Boden wirkenden Adhäsion auf. Diese ist von vielen Faktoren abhängig. Zu den wichtigsten Faktoren zählen das Vorhandensein von Wasser und das Auftreten von Tonen. Des Weiteren sind für die Verklebung mechanische Wirkungen im Boden mitverantwortlich. Diese sind im Wesentlichen:

- 1 Belastungsart (Scher-Druck-/ Scher-Zugbeanspruchung)
- 2 Belastungsrichtung (Normal-/ Tangentialanteile)
- 3 Verhältnis Adhäsionsspannung – Widerstände im Boden (abhängig von Plastizität und Konsistenz)

Bei einer Tunnelvortriebsmaschine ist eine Kombination aus den 3 Faktoren für die Verklebung verantwortlich. Wesentlich dabei ist, ob das Versagen bei Relativverschiebungen zwischen Boden und Metalloberfläche, innerhalb des Bodens oder in der Grenzfläche zwischen Boden und Metall auftritt. Der bestimmende Faktor hierfür ist Faktor 3. Sind die Adhäsionsspannungen größer als die Zugfestigkeit des Bodens tritt das Versagen im Boden ein und Verklebungen sind die Folge. Ist die Zugfestigkeit des Bodens jedoch höher als die Adhäsionsspannungen treten keine Verklebungen auf.

Bei steifer Konsistenz treten meist geringere Verklebungen auf, da die Verbundspannungen innerhalb des Bodens größer sind als jene zwischen Metall und Boden.

Am häufigsten entstehen Verklebungen bei weicher Konsistenz, da innerhalb dieser Böden geringe Verbundspannungen bestehen.

Ab einem kritischen Wassergehalt (z.B. bei breiiger Konsistenz) sinkt das Verklebungspotential wieder, da das im Überschuss vorhandene Wasser als Schmierfilm zwischen Boden und Metall dient.

### 3 Grundlegende Literatur

#### 3.1 Dissertation Hollmann (2)

##### 3.1.1 Erweiterter Siebtrommelversuch

Hollmann erweiterte den für die Beurteilung der Zerfallsbeständigkeit von Gestein bekannten Siebtrommelversuch. Er beurteilt dabei nicht nur die Rückstände im Sieb, sondern auch den Siebtrommeldurchgang. Dabei verzichtet er, entgegen der „Empfehlung Nr. 20 des Arbeitskreises 3.3 „Versuchstechnik Fels“ der deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Zerfallsbeständigkeit von Gesteinen – Siebtrommelversuch“ (3) in Folge Empfehlung Nr. 20 genannt, auf die Trocknung der Proben vor und während des Siebtrommelversuchs. Der Verzicht auf die Trocknung ist dadurch begründet, dass eine gehörige Zeitersparnis lukriert werden kann und die Ergebnisse nicht durch ein „Wiederverkleben“ der einzelnen Korngrößen verfälscht werden.

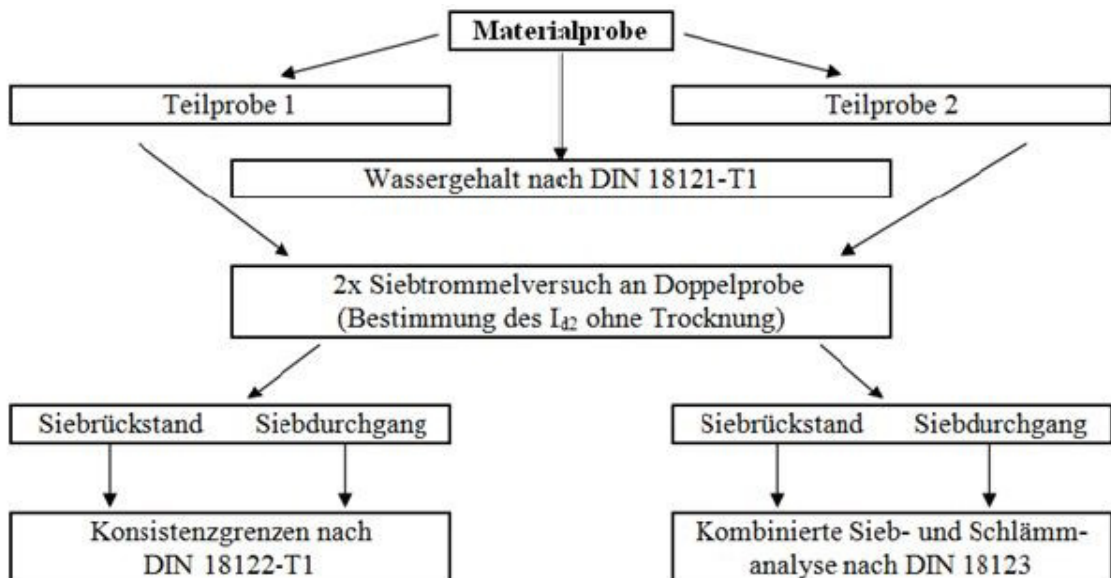


Abb. 3-1: Ablauf Verklebungsuntersuchung mittels modifiziertem Siebtrommelversuch nach Hollmann (2 S. 74)



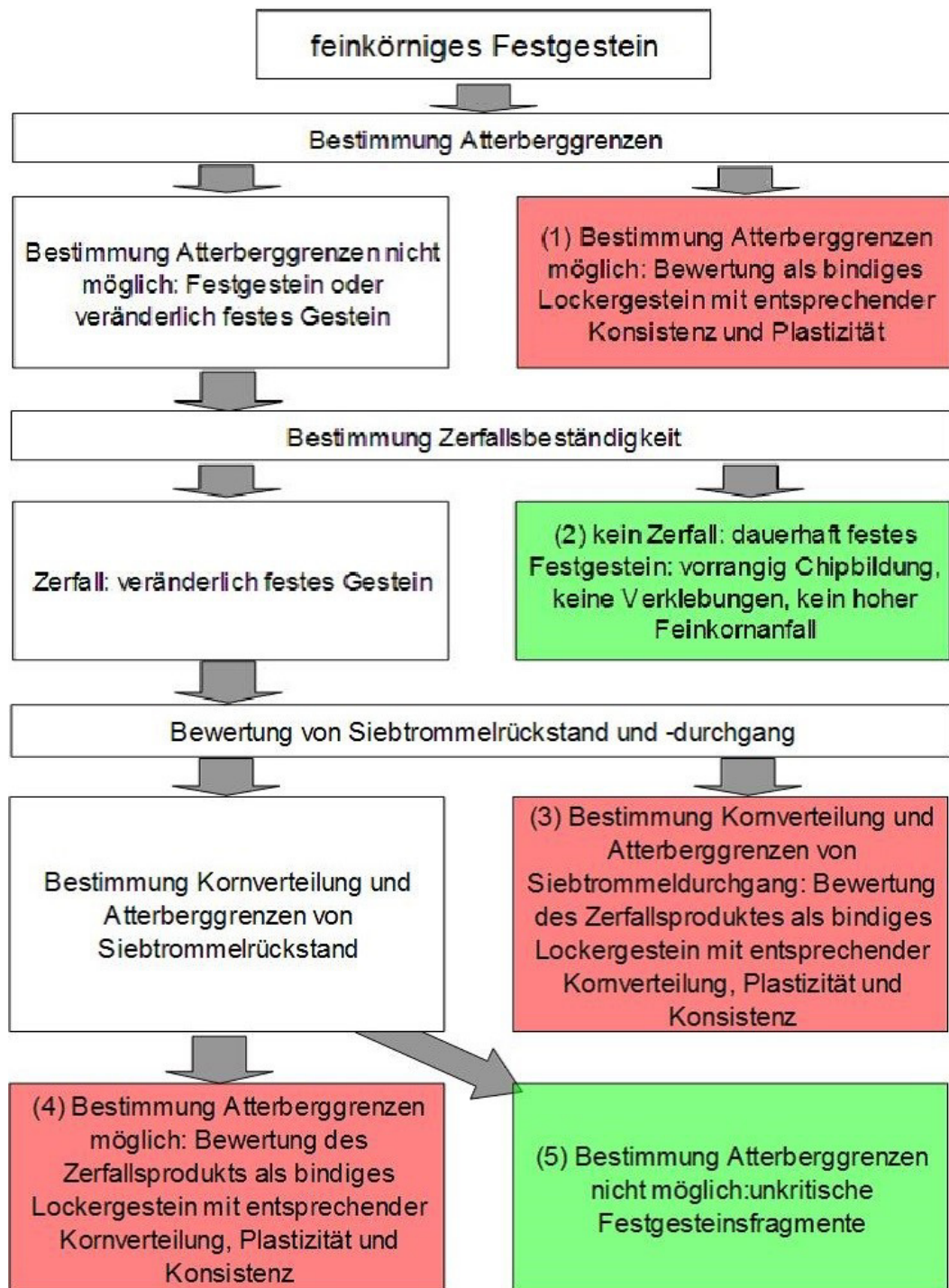


Abb. 3-2: Untersuchungsschema zur Beurteilung der Verklebungsneigung und des Feinkornanfalls bei feinkörnigem Festgestein (2 S. 72)

Der modifizierte Siebtrommelversuch (Abb. 3-1) findet Anwendung wenn die in Abb. 3-2 abgebildeten Parameter zutreffen.

Dabei muss das Ausgangsgestein fest genug sein, dass keine Atterberg'schen Grenzen bestimmt werden können, der anschließende Siebtrommelversuch jedoch Zerfallserscheinungen des Gesteins zeigt. Daraus resultiert die Klassifizierung als veränderliches festes Gestein und die damit verbundene Untersuchung des Siebtrommeldurchgangs und -rückstands.

Probe	Untersuchung Ausgangsgestein		Untersuchung Siebrückstand			Untersuchung Siebdurchgang			Anteil an Zerfallsprodukten		
	$I_{d2}$	Aussagekraft hinsichtlich der Zerfallsprodukte	$W_L$	$W_P$	$I_P$	$W_L$	$W_P$	$I_P$	Festgestein	bindiger Boden	Feinkornanteil
1	97,3%	Anteil von 97,3% Festgestein > 2 mm	nicht möglich			zu wenig Material			93,0%	7,0%	7,0%
2	95,3%	Anteil von 95,3% Festgestein > 2 mm	nicht möglich			31,4%	18,6%	12,8%	95,3%	4,7%	2,0%
3	11,2%	nur Anteil von 11,2% Festgestein > 2 mm	49,8%	24,1%	25,7%	46,0%	27,0%	19,0%	0,0%	100,0%	10,5%
4	56,5%	Anteil von 56,5% Festgestein > 2 mm	nicht möglich			29,7%	19,9%	9,8%	56,0%	44,0%	5,7%
5	11,4%	nur Anteil von 11,4% Festgestein > 2 mm	37,1%	21,4%	15,7%	36,2%	21,1%	15,1%	0,0%	100,0%	9,5%
6	80,4%	Anteil von 80,4% Festgestein > 2 mm	nicht möglich			30,0%	19,9%	10,0%	80,4%	19,6%	2,2%
7	42,1%	Anteil von 42,1% Festgestein > 2 mm	nicht möglich			40,1%	24,0%	16,1%	42,1%	57,9%	37,6%
8	70,8%	Anteil von 70,8,3% Festgestein > 2 mm	nicht möglich			27,0%	17,3%	9,7%	70,8%	29,2%	5,0%
9*	87,3%	Anteil von 87,3% Festgestein > 2 mm	43,2%	22,7%	20,5%	44,4%	23,6%	20,8%	0,0%	100,0%	98,9%
10*	33,2%	nur Anteil von 33,2% Festgestein > 2 mm	38,0%	27,6%	10,5%	35,7%	21,9%	13,8%	0,0%	100,0%	27,3%

\*Kontrollversuche: Gesteine auf Basis Atterberggrenzen eigentlich mittelplastische, steife bzw. feste Tone

Tab. 3-1: Mögliche Ergebnisauswertung nach Hollmann (4 S. 52)

grün = **unkritisch**  
hinsichtlich von  
Verklebungen

gelb = Aussagekraft  
begrenzt

rot = **kritisch**  
hinsichtlich von  
Verklebungen

Die Untersuchungen nach Hollmann ergeben z.B. Tab. 3-1.

Der hohe  $I_{d2}$ -Wert (Ermittlung durch Siebtrommelversuch) der Probe Nr. 9 in der Tab. 3-1 ließe alleinstehend auf unkritisches Verhalten hinsichtlich Verklebungen schließen. Die Untersuchungen des Siebtrommeldurchgangs bzw. -rückstands zeigen jedoch, dass die Zerfallsprodukte einen hohen Anteil an Feinkorn sowie bindigem Boden haben und daraus folgend kritisch hinsichtlich von Verklebungen zu beurteilen sind. Der hohe  $I_{d2}$ -Wert kam bei der oben dargestellten Untersuchung durch Klumpenbildung des Ausgangsgesteins in der Siebtrommel zustande.

Die Probe Nr. 9 bestätigt die Annahme von F. Hollmann, dass durch den Siebtrommelversuch allein eine Beurteilung des Verklebungspotentials nicht ausreichend möglich ist.

### 3.1.2 Bewertungsdiagramme für Bodenproben

Das Bewertungsdiagramm von Thewes stellt das Verklebungspotential von Böden bei Hydroschildvortrieben dar (2 S. 41). Hollmann erweiterte dieses dahingehend, dass es das Verklebungspotential von Böden darstellt wenn kein freies Bergwasser verfügbar ist. In diesem Diagramm (Abb. 3-3) sind auf der Abszisse die Plastizitätszahl  $I_P$  und auf der Ordinate die Konsistenzzahl  $I_c$  aufgetragen.

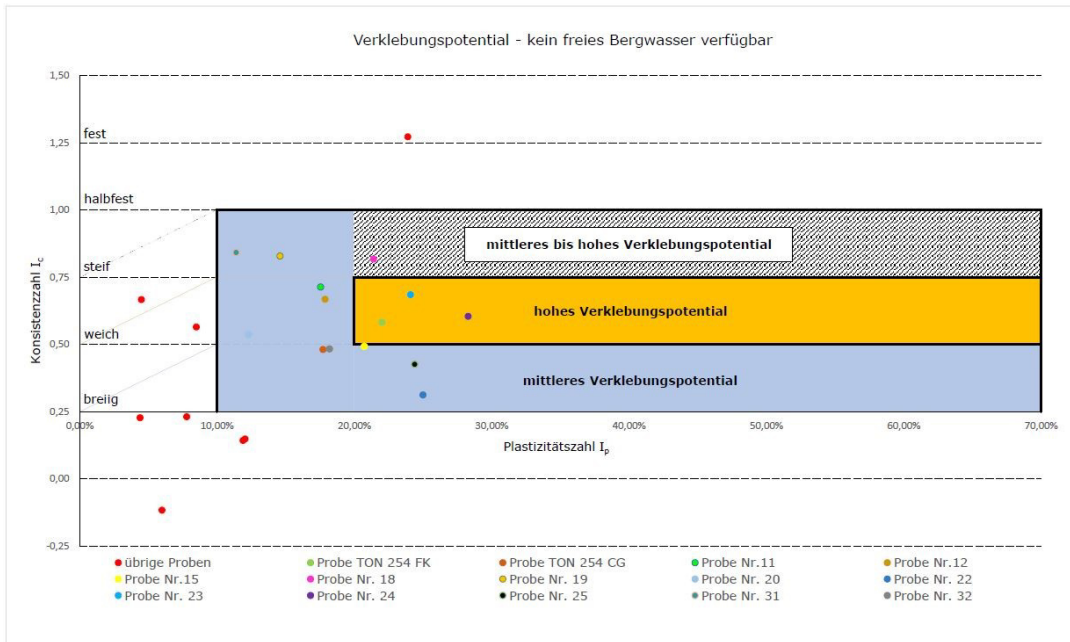


Abb. 3-3: Verlebungspotential – kein freies Bergwasser verfügbar (2 S. 42, modifiziert); es sind die Wertepaare der zur Verfügung stehenden Bodenproben eingetragen

Hollmann entwickelte das in Abb. 3-3 dargestellte Diagramm weiter, sodass ersichtlich wird wie eine Veränderung des Wassergehaltes das Verlebungspotential des Bodens beeinflusst. In dem erweiterten Diagramm (Abb. 3-4) sind auf der Abszisse die Differenz zwischen der Ausrollgrenze  $w_p$  und dem Wassergehalt  $w$  und auf der Ordinate die Differenz zwischen der Fließgrenze  $w_L$  und dem Wassergehalt  $w$  aufgetragen.

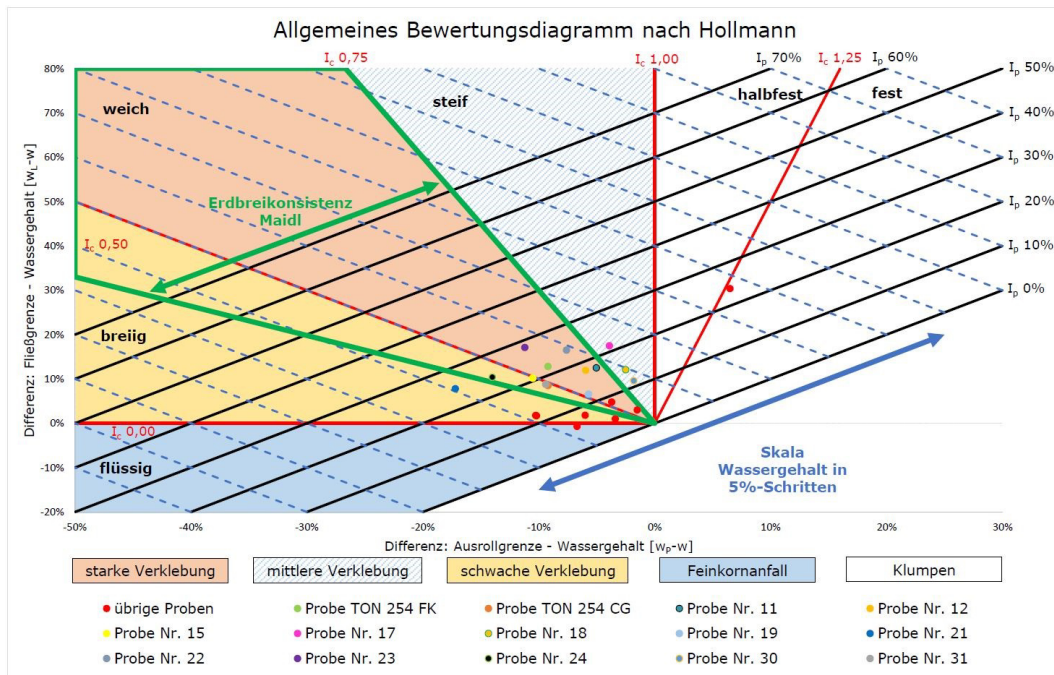


Abb. 3-4: Allgemeines Bewertungsdiagramm zur Beurteilung möglicher Umwandlungen von Böden (2 S. 51, modifiziert)



Die in Abb. 3-3 und Abb. 3-4 dargestellten Diagramme finden in dieser Masterarbeit Anwendung, bei der Auswahl geeigneter Proben für die Erarbeitung einer neuen Methode um das Verklebungspotential zu bestimmen.

### 3.2 Konuszugversuch (5)

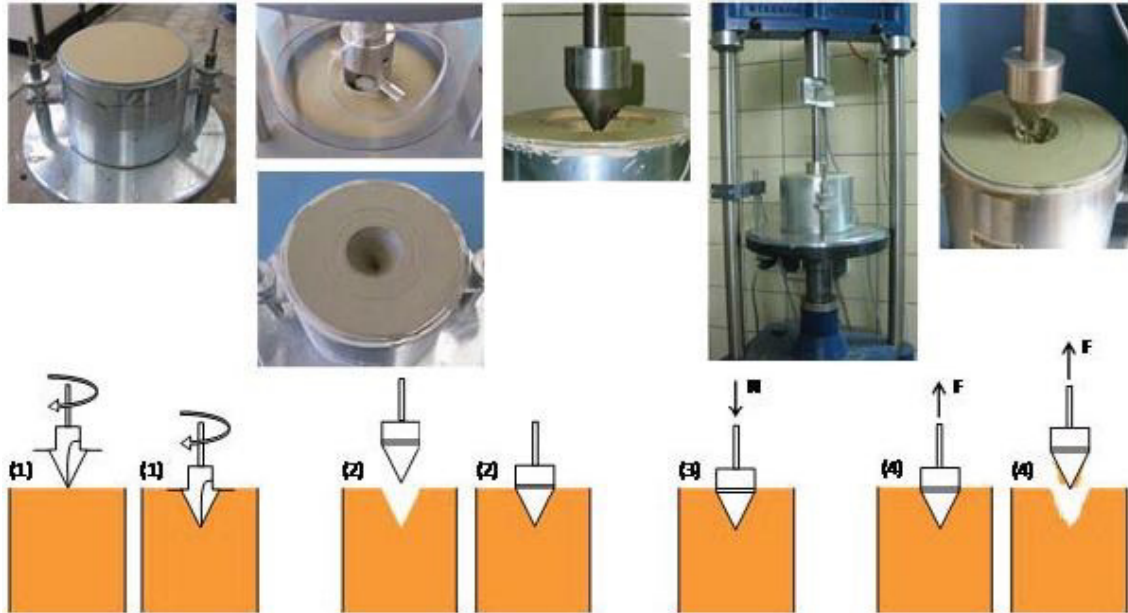


Abb. 3-5: Ablauf Konuszugversuch (5 S. 45)

Beim Konuszugversuch wird das Testmaterial in einem Standard Proctortopf ( $\varnothing$  150 mm) mit der gewünschten Konsistenz aufbereitet und verdichtet. Punkt 1 in Abb. 3-5 zeigt die Bildung einer konischen Vertiefung in der Probe mittels eines speziellen Konusbohrers. Anschließend wird der Testkonus (Öffnungswinkel  $58^\circ$ ) in die Vertiefung eingestellt (Punkt 2). Dieser wird in einem Zeitraum von 10 min kontrolliert ( $0,23$  mm/min) ca. 2 mm tief in die Probe eingedrückt (Punkt 3). Zum Abschluss des Versuchs wird der Testkonus mit einer Zuggeschwindigkeit von  $5,83$  mm/min ausgezogen (Punkt 4). Dabei werden die Zugkraft und der Herausziehweg elektronisch aufgezeichnet.

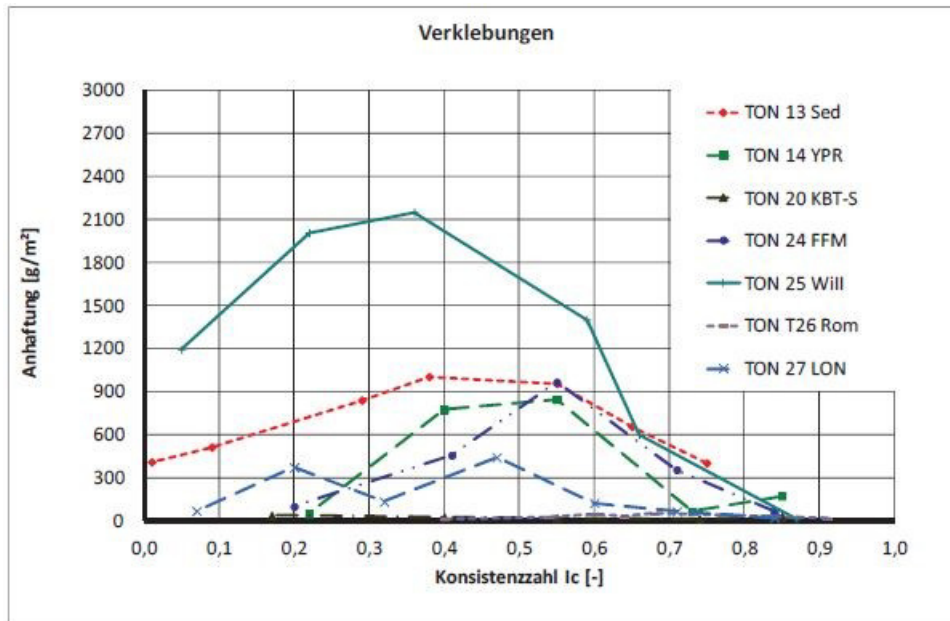


Abb. 3-6: Beispiel Ergebnisse Konuszugversuch (5 S. 45)

Als Ergebnis des Konuszugversuchs wird die Masse des am Testkonus anhaftenden Materials auf die Konusmantelfläche bezogen und über der Konsistenzzahl aufgetragen. Als Wert für die Anhaftung wird der Mittelwert aus mindestens vier Einzelversuchen herangezogen. Es ist auch möglich die Druck- bzw. Zugenergie, die max. Druck- bzw. Zugspannung über der Konsistenz oder die Druck- bzw. Zugspannungen über dem Weg aufzutragen.

## 4 Durchgeführte Untersuchungen

### 4.1 Wassergehalt nach ÖNORM EN ISO 17892-1 (6)

Zur Bestimmung des Wassergehaltes wird eine ca. 100 g (gültig bei Schluff und Ton) schwere Teilprobe des Bodens bei 105 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Der Wassergehalt wird durch folgende Formel ermittelt:

$$Gl. 4-1: w = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100 [\%]$$

$m_w$  ... Masse Wasser [g]

$m_d$  ... Trockenmasse [g]

In der Tab. 4-1 wird der Wassergehalt folgendermaßen bestimmt:

$$Gl. 4-2: w = \frac{(m_B+m_F)-(m_B+m_d)}{(m_B+m_d)-m_B} [\%]$$

Probe		Probe TON 254
Masse Behälter ( $m_B$ )	g	5,39
Masse Behälter + feuchte Probe ( $m_B+m_F$ )	g	106,91
Masse Behälter + trockene Probe ( $m_B+m_d$ )	g	86,80
Wassergehalt	%	24,70

Tab. 4-1: Formblatt Wassergehaltsbestimmung

### 4.2 Siebtrommelversuch

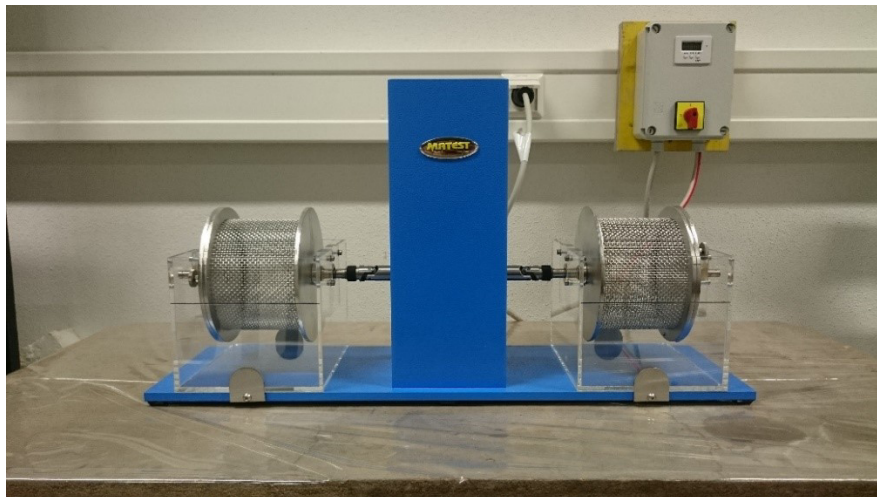


Abb. 4-1: Siebtrommelgerät

Beim Siebtrommelversuch wird durch eine teilweise in Wasser rotierende Siebtrommel das Gestein mechanischer Beanspruchung ausgesetzt. Die Zerfallsbeständigkeit wird über den proportionalen Gewichtsverlust der Probe nach jedem Siebdurchgang bestimmt und durch den Slake-Durability-Index ausgedrückt. Die Empfehlung Nr. 20 (3) beschreibt detailliert den Ablauf des Siebtrommelversuchs.



Abb. 4-2: Modellbezeichnung Siebtrommelgerät

Am Lehrstuhl für Subsurface Engineering wurde ein Siebtrommelgerät der Firma MATEST S.p.A., Modell A130 angeschafft, welches für diese Masterarbeit verwendet wurde.

Für den Siebtrommelversuch wurde nach Vorgabe der Empfehlung Nr. 20 (3) ein Formblatt erstellt:

Zerfallsbeständigkeit nach E20 (AK 3.3 DGGT)	Labor Nr.:																																																	
Datum: 01.03.2016	Name: Schmidt Hans	Bauvorhaben: Masterarbeit																																																
Gestein: Mergel	Behälter Nr.: 1	Farbe: dunkelgrau																																																
$m_T$ [g]: 2402,3	$m_{d0}+m_T$ [g]: 2881,3	$m_{d0}$ [g]: 479,0																																																
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>Zyklus</th> <th>Datum</th> <th>Uhrzeit</th> <th><math>m_{d0}+m_T</math></th> <th><math>m_{d1}</math></th> <th><math>\frac{m_{d1}}{m_{d0}} \cdot 100</math></th> </tr> <tr> <th>i</th> <th>Tag . Monat</th> <th>h . min.</th> <th>g</th> <th>g</th> <th>%</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1</td> <td>02.03.</td> <td>09:05</td> <td>2875,2</td> <td>472,9</td> <td>98,73</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>02.03.</td> <td>15:54</td> <td>2870,0</td> <td>467,7</td> <td>97,64</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>03.03.</td> <td>09:55</td> <td>2864,5</td> <td>462,2</td> <td>96,49</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>04.03.</td> <td>09:12</td> <td>2859,1</td> <td>456,8</td> <td>95,37</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>07.03.</td> <td>10:24</td> <td>2854,6</td> <td>452,3</td> <td>94,43</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>08.03.</td> <td>09:22</td> <td>2850,0</td> <td>447,7</td> <td>93,47</td> </tr> </tbody> </table>	Zyklus	Datum	Uhrzeit	$m_{d0}+m_T$	$m_{d1}$	$\frac{m_{d1}}{m_{d0}} \cdot 100$	i	Tag . Monat	h . min.	g	g	%	1	02.03.	09:05	2875,2	472,9	98,73	2	02.03.	15:54	2870,0	467,7	97,64	3	03.03.	09:55	2864,5	462,2	96,49	4	04.03.	09:12	2859,1	456,8	95,37	5	07.03.	10:24	2854,6	452,3	94,43	6	08.03.	09:22	2850,0	447,7	93,47	visuelle Beurteilung der Gesteinsstücke nach dem Versuch:	
Zyklus	Datum	Uhrzeit	$m_{d0}+m_T$	$m_{d1}$	$\frac{m_{d1}}{m_{d0}} \cdot 100$																																													
i	Tag . Monat	h . min.	g	g	%																																													
1	02.03.	09:05	2875,2	472,9	98,73																																													
2	02.03.	15:54	2870,0	467,7	97,64																																													
3	03.03.	09:55	2864,5	462,2	96,49																																													
4	04.03.	09:12	2859,1	456,8	95,37																																													
5	07.03.	10:24	2854,6	452,3	94,43																																													
6	08.03.	09:22	2850,0	447,7	93,47																																													
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 5%;">1</td> <td style="width: 75%;">Gesteinsstücke unverändert</td> <td style="width: 20%;"></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Gesteinsstücke gerundet</td> <td></td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Gesteinsstücke teilweise zerfallen</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Gesteinsstücke völlig zerfallen</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			1	Gesteinsstücke unverändert		2	Gesteinsstücke gerundet		3	Gesteinsstücke teilweise zerfallen	X	4	Gesteinsstücke völlig zerfallen																																					
1	Gesteinsstücke unverändert																																																	
2	Gesteinsstücke gerundet																																																	
3	Gesteinsstücke teilweise zerfallen	X																																																
4	Gesteinsstücke völlig zerfallen																																																	
Wasser:																																																		
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tbody> <tr> <td style="width: 50%;">Deionat</td> <td style="width: 50%;"></td> </tr> <tr> <td>Leitungswasser</td> <td style="text-align: center;">X</td> </tr> <tr> <td>Bergwasser</td> <td></td> </tr> </tbody> </table>			Deionat		Leitungswasser	X	Bergwasser																																											
Deionat																																																		
Leitungswasser	X																																																	
Bergwasser																																																		
Bemerkungen:																																																		

Abb. 4-3: Formblatt Zerfallsbeständigkeit Siebtrommelversuch

### **4.3 Ermittlung der Konsistenzgrenzen nach ÖNORM B 4411 (7)**

Bei allen Versuchen zur Ermittlung der Konsistenzgrenzen werden nur jene Teile der Bodenproben verwendet, welche kleiner 0,4 mm sind. Die Proben müssen vor den Untersuchungen homogenisiert werden.

#### **4.3.1 Ausrollgrenze – Plastizitätsgrenze**

Der Wassergehalt  $w_p$  an der Ausrollgrenze stellt den Übergang des Bodens vom steifen in den halbfesten Zustand dar.

Zur Bestimmung der Ausrollgrenze kann der Ausrollversuch oder der Linearschrumpfversuch durchgeführt werden. Die Versuche sind als gleichwertig anzusehen.

In dieser Masterarbeit kam nur der Ausrollversuch zum Einsatz.

##### 4.3.1.1 Ausrollversuch (7 S. 15)

Der Wassergehalt der Bodenprobe wird so eingestellt, dass mit den Händen eine Kugel geformt werden kann. Aus der Gesamtprobe werden zwei ca. 15 g schwere Teilproben entnommen. Diese Teilproben werden geviertelt, sodass insgesamt acht Teilproben entstehen.

Mit jeder der acht Teilproben wird die Ausrollgrenze bestimmt. Diese ist dann erreicht, wenn durch mehrmaliges Ausrollen und Zusammenkneten der Teilprobe auf einem saugfähigen Untergrund (z.B. Schieferplatte), bei konstantem Durchmesser von 3 mm Längs- und Querrisse entstehen.

Die gerissene Teilprobe muss unverzüglich gewogen und der Wassergehalt bestimmt werden (siehe Punkt 4.1). Das Mindestgewicht der trockenen Teilprobe darf 2 g nicht unterschreiten.

Zur Ermittlung der Ausrollgrenze werden die Wassergehalte der ersten und zweiten vier Teilproben zu je einem Mittelwert zusammengefasst. Die Differenz der Mittelwerte darf 0,5 % nicht überschreiten. Die Ausrollgrenze  $w_p$  wird durch Bildung des Mittelwertes der zuvor berechneten Mittelwerte (Teilproben 1 bis 4 und 5 bis 8) bestimmt und auf 0,5 % gerundet (Abb. 4-4).



Ausrollgrenze nach ÖNORM B4411						
Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:			
Masterarbeit HSc	TON 254	Schmidt Hans	13.06.2016			
Teilprobe 1						
Nummer Probe		1	2	3	4	Mittelwert
Nummer Behälter		1/4	2/4	3/4	4/4	
Masse Behälter	g	1,070	1,078	1,088	1,074	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	3,883	4,207	3,438	4,263	
Masse Behälter+trockene Probe	g	3,510	3,779	3,132	3,845	
Masse trockene Probe	g	2,440	2,701	2,044	2,771	
Wassergehalt	%	15,29	15,85	14,97	15,08	15,30
Anmerkungen						
Teilprobe 2						
Nummer Probe		5	6	7	8	Mittelwert
Nummer Behälter		1/5	2/5	3/5	4/5	
Masse Behälter	g	1,071	1,076	1,079	1,076	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	4,740	4,935	4,607	5,742	
Masse Behälter+trockene Probe	g	4,252	4,428	4,137	5,111	
Masse trockene Probe	g	3,181	3,352	3,058	4,035	
Wassergehalt	%	15,34	15,13	15,37	15,64	15,37
Anmerkungen						
Teilprobe 1; Mittelwert	%				15,30	
Teilprobe 2; Mittelwert	%				15,37	
Differenz	%				0,07	
Ausrollgrenze	%				15,50	

Abb. 4-4: Formblatt Ausrollgrenze Ausrollversuch

### 4.3.2 Fließgrenze

Der Wassergehalt  $w_L$  an der Fließgrenze stellt den Übergang des Bodens vom flüssigen in den plastischen Zustand dar.

Zur Bestimmung der Fließgrenze kann der Versuch nach Casagrande oder der Fallkegelversuch durchgeführt werden. Die Versuche sind als gleichwertig anzusehen.

#### 4.3.2.1 Versuch nach Casagrande (7 S. 6)

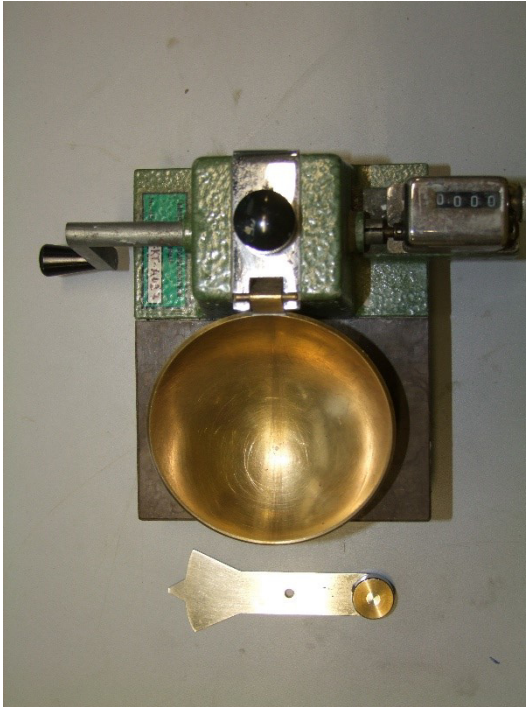


Abb. 4-5: Casagrandegerät Draufsicht      Abb. 4-6: Casagrandegerät Frontansicht

Für den Versuch nach Casagrande wird ein Casagrandegerät (Abb. 4-5 bzw. Abb. 4-6) verwendet.

Weiter folgend wird das Casagrandegerät, wie in Abb. 4-7 ersichtlich mit der Bodenprobe gefüllt und mittig eine Furche gezogen.

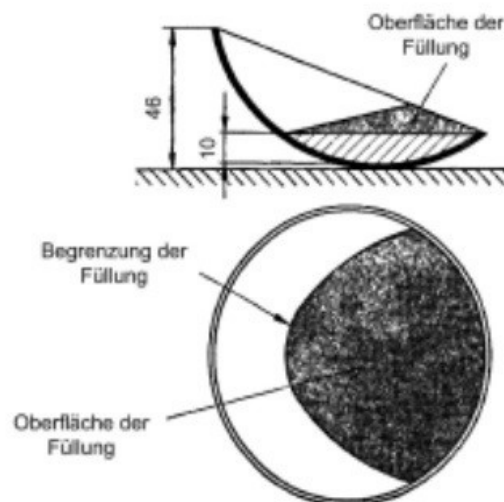


Abb. 4-7: Befüllung der Schale laut ÖNORM B 4411 (7 S. 9)

Durch Drehen (1 U/s) an der Kurbel wird die Schale des Casagrandegerätes 10 mm angehoben und fallengelassen. Wenn die Furche auf min. 1 cm Länge geschlossen ist wird die Schlaganzahl (Anzahl der benötigten Umdrehungen) festgehalten und der Wassergehalt des Bodens bestimmt. Die Schlaganzahl muss zwischen 15 und 40 Schlägen liegen. Der Versuch muss mindestens viermal, mit unterschiedlichem Wassergehalt der Bodenprobe durchgeführt werden.

Anschließend werden die Wertepaare aus Schlaganzahl (Abszisse, logarithmisch) und Wassergehalt (Ordinate, linear) in ein einfachlogarithmisches Diagramm eingetragen und eine logarithmische Ausgleichsgerade eingefügt. Der Wassergehalt bei der Fließgrenze  $w_L$  wird bei 25 Schlägen abgelesen bzw. berechnet.

Fließgrenze nach ÖNORM B4411			
------------------------------	--	--	--

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	TON 254	Schmidt Hans	02.06.2016

Nummer Probe		1	2	3	4
Nummer Behälter		1/4	2/4	3/4	4/4
Masse Behälter	g	1,070	1,078	1,088	1,074
Masse Behälter+feuchte Probe	g	6,424	7,086	6,710	7,584
Masse Behälter+trockene Probe	g	5,059	5,587	5,377	5,894
Wassergehalt	%	34,22	33,24	31,08	35,06
Schläge		22	24	36	16

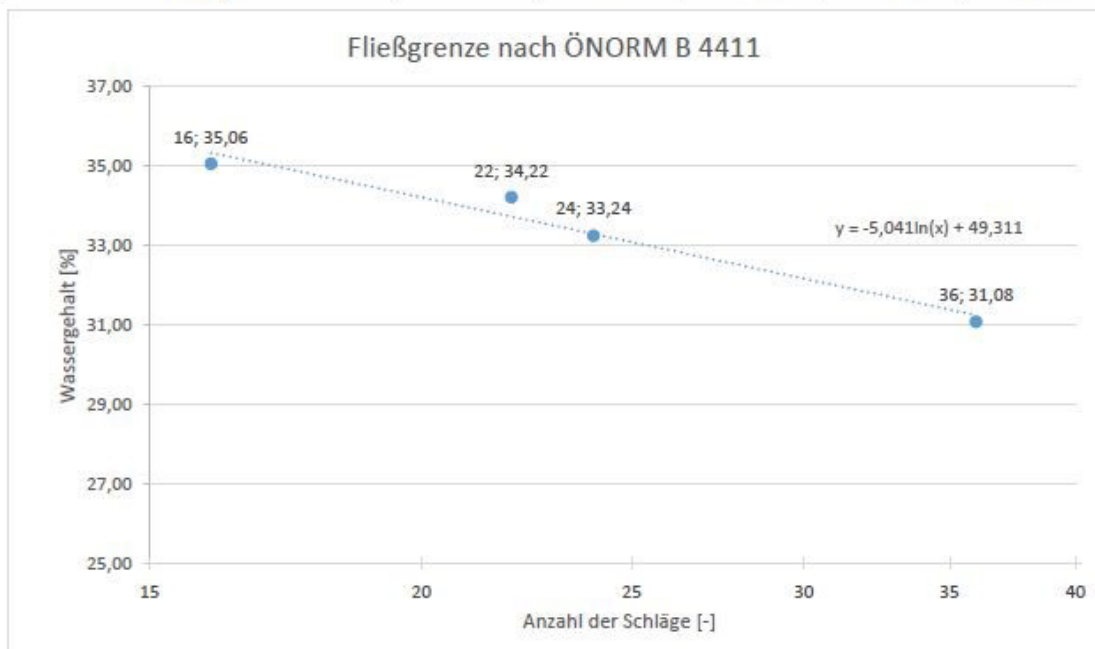


Abb. 4-8: Formblatt Fließgrenze; Versuch nach Casagrande

## 4.3.2.2 Fallkegelversuch (7 S. 11)

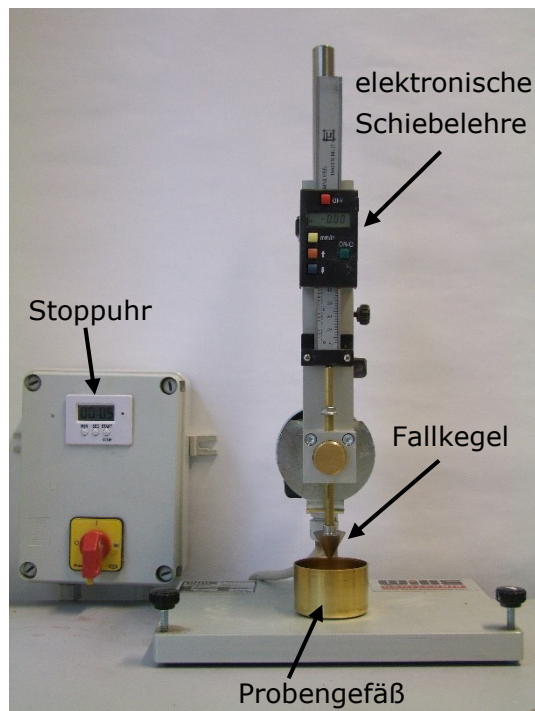


Abb. 4-9: Fallkegelgerät

Anforderung	60g/60°-Kegel	80g/30°-Kegel
Anfangseindringung	ca. 7 mm	ca. 15 mm
Bereich der Eindringung	5 - 22 mm	10 - 30 mm
max. Anforderung der Eindringung zwischen zwei aufeinanderfolgenden Prüfungen	0,4 mm	0,5 mm
w <sub>L</sub> wird bestimmt bei der Eindringung von	10 mm	20 mm
Tiefe Probengefäße	1,5fache Maximaleindringung	
Durchmesser Probengefäß	min. 55 mm	

Tab. 4-2: Anforderungen Fallkegel bzw. Probengefäß (7 S. 12-13)

Für den Fallkegelversuch wird ein Fallkegelgerät verwendet (Abb. 4-9).

Es können zwei verschiedene Fallkegel eingesetzt werden. Jedem Fallkegel ist ein eigenes Probengefäß zugeordnet (Tab. 4-2).

Die Probe muss ohne Luftblasen in das Probengefäß eingebracht und plan mit dem Rand des Gefäßes abgezogen werden. Der Fallkegel wird so über der Probe platziert, dass er die Oberfläche berührt und eine sichtbare Spur darin hinterlässt. Es darf kein Material am Fallkegel anhaften. Die Stoppuhr wird auf 5 s eingestellt, die Schiebelehre an das Ende des Fallkegels geführt und genullt. Durch Betätigen des Startknopfes gibt der Elektromagnet den Fallkegel frei und dieser fällt in die Probe. Das Gewicht des Kegels wirkt 5 s lang auf die Probe ein. Während dieser 5 s sind Erschütterungen jeglicher Art zu vermeiden. Der Elektromagnet arretiert den Fallkegel anschließend wieder. Mit der Schiebelehre wird im nächsten Schritt die Eindringtiefe des Kegels bestimmt. Aus dem Nahbereich der Eindringstelle wird weiter eine Probe zur Ermittlung des Wassergehaltes entnommen.



Der Versuch muss mindestens viermal mit unterschiedlichem Wassergehalt der Bodenprobe durchgeführt werden. Die Eindringtiefen sollten dabei den in Tab. 4-2 angeführten Rahmen einhalten und diesen gleichmäßig abbilden.

Mit den Wertepaaren aus Eindringtiefe (Abszisse, logarithmisch) und Wassergehalt (Ordinate, linear) wird im nächsten Schritt ein einfachlogarithmisches Diagramm erstellt. Durch eine logarithmische Ausgleichsgerade ist es möglich die Fließgrenze bei der in Tab. 4-2 angegebenen Eindringtiefe (abhängig vom verwendeten Fallkegel) zu berechnen.

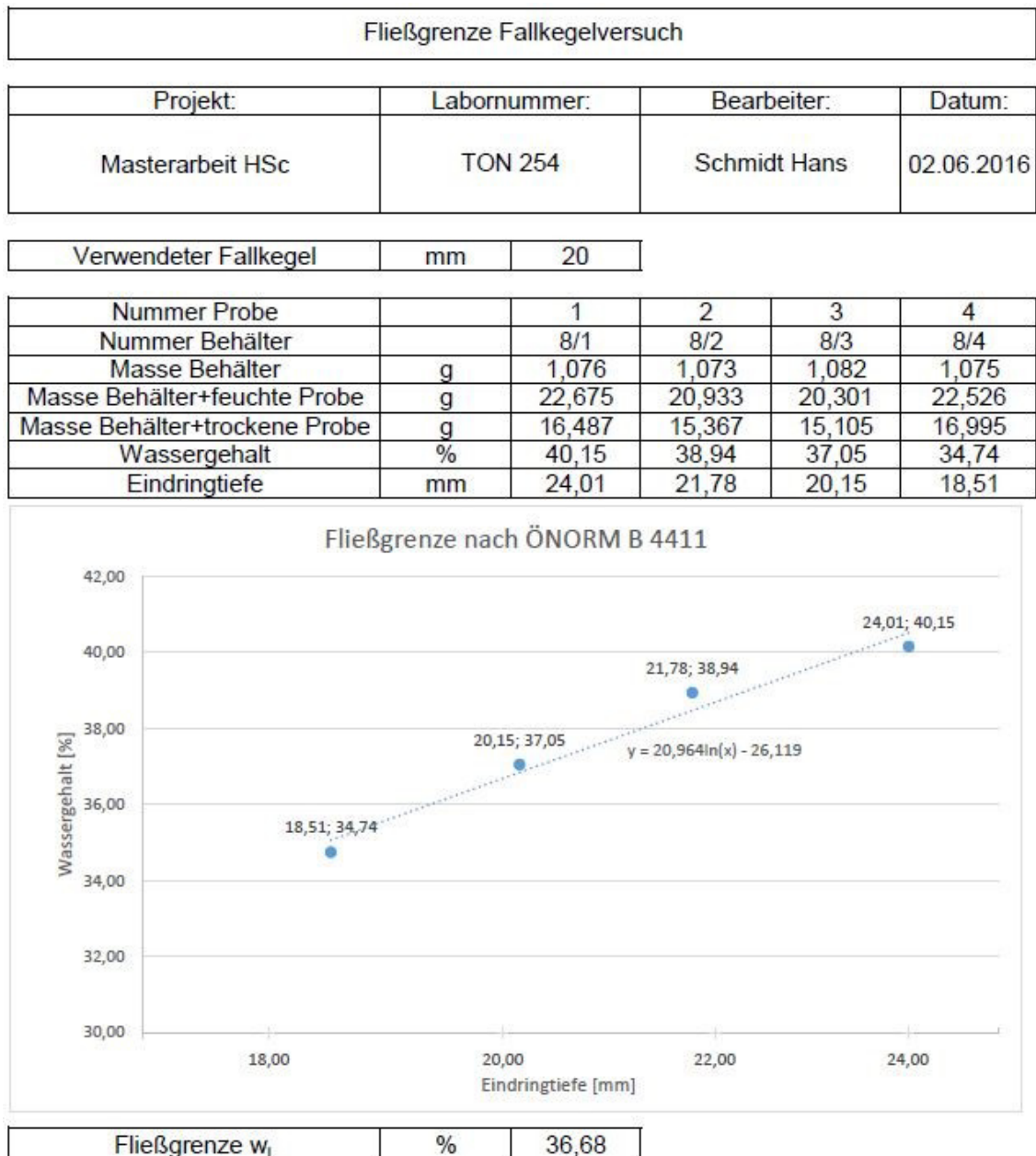


Abb. 4-10: Formblatt Fließgrenze; Fallkegelversuch

## 5 Siebtrommelversuche

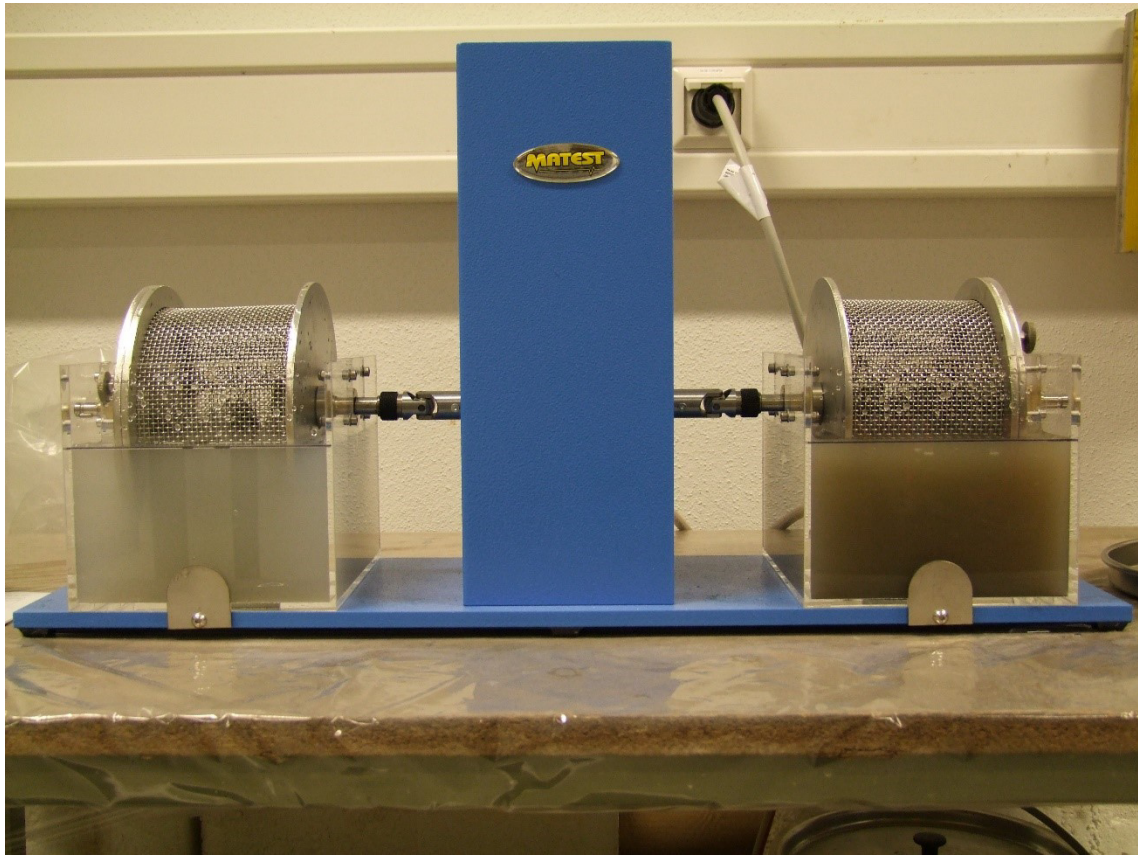


Abb. 5-1: Siebtrommelversuch Symbolbild; Mergel links; Opalinuston 2 rechts

Die Grundidee für diese Masterarbeit war, die „neue Untersuchungsmethode“ mit dem erweiterten Siebtrommelversuch nach Hollmann (2) zu vergleichen und gegebenenfalls Korrelationen festzustellen. Es war jedoch nicht möglich Proben zu beschaffen, welche den Anforderungen (Abb. 3-2) des erweiterten Siebtrommelversuches entsprochen hätten. Aus diesem Grund wurden nur zur Einarbeitung am Siebtrommelgerät drei Versuche durchgeführt. Dabei wurden eine Mergelprobe und zwei unterschiedliche Proben Opalinuston getestet. Die Versuche wurden nach der Empfehlung Nr. 20 (3) durchgeführt.

Der maßgebende Faktor ist der Slake-Durability-Index nach dem zweiten Durchlauf. Dieser wird mit  $I_{d2}$  bezeichnet. Die Abbildungen in den folgenden Punkten 5.1 und 5.3 zeigen daher den zweiten Durchlauf. Im Punkt 5.2 sind nur Aufnahmen des Endzustandes vorhanden.

## 5.1 Versuchsergebnis Mergel



Abb. 5-2: Mergel; Ausgangszustand

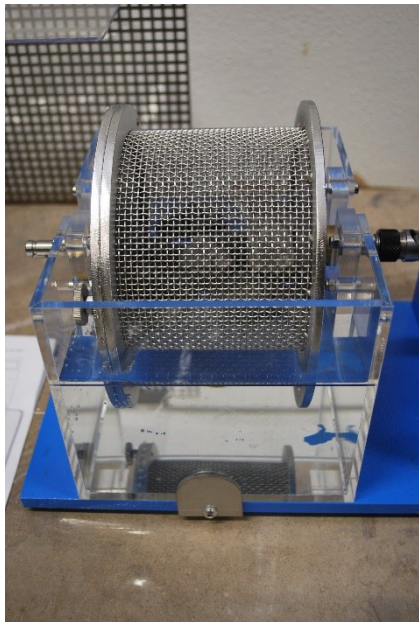


Abb. 5-3: Mergel vor Durchlauf 2

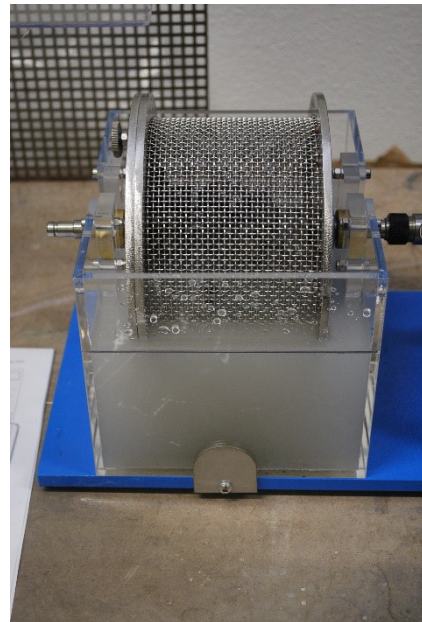


Abb. 5-4: Mergel nach Durchlauf 2



Abb. 5-5: Mergel; Siebdurchgang nach Durchlauf 2





Abb. 5-6: Mergel; Endzustand nach 6 Durchläufen

Zerfallsbeständigkeit nach E20 (AK 3.3 DGGT)	Labor Nr.:
--	------------

Datum: 01.03.2016      Name: Schmidt Hans      Bauvorhaben: Masterarbeit

Gestein: Mergel      Behälter Nr.: 1      Farbe: dunkelgrau

$m_T$  [g]: 2402,3       $m_{90}+m_T$  [g]: 2881,3       $m_{90}$  [g]: 479,0

Zyklus	Datum	Uhrzeit	$m_{90}+m_T$	$m_{90}$	$I_{d1} = \frac{m_{90}}{m_{90}+m_T} \cdot 100$
i	Tag . Monat	h . min.	g	g	%
1	02.03.	09:05	2875,2	472,9	98,73
2	02.03.	15:54	2870,0	467,7	97,64
3	03.03.	09:55	2864,5	462,2	96,49
4	04.03.	09:12	2859,1	456,8	95,37
5	07.03.	10:24	2854,6	452,3	94,43
6	08.03.	09:22	2850,0	447,7	93,47

visuelle Beurteilung der Gesteinsstücke nach dem Versuch:

1	Gesteinsstücke unverändert	
2	Gesteinsstücke gerundet	
3	Gesteinsstücke teilweise zerfallen	X
4	Gesteinsstücke völlig zerfallen	

Wasser: Deionat  Leitungswasser  Bergwasser

Bemerkungen:

Abb. 5-7: Auswertung Siebtrommelversuch Mergel

Der  $I_{d2}$ -Wert beträgt 97,64%.



**5.2 Versuchsergebnis Opalinuston 1**



Abb. 5-8: Opalinuston 1; Siebrückstand nach 4 Durchläufen auf 1 mm Sieb      Abb. 5-9: Opalinuston 1; Siebrückstand nach 4 Durchläufen in der Trommel

Zerfallsbeständigkeit nach E20 (AK 3.3 DGGT)	Labor Nr.:
--	------------

Datum: 25.01.2016      Name: Schmidt Hans      Bauvorhaben: Masterarbeit

Gestein: Opalinuston      Behälter Nr.: 2      Farbe: dunkelgrau

$m_T$  [g]: 2191,2       $m_{90}+m_T$  [g]: 2650,7       $m_{90}$  [g]: 459,5

Zyklus	Datum	Uhrzeit	$m_g+m_T$	$m_{91}$	$\frac{I_{d1}}{m_g/m_{90}} \cdot 100$
i	Tag . Monat	h . min.	g	g	%
1	26.01.	09:45	2558,6	367,4	79,96
2	26.01.	15:25	2413,5	222,3	48,38
3	27.01.	09:45	2316,2	125	27,20
4	28.01.	09:00	2259,9	68,7	14,95
5					
6					

visuelle Beurteilung der Gesteinsstücke nach dem Versuch:

1	Gesteinsstücke unverändert	
2	Gesteinsstücke gerundet	
3	Gesteinsstücke teilweise zerfallen	
4	Gesteinsstücke völlig zerfallen	X

Wasser: Deionat      Leitungswasser      Bergwasser

X

Bemerkungen:

Beim Trocknen nach dem 3. Durchgang sind 0,405 g durch die Siebtrommel gefallen!  
Trocknen nach dem 4. Durchgang 0,752 g durchgefallen!

Abb. 5-10: Auswertung Siebtrommelversuch Opalinuston 1

Der  $I_{d2}$ -Wert beträgt 48,38%.

### 5.3 Versuchsergebnis Opalinuston 2



Abb. 5-11: Opalinuston 2; Ausgangszustand

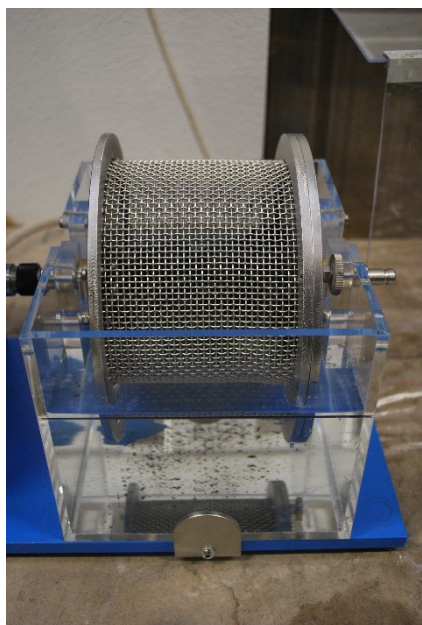


Abb. 5-12: Opalinuston 2 vor Durchlauf 2

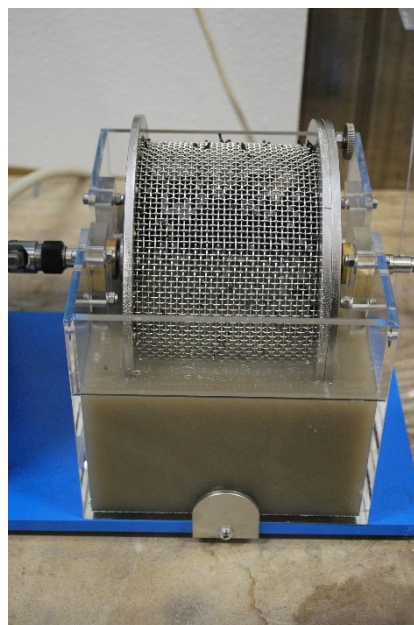


Abb. 5-13: Opalinuston 2 nach Durchlauf 2



Abb. 5-14: Opalinuston 2; Siebdurchgang nach Durchlauf 2

Zerfallsbeständigkeit nach E20 (AK 3.3 DGGT)	Labor Nr.:
--	------------

Datum: 01.03.2016      Name: Schmidt Hans      Bauvorhaben: Masterarbeit

Gestein: Opalinuston      Behälter Nr.: 2      Farbe: dunkelgrau

$m_T$  [g]: 2374,3       $m_{90}+m_T$  [g]: 2900,4       $m_{90}$  [g]: 526,1

Zyklus	Datum	Uhrzeit	$m_{90}+m_T$	$m_{90}$	$\frac{I_{d1}}{m_{90}/m_{90}} \cdot 100$
i	Tag . Monat	h . min.	g	g	%
1	02.03.	09:05	2848,3	474	90,10
2	02.03.	15:56	2692,5	318,2	60,48
3	03.03.	09:55	2597,8	223,5	42,48
4	04.03.	09:12	2526,8	152,5	28,99
5					
6					

visuelle Beurteilung der Gesteinsstücke nach dem Versuch:

1	Gesteinsstücke unverändert	
2	Gesteinsstücke gerundet	
3	Gesteinsstücke teilweise zerfallen	
4	Gesteinsstücke völlig zerfallen	X

Wasser:	Deionat	
	Leitungswasser	X
	Bergwasser	

Bemerkungen:

Der Versuch wurde nach Durchlauf 4 abgebrochen, da  $I_{d4} \leq 30\%$ !

Abb. 5-15: Auswertung Siebtrommelversuch Opalinuston 2

Der  $I_{d2}$ -Wert beträgt 60,48%.

## 6 Bodenproben

Ausgenommen der Proben TON 254 und Nr. 11 bis Nr. 15 wurden alle Fließgrenzen ausschließlich mittels Versuch nach Casagrande ermittelt.

Die Ausrollgrenzen wurden bei allen Proben mittels Ausrollversuch ermittelt.

Das in den Ergebnistabellen angegebene Verklebungspotential wird gemäß Abb. 3-3 bestimmt.

Die Proben Nr. 1 bis Nr. 5 bestehend aus Schluff-Sandstein und Konglomeraten aus dem Neogen, aus Unterkärnten, sowie die Proben Nr. 6 bis Nr. 9, welche den Proben Nr. 10 bis Nr. 15 sehr ähnlich sind, waren in zu geringer Menge für die neue Untersuchungsmethode vorhanden und kamen daraus folgend nicht zur Anwendung.

Die Proben Nr. 10 und Nr. 14 sind nicht angeführt, da bei diesen kein normgerechter Ausrollversuch durchgeführt werden konnte.

Den Proben Nr. 17 bis Nr. 31 sind im Bauablauf Tenside zugesetzt worden. Daraus folgend sind kleinere Werte bei den Rührversuchen zu erwarten.

Die detaillierten Auswertungsblätter der einzelnen Untersuchungen befinden sich im Anhang.

### 6.1 Probe TON 254

Die Probe TON 254 ist ein Produkt der Firma Georg & Schneider GmbH & Co KG.



#### Plastisch einzelverpackte Masse Nr. 254

25 % Schamotte 0-0,2 mm

<b>Chemische Analyse:</b>			
	SiO <sub>2</sub>	72,8	%
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	21,8	%
	TiO <sub>2</sub>	1,5	%
	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,0	%
	CaO	0,2	%
	MgO	0,3	%
	K <sub>2</sub> O	2,2	%
	Na <sub>2</sub> O	0,2	%
<b>Keramische Daten:</b>			
Trockenschwindung in %:	6		
Brenntemperatur:	1070°C	1140°C	1240°C
Brennfarbe	weiss	hellcreme	creme
Brennschwindung in %:	3	6	7
Wasseraufnahme in %:	9	4	1
<b>Wärmeausdehnungskoeffizient: (WAK)</b>			
20 °C - 400 °C	64		
20 °C - 500 °C	66		
20 °C - 600 °C	76		
WAK * 10 <sup>-7</sup> /K			

Diese technische Auskunft hat informativen Charakter. Alle Verkäufe erfolgen nach Muster zu den AGB.  
Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG, Bahnhofstrasse 4, D-56427 Siershahn

Abb. 6-1: Datenblatt TON 254 (8)



Probe TON 254		
Fließgrenze FK	W <sub>L</sub>	37,52%
Fließgrenze CG	W <sub>L</sub>	33,22%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	15,5%
Wassergehalt	w	24,70%
Plastizitätszahl FK	I <sub>p</sub>	22,02%
Plastizitätszahl CG	I <sub>p</sub>	17,72%
Konsistenzzahl FK	I <sub>c</sub>	0,58
Konsistenzzahl CG	I <sub>c</sub>	0,48
Verklebungspotential FK	hohes Verklebungspotential	
Verklebungspotential CG	mittleres Verklebungspotential	

Tab. 6-1: Ergebnisse für Probe TON 254

Die Fließgrenze der Probe TON 254 wurde mittels Fallkegelversuch (FK) und dem Versuch nach Casagrande (CG) ermittelt. Die Differenz von 4,30 % ist für dieses Material durchwegs üblich (siehe Bachelorprojekt Laubreiter (9)).

## 6.2 Schluff dominierte Feinkornsedimente aus Unterkärnten

### 6.2.1 Probe Nr. 11



Abb. 6-2: Probe Nr. 11

Probe Nr.11		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	44,05%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	26,5%
Wassergehalt	w	31,53%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	17,55%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,71
Verklebungspotential	mittleres Verklebungspotential	

Tab. 6-2: Ergebnisse für Probe Nr. 11

**6.2.2 Probe Nr. 12**

Abb. 6-3: Probe Nr. 12

Probe Nr.12		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	43,38%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	25,5%
Wassergehalt	W	31,44%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	17,88%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,67
Verklebungspotential	mittleres Verklebungspotential	

Tab. 6-3: Ergebnisse für Probe Nr. 12

**6.2.3 Probe Nr. 13**

Abb. 6-4: Probe Nr. 13

Probe Nr.13		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	34,05%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	22,0%
Wassergehalt	W	32,26%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	12,05%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,15
Verklebungspotential	niedriges Verklebungspotential	

Tab. 6-4: Ergebnisse für Probe Nr. 13

### 6.2.4 Probe Nr. 15



Abb. 6-5: Probe Nr. 15

Probe Nr.15		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	45,73%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	25,0%
Wassergehalt	w	35,52%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	20,73%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,49
Verklebungspotential	mittleres Verklebungspotential	

Tab. 6-5: Ergebnisse für Probe Nr. 15

## 6.3 Feinkornsedimente aus dem Neogen, aus Unterkärnten

### 6.3.1 Probe Nr. 16



Abb. 6-6: Probe Nr. 16

Probe Nr. 16		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	47,40%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	23,5%
Wassergehalt	w	17,00%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	23,90%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	1,27
Verklebungspotential	niedriges Verklebungspotential	

Tab. 6-6: Ergebnisse für Probe Nr. 16

**6.3.2 Probe Nr. 17**

Abb. 6-7: Probe Nr. 17

Probe Nr. 17		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	43,40%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	22,0%
Wassergehalt	w	25,90%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	21,40%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,82
Verklebungspotential	mittleres bis hohes Verklebungspotential	

Tab. 6-7: Ergebnisse für Probe Nr. 17

**6.3.3 Probe Nr. 18**

Abb. 6-8: Probe Nr. 18

Probe Nr. 18		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	38,10%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	23,5%
Wassergehalt	w	26,00%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	14,60%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,83
Verklebungspotential	mittleres Verklebungspotential	

Tab. 6-8: Ergebnisse für Probe Nr. 18



**6.3.4 Probe Nr. 19**

Abb. 6-9: Probe Nr. 19

Probe Nr. 19		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	35,30%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	23,0%
Wassergehalt	w	28,70%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	12,30%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,54
Verklebungspotential	mittleres Verklebungspotential	

Tab. 6-9: Ergebnisse für Probe Nr. 19

**6.3.5 Probe Nr. 20**

Abb. 6-10: Probe Nr. 20

Probe Nr. 20		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	33,90%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	22,0%
Wassergehalt	w	32,20%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	11,90%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,14
Verklebungspotential	niedriges Verklebungspotential	

Tab. 6-10: Ergebnisse für Probe Nr. 20

**6.3.6 Probe Nr. 21**

Abb. 6-11: Probe Nr. 21

Probe Nr. 21		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	49,00%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	24,0%
Wassergehalt	W	41,20%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	25,00%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,31
Verklebungspotential	mittleres Verklebungspotential	

Tab. 6-11: Ergebnisse für Probe Nr. 21

**6.3.7 Probe Nr. 22**

Abb. 6-12: Probe Nr. 22

Probe Nr. 22		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	48,60%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	24,5%
Wassergehalt	W	32,10%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	24,10%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,68
Verklebungspotential	hohes Verklebungspotential	

Tab. 6-12: Ergebnisse für Probe Nr. 22

**6.3.8 Probe Nr. 23**

Abb. 6-13: Probe Nr. 23

Probe Nr. 23		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	49,80%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	21,5%
Wassergehalt	W	32,70%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	28,30%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,60
Verklebungspotential	hohes Verklebungspotential	

Tab. 6-13: Ergebnisse für Probe Nr. 23

**6.3.9 Probe Nr. 24**

Abb. 6-14: Probe Nr. 24

Probe Nr. 24		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	45,40%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	21,0%
Wassergehalt	W	35,00%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	24,40%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,43
Verklebungspotential	mittleres Verklebungspotential	

Tab. 6-14: Ergebnisse für Probe Nr. 24

**6.3.10 Probe Nr. 25**

Abb. 6-15: Probe Nr. 25

Probe Nr. 25		
Fließgrenze	w <sub>L</sub>	35,50%
Ausrollgrenze	w <sub>P</sub>	27,0%
Wassergehalt	w	30,70%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	8,50%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,56
Verklebungspotential	niedriges Verklebungspotential	

Tab. 6-15: Ergebnisse für Probe Nr. 25

**6.3.11 Probe Nr. 26**

Abb. 6-16: Probe Nr. 26

Probe Nr. 26		
Fließgrenze	w <sub>L</sub>	30,00%
Ausrollgrenze	w <sub>P</sub>	25,5%
Wassergehalt	w	27,00%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	4,50%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,67
Verklebungspotential	niedriges Verklebungspotential	

Tab. 6-16: Ergebnisse für Probe Nr. 26

**6.3.12 Probe Nr. 27**

Abb. 6-17: Probe Nr. 27

Probe Nr. 27		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	28,90%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	24,5%
Wassergehalt	w	27,90%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	4,40%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,23
Verklebungspotential	niedriges Verklebungspotential	

Tab. 6-17: Ergebnisse für Probe Nr. 27

**6.3.13 Probe Nr. 28**

Abb. 6-18: Probe Nr. 28

Probe Nr. 28		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	29,00%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	23,0%
Wassergehalt	w	29,70%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	6,00%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	-0,12
Verklebungspotential	niedriges Verklebungspotential	

Tab. 6-18: Ergebnisse für Probe Nr. 28

**6.3.14 Probe Nr. 29**

Abb. 6-19: Probe Nr. 29

Probe Nr. 29		
Fließgrenze	w <sub>L</sub>	29,30%
Ausrollgrenze	w <sub>P</sub>	21,5%
Wassergehalt	w	27,50%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	7,80%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,23
Verklebungspotential	niedriges Verklebungspotential	

Tab. 6-19: Ergebnisse für Probe Nr. 29

**6.3.15 Probe Nr. 30**

Abb. 6-20: Probe Nr. 30

Probe Nr. 30		
Fließgrenze	w <sub>L</sub>	31,40%
Ausrollgrenze	w <sub>P</sub>	20,0%
Wassergehalt	w	21,80%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	11,40%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,84
Verklebungspotential	mittleres Verklebungspotential	

Tab. 6-20: Ergebnisse für Probe Nr. 30



**6.3.16 Probe Nr. 31***Abb. 6-21: Probe Nr. 31*

Probe Nr. 31		
Fließgrenze	W <sub>L</sub>	34,70%
Ausrollgrenze	W <sub>P</sub>	16,5%
Wassergehalt	w	25,90%
Plastizitätszahl	I <sub>p</sub>	18,20%
Konsistenzzahl	I <sub>c</sub>	0,48
Verklebungspotential	mittleres Verklebungspotential	

*Tab. 6-21: Ergebnisse für Probe Nr. 31*

### 6.4 Zusammenstellung und Darstellung aller Proben

In Abb. 6-22 und Abb. 6-23 sind alle Proben zusammengefasst. Die Proben, welche mittleres, „mittleres bis hohes“ und hohes Verklebungspotential nach Thewes (2 S. 42) aufweisen wurden benannt.

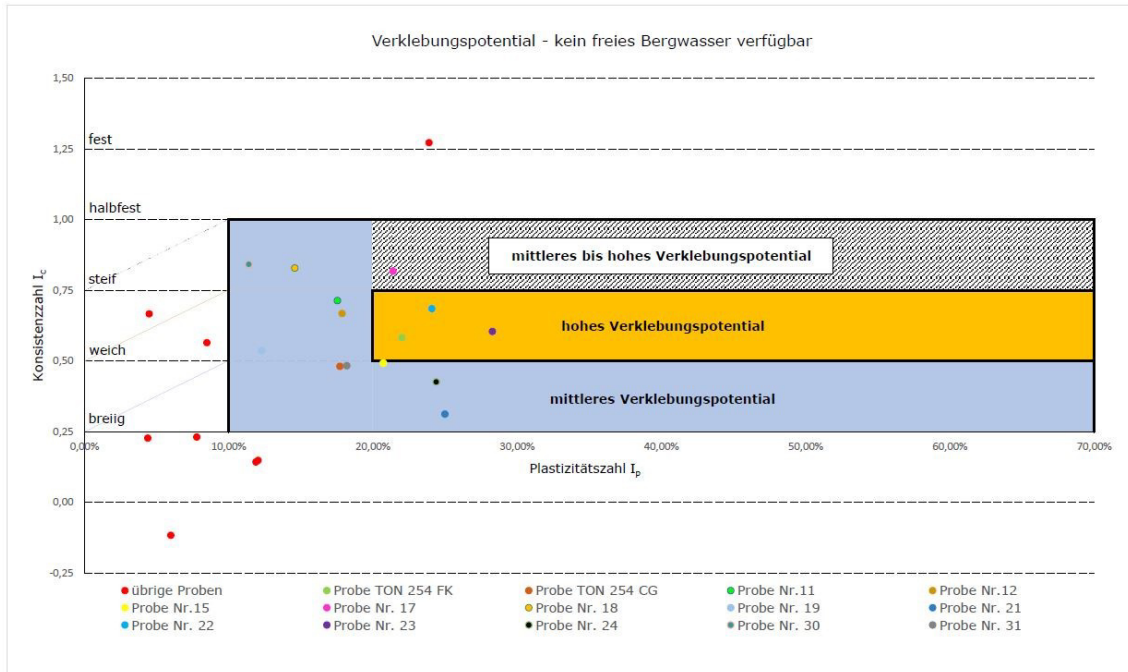


Abb. 6-22: Verklebungspotential aller Proben – kein freies Bergwasser verfügbar (2 S. 42, modifiziert)

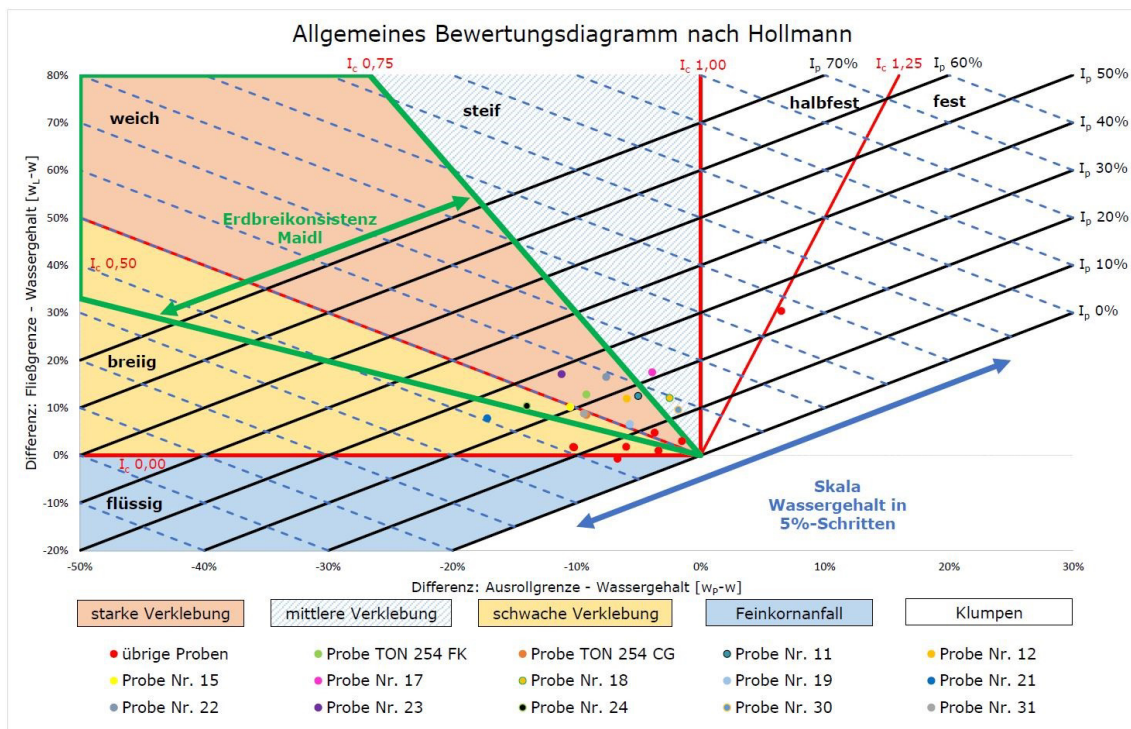


Abb. 6-23: Darstellung aller Proben im allgemeinen Bewertungsdiagramm nach Hollmann (2 S. 51, modifiziert)



Zur besseren Veranschaulichung der zur Verfügung stehenden Proben, wurden die Ergebnisse in einer Tabelle zusammengefasst.

Bezeichnung der Probe	Fließgrenze	Ausrollgrenze	Wassergehalt	Plastizitätszahl	Konsistenzzahl	Verklebungspotential (Thewes (2 S. 42))
	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	w	I <sub>P</sub>	I <sub>C</sub>	
-	%	%	%	%	-	-
Probe TON 254 FK	37,52	15,5	24,70	22,02	0,58	hohes Verklebungspotential
Probe TON 254 CG	33,22	15,5	24,70	17,72	0,48	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 11	44,05	26,5	31,53	17,55	0,71	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 12	43,38	25,5	31,44	17,88	0,67	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 13	34,05	22,0	32,26	12,05	0,15	niedriges Verklebungspotential
Probe Nr. 15	45,73	25,0	35,52	20,73	0,49	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 16	47,40	23,5	17,00	23,90	1,27	niedriges Verklebungspotential
Probe Nr. 17	43,40	22,0	25,90	21,40	0,82	mittleres bis hohes Verklebungspotential
Probe Nr. 18	38,10	23,5	26,00	14,60	0,83	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 19	35,30	23,0	28,70	12,30	0,54	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 20	33,90	22,0	32,20	11,90	0,14	niedriges Verklebungspotential
Probe Nr. 21	49,00	24,0	41,20	25,00	0,31	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 22	48,60	24,5	32,10	24,10	0,68	hohes Verklebungspotential
Probe Nr. 23	49,80	21,5	32,70	28,30	0,60	hohes Verklebungspotential
Probe Nr. 24	45,40	21,0	35,00	24,40	0,43	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 25	35,50	27,0	30,70	8,50	0,56	niedriges Verklebungspotential
Probe Nr. 26	30,00	25,5	27,00	4,50	0,67	niedriges Verklebungspotential
Probe Nr. 27	28,90	24,5	27,90	4,40	0,23	niedriges Verklebungspotential
Probe Nr. 28	29,00	23,0	29,70	6,00	-0,12	niedriges Verklebungspotential
Probe Nr. 29	29,30	21,5	27,50	7,80	0,23	niedriges Verklebungspotential
Probe Nr. 30	31,40	20,0	21,80	11,40	0,84	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 31	34,70	16,5	25,90	18,20	0,48	mittleres Verklebungspotential

Tab. 6-22: Zusammenstellung der Ergebnisse aller Proben

## 7 Rührmethode

### 7.1 Rührquirle

Um möglichst kostengünstig zu einer großen Auswahl an Rührquirlen zu kommen wurden mehrere Firmen kontaktiert. Die Firmen „Collomix GmbH“ und „Elektrowerkzeuge GmbH Eibenstock“ lieferten eine Auswahl an Rührquirlen aus ihrem Sortiment.

#### 7.1.1 Collomix Ankerrührer AR 90 S



Abb. 7-1: Collomix AR 90 S

Der Ankerrührer AR 90 S wurde eingesetzt um die Proben zu homogenisieren. Dies ist unbedingt notwendig damit die Untersuchungen zu reproduzierbaren Ergebnissen führen.

#### 7.1.2 Collomix Farbenrührer FM 80 S



Abb. 7-2: Collomix FM 80 S

Der Farbenrührer FM 80 S wurde bei den endgültigen Rührversuchen nicht verwendet. Der flache Ring des Rührquirls verhindert ein ausreichendes Anhaften von Probenmaterial an dem Rührquirle.

### 7.1.3 Collomix Turbo-Rührer LX 90 S



Abb. 7-3: Collomix Turbo-Rührer LX 90 S

Der Turbo-Rührer LX 90 S wurde bei den endgültigen Rührversuchen nicht verwendet. Bei Testversuchen mit der Probe Nr. 15 konnten keine reproduzierbaren Ergebnisse erzielt werden.

### 7.1.4 Eibenstock Ronden-Rührer R 85



Abb. 7-4: Eibenstock Ronden-Rührer R 85

Der Ronden-Rührer R 85 wurde bei den endgültigen Rührversuchen verwendet. Die Testversuche zur Rührquirlgeometrie (siehe Punkt 7.1.7) zeigten, dass an diesem Rührquirl Anhaftungen entstehen. Aus diesem Grund wurde der Ronden-Rührer R85 in der Testreihe zum Einsatz gebracht. Mit dem Rührquirl R85 konnten reproduzierbare Ergebnisse erzielt werden.

### 7.1.5 Eibenstock Scheiben-Rührer S 80



Abb. 7-5: Eibenstock Scheiben-Rührer S 80

Der Scheiben-Rührer S 80 wurde bei den endgültigen Rührversuchen nicht verwendet. Aufgrund der Geometrie des Rührquirls ist ein Einsatz mit dem für den Rührquirl R85 konzipierten Probengefäß nicht möglich. Der Scheiben-Rührer muss im Gegensatz zu diesem „schräg“ in die Probe eingeführt werden um eine Ablösung des Probenmaterials zu erreichen.

### 7.1.6 Eibenstock Wendel-Rührer W 85



Abb. 7-6: Eibenstock Wendel-Rührer W 85

Der Wendel-Rührer W 85 wurde bei den endgültigen Rührversuchen nicht verwendet. Bereits bei Testversuchen war ersichtlich, dass an diesem Rührquirl faktisch kein Boden anhaftet.

### 7.1.7 Testversuche Rührquirlgeometrie/ Rührquirdrehzahl



Abb. 7-7: Rührer S 80



Abb. 7-8: Rührer R 85



Abb. 7-9: Rührer W 85

Abb. 7-7 bis Abb. 7-9 zeigen die Rührquirle S 80, R 85 und W 85 nach einem Testversuch mit demselben Probematerial. Am Rührquirl R 85 wurden die größten Anhaftungen festgestellt. Aus diesem Grund wurde die Testreihe mit dem Rührquirl R85 durchgeführt.

Neben der Geometrien wurden bei den Testversuchen diverse Drehzahlen getestet. Dabei konnte festgestellt werden, dass ab einer bestimmten Drehzahl die Fliehkraft überwiegt und Boden von den Rührquirlen abfällt. Somit wurde die kleinstmögliche Drehzahl der Standbohrmaschine (90 U/min) für die Testreihe gewählt.

### 7.2 Probengefäß und benötigte Gerätschaften



Abb. 7-10: Probengefäß; Draufsicht

Für den Rührversuch wurde ein rundes Probengefäß mit einem Durchmesser von ca. 10 cm und einer Länge von ca. 15 cm verwendet. Der Durchmesser ist durch die vorhandenen Rührquirle vorgegeben, die Länge wurde empirisch festgelegt. In den Testversuchen zur Ermittlung der besten Rührquirlgeometrie haftete, bei Annäherung

des Rührquirls an den Gefäßboden, der gesamte Boden unterhalb des Rührquirls an diesem an. Um diesen Effekt zu verhindern wurde ein „Sicherheitsabstand“ des Rührquirls zum Gefäßboden von ca. 4 cm vorgesehen. Dieser ist durch die Erfahrung aus den weiteren Versuchen als ausreichend anzusehen. Die Teststrecke selbst beträgt 10 cm. Der Überstand des Probengefäßes von 1 cm über die Probe dient dazu, dass diese bei jedem Versuch identisch verdichtet werden kann. In dieser Masterarbeit wurde ein Abflussrohr DN110 verwendet.

Die Fußplatte und das Probengefäß werden mittels Klammern und einer Rohrschelle verbunden. Dadurch gibt es keine in das Probengefäß stehenden Schrauben, welche die Probe bzw. das Ergebnis des Versuches beeinflussen könnten.

Die Fußplatte, der Endverdichter und der Verdichtungsstößel wurden aus einer PE-HD Platte gefertigt. Dieser Kunststoff nimmt kein Wasser auf und ist aufgrund dessen sehr gut geeignet.

Der Endverdichter besteht aus einer runden Kunststoffplatte (Durchmesser 10 cm, Dicke 1 cm), welche auf eine Trägerplatte geschraubt wurde.

Der Durchmesser des Verdichtungsstößels beträgt 9 cm. Der Stößel wurde aus einem nicht verwendeten Rührquirl und einer 1 cm dicken Kunststoffplatte hergestellt.

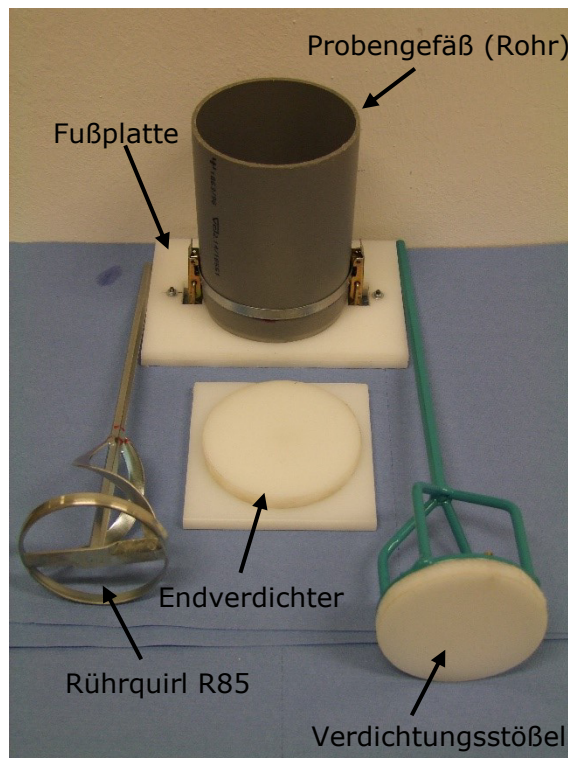


Abb. 7-11: Probengefäß und benötigte Gerätschaften



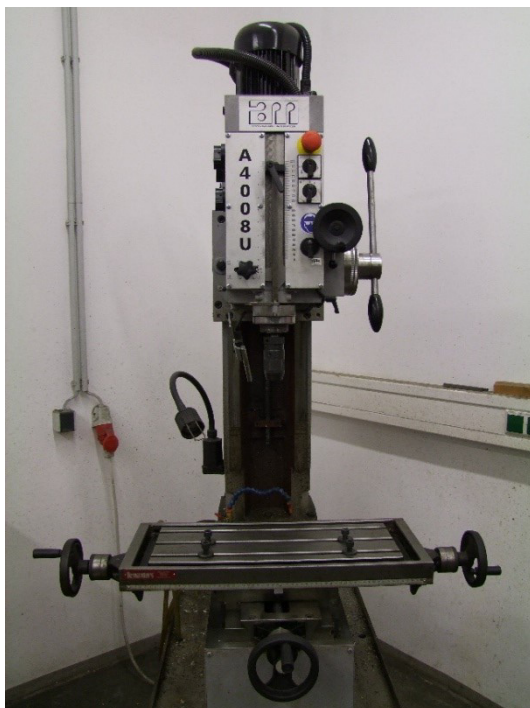


Abb. 7-12: Standbohrmaschine

Abb. 7-13: Standbohrmaschine;  
Datenblatt

Für die Durchführung des Rührversuchs wird eine Standbohrmaschine mit einstellbarer Drehzahl, sowie einem vertikalen Vortrieb benötigt. Für die Versuche in dieser Masterarbeit kam eine Standbohrmaschine der Firma „Machinery Scandinavia AB“, Typ A 4008 UM zum Einsatz (Abb. 7-12 und Abb. 7-13).

Zur Bestimmung der Massen wurde eine Waage der Firma „Mettler Toledo“, Modell SG 16001 DeltaRange© verwendet (Abb. 7-14 und Abb. 7-15).

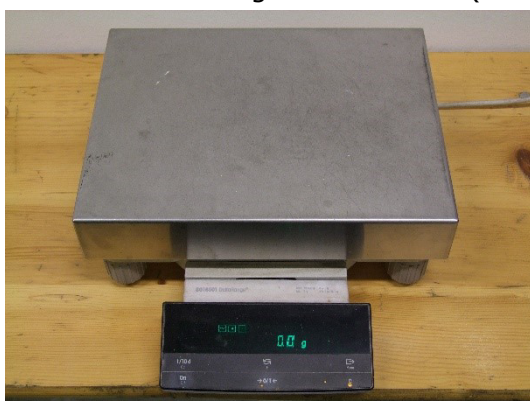


Abb. 7-14: Waage



Abb. 7-15: Waage; Bedienfeld



## **7.3 Probenvorbereitung**

### **7.3.1 Homogenisierung**

Die Proben müssen vor der Versuchsdurchführung homogenisiert werden. Dazu wurde in dieser Masterarbeit der Ankerrührer AR 90 S (siehe Punkt 7.1.1) verwendet.

### **7.3.2 Einbringung in das Probengefäß**

Bevor die Probe in das Probengefäß eingebracht wird, muss dieses mitsamt der Fußplatte abgewogen werden.

Die Probe wird anschließend Schichtweise in das Probengefäß eingebracht und nach jeweils ca. 5 cm mittels Verdichtungsstößel zwischenverdichtet (Abb. 7-16).

Die abschließende Verdichtung erfolgt mittels Endverdichter. Das Probengefäß wird bis zum Rand gefüllt, der Endverdichter aufgesetzt und die Probe verdichtet. Wenn der Spalt zwischen der Trägerplatte des Endverdichters und dem Rand des Probengefäßes geschlossen ist, ist die Probenvorbereitung abgeschlossen. Sollte der Spalt zwischen Endverdichter und Probengefäß nicht geschlossen werden können, muss Probenmaterial aus dem Probengefäß entfernt und die abschließende Verdichtung wiederholt werden (Abb. 7-17).



*Abb. 7-16: Einbringung Probe Nr. 15; Erster Abschnitt*



*Abb. 7-17: Einbringung Probe Nr. 15; endverdichtet*

## 7.4 Versuchsdurchführung

### 7.4.1 Homogenisierung der Probe



Abb. 7-18: Probe Nr. 15 vor Homogenisierung



Abb. 7-19: Probe Nr. 15 homogenisiert

Details zur Homogenisierung sind in Punkt 7.3.1 erläutert.

### 7.4.2 Wägung des Probengefäßes inkl. Fußplatte

Das Probengefäß inkl. Fußplatte wird gewogen und im Formblatt Rührversuch (siehe Punkt 7.4.10) unter  $m_{FR}$  notiert.

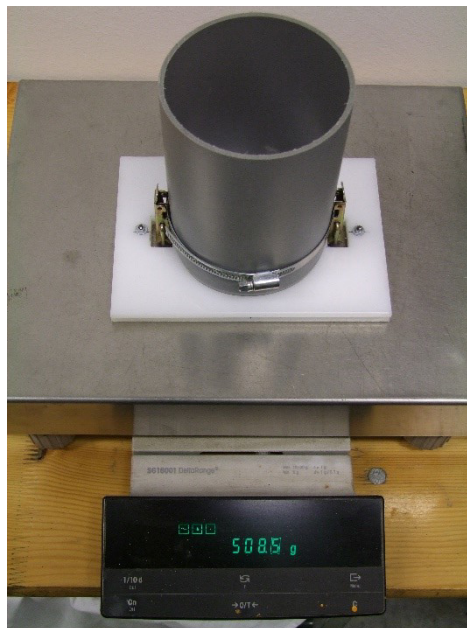


Abb. 7-20: Wägung Probengefäß inkl. Fußplatte

### 7.4.3 Wägung des verwendeten Rührquirls



Abb. 7-21: Wägung Rührquirl

Der Rührquirl wird gewogen und im Formblatt Rührversuch (siehe Punkt 7.4.10) unter  $m_Q$  notiert.

### 7.4.4 Einbringung der Probe in das Probengefäß

Die Einbringung der Probe in das Probengefäß ist detailliert unter Punkt 7.3.2. beschrieben.

### 7.4.5 Wägung des befüllten Probengefäßes inkl. Fußplatte

Das gefüllte Probengefäß inkl. Fußplatte wird gewogen und im Formblatt Rührversuch (siehe Punkt 7.4.10) unter  $m_{FR}+m_B$  notiert.

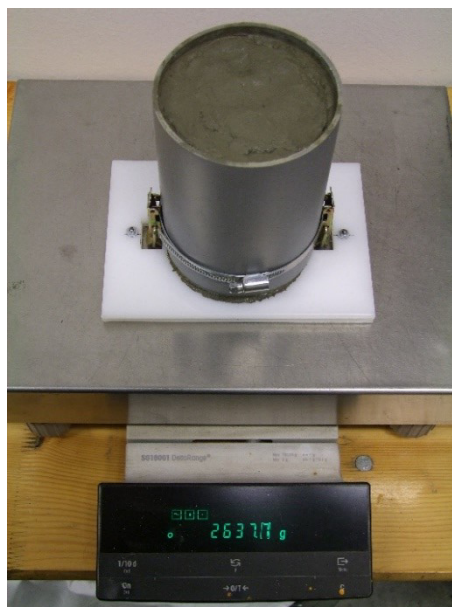


Abb. 7-22: Wägung Probengefäß inkl. Fußplatte; befüllt



### 7.4.6 Montage des Probengefäßes und des Rührquirls in der Standbohrmaschine



Abb. 7-23: Probengefäß in der Standbohrmaschine fixiert



Abb. 7-24: Detail; Probe Nr. 15 eingespannt

Das Probengefäß wird mittels 4 Schrauben (Abb. 7-12) in der Standbohrmaschine und der Rührquirl im Bohrfutter befestigt.

### 7.4.7 Einstellungen Standbohrmaschine

In Abb. 7-25 und Abb. 7-26 ist die Einstellung der Drehzahl der Standbohrmaschine auf die erforderlichen 90 U/min dargestellt.

60~	108	162	240	360
50~	90	135	200	300
	V/min	U/min	RPM*	
50~	440	670	980	1500
60~	528	805	1175	1800

Abb. 7-25: Drehzahldatenblatt Standbohrmaschine



Abb. 7-26: Drehzahleinstellung Standbohrmaschine (90 U/min)

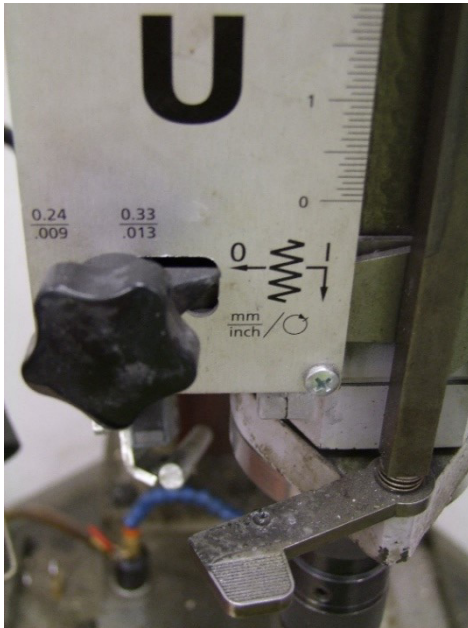


Abb. 7-27: Vorschubeinstellung 0,33 mm/U

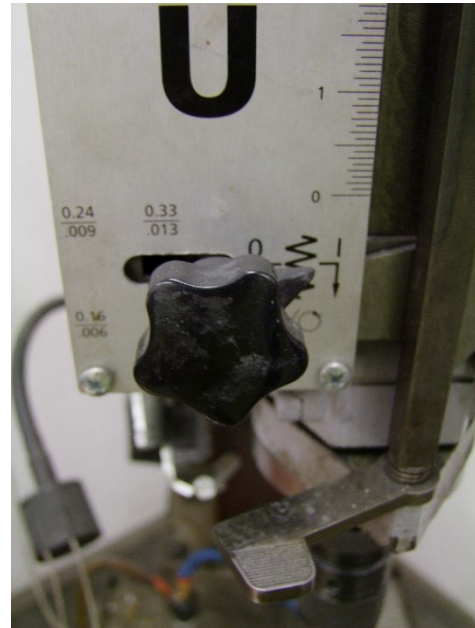


Abb. 7-28: Vorschub aktiviert

In Abb. 7-27 und Abb. 7-28 ist die Einstellung des Vorschubs auf die notwendigen 0,33 mm/U ersichtlich.

In Abb. 7-29 und Abb. 7-30 ist die Tiefenbegrenzung dargestellt. Diese gewährleistet, dass der Rührquirl bei jedem Versuch die exakt gleiche Tiefe erreicht. Wenn die Tiefenbegrenzung den Wendepunkt erreicht wird der Vorschub automatisch beendet.

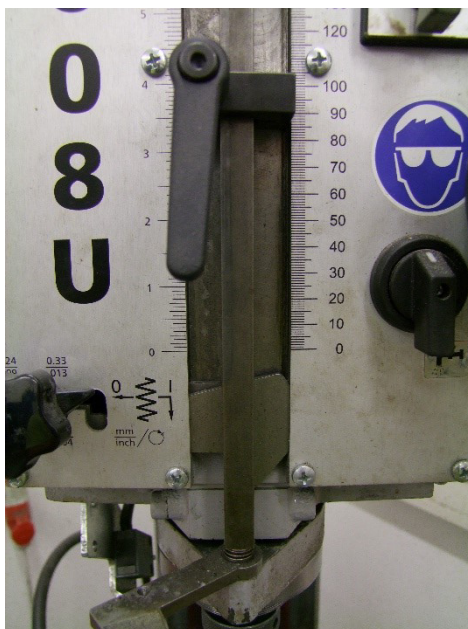


Abb. 7-29: Einstellung Tiefenbegrenzung 10 cm

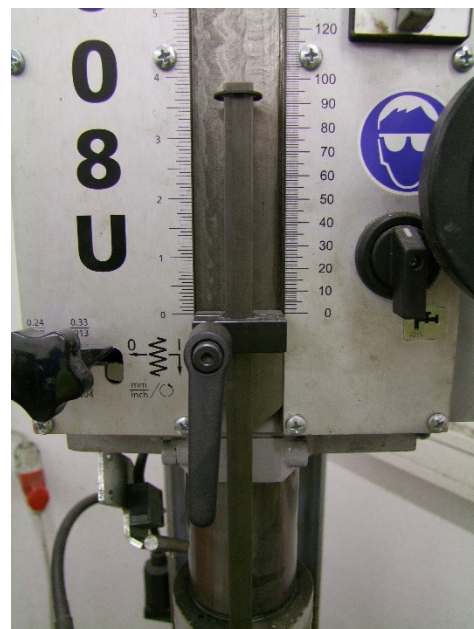


Abb. 7-30: Tiefenbegrenzung am Wendepunkt



### 7.4.8 Rührvorgang



Abb. 7-31: Probe Nr. 15 nach Durchlauf; Rührquirl bereits ausgespannt; Frontansicht



Abb. 7-32: Probe Nr. 15 nach Durchlauf; Rührquirl bereits ausgespannt; Draufsicht

Die Probe wird 10 cm tief durchörtert. Beim Erreichen der erforderlichen Tiefe muss der Rührquirl weiterdrehen, der automatische Vorschub durch die Tiefenbegrenzung (siehe Punkt 7.4.7) beendet und der Rührquirl langsam und stetig aus der Probe gezogen werden.

### 7.4.9 Rührquirl samt anhaftendem Material ausspannen und wiegen

Der Rührquirl samt anhaftendem Boden wird gewogen und im Formblatt Rührversuch (siehe Punkt 7.4.10) unter  $m_Q + m_{aB}$  notiert.

Eine Teilprobe des am Rührquirl anhaftendem Bodens (ca. 20 g) wird zur Bestimmung des Wassergehaltes (siehe Punkt 4.1) verwendet. Der Wassergehalt muss bei jedem Versuch ermittelt werden (siehe Formblatt in Punkt 7.4.10).



Abb. 7-33: Wägung Rührquirl nach dem Versuch

**7.4.10 Verklebungsindex mittels Formblatt ermitteln**

Formblatt Rührversuch
-----------------------

Projekt:	Labornummer:	Name:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 15 homogenisiert	Hans Schmidt	28.07.2016

Bestimmung Verklebungsindex							
Nummer Versuch	$m_{FR}$	$m_{FR+m_B}$	$m_Q$	$m_B$	$m_Q+m_{aB}$	$m_{aB}$	$I_v = m_{aB}/m_B$
-	g	g	g	g	g	g	%
1	508,7	2630,8	214,4	2122,1	555,5	341,1	16,07
2	510,0	2636,5	214,5	2126,5	512,9	298,4	14,03
3	510,5	2602,8	214,5	2092,3	503,5	289,0	13,81
4	509,6	2612,5	214,4	2102,9	500,0	285,6	13,58
5	510,3	2609,7	214,4	2099,4	490,5	276,1	13,15
6	510,2	2607,2	214,4	2097,0	534,4	320,0	15,26
<b>Durchschnitt</b>							<b>13,64</b>

Bestimmung Wassergehalt					
Nummer Versuch	Nummer Behälter	$m_G$	$m_G+m_P$ feucht	$m_G+m_P$ trocken	w
-	-	g	g	g	%
1	8/1	1,077	26,670	18,935	43,31
2	8/2	1,075	22,546	16,046	43,42
3	8/3	1,087	25,251	18,023	42,68
4	3/4	1,066	26,998	19,176	43,19
5	3/5	1,081	21,302	15,257	42,64
6	3/6	1,078	23,915	17,046	43,02
<b>Durchschnitt</b>					<b>43,04</b>

Bezeichnung	Masse
$m_{FR}$	Fuß+Rohr
$m_B$	Boden im Rohr
$m_Q$	Quirl
$m_{aB}$	anhaftender Boden
$m_G$	Gefäß
$m_P$	Probe

**Anmerkungen:**  
Versuch 1: Vorschub anfangs zu klein (nur 0,16 mm/U statt 0,33 mm/U)

Abb. 7-34: Formblatt Rührversuche; Probe Nr. 15 homogenisiert



Die Werte in den Spalten  $m_{FR}$ ,  $m_{FR+m_B}$ ,  $m_Q$  und  $m_{Q+m_{aB}}$  werden durch Wägungen ermittelt und eingetragen. Jene in den Spalten  $m_B$  und  $m_{aB}$  werden mittels der folgenden Formeln berechnet:

$$\text{Gl. 7-1: } m_B = (m_{FR} + m_B) - m_{FR} [g]$$

$$\text{Gl. 7-2: } m_{aB} = (m_Q + m_{aB}) - m_Q [g]$$

Der Verklebungsindex  $I_V$  stellt das Endergebnis des Rührversuches dar. Für eine erfolgreiche Ermittlung von  $I_V$  müssen mindestens vier der sechs Versuche innerhalb eines Prozents liegen (Abb. 7-34, Versuche 2 bis 5). Der Mittelwert dieser vier oder gegebenenfalls mehr Versuche ist das Endergebnis des Rührversuchs. In Abb. 7-34 beträgt der Verklebungsindex  $I_V$  13,64 %.

Wenn weniger als vier Versuche innerhalb eines Prozents liegen muss der Rührversuch wiederholt werden.

Die Dauer eines Rührversuches (6 Durchgänge) beträgt ca. 3,5 h.

## 7.5 Auswertung Rührversuche

### 7.5.1 Verklebungsdiagramme

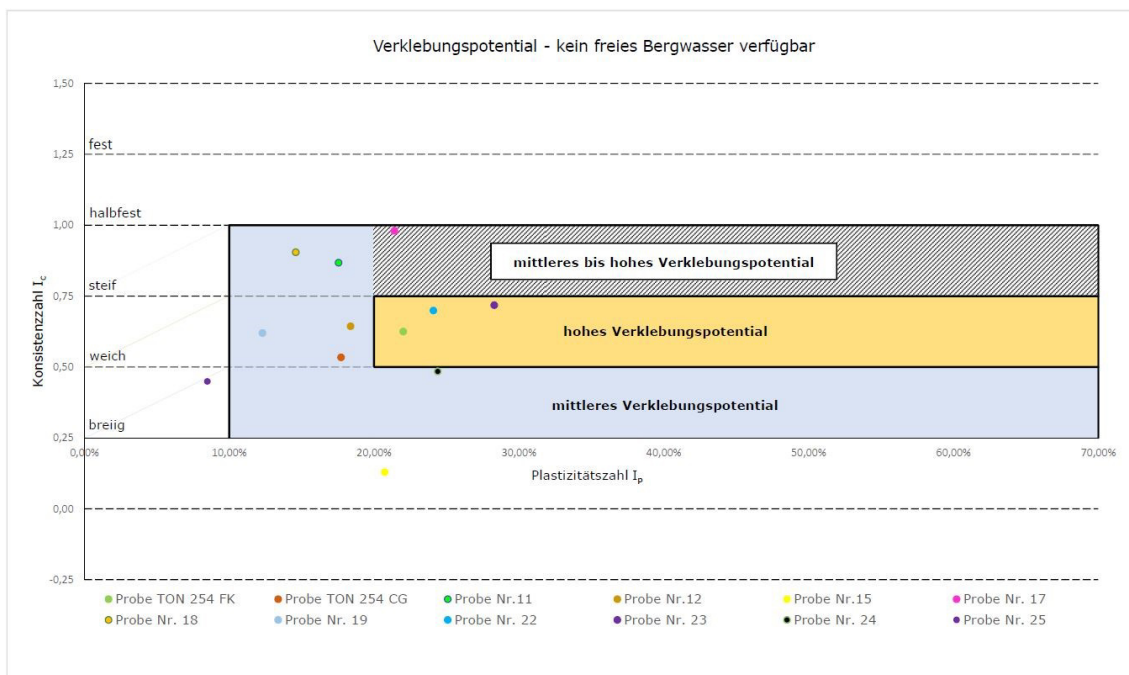


Abb. 7-35: Verklebungspotential nach Thewes (2 S. 42, modifiziert); Proben nach Rührversuch

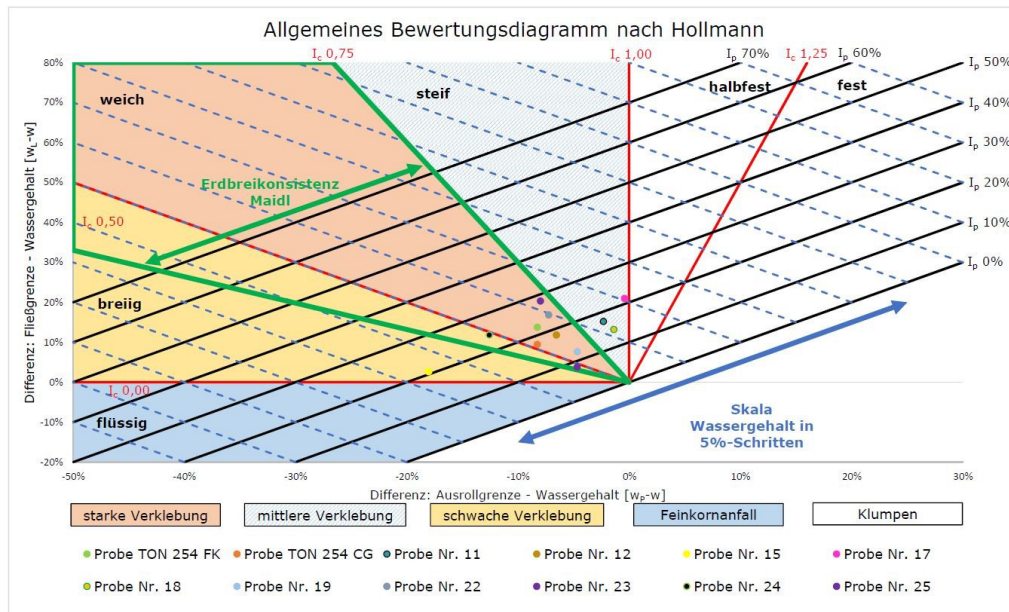


Abb. 7-36: Verklebungspotential nach Hollmann (2 S. 51, modifiziert); Proben nach Rührversuch

Gegenüber den in Punkt 6.4 angegebenen Werten weichen, aufgrund der Homogenisierung der Proben, die hier dargestellten Werte vom Ausgangswassergehalt teilweise stark ab (z. B. Probe Nr. 15).

### 7.5.2 Ergebnisse der Rührversuche

Wie in Punkt 6 dargelegt, sind den Proben Nr. 17 bis Nr. 31 im Bauablauf Tenside zugesetzt worden. Daraus folgend werden diese Proben bei der Auswertung getrennt von den Proben Nr. 11 bis Nr. 15 bzw. TON 254 betrachtet.

Bezeichnung der Probe	Fließgrenze	Ausrollgrenze	Wassergehalt	Plastizitätszahl	Konsistenzzahl	Verklebungsindex	Verklebungspotential
	W <sub>L</sub>	W <sub>P</sub>	W	I <sub>P</sub>	I <sub>C</sub>	I <sub>V</sub>	
-	%	%	%	%	-	%	-
Probe TON 254 FK	37,52	15,5	23,76	22,02	0,62	17,62	hohes Verklebungspotential
Probe TON 254 CG	33,22	15,5	23,76	17,72	0,53	17,62	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 11	44,05	26,5	28,82	17,55	0,87	13,17	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 12	43,38	25,0	31,55	18,38	0,64	10,92	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 15	45,73	25,0	43,04	20,73	0,13	13,64	niedriges Verklebungspotential

Tab. 7-1: Rührversuchsergebnisse der Proben Nr. 11 bis Nr. 15 bzw. TON 254  
 Verklebungspotential von Gesteinen im Tunnelbau

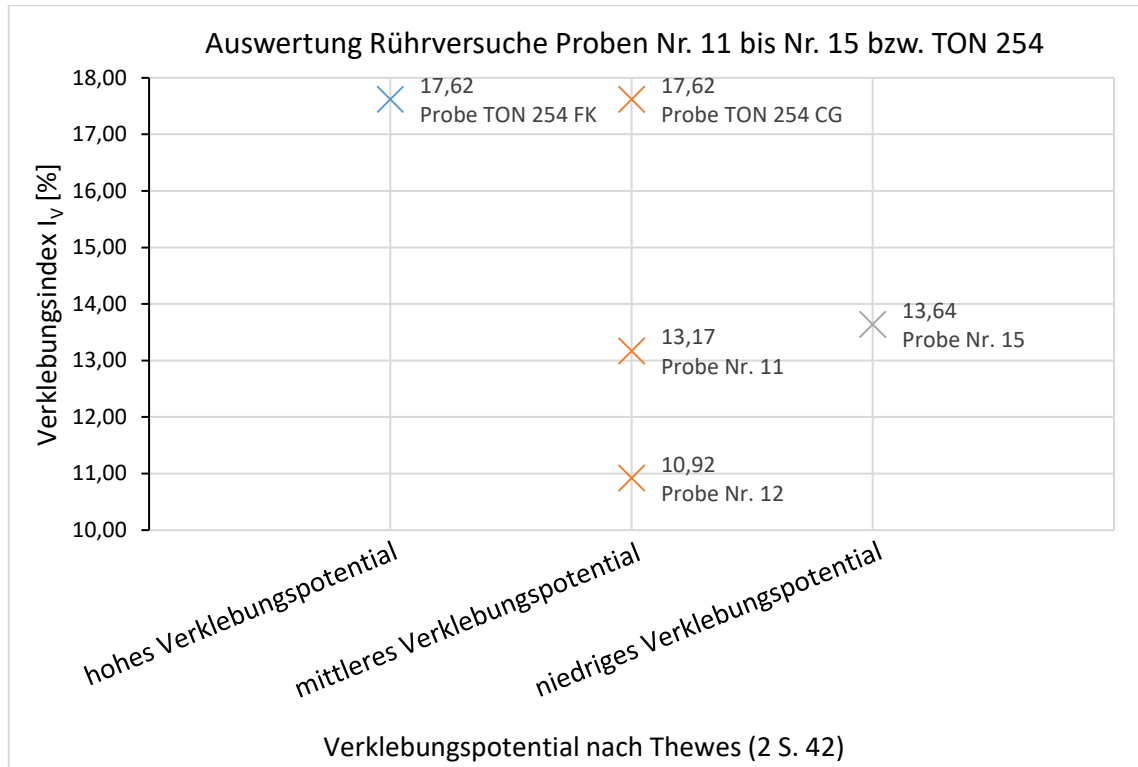
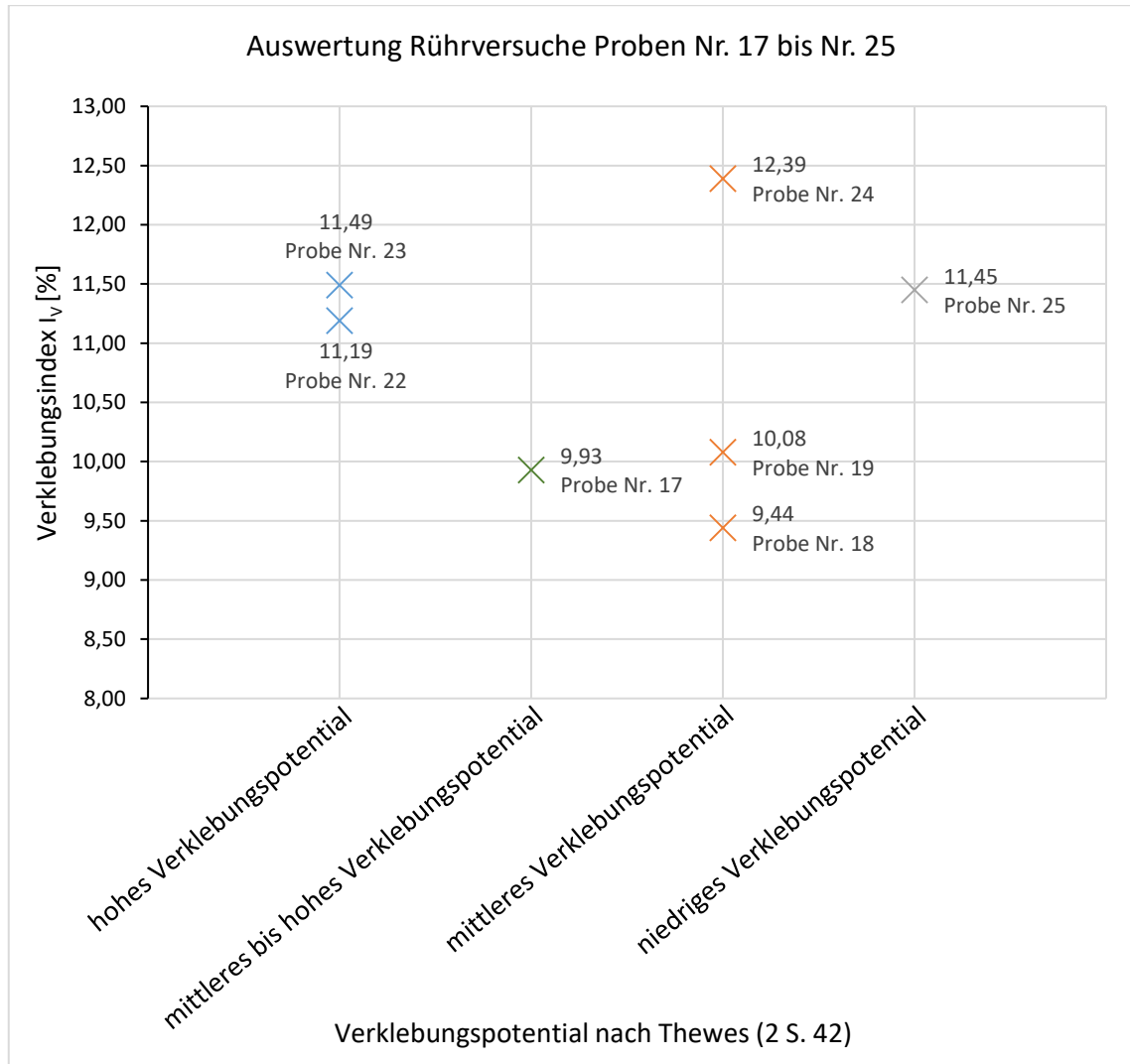


Abb. 7-37: Rührversuchsergebnisse der Proben Nr. 11 bis Nr. 15 bzw. TON 254

Bezeichnung der Probe	Fließgrenze	Ausrollgrenze	Wassergehalt	Plastizitätszahl	Konsistenzzahl	Verklebungsindex	Verklebungspotential
	WL	WP	W	IP	IC	Iv	
-	%	%	%	%	-	%	-
Probe Nr. 17	43,40	22,0	22,42	21,40	0,98	9,93	mittleres bis hohes Verklebungspotential
Probe Nr. 18	38,10	23,5	24,89	14,60	0,90	9,44	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 19	35,30	23,0	27,67	12,30	0,62	10,08	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 22	48,60	24,5	31,74	24,10	0,70	11,19	hohes Verklebungspotential
Probe Nr. 23	49,80	21,5	29,48	28,30	0,72	11,49	hohes Verklebungspotential
Probe Nr. 24	45,40	21,0	33,58	24,40	0,48	12,39	mittleres Verklebungspotential
Probe Nr. 25	35,50	27,0	31,68	8,50	0,45	11,45	niedriges Verklebungspotential

Tab. 7-2: Rührversuchsergebnisse der Proben Nr. 17 bis Nr. 25

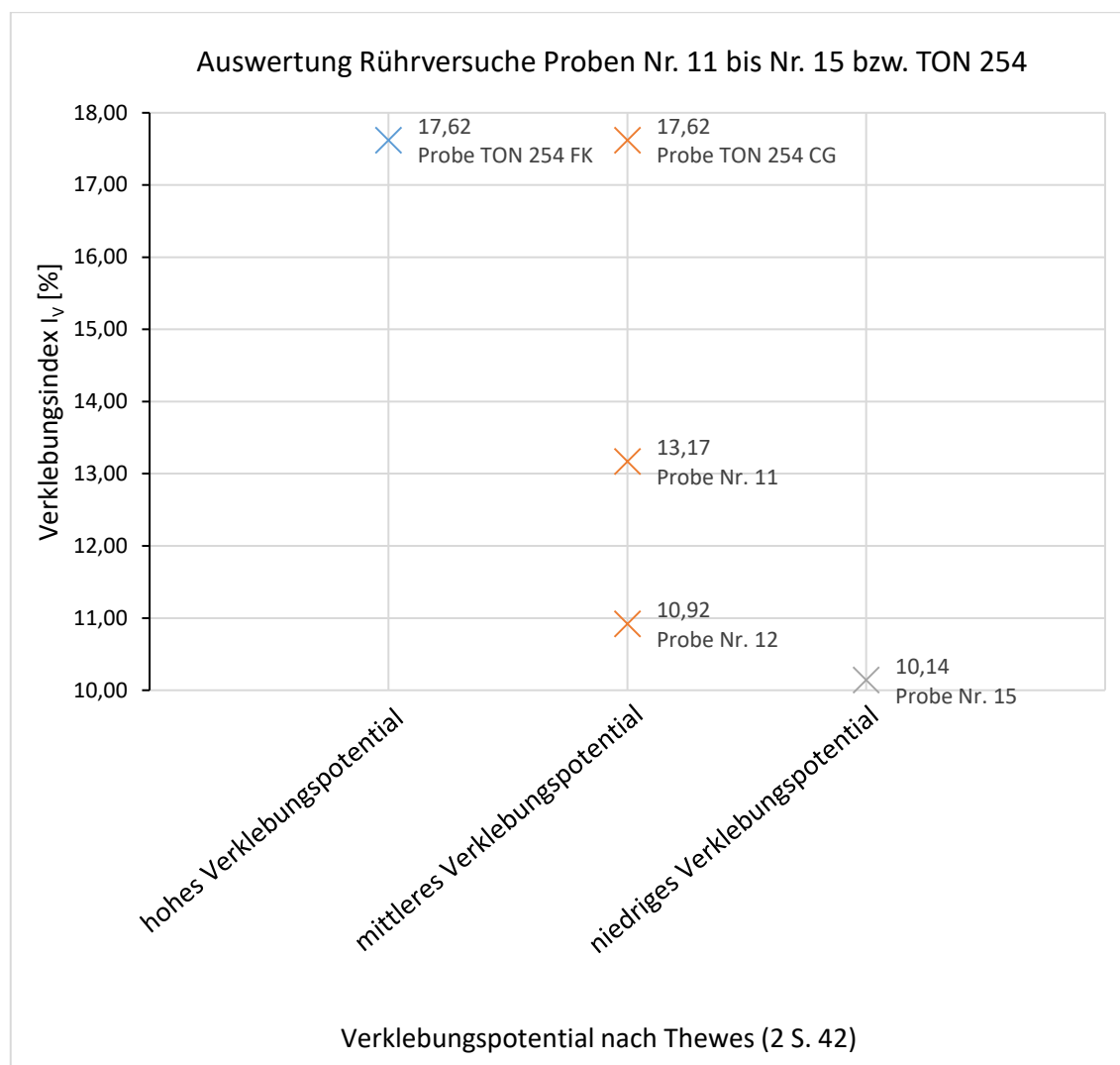


*Abb. 7-38: Rührversuchsergebnisse der Proben Nr. 17 bis Nr. 25*

In Tab. 7-1 und Tab. 7-2 bzw. Abb. 7-37 und Abb. 7-38 sind die Ergebnisse der Rührversuche dargestellt. Die Wassergehalte der Proben entsprechen dem Mittelwert der sechs Wiederholungen eines Rührversuchs. Es ist ersichtlich, dass der Verklebungsindex als Ergebnis des Rührversuchs grundsätzlich gut mit dem Verklebungspotential nach Thewes (2 S. 42) korreliert. Dies gilt jedoch nicht für Proben, welche breiige Konsistenz aufweisen. Diese Proben (Nr. 15, 24 und 25) weisen einen um ca. 3,5 % – 4,0 % erhöhten Verklebungsindex auf.

## **7.6 Zusammenfassung Rührversuche**

Die durchgeführten Rührversuche zeigen, dass Korrelationen zwischen dem Versuch und dem Verklebungspotential bestehen. In den folgenden Diagrammen sind die Ergebnisse inklusive einer Abminderung des Verklebungsindex um 3,5% bei Proben mit breiiger Konsistenz ersichtlich. Tab. 7-1 und Tab. 7-2 zeigen, dass breiige Konsistenz ab einem Wassergehalt von ca. 31,5 % auftreten kann.



*Abb. 7-39: Rührversuchsergebnisse inkl. Abminderungen; Proben Nr. 11 bis Nr. 15 bzw. TON 254*

In Abb. 7-39 ist ersichtlich, dass die durch den Fallkegelversuch ermittelte Fließgrenze bei der Probe TON 254 eher der Realität entspricht als jene des Versuchs nach Casagrande.

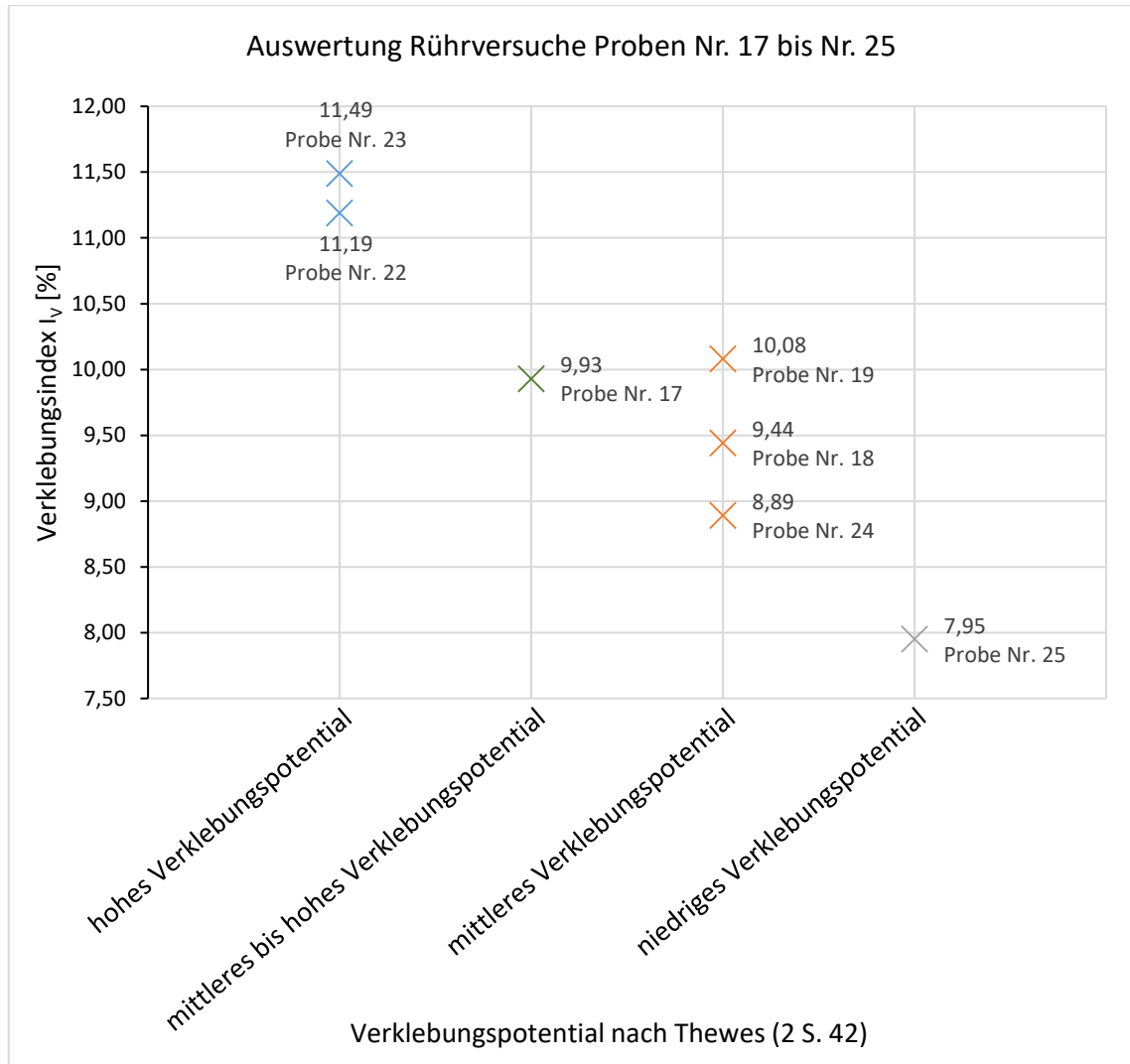
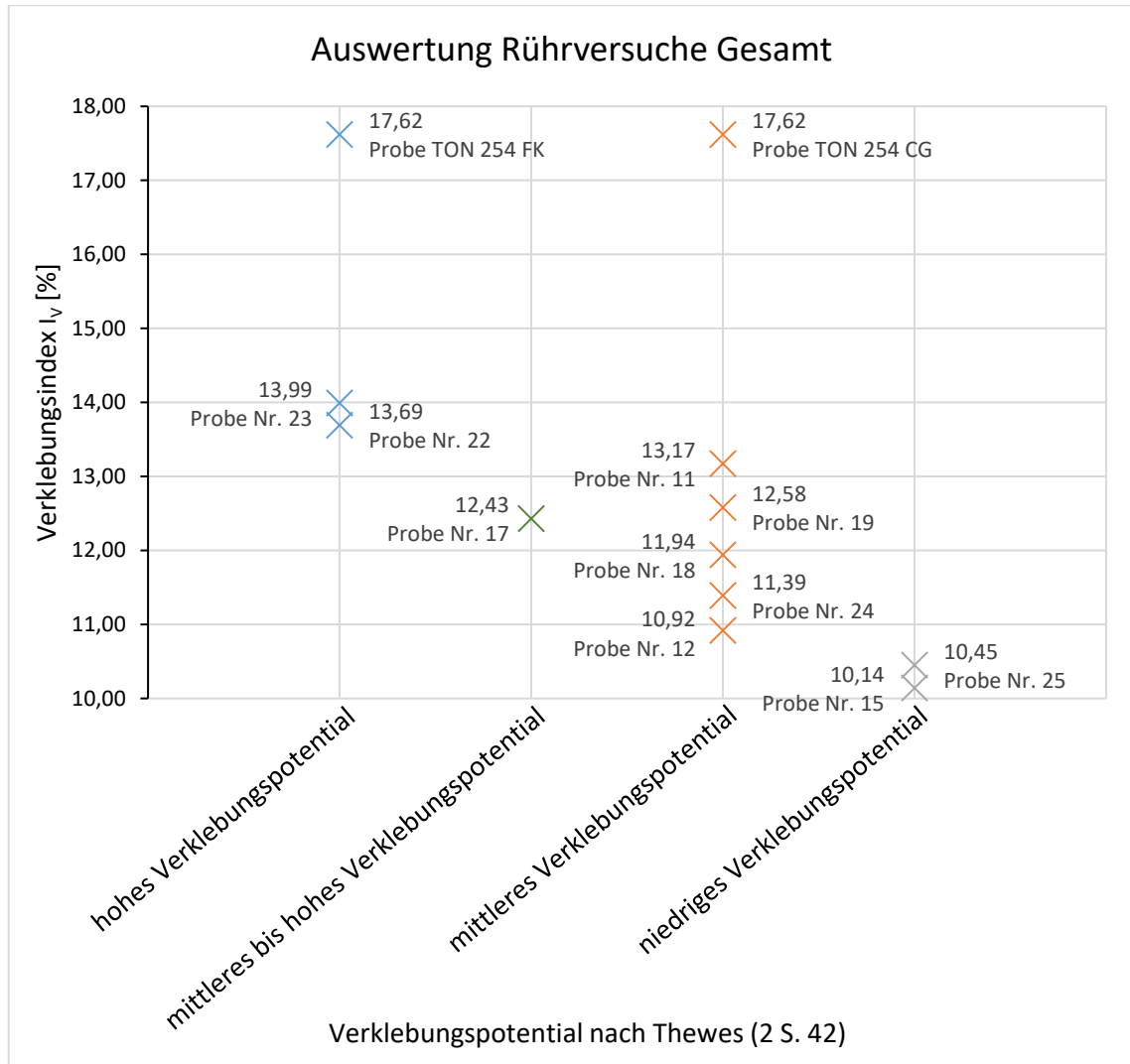


Abb. 7-40: Rührversuchsergebnisse inkl. Abminderungen; Proben Nr. 17 bis Nr. 25

Die Ergebnisse in Abb. 7-40 sind mit Ausnahme des hohen Verklebungspotentials ca. 2,5 % niedriger als jene in Abb. 7-39. Dies ist dem Einsatz von Tensiden im Zuge des Bauablaufs bei den Proben Nr. 17 bis Nr. 25 geschuldet.





*Abb. 7-41: Rührversuchsergebnisse Gesamt*

Unter Berücksichtigung dieses Umstandes (Abb. 7-41; Proben Nr. 17 bis Nr. 25 um 2,5 % erhöht) kann festgestellt werden, dass niedriges Verklebungspotential durch einen Verklebungsindex bis rund 10 % repräsentiert wird. Mittleres Verklebungspotential entspricht einem Verklebungsindex von rund 11 % bis 13 %. Hohes Verklebungspotential ist bei einem Verklebungsindex ab rund 14 % gegeben.

Verklebungspotential	Verklebungsindex
hohes Verklebungspotential	ab ~ 14 %
mittleres Verklebungspotential	~ 11 – 13 %
niedriges Verklebungspotential	bis ~ 10 %

*Tab. 7-3: Bestimmung des Verklebungspotentials aus dem Verklebungsindex*

## 8 Flügelsondenversuch

Als zweite Untersuchungsmethode wurde die Ermittlung des Verklebungspotentials mittels Laborflügelsonde angedacht bzw. probeweise durchgeführt.

Grundsätzliche Idee dieser Untersuchungsmethode ist, mittels Laborflügelsonde das Material entlang der Innenwand eines Aluminiumrohres mit konstanter Winkelgeschwindigkeit abzuscheren und das dafür notwendige Drehmoment zu messen.

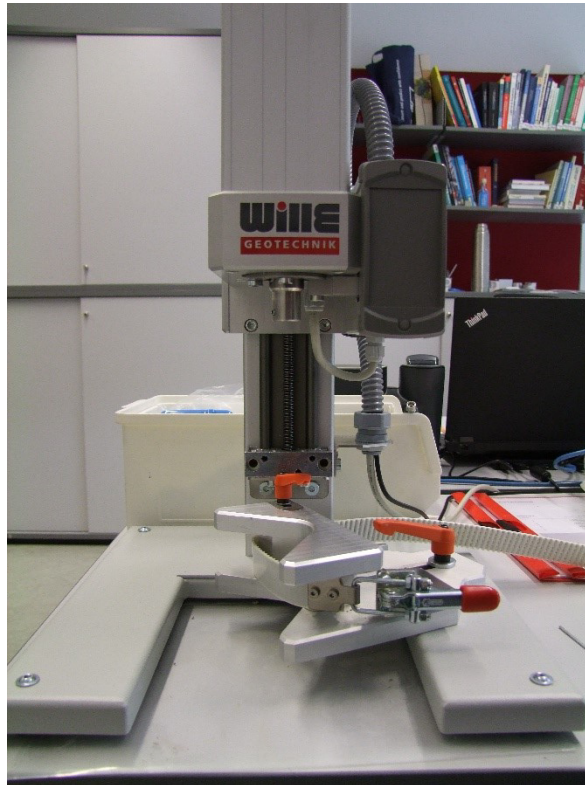


Abb. 8-1: Laborflügelsonde (Fa. Wille Geotechnik)

### 8.1 Probengefäß bzw. Probenaufbereitung

Als Probengefäß dient ein Aluminiumrohr (Innendurchmesser 31 mm, Länge 60 mm). Zur Probenaufbereitung wird zusätzlich ein Aufsatzzylinder für das Probengefäß und ein Verdichtungsstößel (Außendurchmesser 30 mm) benötigt.

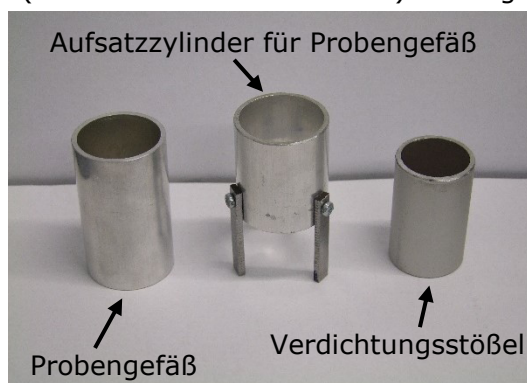


Abb. 8-2: Probengefäß inkl. Zubehör zur Probenaufbereitung



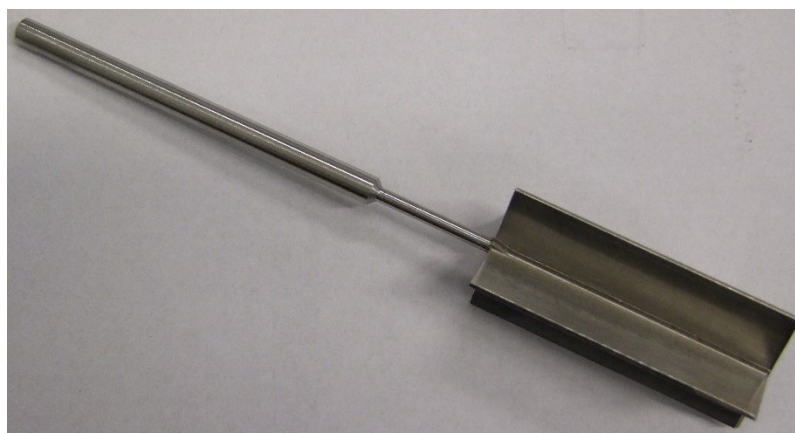
*Abb. 8-3: Probengefäß mit Aufsatzzylinder zur Probenvorbereitung*

Bei der Probenvorbereitung ist darauf zu achten, dass innerhalb der Probe bei der Einbringung in das Probengefäß gleichmäßige Horizontalspannungen erzeugt werden. Bei den ersten Testversuchen wurde das Probematerial von Hand eingebracht und verdichtet. Für weitere Versuche, welche den Rahmen dieser Masterarbeit überschritten hätten wird empfohlen die Proben möglichst unberührt durch „Ausstechen“ in das Probengefäß einzubringen. Weiter sollte die Verdichtung der Probe über einen noch zu definierenden längeren Zeitraum mittels Gewicht erfolgen.

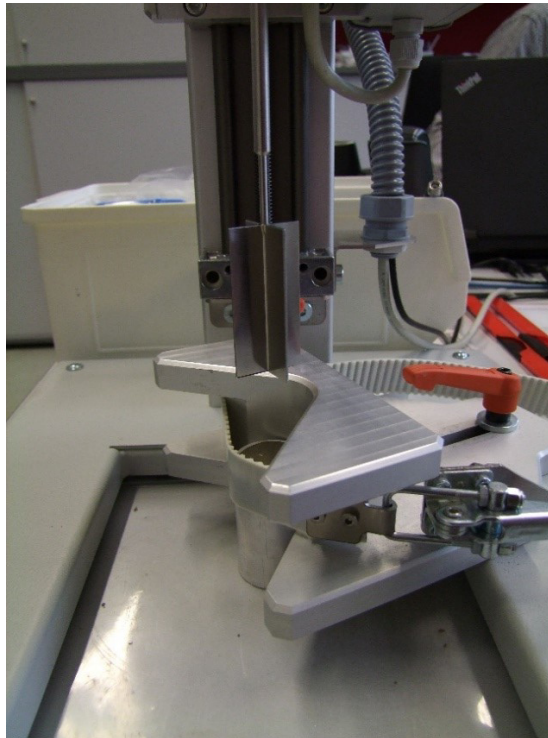
## **8.2 Prüfaufbau**

Bei der Untersuchung des Verklebungspotentials kommt eine Flügelsonde mit 60 mm Länge und 30 mm Flügeldurchmesser zum Einsatz (Abb. 8-4).

Weiter wird das Probengefäß mittels der dafür vorgesehenen Einspanneinrichtung in der Laborflügelsonde befestigt. Das Probengefäß muss dabei am Tisch aufstehen (Abb. 8-5).

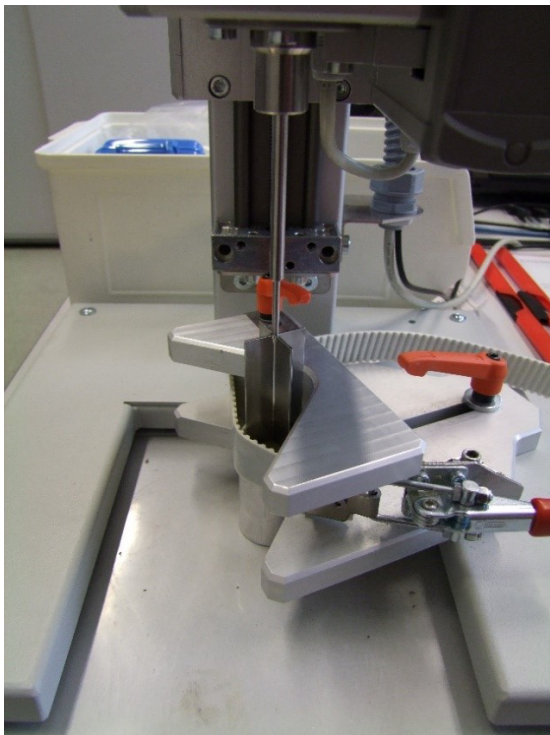


*Abb. 8-4: Flügelsonde (Flügeldurchmesser 30 mm, Länge 60 mm)*

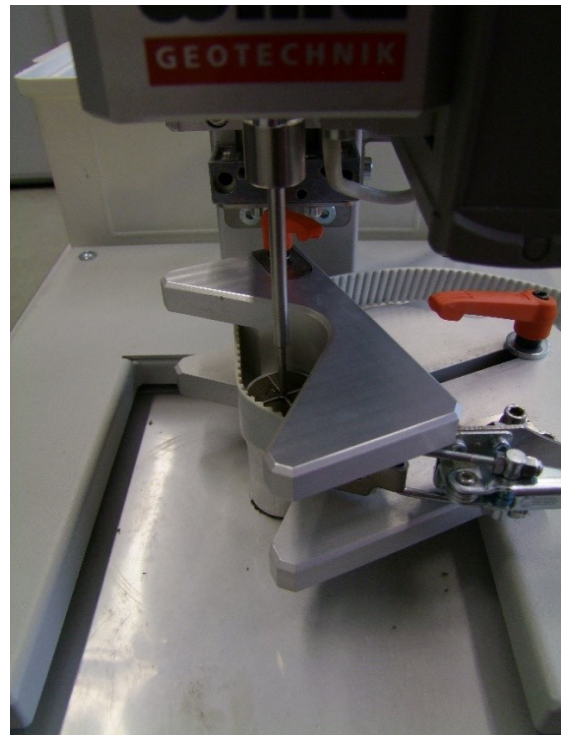


*Abb. 8-5: Einspannung der Probe; Teil 1*

Anschließend wird die Flügelsonde mittels der Software GEOsys 8.7.8.15 genullt und in die Probe eingebracht.



*Abb. 8-6: Einbringung der Flügelsonde;  
Teil 1*



*Abb. 8-7: Einbringung der Flügelsonde;  
Teil 2*



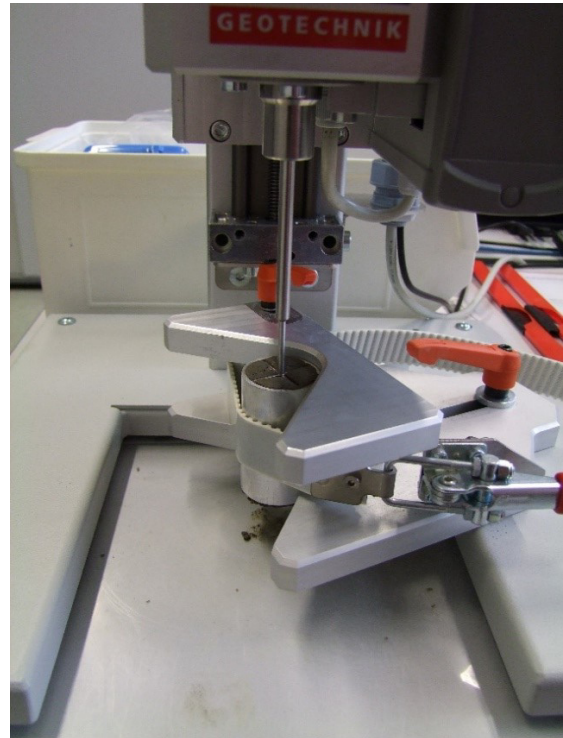


Abb. 8-8: Einspannung der Probe; Teil 2      Abb. 8-9: Abgeschlossener Prüfaufbau

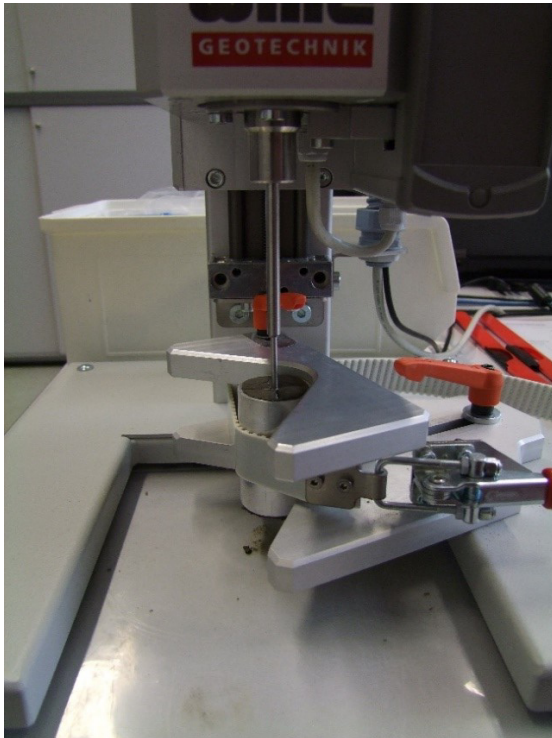
Abschließend muss die Verspannung nochmals gelöst und das Probengefäß samt Flügelsonde angehoben werden (Abb. 8-8).

Wenn das Probengefäß keinen Kontakt zum Tisch mehr aufweist wird das Probengefäß fixiert und die Untersuchung kann begonnen werden (Abb. 8-9).

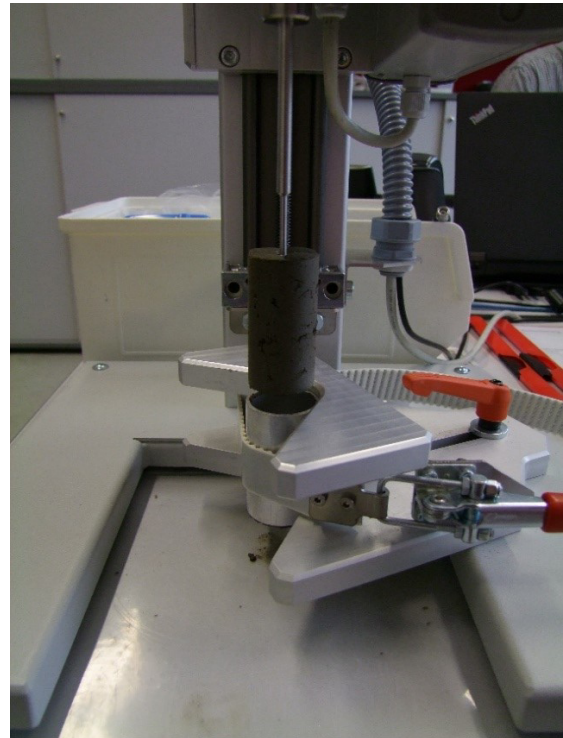
### **8.3 Testdurchführung und Auswertung**

Mittels der Software GEOsys 8.7.8.15 wird die Laborflügelsonde gesteuert. Bei den ersten Testversuchen wurde eine Winkelgeschwindigkeit von  $6^\circ/\text{min}$  gewählt. Während des Tests kann der Drehmomentverlauf über dem Drehwinkel in Echtzeit mitverfolgt werden. Sollte das Drehmoment unter 70 % des Maximalwertes abfallen wird der Test automatisch beendet. Anschließend können die gewonnenen Daten für weitere Analysen exportiert werden.

Im Rahmen dieser Masterarbeit wurden zu Testzwecken die Proben Nr. 19 und TON 254 getestet.



*Abb. 8-10: Prüfaufbau nach der Testdurchführung*



*Abb. 8-11: Entnahme der Probe aus dem Probengefäß*



*Abb. 8-12: Probe Nr. 19 nach Flügelsondenversuch*



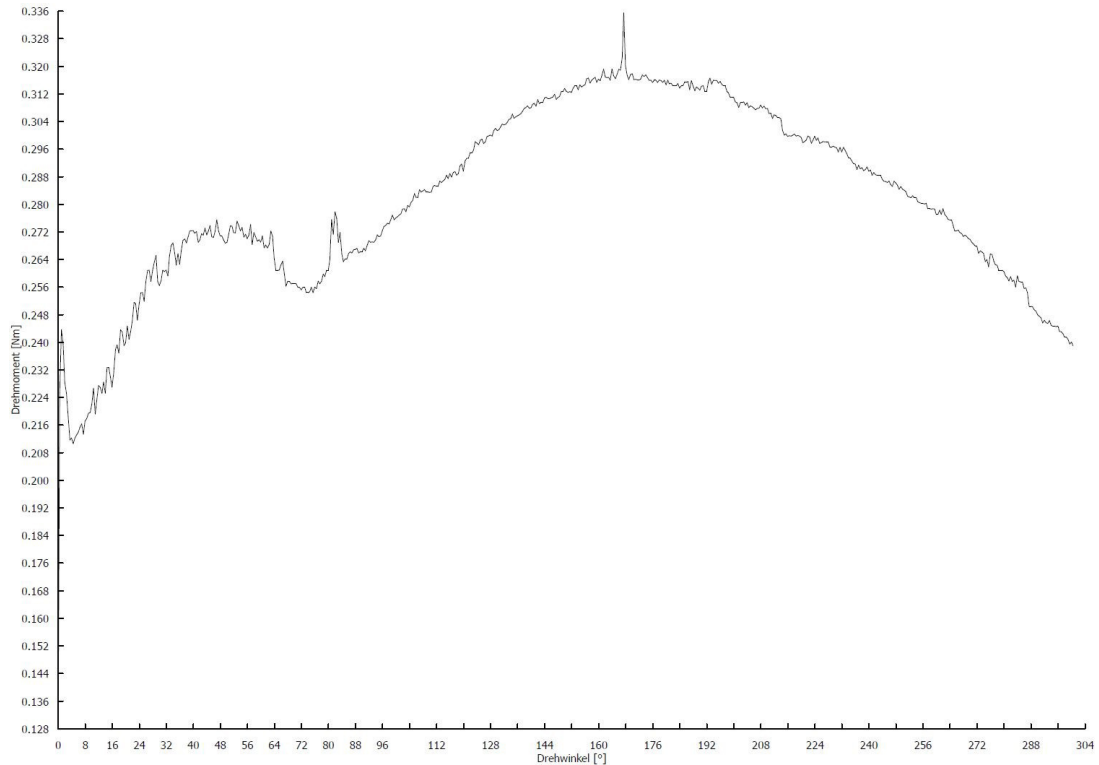


Abb. 8-13: Auswertung Drehmoment über Drehwinkel Probe Nr. 19

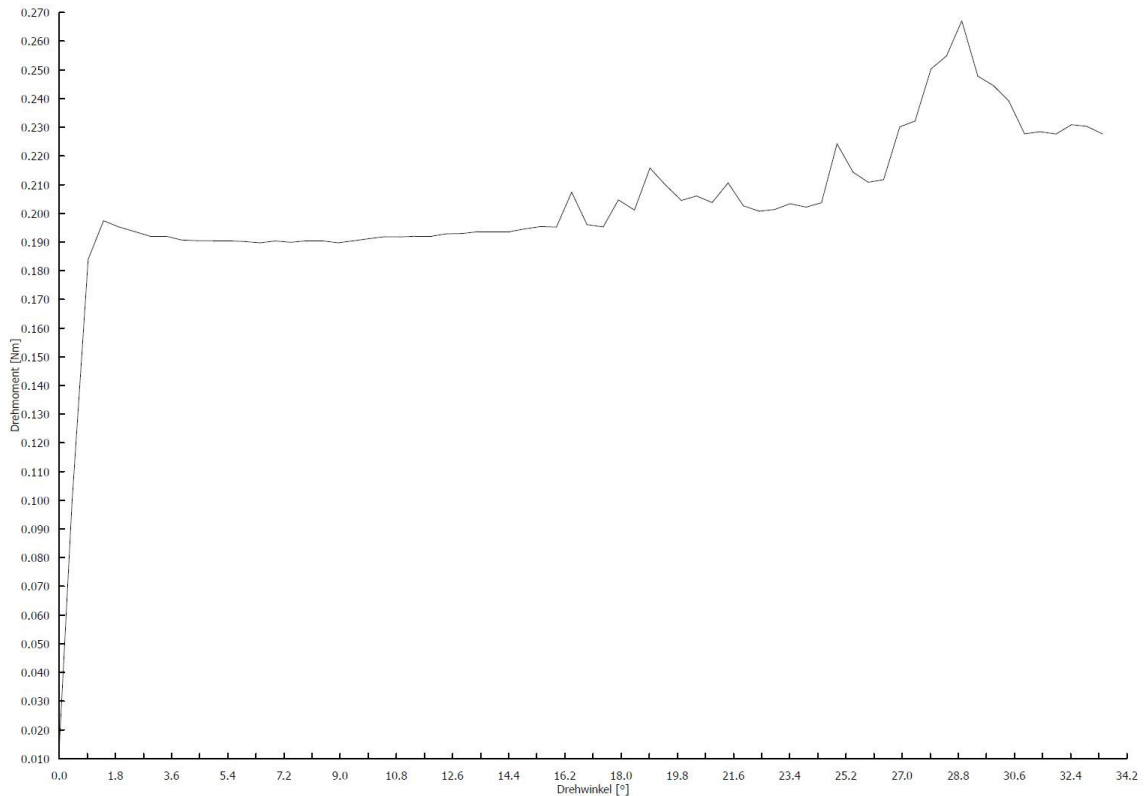


Abb. 8-14: Auswertung Drehmoment über Drehwinkel Probe TON 254

Laut Tab. 6-22 weist die Probe TON 254 hohes und die Probe Nr. 19 mittleres Verklebungspotential auf. Die Auswertungen der Proben Nr. 19 und TON 254 zeigen, bei Betrachtung der „Haftreibung“, jedoch ein umgekehrtes Bild. Das gemessene

„Anfahrdrehmoment“ ist in Abb. 8-13 höher als in Abb. 8-14. Der wesentlich stärkere Abfall der Drehmomentkennlinie bei Probe Nr. 19 könnte jedoch auf ein geringeres Verklebungspotential schließen lassen.

Diese Erkenntnisse zeigen, dass die vorhandenen Horizontalspannungen bzw. eine einheitliche, gleichmäßige Verdichtung Hauptkriterien für eine erfolgreiche Versuchsdurchführung sind. Ein weiteres Kriterium besteht in der Zentrierung der Flügelsonde. Diese darf nicht am Probengefäß schleifen.

Die Untersuchung der Probe TON 254 wurde nach ca. 33° aufgrund zu hoher Schwankungen des Drehmoments abgebrochen. Diese Schwankungen sind letzterkenntlich der nicht ausreichenden Zentrierung der Flügelsonde zuzuschreiben.

#### **8.4 Zusammenfassung Flügelsondenversuche**

Die Testversuche zeigen, dass der Flügelsondenversuch geeignet sein kann das Verklebungspotential von Böden zu ermitteln. Entscheidend für den Erfolg zukünftiger Testreihen wird die Ausschaltung der Horizontalspannungseinflüsse bzw. das Gewährleisten einer gleichmäßigen Verdichtung sein.

## 9 Abbildungsverzeichnis

<i>Abb. 2-1: Wirkmechanismen der Adhäsion (1 S. 104) .....</i>	<i>2</i>
<i>Abb. 3-1: Ablauf Verklebungsuntersuchung mittels modifiziertem Siebtrommelversuch nach Hollmann (2 S. 74).....</i>	<i>3</i>
<i>Abb. 3-2: Untersuchungsschema zur Beurteilung der Verklebungsneigung und des Feinkornanfalls bei feinkörnigem Festgestein (2 S. 72).....</i>	<i>4</i>
<i>Abb. 3-3: Verklebungspotential – kein freies Bergwasser verfügbar (2 S. 42, modifiziert); es sind die Wertepaare der zur Verfügung stehenden Bodenproben eingetragen .....</i>	<i>6</i>
<i>Abb. 3-4: Allgemeines Bewertungsdiagramm zur Beurteilung möglicher Umwandlungen von Böden (2 S. 51, modifiziert) .....</i>	<i>6</i>
<i>Abb. 3-5: Ablauf Konuszugversuch (5 S. 45).....</i>	<i>7</i>
<i>Abb. 3-6: Beispiel Ergebnisse Konuszugversuch (5 S. 45).....</i>	<i>8</i>
<i>Abb. 4-1: Siebtrommelgerät .....</i>	<i>9</i>
<i>Abb. 4-2: Modellbezeichnung Siebtrommelgerät .....</i>	<i>10</i>
<i>Abb. 4-3: Formblatt Zerfallsbeständigkeit Siebtrommelversuch .....</i>	<i>10</i>
<i>Abb. 4-4: Formblatt Ausrollgrenze Ausrollversuch.....</i>	<i>12</i>
<i>Abb. 4-5: Casagrandegerät Draufsicht.....</i>	<i>13</i>
<i>Abb. 4-6: Casagrandegerät Frontansicht.....</i>	<i>13</i>
<i>Abb. 4-7: Befüllung der Schale laut ÖNORM B 4411 (7 S. 9).....</i>	<i>13</i>
<i>Abb. 4-8: Formblatt Fließgrenze; Versuch nach Casagrande.....</i>	<i>14</i>
<i>Abb. 4-9: Fallkegelgerät .....</i>	<i>15</i>
<i>Abb. 4-10: Formblatt Fließgrenze; Fallkegelversuch .....</i>	<i>16</i>
<i>Abb. 5-1: Siebtrommelversuch Symbolbild; Mergel links; Opalinuston 2 rechts ....</i>	<i>17</i>
<i>Abb. 5-2: Mergel; Ausgangszustand.....</i>	<i>18</i>
<i>Abb. 5-3: Mergel vor Durchlauf 2.....</i>	<i>18</i>
<i>Abb. 5-4: Mergel nach Durchlauf 2 .....</i>	<i>18</i>
<i>Abb. 5-5: Mergel; Siebdurchgang nach Durchlauf 2 .....</i>	<i>18</i>
<i>Abb. 5-6: Mergel; Endzustand nach 6 Durchläufen.....</i>	<i>19</i>
<i>Abb. 5-7: Auswertung Siebtrommelversuch Mergel .....</i>	<i>19</i>
<i>Abb. 5-8: Opalinuston 1; Siebrückstand nach 4 Durchläufen auf 1 mm Sieb.....</i>	<i>20</i>
<i>Abb. 5-9: Opalinuston 1; Siebrückstand nach 4 Durchläufen in der Trommel.....</i>	<i>20</i>
<i>Abb. 5-10: Auswertung Siebtrommelversuch Opalinuston 1 .....</i>	<i>20</i>
<i>Abb. 5-11: Opalinuston 2; Ausgangszustand.....</i>	<i>21</i>
<i>Abb. 5-12: Opalinuston 2 vor .....</i>	<i>21</i>
<i>Abb. 5-13: Opalinuston 2 nach Durchlauf 2.....</i>	<i>21</i>
<i>Abb. 5-14: Opalinuston 2; Siebdurchgang nach Durchlauf 2.....</i>	<i>21</i>

---

<i>Abb. 5-15: Auswertung Siebtrommelversuch Opalinuston 2</i> .....	22
<i>Abb. 6-1: Datenblatt TON 254 (8)</i> .....	23
<i>Abb. 6-2: Probe Nr. 11</i> .....	24
<i>Abb. 6-3: Probe Nr. 12</i> .....	25
<i>Abb. 6-4: Probe Nr. 13</i> .....	25
<i>Abb. 6-5: Probe Nr. 15</i> .....	26
<i>Abb. 6-6: Probe Nr. 16</i> .....	26
<i>Abb. 6-7: Probe Nr. 17</i> .....	27
<i>Abb. 6-8: Probe Nr. 18</i> .....	27
<i>Abb. 6-9: Probe Nr. 19</i> .....	28
<i>Abb. 6-10: Probe Nr. 20</i> .....	28
<i>Abb. 6-11: Probe Nr. 21</i> .....	29
<i>Abb. 6-12: Probe Nr. 22</i> .....	29
<i>Abb. 6-13: Probe Nr. 23</i> .....	30
<i>Abb. 6-14: Probe Nr. 24</i> .....	30
<i>Abb. 6-15: Probe Nr. 25</i> .....	31
<i>Abb. 6-16: Probe Nr. 26</i> .....	31
<i>Abb. 6-17: Probe Nr. 27</i> .....	32
<i>Abb. 6-18: Probe Nr. 28</i> .....	32
<i>Abb. 6-19: Probe Nr. 29</i> .....	33
<i>Abb. 6-20: Probe Nr. 30</i> .....	33
<i>Abb. 6-21: Probe Nr. 31</i> .....	34
<i>Abb. 6-22: Verklebungspotential aller Proben – kein freies Bergwasser verfügbar (2 S. 42, modifiziert)</i> .....	35
<i>Abb. 6-23: Darstellung aller Proben im allgemeinen Bewertungsdiagramm nach Hollmann (2 S. 51, modifiziert)</i> .....	35
<i>Abb. 7-1: Collomix AR 90 S</i> .....	37
<i>Abb. 7-2: Collomix FM 80 S</i> .....	37
<i>Abb. 7-3: Collomix Turbo-Rührer LX 90 S</i> .....	38
<i>Abb. 7-4: Eibenstock Ronden-Rührer R 85</i> .....	38
<i>Abb. 7-5: Eibenstock Scheiben-Rührer S 80</i> .....	39
<i>Abb. 7-6: Eibenstock Wendel-Rührer W 85</i> .....	39
<i>Abb. 7-7: Rührer S 80</i> .....	40
<i>Abb. 7-8: Rührer R 85</i> .....	40
<i>Abb. 7-9: Rührer W 85</i> .....	40
<i>Abb. 7-10: Probengefäß; Draufsicht</i> .....	40
<i>Abb. 7-11: Probengefäß und benötigte Gerätschaften</i> .....	41
<i>Abb. 7-12: Standbohrmaschine</i> .....	42

---

Verklebungspotential von Gesteinen im Tunnelbau	65
---	----

<i>Abb. 7-13: Standbohrmaschine; Datenblatt</i> .....	42
<i>Abb. 7-14: Waage</i> .....	42
<i>Abb. 7-15: Waage; Bedienfeld</i> .....	42
<i>Abb. 7-16: Einbringung Probe Nr. 15; Erster Abschnitt</i> .....	43
<i>Abb. 7-17: Einbringung Probe Nr. 15; endverdichtet</i> .....	43
<i>Abb. 7-18: Probe Nr. 15 vor Homogenisierung</i> .....	44
<i>Abb. 7-19: Probe Nr. 15 homogenisiert</i> .....	44
<i>Abb. 7-20: Wägung Probengefäß inkl. Fußplatte</i> .....	44
<i>Abb. 7-21: Wägung Rührquirl</i> .....	45
<i>Abb. 7-22: Wägung Probengefäß inkl. Fußplatte; befüllt</i> .....	45
<i>Abb. 7-23: Probengefäß in der Standbohrmaschine fixiert</i> .....	46
<i>Abb. 7-24: Detail; Probe Nr. 15 eingespannt</i> .....	46
<i>Abb. 7-25: Drehzahldatenblatt Standbohrmaschine</i> .....	46
<i>Abb. 7-26: Drehzahleinstellung Standbohrmaschine (90 U/min)</i> .....	46
<i>Abb. 7-27: Vorschubeinstellung 0,33 mm/U</i> .....	47
<i>Abb. 7-28: Vorschub aktiviert</i> .....	47
<i>Abb. 7-29: Einstellung Tiefenbegrenzung 10 cm</i> .....	47
<i>Abb. 7-30: Tiefenbegrenzung am Wendepunkt</i> .....	47
<i>Abb. 7-31: Probe Nr. 15 nach Durchlauf; Rührquirl bereits ausgespannt; Frontansicht</i> .....	48
<i>Abb. 7-32: Probe Nr. 15 nach Durchlauf; Rührquirl bereits ausgespannt; Draufsicht .....</i>	48
<i>Abb. 7-33: Wägung Rührquirl nach dem Versuch</i> .....	48
<i>Abb. 7-34: Formblatt Rührversuche; Probe Nr. 15 homogenisiert</i> .....	49
<i>Abb. 7-35: Verklebungspotential nach Thewes (2 S. 42, modifiziert); Proben nach Rührversuch</i> .....	50
<i>Abb. 7-36: Verklebungspotential nach Hollmann (2 S. 51, modifiziert); Proben nach Rührversuch</i> .....	51
<i>Abb. 7-37: Rührversuchsergebnisse der Proben Nr. 11 bis Nr. 15 bzw. TON 254</i> ..	52
<i>Abb. 7-38: Rührversuchsergebnisse der Proben Nr. 17 bis Nr. 25</i> .....	53
<i>Abb. 7-39: Rührversuchsergebnisse inkl. Abminderungen; Proben Nr. 11 bis Nr. 15 bzw. TON 254</i> .....	54
<i>Abb. 7-40: Rührversuchsergebnisse inkl. Abminderungen; Proben Nr. 17 bis Nr. 25 .....</i>	55
<i>Abb. 7-41: Rührversuchsergebnisse Gesamt</i> .....	56
<i>Abb. 8-1: Laborflügelsonde (Fa. Wille Geotechnik)</i> .....	57
<i>Abb. 8-2: Probengefäß inkl. Zubehör zur Probenaufbereitung</i> .....	57
<i>Abb. 8-3: Probengefäß mit Aufsatzzylinder zur Probenvorbereitung</i> .....	58
<hr/> Verklebungspotential von Gesteinen im Tunnelbau	66

---

<i>Abb. 8-4: Flügelsonde (Flügeldurchmesser 30 mm, Länge 60 mm) .....</i>	<i>58</i>
<i>Abb. 8-5: Einspannung der Probe; Teil 1 .....</i>	<i>59</i>
<i>Abb. 8-6: Einbringung der Flügelsonde; Teil 1 .....</i>	<i>59</i>
<i>Abb. 8-7: Einbringung der Flügelsonde; Teil 2 .....</i>	<i>59</i>
<i>Abb. 8-8: Einspannung der Probe; Teil 2 .....</i>	<i>60</i>
<i>Abb. 8-9: Abgeschlossener Prüfaufbau .....</i>	<i>60</i>
<i>Abb. 8-10: Prüfaufbau nach der Testdurchführung .....</i>	<i>61</i>
<i>Abb. 8-11: Entnahme der Probe aus dem Probengefäß .....</i>	<i>61</i>
<i>Abb. 8-12: Probe Nr. 19 nach Flügelsondenversuch .....</i>	<i>61</i>
<i>Abb. 8-13: Auswertung Drehmoment über Drehwinkel Probe Nr. 19 .....</i>	<i>62</i>
<i>Abb. 8-14: Auswertung Drehmoment über Drehwinkel Probe TON 254 .....</i>	<i>62</i>



## 10 Tabellenverzeichnis

<i>Tab. 3-1: Mögliche Ergebnisauswertung nach Hollmann (4 S. 52).....</i>	<i>5</i>
<i>Tab. 4-1: Formblatt Wassergehaltsbestimmung.....</i>	<i>9</i>
<i>Tab. 4-2: Anforderungen Fallkegel bzw. Probengefäß (7 S. 12-13).....</i>	<i>15</i>
<i>Tab. 6-1: Ergebnisse für Probe TON 254.....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 6-2: Ergebnisse für Probe Nr. 11.....</i>	<i>24</i>
<i>Tab. 6-3: Ergebnisse für Probe Nr. 12.....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 6-4: Ergebnisse für Probe Nr. 13.....</i>	<i>25</i>
<i>Tab. 6-5: Ergebnisse für Probe Nr. 15.....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 6-6: Ergebnisse für Probe Nr. 16.....</i>	<i>26</i>
<i>Tab. 6-7: Ergebnisse für Probe Nr. 17.....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 6-8: Ergebnisse für Probe Nr. 18.....</i>	<i>27</i>
<i>Tab. 6-9: Ergebnisse für Probe Nr. 19.....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 6-10: Ergebnisse für Probe Nr. 20.....</i>	<i>28</i>
<i>Tab. 6-11: Ergebnisse für Probe Nr. 21.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 6-12: Ergebnisse für Probe Nr. 22.....</i>	<i>29</i>
<i>Tab. 6-13: Ergebnisse für Probe Nr. 23.....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 6-14: Ergebnisse für Probe Nr. 24.....</i>	<i>30</i>
<i>Tab. 6-15: Ergebnisse für Probe Nr. 25.....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 6-16: Ergebnisse für Probe Nr. 26.....</i>	<i>31</i>
<i>Tab. 6-17: Ergebnisse für Probe Nr. 27.....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 6-18: Ergebnisse für Probe Nr. 28.....</i>	<i>32</i>
<i>Tab. 6-19: Ergebnisse für Probe Nr. 29.....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 6-20: Ergebnisse für Probe Nr. 30.....</i>	<i>33</i>
<i>Tab. 6-21: Ergebnisse für Probe Nr. 31.....</i>	<i>34</i>
<i>Tab. 6-22: Zusammenstellung der Ergebnisse aller Proben.....</i>	<i>36</i>
<i>Tab. 7-1: Rührversuchsergebnisse der Proben Nr. 11 bis Nr. 15 bzw. TON 254.....</i>	<i>51</i>
<i>Tab. 7-2: Rührversuchsergebnisse der Proben Nr. 17 bis Nr. 25.....</i>	<i>52</i>
<i>Tab. 7-3: Bestimmung des Verklebungspotentials aus dem Verklebungsindex.....</i>	<i>56</i>

## 11 Literaturverzeichnis

1. **Feinendegen, M., et al.** *Ein neues Verfahren zur Bewertung des Verklebungspotenzials beim maschinellen Tunnelvortrieb mit Erddruckschilden.* [Abstract 31. Baugrundtagung] [Hrsg.] Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. München : s.n., 2010. Bde. S. 103-109.
2. **Hollmann, F. S.** *Bewertung von Boden und Fels auf Verklebungen und Feinkornfreisetzung beim maschinellen Tunnelvortrieb.* Ruhr-Universität Bochum, Deutschland : s.n., Juli 2014.
3. **Herzel, P.** Empfehlung Nr. 20 des Arbeitskreises 3.3 "Versuchstechnik Fels" der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e.V.: Zerfallsbeständigkeit von Gestein - Siebtrommelversuch. *Bautechnik 79 (2002), Heft 2.* S. 101 - 105.
4. **Hollmann, F.S., et al.** *Analyse des Siebdurchgangs und -rückstandes beim Siebtrommelversuch im Hinblick auf maschinelle Tunnelvortriebe.* München : Ruhruniversität Bochum, 2013. 19. Tagung für Ingenieurgeologie und Forum für junge Ingenieurgeologen. S. 49 - 54.
5. **Fernández-Steeger, T. M. und Feinendegen, M.** *Verklebungen in der EPB-Praxis: Auftreten, Einflüsse und Quantifizierung.* München : RWTH Aachen Universität, 2013. 19. Tagung für Ingenieurgeologie und Forum für junge Ingenieurgeologen. S. 43-48.
6. **ÖNORM EN ISO 17892-1:2015-06-15.** *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben - Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts (ISO 17892-1:2014).* Österreich : Austrian Standards, 2015.
7. **ÖNORM B 4411: 2009-07-01.** *Geotechnik - Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung von Fließ-, Plastizitäts- und Schrumpfgrenze unter Einbeziehung der VORNORM ÖNORM CEN ISO/TS 17892-12.* Österreich : Austrian Standards, 2009.
8. **Goerg & Schneider GmbH u. Co. KG.** *Georg & Schneider - Keramische Massen.* [Online] 2016. [Zitat vom: 24. Juli 2016.] <http://www.keramische-massen.com/de/produktliste.raw?task=download&fid=107>.
9. **Laubreyter, F.** *Vergleichsversuche von Konsistenzgrenzen mit 2 verschiedenen Messmethoden.* Graz : Bauingenieurwissenschaften TU Graz, 2015.

# Anhang

## **Inhaltsverzeichnis Anhang**

<b>INHALTSVERZEICHNIS ANHANG.....</b>	<b>A</b>
<b>1 FORMBLÄTTER WASSERGEHALTSBESTIMMUNG .....</b>	<b>B</b>
<b>2 FORMBLÄTTER FLIEßGRENZE VERSUCH NACH CASAGRANDE .....</b>	<b>C</b>
<b>3 FORMBLÄTTER FLIEßGRENZE FALLKEGELVERSUCH.....</b>	<b>E</b>
<b>4 FORMBLÄTTER AUSROLLGRENZE .....</b>	<b>O</b>
<b>5 FORMBLÄTTER RÜHRVERSUCHE.....</b>	<b>S</b>

## 1 Formblätter Wassergehaltsbestimmung

Projekt:	Bearbeiter:
Masterarbeit HSc	Schmidt Hans

Probe		Probe Nr. 7
Masse Behälter	g	193,10
Masse Behälter+feuchte Probe	g	298,60
Masse Behälter+trockene Probe	g	272,04
Wassergehalt	%	33,65

Probe		Probe TON 254
Masse Behälter	g	5,39
Masse Behälter+feuchte Probe	g	106,91
Masse Behälter+trockene Probe	g	86,80
Wassergehalt	%	24,70

Probe		Probe Nr. 15
Masse Behälter	g	5,37
Masse Behälter+feuchte Probe	g	105,06
Masse Behälter+trockene Probe	g	78,93
Wassergehalt	%	35,52

Probe		Probe Nr. 12
Masse Behälter	g	2,33
Masse Behälter+feuchte Probe	g	62,05
Masse Behälter+trockene Probe	g	47,77
Wassergehalt	%	31,44

Probe		Probe Nr. 13
Masse Behälter	g	5,33
Masse Behälter+feuchte Probe	g	109,88
Masse Behälter+trockene Probe	g	84,38
Wassergehalt	%	32,26

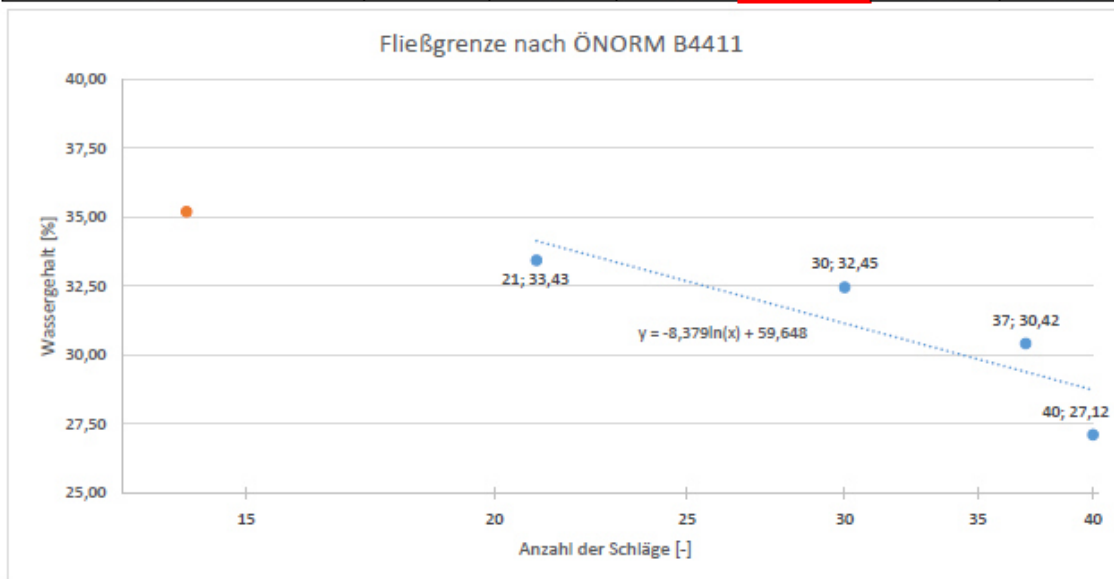
Probe		Probe Nr. 11
Masse Behälter	g	5,35
Masse Behälter+feuchte Probe	g	83,49
Masse Behälter+trockene Probe	g	64,76
Wassergehalt	%	31,53

## 2 Formblätter Fließgrenze Versuch nach Casagrande

Fließgrenze nach ÖNORM B4411

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	TON 254 Casagrande	Schmidt Hans	31.05.2016

Nummer Probe		1	2	3	4	5
Nummer Behälter		3/8	3/5	4/6	4/1	2/5
Masse Behälter	g	1,082	1,079	1,087	1,089	1,081
Masse Behälter+feuchte Probe	g	7,092	6,687	7,852	6,944	6,236
Masse Behälter+trockene Probe	g	5,810	5,379	6,091	5,477	4,973
Wassergehalt	%	27,12	30,42	35,19	33,43	32,45
Schläge		40	37	14	21	30



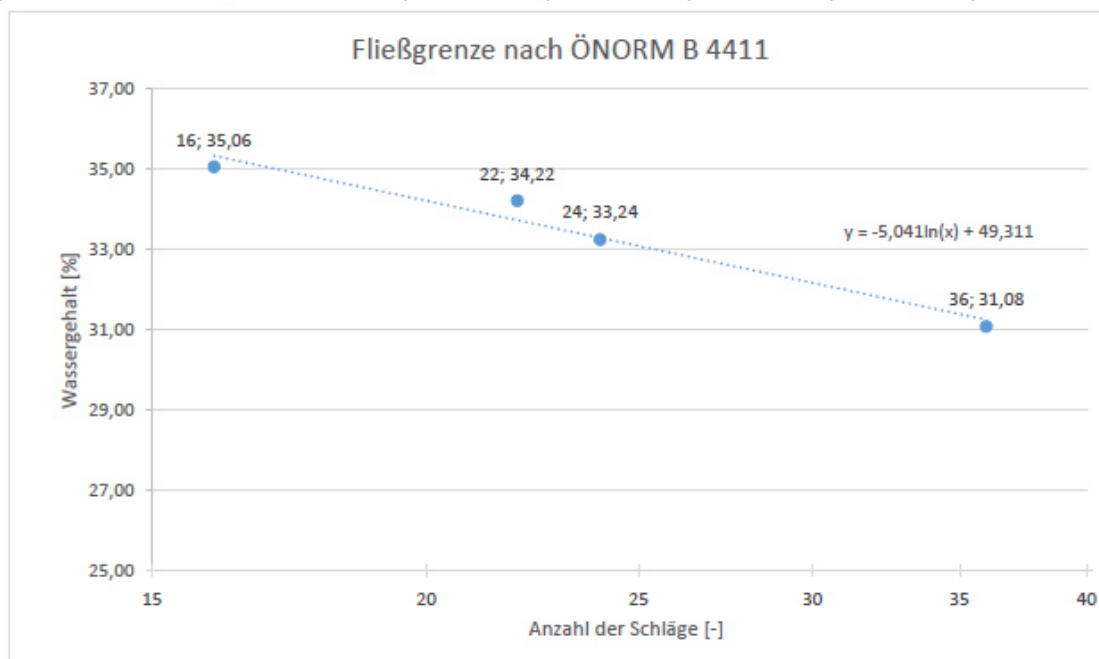
Fließgrenze $w_L$	%	32,68
-------------------	---	-------



## Fließgrenze nach ÖNORM B4411

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	TON 254	Schmidt Hans	02.06.2016

Nummer Probe		1	2	3	4
Nummer Behälter		1/4	2/4	3/4	4/4
Masse Behälter	g	1,070	1,078	1,088	1,074
Masse Behälter+feuchte Probe	g	6,424	7,086	6,710	7,584
Masse Behälter+trockene Probe	g	5,059	5,587	5,377	5,894
Wassergehalt	%	34,22	33,24	31,08	35,06
Schläge		22	24	36	16



Fließgrenze $w_L$	%	33,08
-------------------	---	-------

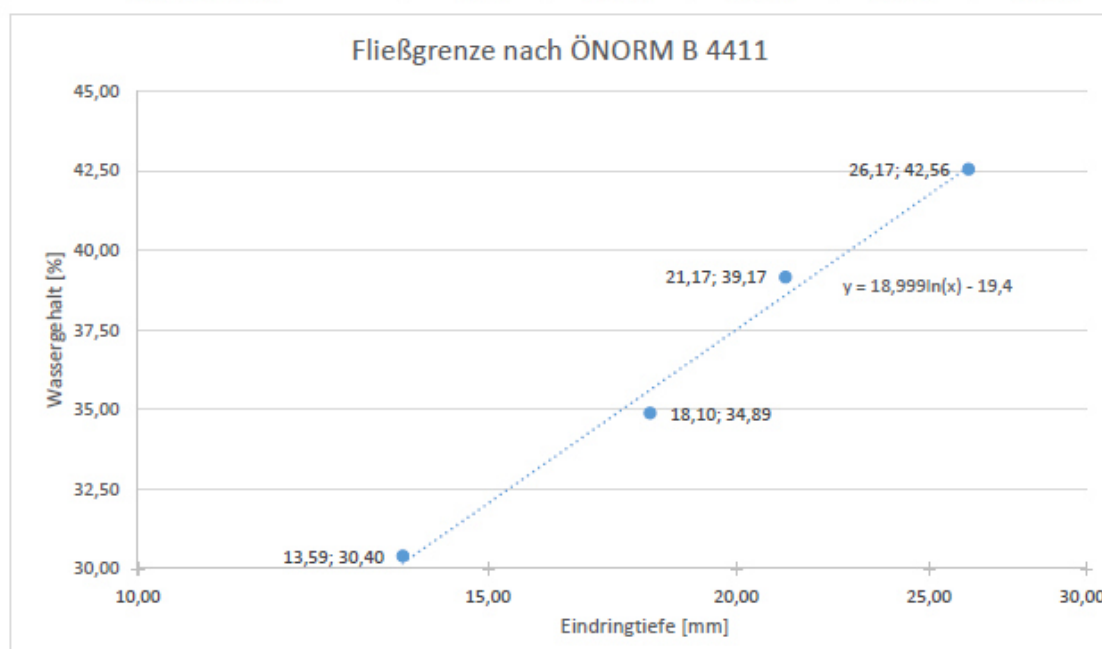
### 3 Formblätter Fließgrenze Fallkegelversuch

Fließgrenze Fallkegelversuch			
------------------------------	--	--	--

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	TON 254 Fallkegel	Schmidt Hans	31.05.2016

Verwendeter Fallkegel	mm	20
-----------------------	----	----

Nummer Probe		1	2	3	4
Nummer Behälter		1/6	4/5	1/5	2/6
Masse Behälter	g	1,079	1,080	1,078	1,082
Masse Behälter+feuchte Probe	g	7,054	20,229	20,070	20,001
Masse Behälter+trockene Probe	g	5,661	15,276	14,725	14,353
Wassergehalt	%	30,40	34,89	39,17	42,56
Eindringtiefe	mm	13,59	18,10	21,17	26,17



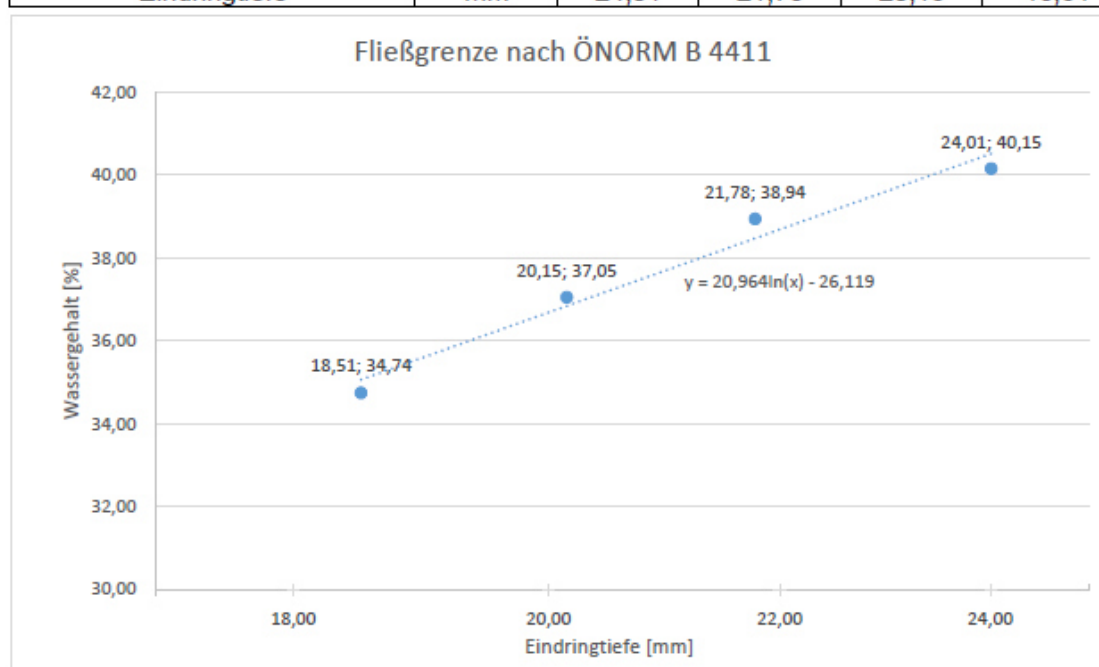
Fließgrenze $w_L$	%	37,52
-------------------	---	-------

## Fließgrenze Fallkegelversuch

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	TON 254	Schmidt Hans	02.06.2016

Verwendeter Fallkegel	mm	20
-----------------------	----	----

Nummer Probe		1	2	3	4
Nummer Behälter		8/1	8/2	8/3	8/4
Masse Behälter	g	1,076	1,073	1,082	1,075
Masse Behälter+feuchte Probe	g	22,675	20,933	20,301	22,526
Masse Behälter+trockene Probe	g	16,487	15,367	15,105	16,995
Wassergehalt	%	40,15	38,94	37,05	34,74
Eindringtiefe	mm	24,01	21,78	20,15	18,51



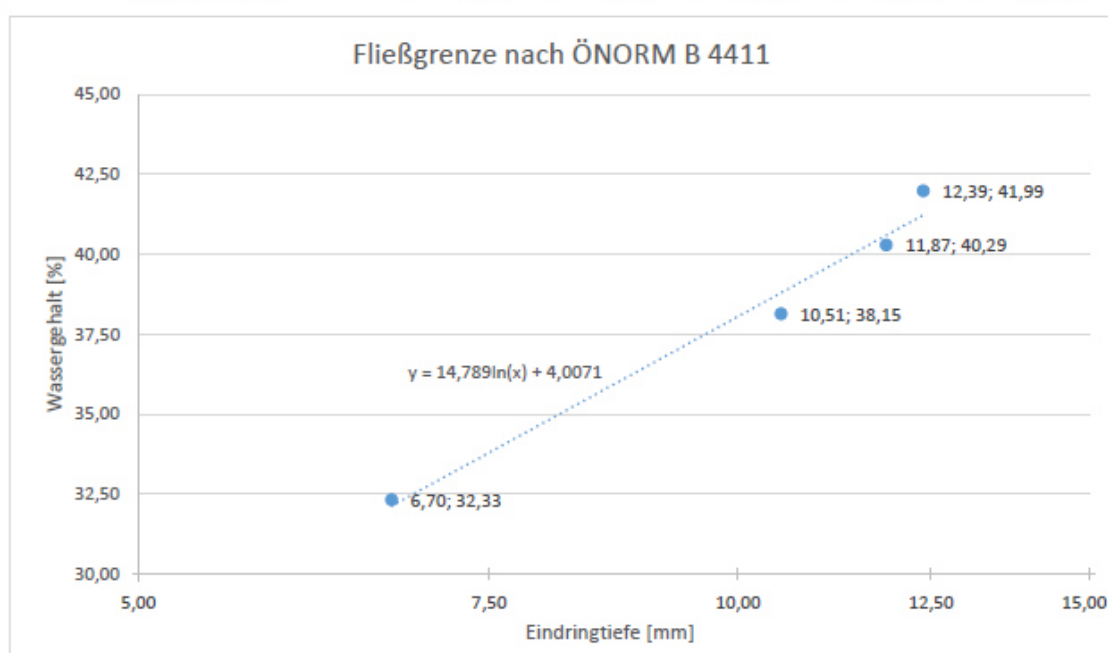
Fließgrenze $w_L$	%	36,68
-------------------	---	-------

Fließgrenze Fallkegelversuch
------------------------------

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	TON 254	Schmidt Hans	07.06.2016

Verwendeter Fallkegel	mm	10
-----------------------	----	----

Nummer Probe		1	2	3	4
Nummer Behälter		8/1	8/2	8/3	8/4
Masse Behälter	g	1,077	1,073	1,082	1,075
Masse Behälter+feuchte Probe	g	20,346	21,065	22,867	21,526
Masse Behälter+trockene Probe	g	15,638	15,323	16,425	15,879
Wassergehalt	%	32,33	40,29	41,99	38,15
Eindringtiefe	mm	6,70	11,87	12,39	10,51



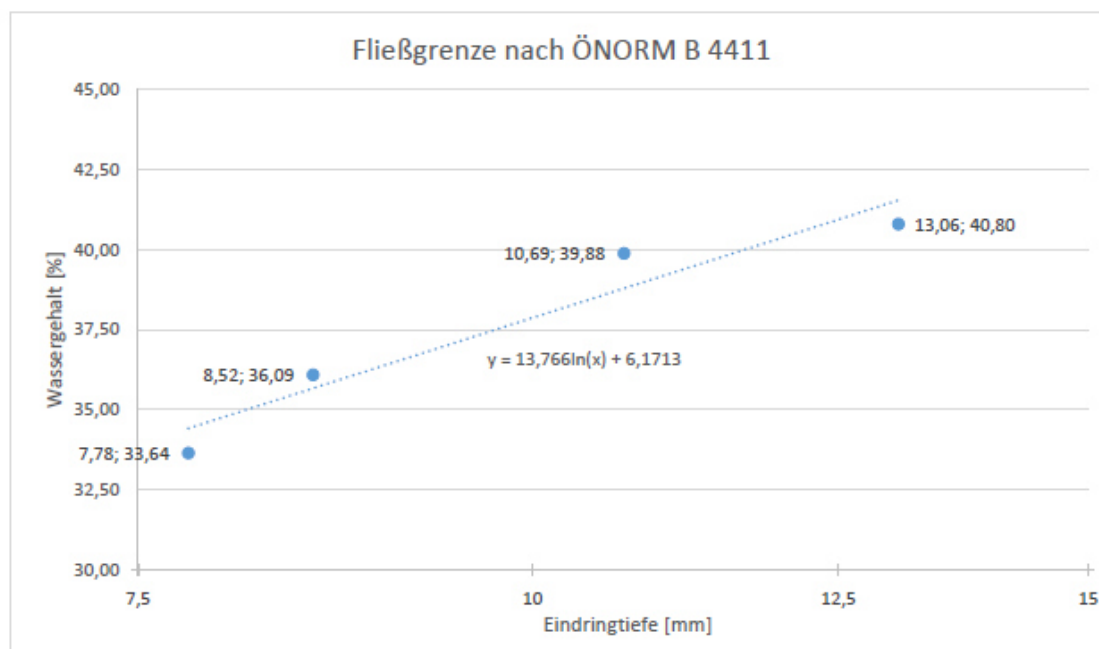
Fließgrenze $w_L$	%	38,06
-------------------	---	-------

## Fließgrenze Fallkegelversuch

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 10	Schmidt Hans	21.06.2016

Verwendeter Fallkegel	mm	10
-----------------------	----	----

Nummer Probe		1	2	3	4
Nummer Behälter		1/6	2/6	3/6	4/6
Masse Behälter	g	1,078	1,075	1,081	1,084
Masse Behälter+feuchte Probe	g	21,918	23,186	21,622	21,145
Masse Behälter+trockene Probe	g	15,976	16,779	16,175	16,095
Wassergehalt	%	39,88	40,80	36,09	33,64
Eindringtiefe	mm	10,69	13,06	8,52	7,78



Fließgrenze $w_L$	%	37,87
-------------------	---	-------

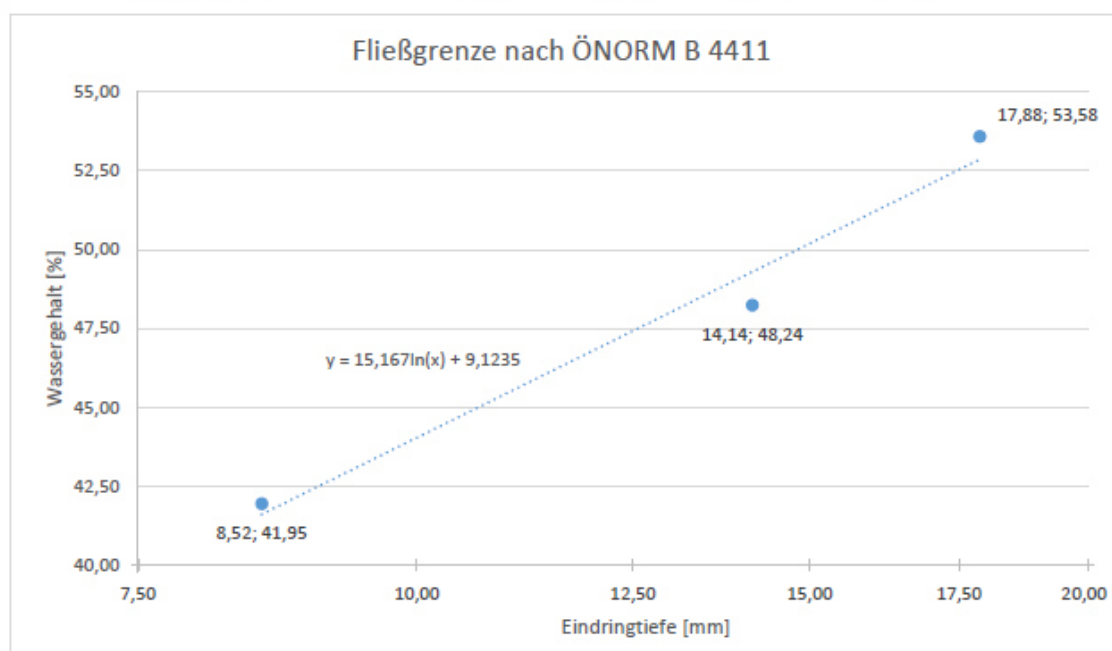


## Fließgrenze Fallkegelversuch

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 11 Tendenz	Schmidt Hans	28.06.2016

Verwendeter Fallkegel	mm	10
-----------------------	----	----

Nummer Probe		1	2	3	4
Nummer Behälter		1/1	2/1	3/1	
Masse Behälter	g	1,074	1,079	1,075	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	14,594	13,463	13,943	
Masse Behälter+trockene Probe	g	9,877	9,433	10,140	
Wassergehalt	%	53,58	48,24	41,95	
Eindringtiefe	mm	17,88	14,14	8,52	



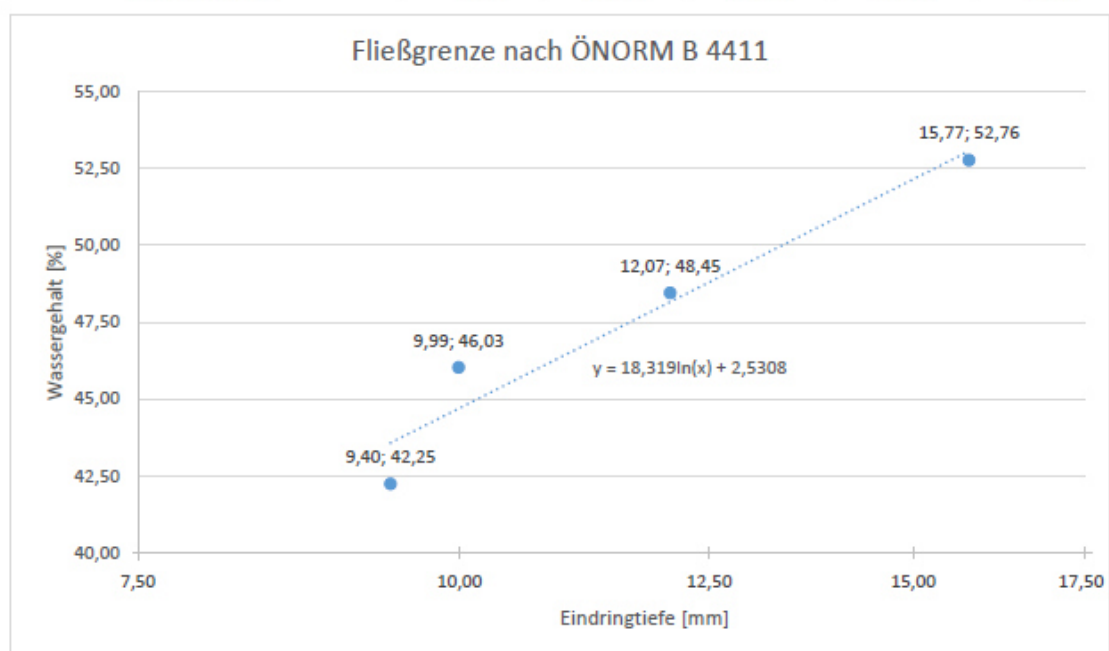
Fließgrenze $w_L$	%	44,05
-------------------	---	-------

## Fließgrenze Fallkegelversuch

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 11	Schmidt Hans	07.07.2016

Verwendeter Fallkegel	mm	10
-----------------------	----	----

Nummer Probe		1	2	3	4
Nummer Behälter		1/1	2/2	3/2	4/2
Masse Behälter	g	1,068	1,076	1,072	1,088
Masse Behälter+feuchte Probe	g	21,420	22,660	20,383	20,933
Masse Behälter+trockene Probe	g	14,391	15,616	14,296	15,039
Wassergehalt	%	52,76	48,45	46,03	42,25
Eindringtiefe	mm	15,77	12,07	9,99	9,40



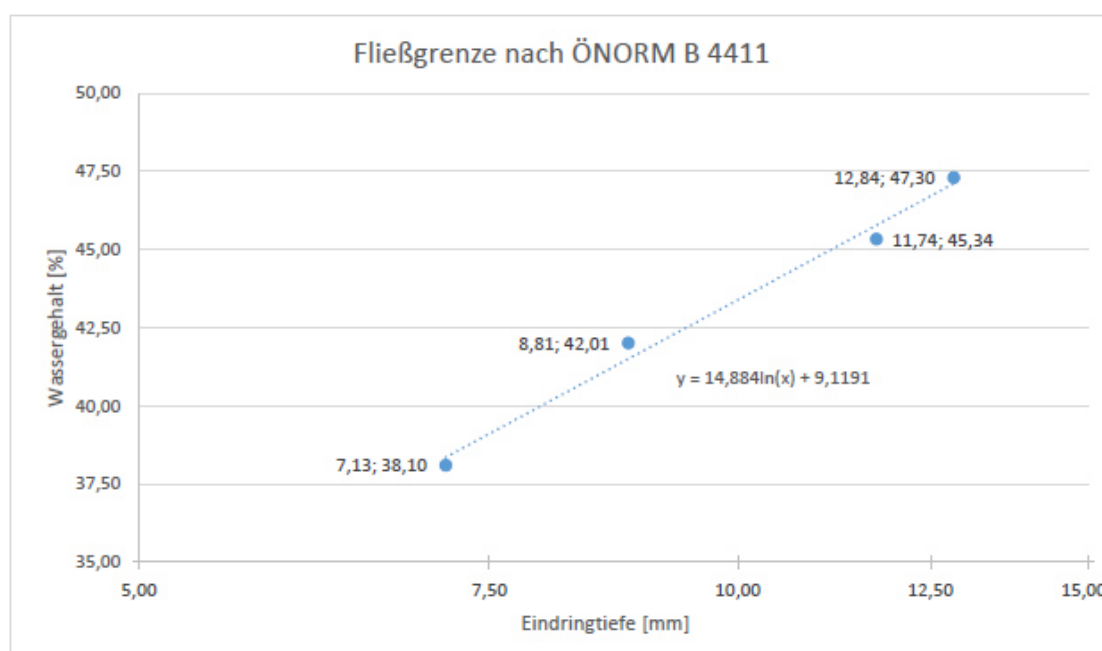
Fließgrenze $w_L$	%	44,71
-------------------	---	-------

## Fließgrenze Fallkegelversuch

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 12	Schmidt Hans	23.06.2016

Verwendeter Fallkegel	mm	10
-----------------------	----	----

Nummer Probe		1	2	3	4
Nummer Behälter		1/2	2/2	3/2	4/2
Masse Behälter	g	1,068	1,076	1,073	1,088
Masse Behälter+feuchte Probe	g	22,005	21,180	20,923	22,927
Masse Behälter+trockene Probe	g	15,474	14,724	15,051	16,902
Wassergehalt	%	45,34	47,30	42,01	38,10
Eindringtiefe	mm	11,74	12,84	8,81	7,13



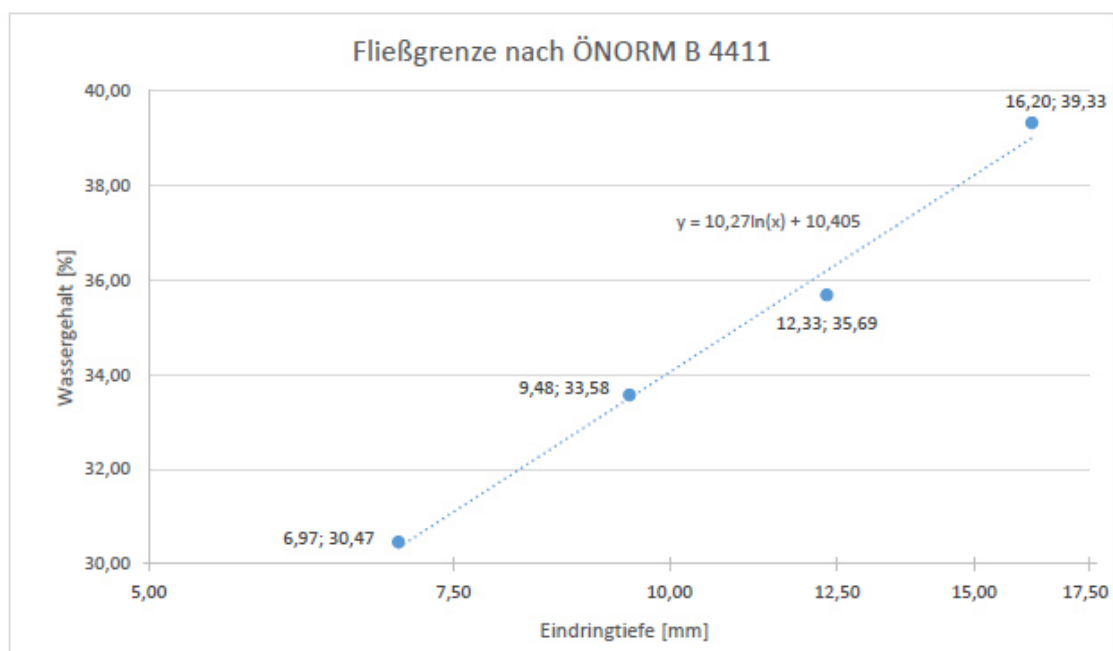
Fließgrenze $w_L$	%	43,39
-------------------	---	-------

## Fließgrenze Fallkegelversuch

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 13	Schmidt Hans	05.07.2016

Verwendeter Fallkegel	mm	10
-----------------------	----	----

Nummer Probe		1	2	3	4
Nummer Behälter		1/2	2/2	3/2	4/2
Masse Behälter	g	1,068	1,077	1,074	1,093
Masse Behälter+feuchte Probe	g	21,102	22,230	20,942	22,543
Masse Behälter+trockene Probe	g	15,447	16,666	15,948	17,534
Wassergehalt	%	39,33	35,69	33,58	30,47
Eindringtiefe	mm	16,20	12,33	9,48	6,97



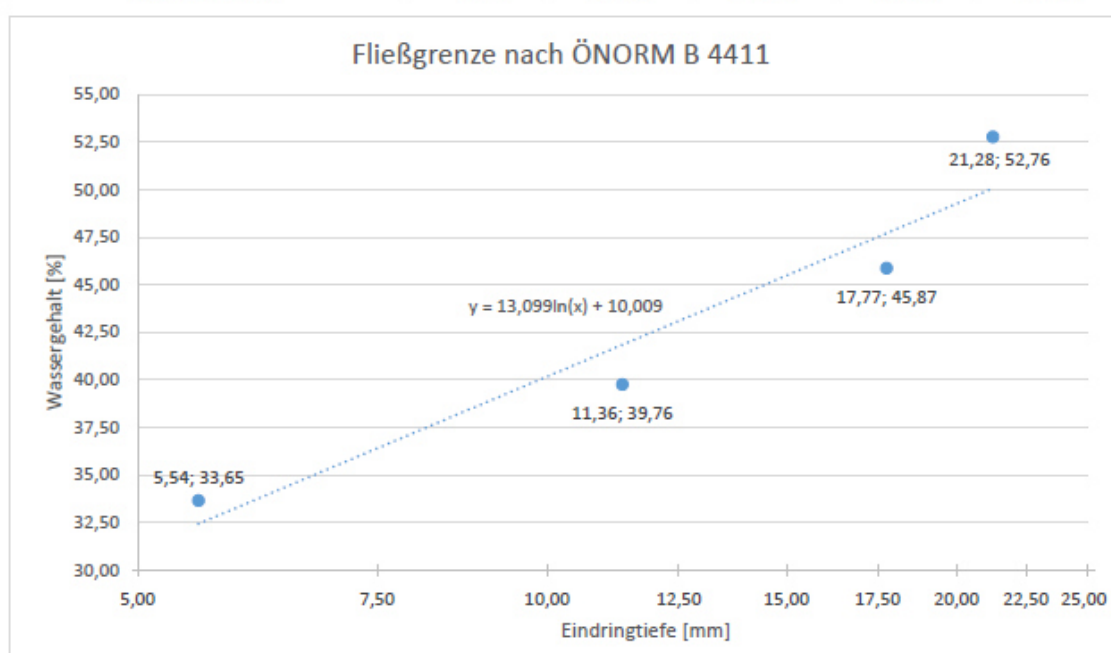
Fließgrenze $w_L$	%	34,05
-------------------	---	-------

## Fließgrenze Fallkegelversuch

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 14	Schmidt Hans	24.06.2016

Verwendeter Fallkegel	mm	10
-----------------------	----	----

Nummer Probe		1	2	3	4
Nummer Behälter		1/1	2/1	3/1	4/1
Masse Behälter	g	1,074	1,079	1,075	1,086
Masse Behälter+feuchte Probe	g	21,790	21,759	21,503	22,878
Masse Behälter+trockene Probe	g	14,635	15,256	15,692	17,391
Wassergehalt	%	52,76	45,87	39,76	33,65
Eindringtiefe	mm	21,28	17,77	11,36	5,54



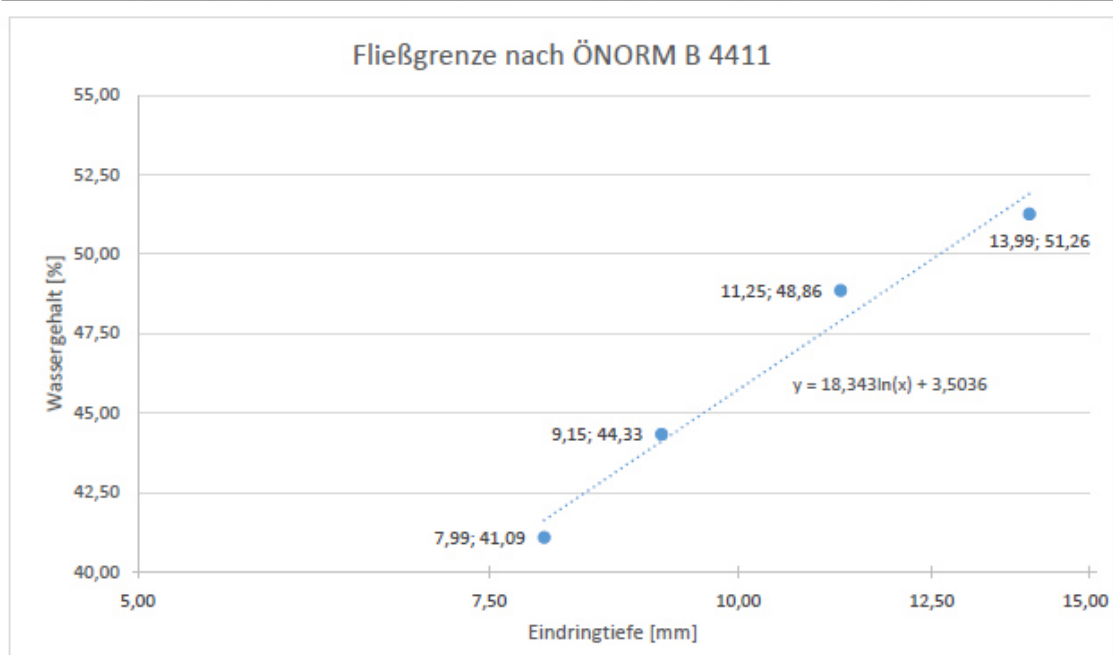
Fließgrenze $w_L$	%	40,17
-------------------	---	-------

## Fließgrenze Fallkegelversuch

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 15	Schmidt Hans	16.06.2016

Verwendeter Fallkegel	mm	10
-----------------------	----	----

Nummer Probe		1	2	3	4
Nummer Behälter		8/1	8/2	8/3	8/4
Masse Behälter	g	1,098	1,072	1,081	1,074
Masse Behälter+feuchte Probe	g	21,399	22,043	20,879	20,239
Masse Behälter+trockene Probe	g	14,736	14,936	14,798	14,658
Wassergehalt	%	48,86	51,26	44,33	41,09
Eindringtiefe	mm	11,25	13,99	9,15	7,99



Fließgrenze $w_L$	%	45,74
-------------------	---	-------



## 4 Formblätter Ausrollgrenze

Ausrollgrenze nach ÖNORM B4411						
Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:			
Masterarbeit HSc	TON 254	Schmidt Hans	09.06.2016			
Teilprobe 1						
Nummer Probe		1	2	3	4	Mittelwert
Nummer Behälter		1/4	2/4	3/4	4/4	
Masse Behälter	g	1,071	1,080	1,093	1,075	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	5,788	6,673	5,828	5,800	
Masse Behälter+trockene Probe	g	5,082	5,867	5,155	5,118	
Masse trockene Probe	g	4,011	4,787	4,062	4,043	
Wassergehalt	%	17,60	16,84	16,57	16,87	16,97
Anmerkungen						
Teilprobe 2						
Nummer Probe		5	6	7	8	Mittelwert
Nummer Behälter		1/5	2/5	3/5	4/5	
Masse Behälter	g	1,071	1,077	1,080	1,077	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	5,070	5,845	5,345	6,586	
Masse Behälter+trockene Probe	g	4,473	5,164	4,752	5,818	
Masse trockene Probe	g	3,402	4,087	3,672	4,741	
Wassergehalt	%	17,55	16,66	16,15	16,20	16,64
Anmerkungen						
Teilprobe 1; Mittelwert	%					16,97
Teilprobe 2; Mittelwert	%					16,64
Differenz	%					0,33
Ausrollgrenze	%					17,00

Ausrollgrenze nach ÖNORM B4411
--------------------------------

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	TON 254	Schmidt Hans	13.06.2016

Teilprobe 1						
Nummer Probe		1	2	3	4	Mittelwert
Nummer Behälter		1/4	2/4	3/4	4/4	
Masse Behälter	g	1,070	1,078	1,088	1,074	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	3,883	4,207	3,438	4,263	
Masse Behälter+trockene Probe	g	3,510	3,779	3,132	3,845	
Masse trockene Probe	g	2,440	2,701	2,044	2,771	
Wassergehalt	%	15,29	15,85	14,97	15,08	15,30
Anmerkungen						

Teilprobe 2						
Nummer Probe		5	6	7	8	Mittelwert
Nummer Behälter		1/5	2/5	3/5	4/5	
Masse Behälter	g	1,071	1,076	1,079	1,076	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	4,740	4,935	4,607	5,742	
Masse Behälter+trockene Probe	g	4,252	4,428	4,137	5,111	
Masse trockene Probe	g	3,181	3,352	3,058	4,035	
Wassergehalt	%	15,34	15,13	15,37	15,64	15,37
Anmerkungen						

Teilprobe 1; Mittelwert	%	15,30
Teilprobe 2; Mittelwert	%	15,37
Differenz	%	0,07
Ausrollgrenze	%	15,50

Ausrollgrenze nach ÖNORM B4411
--------------------------------

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 11	Schmidt Hans	14.07.2016

Teilprobe 1						
Nummer Probe		1	2	3	4	Mittelwert
Nummer Behälter		1/4	2/4	3/4	4/4	
Masse Behälter	g	1,070	1,080	1,088	1,076	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	4,102	4,122	5,153	4,513	
Masse Behälter+trockene Probe	g	3,456	3,494	4,291	3,790	
Masse trockene Probe	g	2,386	2,414	3,203	2,714	
Wassergehalt	%	27,07	26,01	26,91	26,64	26,66
Anmerkungen						

Teilprobe 2						
Nummer Probe		5	6	7	8	Mittelwert
Nummer Behälter		8/1	8/2	8/3	1/5	
Masse Behälter	g	1,077	1,074	1,083	1,074	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	4,246	4,921	4,244	4,911	
Masse Behälter+trockene Probe	g	3,579	4,127	3,597	4,109	
Masse trockene Probe	g	2,502	3,053	2,514	3,035	
Wassergehalt	%	26,66	26,01	25,74	26,43	26,21
Anmerkungen						

Teilprobe 1; Mittelwert	%	26,66
Teilprobe 2; Mittelwert	%	26,21
Differenz	%	0,45
Ausrollgrenze	%	26,50

Ausrollgrenze nach ÖNORM B4411
--------------------------------

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 12	Schmidt Hans	15.07.2016

Teilprobe 1						
Nummer Probe		1	2	3	4	Mittelwert
Nummer Behälter		1/1	1/2	1/3	1/4	
Masse Behälter	g	1,074	1,080	1,076	1,088	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	4,787	4,061	5,203	4,176	
Masse Behälter+trockene Probe	g	4,029	3,484	4,376	3,573	
Masse trockene Probe	g	2,955	2,404	3,300	2,485	
Wassergehalt	%	25,65	24,00	25,06	24,27	24,74
Anmerkungen						

Teilprobe 2						
Nummer Probe		5	6	7	8	Mittelwert
Nummer Behälter		1/6	2/6	3/6	4/6	
Masse Behälter	g	1,063	1,080	1,077	1,080	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	4,941	4,113	4,505	4,749	
Masse Behälter+trockene Probe	g	4,147	3,494	3,829	4,044	
Masse trockene Probe	g	3,084	2,414	2,752	2,964	
Wassergehalt	%	25,75	25,64	24,56	23,79	24,93
Anmerkungen						

Teilprobe 1; Mittelwert	%	24,74
Teilprobe 2; Mittelwert	%	24,93
Differenz	%	0,19
Ausrollgrenze	%	25,00

Ausrollgrenze nach ÖNORM B4411
--------------------------------

Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 13	Schmidt Hans	05.07.2016

Teilprobe 1						
Nummer Probe		1	2	3	4	Mittelwert
Nummer Behälter		1/4	2/4	3/4	4/4	
Masse Behälter	g	1,072	1,081	1,092	1,076	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	3,708	4,976	3,914	4,044	
Masse Behälter+trockene Probe	g	3,227	4,259	3,408	3,522	
Masse trockene Probe	g	2,155	3,178	2,316	2,446	
Wassergehalt	%	22,32	22,56	21,85	21,34	22,02
Anmerkungen						

Teilprobe 2						
Nummer Probe		5	6	7	8	Mittelwert
Nummer Behälter		1/5	2/5	3/5	4/5	
Masse Behälter	g	1,072	1,076	1,080	1,076	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	4,835	5,351	4,613	4,152	
Masse Behälter+trockene Probe	g	4,157	4,579	3,981	3,603	
Masse trockene Probe	g	3,085	3,503	2,901	2,527	
Wassergehalt	%	21,98	22,04	21,79	21,73	21,88
Anmerkungen						

Teilprobe 1; Mittelwert	%	22,02
Teilprobe 2; Mittelwert	%	21,88
Differenz	%	0,14
Ausrollgrenze	%	22,00

Ausrollgrenze nach ÖNORM B4411						
Projekt:	Labornummer:	Bearbeiter:	Datum:			
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 15	Schmidt Hans	16.06.2016			
Teilprobe 1						
Nummer Probe		1	2	3	4	Mittelwert
Nummer Behälter		1/6	2/6	3/6	4/6	
Masse Behälter	g	1,079	1,075	1,082	1,084	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	3,931	3,740	4,410	4,315	
Masse Behälter+trockene Probe	g	3,365	3,203	3,730	3,665	
Masse trockene Probe	g	2,286	2,128	2,648	2,581	
Wassergehalt	%	24,76	25,23	25,68	25,18	25,21
Anmerkungen						
Teilprobe 2						
Nummer Probe		5	6	7	8	Mittelwert
Nummer Behälter		1/2	2/2	3/2	4/2	
Masse Behälter	g	1,068	1,076	1,073	1,089	
Masse Behälter+feuchte Probe	g	4,151	4,355	4,531	4,540	
Masse Behälter+trockene Probe	g	3,517	3,692	3,855	3,871	
Masse trockene Probe	g	2,449	2,616	2,782	2,782	
Wassergehalt	%	25,89	25,34	24,30	24,05	24,89
Anmerkungen						
Teilprobe 1; Mittelwert	%					25,21
Teilprobe 2; Mittelwert	%					24,89
Differenz	%					0,32
Ausrollgrenze	%					25,00

## 5 Formblätter Rührversuche

Formblatt Rührversuch
-----------------------

Projekt:	Labornummer:	Name:	Datum:
Masterarbeit HSc	TON 254	Hans Schmidt	25.07.2016

Bestimmung Verklebungsindex							
Nummer Versuch	$m_{FR}$	$m_{FR+m_B}$	$m_Q$	$m_B$	$m_Q+m_{aB}$	$m_{aB}$	$I_V = \frac{m_{aB}}{m_B}$
[-]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[g]	[%]
1	508,6	2867,0	214,5	2358,4	679,0	464,5	19,70
2	509,7	2888,6	214,6	2378,9	637,2	422,6	17,76
3	510,0	2877,0	214,6	2367,0	697,4	482,8	20,40
4	508,6	2869,6	214,6	2361,0	615,2	400,6	16,97
5	509,8	2866,1	214,4	2356,3	633,7	419,3	17,79
6	510,0	2871,2	214,5	2361,2	638,1	423,6	17,94
<b>Durchschnitt</b>							<b>17,62</b>

Bestimmung Wassergehalt					
Nummer Versuch	Nummer Behälter	$m_G$	$m_G+m_P$ feucht	$m_G+m_P$ trocken	w
-	-	g	g	g	%
1	1/5	1,071	22,138	18,068	23,95
2	8/3	1,083	25,167	20,535	23,81
3	3/4	1,063	23,897	19,503	23,83
4	3/5	1,079	21,518	17,605	23,68
5	3/7	1,076	22,652	18,521	23,68
6	3/8	1,080	21,820	17,858	23,61
<b>Durchschnitt</b>					<b>23,76</b>

Bezeichnung	Masse
$m_{FR}$	Fuß+Rohr
$m_B$	Boden im Rohr
$m_Q$	Quirl
$m_{aB}$	anhaftender Boden
$m_G$	Gefäß
$m_P$	Probe

### Anmerkungen:

Versuche 1-3 wurden mit Neumaterial am 25.7.2016 durchgeführt.  
 Versuche 4-6 wurden mit "altem" Material vom 25.7.2016 am 26.7.2016 durchgeführt.

## Formblatt Rührversuch

Projekt:	Labornummer:	Name:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 11	Hans Schmidt	11.08.2016

Bestimmung Verklebungsindex							
Nummer Versuch	$m_{FR}$	$m_{FR+m_B}$	$m_Q$	$m_B$	$m_Q+m_{aB}$	$m_{aB}$	$I_V = m_{aB}/m_B$
-	g	g	g	g	g	g	%
1	508,6	2567,8	213,7	2059,2	418,6	204,9	9,95
2	510,4	2571,4	213,7	2061,0	446,2	232,5	11,28
3	510,5	2569,1	213,7	2058,6	477,0	263,3	12,79
4	510,5	2572,5	213,6	2062,0	495,8	282,2	13,69
5	510,5	2563,4	213,6	2052,9	490,1	276,5	13,47
6	510,5	2573,5	213,7	2063,0	476,3	262,6	12,73
<b>Durchschnitt</b>							<b>13,17</b>

Bestimmung Wassergehalt					
Nummer Versuch	Nummer Behälter	$m_G$	$m_G+m_P$ feucht	$m_G+m_P$ trocken	w
-	-	g	g	g	%
1	3/1	1,076	24,500	19,151	29,59
2	3/2	1,081	22,788	17,830	29,60
3	3/3	1,082	21,531	16,977	28,65
4	8/1	1,079	23,937	18,852	28,61
5	8/2	1,076	21,824	17,241	28,35
6	8/3	1,086	23,436	18,529	28,13
<b>Durchschnitt</b>					<b>28,82</b>

Bezeichnung	Masse
$m_{FR}$	Fuß+Rohr
$m_B$	Boden im Rohr
$m_Q$	Quirl
$m_{aB}$	anhaftender Boden
$m_G$	Gefäß
$m_P$	Probe

Anmerkungen:



## Formblatt Rührversuch

Projekt:	Labornummer:	Name:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 12	Hans Schmidt	09.08.2016

Bestimmung Verklebungsindex							
Nummer Versuch	$m_{FR}$	$m_{FR+m_B}$	$m_Q$	$m_B$	$m_Q+m_{aB}$	$m_{aB}$	$I_V = m_{aB}/m_B$
-	g	g	g	g	g	g	%
1	508,7	2681,2	213,8	2172,5	471,8	258,0	11,88
2	510,4	2688,1	213,8	2177,7	444,3	230,5	10,58
3	510,5	2686,8	213,7	2176,3	456,0	242,3	11,13
4	510,4	2688,1	213,7	2177,7	441,2	227,5	10,45
5	510,0	2690,1	213,7	2180,1	454,4	240,7	11,04
6	510,5	2686,6	213,8	2176,1	461,5	247,7	11,38
<b>Durchschnitt</b>							<b>10,92</b>

Bestimmung Wassergehalt					
Nummer Versuch	Nummer Behälter	$m_G$	$m_G+m_P$ feucht	$m_G+m_P$ trocken	w
-	-	g	g	g	%
1	3/1	1,077	23,781	18,230	32,36
2	3/2	1,081	22,655	17,449	31,81
3	3/3	1,082	24,055	18,535	31,63
4	8/1	1,077	21,817	16,839	31,58
5	8/2	1,074	23,020	17,816	31,08
6	8/3	1,082	22,240	17,255	30,82
<b>Durchschnitt</b>					<b>31,55</b>

Bezeichnung	Masse
$m_{FR}$	Fuß+Rohr
$m_B$	Boden im Rohr
$m_Q$	Quirl
$m_{aB}$	anhaftender Boden
$m_G$	Gefäß
$m_P$	Probe

Anmerkungen:

## Formblatt Rührversuch

Projekt:	Labornummer:	Name:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 15 homogenisiert	Hans Schmidt	28.07.2016

Bestimmung Verklebungsindex							
Nummer Versuch	$m_{FR}$	$m_{FR+MB}$	$m_Q$	$m_B$	$m_Q+m_{aB}$	$m_{aB}$	$I_v = m_{aB}/m_B$
-	g	g	g	g	g	g	%
1	508,7	2630,8	214,4	2122,1	555,5	341,1	16,07
2	510,0	2636,5	214,5	2126,5	512,9	298,4	14,03
3	510,5	2602,8	214,5	2092,3	503,5	289,0	13,81
4	509,6	2612,5	214,4	2102,9	500,0	285,6	13,58
5	510,3	2609,7	214,4	2099,4	490,5	276,1	13,15
6	510,2	2607,2	214,4	2097,0	534,4	320,0	15,26
<b>Durchschnitt</b>							<b>13,64</b>

Bestimmung Wassergehalt					
Nummer Versuch	Nummer Behälter	$m_G$	$m_G+m_P$ feucht	$m_G+m_P$ trocken	w
-	-	g	g	g	%
1	8/1	1,077	26,670	18,935	43,31
2	8/2	1,075	22,546	16,046	43,42
3	8/3	1,087	25,251	18,023	42,68
4	3/4	1,066	26,998	19,176	43,19
5	3/5	1,081	21,302	15,257	42,64
6	3/6	1,078	23,915	17,046	43,02
<b>Durchschnitt</b>					<b>43,04</b>

Bezeichnung	Masse
$m_{FR}$	Fuß+Rohr
$m_B$	Boden im Rohr
$m_Q$	Quirl
$m_{aB}$	anhaftender Boden
$m_G$	Gefäß
$m_P$	Probe

Anmerkungen:

Versuch 1: Vorschub anfangs zu klein (nur 0,16 mm/U statt 0,33 mm/U)

## Formblatt Rührversuch

Projekt:	Labornummer:	Name:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 17	Hans Schmidt	08.08.2016

Bestimmung Verklebungsindex							
Nummer Versuch	$m_{FR}$	$m_{FR+m_B}$	$m_Q$	$m_B$	$m_Q+m_{aB}$	$m_{aB}$	$I_V = \frac{m_{aB}}{m_B}$
-	g	g	g	g	g	g	%
1	508,5	2513,7	214,0	2005,2	403,0	189,0	9,43
2	509,8	2515,6	214,0	2005,8	404,1	190,1	9,48
3	510,3	2583,1	213,9	2072,8	486,7	272,8	13,16
4	510,3	2517,8	213,9	2007,5	422,7	208,8	10,40
5	510,4	2521,4	213,9	2011,0	494,7	280,8	13,96
6	510,2	2520,9	213,8	2010,7	423,0	209,2	10,40
<b>Durchschnitt</b>							<b>9,93</b>

Bestimmung Wassergehalt					
Nummer Versuch	Nummer Behälter	$m_G$	$m_G+m_P$ feucht	$m_G+m_P$ trocken	w
-	-	g	g	g	%
1	3/1	1,077	21,691	17,792	23,33
2	3/2	1,083	20,300	16,730	22,82
3	3/3	1,082	23,415	19,269	22,80
4	8/1	1,077	21,489	17,756	22,38
5	8/2	1,073	22,071	18,299	21,90
6	8/3	1,082	23,260	19,368	21,28
<b>Durchschnitt</b>					<b>22,42</b>

Bezeichnung	Masse
$m_{FR}$	Fuß+Rohr
$m_B$	Boden im Rohr
$m_Q$	Quirl
$m_{aB}$	anhaftender Boden
$m_G$	Gefäß
$m_P$	Probe

Anmerkungen:

## Formblatt Rührversuch

Projekt:	Labornummer:	Name:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 18	Hans Schmidt	23.08.2016

Bestimmung Verklebungsindex							
Nummer Versuch	$m_{FR}$	$m_{FR+m_B}$	$m_Q$	$m_B$	$m_Q+m_{aB}$	$m_{aB}$	$I_V = m_{aB}/m_B$
-	g	g	g	g	g	g	%
1	508,6	2562,0	213,4	2053,4	366,0	152,6	7,43
2	509,9	2563,1	213,4	2053,2	403,0	189,6	9,23
3	510,6	2561,3	213,3	2050,7	400,3	187,0	9,12
4	510,5	2563,4	213,3	2052,9	409,4	196,1	9,55
5	510,2	2562,3	213,3	2052,1	438,5	225,2	10,97
6	510,8	2563,4	213,2	2052,6	415,6	202,4	9,86
<b>Durchschnitt</b>							<b>9,44</b>

Bestimmung Wassergehalt					
Nummer Versuch	Nummer Behälter	$m_G$	$m_G+m_P$ feucht	$m_G+m_P$ trocken	w
-	-	g	g	g	%
1	3/1	1,076	22,683	18,317	25,32
2	3/2	1,080	22,523	18,217	25,13
3	3/3	1,081	21,637	17,529	24,98
4	8/1	1,077	23,038	18,707	24,57
5	8/2	1,073	21,837	17,708	24,82
6	8/3	1,082	21,690	17,635	24,50
<b>Durchschnitt</b>					<b>24,89</b>

Bezeichnung	Masse
$m_{FR}$	Fuß+Rohr
$m_B$	Boden im Rohr
$m_Q$	Quirl
$m_{aB}$	anhaftender Boden
$m_G$	Gefäß
$m_P$	Probe

Anmerkungen:

## Formblatt Rührversuch

Projekt:	Labornummer:	Name:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 19	Hans Schmidt	18.08.2016

Bestimmung Verklebungsindex							
Nummer Versuch	$m_{FR}$	$m_{FR+m_B}$	$m_Q$	$m_B$	$m_Q+m_{aB}$	$m_{aB}$	$I_V = m_{aB}/m_B$
-	g	g	g	g	g	g	%
1	508,7	2739,8	213,5	2231,1	439,0	225,5	10,11
2	510,0	2740,6	213,5	2230,6	447,3	233,8	10,48
3	510,7	2740,1	213,5	2229,4	444,4	230,9	10,36
4	510,6	2738,3	213,5	2227,7	409,3	195,8	8,79
5	510,5	2739,2	213,4	2228,7	433,1	219,7	9,86
6	510,6	2730,3	213,4	2219,7	426,4	213,0	9,60
<b>Durchschnitt</b>							<b>10,08</b>

Bestimmung Wassergehalt					
Nummer Versuch	Nummer Behälter	$m_G$	$m_{G+m_P}$ feucht	$m_{G+m_P}$ trocken	w
-	-	g	g	g	%
1	3/1	1,076	21,543	17,126	27,52
2	3/2	1,080	22,211	17,594	27,96
3	3/3	1,081	21,142	16,773	27,84
4	8/1	1,077	23,282	18,552	27,07
5	8/2	1,073	23,484	18,665	27,39
6	8/3	1,083	22,382	17,688	28,27
<b>Durchschnitt</b>					<b>27,67</b>

Bezeichnung	Masse
$m_{FR}$	Fuß+Rohr
$m_B$	Boden im Rohr
$m_Q$	Quirl
$m_{aB}$	anhaftender Boden
$m_G$	Gefäß
$m_P$	Probe

Anmerkungen:

## Formblatt Rührversuch

Projekt:	Labornummer:	Name:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 22	Hans Schmidt	03.08.2016

Bestimmung Verklebungsindex							
Nummer Versuch	$m_{FR}$	$m_{FR+m_B}$	$m_Q$	$m_B$	$m_Q+m_{aB}$	$m_{aB}$	$I_V = m_{aB}/m_B$
-	g	g	g	g	g	g	%
1	508,6	2526,7	214,3	2018,1	445,8	231,5	11,47
2	509,8	2531,7	214,2	2021,9	446,7	232,5	11,50
3	510,3	2531,9	214,1	2021,6	432,0	217,9	10,78
4	510,3	2532,1	214,1	2021,8	463,0	248,9	12,31
5	509,9	2537,6	214,1	2027,7	480,1	266,0	13,12
6	510,4	2548,3	214,1	2037,9	438,7	224,6	11,02
<b>Durchschnitt</b>							<b>11,19</b>

Bestimmung Wassergehalt					
Nummer Versuch	Nummer Behälter	$m_G$	$m_G+m_P$ feucht	$m_G+m_P$ trocken	w
-	-	g	g	g	%
1	3/1	1,077	24,310	18,428	33,90
2	3/2	1,080	22,729	17,440	32,33
3	3/3	1,080	22,791	17,591	31,49
4	8/1	1,077	23,128	17,833	31,60
5	8/2	1,073	22,066	17,115	30,86
6	8/3	1,082	21,551	16,795	30,27
<b>Durchschnitt</b>					<b>31,74</b>

Bezeichnung	Masse
$m_{FR}$	Fuß+Rohr
$m_B$	Boden im Rohr
$m_Q$	Quirl
$m_{aB}$	anhaftender Boden
$m_G$	Gefäß
$m_P$	Probe

**Anmerkungen:**

Versuch 5: Quirl ist zu tief in die Probe eingedrungen => Masse erhöht!



## Formblatt Rührversuch

Projekt:	Labornummer:	Name:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 23	Hans Schmidt	02.08.2016

Bestimmung Verklebungsindex							
Nummer Versuch	$m_{FR}$	$m_{FR+m_B}$	$m_Q$	$m_B$	$m_Q+m_{aB}$	$m_{aB}$	$I_V = m_{aB}/m_B$
-	g	g	g	g	g	g	%
1	508,7	2551,4	214,4	2042,7	454,5	240,1	11,75
2	509,8	2668,5	214,4	2158,7	458,0	243,6	11,28
3	510,1	2662,9	214,4	2152,8	430,4	216,0	10,03
4	510,1	2667,4	214,3	2157,3	463,3	249,0	11,54
5	509,8	2673,3	214,3	2163,5	422,7	208,4	9,63
6	510,2	2680,9	214,3	2170,7	461,7	247,4	11,40
<b>Durchschnitt</b>							<b>11,49</b>

Bestimmung Wassergehalt					
Nummer Versuch	Nummer Behälter	$m_G$	$m_G+m_P$ feucht	$m_G+m_P$ trocken	w
-	-	g	g	g	%
1	8/1	1,077	20,165	15,767	29,94
2	8/2	1,073	20,849	16,230	30,47
3	8/3	1,082	20,663	16,169	29,79
4	F1	2,336	24,242	19,278	29,30
5	F2	2,330	23,444	18,705	28,94
6	F3	2,336	24,965	19,955	28,44
<b>Durchschnitt</b>					<b>29,48</b>

Bezeichnung	Masse
$m_{FR}$	Fuß+Rohr
$m_B$	Boden im Rohr
$m_Q$	Quirl
$m_{aB}$	anhaftender Boden
$m_G$	Gefäß
$m_P$	Probe

Anmerkungen:

## Formblatt Rührversuch

Projekt:	Labornummer:	Name:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 24	Hans Schmidt	17.08.2016

Bestimmung Verklebungsindex							
Nummer Versuch	$m_{FR}$	$m_{FR+m_B}$	$m_Q$	$m_B$	$m_Q+m_{aB}$	$m_{aB}$	$I_V = m_{aB}/m_B$
-	g	g	g	g	g	g	%
1	508,6	2629,8	213,6	2121,2	466,5	252,9	11,92
2	510,0	2630,0	213,5	2120,0	502,5	289,0	13,63
3	510,0	2625,2	213,6	2115,2	523,3	309,7	14,64
4	510,5	2632,5	213,6	2122,0	467,1	253,5	11,95
5	510,4	2627,7	213,6	2117,3	486,8	273,2	12,90
6	510,4	2641,7	213,5	2131,3	485,9	272,4	12,78
<b>Durchschnitt</b>							<b>12,39</b>

Bestimmung Wassergehalt					
Nummer Versuch	Nummer Behälter	$m_G$	$m_G+m_P$ feucht	$m_G+m_P$ trocken	w
-	-	g	g	g	%
1	3/1	1,076	23,588	17,863	34,10
2	3/2	1,081	22,896	17,328	34,27
3	3/3	1,081	22,625	17,204	33,62
4	8/1	1,078	22,692	17,255	33,61
5	8/2	1,073	22,927	17,477	33,22
6	8/3	1,083	21,617	16,565	32,63
<b>Durchschnitt</b>					<b>33,58</b>

Bezeichnung	Masse
$m_{FR}$	Fuß+Rohr
$m_B$	Boden im Rohr
$m_Q$	Quirl
$m_{aB}$	anhaftender Boden
$m_G$	Gefäß
$m_P$	Probe

Anmerkungen:

## Formblatt Rührversuch

Projekt:	Labornummer:	Name:	Datum:
Masterarbeit HSc	Probe Nr. 25	Hans Schmidt	25.08.2016

Bestimmung Verklebungsindex							
Nummer Versuch	$m_{FR}$	$m_{FR+m_B}$	$m_Q$	$m_B$	$m_Q+m_{aB}$	$m_{aB}$	$I_V = \frac{m_{aB}}{m_B}$
-	g	g	g	g	g	g	%
1	508,5	2688,7	213,2	2180,2	459,9	246,7	11,32
2	510,0	2683,1	213,2	2173,1	452,8	239,6	11,03
3	510,6	2690,0	213,2	2179,4	491,4	278,2	12,76
4	510,5	2688,3	213,2	2177,8	467,0	253,8	11,65
5	510,5	2687,6	213,2	2177,1	470,3	257,1	11,81
6	510,4	2688,3	213,2	2177,9	441,9	228,7	10,50
<b>Durchschnitt</b>							<b>11,45</b>

Bestimmung Wassergehalt					
Nummer Versuch	Nummer Behälter	$m_G$	$m_G+m_P$ feucht	$m_G+m_P$ trocken	w
-	-	g	g	g	%
1	3/1	1,076	21,426	16,499	31,95
2	3/2	1,080	21,316	16,427	31,86
3	3/3	1,081	22,781	17,549	31,77
4	8/1	1,077	21,550	16,624	31,68
5	8/2	1,073	22,091	17,059	31,48
6	8/3	1,080	22,044	17,042	31,34
<b>Durchschnitt</b>					<b>31,68</b>

Bezeichnung	Masse
$m_{FR}$	Fuß+Rohr
$m_B$	Boden im Rohr
$m_Q$	Quirl
$m_{aB}$	anhaftender Boden
$m_G$	Gefäß
$m_P$	Probe

Anmerkungen: