



Jonas Mathis, BSc

Bodenmechanische Laborversuche für mittels Bindemittel behandelte,  
feinkorndominierte Böden des Rheinvorlandes

**Masterarbeit**

zur Erlangung des akademischen Grades

Diplom-Ingenieur

eingereicht an der

**Technischen Universität Graz**

Betreuer

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

Institut für Bodenmechanik, Grundbau

und Numerische Geotechnik

Mitbetreuer

Dipl.-Ing. Simon Oberhollenzer, BSc

Graz, Juni 2021



# Eidesstattliche Erklärung

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

.....  
Datum

.....  
Unterschrift





# Kurzfassung

## **Bodenmechanische Laborversuche für mittels Bindemittel behandelte, feinkorndominierte Böden des Rheinvorlandes**

Diese Masterarbeit befasst sich mit der Bindemittelbehandlung von feinkorndominierten Böden, welche als Anlehnung zur Errichtung von Hochwasserschutzdämmen verwendet werden kann. Dabei handelt es sich um die Dämme des Hochwasserschutzprojekts „RHESI Rhein - Erholung und Sicherheit“. Ziel dieser Arbeit ist es eine gut geeignete Bindemittelart und -dosierung für die Stabilisierung des vorhandenen Bodenmaterials zu finden.

Im Zuge der Laborarbeiten im Bodenmechanischen Labor der Technischen Universität Graz, wird eine Bodencharakterisierung (Korngrößenverteilung, Korndichte, Atterberg'sche Grenzen, natürlicher Wassergehalt, Organischer Anteil, Durchlässigkeit, Verdichtungsgrad, Einaxiale Druckfestigkeit, Scherfestigkeit) der drei Ausgangsmaterialien durchgeführt. Bei den Ausgangsmaterialien handelt es sich um ein Schluff/Sand-, ein Schluff/Feinsand Gemisch- und einen schwach tonigen, schwach feinsandigen Schluff.

Der Großteil der Arbeit befasst sich mit der Materialbehandlung der Ausgangsmaterialien. Zur Stabilisierung werden reiner Weißfeinkalk, Weißfeinkalk/Zement im Mischverhältnis 50/50 % und reiner Zement verwendet. Es werden die Mischungsverhältnisse 3-, 6- und 9 Massenprozent der Trockenmasse beprobt. Dabei werden Verdichtungsversuche nach Proctor, Scherversuche als auch einaxiale Druckversuche durchgeführt. Die Druckfestigkeit wird nach 7- und 28 Tagen in Abhängigkeit vom Wassergehalt durchgeführt.

Die Erkenntnisse der Arbeit sind, dass die Behandlung der untersuchten Böden mit Bindemitteln zu einer deutlichen Änderung/Verbesserung der Materialeigenschaften führt. Zu bevorzugen sind für die Bodenmaterialien die Stabilisierung mit dem Mischbindemittel Weißfeinkalk/Zement mit einer Dosierungsmenge zwischen 3,0 und 6,0 M.-% der Trockenmasse.



# Abstract

## **Soil mechanical laboratory testing for binder improved, fine-grained soils of the Rhine-foreland**

This master thesis deals with the binder treatment of fine-grained soils to increase the stability of a flood protection dam. The treated dams belong to the flood protection project "RHESI Rhein - Erholung und Sicherheit ". The aim of this work is to find a suitable binder type and dosage for the stabilization of the existing soil material.

During the laboratory work in the Soil Mechanics Laboratory of the University of Technology Graz, a soil characterization (grain size distribution, grain density, Atterberg limits, natural water content, organic content, permeability, degree of compaction, unconfined compressive strength, shear strength) of the three original materials is carried out. The materials are a silt/sandy, a silt/fine sand and a silt/weak clay soil mixture.

The biggest part of the work deals with binder treatment of the raw materials. Pure burnt lime, burnt lime/cement in a 50/50 % mixing ratio and pure cement are used for stabilization. The mixing ratios of 3, 6 and 9 mass percent of dry matter are sampled. Additionally, compaction tests according to Proctor, shear tests as well as unconfined compression tests are carried out. The compressive strength is determined after 7 and 28 days depending on the water content.

The findings of the work are that the treatment with binders significantly affects the material properties. For the soil materials, stabilization with the mixed binder burnt lime/cement with the dosage amount between 3.0 to 6.0 wt.% of the dry mass is to be preferred.



# Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei allen bedanken, die mich während meiner Studienzeit und bei der Erstellung meiner Masterarbeit unterstützt haben.

Zuerst gebührt mein Dank Herrn Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Roman Marte, welcher mir die nachfolgende Masterarbeit ermöglicht hat und mir immer mit Rat und Tat zur Seite stand. Dankeschön für die hervorragende Zusammenarbeit, die hilfreichen Anregungen und Tipps während der ganzen Zeit.

Ein großes Dankeschön möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Simon Oberhollenzer aussprechen. Durch die ständige Erreichbarkeit, die tatkräftige Mithilfe sowie die zahlreichen Anregungen und Ratschläge ist diese Masterarbeit erst in diesem Ausmaß möglich geworden. Ich wünsche ihm noch ein gutes Gelingen bei seiner Dissertation.

Bedanken möchte ich mich auch bei allen Mitarbeitern des Bodenmechanik Labor, welche mir bei der Durchführung sämtlicher Laborprüfungen unterstützten und mir immer physisch als auch moralisch zur Seite standen.

Ein herzliches Dankeschön gilt allen Mitgliedern und Einsitzern des Geotechnik Zeichensaals, die mich während meiner Studienzeit begleitet haben. Ich danke euch für die gemeinsame Zeit im und außerhalb des Zeichensaals und hoffe auch weiterhin auf einige lustige Erlebnisse.

Den größten Dank möchte ich an dieser Stelle an meine Familie richten. Dabei möchte ich mich besonders bei meinen Eltern bedanken, welche mir dieses Studium erst ermöglicht haben. Durch eure Unterstützung, Aufopferung und ständigen Zuspruch ist ein Studium in Graz erst möglich geworden.

DANKE!



# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung, Zielsetzung und Aufbau der Arbeit</b>	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>4</b>
2.1	Projekt RHESI	4
2.1.1	Projektziele	4
2.1.2	Hochwasserschutz	5
2.1.3	Bauablauf	5
2.2	Qualitätsmanagement stabilisierter Dammschüttungen	7
2.3	Grundlagen zu Bodenstabilisierung und Eignungsprüfungen	8
2.3.1	Bodenstabilisierung	8
2.3.2	Eignungsprüfung	14
<b>3</b>	<b>Untersuchungskonzept und Versuchsdurchführung</b>	<b>19</b>
3.1	Laborprogramm	19
3.2	Laborkonzept	19
3.2.2	Bodencharakterisierung ohne Bindemittelzugabe	20
3.2.3	Bodenverbesserung mit Bindemittelzugabe	20
<b>4</b>	<b>Labortechnische Charakterisierung des Ausgangsmaterials</b>	<b>23</b>
4.1	Bodencharakterisierung	23
4.1.1	Korngrößenverteilung ( <i>ÖNORM EN ISO 17892-4</i> , 2017)	23
4.1.2	Korndichte ( <i>ÖNORM EN ISO 17892-3</i> , 2016)	27
4.1.3	Atterberg'sche Grenzen ( <i>ÖNORM EN ISO 17892-12</i> , 2020)	28
4.1.4	Wassergehalt ( <i>ÖNORM EN ISO 17892-1</i> , 2015)	29
4.1.5	Organischer Anteil ( <i>ÖNORM B 4424</i> , 2016)	30
4.2	Durchlässigkeit ( <i>ÖNORM EN ISO 17892-11</i> , 2019)	31
4.3	Verdichtungsgrad	33
4.4	Festigkeit	34
4.4.1	Einaxialer Druckversuch	34
4.4.2	Scherversuch	35
<b>5</b>	<b>Labortechnische Charakterisierung mit Bindemittelstabilisierung</b>	<b>36</b>
5.1	Schluff-Sand-Bodengemisch	36

5.1.1	Verdichtungsgrad	36
5.1.2	Festigkeit	38
5.2	Schluff-Feinsand-Bodengemisch	40
5.2.1	Verdichtungsgrad	40
5.2.2	Festigkeit	41
5.3	Schwach toniges Schluff-Gemisch	42
5.3.1	Verdichtungsgrad	42
5.3.2	Festigkeit	44
5.4	Wasserverlust durch Bindemittelbehandlung	45
<b>6</b>	<b>Diskussion</b>	<b>48</b>
<b>7</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick</b>	<b>51</b>
<b>8</b>	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>52</b>
<b>9</b>	<b>Anhang</b>	<b>54</b>
9.1	Anhang A – Bodencharakterisierung Ausgangsmaterial	55
9.2	Anhang B - Scherversuche mit Bindemittelbehandlung	81
9.3	Anhang C – Proctorversuche mit Bindemittelbehandlung	94
9.4	Anhang D – Einaxial Druckversuche mit Bindemittelbehandlung	111



# Formelzeichen und Abkürzungen

## Abkürzungen

3P / 3P Geotechnik	3P Geotechnik ZT GmbH
EHQ	Extrem Hochwasserereignis (>300 Jährlichkeit)
HQ100/300	100/300 - jährliches Hochwasser
IRR	Internationale Rheinregulierung
RHESI	Rhein Erholung und Sicherheit
RVS	Richtlinien und Vorschriften für das Straßenwesen
TUG	Technische Universität Graz

## Kleine Buchstaben

d	[mm]	Korndurchmesser
m <sub>d</sub>	[g]	Masse trocken
m <sub>w</sub>	[g]	Masse feucht
n <sub>a</sub>	[%]	Luftporenanteil
w	[%]	Wassergehalt
w <sub>L</sub>	[%]	Fließgrenze
w <sub>opt</sub>	[%]	Optimaler Wassergehalt
w <sub>P</sub>	[%]	Ausrollgrenze

## Große Buchstaben

A <sub>i</sub>	[m <sup>2</sup> ]	Querschnittsfläche
C <sub>C</sub>	[-]	Krümmungszahl
C <sub>U</sub>	[-]	Ungleichförmigkeitszahl
D <sub>10</sub>	[mm]	Korndurchmesser bei 10 % Massenanteil der Gesamtmasse
D <sub>30</sub>	[mm]	Korndurchmesser bei 30 % Massenanteil der Gesamtmasse
D <sub>60</sub>	[mm]	Korndurchmesser bei 60 % Massenanteil der Gesamtmasse
H <sub>i</sub>	[m]	Ausgangsprobenhöhe
I <sub>P</sub>	[-]	Plastizitätszahl

$L_0$	[mm]	Ursprungslänge vor Trocknung
$L_d$	[mm]	Trockenlängen
M.-%	[%]	Massenprozent
N	[kN]	Vertikale Kraft
P	[kN]	Vertikallast

## Griechische Buchstaben

$\Delta H$	[-]	Höhenänderung des Probenkörpers
$\varepsilon_v$	[-]	Vertikale Stauchung
$\rho$	[Mg/m <sup>3</sup> ]	Dichte
$\rho_d$	[Mg/m <sup>3</sup> ]	Trockendichte
$\rho_{Pr}$	[g/cm <sup>3</sup> ]	Proctordichte
$\sigma_v$	[kPa]	Vertikalspannung
$\tau$	[kPa]	Scherspannung

# 1 Einleitung, Zielsetzung und Aufbau der Arbeit

In der gegenständlichen Masterarbeit wird die Bindemittelbehandlung von feinkorndominierten Böden labortechnisch untersucht, um Grundlagen für zur Errichtung eines Hochwasserschutzdammes zu erarbeiten.

Beim Projekt „RHESI“ wird der Rhein zwischen der Illmündung bei Feldkirch und dem Bodensee ausgebaut und ökologisch aufgewertet. Dabei wird das Flussbett verbreitert und von einem HQ-100 auf ein HQ-300 erhöht, wodurch auch neue Naherholungsgebiete entstehen sollen. Mit Hilfe dieser Masterarbeit soll die Materialbehandlung feinkorndominierten „Lettenmaterials“ mit Bindemittel für den neuen Hochwasserschutzdamm untersucht und beurteilt werden.

Ziel dieser Masterarbeit ist es für das Projekt „RHESI Rhein - Erholung und Sicherheit“ ein geeignetes Bindemittel und die erforderliche Zugabemenge von diesem, für eine Stabilisierung mit dem vorhandenen feinkörnigen Bodenmaterial des Rheinvorlandes zu finden. Dazu gehört die Definition der Dosiermenge und Bindemittelart. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Bindemittel Weißfeinkalk, Weißfeinkalk/Zement-Gemisch (50/50 %) und Zement gemischt mit dem feinkörnigen Bodenmaterial beprobt. Es werden drei unterschiedliche Bodenarten (Schluff/Sand-Gemisch, Schluff/Feinsand-Gemisch, Toniger Schluff – im Detail gering toniger, gering feinsandiger Schluff) labortechnisch untersucht.

Die Arbeit gliedert sich in ein einführendes Kapitel in dem einige wesentliche Grundlagen des RHESI-Projekts erläutert werden, sodann in ein Kapitel zur Erläuterung der theoretischen Grundlagen der durchgeführten Laborversuche, die Beschreibung des durchgeführten Laborprogramms, die Darstellung und Erläuterung der Laborergebnisse und eine abschließende Diskussion und Schlussfolgerung der Ergebnisse.

Zuerst wird das Projekt RHESI genauer erläutert und näher auf die Grundlagen von Bodenstabilisierungen eingegangen. Das Laborprogramm besteht aus einer Bodencharakterisierung der Ausgangsmaterialien und einem weiteren Programm für die bindemittelbehandelten Gemische. Dieses besteht aus Versuchen zur Bestimmung der Festigkeit und Verdichtbarkeit. Abschließend werden die Ergebnisse diskutiert und mit den vorhandenen Daten der 3P Geotechnik ZT GmbH, welche für das RHESI-Projekt schon Grundsatz-Versuche durchgeführt hat, verglichen.

## 2 Grundlagen

### 2.1 Projekt RHESI

Das Hochwasserschutzprojekt „RHESI Rhein – Erholung und Sicherheit“ ist das Entwicklungskonzept Alpenrhein der Internationalen Rheinregulierung IRR, zur Verbesserung des Hochwasserschutzes und den ökologischen Gegebenheiten. Das Projektgebiet erstreckt sich zwischen der Illmündung in den Rhein bei Feldkirch bis zum Bodensee. Im Rahmen der ökologischen Aufwertung soll das Flussbett des Rheins verbreitert und gleichzeitig der Hochwasserschutz von einem HQ-100 zu einem HQ-300 Bemessungswasser (bzw. einem EHQ-Bemessungsereignis) erhöht werden. Außerdem sollen zusätzliche Naherholungsräume entlang des Flusses entstehen. (*Internationale Rheinregulierung, 2021*)

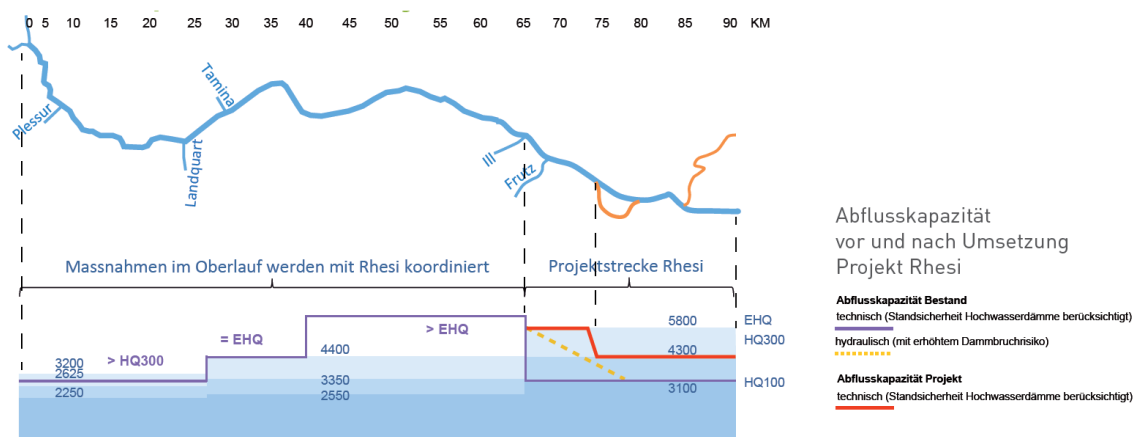


Abbildung 1: Projektstrecke RHESI mit Abflusskapazitäten (*Rhesi\_Folder Gesamtprojekt, 2021*)

#### 2.1.1 Projektziele

Die Ziele des Projekts „RHESI Rhein – Erholung und Sicherheit“ sind folgende:

- Abflussmenge von 3100 m<sup>3</sup>/s auf 5800 m<sup>3</sup>/s zwischen Illmündung und Diepoldsauer Durchstich erhöhen und im unteren Abschnitt auf 4300 m<sup>3</sup>/s.
- Stabilisieren der Flusssohle, durch Vermeidung von Erosion und Auflandung
- Sicherstellung der Trinkwasserversorgung während und über die Bauzeit hinaus
- Grundwasserspiegel nach Möglichkeit im Niederwasserfall anheben und im Hochwasserfall konstant halten
- Aufwertung der Rheinlandschaft als Naherholungsgebiet
- Landwirtschaftliche Flächen schaffen und ersetzen
- Instandsetzung und Erhalt, Kosteneffizient umsetzen  
 (*Rhesi\_Folder Gesamtprojekt, 2021*)

## 2.1.2 Hochwasserschutz

Der Rhein zwischen Feldkirch und dem Bodensee ist vor dem Ausbau auf eine Bemessungshochwasser HQ100 ausgebaut, was einer Abflussmenge von 3100 m<sup>3</sup>/s entspricht. Mit dem Entwicklungskonzept „RHESI“ wird die Abflussmenge dann auf 5800 m<sup>3</sup>/s im Bereich oberhalb vom Diepoldsauer Durchstichs und auf 4300 m<sup>3</sup>/s im unteren Bereich erhöht. Die neue Ausbaustufe würde somit mindestens einem HQ300 entsprechen. Die Erhöhung der Hochwassersicherheit erfolgt durch Abtragen der Mittelgerinnewehren und Teilen des Vorlandes, dadurch kann der Durchflussquerschnitt erhöht werden, ohne die Hochwasserschutzdämme auszubauen. Durch den breiteren Flusslauf kann sich das Wasser im dynamischen Gerinnebereich selbstständig ausbreiten und eines der wesentlichen Ziele des Projektes nämlich die ökologische Aufwertung kann erreicht werden. (*Rhesi\_Folder Gesamtprojekt*, 2021)

## 2.1.3 Bauablauf

Der Bauablauf ist in vier Bauphasen unterteilt, welche in der Abbildung 2 graphisch dargestellt sind. In der Phase 0 erfolgt die Bauvorbereitung, welche die Baustellenerschließung, den Bau neuer Trinkwasserbrunnen und die Verlegung von Gas- und Stromversorgung beinhaltet. In der Phase 1 erfolgen dann der Abtrag und Neubau bzw. Sanierung der Hochwasserschutzdämme. Als Baumaterial wird das zum Teil bestehende Dammmaterial und Material aus dem Vorland genutzt. Der Hochwasserschutzdamm wird dabei in Teilabschnitten in Schichten und mit Bindemittel stabilisiert, verdichtet aufgebaut. Bauphase 1 erfolgt immer in definierten Bauabschnitten mit verstärkter Hochwasserüberwachung und beinhaltet Maßnahmen bei aufkommendem Hochwasser. In Phase 2 ist der Hochwasserschutzdamm bereits fertig gestellt und die Mittelgerinnewehren und Bühnen im Vorland werden abgetragen und abgeschwemmt. In der letzten Phase, der Bauphase 3, wird der geplante Zustand mit dem breiten dynamischen Gerinnebereich fertiggestellt. Der gesamte Baustellenbereich wird abschließend rekultiviert und renaturiert. (*RHESI\_Bau\_Materialwirtschaft*, 2021)

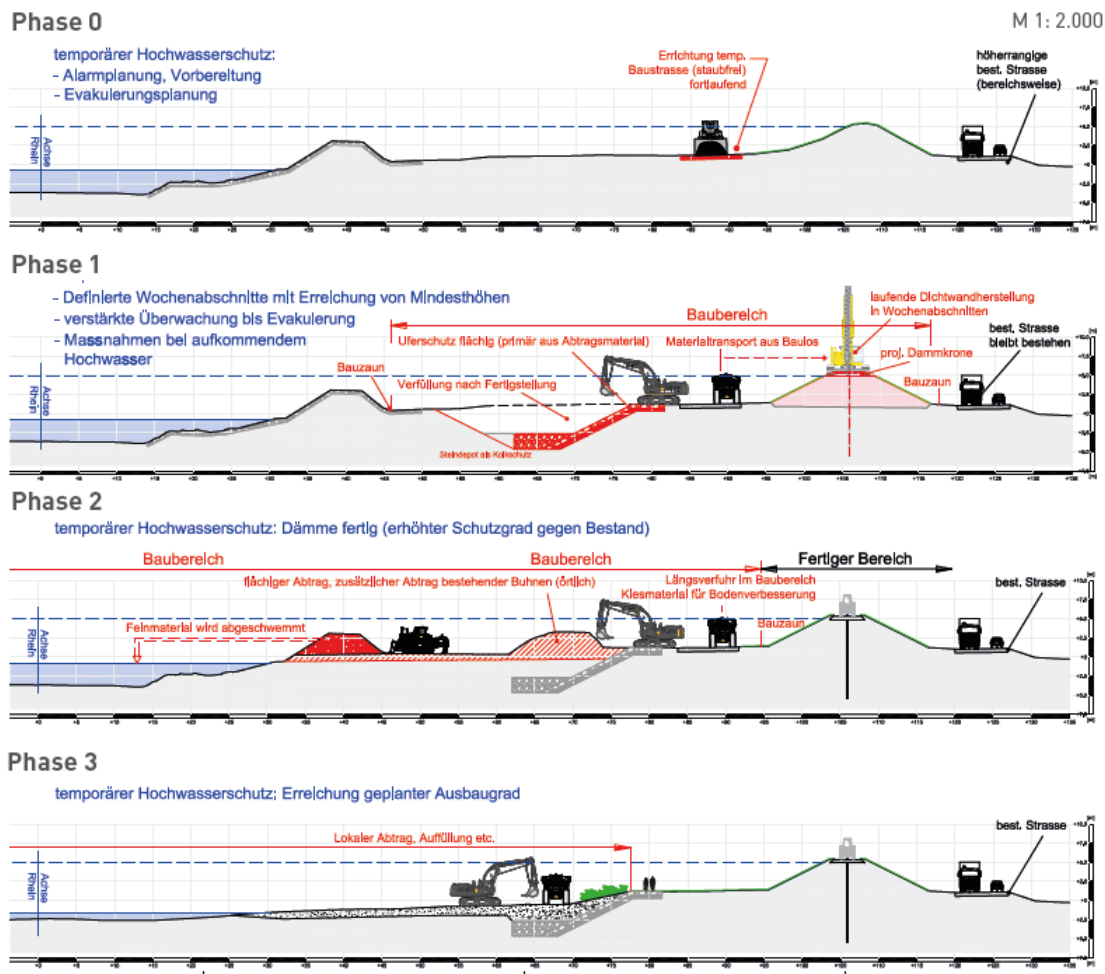


Abbildung 2: Bauablauf für Verbreiterung des Flusslaufes inklusive Dammerneuerung (RHESI\_Bau\_Materialwirtschaft, 2021)

In der folgenden Abbildung 3 sind die vier Bauabschnitte eingezeichnet und ein grober Ablaufplan für die Bauzeit von 20 Jahren dargestellt. Dabei werden zu Beginn die Abschnitte mit der höchsten Relevanz für Hochwasser und den größten Defiziten in Angriff genommen, was auf Abschnitt 2 und 3 zutrifft. Beim Bauablauf ist darauf zu achten, dass die Trinkwasserbrunnen nur für ein gewisse Dauer, wie auch nicht zu viele Brunnen gleichzeitig, außer Betrieb genommen werden. (RHESI\_Bau\_Materialwirtschaft, 2021)

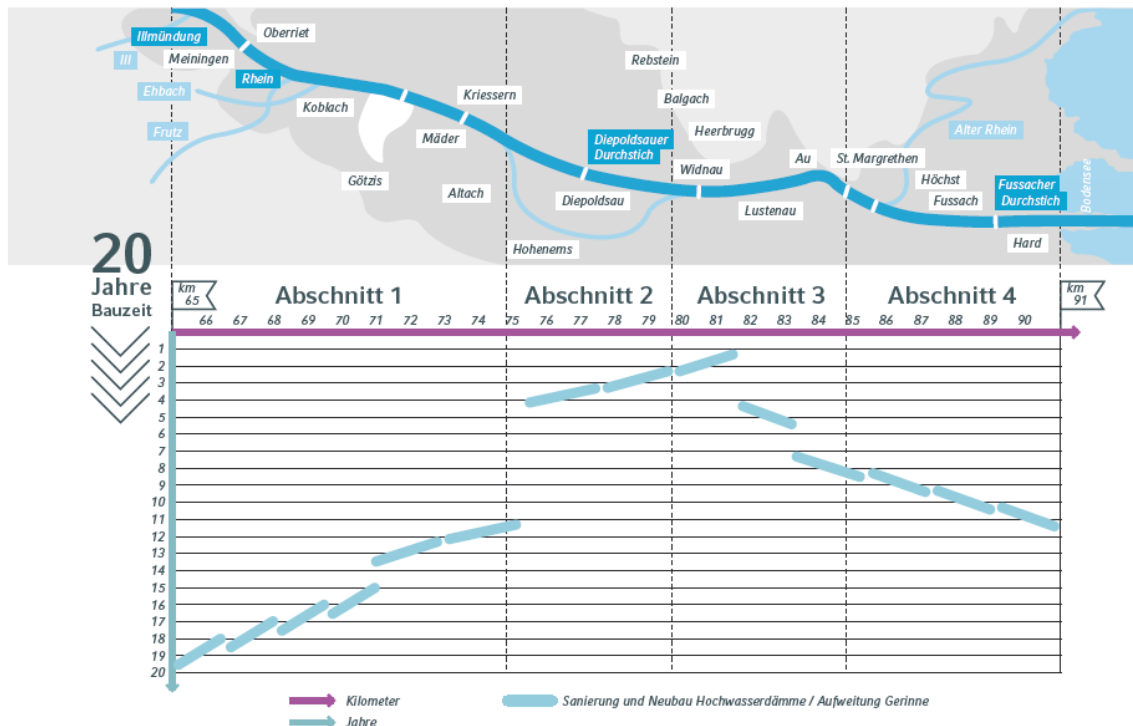


Abbildung 3: Bauabschnitte mit Bauzeiten (*RHESI\_Bau\_Materialwirtschaft*, 2021)

## 2.2 Qualitätsmanagement stabilisierter Dammschüttungen

Im folgenden Kapitel wird der reguläre Ablauf des Baus einer Dammschüttung mit Bodenstabilisierung gemäß (*RVS 11.02.45*, 1978) beschrieben. Dabei wird die Voruntersuchung im Labor, auf Basis dessen Ergebnissen ein Probedamm erstellt wird, kurz beschrieben. Dann wird auf die Qualitätssicherung und Abnahmeprüfung während bzw. nach Fertigstellung des Baus eingegangen. Diese Arbeit konzentriert sich auf die Voruntersuchungen im Laboratorium. (*RVS 11.02.45*, 1978)

- **Voruntersuchung im Laboratorium**

Im Zuge der Voruntersuchung wird zwischen Untersuchungen des Bodens mit und ohne Stabilisierung unterschieden. Bei den vorangehenden Untersuchungen ohne Bindemittel, wird der natürliche Wassergehalt, die Kornverteilung, die Konsistenzgrenzen nach Atterberg, die organischen Bestandteile und die Verdichtbarkeit nach Proctor bestimmt. Mit diesen Untersuchungsergebnissen können anschließend die Bindemittelmengen und -arten für das weiterführende Laborprogramm definiert werden. Nach der Wahl der Mischungen wird gemäß TP BF-StB B11.3 die Durchführung von Proctorversuchen, Einaxialen Druckversuchen und CBR-Versuchen empfohlen. Mittels dieser Laborergebnisse kann die ideale Bindemittelart und Bindemittelmenge ermittelt werden mit welcher anschließend der Probeschüttedamm errichtet wird. (*RVS 11.02.45*, 1978)

- **Probedamm**

Anhand der Laborergebnisse wird die Art und Menge des Stabilisierungsmittel festgestellt. Auf einem Versuchsfeld wird daraufhin, mit dieser Materialmischung eine Dammschüttung unter Baustellenbedingung aufgeschüttet. Die Herstellung des Probedamms sollte unter geotechnischer Begleitung erfolgen und anhand von Feldversuchen, beispielsweise Lastplattenversuche, überprüft werden. (Witt, 2018, pp. 132–133)

- **Qualitätssicherung während den Dammbauarbeiten**

Eine Bauüberwachung sollte während der gesamten Bauausführung durchgeführt werden. Dabei ist auf folgende Punkte zu achten:

- Qualität und Menge des Bindemittels
- Zerkleinerung und Durchmischung des Boden-Bindemittel-Gemischs (keine Bindemittelnester, gleichmäßiger Farbton)
- Bindemittelmenge an Wassergehalt angepasst ist
- Schichtdicken eingehalten werden
- Reaktionszeiten beachtet werden
- Verdichtungsgrad erreicht wird

(RVS 11.02.45, 1978)

- **Abnahmeprüfung (Bauabnahme)**

Nach Fertigstellung der Dammschüttung ist eine Abnahmeprüfung zu machen, diese umfasst Stichproben zur Feststellung der Schichtdicken und die Messung des erreichten Verdichtungsgrades. (RVS 11.02.45, 1978)

## 2.3 Grundlagen zu Bodenstabilisierung und Eignungsprüfungen

In diesem Kapitel werden die Grundlagen zur Bodenstabilisierung und der Eignungsprüfungen beschrieben, dabei wird auf die Bodenstabilisierung durch die verschiedenen Bindemittelarten und die beiden Einbauverfahren eingegangen. Abschließend werden noch die verschiedenen Regelwerke erläutert und die darin enthaltene Eignungsprüfung laut TP BF-StB B11.3 genauer beschrieben.

### 2.3.1 Bodenstabilisierung

Bodenstabilisierung hat das Ziel die mechanischen Eigenschaften des Bodens durch Beimengen von Bindemitteln gezielt zu verbessern, dies erfolgt durch physikalisch-chemische Prozesse. Durch die Bindemittelinbringung wird sowohl die Einbaubarkeit als auch die Tragfähigkeit erhöht. Bodenstabilisierung wurde ursprünglich größtenteils für den Straßen- bzw. Flugplatzbau entwickelt, heutzutage kommt es allerdings auch im Eisenbahnbau, Wasserbau und Hochbau zum Einsatz. (Witt, 2018, p. 123)



### 2.3.1.1 Bindemittelarten

Im Allgemeinen wird zwischen den folgenden Bindemittelarten je nach Anforderung unterschieden:

- Kalk
  - Ungelöschter Kalk (Brantkalk)
  - Gelöschter Kalk (Kalkhydrat)
  - Hydraulischer Kalk
- Zement
  - Portlandzemente
  - Spezialzemente
- Mischbindemittel aus genormten Ausgangsstoffen
  - Gemische aus Kalk + Zement
  - Gemische aus Kalk + hydraulischen Bestandteilen

Es können aber auch Spezialprodukte wie Flugasche oder Schlacke in speziellen Fällen als Zusatz beigefügt werden. In Abbildung 4 sind die Anwendungsgrenzen von den unterschiedlichen Bindemittelarten in Abhängigkeit zur Kornverteilung dargestellt. Darauf ist ersichtlich das hydraulische und bituminöse Bindemittel für grobkörnigere Böden geeignet sind und für feinkörnigere Böden kalkhaltige Bindemittel besser geeignet sind. (Witt, 2018, p. 124)

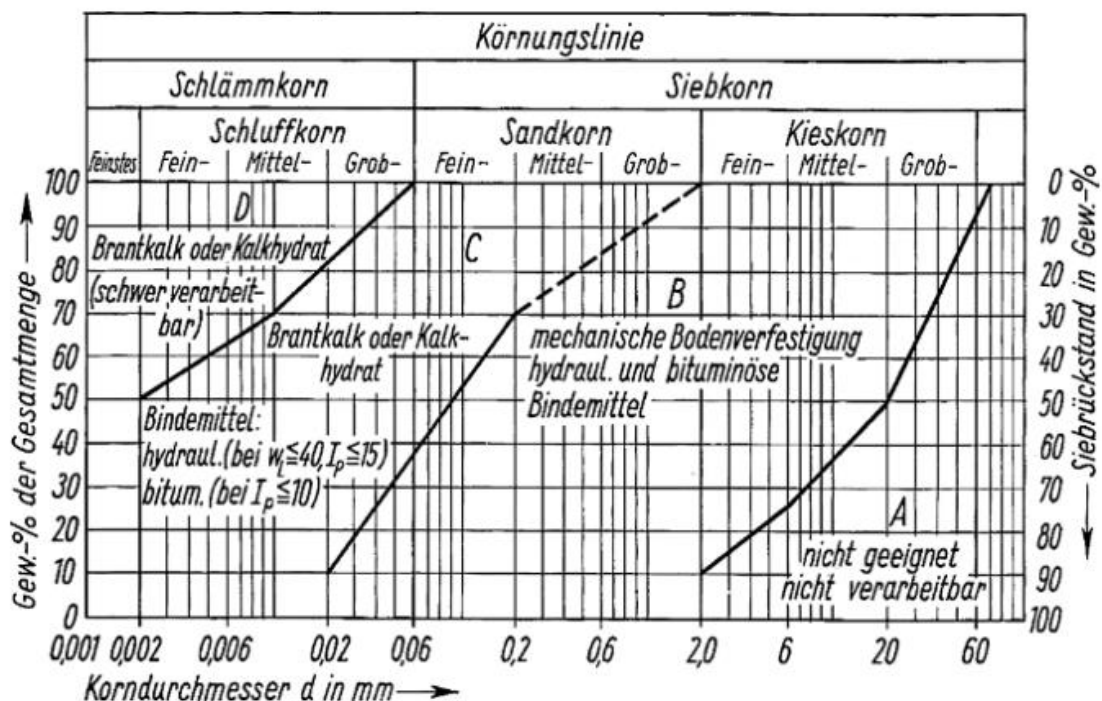
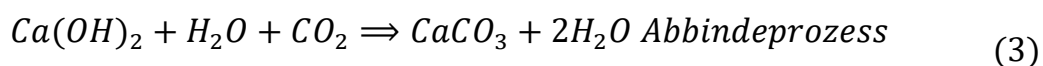
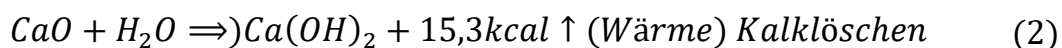
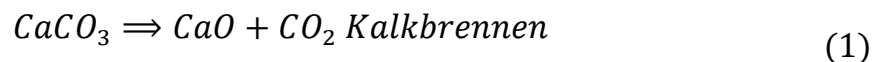


Abbildung 4: Anwendungsgrenzen von Bindemitteln zur Bodenstabilisierung in Abhängigkeit von der Korngrößenverteilung (Witt, 2018, p. 124)

#### • Kalkstabilisierung

Bei der Kalkstabilisierung wird zur Verbesserung von feinkörnigen Böden Brantkalk, Kalkhydrat oder hydraulischer Kalk eingesetzt. Beim Einbringen von

Kalk in den Boden findet durch die chemische Reaktion eine Reduktion des Wassers im Boden statt. Diese Reduktion erfolgt sowohl durch Wasserbindung als auch durch Wärmeentwicklung (und Verdunstung) zufolge der chemischen Reaktion, wobei letzteres nur bei Branntkalk erfolgt. Die Wärme entsteht dabei durch den Löschprozess des Branntkalks, welcher sich aus diesem Grund für zu feuchte und zu nasse Böden besonders eignet. Durch die Wassergehaltsreduktion flacht sich die Proctorkurve ab und der optimale Wassergehalt verschiebt sich etwas in Richtung zur „nassen Seite“. Bei zunehmendem Bindemittelgehalt wird die Kurve flacher und somit die Erreichung einer bestimmten (Mindest-) Trockendichte in Bezug zur Porctordichte einfacher möglich, wie in Abbildung 5 ersichtlich. Die Auswirkungen nach den ersten 24 Stunden sind in der Regel die Abnahme der Plastizität  $I_p$  und einer Erhöhung der Ausrollgrenze  $w_p$ . Abhängig von den Bodeneigenschaften werden üblicherweise zwischen 2,0 und 6,0 M.-% der Trockenmasse an Kalk eingemischt. Beim Einbau von kalkhaltigen Bindemitteln ist es wichtig die Reaktionszeit von 2 Stunden bei Kalkhydrat und 6 Stunden bei Branntkalk einzuhalten, um die vollkommene Reaktion zu gewährleisten. Die puzzolanischen Reaktionen des Kalkhydrats erhöhen in einer Langzeitreaktion, über 1 bis 5 Jahre, die Festigkeitseigenschaften des Bodens. Durch die Stabilisierung mit Kalkhydrat steigt durch die Krümelbildung in Folge der chemischen Reaktion die Wasserdurchlässigkeit an. Der Reibungswinkel steigt rasch innerhalb der ersten Woche nach Einmischen des Bindemittels an, während die Kohäsion parallel zur einaxialen Druckfestigkeit über einen längeren Zeitraum anwächst. Die Umwandlungsprozesse werden in folgenden chemischen Reaktionen beschrieben:



(Witt, 2018, pp. 125–128)

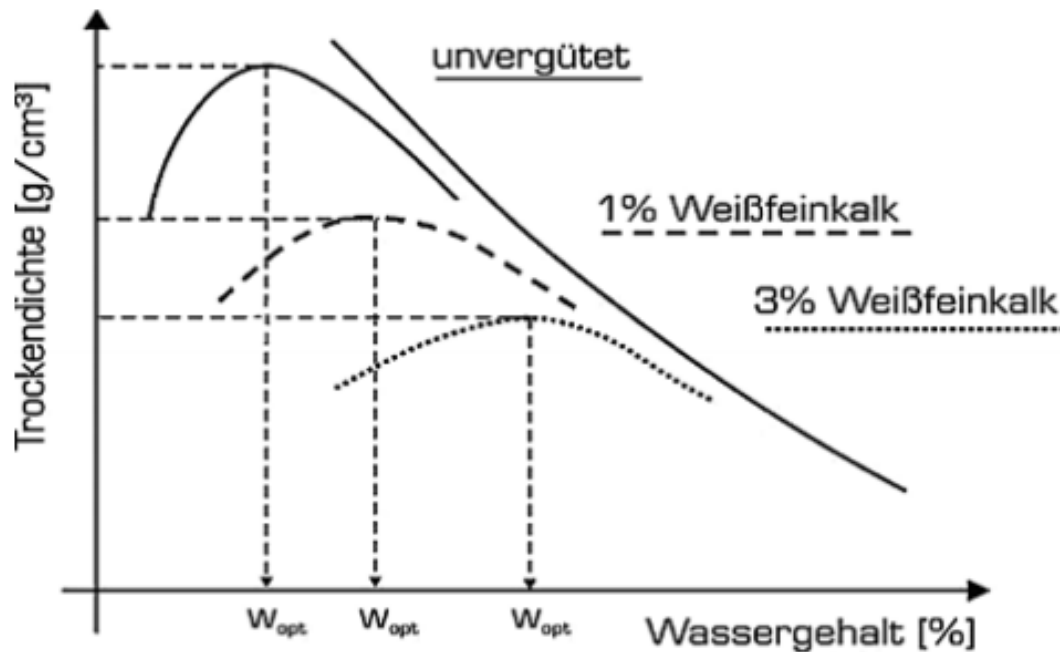


Abbildung 5: Einfluss von Kalkstabilisierung auf die Proctorkurve (Witt, 2018, p. 126)

- **Zementstabilisierung**

Bei der Zementstabilisierung wird ein hydraulisches Bindemittel dem Bodengemisch zugefügt, dabei werden in den meisten Fällen Portlandzemente genutzt. Die Bodenstabilisierung erfolgt durch die Vermischung von Boden mit Zement und der damit verbundenen Hydratation des Porenwassers mit dem Zementklinker. Dabei bilden sich im Boden durch die Hydratation eine Zementsteinstruktur, welche sich wabenartig aufbaut und die Festigkeitseigenschaften erhöht. Die Erhöhung der Festigkeit ist stark vom Mineralbestand des Bodens und der Bindemittelmenge abhängig. In der Regel ist die Festigkeitszunahme aber proportional zur Bindemittelzugabe. Die Bindemitteldosierung für zementstabilisierte Böden liegt bei ca. 3,0 – 5,0 M.-% der Trockenmasse für Sandige und Kiesige Böden und etwas höher für Schluff/Sandige Böden, wobei mehr als 9,0 M.-% wirtschaftlich i.A. nicht sinnvoll ist. Das wichtigste Kriterium entgegen der Verbesserung mit Kalk ist das keine Reaktionszeit notwendig ist und das Vermischen bzw. Homogenisieren und nachherige Verarbeiten ohne Reaktionszeit erfolgt. Bei zu langen Mischzeiten kommt es zu Hydratation des Zements und Knollenbildung, wodurch die Verdichtbarkeit reduziert wird. Das Boden-Zement-Gemisch sollte mit Vibrationswalzen eingebaut werden, da damit kleine Mikrorisse entstehen, welche das gesamte System weniger schwächen als einige große Risse durch die gesamte Struktur. Dies wird als „Spannungsfreiwalzen“ bezeichnet und hat ein wesentlich besseres Gebrauchsverhalten. (Witt, 2018, pp. 128–129)

- **Kalk-Zement-Stabilisierung**

Bei der Kalk-Zement-Stabilisierung werden die Vorteile der beiden Bindemittel ausgenutzt. Durch die Beimengung von Kalk wird der Wassergehalt reduziert und

somit die Plastizität des Bodens verringert und durch die Zementzugabe erhöht sich die Festigkeit. Bei der Bodenverbesserung mit Mischbindemitteln erfolgt eine Krümelbildung durch den Kalk und die Hydratation des Zements verkittet und verhärtet das Bodengemisch. Die Bodenstabilisierung mit Kalk-Zement eignet sich sehr gut bei plastischen Tonböden, als auch bei Schluffen mit geringer Plastizität. Bei der Bindemittelmenge sind 2,0 – 6,0 M.-% der Trockenmasse üblich. Beim Einbau ist eine Reaktionszeit von 4 Stunden zu beachten. (Witt, 2018, pp. 129–131)

### 2.3.1.2 Stabilisierungsverfahren

Für das Vermischen des natürlichen Bodens mit dem Bindemittel werden zwei unterschiedliche Bauverfahren angewendet, welche sich durch das Einbaugerät und die Ausführungsmethode unterscheiden. Diese zwei Methoden sind das Ortmischverfahren und das Zentralmischverfahren. (Witt, 2018, pp. 133–134)

- **Ortmischverfahren**

Beim Ortmischverfahren, auch bekannt als „Mixed in place“, wird das Bindemittel direkt vor Ort auf der Baustelle mittels eines Dosierwagens in der richtigen Bindemittelmenge aufgebracht und anschließend mit einem Mischgerät eingemischt. Die Einmischung erfolgt dabei zumeist mit einer Bodenfräse, welche das Boden-Bindemittel-Gemisch gleichmäßig homogen einmischt. Die Frästiefe beträgt dabei zwischen 45 und 50 cm pro Fräsvorgang. Abhängig vom Wassergehalt im natürlichen Boden wird beim Fräsvorgang Wasser zugegeben, um ein ideales Abbinden zu gewährleisten. Abschließend kann das Gemisch nach der Reaktionszeit verdichtet und planiert werden. Diese Methode ist sehr gut geeignet für bindige feinkörnige Böden, da diese sehr fein zerkleinert werden. (Witt, 2018, pp. 133–134)

- **Zentralmischverfahren**

Das Zentralmischverfahren ist auch bekannt als „Mixed in plant“. Bei dieser Methode wird das Bindemittel mit abgetragenem Boden in einer stationären Mischanlage bei optimalem Wassergehalt gemischt. Anschließend wird das Material mit Lastwagen zur Einbaustelle geliefert und mit dynamischen Walzen eingebaut. Der Vorteil vom Zentralmischverfahren ist, dass der Wassergehalt besser gesteuert werden kann und, dass die Durchmischung beim Zwangsmischer besser ist als mit einer Bodenfräse. Allerdings ist es nicht geeignet für sehr bindige, feinkörnige Böden und wird im Regelfall nur für kiesiges Bodenmaterial angewendet. (Witt, 2018, pp. 133–134)

Bei Verwendung von hydraulischen Bindemitteln ist die Nachbehandlung nach der Anwendung von beiden Verfahren sehr wichtig. In den ersten 3 Tagen ist darauf zu achten, dass die Oberfläche nicht austrocknet. Bei der Bodenverbesserung mit

Baukalk und Mischbindemitteln ist keine Nachbehandlung erforderlich. (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2004, pp. 24–25)

### 2.3.1.3 Regelwerke

In Österreich sind Bodenverbesserungen mit Bindemittelstabilisierung in der „RVS 11.02.45 Bodenstabilisierung mit Kalk“ und der „RVS 11.02.40 Bodenstabilisierung“ geregelt. In Deutschland sind Informationen dazu in der „TP BF-StB B 11.3 Eignungsprüfung bei Bodenverbesserungen mit Bindemitteln“ zu finden. Einheitlich als europäische Norm ist es in der „ÖNORM EN 14227-15 Bodenverfestigung mit hydraulischen Bindemitteln“ und der „ÖNORM EN 16907-4 Bodenbehandlung mit Kalk und/oder hydraulischen Bindemitteln“ geregelt. In den folgenden Kapiteln werden diese Richtlinien und Normen grob beschrieben.

- **RVS 11.02.45**

Die „RVS 11.02.45 Bodenstabilisierung mit Kalk“ behandelt die Kalkstabilisierung von natürlichen Böden, dabei wird insbesondere auf die Ausführung dieser Bauprozesse eingegangen. Es werden unter anderem die Auswirkungen, die Anwendung und Nachbehandlung von Kalk stabilisierten Böden eingegangen. (*RVS 11.02.45*, 1978)

- **ÖNORM EN 14227-15 und ÖNORM EN 16907-4**

- ÖNORM EN 16907-4 Bodenbehandlung mit Kalk und/oder hydraulischen Bindemitteln

In der ÖNORM EN 16907-4 wird der Ablauf einer Bodenbehandlung mit Bindemitteln vom Labor bis zum Einbau auf der Baustelle, sowie die Qualitätskontrolle beschrieben. In dieser Norm werden hydraulische Bindemittel, Kalk, Flugasche, Hochofenschlacke sowie Mischbindemittel berücksichtigt. (*ÖNORM EN 16907-4*, 2019)

- ÖNORM EN 14227-15 Hydraulisch gebundene Gemische

Die ÖNORM EN 14227-15 behandelt die Bodenbehandlung mit hydraulischen Bindemitteln wie Zement, Kalk, Flugasche, hydraulische Tragschichtbinder oder Hochofenschlacke und Mischbindemitteln. In dieser Norm werden die Zusammensetzungen, Bestandteile von Bodenbehandlungen und die Klassifizierung im Labor geregelt. (*ÖNORM EN 14227-15*, 2016)

- **TP BF-StB B 11.3**

Die „TP BF-StB, Teil B 11.3 Eignungsprüfung bei Bodenverbesserungen mit Bindemitteln“ enthält die anzuwendenden Prüfverfahren für Bodenverbesserungen und qualifizierte Bodenverbesserungen. In dieser Richtlinie wird auf die Beprobung der Ausgangsmaterialien als auch die Prüfung der verbesserten Böden eingegangen und die erforderlichen

Laborverfahren beschrieben. Auf Grundlage dieser Prüfvorschrift (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2010) wurde das Laborprogramm erstellt und durchgeführt. Dabei wurden ergänzend die Dokumente „Merkblatt über Bodenverfestigung und Bodenverbesserung mit Bindemitteln“ (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2004) und das „Merkblatt zur Herstellung, Wirkungsweise und Anwendung von Mischbindemitteln“ (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2012) zu Rate gezogen. (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2010)

## 2.3.2 Eignungsprüfung

Informationen über vorbereitende Untersuchungen bzw. Eignungsprüfungen werden in den Österreichischen Regelwerken in der RVS 11.02.45 und in den Deutschen Regelwerken im TP BF-StB 11.3 näher ausgeführt. Für diese Arbeit wurde das deutsche Regelwerk berücksichtigt.

Vor der Anwendung einer Bodenstabilisierung in einem Projekt sollten Eignungsprüfungen mit mehreren verschiedenen Bindemittelmischungen und Dosierungen durchgeführt werden. Dabei wird festgestellt ob der Boden grundsätzlich für eine Bodenverbesserung geeignet ist. Falls dies gegeben ist, wird ermittelt, welche Menge und Art an Bindemittel eingesetzt werden kann. Dies wird durch eine allgemeine Untersuchung des Bodens gemacht. Dafür werden der Wassergehalt, die Korndichte, die Korngrößenverteilung, die Konsistenzgrenzen nach Atterberg, organischen Bestandteile, einaxiale Druckfestigkeit und die Proctordichte bestimmt. Mit diesen Kennwerten können in weiterer Folge die Bindemittelart und Bindemittelmenge eingegrenzt werden. Um die stabilisierten Böden zu beproben, werden bei Eignungsprüfungen Proctorversuche gemacht, um zu sehen wie sich die Bindemittelzugabe auf den optimalen Wassergehalt und die Verdichtbarkeit auswirkt. Mit Hilfe von künstlich hergestellten Probekörpern wird die Festigkeitszunahme durch das Bindemittel bestimmt, dazu werden im Regelfall einaxiale Druckversuche und CBR-Versuche gemacht. Diese Versuche werden mit unterschiedlichen Dosierungen und Bindemittelarten mehrmals durchgeführt. (Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, 2010)

### 2.3.2.1 Proctorversuch (ÖNORM EN 13286-2, 2012)

Der Proctorversuch wird durchgeführt, um die Verdichtbarkeit zu beproben. Der Proctorversuch wird mittels Proctortopf A und Proctorhammer A gemäß (ÖNORM EN 13286-2, 2012) durchgeführt. Dabei hat der Proctortopf A einen Durchmesser von  $100,0 \text{ mm} \pm 1,0 \text{ mm}$  und eine Höhe von  $120,0 \text{ mm} \pm 1,0 \text{ mm}$  und der Proctorhammer A einen Durchmesser von  $50,0 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$  und eine Masse von  $2,50 \text{ kg} \pm 0,02 \text{ kg}$ . Im Versuchsablauf wird das Gemisch in drei gleichmäßigen Schichten im Proctortopf A mit Hilfe des Proctorhammer A aus einer Fallhöhe von 305 mm verdichtet. Dazu wird je Schicht, Material für etwa 1/3 der

Proctortopfhöhe eingebracht und mit 25 Schlägen, verteilt über die Oberfläche, verdichtet. Dies erfolgt durch ein ausmittiges Rotieren des Proctortopfes. Das eingebrachte Material darf nach Demontage des Aufsatzrings die Oberkante des Proctortopfes um nicht mehr als 10,0 mm überstehen. Das überstehende Material wird mit Hilfe eines Messers abgestrichen und vorsichtig auf die Höhe des Proctortopfes geebnet. Anschließend wird der Proctortopf mit verbautem Material gewogen. Ein Teil des Materials wird für die Bestimmung des Wassergehaltes verwendet, dies erfolgt wie in 4.1.4 beschrieben. Der beschriebene Vorgang muss mindestens fünfmal erfolgen und sollte dabei je zwei zu trockene und zu nasse Gemische bezüglich des optimalen Wassergehaltes beinhalten. Nach Bestimmen des Wassergehaltes kann mit Hilfe folgender Formel die Trockendichte errechnet werden:

$$\rho_d = \frac{\rho}{(1 + w)} \quad (4)$$

mit

$\rho_d$  = Trockendichte [Mg/m<sup>3</sup>]  
 $\rho$  = Dichte Gemisch in Protortopf [Mg/m<sup>3</sup>]  
 $w$  = Wassergehalt [%]

Mit den ermittelten Daten wird ein Diagramm mit den Werten des Wassergehaltes auf der Abszisse und der Trockendichte auf der Ordinate erstellt. Ebenfalls kann mittels der Korndichte noch die Sättigungskurve eingezeichnet werden. Mit der Korndichte und dem bestimmten Wassergehalt kann die Kurve für den Luftporenanteil dargestellt werden. Mit der aufgetragenen Ausgleichskurve kann, wie in Abbildung 6 ersichtlich, die maximale Trockendichte (Proctordichte) und der dazugehörige Wassergehalt abgelesen werden. (ÖNORM EN 13286-2, 2012)

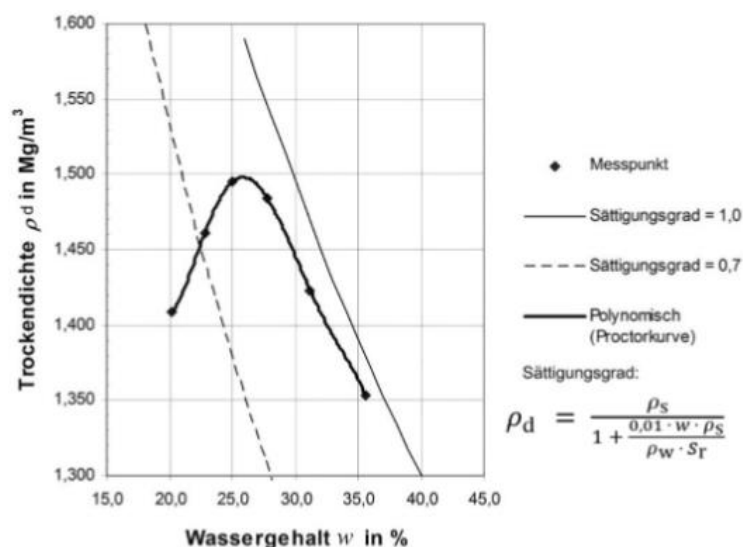


Abbildung 6: Beispiel einer Proctorkurve (ÖNORM B 4418, 2019, p. 8)

### 2.3.2.2 Einaxialer Druckversuch (*ÖNORM EN ISO 17892-7*, 2018)

Die einaxiale Druckfestigkeit wird gemäß (*ÖNORM EN ISO 17892-7*, 2018) ermittelt. Dies erfolgt mittels einer hydraulischen Presse, welche über eine digitale Kraftmesszelle sowie ein Extensometer, für die Setzungsmessung, verfügt. Die Druckprüfung erfolgt mit einer Verformungsgeschwindigkeit von 1,0% der Probekörperhöhe pro Minute. Während der Belastungszeit werden Kraft, Zeitdauer und die Verschiebung aufgezeichnet. Die einaxiale Druckfestigkeit  $q_u$  ist der Wert der vertikalen Spannung  $\sigma_v$  beim Zustand des Bruchs. Wobei  $\sigma_v$  folgendermaßen ermittelt wird:

$$\sigma_v = \frac{P}{A_i / (1 - \varepsilon_v)} \quad (5)$$

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta H}{H_i} \quad (6)$$

mit

$\sigma_v$ = Vertikale Spannung

$\varepsilon_v$ = Vertikale Stauchung

$q_u$ = Einaxiale Druckfestigkeit

$A_i$ = Anfangsquerschnittsfläche des Probekörpers

$P$ = Vertikallast

$H_i$ = Ausgangsprobenhöhe

$\Delta H$ = Höhenänderung des Probekörpers

(*ÖNORM EN ISO 17892-7*, 2018)

Auf Grundlage der Probenschlankheit werden die einaxialen Druckfestigkeiten mit einem Korrekturfaktor von 0,95 verringert. Dies erfolge gemäß Abbildung 7, dabei kann bei einem  $h/d$  Verhältnis (Höhe 12cm, Durchmesser 10cm) von 1,20 ein Wert von 0,95 abgelesen werden.



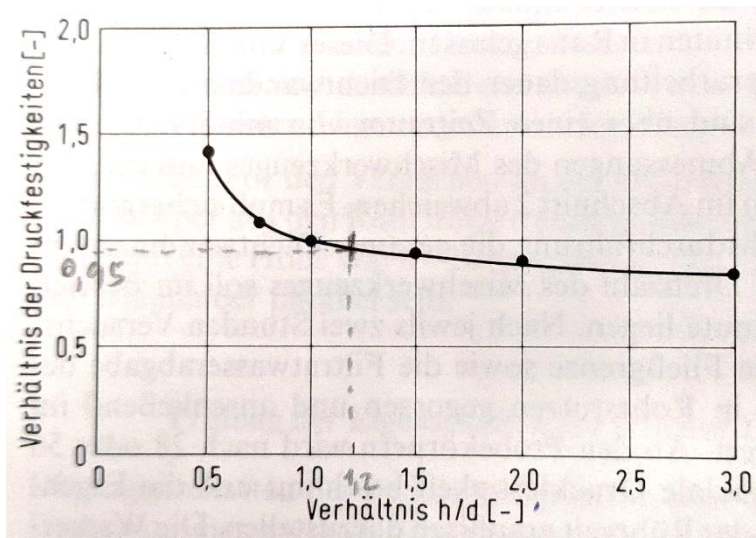


Abbildung 7: Einfluss der Probekörperschankheit auf die einaxiale Druckfestigkeit (Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V., 1990, p. 46)

### 2.3.2.3 Scherversuch (ÖNORM EN ISO 17892-10, 2019)

Die Scherversuche erfolgen mit einem Rahmenschergerät mit starrem quadratischen Behälter nach (ÖNORM EN ISO 17892-10, 2019). Dabei wird Bodenmaterial in einen mechanisch steifen Rahmen, welcher aus zwei Teilen besteht, eingebaut. Das eingebaute Material wird laut Norm mit einem Laststempel vertikal unter Zugabe von Wasser konsolidiert und nach abgeschlossener Konsolidation abgeschert. Im Falle dieser Arbeit wird die Probe schon mit optimaler Proctordichte eingebaut und nach kurzer vertikaler Andruckphase und ohne vorheriger Wassersättigung direkt mit dem Abscherprozess gestartet. Der Probekörper wird dabei unter einer aufgetragenen Vertikallast abgeschert. Dieser Vorgang erfolgt synchron für zwei weitere Bodenproben mit demselben Material, aber unterschiedlichen Vertikalspannungen. Die aufgetragenen Vertikalspannungen in dieser Arbeit betragen dabei 75, 150 und 225 kPa. Während des Abschervorgangs wird die Horizontalverschiebung, Höhenänderung und die Scherkraft aufgezeichnet. Für diese Arbeit wird kein Restscherwinkel bestimmt, da er für die gegebene Thematik nicht relevant ist.

$$\tau = \frac{P}{A} \quad (7)$$

$$\sigma_v = \frac{N}{A} \quad (8)$$

mit

$\tau$ = Scherspannung an der Scheroberfläche

P= Horizontale Scherkraft

A= Ausgangsquerschnittsfläche des Probekörpers

$\sigma_v$ = Vertikalspannung an der Scheroberfläche

N= Vertikale Kraft

(*ÖNORM EN ISO 17892-10*, 2019)

## 3 Untersuchungskonzept und Versuchsdurchführung

### 3.1 Laborprogramm

Das Laborprogramm wurde im bodenmechanischen Labor des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau der TU Graz durchgeführt. Die Laborversuche wurden auf der Grundlage der deutschen Richtlinie TP BF-StB B 11.3 gemacht. Einige Laborversuche mit gleichem Material wurden auch von der Firma 3P Geotechnik ZT GmbH durchgeführt und werden im Kapitel 4 und 5 mit den an der TU Graz ermittelten Ergebnissen verglichen.

Dabei sind in Kapitel 4 die Ergebnisse der Versuche ohne Bindemittel beschrieben, in Kapitel 5 die Versuche mit Bindemittel und in Kapitel 6 wird auf den Zusammenhang zwischen Proctorwassergehalt/-dichte und einaxiale Druckfestigkeit eingegangen.

### 3.2 Laborkonzept

Das Laborkonzept besteht aus einer vorangehenden, grundsätzlichen Bodencharakterisierung der drei Ausgangsmaterialien und dem nachfolgenden Versuchsprogramm der mit Bindemittel versetzten Bodenmaterialien. Die Ausgangsmaterialien sind dabei drei Böden mit unterschiedlichen Kornverteilungen, wobei diese als Schluff-Sand-Gemisch, Schluff/stark feinsandig und Schluff/schwach tonig beschrieben werden können. Als Bindemittel werden reiner Zement, reiner ungelöschter Kalk und ein Gemisch aus 50/50% Zement/ungelöschter Kalk mit Mischverhältnissen von 3-, 6- und 9 Massen-% der Trockenmasse verwendet. Bei den drei Ausgangsmaterialien handelt es sich um Materialien, welche an folgenden Stellen und Entnahmetiefen mittels Baggerschürfe entnommen wurden:

Tabelle 1: Entnahmestelle und -tiefe

Proben Bezeichnung	Entnahmestelle	Entnahmetiefe
Schluff-Sand-Gemisch	Rhein-km 66,650 rechts	1,30 – 1,60 m
Schluff/stark Feinsandig	Rhein-km 81,840 rechts	1,00 – 1,40 m
Schluff/schwach Tonig	Rhein-km 84,080 rechts	0,60 – 0,90 m

### 3.2.2 Bodencharakterisierung ohne Bindemittelzugabe

Die Bodencharakterisierung umfasst folgende Laborversuche:

- Natürlicher Wassergehalt
- Korndichte
- Siebanalyse
- Schlämmanalyse/Sedimentationsanalyse
- Durchlässigkeit in der Triaxial Zelle
- Atterberg'sche Grenzen - Konsistenzgrenzen
- Scherversuch
- Einaxiale Druckfestigkeit
- Proctordichte
- Organischer Anteil/Glühverlust

Mittels der Sieb- und Schlämmanalyse wird die Kornverteilung der drei Bodentypen bestimmt. Mit Hilfe des Glühverlustes bei 600,0 °C wird der organische Anteil des Bodens identifiziert. Ebenfalls wird der Wassergehalt des Bodens bei Materialanlieferung geprüft und die Korndichte eruiert. Für die unterschiedlichen Böden wird die Proctorkurve erstellt. In weiterer Folge wird die Festigkeitsentwicklung, mittels einaxialer Druckfestigkeit, in Abhängigkeit vom Wassergehalt ermittelt. Mit der optimalen Proctordichte wird die Durchlässigkeit in der Triaxial Zelle durchgeführt und der Durchlässigkeitsbeiwert ermittelt. Weitere Punkte der Bodencharakterisierung sind noch die Scherversuche und die Atterberg'schen Grenzen. Jede der vorangegangenen Prüfungen wird für alle drei Böden (Schluff-Sand-Gemisch, Schluff/stark Feinsandiges Gemisch, schwach toniges Schluff - Gemisch) durchgeführt.

### 3.2.3 Bodenverbesserung mit Bindemittelzugabe

Das Laborprogramm für die Bindemittelstabilisierten Böden besteht aus Proctorversuchen, Einaxialen Druckfestigkeiten und Scherfestigkeiten. Dabei werden die Proctorkurven für alle Kombinationen der drei Böden mit den drei unterschiedlichen Bindemitteln (100 % Zement, 50/50 % Zement/Kalk, 100 % Kalk) und drei Bindemittelmengen (3,0 M.-%, 6,0 M.-%, 9,0 M.-% der Trockenmasse) erstellt. Dies ergibt eine Summe von 27 unterschiedlichen Proctorkurven. Abhängig von der Proctorkurve werden Druckfestigkeiten für die zugehörigen Wassergehalte nach 7 und 28 Tagen Lagerung ermittelt. Das ergibt in Summe 270 einaxiale Druckfestigkeitsprüfungen. Für die Bindemittelmischung 50/50% Zement/ ungelöschter Kalk werden für die Mischverhältnisse 3- und 6% mit allen drei Böden, Scherversuche durchgeführt. Das Laborprogramm wird mit folgenden Bindemitteltypen durchgeführt:

- Weißfeinkalk: Stabilisierungskalk CL80-Q
- Zement: CEM II/A-L 42,5N

### 3.2.3.1 Versuchsdurchführung

Das Bodenmaterial für die stabilisierten Untersuchungen (Proctorversuch, Einaxial Druckversuch, Scherversuch) wurde vor Versuchsbeginn im Ofen bei einer Temperatur von 65 °C getrocknet, um einen Wassergehalt von annähernd 0,0 % zu erlangen. Anschließend wurde der Boden mit einer definierten Menge an Wasser vermischt, um einen bestimmten Wassergehalt (Schluff-Sand-Gemisch und Schluff-Feinsand-Gemisch 10,0%, schwach toniger Schluff 15,0%) zu erhalten. Bei definiertem Wassergehalt wurde das Material einige Tage in einem verschlossenen Eimer gelagert, um die Masse möglichst gleichmäßig zu durchfeuchten und die im Folgenden beschriebene Vorbereitung/Durchmischung der Proben für den Proctorversuch zu erleichtern. Unmittelbar vor Ausführung des Proctorversuchs wird dem Boden die gewünschte Menge an Wasser zugegeben und zu einer homogenen Maße vermischt. Anschließend wird die Bindemittelmenge (3-, 6- oder 9-M.-% der Trockenmasse) auf  $\pm 0,5$  g eingewogen, vermischt und direkt nach Beendigung des Mischvorgangs für die Reaktionszeit in einem verschlossenen Eimer aufbewahrt. Die Reaktionszeit beträgt dabei für den Weißfeinkalk 6 h, für das Mischbindemittel Zement/Weißfeinkalk 50/50 % 4 h und der reine Zement wird ohne Reaktionszeit eingebaut. Nach Ablauf der Reaktionszeit wird das Boden-Bindemittel-Gemisch nach nochmaligem Vermischen in drei Lagen in den Proctortopf eingebaut, wie in 2.3.2.1 beschrieben. Nach der Gewichtsmessung wird der entstandene Zylinder ausgepresst, anschließend in PVC-Kanalrohren verpackt und in Kunststoffbeuteln eingeschweißt, wie in Abbildung 8 ersichtlich. Diese Proctor-Zylinder werden jeweils in doppelter Ausführung erstellt, um in weiterer Folge die einaxialen Druckversuche nach 7- und 28- Tagen Lagerung durchzuführen. Die Lagerung erfolgt bei einer Temperatur von  $20 \text{ °C} \pm 2 \text{ °C}$  und einer konstanten Luftfeuchtigkeit in der Kunststoffolie.

Für die Scherversuche werden ebenfalls Probenkörper erstellt, die 28 Tage gelagert werden. Die Scherversuche werden mit optimalem Proctorwassergehalt und optimaler Dichte eingebaut. Somit werden die Probekörper nach der gleichen Methode wie die Druckkörper erstellt und gelagert. Die Scherversuche werden allerdings nur für die Bodengemische mit Mischbindemittel 50/50 % Kalk/Zement und den Bindemittelmengen 3,0 und 6,0 % durchgeführt. Ebenfalls werden Scherversuche bei den gleichen Bedingungen mit dem Ausgangsmaterial durchgeführt.



Abbildung 8: Ablauf Proctorversuch mit einschweißen der Probe in Kunststoffbeuteln

## 4 Labortechnische Charakterisierung des Ausgangsmaterials

Es wurden die drei Ausgangsmaterialien (Schluff-Sand-Gemisch, Schluff-stark Feinsandiges - Gemisch, schwach Toniges Schluff-Gemisch) ohne Bindemittelzugabe beprobt. Bei den Materialien handelt es sich um gestörte Proben welche in flexiblen Schüttgutbehältern („BigBag“) angeliefert wurden. Die BigBags waren nicht luftdicht verschlossen, somit ist der Wassergehalt der Probe nicht mehr dem natürlichen Wassergehalt entsprechend. Einige der Ergebnisse wurden ebenfalls von der Firma 3P Geotechnik ZT GmbH ermittelt und werden ebenso abgebildet.

### 4.1 Bodencharakterisierung

#### 4.1.1 Korngrößenverteilung (*ÖNORM EN ISO 17892-4*, 2017)

##### 4.1.1.1 Laborablauf

Die Korngrößenverteilung wird nach (*ÖNORM EN ISO 17892-4*, 2017) bestimmt und stellt die Massenanteile der verschiedenen Korndurchmesser prozentuell dar. Dabei wird auf der Abszisse der Korndurchmesser  $d$  in [mm] abgebildet, wobei diese Achse logarithmisch dargestellt wird, und auf der Ordinate die Massenanteile in [%], welche linear abgebildet sind. Die Kornverteilung wird durch die Sieb- bzw. die Sedimentationsanalyse bestimmt. Dabei wird zur Trennung des Materials, für die Sieb- und Schlämmanalyse, das Material durch ein Analysesieb mit der Maschenweite von 0,063 mm und ein darüberliegendes Schutzsieb gewaschen. Dabei werden die Feinteile solange aus dem Material ausgewaschen bis nur noch klares Wasser abfließt. Anschließend wird die ausgewaschene Masse der Sedimentationsanalyse zugeführt und der Rest wird für die Siebanalyse verwendet. Beide Fraktionen werden anschließend im Ofen bei 110,0°C getrocknet. (*ÖNORM EN ISO 17892-1*, 2015)

- **Siebanalyse**

Bei der Siebanalyse werden die Massenanteile  $> 0,063$  mm bestimmt, dies erfolgt händisch mit Hilfe eines Siebturmes, mit abgestuften Maschenweiten (8,0 mm, 4,0 mm, 2,0 mm, 1,0 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm und 0,063 mm). Dabei werden die Rückstände auf den einzelnen Sieben ermittelt und kumulativ protokolliert. (*ÖNORM EN ISO 17892-1*, 2015)

- **Sedimentationsanalyse**

Bei der Sedimentationsanalyse wird mit Hilfe eines Messzylinders und einem Aräometer die Massenfeinanteile ermittelt. Dies erfolgt durch den Einsinkvorgang des Aräometers infolge der Dichteänderung durch absinkende Feinteile. Dabei wird eine Menge von 45,0 g getrocknetem Material mit 25,0 g Dispersionsmittel in einem Glaszylinder gemischt und mit destilliertem Wasser vermennt. Anschließend wird das Gefäß mit der Suspension in ein Mischgerät eingebaut, welches dieses für 4 Stunden mittels Rotation durchmischt. Direkt danach wird die Probe ausgebaut und mit destilliertem Wasser bis auf 1000,0 ml gefüllt und abermals gut durchmischt. Die Messung startet dann mit eintauchen des Aräometers und erfolgt dann in angegebenen Zeitintervallen. Die Temperatur wird zeitgleich gemessen. (*ÖNORM EN ISO 17892-1*, 2015)

#### 4.1.1.2 Laborergebnisse

Die Korngrößenverteilung wurde mittels Siebverfahren und Sedimentation nach dem Gesetz von Stokes erstellt und wird in Abbildung 9 gezeigt. Die Schluff/Sandige Kornverteilung ist in blau, Schluff/Feinsand in rot und die Schluff/Tonige Verteilung in schwarz dargestellt. Die grauen, strichlierten Kurven sind die Ergebnisse der 3P Geotechnik. Die vollständigen Protokolle der an der TUG erstellten Kornverteilungen sind im 9.1 Anhang A1 angehängt.

Die Kornverteilung des Schluff-Sandigen Materials zeigt, dass der Boden aus 52 % Sand (32 % Feinsand, 15 % Mittelsand, 5 % Grobsand), 39 % Schluff (20 % Grobschluff, 10 % Mittelschluff, 9 % Feinschluff), 6 % Kies und 4 % Ton besteht.

Die Kornverteilung des Schluff-Feinsand Materials zeigt, dass der Boden aus 56 % Schluff (40 % Grobschluff, 12 % Mittelschluff, 4 % Feinschluff), 41 % Sand (36 % Feinsand, 5 % Mittelsand), und 3 % Ton besteht.

Die Kornverteilung des Tonigen Schluff Materials zeigt, dass der Boden aus 80 % Schluff (25 % Grobschluff, 40 % Mittelschluff, 15 % Feinschluff), 13 % Ton und 7 % Sand besteht.

Die in Tabelle 2 dargestellten Werte zeigen die Kennzahlen der Kornverteilungen, hierbei wurden die 10-, 30- und 60 % Anteile der Gesamtmasse beschrieben. Mit Hilfe dieser Werte wurden die Ungleichförmigkeitszahl  $C_U$  und die Krümmungszahl  $C_C$  mit folgenden Formeln berechnet:

$$C_U = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (9)$$

$$C_C = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \cdot D_{60}} \quad (10)$$



Tabelle 2: Kennzahlen Korngrößenverteilung

<b>Boden-Probe</b>	<b>D<sub>10</sub> [mm]</b>	<b>D<sub>30</sub> [mm]</b>	<b>D<sub>60</sub> [mm]</b>	<b>C<sub>U</sub> [-]</b>	<b>C<sub>C</sub> [-]</b>
Schluff-Sand-Gemisch	0,0082	0,0387	0,1297	15,82	1,41
Schluff-Feinsand-Gemisch	0,0088	0,0301	0,0645	7,33	1,60
Toniger Schluff	0,0017	0,0061	0,0161	9,47	1,36

Die Ergebnisse laut Ungleichförmigkeitszahl  $C_U$  sind für alle drei Boden mäßig bis weit gestuft und nach der Krümmungszahl  $C_C$  weit gestuft, laut (*ÖNORM EN ISO 14688-2*, 2019).

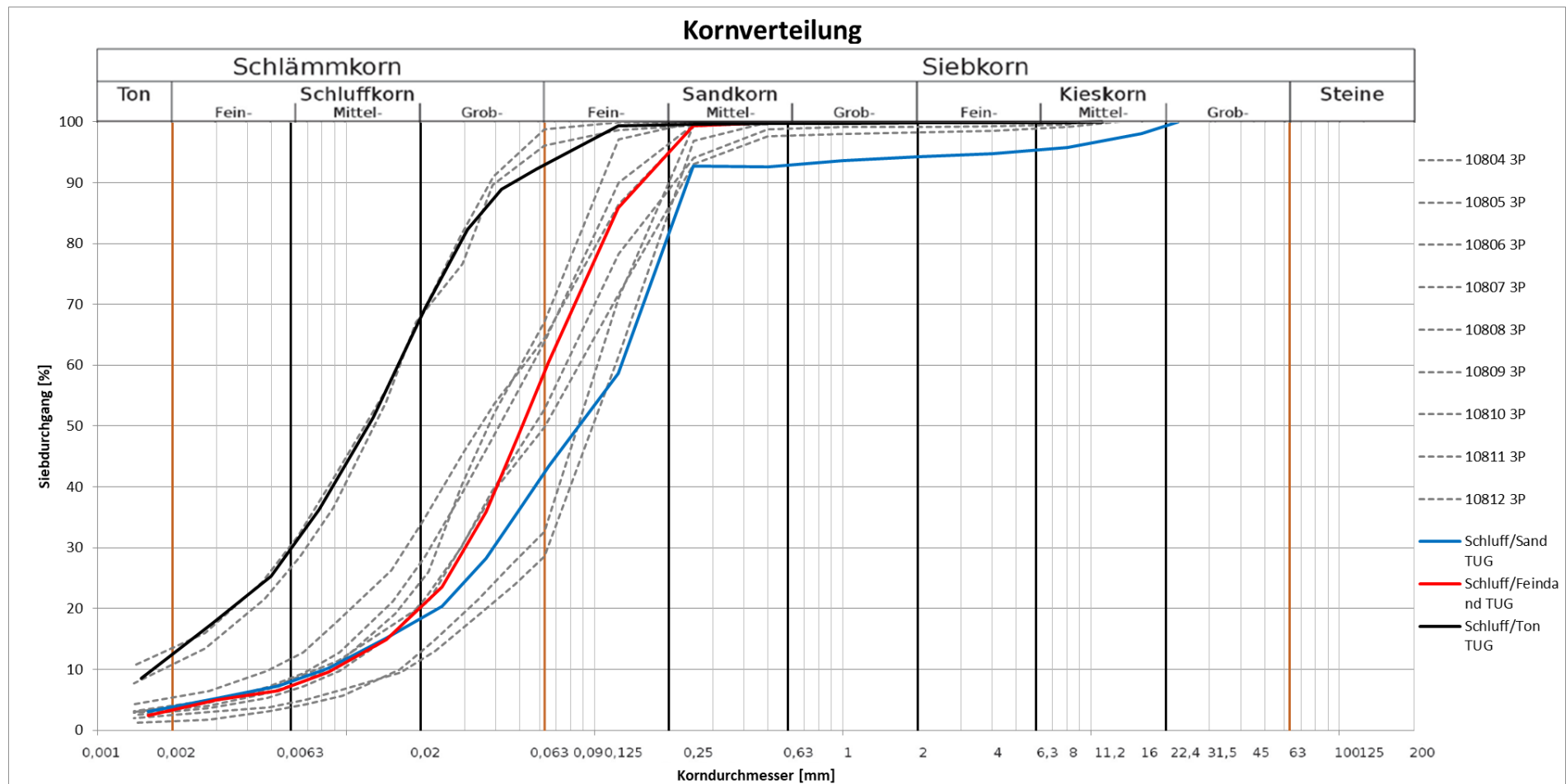


Abbildung 9: Korngrößenverteilungen der Ausgangsmaterialien Daten TUG und 3P Geotechnik ZT GmbH

## 4.1.2 Korndichte (ÖNORM EN ISO 17892-3, 2016)

### 4.1.2.1 Laborversuch

Die Korndichte wird mittels Pyknometer und des Prinzips der Flüssigkeitsverdrängung nach (ÖNORM EN ISO 17892-3, 2016) bestimmt. Dabei wird die Probemasse bis zur Massekonstanz im Ofen getrocknet und anschließend mit einem Mörser zu einem gleichmäßigen Pulver zerkleinert. Als Probenvorbereitung muss der Pyknometer mit Stopfen auf 0,01 g genau bestimmt werden. Anschließend wird eine Probenmenge von 17,0 -19,0 g in das Pyknometer Glas gefüllt und gewogen. Folglich wird die Hälfte des Gefäßes mit destilliertem Wasser angefüllt. Dieser Vorgang wird dreimal pro Probe wiederholt und die Pyknometer kommen dann in das Vakuumgerät, welches in Abbildung 10 zu sehen ist. Dabei wird ein Vakuum erzeugt und der Probe in einem Entlüftungsprozess die eingeschlossene Luft entzogen. Danach wird der Pyknometer mit destilliertem Wasser aufgefüllt und durch schnelles Einpressen des Glasstopfen verschlossen. Dabei wird durch den Wasseraustritt durch die Kapillarbohrung gewährleistet, dass sich keine Luft mehr in der Suspension befindet. Als letzter Schritt werden die Pyknometer gewogen und die Temperatur der Flüssigkeit gemessen. (ÖNORM EN ISO 17892-3, 2016)



Abbildung 10: Vakuumgerät mit Pyknometer

### 4.1.2.2 Laborergebnisse

Die Versuchsprotokolle mit den Detailergebnissen der drei Korndichtebestimmungen können im 9.1 Anhang A2 genauer eingesehen werden. Wie in Tabelle 3 ersichtlich beträgt die Korndichte der unterschiedlichen Bodenarten zwischen 2,68-2,73 g/cm<sup>3</sup>.

Tabelle 3: Ergebnis der Korndichtebestimmung

Boden-Probe	Korndichte [g/cm <sup>3</sup> ]
Schluff-Sand-Gemisch	2,68
Schluff-Feinsand-Gemisch	2,70
Toniger Schluff	2,73

### 4.1.3 Atterberg'sche Grenzen (*ÖNORM EN ISO 17892-12, 2020*)

#### 4.1.3.1 Laborablauf

Die Konsistenzgrenzen nach Atterberg wurden mit Hilfe des Fallkegelverfahrens bestimmt, welches nach (*ÖNORM EN ISO 17892-12, 2020*) durchgeführt wird. Dabei wird ein Fallkegel vom Kegeltyp 80,0 g / 30,0 ° verwendet. Bei der Versuchsdurchführung konnte, auf eine vorherige Abtrennung der Fraktionen gröber 0,4 mm verzichtet werden, da dies nicht vorhanden bzw. die wenigen größeren Steine ohne Probleme händisch entfernt werden konnten. Beim Fallkegelversuch wird homogen durchmisches Bodenmaterial ohne Lufteinschlüsse in einen Behälter eingebracht, bis zur Oberkante gefüllt und mit einem Messer glatt abgestreift. Anschließend wird der Eindringkegel mit der Haltevorrichtung so abgesenkt, dass die Kegelspitze gerade die Oberfläche des mit Material gefüllten Behälter berührt. Das Messgerät wird in dieser Position auf null gestellt. Anschließend wird der Kegel losgelassen und nach  $5,0 \text{ s} \pm 1,0 \text{ s}$  wieder fixiert, dann kann die Eindringtiefe mittels Messgeräts abgelesen werden. Beim verwendeten Kegeltyp sind dabei Eindringtiefen zwischen 15,0 mm bis 25,0 mm zulässig und die Fließgrenze  $w_L$  wird bei einer Tiefe von 20,0 mm ermittelt. Befindet sich eine Messung außerhalb dieses Bereiches wird Wasser dazugegeben oder entfernt, wenn sie jedoch im gewünschten Bereich ist, wird eine kleine Menge entnommen, um den Wassergehalt zu bestimmen. Dieser Vorgang muss mindestens vier Mal wiederholt werden um vier gleichmäßig verteilte Punkte zu bekommen. (*ÖNORM EN ISO 17892-12, 2020*)

Die Ausrollgrenze wurde auf Basis der mittlerweile zurückgezogenen (*ÖNORM B 4411, 2009*), mittels Linearschrumpfversuch durchgeführt. Die (*ÖNORM B 4411, 2009*) wurde auf Grund der Einführung der europäischen Norm (*ÖNORM EN ISO 17892-12, 2020*) zurückgezogen, damit ist der Linearschrumpfversuch nicht mehr in der Norm enthalten. Für ein Schluff-Sandig-Gemisch ist dieser allerdings notwendig, da das Material laut neuer Norm nicht ausrollbar ist. Der Linearschrumpfversuch erfolgt dabei wie folgt: das Probematerial wird mit einer Menge an destilliertem Wasser vermischt, sodass das Gemisch die Konsistenz bei Fließgrenze besitzt. Dies entspricht einer Eindringtiefe beim Kegelfall von 20 mm. Diese Masse wird ohne Lufteinschlüsse in die Linearschrumpfmulde gefüllt. Mit Hilfe einer Messung der Länge vor und nach dem Trocknen, wird die Ausrollgrenze mittels folgender Formeln bestimmt: (*ÖNORM B 4411, 2009*)

$$I_P = 2,13 \cdot L_S \quad (11)$$

$$L_S = \left(1 - \frac{L_d}{L_0}\right) \cdot 100 \quad (12)$$

$$w_p = w_L - I_P \quad (13)$$

mit

$I_P$  = Plastizitätszahl [-]

$L_0$  = Ursprungslänge vor Trocknung [mm]

$L_d$  = Trockenlänge [mm]

(ÖNORM B 4411, 2009)

#### 4.1.3.2 Laborergebnisse

In der folgenden Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Konsistenzgrenzen nach Atterberg zusammengefasst. Die detaillierten Versuchsprotokolle der an der TUG durchgeführten Versuche können im 9.1 Anhang A4 eingesehen werden.

Tabelle 4: Konsistenzgrenzen nach Atterberg

<b>Boden-Probe</b>	<b>Fließgrenze W<sub>L</sub> [%]</b>	<b>Ausrollgrenze W<sub>P</sub> [%]</b>	<b>Plastizitätszahl I<sub>P</sub> [-]</b>	<b>Konsistenzzahl I<sub>C</sub> [-]</b>
Schluff-Sand-Gemisch TUG	31,2	29,1	2,0	0,8
Schluff-Feinsand-Gemisch TUG	33,6	30,7	3,0	3,1
Toniger Schluff TUG	46,3	37,2 (~28,0 Ausrollgrenze)	9,0	1,3
Toniger Schluff 3P	39,5	27,3	12,2	0,37

#### 4.1.4 Wassergehalt (ÖNORM EN ISO 17892-1, 2015)

##### 4.1.4.1 Laborablauf

Der Wassergehalt wird gemäß (ÖNORM EN 13286-2, 2012) bestimmt. Dabei wird eine Masse von minimal 100,0 g des Bodens im Ofen bei 110,0 °C bis zur Massenkonstanz getrocknet. Anschließend wird mittels Wiegen der Masse vor dem Trocknungsvorgang und nach dem Trocknungsvorgang der Wassergehalt in [%] bestimmt, dies erfolgt mit folgender Formel:

$$w = \frac{m_w}{m_d} \cdot 100 \quad (14)$$

mit

$w$  = Wassergehalt [%]

$m_w$  = Masse feucht [g]

$m_d$  = Masse trocken [g]

(*ÖNORM EN ISO 17892-1*, 2015)

#### 4.1.4.2 Laborergebnisse

Die natürlichen Wassergehalte der Beprobungen von TUG und 3P werden in Tabelle 5 verglichen. Wobei das Material der TUG nicht mehr dem natürlichen Wassergehalt entsprechen dürfte, da es in BigBags geliefert wurde und somit ein Teil an Feuchtigkeit verloren hat. Die Ergebnisse der 3P Geotechnik ZT GmbH sollten dem natürlichen Wassergehalt entsprechen, da diese Messungen ohne den langen Lieferweg erfolgten.

Tabelle 5: Natürlicher Wassergehalt von TUG und 3P

<b>Boden-Probe</b>	<b>Nat. Wassergehalt TUG [%]</b>	<b>Nat. Wassergehalt 3P [%]</b>
Schluff-Sand-Gemisch	22,4	29,6
Schluff-Feinsand-Gemisch	21,6	24,8
Toniger Schluff	32,8	34,9

#### 4.1.5 Organischer Anteil (*ÖNORM B 4424*, 2016)

##### 4.1.5.1 Laborablauf

Der Organische Anteil wird durch Glühverlust gemäß (*ÖNORM B 4424*, 2016) bestimmt. Dabei wird der organische Anteil nach zweimaligem Glühen ermittelt. Die im Boden enthaltenen organischen Anteile werden dabei verbrannt. Allerdings wird beim Glühvorgang auch Kristallwasser verdampft. Dieser Anteil wird nach dem ersten Glühen durch das Zugabe von destilliertem Wasser und einem weiteren Mal Glühen bestimmt. Die Probe wird bei einer Temperatur von 600 °C im Muffelofen gegläht. (*ÖNORM B 4424*, 2016)

##### 4.1.5.2 Laborergebnisse

Die Ergebnisse der Bestimmung des organischen Anteils sind in Tabelle 6 zusammengefasst. Wobei die Ergebnisse der TUG als auch die Ergebnisse der 3P verglichen werden. Die Ergebnisse der TUG berücksichtigen bereits den Verlust des kristallinen Wassers, da die Proben wie in 4.1.5 beschrieben zweimalig gegläht wurden. Gemäß (*ÖNORM EN ISO 14688-2*, 2019) können die Bodenproben als schwach organisch klassifiziert werden.

Tabelle 6: Organischer Anteil von TUG und 3P

<b>Boden-Probe</b>	<b>Organischer Anteil TUG [%]</b>	<b>Organischer Anteil 3P [%]</b>
Schluff-Sand-Gemisch	2,3	2,6
Schluff-Feinsand-Gemisch	1,2	1,9
Toniger Schluff	2,3	3,1

## 4.2 Durchlässigkeit (*ÖNORM EN ISO 17892-11, 2019*)

### 4.2.1.1 Laborablauf

Die Durchlässigkeit wird mit Hilfe einer Triaxial Zelle mit flexibler Wand gemäß (*ÖNORM EN ISO 17892-11, 2019*) untersucht. Der verwendete Probekörper wurde mittels Proctortopf A (100,0 mm Durchmesser, 120,0 mm Höhe) und Proctorhammer A (2,5 kg, 50,0 mm Durchmesser) bei optimalem Wassergehalt mit Proctorenergie hergestellt. Der Probenherstellungsprozess ist derselbe wie in 2.3.2.1 und wird in diesem Kapitel genauer beschrieben. Dabei wird die Probe mit einer elastischen Membran umhüllt und mit Filtersteinen an den beiden Enden des Probekörpers begrenzt. Die Membran verhindert dabei das Eindringen von Wasser in den Probekörper von der Seite und wird mit O-Ringen an der Grund- und Kopfplatte abgedichtet. Der Versuchsaufbau kann in Abbildung 11 betrachtet werden.



Abbildung 11: Versuchsaufbau zur Durchlässigkeitsbestimmung mittels Triaxialzelle

Der Versuch erfolgt unter einem definierten Zellendruck von 0,5 bar. Es wird gemessen wie viel Wasser in einer bestimmten Zeit und Temperatur die Probe durchströmt. Dies erfolgt durch Messen der aufgefangenen Flüssigkeit mittels Auffangbehälter. (ÖNORM EN ISO 17892-11, 2019)

#### 4.2.1.2 Laborergebnisse

Die Ergebnisse des Durchlässigkeitsversuchs sind in Tabelle 7 ersichtlich. Die vollständigen Versuchsprotokolle der drei Durchlässigkeitsversuche sind in 9.1 Anhang A3 angehängt. Die Durchlässigkeitsbeiwerte aller drei Böden sind kleiner  $10^{-8}$  m/s und somit sehr gering durchlässig.

Tabelle 7: Ergebnisse der Durchlässigkeitsversuche

<b>Boden-Probe</b>	<b>Durchlässigkeit <math>k_{10}</math> TUG [m/s]</b>	<b>Durchlässigkeit <math>k_{10}</math> 3P [m/s]</b>
Schluff-Sand-Gemisch	5,03E-08	9,50E-08
Schluff-Feinsand-Gemisch	8,08E-08	-
Toniger Schluff	1,24E-08	3,20E-08



### 4.3 Verdichtungsgrad

Der Verdichtungsgrad wird mittels Proctorversuch, wie in 2.3.2.1 beschrieben gemäß (*ÖNORM EN 13286-2*, 2012) bestimmt. Die einzelnen Proctorkurven je Bodenmaterial können in 9.1 Anhang A7 eingesehen werden.

In Tabelle 8 sind die Ergebnisse der Proctorversuche der TUG und der 3P Geotechnik zusammengefasst.

Tabelle 8: Ergebnisse der Proctorversuche der Ausgangsmaterialien

<b>Boden-Probe</b>	<b>Proctordichte <math>\rho_{Pr}</math>[g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>Optimaler Wassergehalt <math>W_{opt}</math>[%]</b>	<b>Luftporenanteil <math>n_a</math>[%]</b>
Schluff-Sand-Gemisch TUG	1,69	17,4	8,0
Schluff-Sand-Gemisch 3P	1,75	13,5	12,0
Schluff-Feinsand-Gemisch TUG	1,60	20,2	8,5
Schluff-Feinsand-Gemisch 3P	1,62	16,0	15,0
Toniger Schluff TUG	1,53	24,5	6,75
Toniger Schluff 3P	1,57	18,5	14,0

In Abbildung 12 sind die Proctorkurven der drei unterschiedlichen Ausgangsmaterialien dargestellt. Die blaue Kurve beschreibt dabei das Schluff/Sand Materialgemisch, die rote Kurve das Schluff/Feinsand-Gemisch und die graue den Tonigen Schluff Boden.

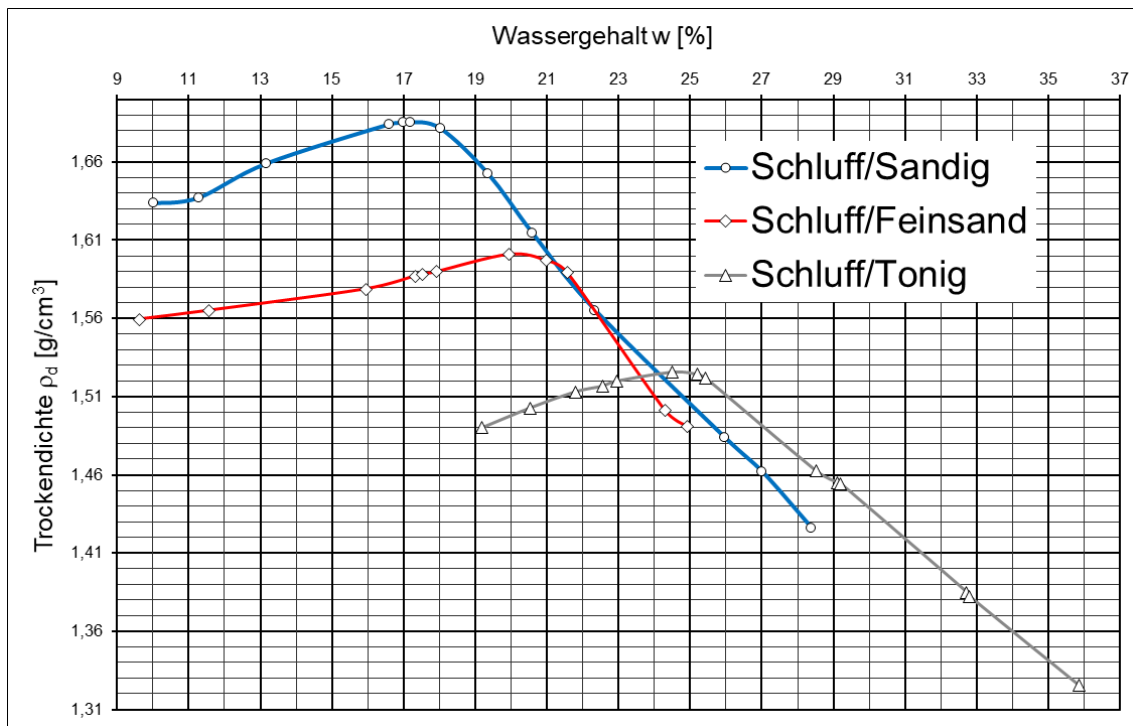


Abbildung 12: Proctorkurven der Ausgangsmaterialien

## 4.4 Festigkeit

Die Festigkeitsparameter werden für die drei Ausgangsmaterialien durch einaxiale Druckversuche und Rahmenscherversuche bestimmt.

### 4.4.1 Einaxialer Druckversuch

Die einaxialen Druckversuche werden wie in Kapitel 2.3.2.2 beschrieben durchgeführt. Die genauen Laborergebnisse können im 9.1 Anhang A6 eingesehen werden. Die ermittelten Werte, der bei materialspezifischer Proctordichte eingebauten Proben, der einaxialen Druckfestigkeiten sind in Tabelle 9 ersichtlich. Die Ergebnisse der TUG sowie der 3P Geotechnik sind enthalten.

Tabelle 9: Einaxiale Druckfestigkeit bei Proctordichte

Boden-Probe	Einaxiale Druckfestigkeit [kPa]
Schluff-Sand-Gemisch TUG	100,0
Schluff-Sand-Gemisch 3P	137,0
Schluff-Feinsand-Gemisch TUG	82,0
Schluff-Feinsand-Gemisch 3P	99,0
Toniger Schluff TUG	175,0
Toniger Schluff 3P	169,0

In der Abbildung 13 sind die einaxialen Druckfestigkeiten der Ausgangsmaterialien bezogen auf den Wassergehalt dargestellt.

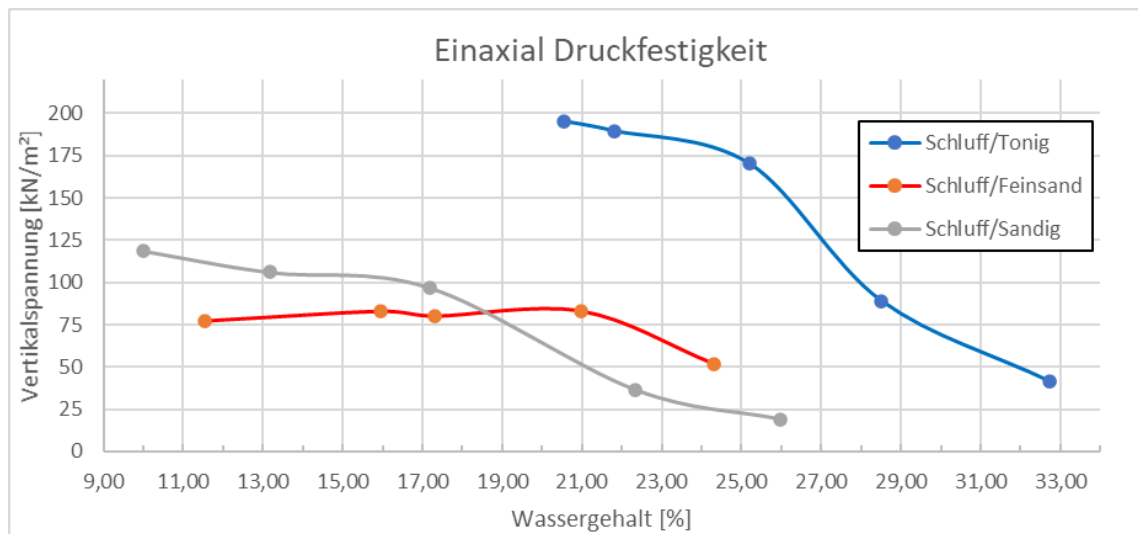


Abbildung 13: Einaxiale Druckfestigkeit der Ausgangsmaterialien abhängig vom Wassergehalt

#### 4.4.2 Scherversuch

Der Scherversuch wird für die drei Ausgangsmaterialien wie in Kapitel 0 beschrieben durchgeführt. Die verwendeten Normalspannungen betragen 75, 150 und 225 kPa. Die ausführlichen Ergebnisse werden in 9.1 Anhang A5 angehängt. Die zusammengefassten Ergebnisse der Scherversuche mit dem Ausgangsmaterial sind in Tabelle 10 abgebildet.

Tabelle 10: Ergebnisse der Scherversuche des Ausgangsmaterials

<b>Boden-Probe</b>	<b>Reibungswinkel <math>\phi</math> [°]</b>	<b>Kohäsion <math>c</math> [kPa]</b>
Schluff-Sand-Gemisch TUG	36,1	35,7
Schluff-Sand-Gemisch 3P	35,4	4,0
Schluff-Feinsand-Gemisch TUG	32,1	32
Toniger Schluff TUG	28,7	23,6
Toniger Schluff 3P	32,0	18,0

## 5 Labortechnische Charakterisierung mit Bindemittelstabilisierung

Es wurden die drei Ausgangsmaterialien (Schluff-Sand-Gemisch, Schluff/stark Feinsandig, Schluff/schwach Tonig) mit Bindemittelzugabe beprobt. Der Ablauf der unterschiedlichen Laboruntersuchungen wird in Kapitel 2.3.2 und 3.2.3.1 genauer beschrieben. Einige der Ergebnisse wurden ebenfalls von der Firma 3P Geotechnik ZT GmbH ermittelt und werden ebenso abgebildet.

### 5.1 Schluff-Sand-Bodengemisch

#### 5.1.1 Verdichtungsgrad

Der Verdichtungsgrad wird mittels Proctorversuch, wie in 2.3.2.1 beschrieben, gemäß (*ÖNORM EN 13286-2*, 2012) bestimmt. Die einzelnen Proctorkurven der Bindemitteltypen können in 9.3 Anhang C1 eingesehen werden.

In Tabelle 11 sind die Ergebnisse der Proctorversuche des stabilisierten Schluff-Sandigen Gemisches der TUG und der 3P Geotechnik zusammengefasst.

Tabelle 11: Ergebnisse der Verdichtbarkeit nach Proctor des stabilisierten Schluff-Sandigen Gemisches

Boden-Probe	Bindemittel/-menge	Proctordichte $\rho_{Pr}$ [g/cm <sup>3</sup> ]	Optimaler Wassergehalt $W_{opt}$ [%]	Luftporenanteil $n_a$ [%]
Schluff-Sand-Gemisch TUG	-	1,69	17,4	8,0
Schluff-Sand-Gemisch 3P	-	1,75	13,5	12,0
Schluff-Sand-Gemisch TUG	Kalk 3,0	1,658	17,00	9,95
Schluff-Sand-Gemisch 3P	Kalk 2,0	1,67	15,0	14,0
Schluff-Sand-Gemisch 3P	Kalk 4,2	1,69	15,0	13,0
Schluff-Sand-Gemisch TUG	Kalk 6,0	1,646	17,9	9,12
Schluff-Sand-Gemisch 3P	Kalk 6,0	1,67	15,0	14,0
Schluff-Sand-Gemisch TUG	Kalk 9,0	1,614	18,9	9,27
Schluff-Sand-Gemisch 3P	Kalk 12,0	1,64	16,5	13,0
Schluff-Sand-Gemisch TUG	Kalk/Zement 3,0	1,674	16,50	9,92

Schluff-Sand-Gemisch TUG	Kalk/Zement 6,0	1,640	16,70	11,42
Schluff-Sand-Gemisch TUG	Kalk/Zement 9,0	1,610	18,50	10,14
Schluff-Sand-Gemisch TUG	Zement 3,0	1,708	15,70	9,45
Schluff-Sand-Gemisch TUG	Zement 6,0	1,703	15,30	10,40
Schluff-Sand-Gemisch TUG	Zement 9,0	1,702	17,00	7,56

In Abbildung 14 und Abbildung 15 sind die Proctorkurven des Schluff-Sandigen Gemisches mit den unterschiedlichen Bindemitteltypen und Mischverhältnissen abgebildet. Abbildung 14 beschreibt die Proctorkurve mit dem Ausgangswassergehalt und Abbildung 15 den reduzierten Wassergehalt nach der chemischen Reaktion durch das Bindemittel. Die blauen Kurven beschreiben dabei das Gemisch mit Weißfeinkalk, die roten Kurven das Gemisch mit Weißfeinkalk/Zement und die grünen das Gemisch, das mit Zement stabilisiert ist. Die grau strichlierte Kurve beschreibt das unbehandelte Ausgangsmaterial.

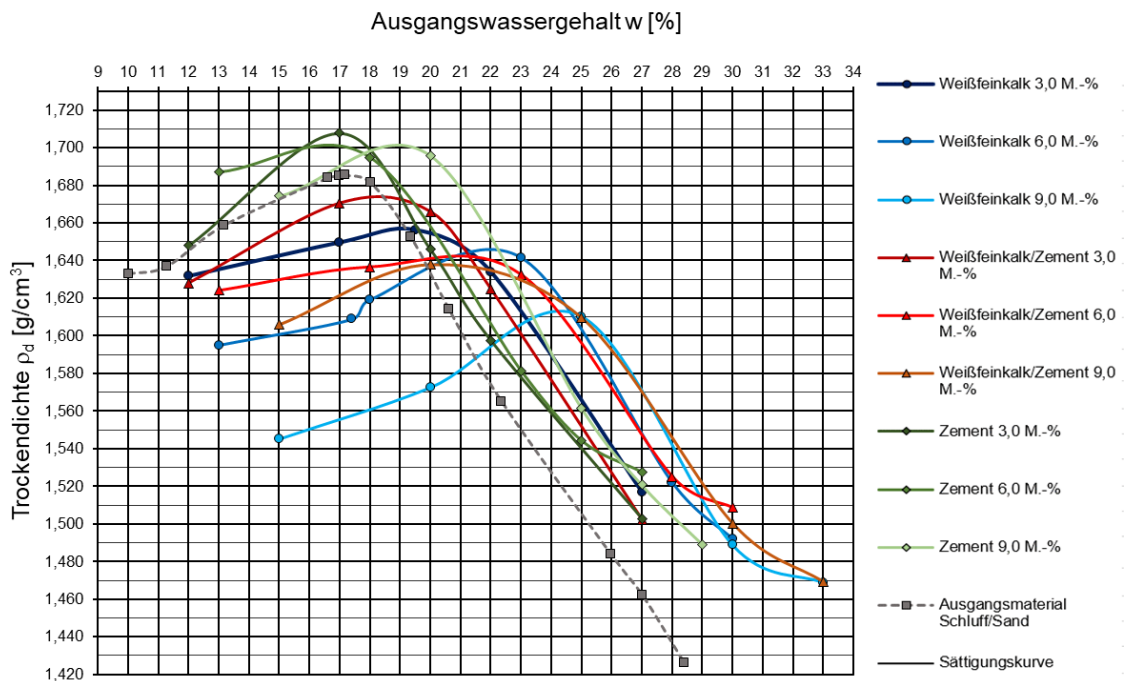


Abbildung 14: Proctorkurven Schluff-Sand Gemisch mit Ausgangswassergehalt

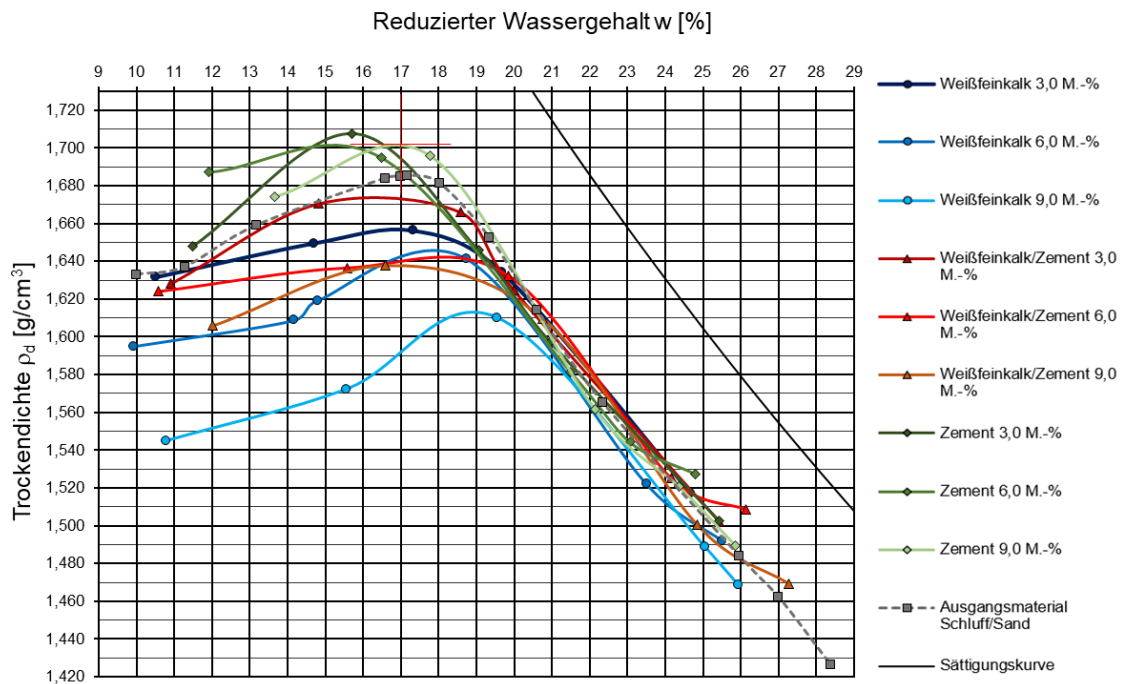


Abbildung 15: Proctorkurven Schluff-Sand Gemisch Bindemittelstabilisiert mit Reduziertem Wassergehalt

## 5.1.2 Festigkeit

Die Festigkeit wird bei den stabilisierten Gemischen, gleich wie bei den Ausgangsmaterialien, mittels einaxialen Druckversuchen und Rahmenscherversuchen durchgeführt. Es gibt jedoch den Unterschied, dass die Probekörper erst nach 7 bzw 28 Tagen beprobt werden.

### 5.1.2.1 Einaxiale Druckfestigkeit

Die einaxialen Druckversuche werden wie in Kapitel 2.3.2.2 beschrieben durchgeführt. Die genauen Laborergebnisse sind im 0 Anhang D1 angehängt. Die Ergebnisse der bei Proctordichte eingebauten einaxialen Druckfestigkeiten sind in Abbildung 16 graphisch dargestellt. Hierbei handelt es sich um die Druckfestigkeit abhängig vom Wassergehalt nach 28 Tagen Lagerung.

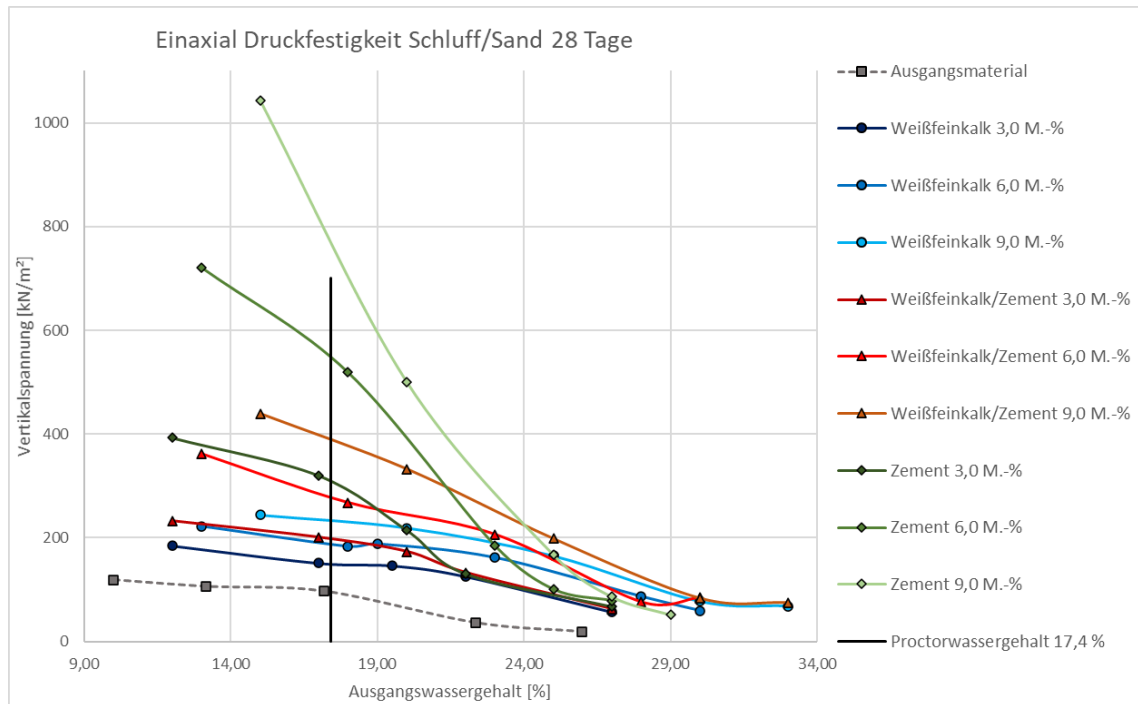


Abbildung 16: Einaxiale Druckfestigkeit vom stabilisierten Schluff-Sand Gemisch nach 28 Tagen

### 5.1.2.2 Scherversuch

Der Scherversuch wird wie in Kapitel 0 beschrieben durchgeführt. Die verwendeten Normalspannungen betragen 75, 150 und 225 kPa. Die ausführlichen Ergebnisse werden in 9.2 Anhang B1 angehängt. Die zusammengefassten Ergebnisse der Scherversuche mit dem Kalk/Zement stabilisierten Schluff-Sand Gemisch sind in Tabelle 12 aufgelistet.

Tabelle 12: Ergebnisse Scherversuche des stabilisierten Schluff/Sand Gemisches

Boden-Probe	Bindemittelmenge [M.-%]	Reibungswinkel [°]	Kohäsion [kPa]
Schluff-Sand-Gemisch TUG	0,0	36,1	35,7
Schluff-Sand-Gemisch 3P	0,0	35,4	4,0
Schluff-Sand-Gemisch TUG	3,0	32,8	58,1
Schluff-Sand-Gemisch TUG	6,0	43,1	48,5

## 5.2 Schluff-Feinsand-Bodengemisch

### 5.2.1 Verdichtungsgrad

Der Verdichtungsgrad wird mittels Proctorversuch, wie in 2.3.2.1 beschrieben gemäß (*ÖNORM EN 13286-2*, 2012), bestimmt. Die einzelnen Proctorkurven für jeden Bindemitteltyp können in 9.3 Anhang C2 eingesehen werden.

In Tabelle 13 sind die Ergebnisse der Proctorversuche des stabilisierten Schluff-Feinsand-Gemisches zusammengefasst.

Tabelle 13: Ergebnisse der Verdichtbarkeit nach Proctor des stabilisierten Schluff-Feinsand-Gemisches

Boden- Probe	Bindemittel/- menge	Proctordichte $\rho_{Pr}[g/cm^3]$	Optimaler Wassergehalt Wopt[%]	Luftporen anteil na[%]
Schluff/Fein sandig TUG	-	1,60	20,2	8,5
Schluff/Fein sandig TUG	Kalk 3,0	1,585	19,60	10,23
Schluff/Fein sandig TUG	Kalk 6,0	1,557	20,50	14,93
Schluff/Fein sandig TUG	Kalk 9,0	1,530	22,80	8,45
Schluff/Fein sandig TUG	Kalk/Zement 3,0	1,592	19,90	9,36
Schluff/Fein sandig TUG	Kalk/Zement 6,0	1,573	18,80	12,17
Schluff/Fein sandig TUG	Kalk/Zement 9,0	1,548	19,40	12,64
Schluff/Fein sandig TUG	Zement 3,0	1,593	20,10	8,98
Schluff/Fein sandig TUG	Zement 6,0	1,572	19,90	10,49
Schluff/Fein sandig TUG	Zement 9,0	1,548	20,40	11,09

In Abbildung 17 und Abbildung 18 sind die Proctorkurven des Schluff/Feinsandigen Gemisches mit den unterschiedlichen Bindemitteltypen und Mischverhältnissen abgebildet. Abbildung 17 beschreibt die Proctorkurve mit dem Ausgangswassergehalt und Abbildung 18 den reduzierten Wassergehalt. Die blauen Kurven beschreiben dabei das Gemisch mit Weißfeinkalk, die roten Kurven das Gemisch mit Weißfeinkalk/Zement und die grünen das Gemisch, das mit Zement stabilisiert ist. Die grau Strichlierte Kurve beschreibt das unbehandelte Ausgangsmaterial.



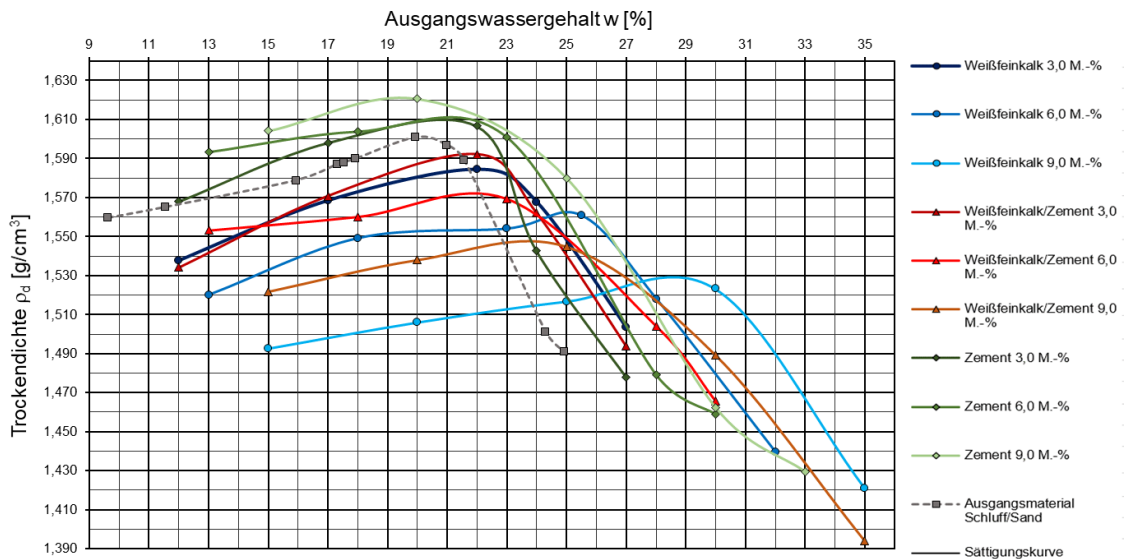


Abbildung 17: Proctorkurven Schluff-Feinsand-Gemisch mit Ausgangswassergehalt

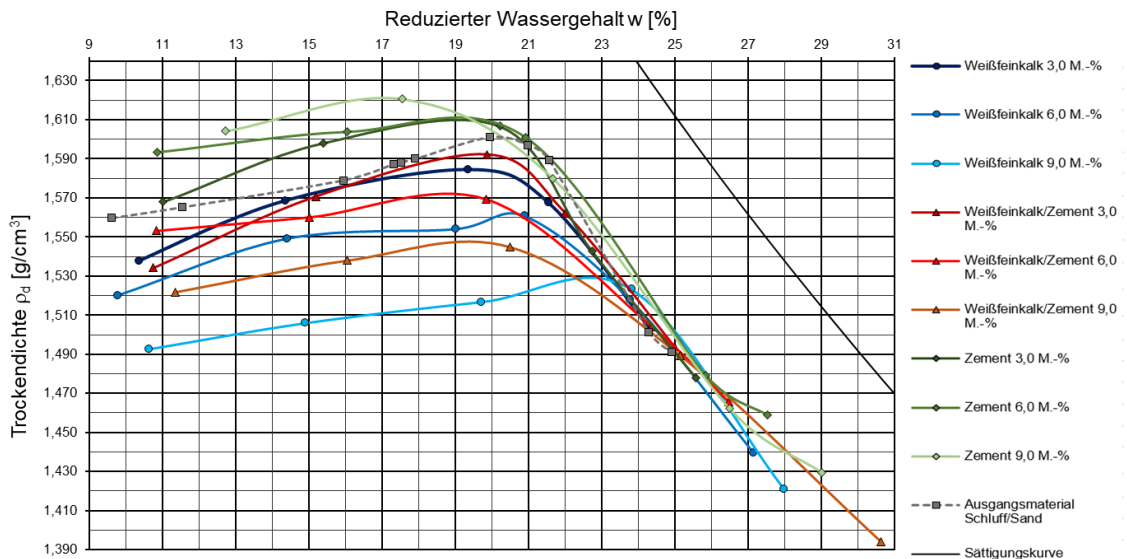


Abbildung 18: Proctorkurven Schluff-Feinsand-Gemisch Bindemittelstabilisiert mit reduziertem Wassergehalt

## 5.2.2 Festigkeit

### 5.2.2.1 Einaxiale Druckfestigkeit

Die einaxialen Druckversuche werden wie in Kapitel 2.3.2.2 beschrieben durchgeführt. Die genauen Laborergebnisse sind im 0 Anhang D2 angehängt. Die Ergebnisse der bei Proctordichte eingebauten einaxialen Druckfestigkeiten sind in Abbildung 19 graphisch dargestellt. Hierbei handelt es sich um die Druckfestigkeit abhängig vom Wassergehalt nach 28 Tagen Lagerung.

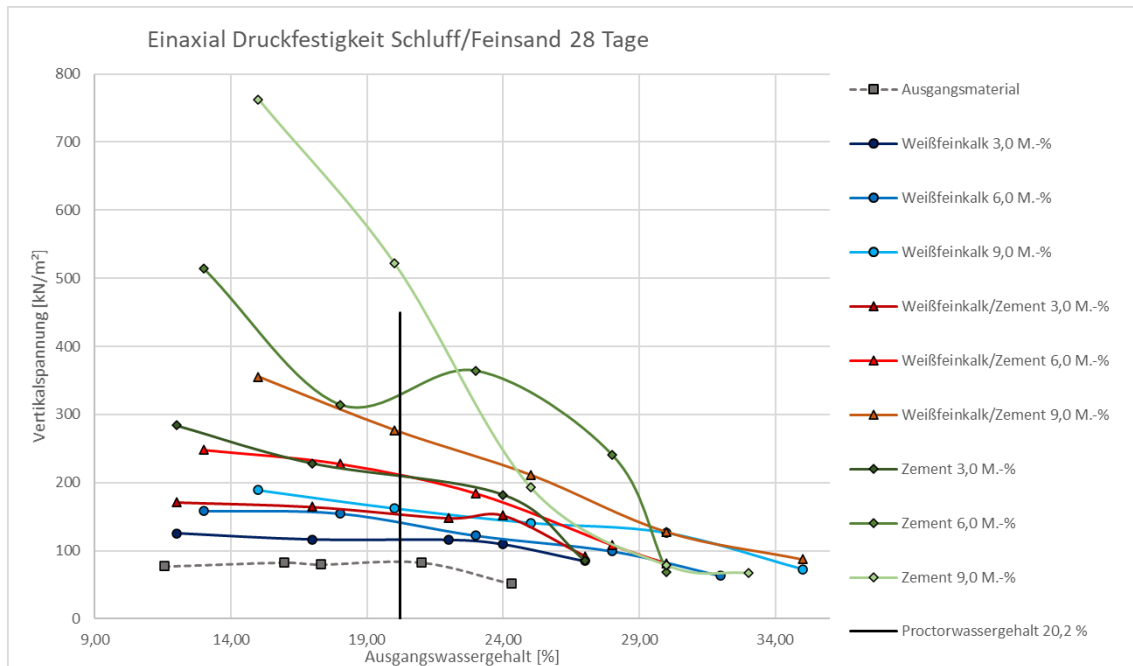


Abbildung 19: Einaxiale Druckfestigkeit vom stabilisierten Schluff-Feinsand-Gemisch nach 28 Tagen

### 5.2.2.2 Scherversuch

Der Scherversuch wird wie in Kapitel 0 beschrieben durchgeführt. Die verwendeten Normalspannungen entsprechen 75, 150 und 225 kPa. Die ausführlichen Ergebnisse werden in 9.2 Anhang B2 angehängt. Die zusammengefassten Ergebnisse der Scherversuche mit dem Kalk/Zement stabilisierten Schluff-Feinsand-Gemisch sind in Tabelle 14 aufgelistet.

Tabelle 14: Ergebnisse Scherversuche des stabilisierten Schluff-Feinsand-Gemisches

Boden-Probe	Bindemittelmenge [M.-%]	Reibungswinkel [°]	Kohäsion [kPa]
Schluff/Feinsand TUG	0,0	32,1	32
Schluff/Feinsand TUG	3,0	36,2	41,3
Schluff/Feinsand TUG	6,0	34,4	44,9

## 5.3 Schwach toniges Schluff-Gemisch

### 5.3.1 Verdichtungsgrad

Der Verdichtungsgrad wird mittels Proctorversuch, wie in 2.3.2.1 beschrieben gemäß (ÖNORM EN 13286-2, 2012), bestimmt. Die einzelnen Proctorkurven für jeden Bindemitteltyp können in 9.3 Anhang C3 eingesehen werden.

In Tabelle 15 sind die Ergebnisse der Proctorversuche des stabilisierten Schluff-Feinsand-Gemisches der TUG und der 3P Geotechnik zusammengefasst.

Tabelle 15: Ergebnisse der Verdichtbarkeit nach Proctor des stabilisierten Tonigen Schluff Gemisches

<b>Boden-Probe</b>	<b>Bindemittel/-menge</b>	<b>Proctordichte <math>\rho_{Pr}</math>[g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>Optimaler Wassergehalt <math>W_{opt}</math>[%]</b>	<b>Luftporenanteil <math>n_a</math>[%]</b>
Toniger Schluff TUG	-	1,53	24,5	6,8
Toniger Schluff 3P	-	1,57	25,0	14,0
Toniger Schluff TUG	Kalk 3,0	1,472	25,0	9,3
Toniger Schluff 3P	Kalk 5,0	1,51	22,0	12,0
Toniger Schluff TUG	Kalk 6,0	1,454	27,4	6,9
Toniger Schluff TUG	Kalk 9,0	1,438	29,0	5,6
Toniger Schluff 3P	Kalk 10,0	1,50	22,5	12,0
Toniger Schluff 3P	Kalk 15,0	1,48	22,5	12,0
Toniger Schluff TUG	Kalk/Zement 3,0	1,48	24,5	9,5
Toniger Schluff TUG	Kalk/Zement 6,0	1,472	25,2	9,0
Toniger Schluff TUG	Kalk/Zement 9,0	1,458	26,3	8,3

In Abbildung 20 und Abbildung 21 sind die Proctorkurven des Schluff-Feinsand-Gemisches mit den unterschiedlichen Bindemitteltypen und Mischverhältnissen abgebildet. Abbildung 20 beschreibt die Proctorkurve mit dem Ausgangswassergehalt und Abbildung 21 den reduzierten Wassergehalt. Die blauen Kurven beschreiben dabei das Gemisch mit Weißfeinkalk und die roten Kurven das Gemisch, das mit Weißfeinkalk/Zement stabilisiert ist. Die grau Strichlierte Kurve beschreibt das unbehandelte Ausgangsmaterial.

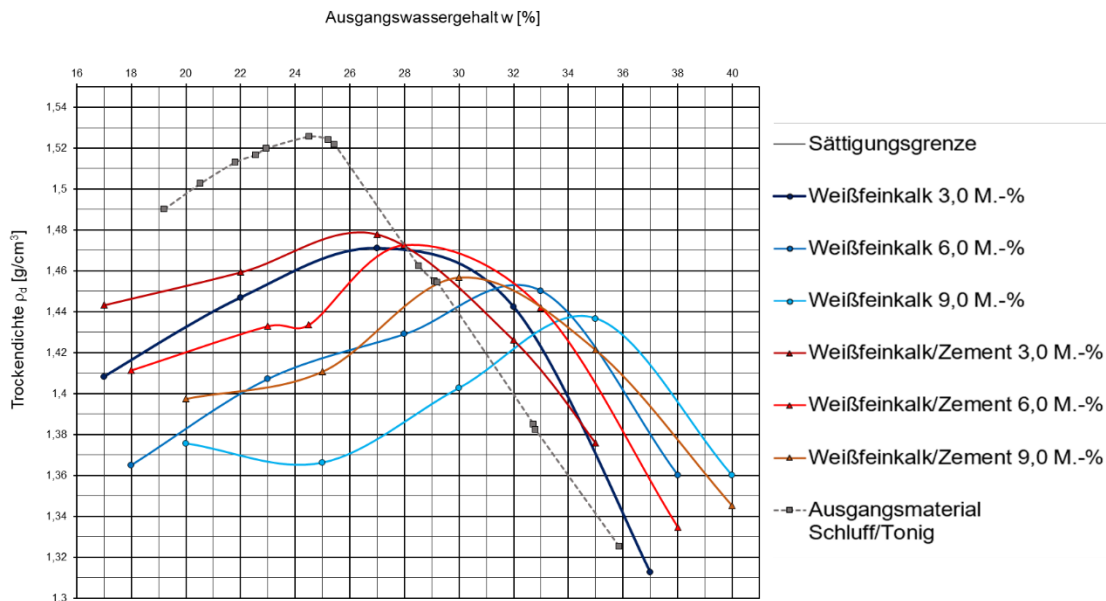


Abbildung 20: Proctorkurven Toniges-Schluff Gemisch mit Ausgangswassergehalt

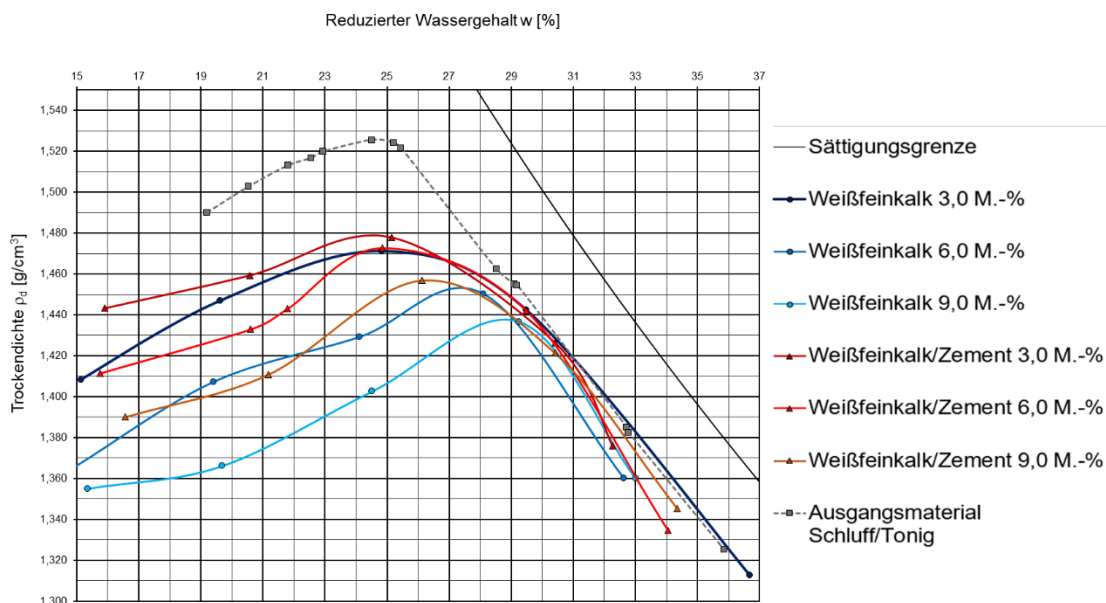


Abbildung 21: Proctorkurven Toniges-Schluff Gemisch Bindemittelstabilisiert mit Reduziertem Wassergehalt

## 5.3.2 Festigkeit

### 5.3.2.1 Einaxiale Druckfestigkeit

Die einaxialen Druckversuche werden wie in Kapitel 2.3.2.2 beschrieben durchgeführt. Die genauen Laborergebnisse sind im 0 Anhang D3 angehängt. Die Ergebnisse der bei Proctordichte eingebauten einaxialen Druckfestigkeiten sind in Abbildung 22 graphisch dargestellt. Hierbei handelt es sich um die Druckfestigkeit abhängig vom Wassergehalt nach 28 Tagen Lagerung.

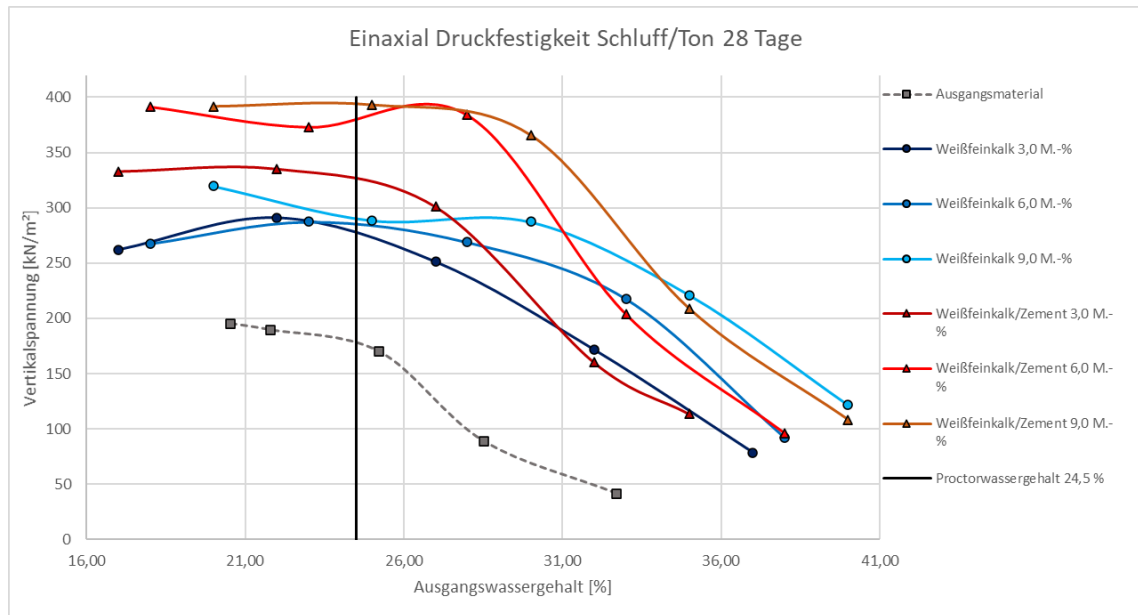


Abbildung 22: Einaxiale Druckfestigkeit vom stabilisierten tonigen Schluff Gemisch nach 28 Tagen

### 5.3.2.2 Scherversuch

Der Scherversuch wird wie in Kapitel 0 beschrieben durchgeführt. Die verwendeten Normalspannungen entsprechen 75, 150 und 225 kPa. Die ausführlichen Ergebnisse werden in 9.2 Anhang B3 angehängt. Die zusammengefassten Ergebnisse der Scherversuche mit dem Kalk/Zement stabilisierten tonigen Schluff Gemisch sind in Tabelle 16 aufgelistet.

Tabelle 16: Ergebnisse Scherversuche des stabilisierten Tonigen Schluff Gemisches

Boden-Probe	Bindemittelmenge [M.-%]	Reibungswinkel [°]	Kohäsion [kPa]
Toniger Schluff TUG	0,0	28,7	23,6
Toniger Schluff 3P	0,0	32,0	18,0
Toniger Schluff TUG	3,0	32,4	47,3
Toniger Schluff TUG	6,0	30,5	97,1

## 5.4 Wasserverlust durch Bindemittelbehandlung

Der Wasserverlust wurde bei jedem Punkt der Verdichtungskurven nach Proctor zusätzlich mitbestimmt. Dies erfolgt durch Wassergehaltsbestimmung vor und nach der chemischen Reaktion (inkl. Reaktionszeit). Dabei werden die Bodengemische mit der gewünschten Wassermenge angemischt, womit der Wassergehalt vor der Reaktion bekannt ist. Nach Ablauf der Reaktionszeit wird der Wassergehalt abermals bestimmt und die daraus folgende Differenz der

Massen ergibt den Wasserverlust. In Tabelle 17 sind die gemittelten Ergebnisse der Wassergehaltsverluste zufolge chemischer Reaktion abgebildet. Die Lagerung der Bodenproben nach Abmischen mit dem Bindemittel erfolgte normgerecht in einem verschlossenen Eimer, die Bestimmung der Wassergehaltsverluste erfolgte sodann nach einer entsprechenden Reaktionszeit des Boden-Bindemittelgemisches.

Tabelle 17: Wasserverlust der drei Bodengemische für die unterschiedlichen Bindemittelarten

<b>Bindemittelart</b>	<b>Bindemittelzugabe [M-%]</b>	<b>Wasserverlust [%]</b>
Weißfeinkalk	3,0	1,8 - 2,5
	6,0	3,0 - 4,2
	9,0	5,2 - 5,6
Weißfeinkalk/Zement	3,0	1,7 - 1,9
	6,0	3,0 - 3,2
	9,0	4,2 - 4,4
Zement	3,0	1,1 - 1,4
	6,0	3,1 - 3,2
	9,0	2,5 - 3,1

Ergänzend zu den Ergebnissen mit verschlossenen Eimern, wurden noch Versuche mit geöffnetem Eimer durchgeführt. Diese Versuche wurden für alle drei Bodengemische mit reinem Weißfeinkalk durchgeführt. Dabei wird der Boden nach demselben Prozedere wie vorhergehend beschrieben mit Proctor-Wassergehalt angemischt, jedoch mit dem Unterschied, dass die Lagerung in einem Eimer ohne Deckel erfolgt. Bei diesem Versuch werden Gewichtsmessungen direkt nach dem Vermischen mit dem Bindemittel und dann nach 1, 2, 4 und 6 Stunden gemacht. In Tabelle 18 und Abbildung 23 sind die Ergebnisse dieser Beprobung abgebildet. Die Tabelle 18 zeigt dabei die prozentualen Werte der Wasserverluste zu den definierten Zeitpunkten und den Vergleich mit den Ergebnissen mit verschlossenen Proben.

Tabelle 18: Wasserverlust durch Weißfeinkalk bei geöffnetem Eimer

Wasserverlust durch Weißfeinkalkstabilisierung								
Stunden	Schluff-Sand-Gemisch		Schluff-Feinsand-Gemisch		Toniger Schluff 1. Serie		Toniger Schluff 2. Serie	
	3,0-M.-%	6,0-M.-%	3,0-M.-%	6,0-M.-%	3,0-M.-%	6,0-M.-%	3,0-M.-%	6,0-M.-%
[h]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]	[%]
<b>0</b>	1,63	3,83	2,33	4,62	5,44	9,42	4,99	8,74
<b>1</b>	1,85	4,20	2,55	4,93	5,75	9,83	5,21	9,02
<b>2</b>	2,02	4,40	2,68	5,09	5,82	9,94	5,34	9,21
<b>4</b>	2,15	4,54	2,84	5,29	5,99	10,15	5,53	9,43
<b>6</b>	2,28	4,65	2,97	5,43	6,12	10,29	5,65	9,52
<b>Getrocknet</b>	2,30	4,67	3,00	5,44	6,13	10,32	5,70	9,65
<b>Verschlossen 6h</b>	2,13	3,80	2,42	4,08	1,85	4,18	1,85	4,18

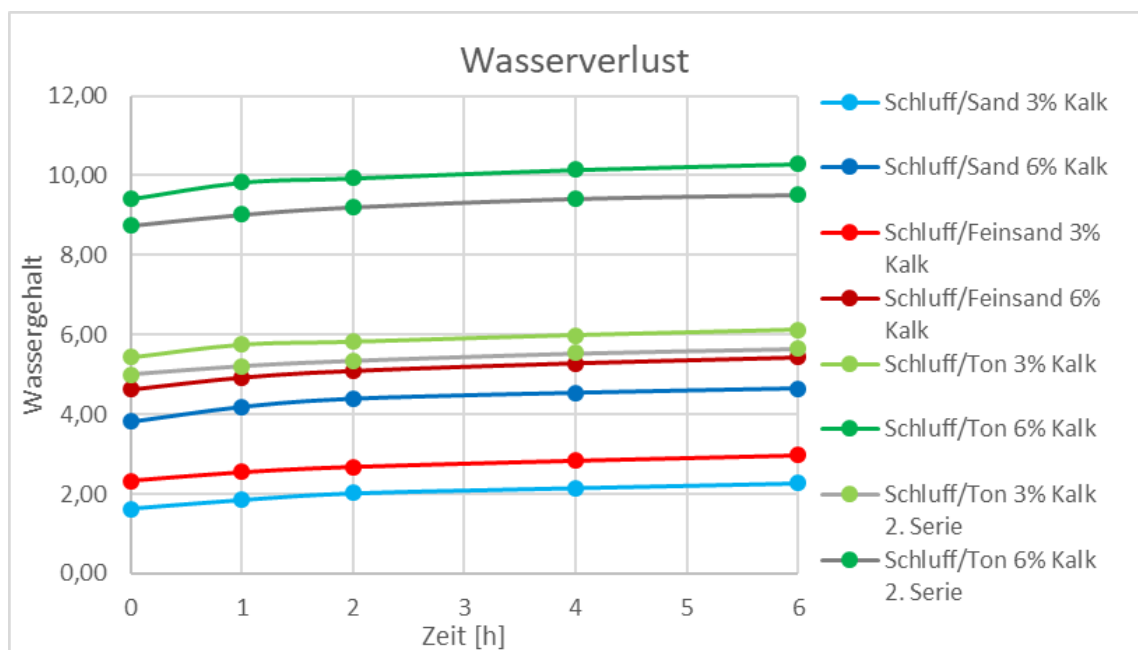


Abbildung 23: Wasserverlust bei geöffnetem Eimer nach der Zeit

## 6 Diskussion

Bei Gegenüberstellung der Laborergebnisse der Proctor-, Druck- und Scherversuche in den Kapiteln 4 und 5 wird ersichtlich, dass sich die Materialeigenschaften durch die Bindemittelbehandlung signifikant verändern bzw. verbessern.

Die idealen Wassergehalte (Proctorwassergehalt) der Ausgangsmaterialien liegen zwischen 17,4 und 24,5 % (17,4 % Schluff-Sand-Gemisch, 20,2 % Schluff-Feinsand-Gemisch, 24,5 % Schluff/schwach tonigen - Gemisch). Bei der Bestimmung des Verdichtungsgrads mit Bindemitteln ist auffallend, dass sich bei den Bodengemischen mit Weißfeinkalk die Proctordichte verringert und der ideale Wassergehalt um ca. 0,5 – 4,5 % (-0,4 - 1,5 % Schluff-Sand-Gemisch, -0,6 - 2,6 % Schluff-Feinsand-Gemisch, 0,5 - 4,5 % Schluff/ schwach tonigen - Gemisch) ansteigt. Dies ist dabei stark abhängig vom Bindemittelgehalt, bei 3,0 M.-% Bindemittel bezogen auf die Trockendichte beträgt die Veränderung des idealen Wassergehalts zwischen ca. -0,5 % bis 0,5 %, bei 6,0 M.-% wiederum zwischen 0,5 und 2,9 % und bei 9,0 M.-% zwischen 1,5 und 4,5 %. Wohingegen bei der Stabilisierung mit Zement die Trockendichte ansteigt und der ideale Wassergehalt annähernd gleichbleibt bzw. etwas geringer wird. Die Bindemittelmischung Weißfeinkalk/Zement liegt zwischen beiden Ergebnissen, mit einer leicht verringerten Trockendichte und einem gleichbleibenden bis schwach höheren idealen Wassergehalt, welcher sich um -1,4 – 1,8 % (-0,9 - 1,1 % Schluff-Sand-Gemisch, -0,3 - -1,4 % Schluff-Feinsand-Gemisch, 0,0 - 1,9 % Schluff/ schwach tonigen - Gemisch) erhöht, die Veränderung des idealen Wassergehalts nach Proctor ist abhängig vom Bindemittelgehalt. Bei hoher Bindemitteldosierung ist der Proctorwassergehalt höher und bei niedriger Dosierung geringer. Die mit Weißfeinkalk als auch mit dem Mischbindemittel stabilisierten Bodenmaterialien weisen eine flachere Verdichtungskurve nach Proctor aus, was das Erreichen vorgegebener Mindestverdichtungswerte – bezogen auf die Proctordichte - erleichtert. Die Verringerung der Trockendichte nach dem Abbinden mit Weißfeinkalk lässt sich durch die Strukturveränderung während des Löschvorgangs des Branntkalks erklären. Dabei quillt der Kalk auf und die Porenräume werden größer. Auffallend ist, dass die Ergebnisse, des Verdichtungsgrads nach Proctor, für die unbehandelten Ausgangsmaterialien der 3P Geotechnik durchwegs Unterschiede zu denen der TUG aufweisen. Die Proctordichten der 3P Geotechnik sind tendenziell größer und die idealen Wassergehalte der etwas geringer. Worauf diese Unterschiede zurückzuführen sind, konnte nicht abschließend geklärt werden, allerdings wurden die Versuche der TUG mehrfach wiederholt und die Ergebnisse blieben annähernd ident und sind somit valide.

Die Erhöhung der Druckfestigkeit durch die Bindemittelstabilisierung wirkt sich am deutlichsten bei den Schluff/Sand- bzw. Schluff/Feinsand- Bodengemischen



aus. Die Druckfestigkeiten der unbehandelten Ausgangsmaterialien liegen zwischen 80 und 175 kPa (100 kPa Schluff-Sand-Gemisch, 82 kPa Schluff-Feinsand-Gemisch, 175 kPa Toniger Schluff). Die Vergrößerung der Druckfestigkeiten bei der Behandlung mit Weißfeinkalk betragen in Abhängigkeit des Bindemittelgehaltes zwischen 40 – 110 % beim Schluff-Sand-Gemisch, 40 – 65 % Schluff-Feinsand-Gemisch und 40 - 60 % beim tonigen Schluff. Die Bindemittelbehandlung mit Kalk/Zement erhöht die Festigkeit etwas mehr. Der Anstieg beträgt 80 – 220 % Schluff-Sand-Gemisch, 80 – 160 % Schluff-Feinsand-Gemisch und 80 – 130 % beim Toniger Schluff. Die größte Auswirkung hat die Behandlung mit Zement auf die Festigkeit, da sich diese um 180 – 500 % beim Schluff-Sand-Gemisch und um 110 – 250 % beim Schluff-Feinsand-Gemisch erhöht. In Abbildung 24 ist zur besseren Verdeutlichung ein Diagramm mit den Erhöhungen der Druckfestigkeiten nach 28 Tagen Lagerung abgebildet.

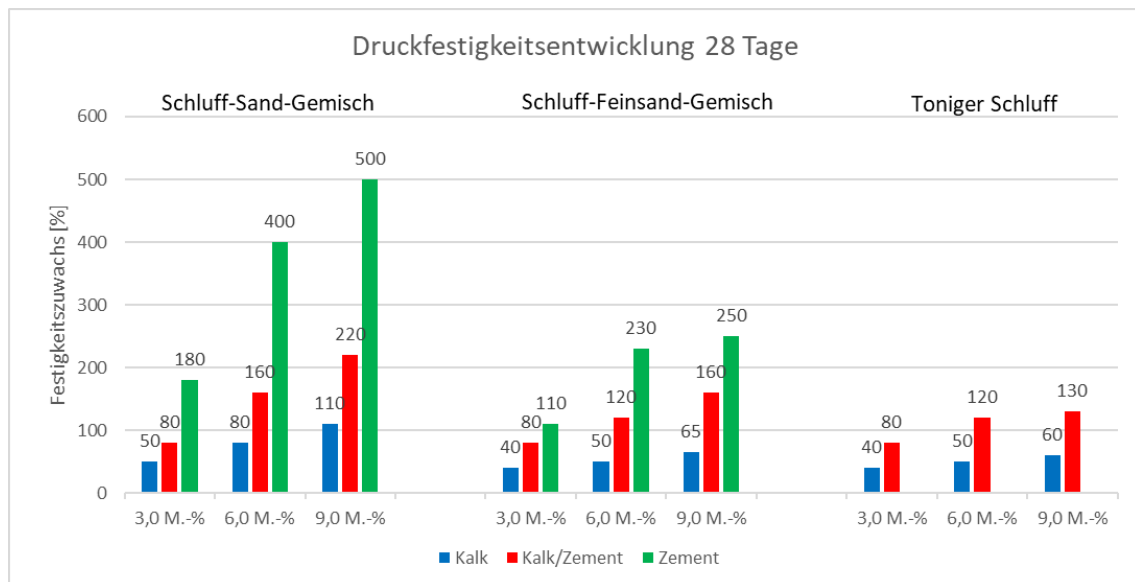


Abbildung 24: Druckfestigkeitsentwicklung nach 28 Tagen

Anhand der Ergebnisse der Scherversuche lässt sich erkennen, dass sich die Kohäsion mit der Zugabe vom Mischbindemittel Kalk/Zement signifikant erhöht. Allerdings ist der Zuwachs des Reibungswinkels nicht sehr ausgeprägt. Die unbehandelten Ausgangsmaterialien haben einen Reibungswinkel zwischen  $\sim 28$  und  $36^\circ$  ( $36,1^\circ$  Schluff-Sand-Gemisch,  $32,1^\circ$  Schluff-Feinsand-Gemisch,  $28,7^\circ$  Toniger Schluff) und eine Kohäsion von  $\sim 23$  bis  $36$  kPa ( $35,7$  kPa Schluff-Sand-Gemisch,  $32,0$  kPa Schluff-Feinsand-Gemisch,  $23,6$  kPa Toniger Schluff). Die Ergebnisse der Scherversuche am Ausgangsmaterial der 3P Geotechnik sind mit jenen der TUG, mit Ausnahme der Kohäsion beim Schluff-Sand Material ( $4,0$  kPa - 3P /  $35,7$  kPa - TUG) und dem Reibungswinkel beim Tonigen Schluff Boden ( $32,0^\circ$  - 3P /  $28,7^\circ$  - TUG), vergleichbar. Bei der Abweichung des Reibungswinkels kann es sich um Messungenauigkeit im Rahmen der Prüfungsungenauigkeit handeln. Die Streuung der Kohäsion kann nicht abschließend geklärt werden. Beim mit  $3,0$  M.-% bindemittelbehandelten Schluff-Sand-Bodenmaterial reduziert sich der Reibungswinkel von  $36,1$  auf  $32,8^\circ$ .

Allerdings erhöht sich der Reibungswinkel bei der Zugabe von 6,0 M.-% auf  $43,1^\circ$  und die Kohäsion steigt in beiden Fällen auf 58,1 kPa (3,0 M.-%) und 48,5 kPa (6,0 M.-%). Beim Schluff-Sand-Gemisch mit 6,0 M.-% Bindemittelgehalt ist der Reibungswinkel entgegen den Erwartungen etwas zu hoch und die Kohäsion etwas zu gering ausgefallen. Beim Schluff-Feinsand-Gemisch entsprechen die Ergebnisse etwas mehr den erwarteten Werten und der Reibungswinkel steigt von  $\sim 32^\circ$  auf  $36^\circ$  und die Kohäsion steigt von 32 kPa auf ca. 40 – 45 kPa. Die Ergebniswerte des schwach tonigen Schluff mit Bindemittel stabilisiert wachsen ebenfalls wie erwartet. Der Reibungswinkel erhöht sich von ca.  $29^\circ$  auf 30 bis  $32^\circ$  und die Kohäsion wächst von ca. 24 kPa auf ca. 50 kPa bis beinahe 100 kPa.

Bei den ermittelten Daten des Wasserverlustes ist klar ersichtlich, dass die größte Reduktion bei der Stabilisation mit Weißfeinkalk stattfindet, gefolgt vom Mischbindemittel Weißfeinkalk/Zement und an letzter Stelle der reine Zement. Bei der Reaktion des Wassers mit dem Weißfeinkalk verringert sich der Wassergehalt je nach Bindemittelanteil um 1,8 – 5,6 %. Die Reduktion durch das Abbinden des Mischbindemittels Kalk/Zement verringert den Wassergehalt in Abhängigkeit des Bindemittelanteils um 1,7 – 4,4 %. Ebenfalls erwähnenswert ist, dass sich durch die chemische Reaktion des Zements der Wassergehalt, wiederum abhängig vom Bindemittelanteil, um 1,1 – 3,2 % reduziert. Alle Messungen wurden nach einer Lagerung im verschlossenen Eimer durchgeführt. Auffallend ist, dass sich bei den Versuchen mit geöffnetem Eimer die Ergebnisse mit Ausnahme des (schwach) tonigen Schluff Bodenmaterials nicht signifikant änderten. Hier vervielfacht sich das verdunstete Wasser. Die Reduktion des Wassergehaltes durch Zugabe des Bindemittels auf der Baustelle sollte sich (bei trockenen Witterungsbedingungen) gegenüber den Werten aus dem Labor tendenziell erhöhen, da das Material ebenfalls „unverschlossen“ verarbeitet wird.

Nach den Erkenntnissen der Arbeit ist das Mischbindemittel aus 50 % Weißfeinkalk und 50 % Zement die geeignetste Wahl zur Stabilisierung des vorhandenen Bodenmaterials, da es für die Bandbreite an zu erwartenden Böden, die im Durchschnitt besten Ergebnisse, was Verarbeitbarkeit und Festigkeitserhöhung betrifft, zeigt. Unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit wird dabei ein Bindemittelanteil zwischen 3% und 6% für zielführend erachtet. Im Detail ist hierbei jedoch auch auf die Witterungsverhältnisse zu achten. Beispielsweise kann bei erhöhten Niederschlagsperioden ein höherer Bindemittelanteil erforderlich werden, um die Verarbeitbarkeit bzw. Verdichtbarkeit sicherstellen zu können.

## 7 Zusammenfassung und Ausblick

Auf Grundlage der erarbeiteten Laborergebnisse und der Diskussion in vorigem Kapitel lassen sich die Erkenntnisse wie folgt stichpunktartig zusammenfassen:

- Bei den drei untersuchten Materialien handelt es sich um ein Schluff-Sand-Gemisch, ein Schluff/Feinsand Gemisch und um einen (schwach) tonigen Schluff. Bei allen Böden ist der organische Anteil sehr gering ( $< 2,3\%$ ). Die Materialien haben durchwegs einen im Vergleich zur Proctordichte zu hohen Wassergehalt, um eine ideale Verdichtung zu ermöglichen. Alle drei Materialien können als sehr gering durchlässig bezeichnet werden.
- Durch das Beimengen von den Bindemitteln Weißfeinkalk, Zement und das Mischbindemittel Weißfeinkalk/Zement im Mischungsverhältnis 50/50 % können die Materialeigenschaften signifikant verbessert werden.
- Die größte Auswirkung auf die Festigkeit hatte die Behandlung mit reinem Zement, allerdings sind die Effekte auf die Wassergehaltsreduktion, welche Voraussetzung für eine gute Einbaubarkeit ist, die geringsten.
- Die stärkste Reduktion des Wassergehalts erfolgte durch die Stabilisierung mit Weißfeinkalk, wenn gleich die Erhöhung der Festigkeit am geringsten ausfällt. Der Branntkalk hat auch den positiven Einfluss, dass sich die Verdichtungskurve nach Proctor abflacht und dadurch der gewünschte Verdichtungsgrad einfacher erreichbar ist.

Unter Berücksichtigung der Bandbreite an zu erwartenden Bodenmaterialien für den Dammbau, und dem zu erwartenden natürlichen Wassergehalt, der tendenziell auf der zu nassen Seite liegt, ist der beste Kompromiss durch das Mischbindemittel aus Weißfeinkalk und Zement gegeben. Nach den Erkenntnissen dieser Arbeit sind je nach zu erreichender Festigkeit und in Abhängigkeit des natürlichen Wassergehalts die Bindemittelmengen zwischen 3,0 und 6,0 % der Trockenmasse empfehlenswert.

Als abschließender Ausblick wird die Errichtung eines Probefeldes bzw. Probedammes empfohlen, um die im Labor ermittelte Bindemittelmischung (50/50 % Weißfeinkalk/Zement) unter Baustellenbedingungen vor Ort zu testen und die Praktikabilität für den Bauablauf zu überprüfen. Dabei sollte sowohl der Bauablauf überwacht werden als auch die erreichten Verdichtungsparameter und Festigkeiten entsprechend kontrolliert und protokolliert werden.

## 8 Literaturverzeichnis

Deutsche Gesellschaft für Erd- und Grundbau e.V. (Ed.) (1990), *Empfehlungen des Arbeitskreises "Geotechnik der Deponien und Altlasten" - GDA*, Ernst, Berlin.

*Eignungsprüfung bei Bodenverbesserungen mit Bindemitteln* (2010). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, *FGSV R1 - Regelwerke*, 591/B 11.3, Ausg. 2010, Forschungsges. für Strassen- u. Verkehrswesen, Köln.

Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (2004), *Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln*, *FGSV*, Ausg. 2004, Köln.

“Internationale Rheinregulierung” (2021), available at: <https://rheinregulierung.org/projekt-rhesi/projektbeschreibung> (accessed 14 April 2021).

*Merkblatt zur Herstellung, Wirkungsweise und Anwendung von Mischbindemitteln* (2012). Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, *FGSV R 2*, Vol. 564, Ausg. 2012, FGSV-Verl., Köln.

*ÖNORM B 4411* (2009): *Geotechnik - Untersuchung von Bodenproben Bestimmung von Fließ-, Plastizitäts- und Schrumpfgrenze unter Einbeziehung der VORNORM ÖNORM CEN ISO/TS 17892-12 ZURÜCKGEZOGEN*. Austrian Standards Institute, 13.080.20; 93.020.

*ÖNORM B 4418* (2019): *Geotechnik - Durchführung von Proctorversuchen im Erdbau unter Einbeziehung der ÖNORM EN 13286-2*. Austrian Standards Institute, 93.020; 93.080.20.

*ÖNORM B 4424* (2016): *Geotechnik - Untersuchung von Bodenproben Bestimmung des organischen Anteils*. Austrian Standards Institute, 93.020.

*ÖNORM EN 13286-2* (2012): *Ungebundene und hydraulische gebunden Gemische Teil 2: Laborprüfungsverfahren zur Bestimmung der Referenz-Trockendichte und des Wassergehaltes - Proctorversuch*. Austrian Standards Institute, 93.080.20.

*ÖNORM EN 14227-15* (2016): *Hydraulisch gebunden Gemische - Anforderungen Teil 15: Bodenverfestigung mit hydraulischen Bindemitteln*. Austrian Standards Institute, 93.080.20.

*ÖNORM EN 16907-4* (2019): *Erdarbeiten Teil 4: Bodenbehandlung mit Kalk und/oder hydraulischen Bindemitteln*. Austrian Standards Institute, 93.020.

*ÖNORM EN ISO 14688-2* (2019): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden Teil 2: Grundlagen für Bodenklassifizierung*. Austrian Standards Institute, 13.080.05;93.020.

- ÖNORM EN ISO 17892-1 (2015): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben Teil 1: Bestimmung des Wassergehalts*. Austrian Standards Institute, 13.080.20; 93.020.
- ÖNORM EN ISO 17892-10 (2019): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben Teil 10: Direkte Scherversuche*. Austrian Standards Institute, 13.080.20; 93.020.
- ÖNORM EN ISO 17892-11 (2019): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben Teil 11: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit*. Austrian Standards Institute, 13.080.20; 93.020.
- ÖNORM EN ISO 17892-12 (2020): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben Teil 3: Bestimmung der Fließ- und Ausrollgrenzen*. Austrian Standards Institute, 13.080.20; 93.020.
- ÖNORM EN ISO 17892-3 (2016): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben Teil 3: Bestimmung der Korndichte*. Austrian Standards Institute, 13.080.20; 93.020.
- ÖNORM EN ISO 17892-4 (2017): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben Teil 4: Bestimmung der Kornverteilung*. Austrian Standards Institute, 13.080.20; 93.020.
- ÖNORM EN ISO 17892-7 (2018): *Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Laborversuche an Bodenproben Teil 7: Einaxialer Druckversuch*. Austrian Standards Institute, 13.080.20; 93.020.
- “RHESI\_Bau\_Materialwirtschaft” (2021), available at: [https://rhesi.org/media/pages/service/publikationen/1395957456-1575888363/1109\\_rhesi\\_bau\\_materialwirtschaft\\_final.pdf](https://rhesi.org/media/pages/service/publikationen/1395957456-1575888363/1109_rhesi_bau_materialwirtschaft_final.pdf) (accessed 14 April 2021).
- “Rhesi\_Folder Gesamtprojekt” (2021), available at: [https://rhesi.org/media/pages/service/publikationen/2227466932-1575888368/183550\\_1309\\_rhesi\\_folder-gesamtprojekt\\_kontroll\\_final.pdf](https://rhesi.org/media/pages/service/publikationen/2227466932-1575888368/183550_1309_rhesi_folder-gesamtprojekt_kontroll_final.pdf) (accessed 14 April 2021).
- RVS 11.02.45 (1978): *Bodenstabilisierung mit Kalk*. Forschungsgesellschaft für das Straßenwesen.
- Witt, K.J. (Ed.) (2018), *Grundbau-Taschenbuch*, 8. Auflage, Ernst & Sohn a Wiley brand, Berlin.

## 9 Anhang

Der nachfolgende Anhang wurde in vier Bereiche unterteilt, welche beinhalten:

- Anhang A – Bodencharakterisierung Ausgangsmaterial
- Anhang B - Scherversuche mit Bindemittelbehandlung
- Anhang C – Proctorversuche mit Bindemittelbehandlung
- Anhang D – Einaxiale Druckfestigkeit mit Bindemittelbehandlung

## **9.1 Anhang A – Bodencharakterisierung Ausgangsmaterial**

**Anhang A beinhaltet folgendes:**

- A1 Korngrößenverteilung
- A2 Korndichte
- A3 Durchlässigkeit
- A4 Atterberg'sche Grenzen
- A5 Scherversuch
- A6 Einaxiale Druckfestigkeit
- A7 Proctorversuch

A1 Kornverteilung:  
Schluff-Sand-Gemisch:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238	
---	--	---

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> MA Mathis	<b>Labornummer:</b> 21736
<b>Projekt Nr.:</b> 2	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b>	<b>Bearbeiter:</b> Mathis
<b>Bezeichnung:</b> Schluff, Sand	<b>Datum:</b> 11.12.20 - 18.12.20

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

<u>Ø [mm]</u>	<u>%</u>
22,4	100,0
16,0	98,1
8,0	95,8
4,0	94,8
2,0	94,3
1,0	93,6
0,5000	92,7
0,2500	84,8
0,1250	58,6

#### Schlämmanalyse

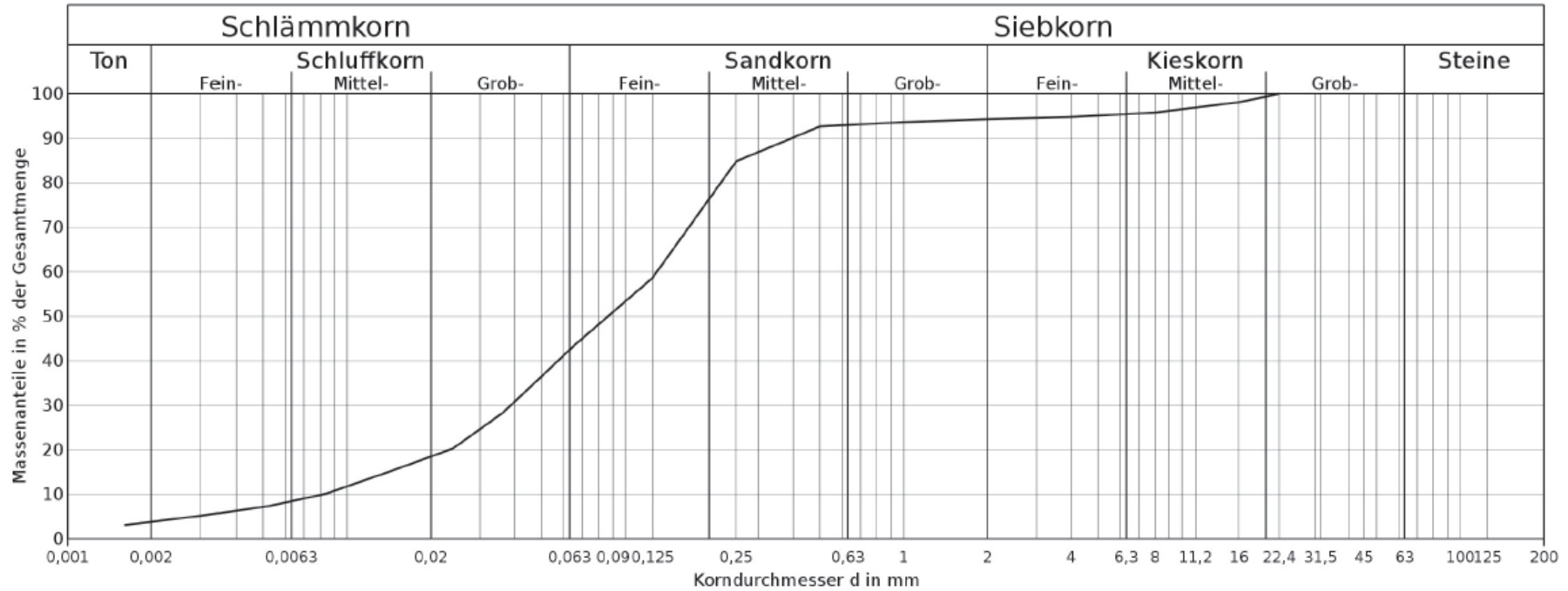
<u>Ø [mm]</u>	<u>%</u>
0,0653	43,4
0,0487	35,9
0,0362	28,3
0,0240	20,3
0,0142	15,1
0,0084	10,2
0,0052	7,3
0,0030	5,2
0,0016	3,1



	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238	 <b>IBG</b>
---	--	---

Auftraggeber	Projekt MA Mathis	Proj. Nr. 2	Bezeichnung Schluff, Sand	Tiefe -	Bearb. Mathis	Datum 11.12.20 - 18.12.20
--------------	----------------------	----------------	------------------------------	------------	------------------	------------------------------

### KÖRnungSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner $\phi$ [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer $\phi$ [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
21736	—	-	3,8	38,6	51,8	5,7	0,1	-	cl' gr' Si/Sa	0,0082mm	0,0387mm	0,1297mm	15,82	1,41

Schluff-Feinsand-Gemisch:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238	 <b>IBG</b>
---	--	---

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> MA Mathis	<b>Labornummer:</b> 21737
<b>Projekt Nr.:</b> 2	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b>	<b>Bearbeiter:</b> Mathis
<b>Bezeichnung:</b> Schluff, Feinsand	<b>Datum:</b> 11.12.20 - 18.12.20

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

<b>Ø [mm]</b>	<b>%</b>
2,0	100,0
1,0	100,0
0,5000	99,9
0,2500	99,4
0,1250	85,8

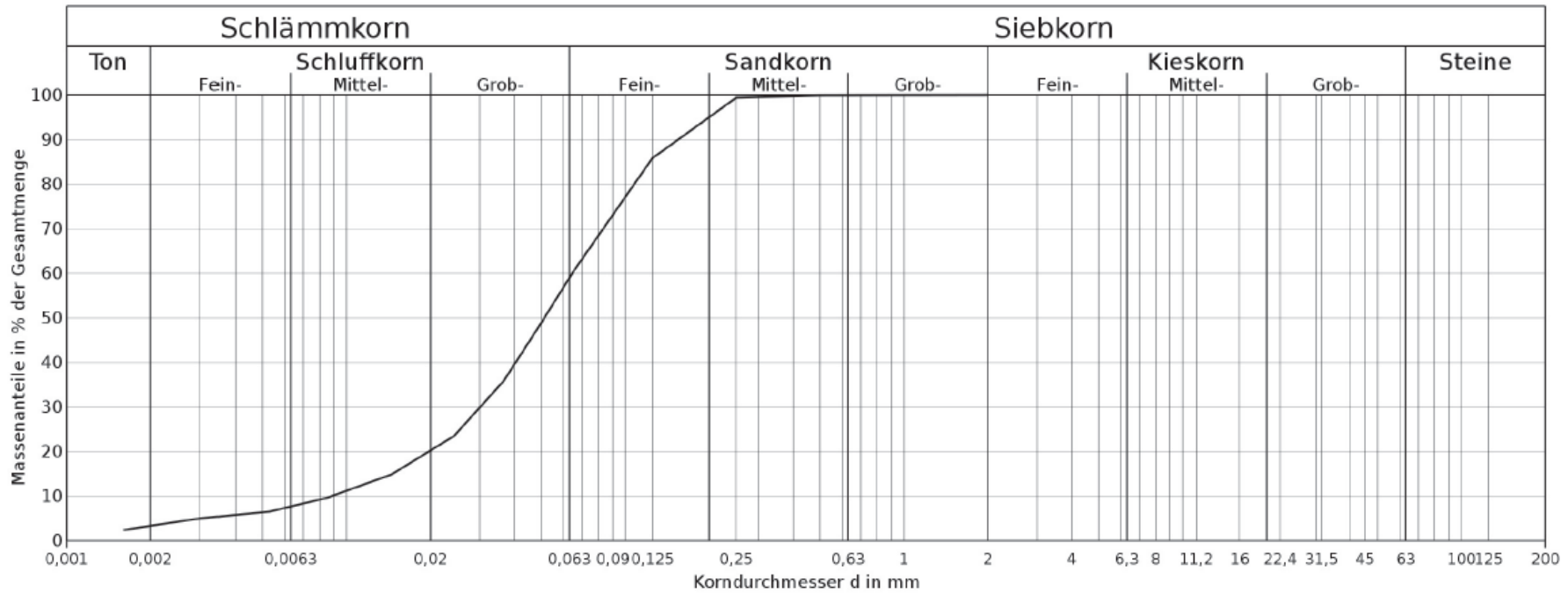
#### Schlämmanalyse

<b>Ø [mm]</b>	<b>%</b>
0,0653	60,5
0,0491	48,2
0,0366	35,9
0,0243	23,5
0,0145	14,9
0,0085	9,6
0,0053	6,5
0,0030	5,0
0,0016	2,4

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238	 <b>IBG</b>
---	--	---

Auftraggeber	Projekt MA Mathis	Proj. Nr. 2	Bezeichnung Schluff, Feinsand	Tiefe -	Bearb. Mathis	Datum 11.12.20 - 18.12.20
--------------	----------------------	----------------	----------------------------------	------------	------------------	------------------------------

### KÖRnungSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner Ø [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer Ø [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
21737	—	-	3,3	55,6	41,0	-	0,1	-	d" Sl/Sa	0,0088mm	0,0301mm	0,0645mm	7,33	1,60

Toniger Schluff:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238	 <b>IBG</b>
---	--	---

## KORNGRÖSSENVERTEILUNG

### ANGABEN ZUR PROBE

<b>Projekt:</b> MA Mathis	<b>Labornummer:</b> 21738
<b>Projekt Nr.:</b> 2	<b>Tiefe:</b> -
<b>Auftraggeber:</b>	<b>Bearbeiter:</b> Mathis
<b>Bezeichnung:</b> Schluff, tonig	<b>Datum:</b> 11.12.20 - 18.12.20

### ZUSAMMENSTELLUNG DER SIEBDURCHGÄNGE

#### Siebanalyse

<b>Ø [mm]</b>	<b>%</b>
11,2	100,0
8,0	99,8
4,0	99,8
2,0	99,8
1,0	99,7
0,5000	99,7
0,2500	99,6
0,1250	99,3

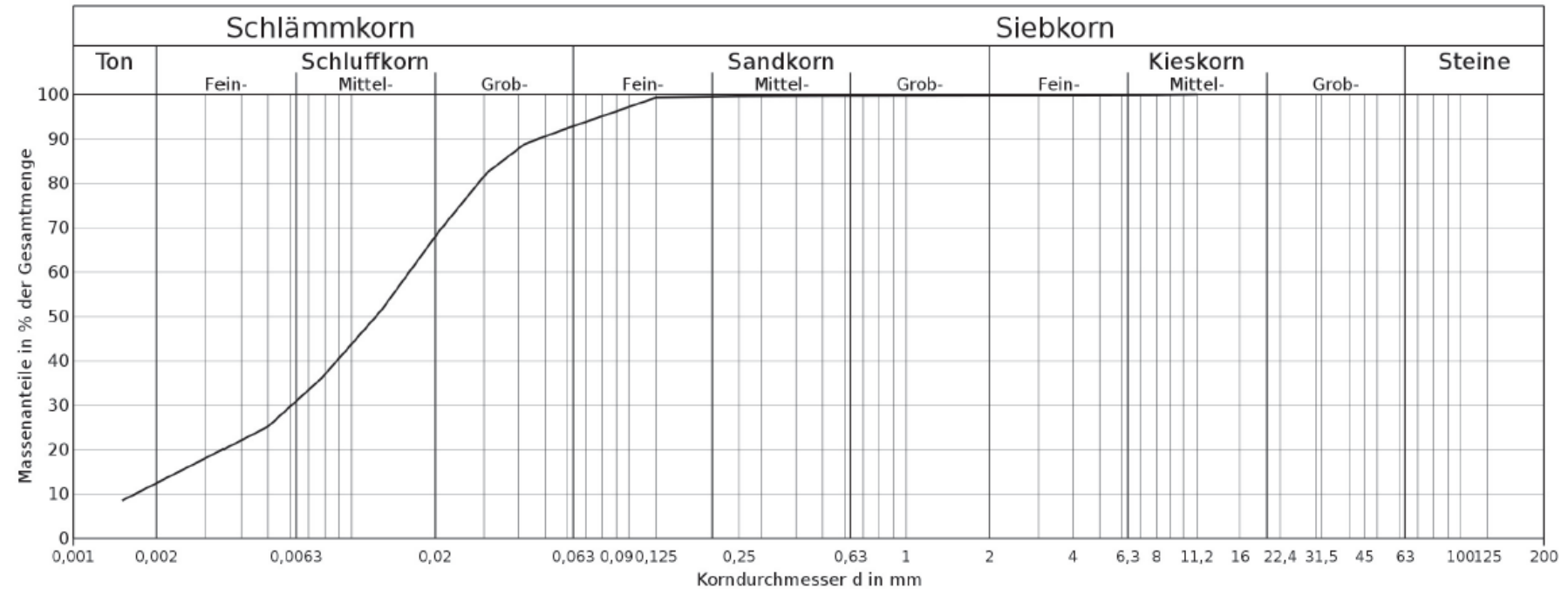
#### Schlämmanalyse

<b>Ø [mm]</b>	<b>%</b>
0,0584	92,2
0,0421	88,9
0,0307	82,3
0,0207	69,3
0,0128	51,4
0,0078	36,2
0,0050	25,3
0,0029	17,6
0,0015	8,5

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238	 <b>IBG</b>
---	--	---



Auftraggeber	Projekt MA Mathis	Proj. Nr. 2	Bezeichnung Schluff, tonig	Tiefe -	Bearb. Mathis	Datum 11.12.20 - 18.12.20
--------------	----------------------	----------------	-------------------------------	------------	------------------	------------------------------

### KÖRnungSLINIE



Lab.Nr.	Signatur	Anteile kleiner $\phi$ [mm]	Ton	Schluff	Sand	Kies	Steine	Anteile größer $\phi$ [mm]	Bodenart	D10	D30	D60	Cu	Cc
21738	—	-	12,5	80,4	6,9	0,2	-	-	c' sa' Si	0,0017mm	0,0061mm	0,0161mm	9,47	1,36

A2 Korndichte  
Schluff-Sand-Gemisch:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b>	
	<small>RECHENAUERSTRASSE 12, 8010 GRAZ, AUSTRIA          Tel. +43(0)316/873-6237 Fax. +43(0)316/873-6238</small>	



AUFTRAGGEBER: RHESI	BEZEICHNUNG: Schluff/Sand	LABORNUMMER 21736
	BODENART:	PROJEKTNUMMER:
PROJEKT: MA Mathis	BEARBEITER: Mathis	DATUM: 15.12.2020

### KORNDICHTE ÖNORM B 4413:2010

1	Pyknometer-Nr.	-	-	L	107	127	115
2	Volumen Pyknometer	cm <sup>3</sup>	V <sub>pyk</sub>	L	100,357	100,702	99,991
3	Tara	g	m <sub>0</sub>	T	43,9142	43,9638	45,0604
4	Trockenmasse Probe + Tara	g	m <sub>1</sub>	L	64,2793	66,2700	65,2082
5	Trockenmasse Probe	g	m <sub>2</sub>	4-3	20,3651	22,3062	20,1478
6	Masse Pyknometer + Wasser + Probe (unter Auftrieb) bei t °C	g	m <sub>3</sub>	L	156,8122	158,4092	157,4767
7	Versuchstemperatur Probe + Wasser	°C	t	L	22,6	23,7	21,9
8	Temperaturkorrektur von 20 °C zu t °C	g	Δm	T	-0,0542	-0,0806	-0,0381
9	Masse Pyknometer + Wasser bei 20 °C	g	m <sub>4</sub>	T	144,0913	144,4852	144,8721
10	Masse Pyknometer + Wasser bei t °C	g	m <sub>5</sub>	8+9	144,0370	144,4046	144,8340
11	Dichte Wasser bei t °C	g/cm <sup>3</sup>	ρ <sub>w</sub>	T	0,9977	0,9974	0,9978
12	Bodenvolumen	cm <sup>3</sup>	V <sub>K</sub>	(10+5-6)/11	7,6077	8,3232	7,5215
13	Korndichte	Mg/m <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub>	5/12	2,677	2,680	2,679
14	Mittelwert aus allen Versuchen	Mg/m <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> i. M.	-	2,68		

ANMERKUNG:

Schluff-Feinsand-Gemisch:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b>	
	<small>RECHBAUERSTRASSE 12, 8010 GRAZ, AUSTRIA          Tel. +43(0)316/873-6237 Fax. +43(0)316/873-6238</small>	

AUFTRAGGEBER: RHESI	BEZEICHNUNG: Schluff/Feinsand	LABORNUMMER 21737
PROJEKT: MA Mathis	BODENART:	PROJEKTNUMMER:
	BEARBEITER: Mathis	DATUM: 15.12.2020



### KORNDICHTE ÖNORM B 4413:2010

1	Pyknometer-Nr.	-	-	L	102	120	145
2	Volumen Pyknometer	cm <sup>3</sup>	V <sub>pyk</sub>	L	99,111	100,001	99,923
3	Tara	g	m <sub>0</sub>	T	44,6672	44,9887	44,6475
4	Trockenmasse Probe + Tara	g	m <sub>1</sub>	L	65,6116	66,7906	65,6073
5	Trockenmasse Probe	g	m <sub>2</sub>	4-3	20,9444	21,8019	20,9598
6	Masse Pyknometer + Wasser + Probe (unter Auftrieb) bei t °C	g	m <sub>3</sub>	L	156,7446	158,5191	157,5578
7	Versuchstemperatur Probe + Wasser	°C	t	L	23,5	22,8	22,8
8	Temperaturkorrektur von 20 °C zu t °C	g	Δm	T	-0,0746	-0,0587	-0,0586
9	Masse Pyknometer + Wasser bei 20 °C	g	m <sub>4</sub>	T	143,6005	144,8104	144,3913
10	Masse Pyknometer + Wasser bei t °C	g	m <sub>5</sub>	8+9	143,5259	144,7517	144,3327
11	Dichte Wasser bei t °C	g/cm <sup>3</sup>	ρ <sub>w</sub>	T	0,9975	0,9976	0,9976
12	Bodenvolumen	cm <sup>3</sup>	V <sub>K</sub>	(10+5-6)/11	7,7455	8,0537	7,7532
13	Korndichte	Mg/m <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub>	5/12	2,704	2,707	2,703
14	Mittelwert aus allen Versuchen	Mg/m <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> i. M.	-	2,70		

ANMERKUNG:

Toniger

Schluff:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU GEOTECHNISCHES LABOR</b>	
	<small>RECHBAUERSTRASSE 12, 8010 GRAZ, AUSTRIA Tel. +43(0)316/873-6237 Fax. +43(0)316/873-6238</small>	

AUFTRAGGEBER: RHESI	BEZEICHNUNG: Schluff/Ton	LABORNUMMER 21738
	BODENART:	PROJEKTNUMMER:
PROJEKT: MA Mathis	BEARBEITER: Mathis	DATUM: 15.12.2020

### KORNDICHTE ÖNORM B 4413:2010

1	Pyknometer-Nr.	-	-	L	119	142	127
2	Volumen Pyknometer	cm <sup>3</sup>	V <sub>pyk</sub>	L	100,489	100,219	100,702
3	Tara	g	m <sub>0</sub>	T	44,1675	44,2296	43,9560
4	Trockenmasse Probe + Tara	g	m <sub>1</sub>	L	64,7820	64,8931	64,2458
5	Trockenmasse Probe	g	m <sub>2</sub>	4-3	20,6145	20,6635	20,2898
6	Masse Pyknometer + Wasser + Probe (unter Auftrieb) bei t °C	g	m <sub>3</sub>	L	157,4886	157,3106	157,2658
7	Versuchstemperatur Probe + Wasser	°C	t	L	23,3	22,7	23,0
8	Temperaturkorrektur von 20 °C zu t °C	g	Δm	T	-0,0708	-0,0565	-0,0638
9	Masse Pyknometer + Wasser bei 20 °C	g	m <sub>4</sub>	T	144,4763	144,2689	144,4774
10	Masse Pyknometer + Wasser bei t °C	g	m <sub>5</sub>	8+9	144,4055	144,2125	144,4137
11	Dichte Wasser bei t °C	g/cm <sup>3</sup>	ρ <sub>w</sub>	T	0,9975	0,9976	0,9976
12	Bodenvolumen	cm <sup>3</sup>	V <sub>K</sub>	(10+5-6)/11	7,5503	7,5832	7,4557
13	Korndichte	Mg/m <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub>	5/12	2,730	2,725	2,721
14	Mittelwert aus allen Versuchen	Mg/m <sup>3</sup>	ρ <sub>s</sub> i. M.	-	2,73		

ANMERKUNG:





## Schluff-Feinsand-Gemisch:

 TU Graz Graz University of Technology	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> RECHBAUERSTRASSE 12, 8010 GRAZ, AUSTRIA Tel: +43(0)316/873-6237 Fax: +43(0)316/873-6238	
--	---	---

AUFTRAGGEBER:		RHESI							
PROJEKT:		MA Mathis							
LABORNUMMER	21737								
Bezeichnung	Schluff/Feinsand								
Durchmesser (cm)	10								
Durchströmte Länge L (cm)	12								
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78,54								
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	Stunde,Minuten	14,3	10,4	14,15	9,26	13,42	11,48	
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	°C	22,8	21,8	22,4	22,5	23,3	23,8	
Datum (Ende)		Tag.Monat.Jahr	08.03.2021	09.03.2021	09.03.2021	10.03.2021	10.03.2021	12.03.2021	
Versuchsende	t <sub>2</sub>	Stunde,Minuten	16,4	14,15	16,43	13,42	16,5	15	
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	°C	22,9	22,4	22,7	23,3	23,2	23,9	
Versuchsdauer	t	s	7800	12900	8880	15360	11280	11520	
Messglass (Beginn)	m1	g	104,9	105,8	105,6	105,1	105,7	104,8	
Messglass (Ende)	m2	g	326,3	460,2	341,8	502	390,1	394,6	
Wassermenge	Q	cm <sup>3</sup>	221,4	354,4	236,2	396,9	284,4	289,8	
Höhendifferenz	ΔH	cm	360	360	360	360	360	360	
Hydraul. Gefälle	i	1	30	30	30	30	30	30	
Temperatur Mittelwert	δ	°C	22,9	22,1	22,6	22,9	23,3	23,9	
Fk Temp (α)		1	0,720988585	0,733714058	0,726036954	0,720152539	0,714342502	0,704551765	
Durchlässigkeit	k <sub>5</sub>	m/s	1,2E-07	1,2E-07	1,1E-07	1,1E-07	1,1E-07	1,1E-07	Mittelwert Durchlässigkeit
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	k <sub>10</sub>	m/s	8,7E-08	8,6E-08	8,2E-08	7,9E-08	7,6E-08	7,5E-08	8,08E-08



Toniger

Schluff:

 TU Graz Graz University of Technology	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b>		
	RECHBAUERSTRASSE 12, 8010 GRAZ, AUSTRIA Tel: +43(0)316/873-8237 Fax: +43(0)316/873-8238		

AUFTRAGGEBER:		RHESI							
PROJEKT:		MA Mathis							
LABORNUMMER	21738								
Bezeichnung	Schluff/Ton								
Durchmesser (cm)	10								
Durchströmte Länge L (cm)	12								
Fläche (cm <sup>2</sup> )	78,54								
Versuchsbeginn	t <sub>1</sub>	Stunde,Minuten	10,4	16,43	9,23	16,5	15,03	11,45	
Temperatur (Beginn)	δ <sub>1</sub>	°C	21,8	22,7	22,5	23,2	22,7	23,8	
Datum (Ende)		Tag.Monat.Jahr	09.03.2021	10.03.2021	10.03.2021	11.03.2021	12.03.2021	12.03.2021	
Versuchsende	t <sub>2</sub>	Stunde,Minuten	16,43	9,23	16,5	15,03	11,47	15	
Temperatur (Ende)	δ <sub>2</sub>	°C	22,7	22,5	23,2	22,7	23,8	23,9	
Versuchsdauer	t	s	21780	60000	26820	79980	74640	11700	
Messglass (Beginn)	m1	g	105,7	105	105,4	104,9	105,6	105,6	
Messglass (Ende)	m2	g	187,6	350,8	217,7	430,7	407,7	154,2	
Wassermenge	Q	cm <sup>3</sup>	81,9	245,8	112,3	325,8	302,1	48,6	
Höhendifferenz	ΔH	cm	360	360	360	360	360	360	
Hydraul. Gefälle	i	1	30	30	30	30	30	30	
Temperatur Mittelwert	δ	°C	22,3	22,6	22,9	23,0	23,3	23,9	
Fk Temp (α)		1	0,731140942	0,72519172	0,720988585	0,71931801	0,714342502	0,704551765	
Durchlässigkeit	k <sub>s</sub>	m/s	1,6E-08	1,7E-08	1,8E-08	1,7E-08	1,7E-08	1,8E-08	Mittelwert Durchlässigkeit
Durchlässigkeit k <sub>10</sub>	k <sub>10</sub>	m/s	1,2E-08	1,3E-08	1,3E-08	1,2E-08	1,2E-08	1,2E-08	1,24E-08

A4 Atterberg'sche Grenzen  
Schluff-Sand-Gemisch:

 Graz University of Technology	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU GEOTECHNISCHES LABOR</b>			
	RECHBAUERSTRASSE 12, 8010 GRAZ, AUSTRIA Tel: +43(0)316/873-6237 Fax: +43(0)316/873-6238			
<b>AUFTRAGGEBER:</b> Rhesi		<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Sand		<b>LABORNUMMER:</b> 21736
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis		<b>TIEFE:</b>		<b>PROJEKTNUMMER:</b>
		<b>BEARBEITER:</b> MJ		<b>DATUM:</b> 14.12.2020

<b>KONSISTENZGRENZEN ÖNORM B 4411:2009</b>								
--	--	--	--	--	--	--	--	--

KEGELFALLVERSUCH								
Behälter						307		Nat. Wassergehalt
Eindringung	mm	22,30	19,14	14,30	11,11	20,12	26,03	-
Probe feucht + Behälter	g	11,5389	10,6846	11,7113	9,6877	9,8477	9,032	
Probe trocken + Behälter	g	9,5647	8,9654	9,8343	8,2718	8,3053	7,675	
Masse Behälter	g	3,4265	3,3813	3,4095	3,3697	3,4224	3,427	
Masse Probe feucht	g	8,1124	7,3033	8,3018	6,318	6,4253	5,605	
Masse Probe trocken	g	6,1382	5,5841	6,4248	4,9021	4,8829	4,248	
Masse Wasser	g	1,9742	1,7192	1,877	1,4159	1,5424	1,357	
<b>Wassergehalt</b>	<b>%</b>	<b>32,2</b>	<b>30,8</b>	<b>29,2</b>	<b>28,9</b>	<b>31,6</b>	<b>31,9</b>	<b>29,6</b>

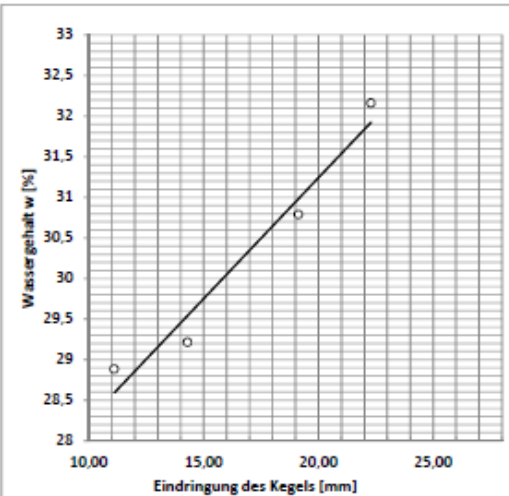
  

$W_L =$	31,2 %
$W_P =$	29,1 %
$I_P =$	2 %
$I_C =$	0,8

Lineare Schrumpfgrenze				
Versuchsmulde Nr.		1	2	
Natürlicher Wassergehalt	w	%	29,6	
Länge d. Versuchsmulde	$L_0$	mm	140,0	140,0
Länge der trockene Probe	$L_D$	mm	138,5	138,7
Lineare Schrumpfgrenze	$L_S$	%	1,1	0,9
Bildsamkeitszahl	$I_P$	%	2,3	2,0
Ausrollgrenze	$w_P$	%	28,9	29,2
Konsistenzzahl	$I_C$	-	0,7	0,8



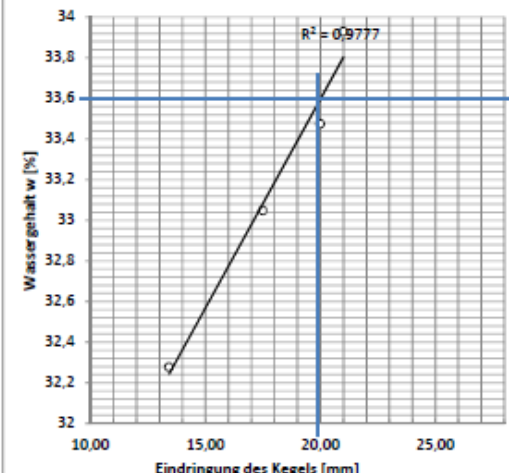
  





ANMERKUNG:

## Schluff-Feinsand-Gemisch:

 TU Graz Graz University of Technology	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU          GEOTECHNISCHES LABOR</b>																																										
	RECHBAUERSTRASSE 12, 8010 GRAZ, AUSTRIA Tel: +43(0)316/873-6237 Fax: +43(0)316/873-6238																																										
AUFTRAGGEBER: Rhesi			BEZEICHNUNG: Schluff/Feinsand		LABORNUMMER: 21737																																						
PROJEKT: MA Mathis			TIEFE		PROJEKTNUMMER																																						
			BEARBEITER: MJ		DATUM: 14.12.2020																																						
<b>KONSISTENZGRENZEN ÖNORM B 411:2009</b>																																											
<b>KEGELFALLVERSUCH</b>																																											
Behälter							Nat. Wassergehalt																																				
Eindringung	mm	20,00	17,50	21,00	13,42	19,64	26,81																																				
Probe feucht + Behälter	g	11,2955	18,0151	16,4505	8,951	9,4014	9,4524																																				
Probe trocken + Behälter	g	9,322	14,392	13,1513	7,803	7,9139	7,9023																																				
Masse Behälter	g	3,4265	3,4286	3,4272	3,4266	3,4312	3,4111																																				
Masse Probe feucht	g	7,869	14,5865	13,0233	5,5244	5,9702	6,0413																																				
Masse Probe trocken	g	5,8955	10,9634	9,7241	4,1764	4,4827	4,4912																																				
Masse Wasser	g	1,9735	3,6231	3,2992	1,348	1,4875	1,5501																																				
Wassergehalt	%	33,5	33,0	33,9	32,3	33,2	34,5																																				
							24,8																																				
		<table border="1"> <tr> <td><math>W_L =</math></td> <td>33,6 %</td> </tr> <tr> <td><math>W_P =</math></td> <td>30,7 %</td> </tr> <tr> <td><math>I_P =</math></td> <td>3 %</td> </tr> <tr> <td><math>I_C =</math></td> <td>3,1</td> </tr> </table>		$W_L =$	33,6 %	$W_P =$	30,7 %	$I_P =$	3 %	$I_C =$	3,1																																
$W_L =$	33,6 %																																										
$W_P =$	30,7 %																																										
$I_P =$	3 %																																										
$I_C =$	3,1																																										
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="4">Lineare Schrumpfgrenze</th> </tr> <tr> <th>Versuchsmulde Nr.</th> <th></th> <th>1</th> <th>2</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Natürlicher Wassergehalt</td> <td>w</td> <td>%</td> <td>24,8</td> </tr> <tr> <td>Länge d. Versuchsmulde</td> <td><math>L_0</math></td> <td>mm</td> <td>140,0</td> </tr> <tr> <td>Länge der trockene Probe</td> <td><math>L_D</math></td> <td>mm</td> <td>138,0</td> </tr> <tr> <td>Lineare Schrumpfgrenze</td> <td><math>L_S</math></td> <td>%</td> <td>1,4</td> </tr> <tr> <td>Bildsamkeitszahl</td> <td><math>I_P</math></td> <td>%</td> <td>3,0</td> </tr> <tr> <td>Ausrollgrenze</td> <td><math>w_P</math></td> <td>%</td> <td>30,6</td> </tr> <tr> <td>Konsistenzzahl</td> <td><math>I_C</math></td> <td>-</td> <td>2,9</td> </tr> </tbody> </table>								Lineare Schrumpfgrenze				Versuchsmulde Nr.		1	2	Natürlicher Wassergehalt	w	%	24,8	Länge d. Versuchsmulde	$L_0$	mm	140,0	Länge der trockene Probe	$L_D$	mm	138,0	Lineare Schrumpfgrenze	$L_S$	%	1,4	Bildsamkeitszahl	$I_P$	%	3,0	Ausrollgrenze	$w_P$	%	30,6	Konsistenzzahl	$I_C$	-	2,9
Lineare Schrumpfgrenze																																											
Versuchsmulde Nr.		1	2																																								
Natürlicher Wassergehalt	w	%	24,8																																								
Länge d. Versuchsmulde	$L_0$	mm	140,0																																								
Länge der trockene Probe	$L_D$	mm	138,0																																								
Lineare Schrumpfgrenze	$L_S$	%	1,4																																								
Bildsamkeitszahl	$I_P$	%	3,0																																								
Ausrollgrenze	$w_P$	%	30,6																																								
Konsistenzzahl	$I_C$	-	2,9																																								
ANMERKUNG:																																											

Toniger

Schluff:

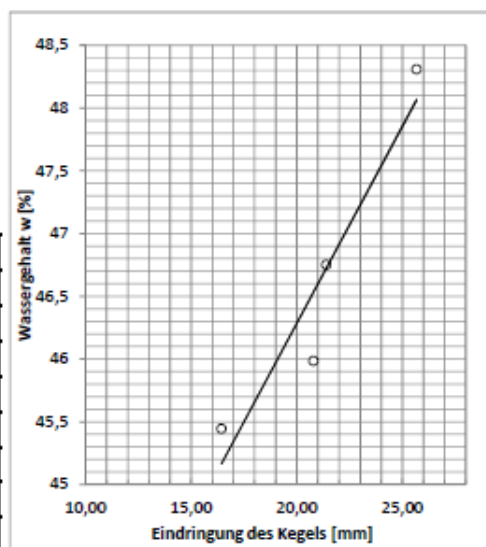
	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU GEOTECHNISCHES LABOR</b>		
	RECHBAUERSTRASSE 12, 8010 GRAZ, AUSTRIA Tel: +43(0)316/873-6237 Fax: +43(0)316/873-6238		
<b>AUFTRAGGEBER:</b> Rhesi		<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Tonig	<b>LABORNUMMER:</b> 21738
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis		<b>TIEFE</b>	<b>PROJEKTNUMMER</b>
		<b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>DATUM:</b> 14.12.2020

## KONSISTENZGRENZEN ÖNORM B 4411:2009

KEGELFALLVERSUCH							
Behälter						307	Nät. Wassergehalt
Eindringung	mm	21,40	20,80	16,44	25,67	31,35	-
Probe feucht + Behälter	g	9,2504	11,5928	13,3261	12,0239	8,7382	
Probe trocken + Behälter	g	7,3957	9,0188	10,2332	9,2052	6,9536	
Masse Behälter	g	3,4284	3,4214	3,4272	3,3704	3,3495	
Masse Probe feucht	g	5,822	8,1714	9,9089	8,6535	5,3887	
Masse Probe trocken	g	3,9673	5,5974	6,806	5,8348	3,6041	
Masse Wasser	g	1,8547	2,574	3,0929	2,8187	1,7846	
<b>Wassergehalt</b>	<b>%</b>	<b>46,7</b>	<b>46,0</b>	<b>45,4</b>	<b>48,3</b>	<b>49,5</b>	<b>34,9</b>

$W_L =$	46,3 %
$W_P =$	37,2 %
$I_P =$	9 %
$I_C =$	1,3



Lineare Schrumpfgrenze				
Versuchsmulde Nr.			1	2
Natürlicher Wassergehalt	w	%	34,9	
Länge d. Versuchsmulde	$L_0$	mm	140,0	140,0
Länge der trockene Probe	$L_D$	mm	133,8	134,3
Lineare Schrumpfgrenze	$L_S$	%	4,4	4,1
Bildsamkeitszahl	$I_P$	%	9,4	8,7
Ausrollgrenze	$w_P$	%	36,9	37,6
Konsistenzzahl	$I_C$	-	1,2	1,3



ANMERKUNG:

## A5 Scherversuche

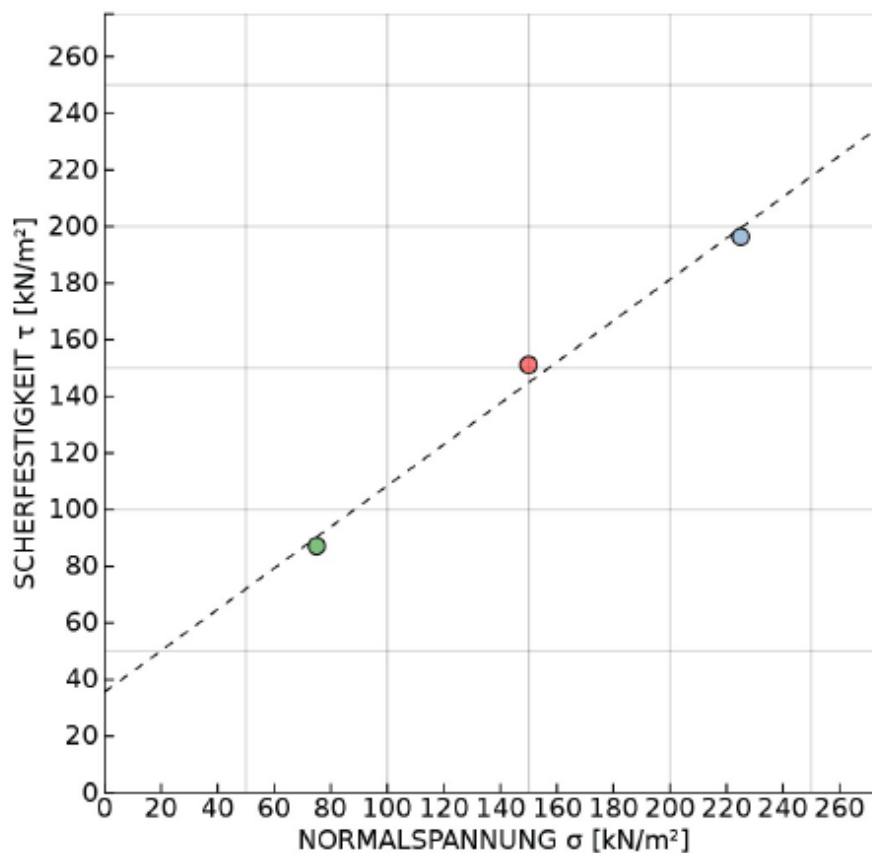
Schluff-Sand-Gemisch:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238		 <b>IBG</b>
	<b>AUFTRAGGEBER:</b> <b>Institut für Bodenmechanik und Grundbau</b>	<b>BODENART:</b> <b>cl<sup>m</sup> gr<sup>s</sup> sl Sa</b>	
<b>PROJEKT:</b> <b>MA Mathis</b>	<b>TIEFE:</b> <b>1,30m bis 1,60m</b>	<b>AUFTRAGSNR:</b> <b>2</b>	
<b>BEZEICHNUNG:</b> <b>Schluff, Sand</b>	<b>BEARBEITER:</b> <b>Mathis</b>	<b>DATUM:</b> <b>26.04.21 - 27.05.21</b>	

### RAHMENSCHERVERVERSUCH NACH ÖN EN 17892-10

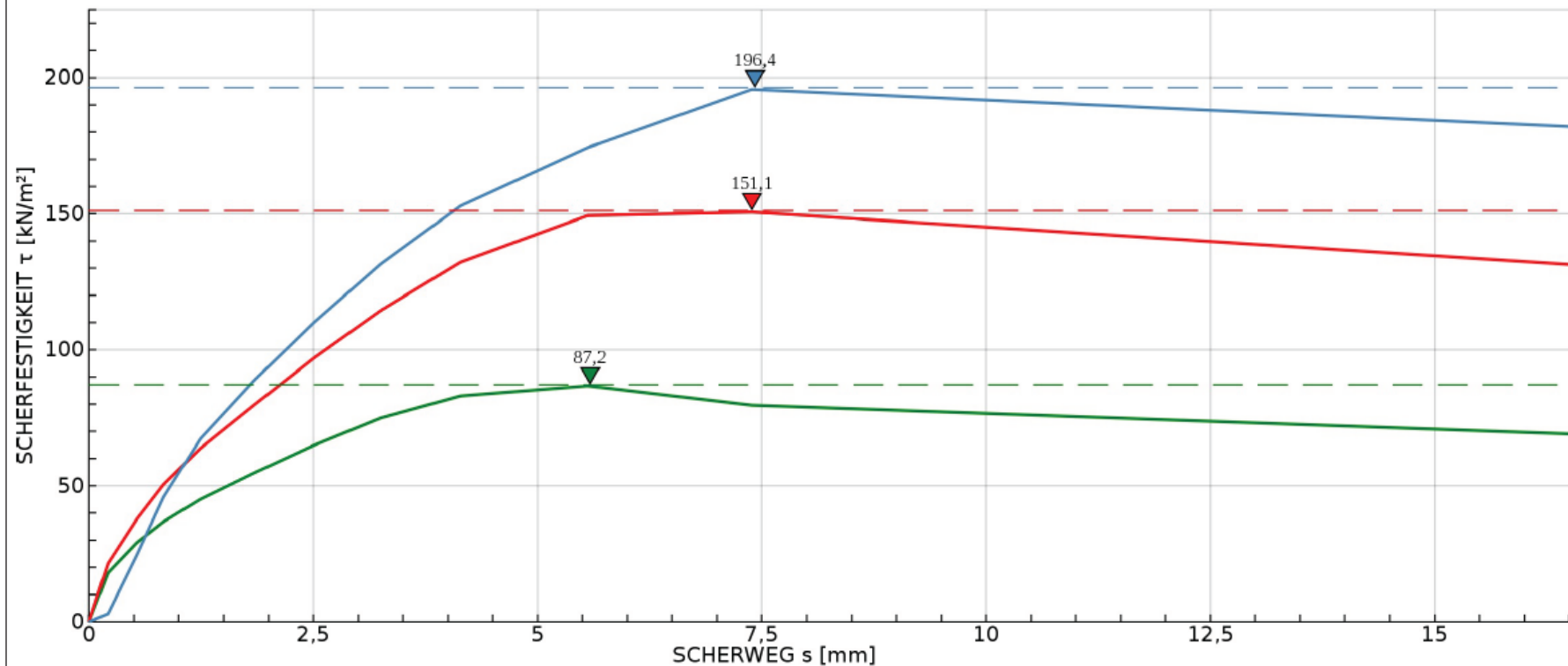
Büchsengröße: 100 x 100 x 20 mm

GRÖSSTKORN: < 4 mm		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
KONSOLIDIERUNGSDRUCK	$\sigma_c$ kN/m <sup>2</sup>	75	75	75
KONSOLIDIERUNGSZEIT	$t_c$ h	-	-	-
NORMALSPANNUNG	$\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	75	150	225
SCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	87,2	151,1	196,4
SCHERWEG	$s_r$ mm	5,6	7,4	7,4
RETSCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
RETSCHERWEG	$s_r$ mm	-	-	-
WASSERGEHALT nach dem Versuch	w %	21,0	21,2	21,1
REIBUNGSWINKEL ( $\phi'$ )	36,1 °	PROBENZUSTAND		ungestört
KOHÄSION ( $c'$ )	35,7 kN/m <sup>2</sup>	SCHERGESCHWINDIGKEIT		0,003 mm/min
RETSCHERWINKEL ( $\phi_r$ )	- °	RETSCHERGESCHWINDIGKEIT		- mm/min





- $\sigma = 225 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört
- $\sigma = 150 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört
- $\sigma = 75 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört

Labornummer	<b>21736</b>
Versuchsdatum	<b>26.04.21 - 27.05.21</b>
Schergeschwindigkeit	<b>0,003 mm/min</b>
Größtkorn	<b>&lt; 4 mm</b>





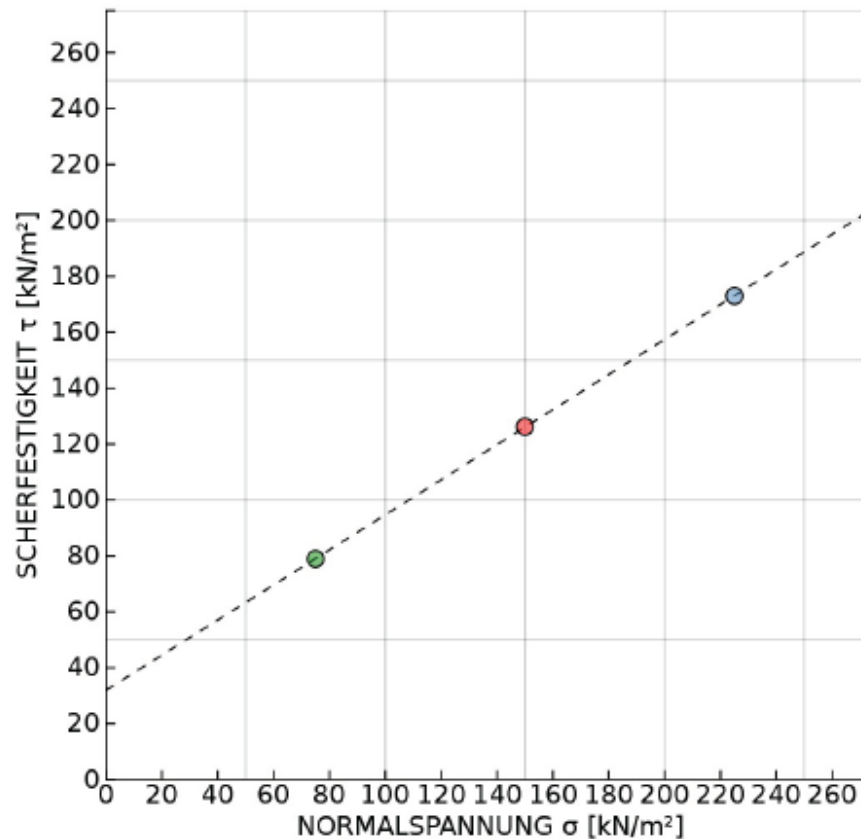
Schluff-Feinsand-Gemisch:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax: +43 (0) 316 873-6238		 <b>IBG</b>	
	<b>AUFTRAGGEBER:</b> <b>Institut für Bodenmechanik und Grundbau</b>	<b>BODENART:</b> <b>cl<sup>m</sup> Si Sa</b>		<b>LABORNUMMER:</b> <b>21737</b>
	<b>PROJEKT:</b> <b>MA Mathis</b>	<b>TIEFE:</b> <b>1,00m bis 1,40m</b>		<b>AUFTRAGSNR:</b> <b>2</b>
<b>BEZEICHNUNG:</b> <b>Schluff, Feinsand</b>	<b>BEARBEITER:</b> <b>Mathis</b>	<b>DATUM:</b> <b>26.04.21 - 29.04.21</b>		

### RAHMENSCHERVERVERSUCH NACH ÖN EN 17892-10

Büchsengröße: 100 x 100 x 20 mm

GRÖSSTKORN: < 4 mm		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
KONSOLIDIERUNGSDRUCK	$\alpha_c$ kN/m <sup>2</sup>	75	75	75
KONSOLIDIERUNGSZEIT	$t_c$ h	-	-	-
NORMALSPANNUNG	$\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	75	150	225
SCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	78,9	126,2	173,0
SCHERWEG	$s_1$ mm	4,8	4,8	4,8
RETSCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
RETSCHERWEG	$s_2$ mm	-	-	-
WASSERGEHALT nach dem Versuch	w %	23,3	22,7	22,6
REIBUNGSWINKEL ( $\phi'$ )	32,1 °	PROBENZUSTAND		ungestört
KOHÄSION ( $c'$ )	32,0 kN/m <sup>2</sup>	SCHERGESCHWINDIGKEIT		0,003 mm/min
RETSCHERWINKEL ( $\phi_r$ )	- °	RETSCHERGESCHWINDIGKEIT		- mm/min





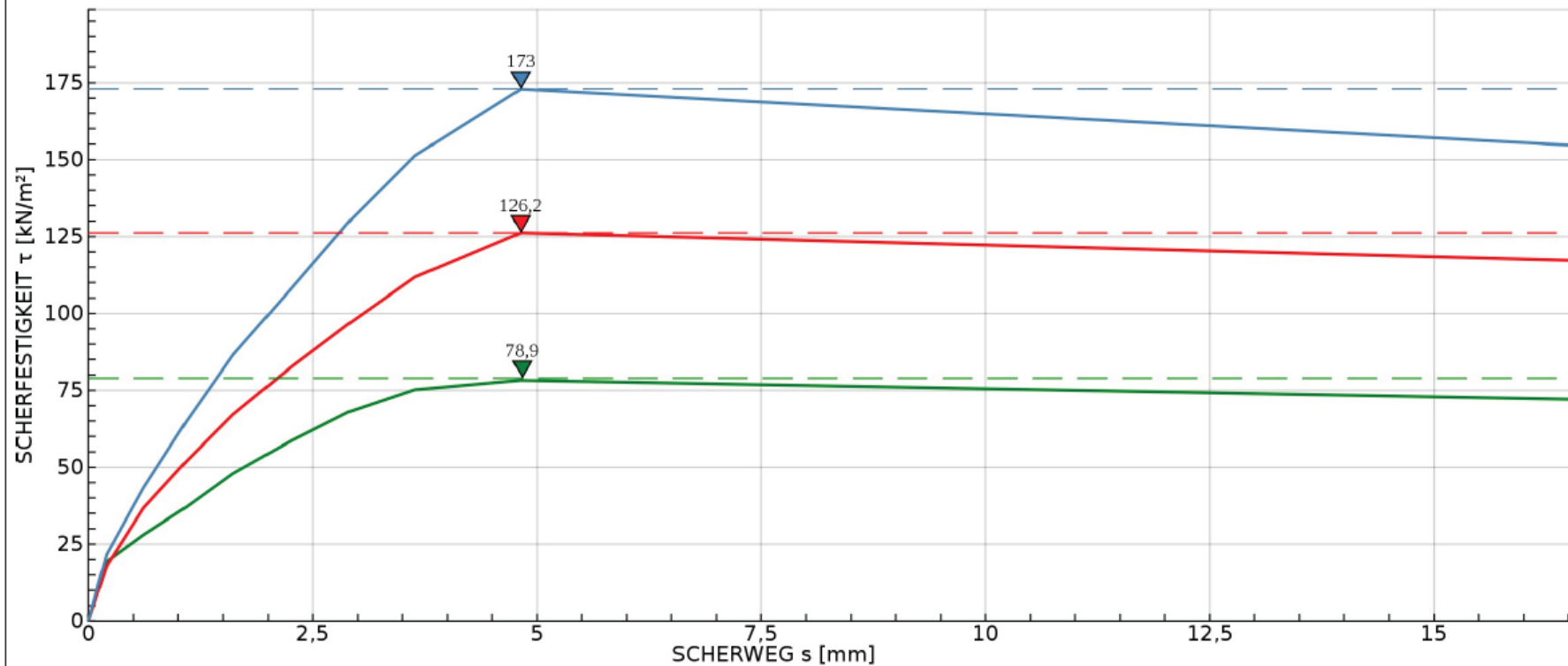
INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK  
GEOTECHNISCHES LABOR

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





- $\sigma = 225 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört
- $\sigma = 150 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört
- $\sigma = 75 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört

Labornummer **21737**  
Versuchsdatum **26.04.21 - 29.04.21**  
Schergeschwindigkeit **0,003 mm/min**  
Größtkorn **< 4 mm**



Toniger

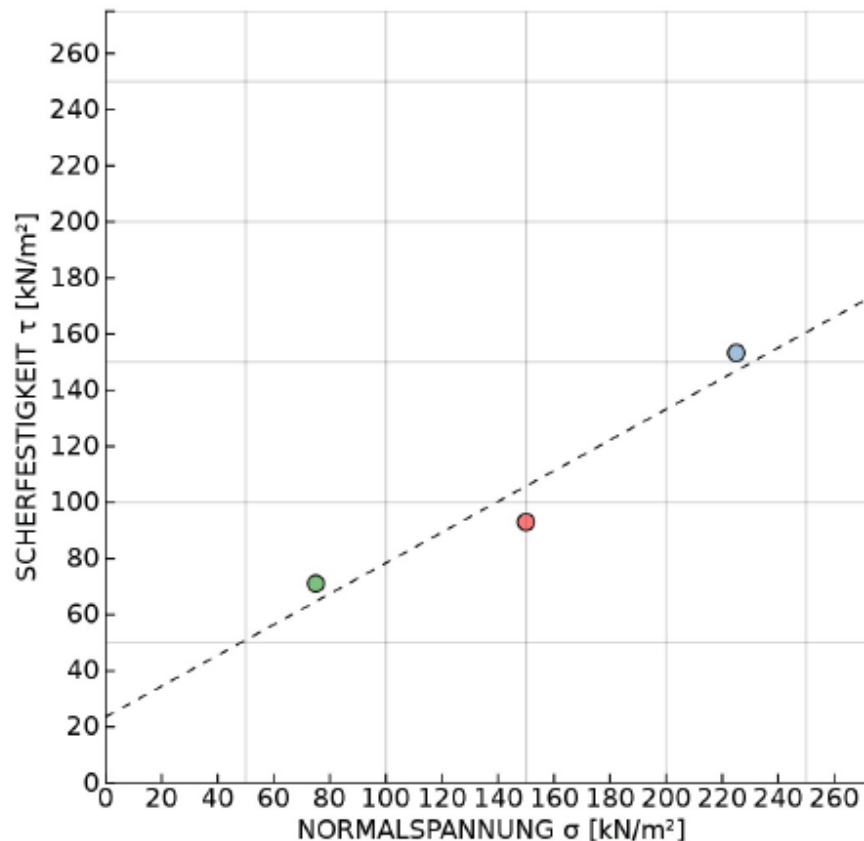
Schluff:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238		 <b>IBG</b>
	<b>AUFTRAGGEBER:</b> <b>Institut für Bodenmechanik und Grundbau</b>	<b>BODENART:</b> <b>d' sa' Si</b>	
<b>PROJEKT:</b> <b>MA Mathis</b>	<b>TIEFE:</b> <b>0,60m bis 0,90m</b>	<b>AUFTRAGSNR:</b> <b>2</b>	
<b>BEZEICHNUNG:</b> <b>Schluff, tonig</b>	<b>BEARBEITER:</b> <b>Mathis</b>	<b>DATUM:</b> <b>26.04.21 - 28.04.21</b>	

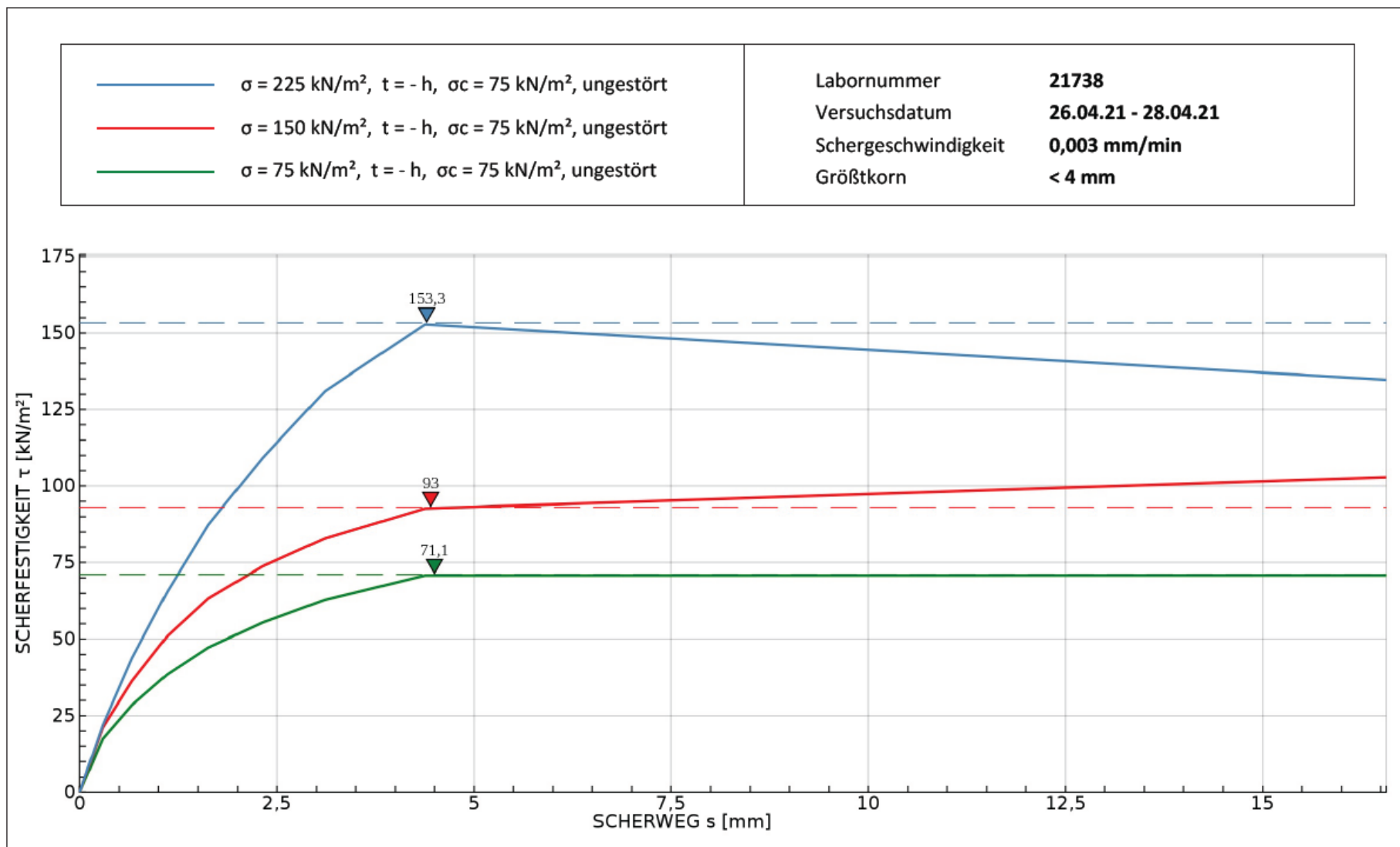
### RAHMENSCHERVERVERSUCH NACH ÖN EN 17892-10

Büchsengröße: 100 x 100 x 20 mm

GRÖSSTKORN: < 4 mm		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
KONSOLIDIERUNGSDRUCK	$\alpha$ kN/m <sup>2</sup>	75	75	75
KONSOLIDIERUNGSZEIT	$t_c$ h	-	-	-
NORMALSPANNUNG	$\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	75	150	225
SCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	71,1	93,0	153,3
SCHERWEG	$s_1$ mm	4,5	4,5	4,4
RETSCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
RETSCHERWEG	$s_2$ mm	-	-	-
WASSERGEHALT nach dem Versuch	w %	28,5	29,6	28,1
REIBUNGSWINKEL ( $\phi'$ )	28,7 °	PROBENZUSTAND		ungestört
KOHÄSION ( $c'$ )	23,6 kN/m <sup>2</sup>	SCHERGESCHWINDIGKEIT		0,003 mm/min
RETSCHERWINKEL ( $\phi_r$ )	- °	RETSCHERGESCHWINDIGKEIT		- mm/min

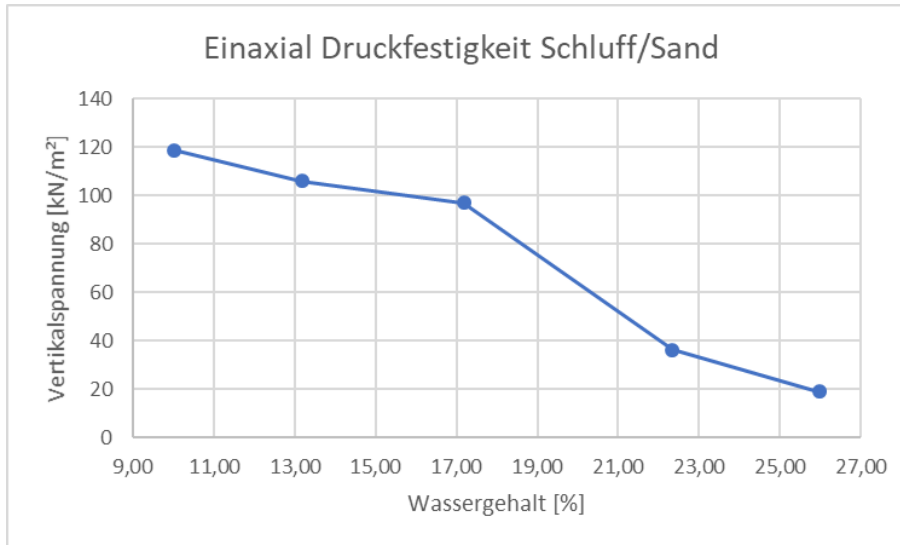


	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238	 <b>IBG</b>

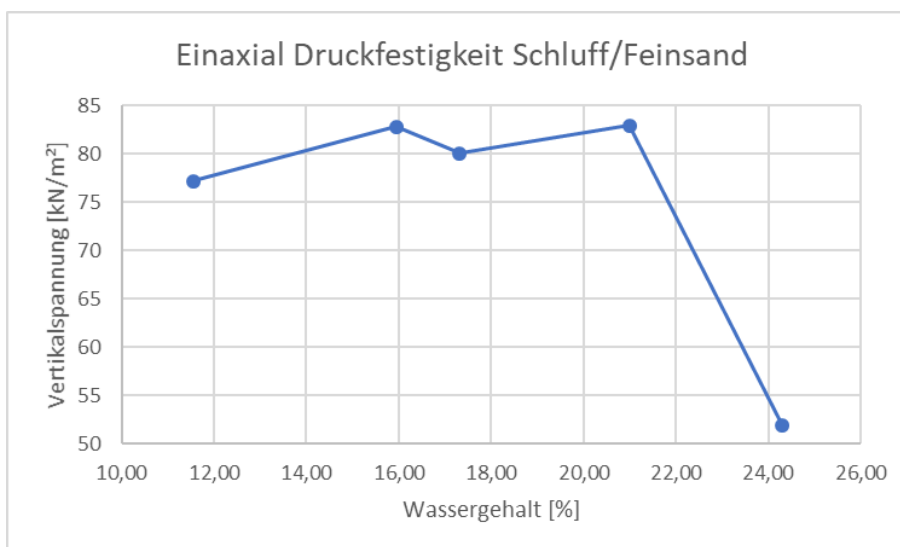


## A6 Einaxiale Druckfestigkeit

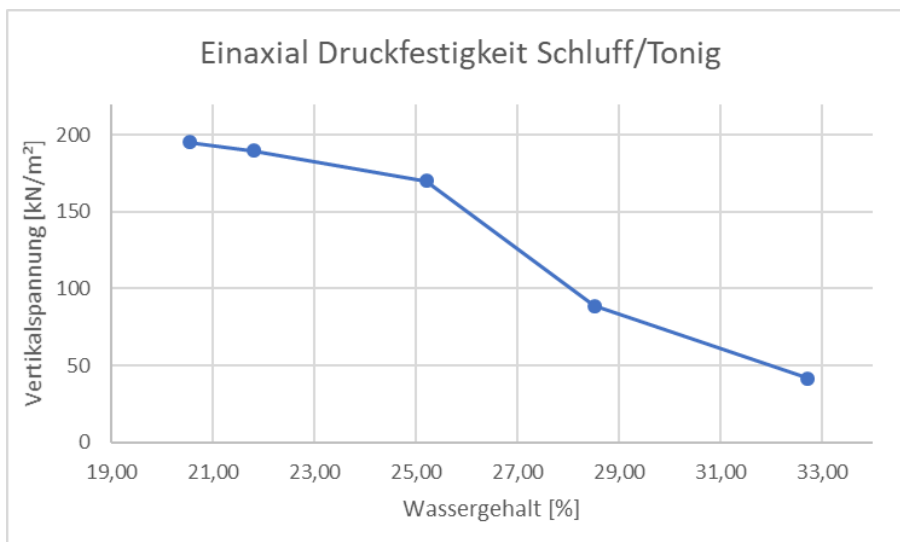
## Schluff-Sand-Gemisch:



## Schluff-Feinsand-Gemisch:



## Toniger Schluff:



A7 Proctorversuch

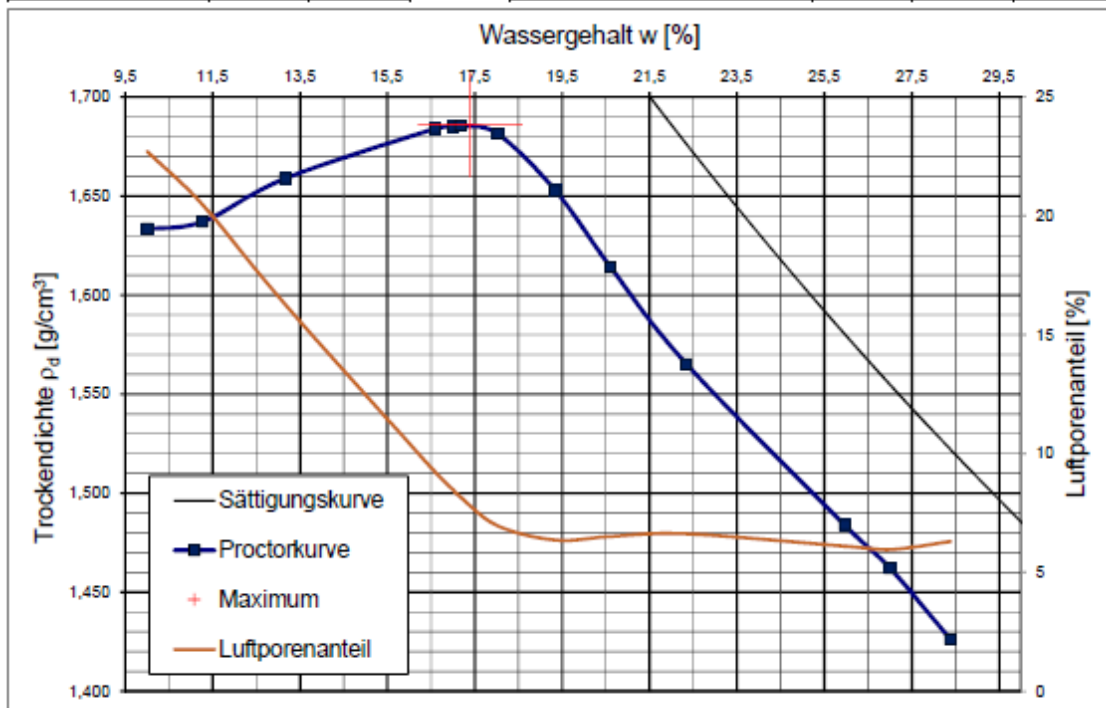
Schluff-Sand-Gemisch:

 <p><b>TU</b> Graz Graz University of Technology</p>	<p><b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238</p>	 IBG

AUFTRAGGEBER: RHESI	BEZEICHNUNG: Schluff/Sand	LABORNUMMER: 21738
PROJEKT: MA MATHIS	BODENART:	AUFTRAGSNUMMER:
	BEARBEITER: MJ	DATUM: 01.12.2020-11.01.2021

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT			Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,6
Durchmesser	mm	100	Überkomanteil	%	0
Höhe	mm	120			-



ERGEBNIS		
$w_{Pr}$	%	17,4
$p_{Pr}$	g/cm <sup>3</sup>	1,686

ANMERKUNG:
------------

SCHLUFF/SAND

RHESI

MA MATHIS

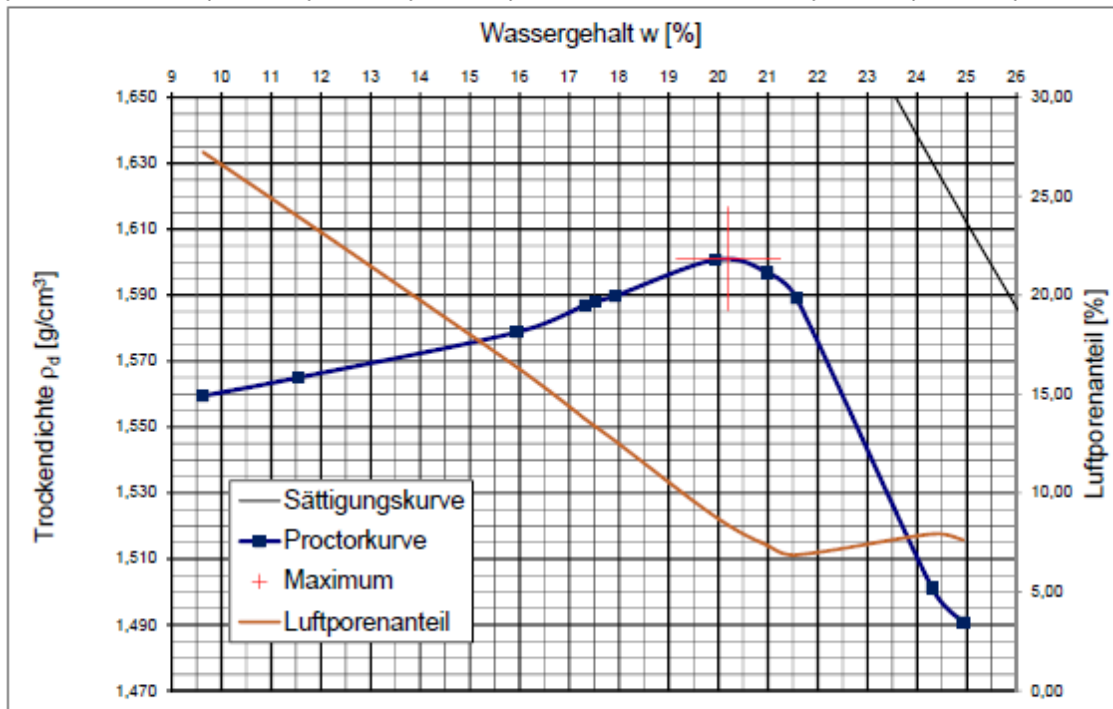
Schluff-Feinsand-Gemisch:

 TU Graz <small>Graz University of Technology</small>	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 IBG
---	--	--

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Feinsand	<b>LABORNUMMER:</b> 21737
<b>PROJEKT:</b> MA MATHIS	<b>BODENART:</b>	<b>AUFTRAGSNUMMER</b>
	<b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>DATUM:</b> 01.12.20-11.01.21

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT			Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,6	
Durchmesser	mm	100	Überkomanteil	%	0	-
Höhe	mm	120				



ERGEBNIS		
w <sub>Pr</sub>	%	20,2
ρ <sub>Pr</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1,601

ANMERKUNG:
------------

SCHLUFF/FEINSAND

RHESI

MA MATHIS

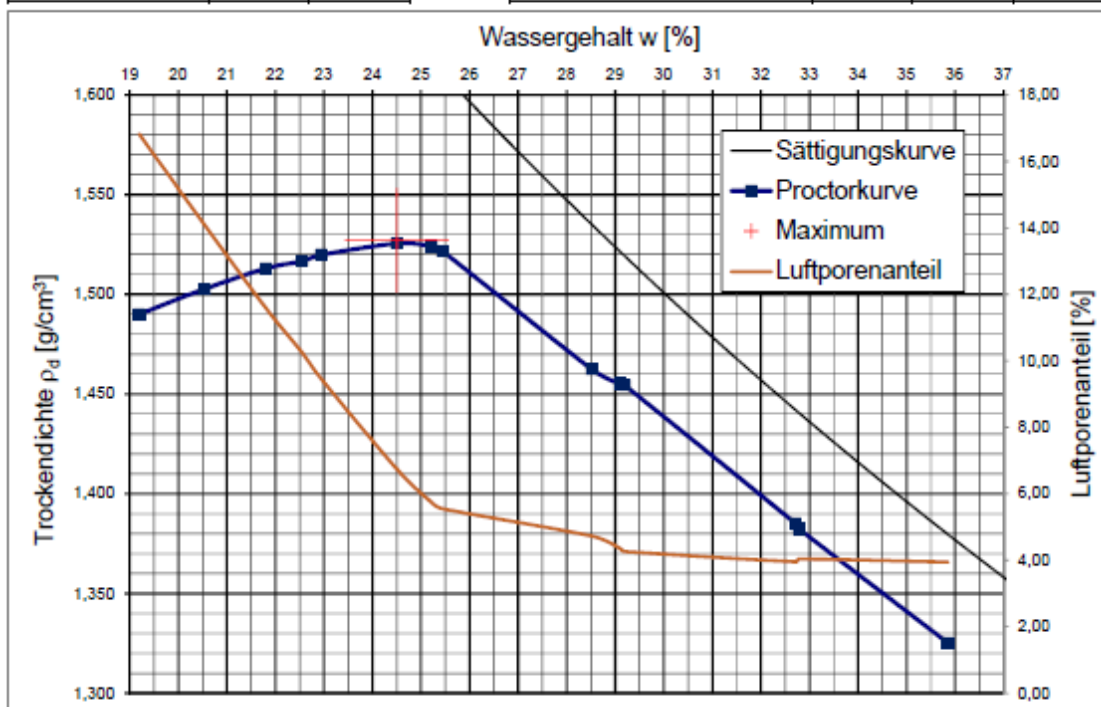
Toniger Schluff:

 TU Graz Graz University of Technology	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 IBG
--	--	--

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI	<b>BEZEICHNUNG:</b>	<b>LABORNUMMER:</b> 21738
<b>PROJEKT:</b> MA MATHIS	<b>BODENART:</b>	<b>AUFTRAGSNUMMER</b>
	<b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>DATUM:</b> 01.12.20-11.01.21

## PROCTOR-VERSUCH

<b>GERÄT</b>			Verdichtungsenergie		MN/m <sup>3</sup>	0,6	
Durchmesser	mm	100	Überkomanteil		%	0	-
Höhe	mm	120					



ERGEBNIS		
$w_{Pr}$	%	24,5
$\rho_{Pr}$	g/cm <sup>3</sup>	1,527

ANMERKUNG:
------------

SCHLUFF/FEINSAND

RHESI

MA MATHIS





## **9.2 Anhang B - Scherversuche mit Bindemittelbehandlung**

**Anhang B beinhaltet folgendes:**

- B1 Scherversuche Schluff-Sand-Gemisch
- B2 Scherversuche Schluff-Feinsand-Gemisch
- B3 Scherversuche Toniger Schluff

## B1 Scherversuche Schluff-Sand-Gemisch

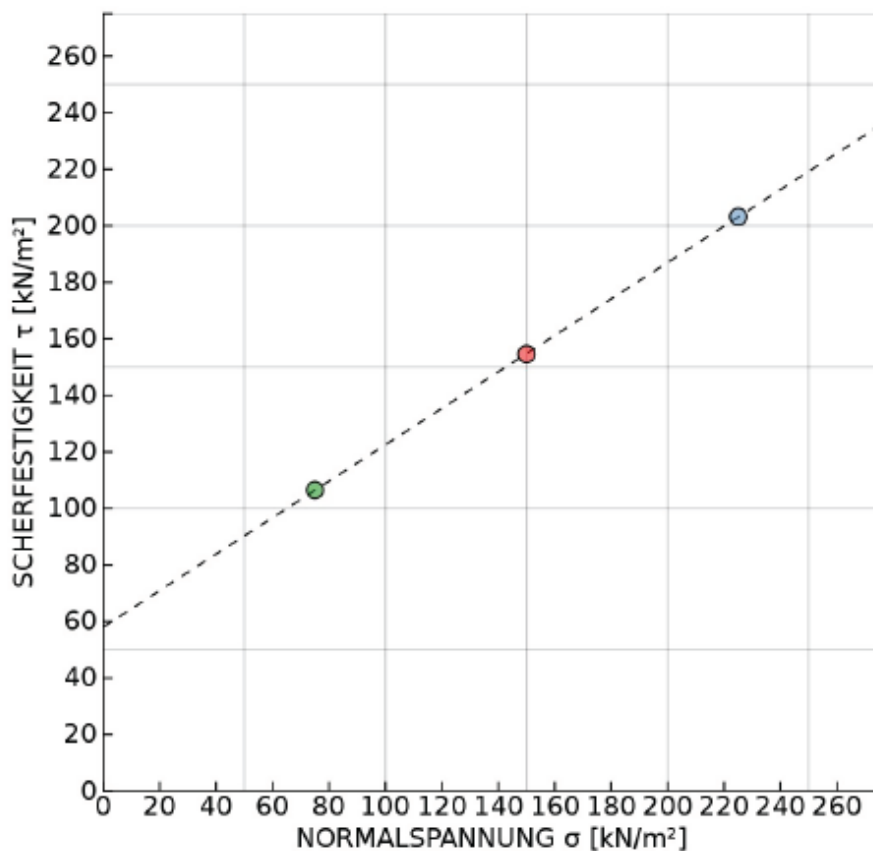
3,0 M.-% Kalk/Zement Bindemittel:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238		 <b>IBG</b>
	<b>AUFTRAGGEBER:</b> <b>Institut für Bodenmechanik und Grundbau</b>	<b>BODENART:</b> <b>d<sup>m</sup> gr<sup>r</sup> Si Sa</b>	
<b>PROJEKT:</b> <b>MA Mathis</b>	<b>TIEFE:</b> <b>1,30m bis 1,60m</b>	<b>AUFTRAGSNR:</b> <b>2</b>	
<b>BEZEICHNUNG:</b> <b>Schluff, Sand</b>	<b>BEARBEITER:</b> <b>Mathis</b>	<b>DATUM:</b> <b>21.04.21 - 29.04.21</b>	

### RAHMENSCHERVERVERSUCH NACH ÖN EN 17892-10

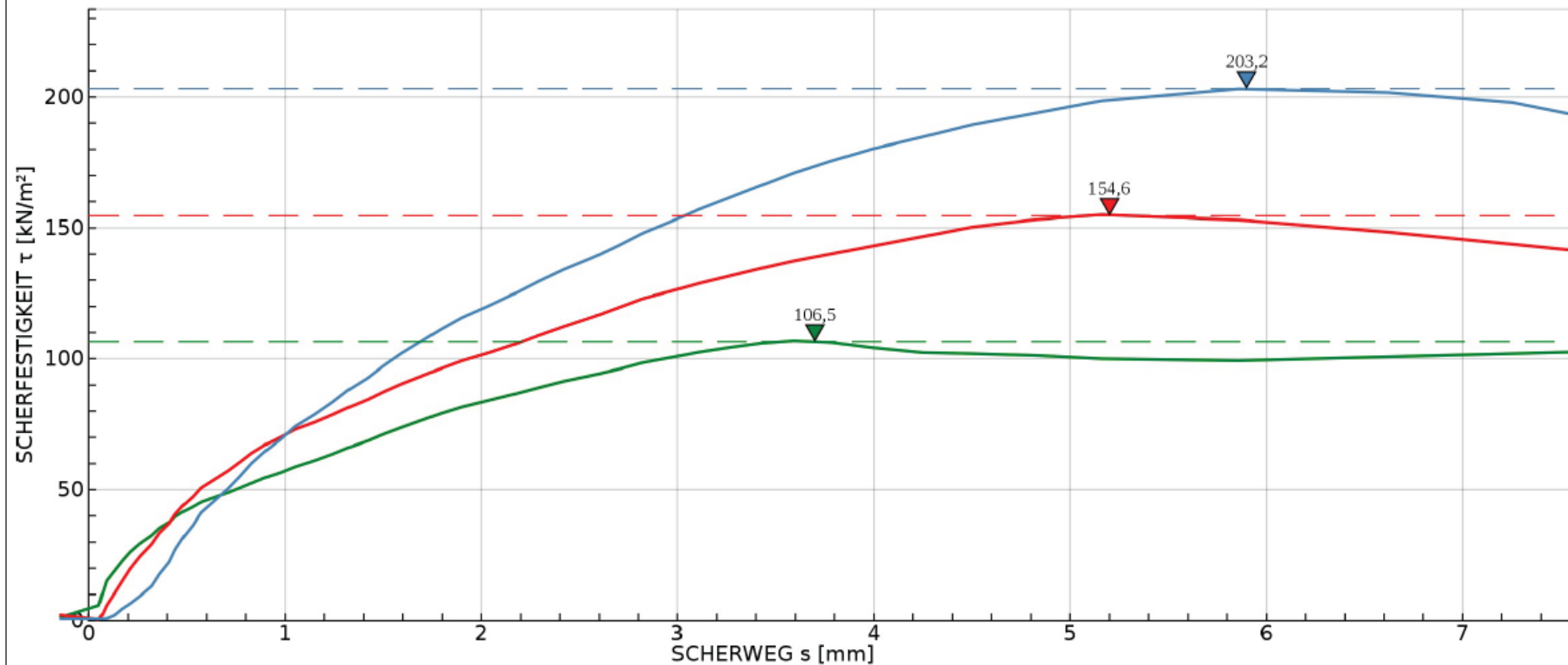
Büchsengröße: 100 x 100 x 20 mm

GRÖSSTKORN: < 4 mm		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
KONSOLIDIERUNGSDRUCK	$\alpha_c$ kN/m <sup>2</sup>	75	75	75
KONSOLIDIERUNGSZEIT	$t_c$ h	-	-	-
NORMALSPANNUNG	$\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	75	150	225
SCHERFESTIGKEIT	$\tau_v$ kN/m <sup>2</sup>	106,5	154,6	203,2
SCHERWEG	$s_1$ mm	3,7	5,2	5,9
RETSCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
RETSCHERWEG	$s_2$ mm	-	-	-
WASSERGEHALT nach dem Versuch	w %	19,1	18,9	19,1
REIBUNGSWINKEL ( $\phi'$ )	32,8 °	PROBENZUSTAND		ungestört
KOHÄSION ( $c'$ )	58,1 kN/m <sup>2</sup>	SCHERGESCHWINDIGKEIT		0,003 mm/min
RETSCHERWINKEL ( $\phi_r$ )	- °	RETSCHERGESCHWINDIGKEIT		- mm/min





- $\sigma = 225 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört
- $\sigma = 150 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört
- $\sigma = 75 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört

Labornummer	<b>21736/3</b>
Versuchsdatum	<b>21.04.21 - 29.04.21</b>
Schergeschwindigkeit	<b>0,003 mm/min</b>
Größtkorn	<b>&lt; 4 mm</b>



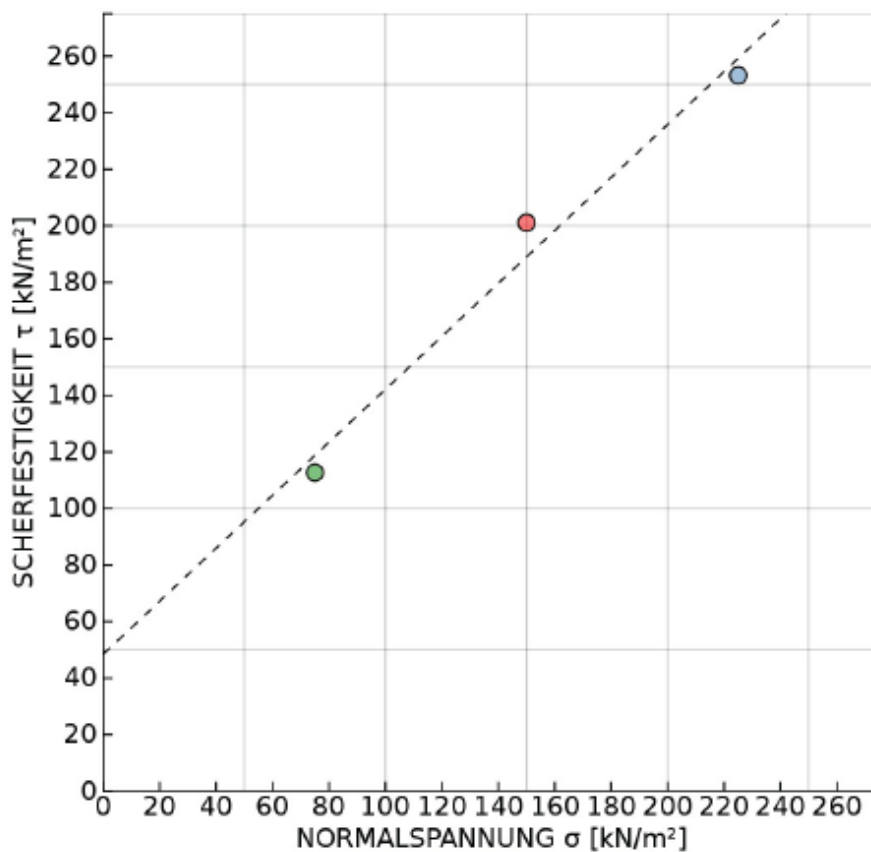
6,0 M.-% Kalk/Zement Bindemittel:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238		 <b>IBG</b>	
	<b>AUFTRAGGEBER:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>BODENART:</b> d" gr' Sl Sa		<b>LABORNUMMER:</b> 21796/6
	<b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>TIEFE:</b> 1,30m bis 1,60m		<b>AUFTRAGSNR:</b> 2
	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff, Sand	<b>BEARBEITER:</b> Mathis		<b>DATUM:</b> 23.04.21 - 29.04.21

### RAHMENSCHERVERSUCH NACH ÖN EN 17892-10

Büchsengröße: 100 x 100 x 20 mm

GRÖSSTKORN: < 4 mm		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
KONSOLIDIERUNGSDRUCK	$\alpha_c$ kN/m <sup>2</sup>	75	75	75
KONSOLIDIERUNGSZEIT	$t_c$ h	-	-	-
NORMALSPANNUNG	$\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	75	150	225
SCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	112,7	201,1	253,2
SCHERWEG	$s_r$ mm	3,3	4,1	5,4
RESTSCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
RESTSCHERWEG	$s_r$ mm	-	-	-
WASSERGEHALT nach dem Versuch	w %	17,8	16,5	16,4
REIBUNGSWINKEL ( $\phi'$ )	43,1 °	PROBENZUSTAND		ungestört
KOHÄSION ( $c'$ )	48,5 kN/m <sup>2</sup>	SCHERGESCHWINDIGKEIT		0,003 mm/min
RESTSCHERWINKEL ( $\phi_r$ )	- °	RESTSCHERGESCHWINDIGKEIT		- mm/min





INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK  
 GEOTECHNISCHES LABOR

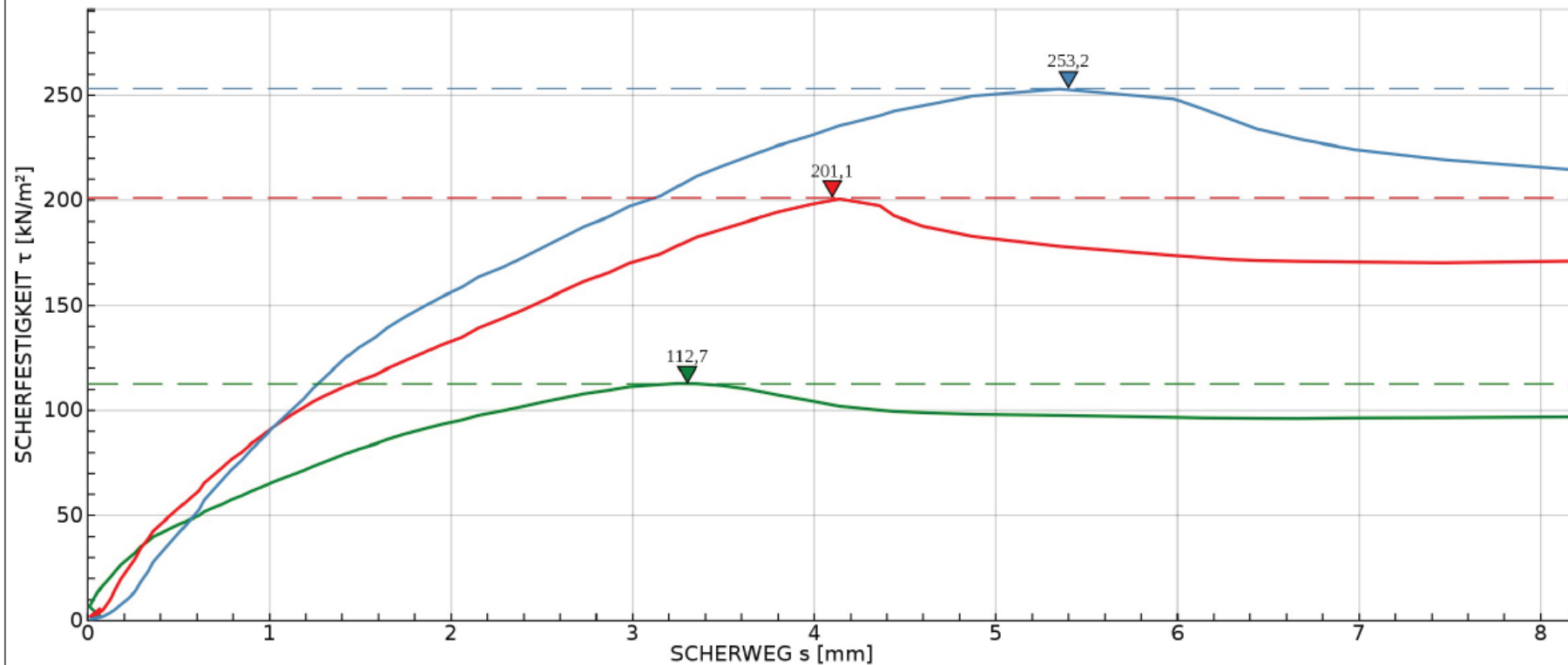
A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA  
 Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238



IBG



- $\sigma = 225 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört
- $\sigma = 150 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört
- $\sigma = 75 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört

Labornummer **21736/6**  
 Versuchsdatum **23.04.21 - 29.04.21**  
 Schergeschwindigkeit **0,003 mm/min**  
 Größtkorn **< 4 mm**



## B2 Scherversuche Schluff-Feinsand-Gemisch

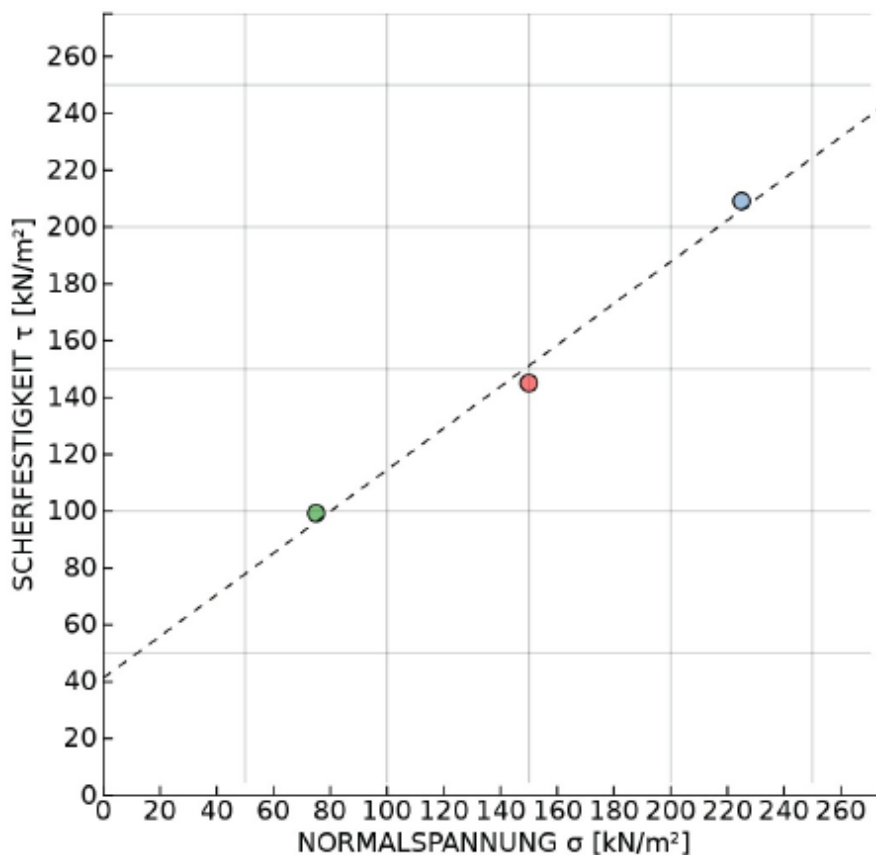
3,0 M.-% Kalk/Zement Bindemittel:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238		 <b>IBG</b>	
	<b>AUFTRAGGEBER:</b> <b>Institut für Bodenmechanik und Grundbau</b>	<b>BODENART:</b> <b>d<sup>m</sup> Sl Sa</b>		<b>LABORNUMMER:</b> <b>21737/3</b>
	<b>PROJEKT:</b> <b>MA Mathis</b>	<b>TIEFE:</b> <b>1,00m bis 1,40m</b>		<b>AUFTRAGSNR:</b> <b>2</b>
<b>BEZEICHNUNG:</b> <b>Schluff, Feinsand</b>	<b>BEARBEITER:</b> <b>Mathis</b>	<b>DATUM:</b> <b>21.04.21 - 29.04.21</b>		

### RAHMENSCHERVERVERSUCH NACH ÖN EN 17892-10

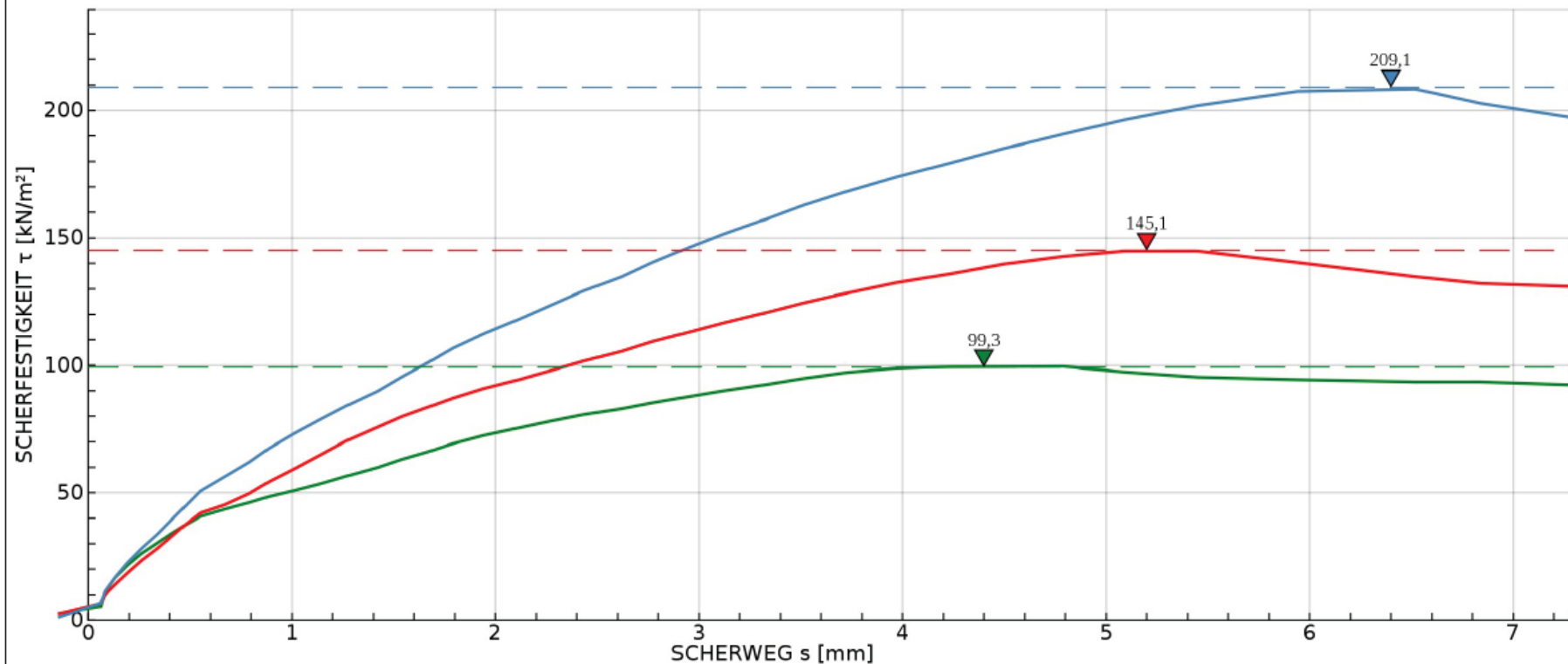
Büchsengröße: 100 x 100 x 20 mm

GRÖSSTKORN: < 4 mm		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
KONSOLIDIERUNGSDRUCK	$\alpha_c$ kN/m <sup>2</sup>	75	75	75
KONSOLIDIERUNGSZEIT	$t_c$ h	-	-	-
NORMALSPANNUNG	$\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	75	150	225
SCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	99,3	145,1	209,1
SCHERWEG	$s_1$ mm	4,4	5,2	6,4
RETSCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
RETSCHERWEG	$s_2$ mm	-	-	-
WASSERGEHALT nach dem Versuch	w %	23,8	24,8	23,4
REIBUNGSWINKEL ( $\phi'$ )	36,2 °		PROBENZUSTAND	ungestört
KOHÄSION ( $c'$ )	41,3 kN/m <sup>2</sup>		SCHERGESCHWINDIGKEIT	0,003 mm/min
RETSCHERWINKEL ( $\phi_r$ )	- °		RETSCHERGESCHWINDIGKEIT	- mm/min





	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b>	 IBG
	<b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238	

<p>— <math>\sigma = 225 \text{ kN/m}^2</math>, <math>t = -h</math>, <math>\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2</math>, ungestört</p> <p>— <math>\sigma = 150 \text{ kN/m}^2</math>, <math>t = -h</math>, <math>\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2</math>, ungestört</p> <p>— <math>\sigma = 75 \text{ kN/m}^2</math>, <math>t = -h</math>, <math>\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2</math>, ungestört</p>	<p>Labornummer <b>21737/3</b></p> <p>Versuchsdatum <b>21.04.21 - 29.04.21</b></p> <p>Schergeschwindigkeit <b>0,003 mm/min</b></p> <p>Größtkorn <b>&lt; 4 mm</b></p>
---	---



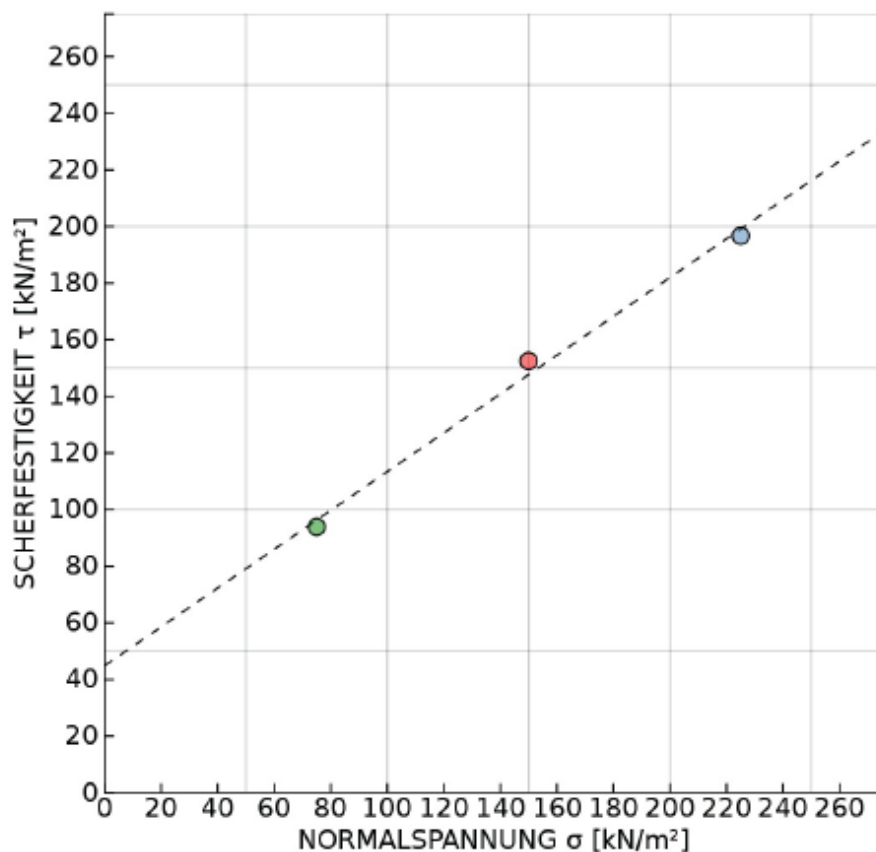
6,0 M.-% Kalk/Zement Bindemittel:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238		 <b>IBG</b>
	<b>AUFTRAGGEBER:</b> <b>Institut für Bodenmechanik und Grundbau</b>	<b>BODENART:</b> <b>d<sup>10</sup> Sl Sa</b>	
<b>PROJEKT:</b> <b>MA Mathis</b>	<b>TIEFE:</b> <b>1,00m bis 1,40m</b>	<b>AUFTRAGSNR:</b> <b>2</b>	
<b>BEZEICHNUNG:</b> <b>Schluff, Feinsand</b>	<b>BEARBEITER:</b> <b>Mathis</b>	<b>DATUM:</b> <b>23.04.21 - 29.04.21</b>	

### RAHMENSCHERVERSUCH NACH ÖN EN 17892-10

Büchsengröße: 100 x 100 x 20 mm

GRÖSSTKORN: < 4 mm		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
KONSOLIDIERUNGSDRUCK	$\alpha_c$ kN/m <sup>2</sup>	75	75	75
KONSOLIDIERUNGSZEIT	$t_c$ h	-	-	-
NORMALSPANNUNG	$\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	75	150	225
SCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	93,9	152,5	196,7
SCHERWEG	$s_1$ mm	2,4	4,8	6,5
RETSCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
RETSCHERWEG	$s_2$ mm	-	-	-
WASSERGEHALT nach dem Versuch	w %	17,3	18,4	18,2
REIBUNGSWINKEL ( $\phi'$ )	34,4 °	PROBENZUSTAND		ungestört
KOHÄSION ( $c'$ )	44,9 kN/m <sup>2</sup>	SCHERGESCHWINDIGKEIT		0,003 mm/min
RETSCHERWINKEL ( $\phi_r$ )	- °	RETSCHERGESCHWINDIGKEIT		- mm/min







INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK  
GEOTECHNISCHES LABOR

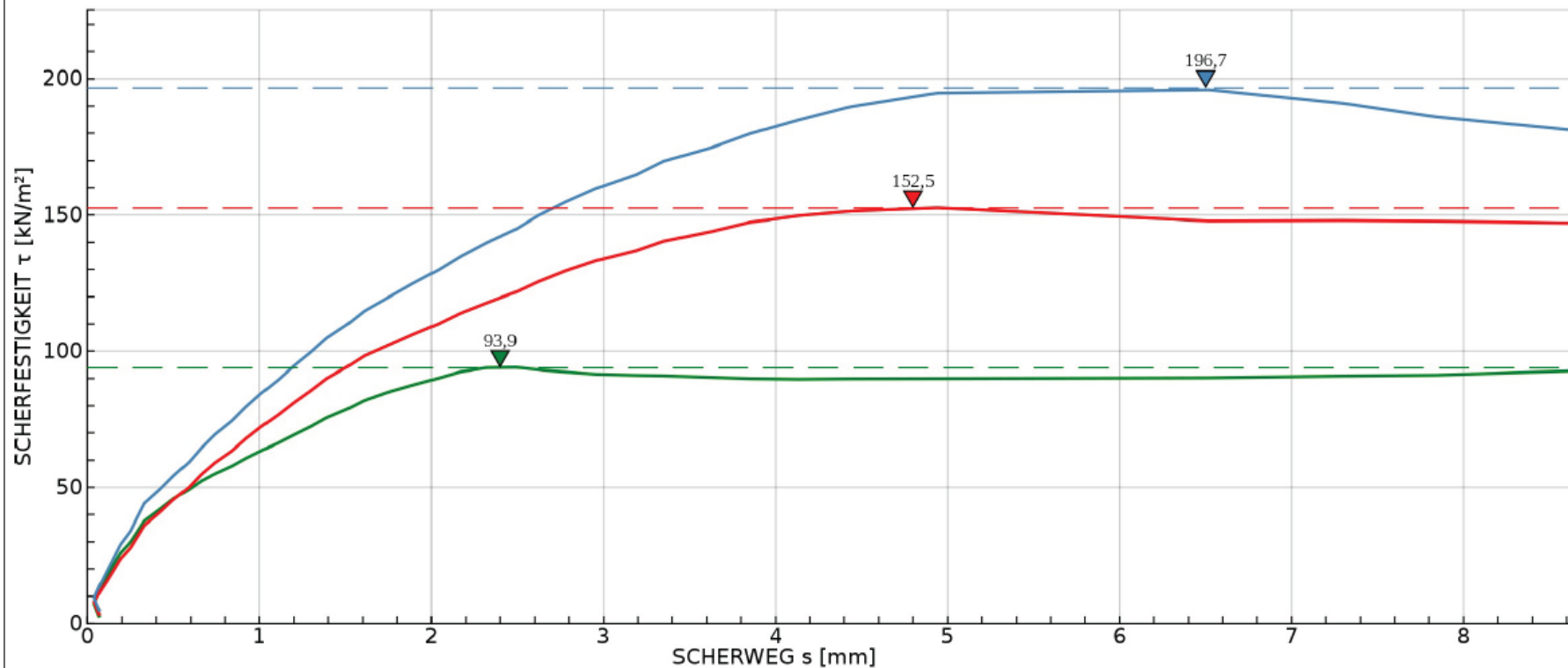
A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA  
Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238



IBG



- $\sigma = 225 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört
- $\sigma = 150 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört
- $\sigma = 75 \text{ kN/m}^2$ ,  $t = -h$ ,  $\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2$ , ungestört

Labornummer	<b>21737/6</b>
Versuchsdatum	<b>23.04.21 - 29.04.21</b>
Schergeschwindigkeit	<b>0,003 mm/min</b>
Größtkorn	<b>&lt; 4 mm</b>



## B3 Scherversuche Toniger Schluff

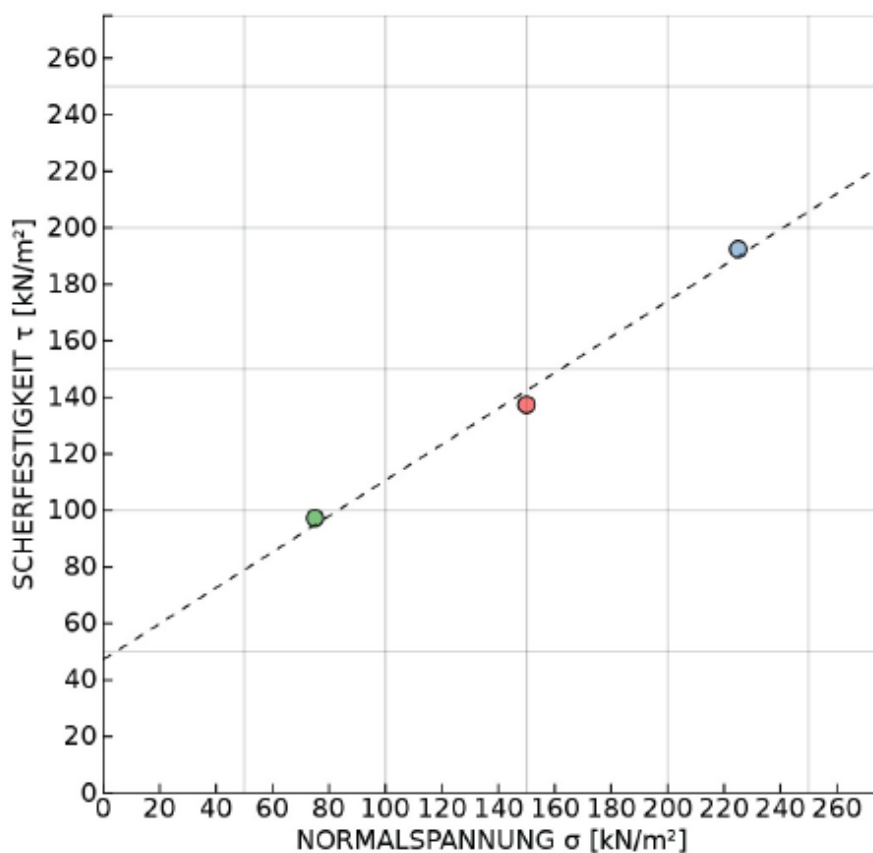
3,0 M.-% Kalk/Zement Bindemittel:

	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238		 <b>IBG</b>
	<b>AUFTRAGGEBER:</b> Institut für Bodenmechanik und Grundbau	<b>BODENART:</b> cl' sa' Sl	
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>TIEFE:</b> 0,60m bis 0,90m	<b>AUFTRAGSNR:</b> 2	
<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff, tonig	<b>BEARBEITER:</b> Mathis	<b>DATUM:</b> 21.04.21 - 29.04.21	

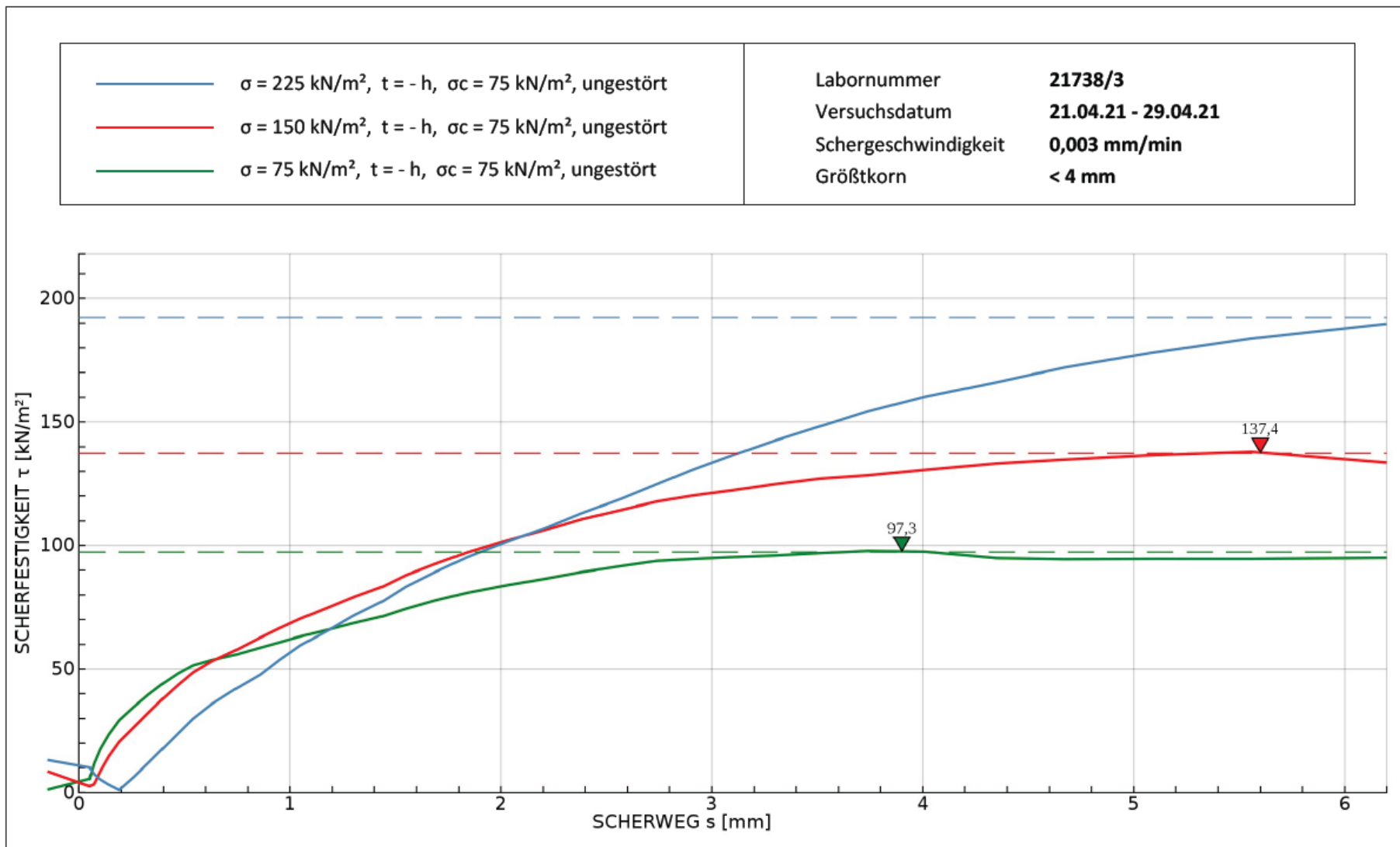
### RAHMENSCHERVERVERSUCH NACH ÖN EN 17892-10

Büchsengröße: 100 x 100 x 20 mm



GRÖSSTKORN: < 4 mm		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
KONSOLIDIERUNGSDRUCK	$\alpha_c$ kN/m <sup>2</sup>	75	75	75
KONSOLIDIERUNGSZEIT	$t_c$ h	-	-	-
NORMALSPANNUNG	$\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	75	150	225
SCHERFESTIGKEIT	$\tau_c$ kN/m <sup>2</sup>	97,3	137,4	192,4
SCHERWEG	$s_1$ mm	3,9	5,6	6,4
RESTSCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
RESTSCHERWEG	$s_2$ mm	-	-	-
WASSERGEHALT nach dem Versuch	w %	28,7	29,5	30,3
REIBUNGSWINKEL ( $\phi'$ )	32,4 °	PROBENZUSTAND		ungestört
KOHÄSION ( $c'$ )	47,3 kN/m <sup>2</sup>	SCHERGESCHWINDIGKEIT		0,003 mm/min
RESTSCHERWINKEL ( $\phi_r$ )	- °	RESTSCHERGESCHWINDIGKEIT		- mm/min



	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b>	 <b>IBG</b>
	A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238	



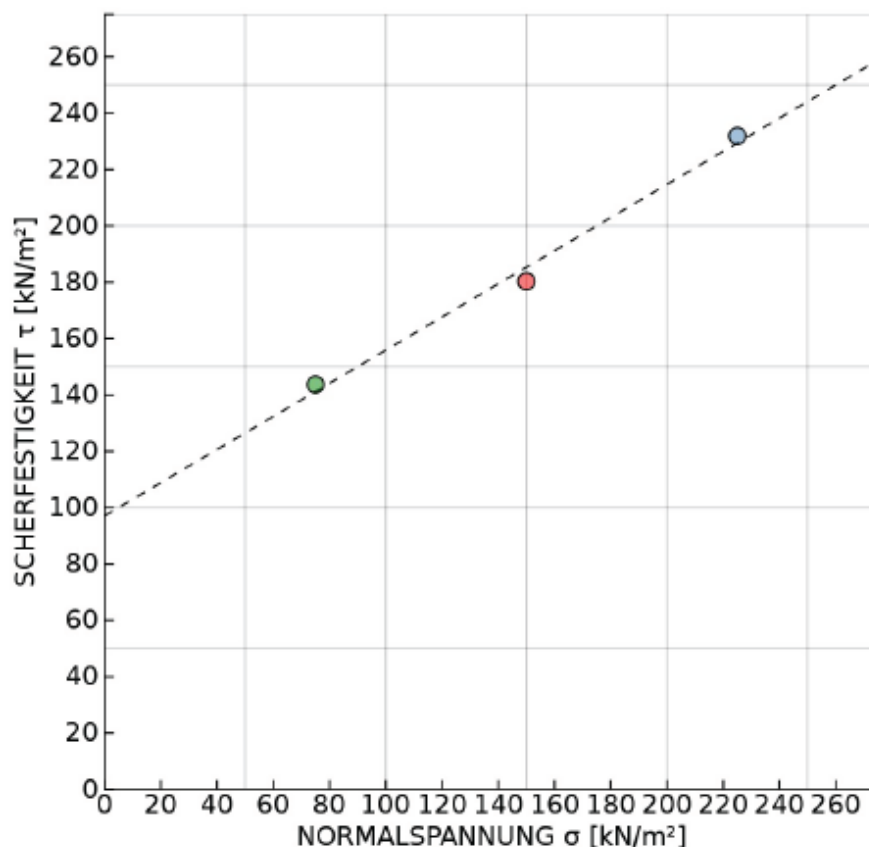
6,0 M.-% Kalk/Zement Bindemittel:

 <b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238		 <b>IBG</b>
AUFTRAGGEBER: <b>Institut für Bodenmechanik und Grundbau</b>	BODENART: <b>cl' sa' Sl</b>	LABORNUMMER: <b>21738/6</b>
PROJEKT: <b>MA Mathis</b>	TIEFE: <b>0,60m bis 0,90m</b>	AUFTRAGSNR: <b>2</b>
BEZEICHNUNG: <b>Schluff, tonig</b>	BEARBEITER: <b>Mathis</b>	DATUM: <b>24.04.21 - 29.04.21</b>

### RAHMENSCHERVERSUCH NACH ÖN EN 17892-10

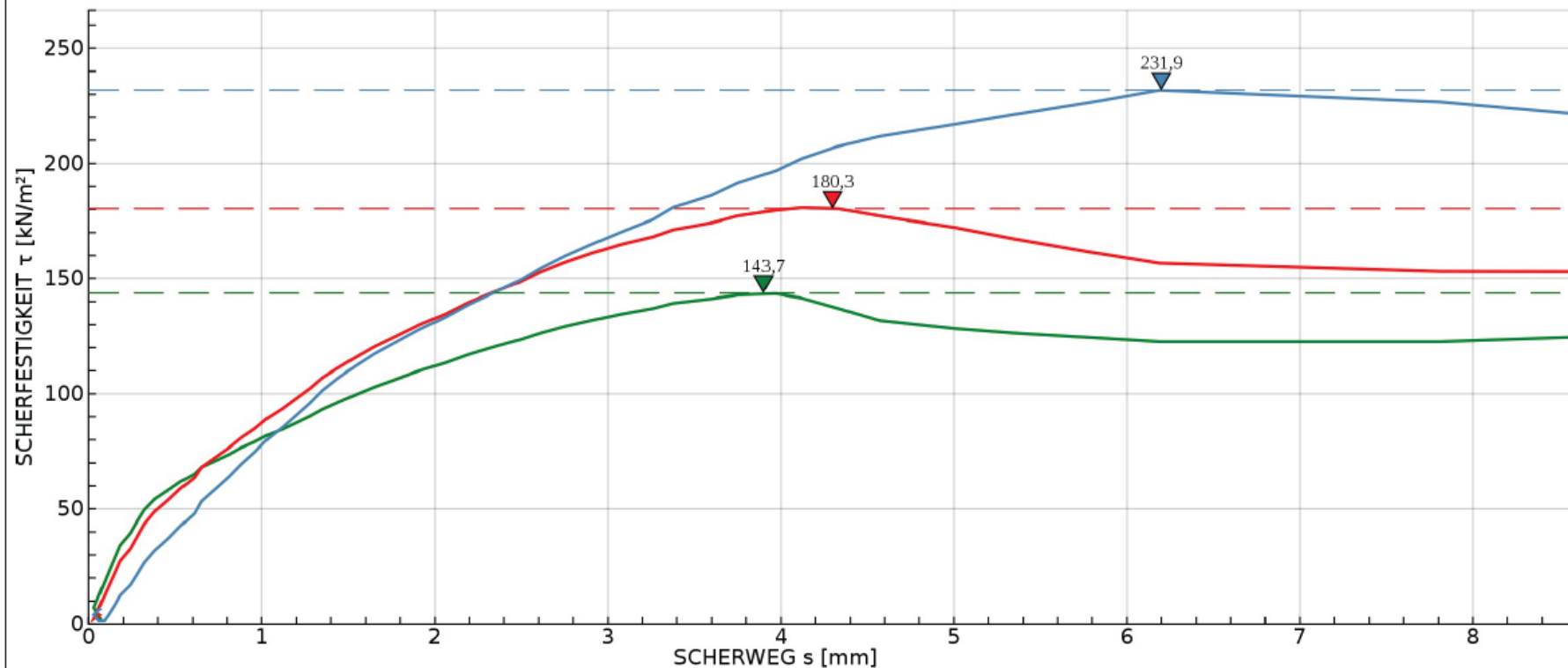
Büchsengröße: 100 x 100 x 20 mm

GRÖSSTKORN: < 4 mm		Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3
KONSOLIDIERUNGSDRUCK	$\sigma_c$ kN/m <sup>2</sup>	75	75	75
KONSOLIDIERUNGSZEIT	$t_c$ h	-	-	-
NORMALSPANNUNG	$\sigma$ kN/m <sup>2</sup>	75	150	225
SCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	143,7	180,3	231,9
SCHERWEG	$s_1$ mm	3,9	4,3	6,2
RESTSCHERFESTIGKEIT	$\tau_r$ kN/m <sup>2</sup>	-	-	-
RESTSCHERWEG	$s_2$ mm	-	-	-
WASSERGEHALT nach dem Versuch	w %	24,1	24,7	24,8
REIBUNGSWINKEL ( $\phi'$ )	30,5 °	PROBENZUSTAND		ungestört
KOHÄSION ( $c'$ )	97,1 kN/m <sup>2</sup>	SCHERGESCHWINDIGKEIT		0,003 mm/min
RESTSCHERWINKEL ( $\phi_r$ )	- °	RESTSCHERGESCHWINDIGKEIT		- mm/min



	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK, GRUNDBAU UND NUMERISCHE GEOTECHNIK</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 GRAZ, RECHBAUERSTRASSE 12, AUSTRIA Tel.: +43 (0) 316 873-6237 Fax.: +43 (0) 316 873-6238	 <b>IBG</b>

<p>— <math>\sigma = 225 \text{ kN/m}^2</math>, <math>t = -h</math>, <math>\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2</math>, ungestört</p> <p>— <math>\sigma = 150 \text{ kN/m}^2</math>, <math>t = -h</math>, <math>\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2</math>, ungestört</p> <p>— <math>\sigma = 75 \text{ kN/m}^2</math>, <math>t = -h</math>, <math>\sigma_c = 75 \text{ kN/m}^2</math>, ungestört</p>	<p>Labornummer <b>21738/6</b></p> <p>Versuchsdatum <b>24.04.21 - 29.04.21</b></p> <p>Schergeschwindigkeit <b>0,003 mm/min</b></p> <p>Größtkorn <b>&lt; 4 mm</b></p>
---	---



### **9.3 Anhang C – Proctorversuche mit Bindemittelbehandlung**

**Anhang C beinhaltet folgendes:**

- C1 Proctorversuche Schluff-Sand-Gemisch
- C2 Proctorversuche Schluff-Feinsand-Gemisch
- C3 Proctorversuche Toniger Schluff

C1 Proctorversuche Schluff-Sand-Gemisch

Weißfeinkalkstabilisiert:

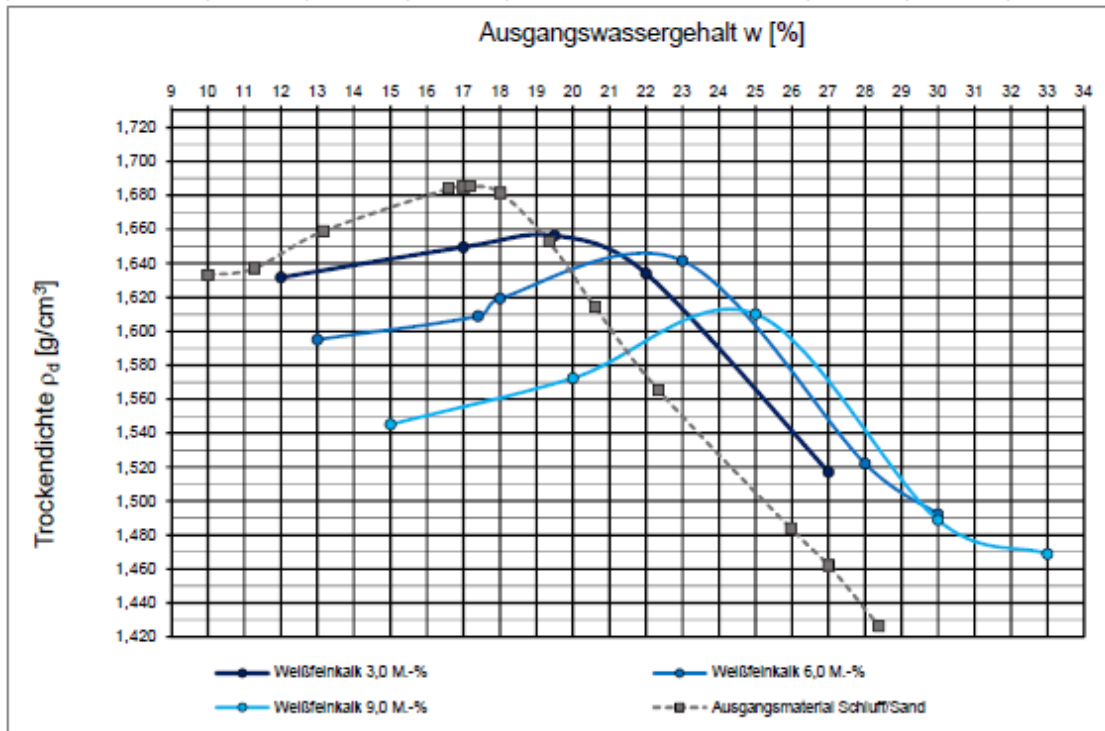
Ausgangswassergehalt

 TU Graz <small>Graz University of Technology</small>	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 IBG
---	--	--

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI  <b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Sand Kalkstabilisiert  <b>BODENART:</b>  <b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>LABORNUMMER:</b> 21736  <b>AUFTRAGSNUMMER:</b>  <b>DATUM:</b> 01.02.-19.02.2021
---	--	--

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT			Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,6
Durchmesser	mm	100			
Höhe	mm	120	Überkoranteil	%	-



ERGEBNIS		
W <sub>Pr</sub>	%	17,0
P <sub>Pr</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1,658

ANMERKUNG:
------------

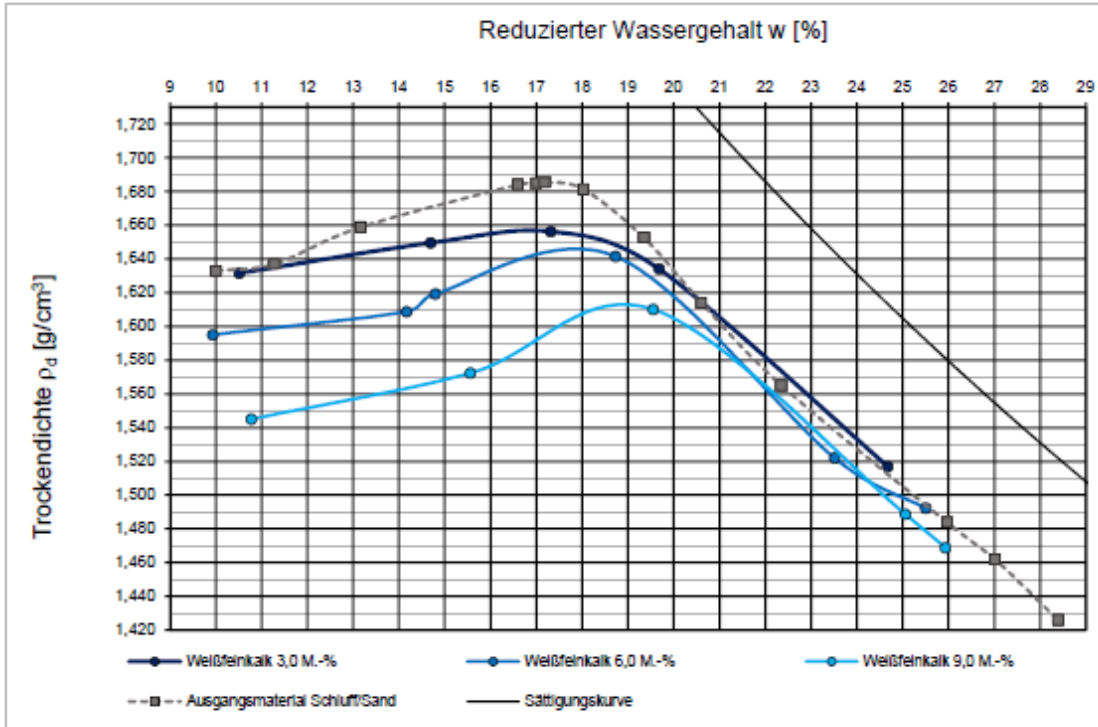
Reduzierter Wassergehalt

 TU Graz <small>Graz University of Technology</small>	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 IBG
---	--	--

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Sand Kalkstabilisiert	<b>LABORNUMMER:</b> 21736
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>BODENART:</b>	<b>AUFTRAGSNUMMER:</b>
	<b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>DATUM:</b> 01.02.-19.02.2021

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT				Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,8	
Durchmesser	mm	100					
Höhe	mm	120		Überkornanteil	%		-



ERGEBNIS		
Ausgangsmaterial		
W <sub>Pr</sub>	%	17,0
ρ <sub>Pr</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1,658

ANMERKUNG:



Weißfeinkalk/Zementstabilisiert:

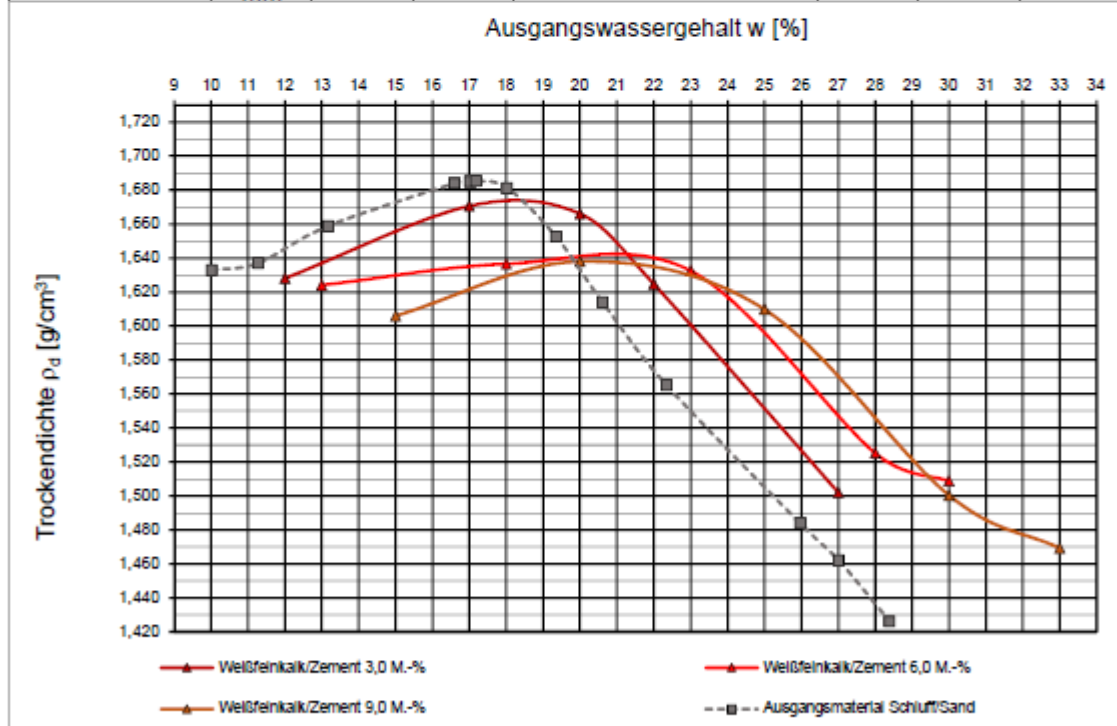
Ausgangswassergehalt

 <p><b>TU</b> Graz Graz University of Technology</p>	<p align="center"><b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238</p>	 <p align="center"><b>IBG</b></p>
---	---	--

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Sand Kalk/Zementstabilisiert	<b>LABORNUMMER:</b> 21736
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>BODENART:</b>	<b>AUFTRAGSNUMMER</b>
	<b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>DATUM:</b> 01.02.-19.02.2021

## PROCTOR-VERSUCH

<b>GERÄT</b>			Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,6	
Durchmesser	mm	100	Überkornanteil	%		-
Höhe	mm	120				



ERGEBNIS		
W <sub>Pr</sub>	%	17,0
ρ <sub>Pr</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1,658

ANMERKUNG:

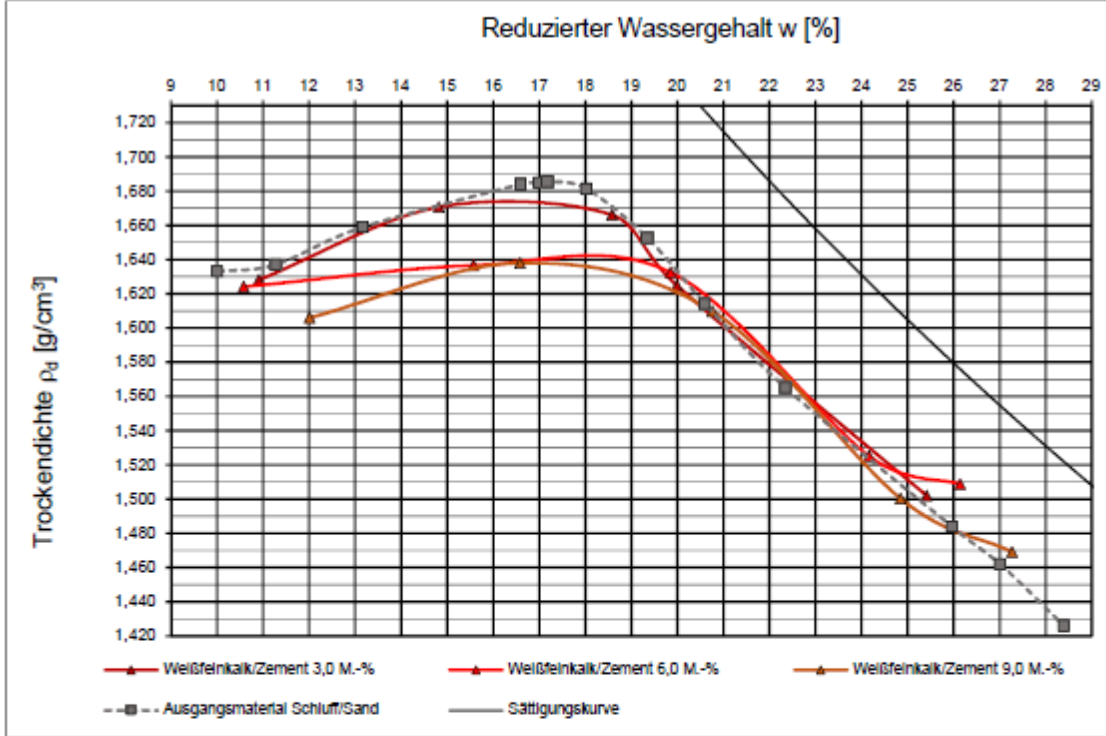
Reduzierter Wassergehalt

 TU Graz Graz University of Technology	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 IBG
--	--	--

AUFTRAGGEBER: RHESI	BEZEICHNUNG: Schluff/Sand Kalk/Zementstabilisiert	LABORNUMMER: 21738
PROJEKT: MA Mathis	BODENART:	AUFTRAGSNUMMER
	BEARBEITER: MJ	DATUM: 01.02.-19.02.2021

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT				Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,6	
Durchmesser	mm	100					
Höhe	mm	120					
			Überkornanteil	%			-



ERGEBNIS		
Ausgangsmaterial		
$w_{Pr}$	%	17,0
$\rho_{Pr}$	g/cm <sup>3</sup>	1,658

ANMERKUNG:

Zementstabilisiert:

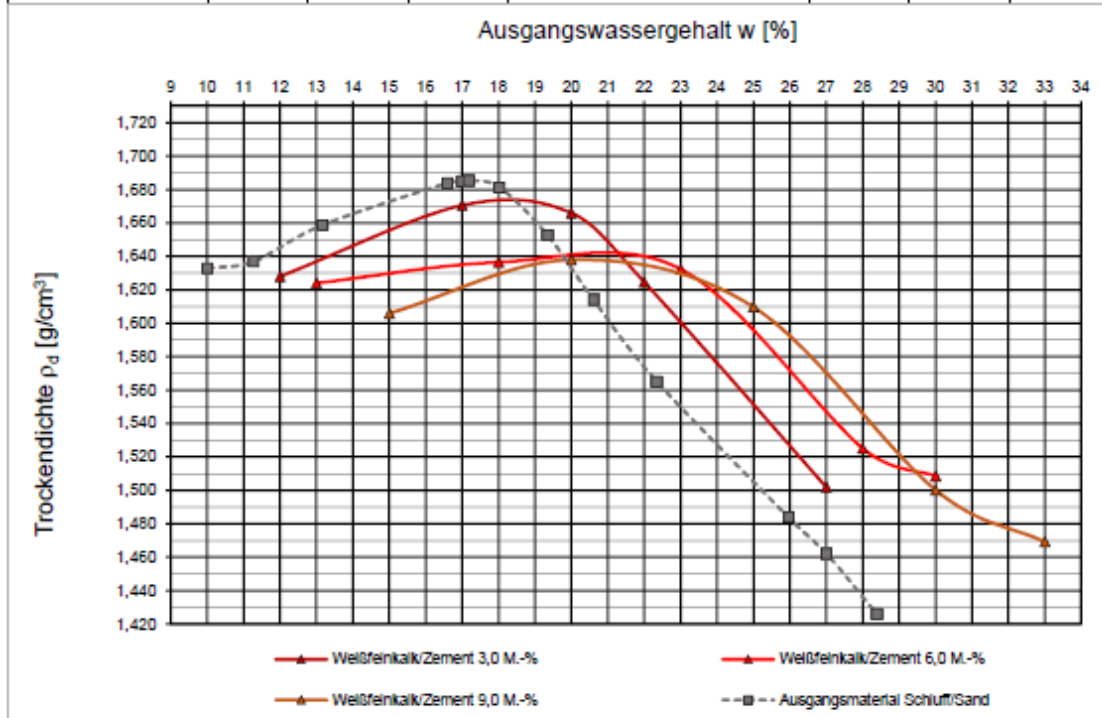
Ausgangswassergehalt

 TU Graz <small>Graz University of Technology</small>	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 IBG
---	--	--

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Sand Kalk/Zementstabilisiert	<b>LABORNUMMER:</b> 21736
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>BODENART:</b>	<b>AUFTRAGSNUMMER:</b>
	<b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>DATUM:</b> 01.02.-19.02.2021

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT			<b>Verdichtungsenergie</b>	<b>MN/m<sup>3</sup></b>	0,6	
Durchmesser	mm	100				
Höhe	mm	120	<b>Überkornanteil</b>	<b>%</b>		-



ERGEBNIS		
W <sub>Pr</sub>	%	17,0
ρ <sub>Pr</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1,658

**ANMERKUNG:**

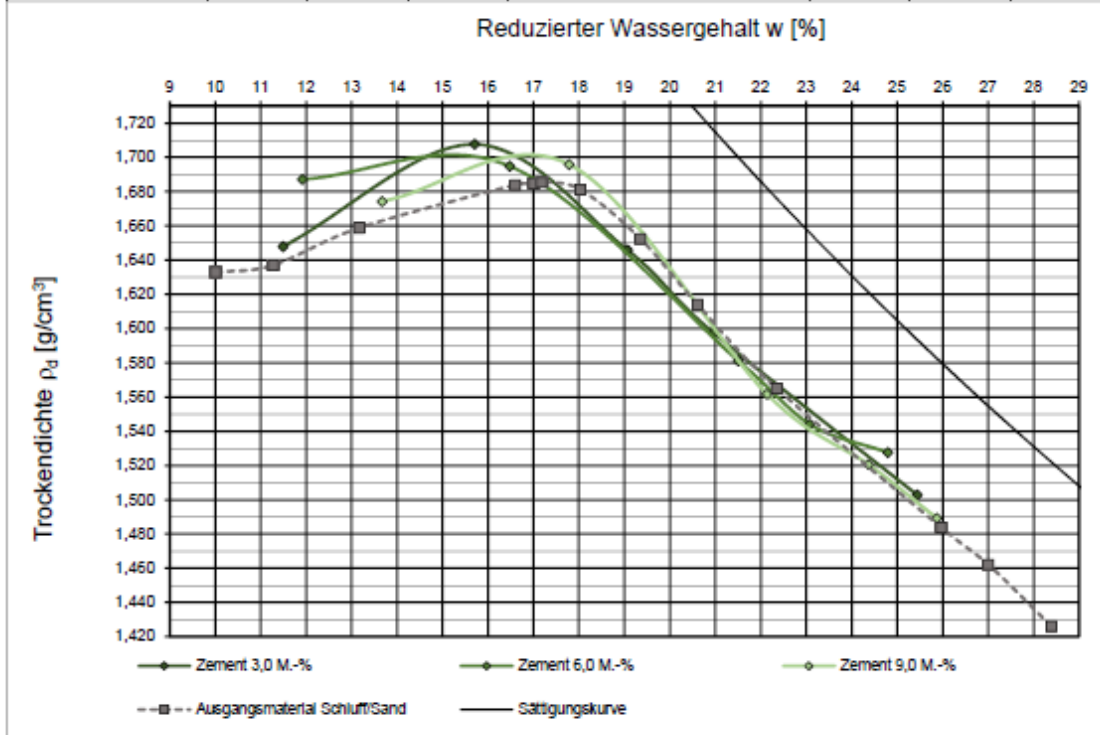
Reduzierter Wassergehalt

 TU Graz <small>Graz University of Technology</small>	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 IBG
---	--	--

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Sand Zementstabilisiert	<b>LABORNUMMER:</b> 21738
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>BODENART:</b>	<b>AUFTRAGSNUMMER:</b>
	<b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>DATUM:</b> 01.02.-19.02.2021

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT			Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,8	
Durchmesser	mm	100	Überkornanteil	%		-
Höhe	mm	120				



ERGEBNIS		
Ausgangsmaterial		
W <sub>Pr</sub>	%	17,0
ρ <sub>Pr</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1,658

ANMERKUNG:

C2 Proctorversuche Schluff-Feinsand-Gemisch

Weißfeinkalkstabilisiert:

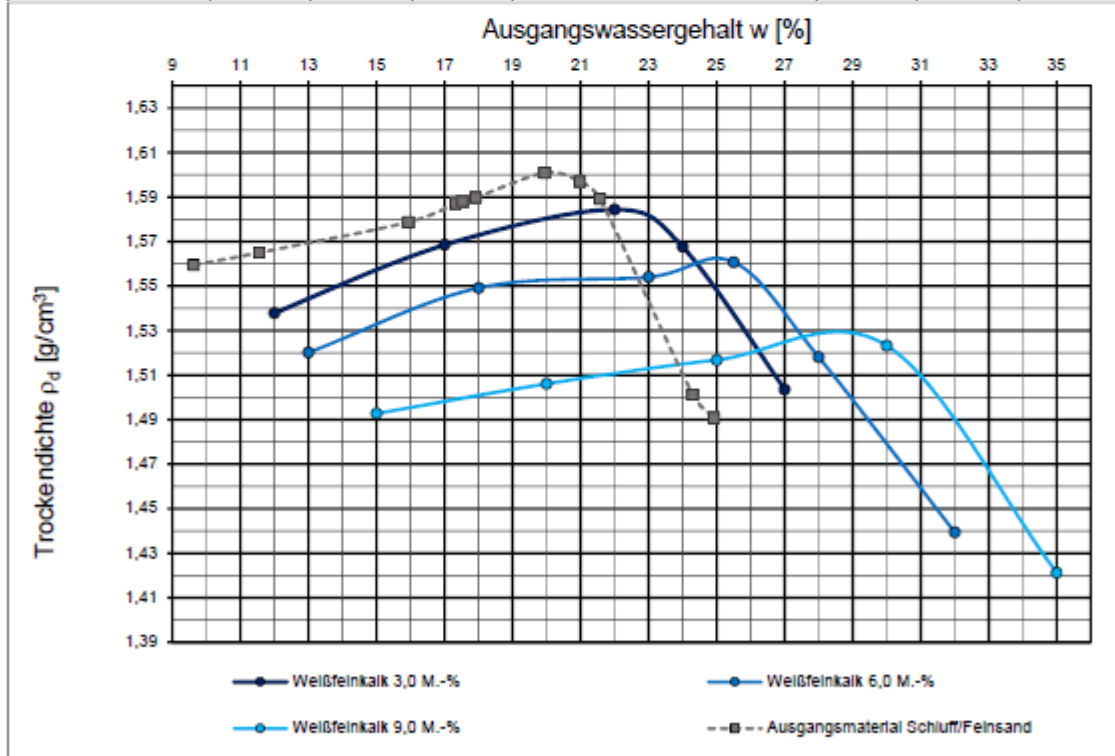
Ausgangswassergehalt

 <b>TU</b> Graz <small>Graz University of Technology</small>	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 <b>IBG</b>
--	--	---

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Feinsand Kalkstabilisiert	<b>LABORNUMMER:</b> 21737
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>BODENART:</b>	<b>AUFTRAGSNUMMER</b>
	<b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>DATUM:</b> 01.02.-19.02.2021

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT			Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,8
Durchmesser	mm	100	Überkomanteil	%	-
Höhe	mm	120			



ERGEBNIS		
$w_{Pr}$	%	19,6
$\rho_{Pr}$	g/cm <sup>3</sup>	1,585

<b>ANMERKUNG:</b>

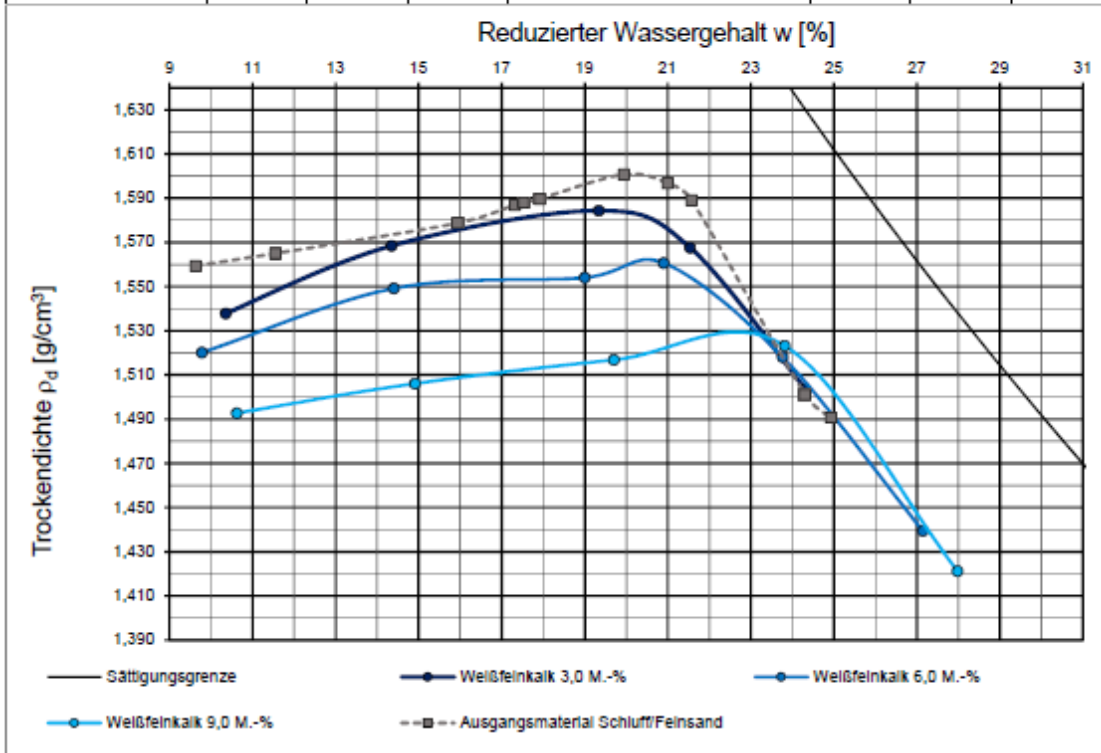
Reduzierter Wassergehalt

 TU Graz <small>Graz University of Technology</small>	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU                  GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 IBG
---	---	--

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI  <b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Feinsand Kalkstabilisiert <b>BODENART:</b>  <b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>LABORNUMMER:</b> 21737 <b>AUFTRAGSNUMMER:</b>  <b>DATUM:</b> 01.02.-19.02.2021
---	--	--

## PROCTOR-VERSUCH

<b>GERÄT</b>				Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,6		
Durchmesser	mm	100						
Höhe	mm	120						
			Überkomanteil		%		-	



ERGEBNIS		
W <sub>Pr</sub>	%	19,6
P <sub>Pr</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1,585

ANMERKUNG:
------------

Weißfeinkalk/Zementstabilisiert:

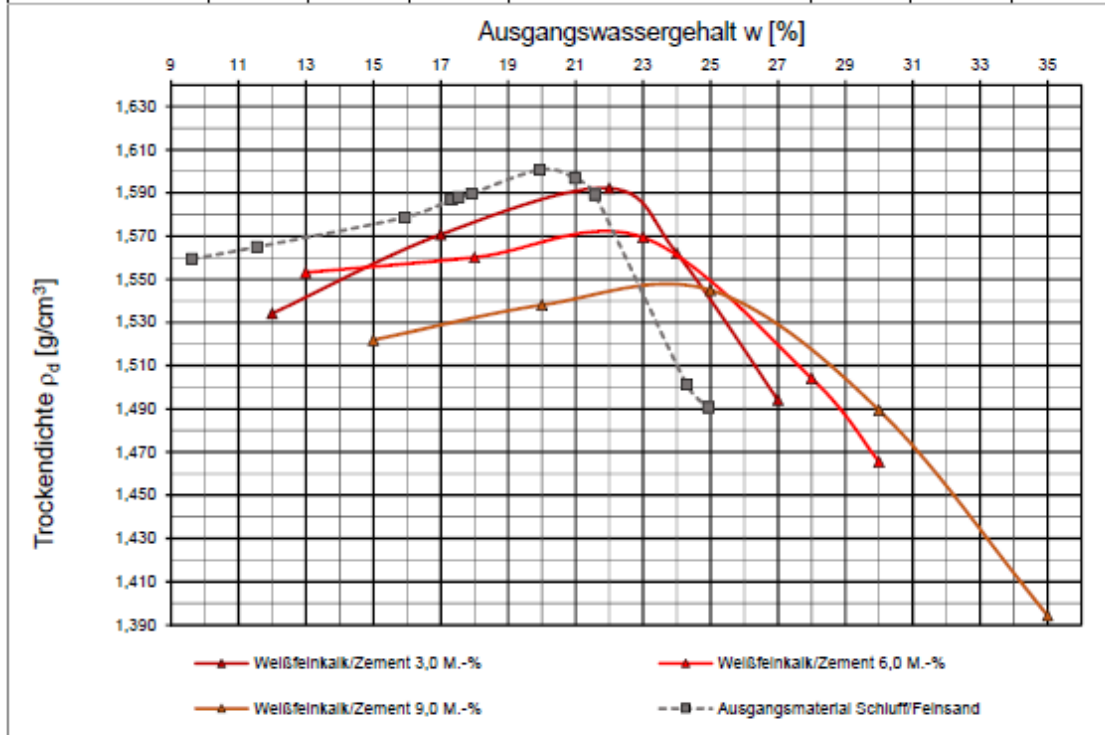
Ausgangswassergehalt

 TU Graz Graz University of Technology	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 IBG
--	--	--

AUFTRAGGEBER: RHESI	BEZEICHNUNG: Schluff/Feinsand Kalk/Zementstabilisiert	LABORNUMMER: 21737
PROJEKT: MA Mathis	BODENART: BEARBEITER: MJ	AUFTRAGSNUMMER: DATUM: 01.02.-19.02.2021

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT			Verdichtungsenergie		
Durchmesser	mm	100	MN/m <sup>3</sup>	0,8	
Höhe	mm	120	Überkomanteil	%	-



ERGEBNIS		
$w_{Pr}$	%	19,6
$\rho_{Pr}$	g/cm <sup>3</sup>	1,585

ANMERKUNG:
------------

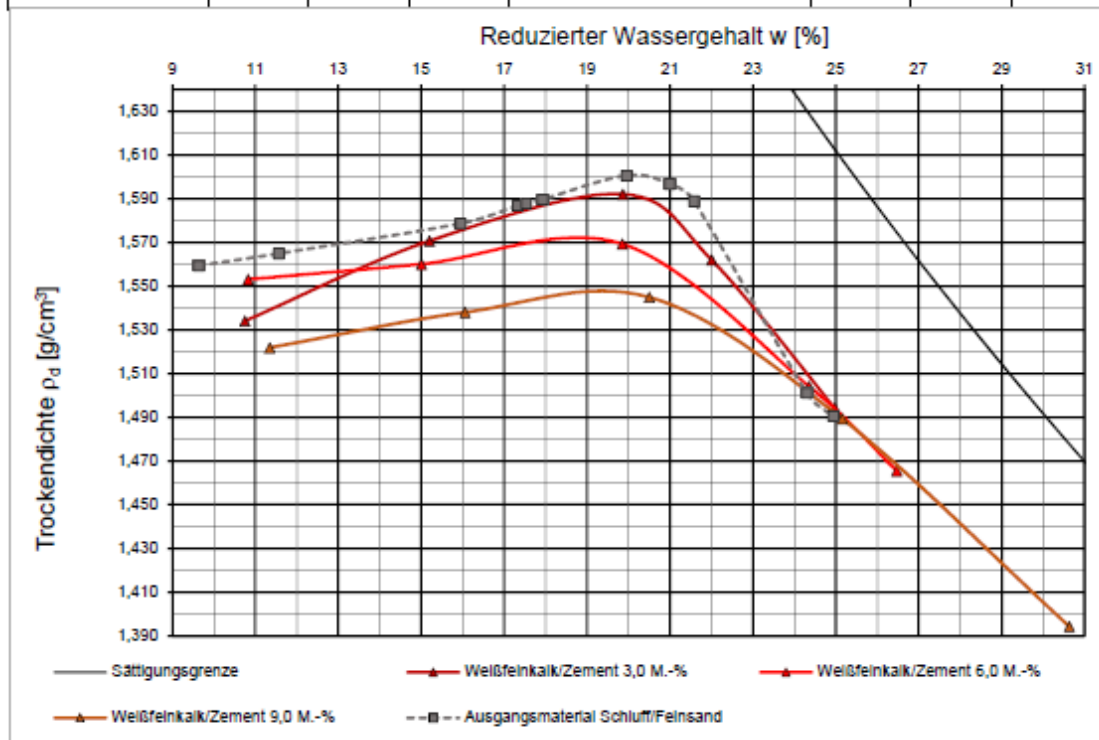
## Reduzierter Wassergehalt

 <p><b>TU</b> Graz Graz University of Technology</p>	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 <b>IBG</b>
---	--	---

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Feinsand Zement/Kalkstabilisiert	<b>LABORNUMMER:</b> 21737
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>BODENART:</b>	<b>AUFTRAGSNUMMER</b>
<b>BEARBEITER:</b> MJ		<b>DATUM:</b> 01.02.-19.02.2021

## PROCTOR-VERSUCH

<b>GERÄT</b>			Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,6				
Durchmesser	mm	100	<table border="1" style="width: 100%;"> <tr> <td>Überkornanteil</td> <td>%</td> <td>-</td> </tr> </table>				Überkornanteil	%	-
Überkornanteil	%	-							
Höhe	mm	120							



ERGEBNIS		
$w_{Pr}$	%	19,6
$\rho_{Pr}$	g/cm <sup>3</sup>	1,585

<b>ANMERKUNG:</b>
-------------------



Zementstabilisiert:

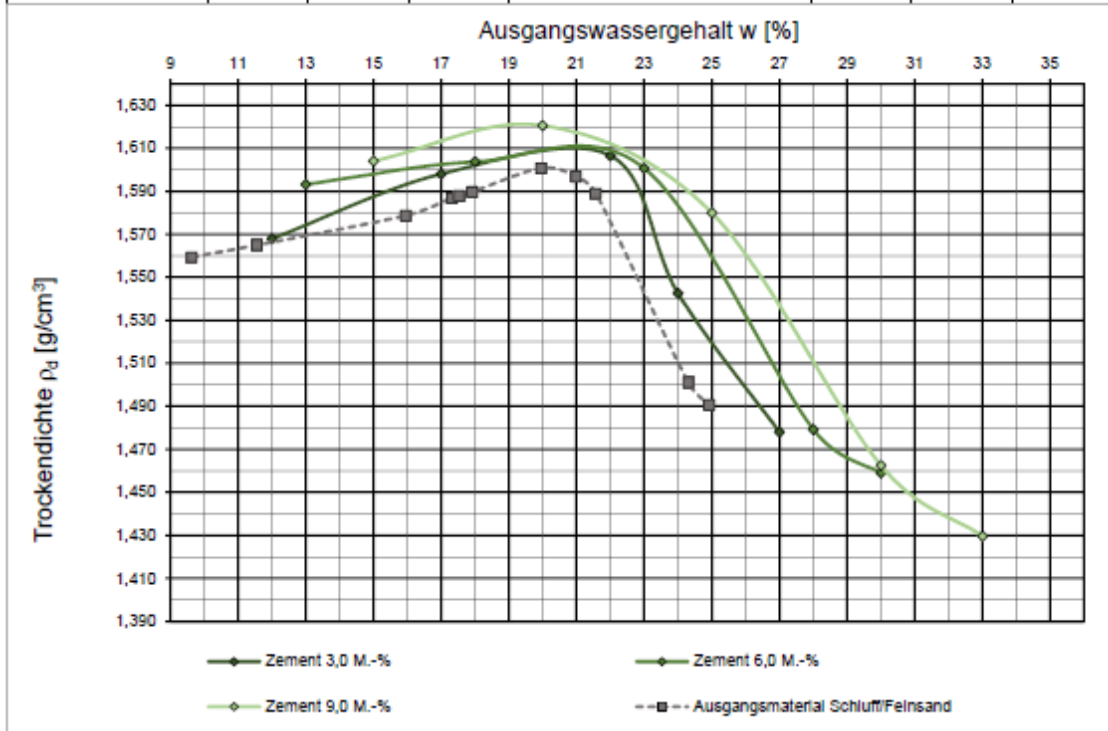
Ausgangswassergehalt

 TU Graz <small>Graz University of Technology</small>	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 IBG
---	--	--

AUFTRAGGEBER: RHESI	BEZEICHNUNG: Schluff/Feinsand Zementstabilisiert	LABORNUMMER: 21737
	BODENART:	AUFTRAGSNUMMER
PROJEKT: MA Mathis	BEARBEITER: MJ	DATUM: 01.02.-19.02.2021

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT			Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,6
Durchmesser	mm	100	Überkornanteil	%	-
Höhe	mm	120			



ERGEBNIS		
W <sub>Pr</sub>	%	19,6
ρ <sub>Pr</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1,585

ANMERKUNG:
------------

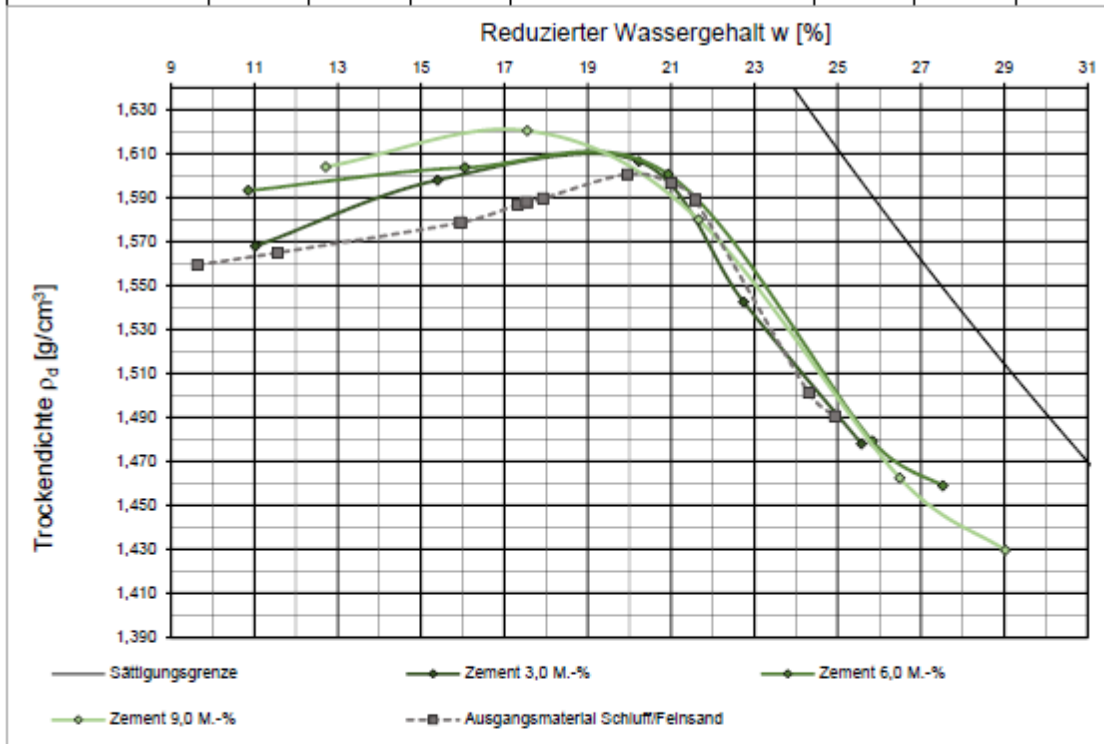
## Reduzierter Wassergehalt

 <p><b>TU</b> Graz Graz University of Technology</p>	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 <b>IBG</b>
---	--	---

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Feinsand Zementstabilisiert	<b>LABORNUMMER:</b> 21737
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>BODENART:</b>	<b>AUFTRAGSNUMMER</b>
<b>BEARBEITER:</b> MJ		<b>DATUM:</b> 01.02.-19.02.2021

## PROCTOR-VERSUCH

<b>GERÄT</b>			Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,6
Durchmesser	mm	100	Überkornanteil		
Höhe	mm	120	%		-



<b>ERGEBNIS</b>		
$w_{Pr}$	%	19,6
$\rho_{Pr}$	g/cm <sup>3</sup>	1,585

<b>ANMERKUNG:</b>
-------------------

## C3 Proctorversuche Toniger Schluff

Weißfeinkalkstabilisiert:

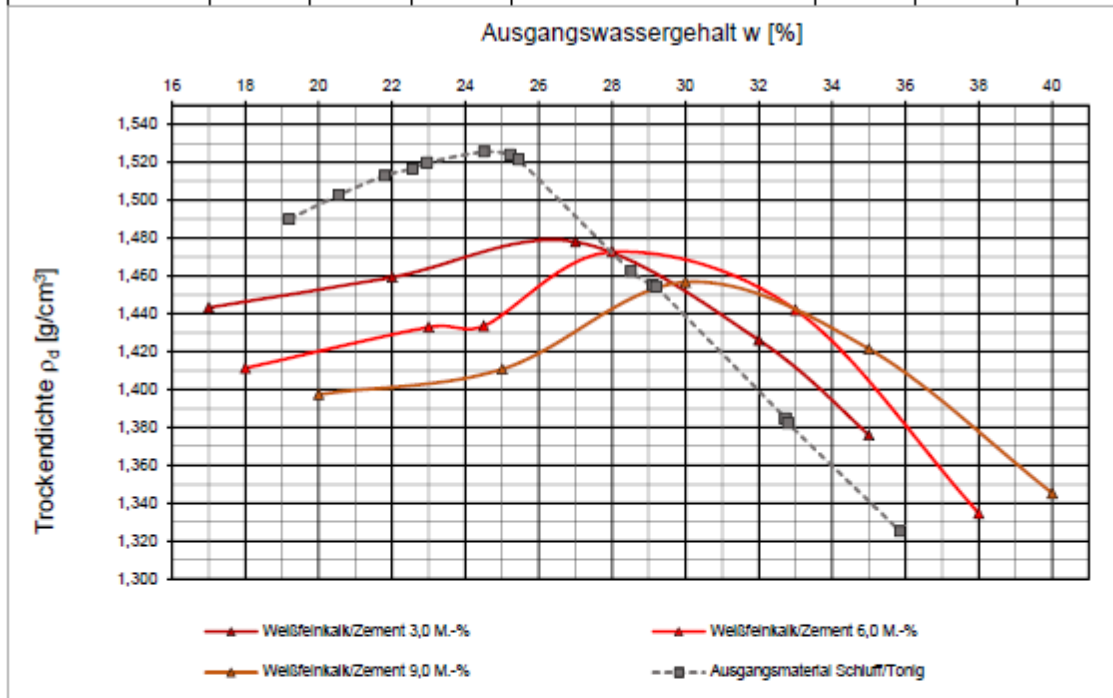
Ausgangswassergehalt

 <p><b>TU</b> Graz Graz University of Technology</p>	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 <b>IBG</b>
---	--	---

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Tonig Kalk/Zementstabilisiert	<b>LABORNUMMER:</b> 21738
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>BODENART:</b>	<b>AUFTRAGSNUMMER</b>
	<b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>DATUM:</b> 01.02.-19.02.2021

**PROCTOR-VERSUCH**

<b>GERÄT</b>			Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,8	
Durchmesser	mm	100	Überkomanteil			
Höhe	mm	120				



<b>ERGEBNIS</b>		
W <sub>Pr</sub>	%	25,0
ρ <sub>Pr</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1,472

<b>ANMERKUNG:</b>
-------------------

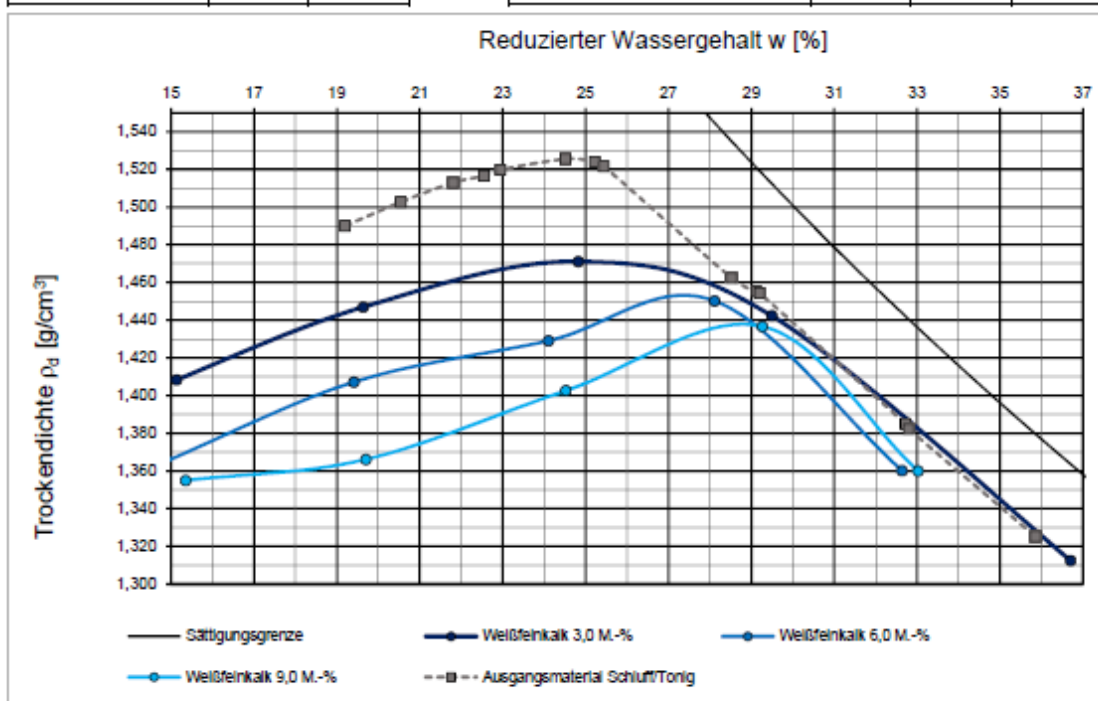
## Reduzierter Wassergehalt

 <p><b>TU</b> Graz Graz University of Technology</p>	<b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238	 <b>IBG</b>
---	--	---

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Tonig Kalkstabilisiert	<b>LABORNUMMER:</b> 21738
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>BODENART:</b>	<b>AUFTRAGSNUMMER</b>
	<b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>DATUM:</b> 01.02.-19.02.2021

## PROCTOR-VERSUCH

<b>GERÄT</b>			Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,8
Durchmesser	mm	100	Überkornanteil		
Höhe	mm	120			



ERGEBNIS		
W <sub>Pr</sub>	%	25,0
ρ <sub>Pr</sub>	g/cm <sup>3</sup>	1,472

<b>ANMERKUNG:</b>
-------------------

Weißfeinkalk/Zementstabilisiert:

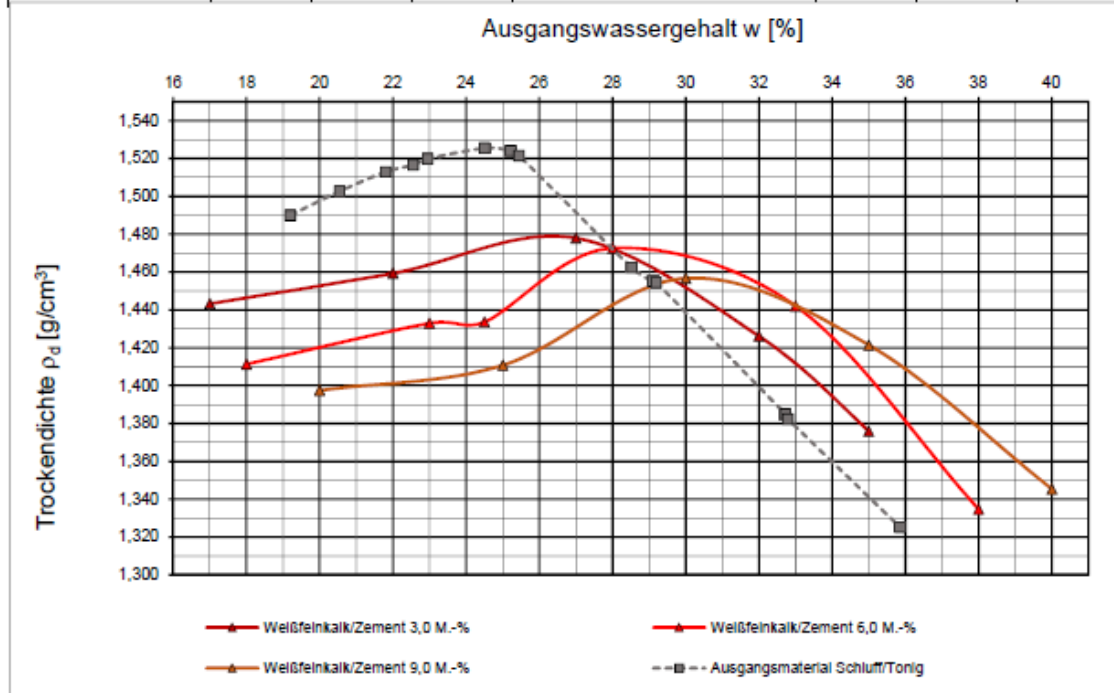
Ausgangswassergehalt

 <p><b>TU</b> Graz Graz University of Technology</p>	<p align="center"><b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238</p>	 <p align="center"><b>IBG</b></p>
---	---	--

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Tonig Kalk/Zementstabilisiert	<b>LABORNUMMER:</b> 21738
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>BODENART:</b>	<b>AUFTRAGSNUMMER</b>
	<b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>DATUM:</b> 01.02.-19.02.2021

## PROCTOR-VERSUCH

GERÄT			Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,6
Durchmesser	mm	100	Überkomanteil	%	-
Höhe	mm	120			



ERGEBNIS		
$w_{Pr}$	%	25,0
$\rho_{Pr}$	g/cm <sup>3</sup>	1,472

<b>ANMERKUNG:</b>
-------------------

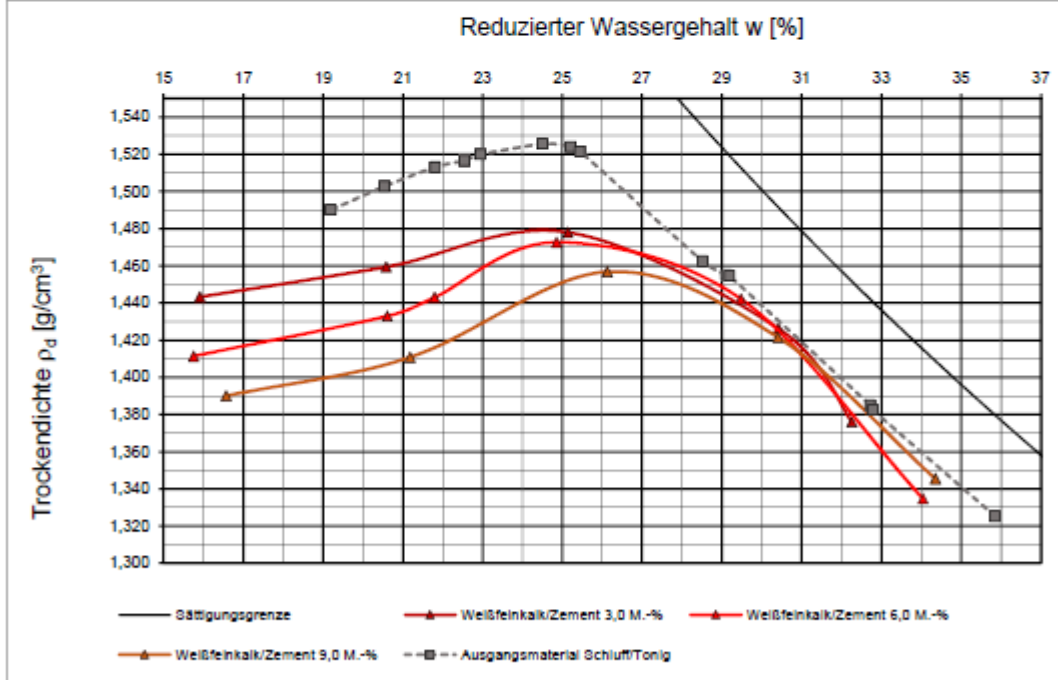
## Reduzierter Wassergehalt

 <p><b>TU</b> Graz Graz University of Technology</p>	<p align="center"><b>INSTITUT FÜR BODENMECHANIK UND GRUNDBAU</b> <b>GEOTECHNISCHES LABOR</b> A-8010 Graz, Rechbauerstrasse 12, AUSTRIA Tel.: +43(0)316 / 873 - 6237 Fax: +43(0)316 / 873 - 6238</p>	 <p align="center"><b>IBG</b></p>
---	---	--

<b>AUFTRAGGEBER:</b> RHESI	<b>BEZEICHNUNG:</b> Schluff/Tonig Kalk/Zementstabilisiert	<b>LABORNUMMER:</b> 21738
<b>PROJEKT:</b> MA Mathis	<b>BODENART:</b>  <b>BEARBEITER:</b> MJ	<b>AUFTRAGSNUMMER:</b>  <b>DATUM:</b> 01.02.-19.02.2021

## PROCTOR-VERSUCH

<b>GERÄT</b>			Verdichtungsenergie	MN/m <sup>3</sup>	0,8	
Durchmesser	mm	100	Überkomanteil			
Höhe	mm	120	%		-	



ERGEBNIS		
$w_{Pr}$	%	25,0
$\rho_{Pr}$	g/cm <sup>3</sup>	1,472

ANMERKUNG:
------------

## **9.4 Anhang D – Einaxial Druckversuche mit Bindemittelbehandlung**

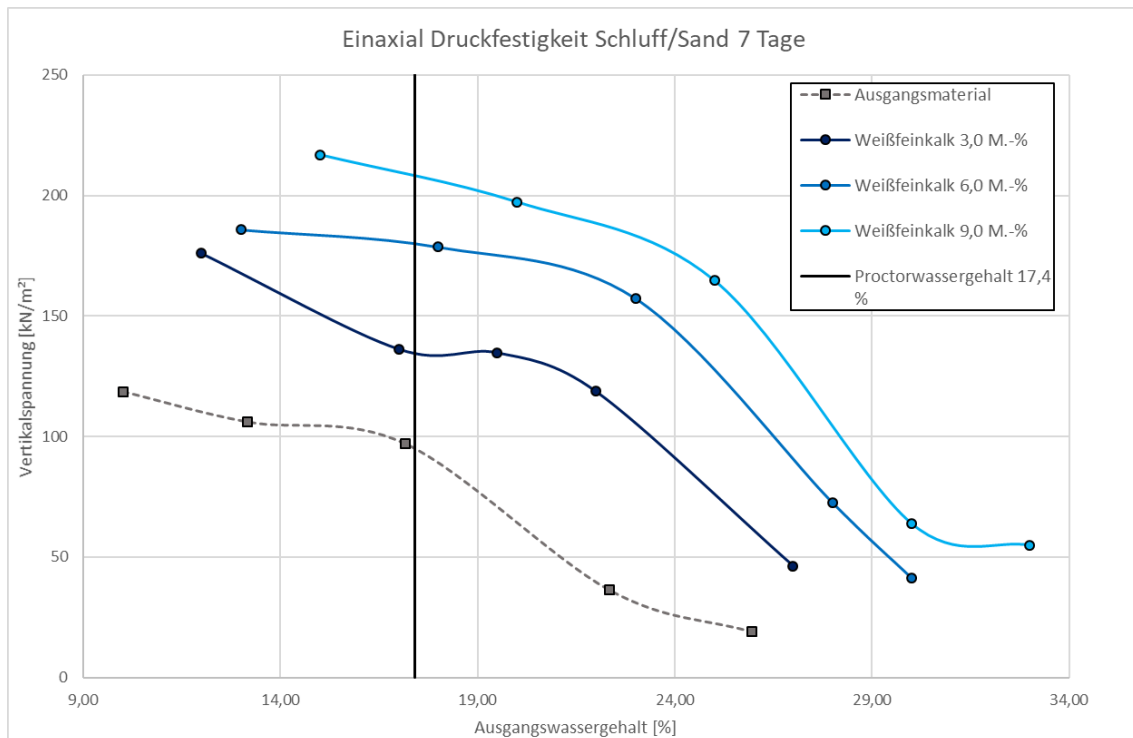
**Anhang D beinhaltet folgendes:**

- D1 Druckversuche Schluff-Sand-Gemisch
- D2 Druckversuche Schluff-Feinsand-Gemisch
- D3 Druckversuche Toniger Schluff

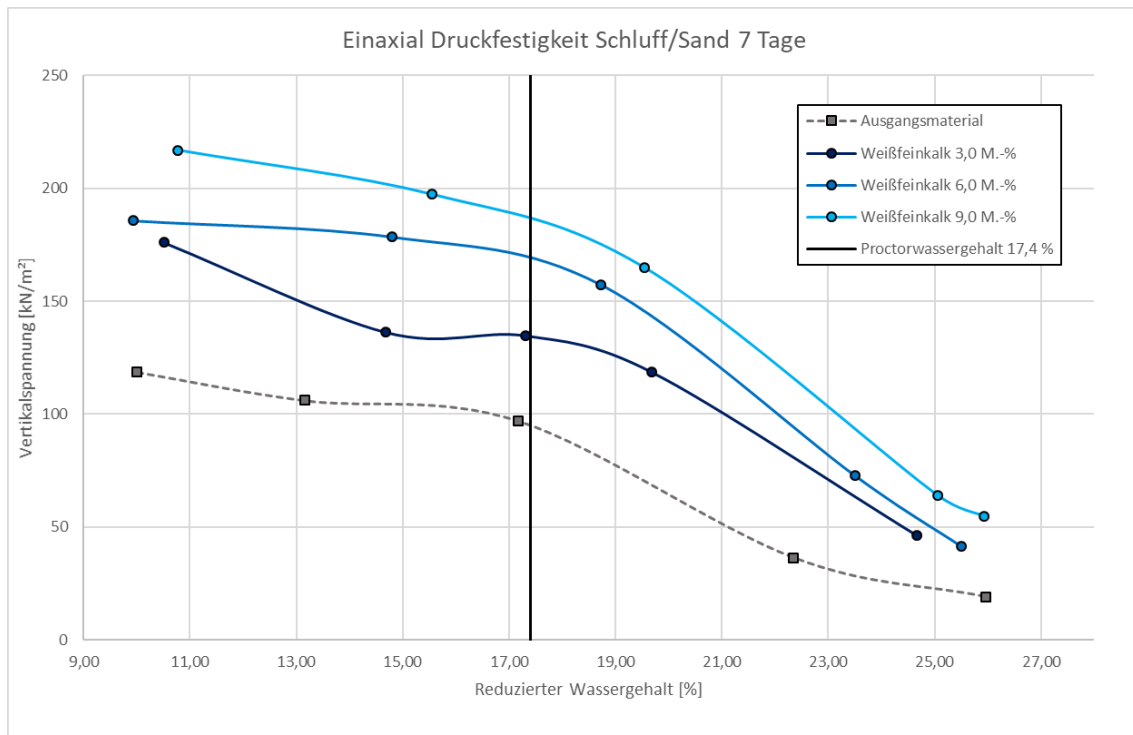
## D1 Druckversuche Schluff-Sand-Gemisch

Weißfeinkalkstabilisiert:  
7 Tage Lagerung

## Ausgangswassergehalt



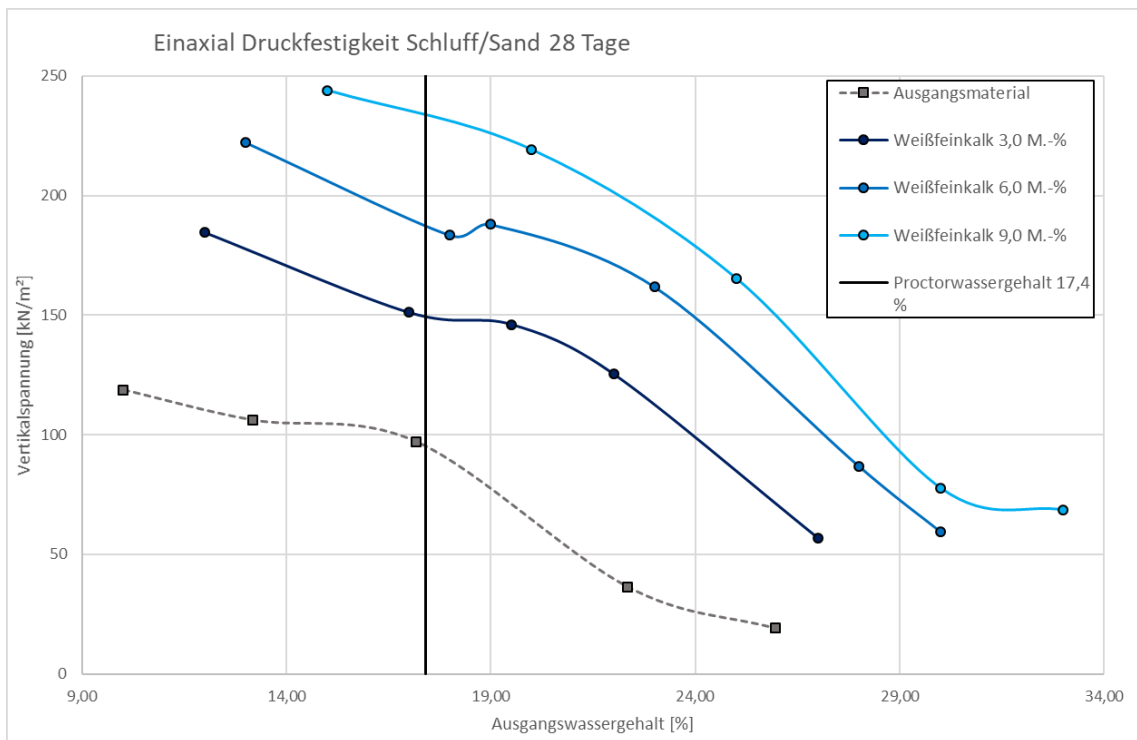
## Reduzierter Wassergehalt



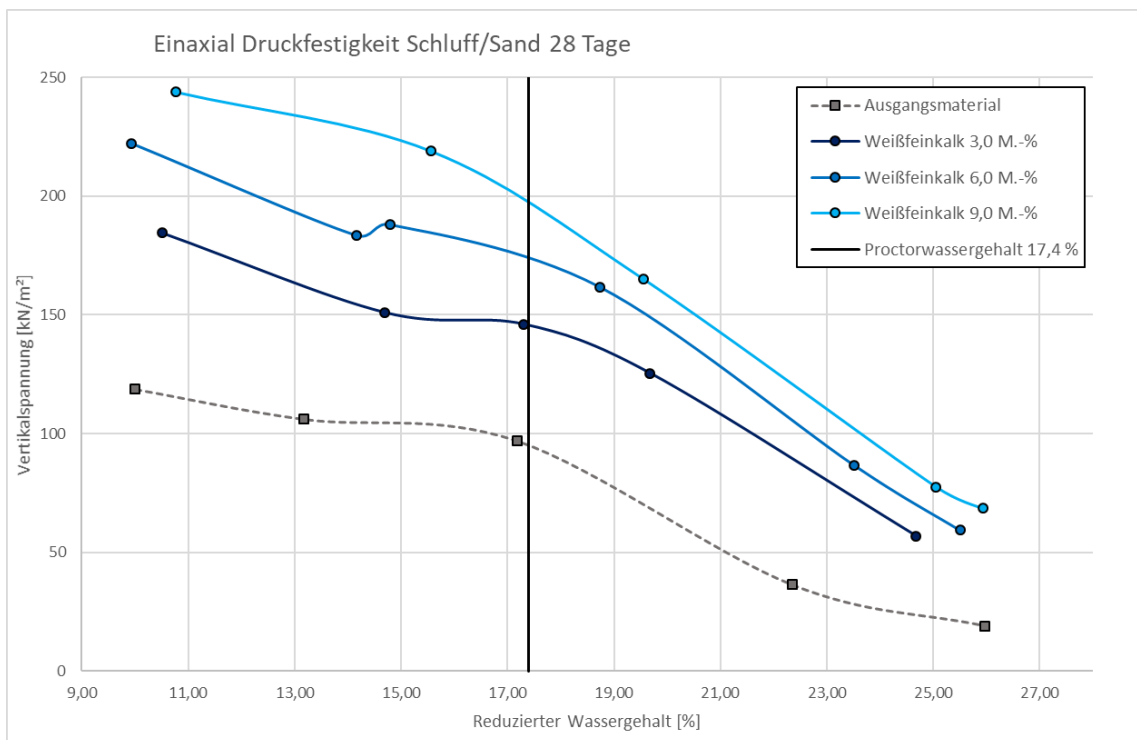


28 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt



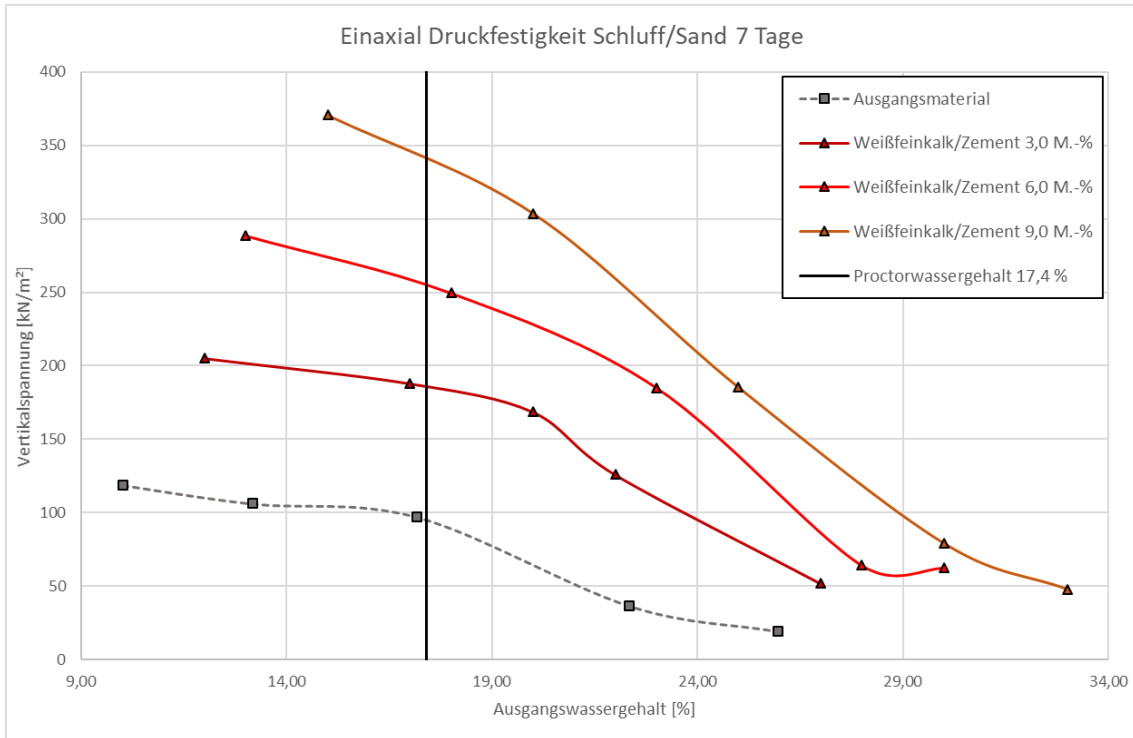
Reduzierter Wassergehalt



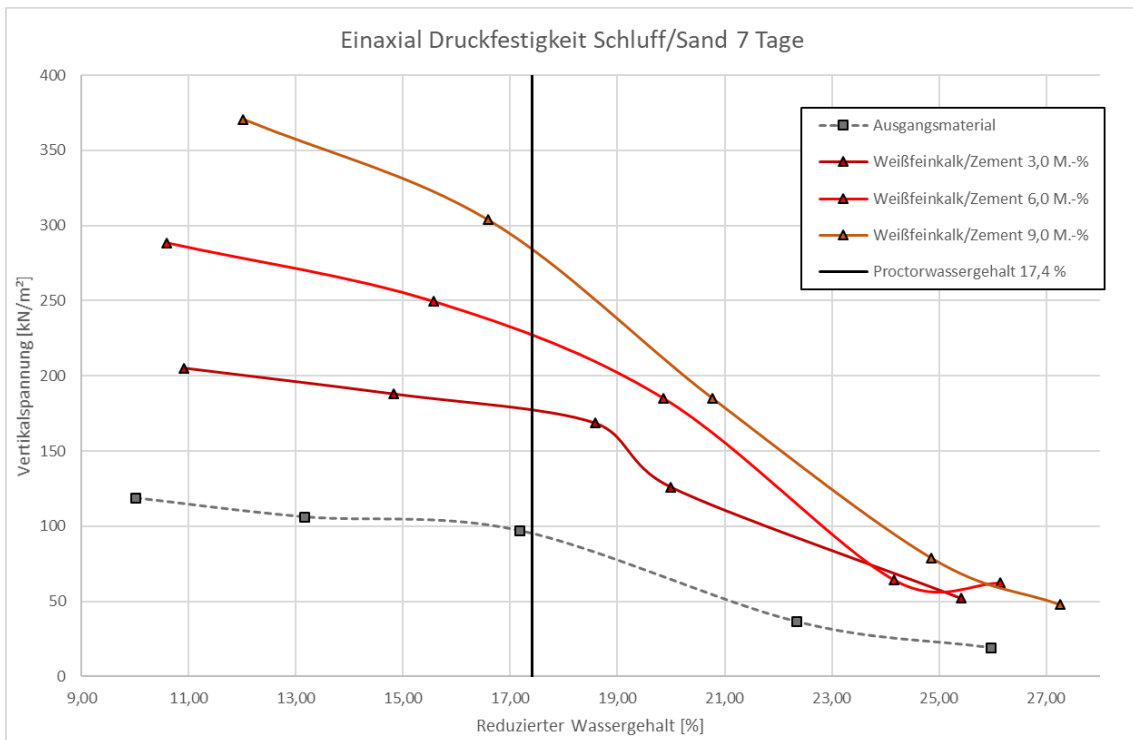
Weißfeinkalk/Zementstabilisiert:

7 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt

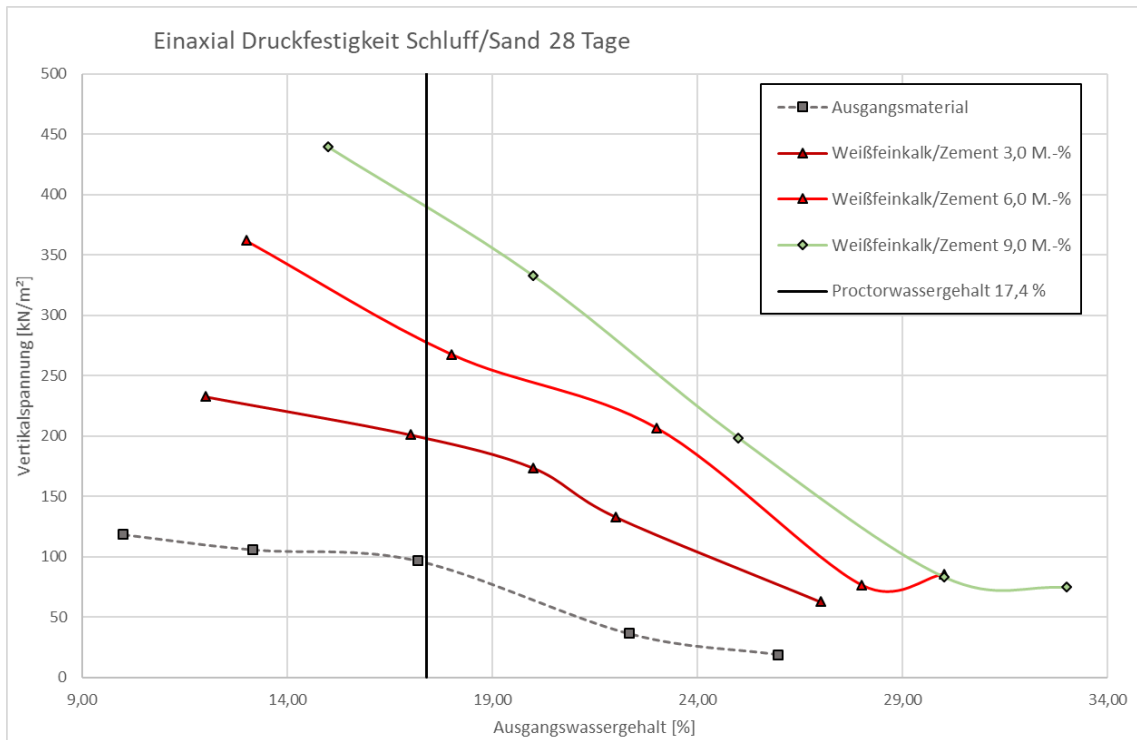


Reduzierter Wassergehalt

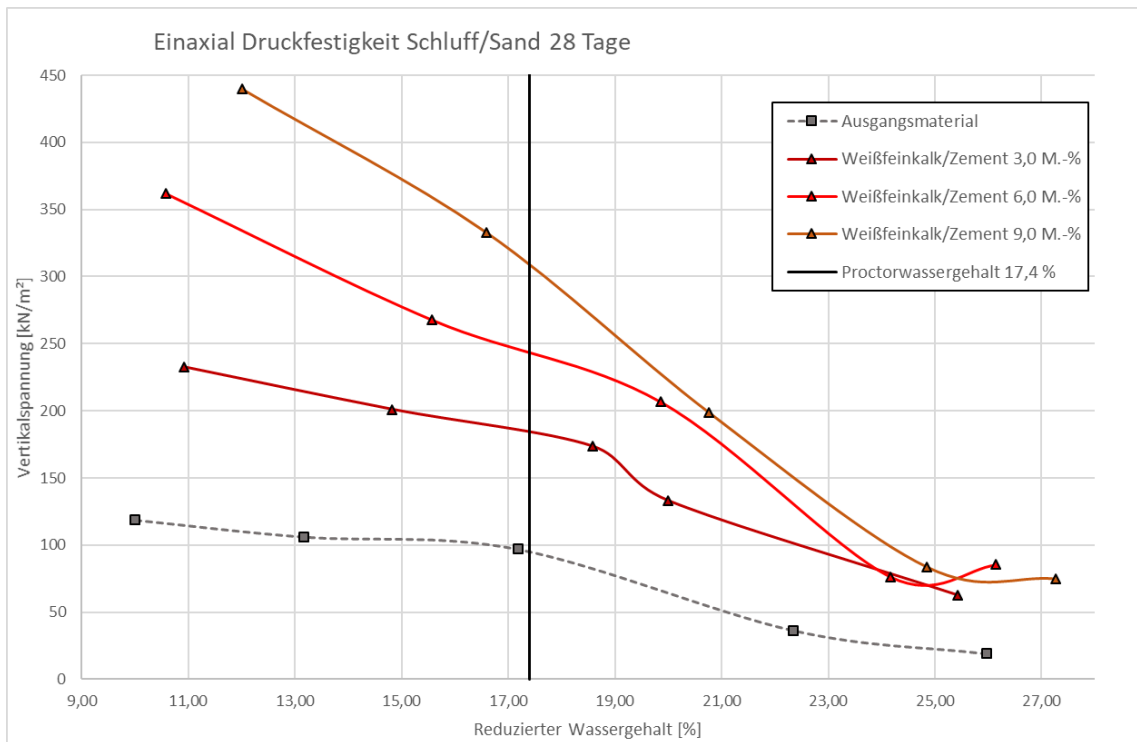


28 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt



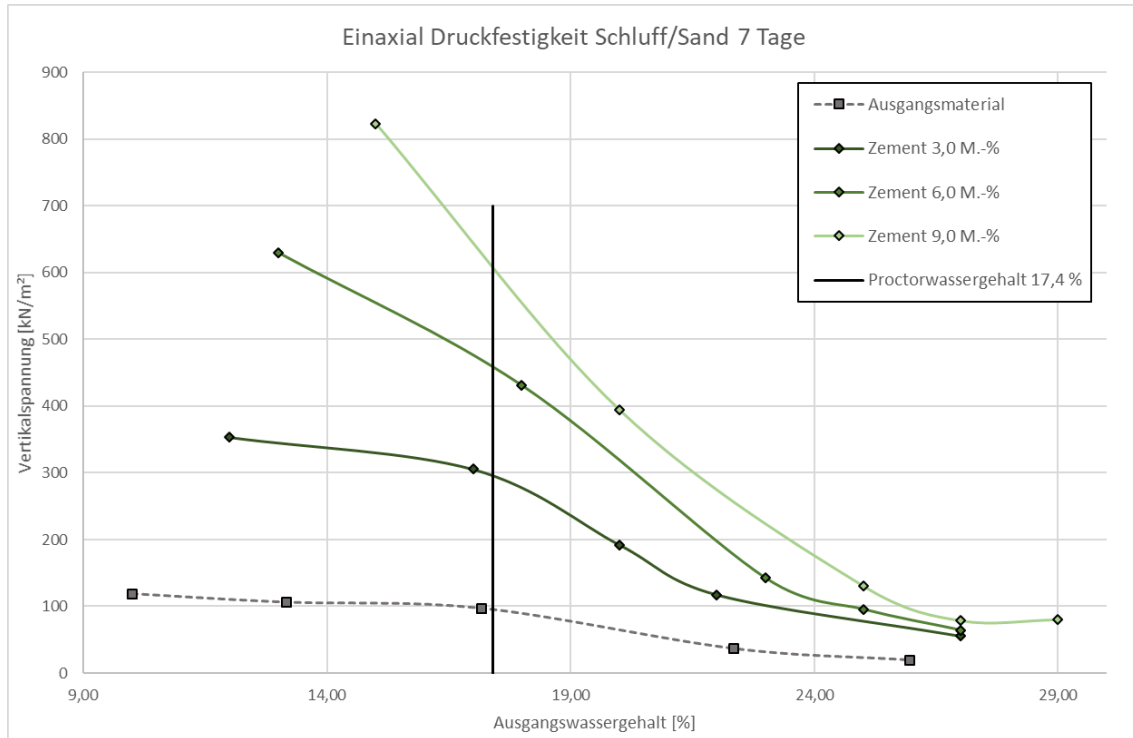
Reduzierter Wassergehalt



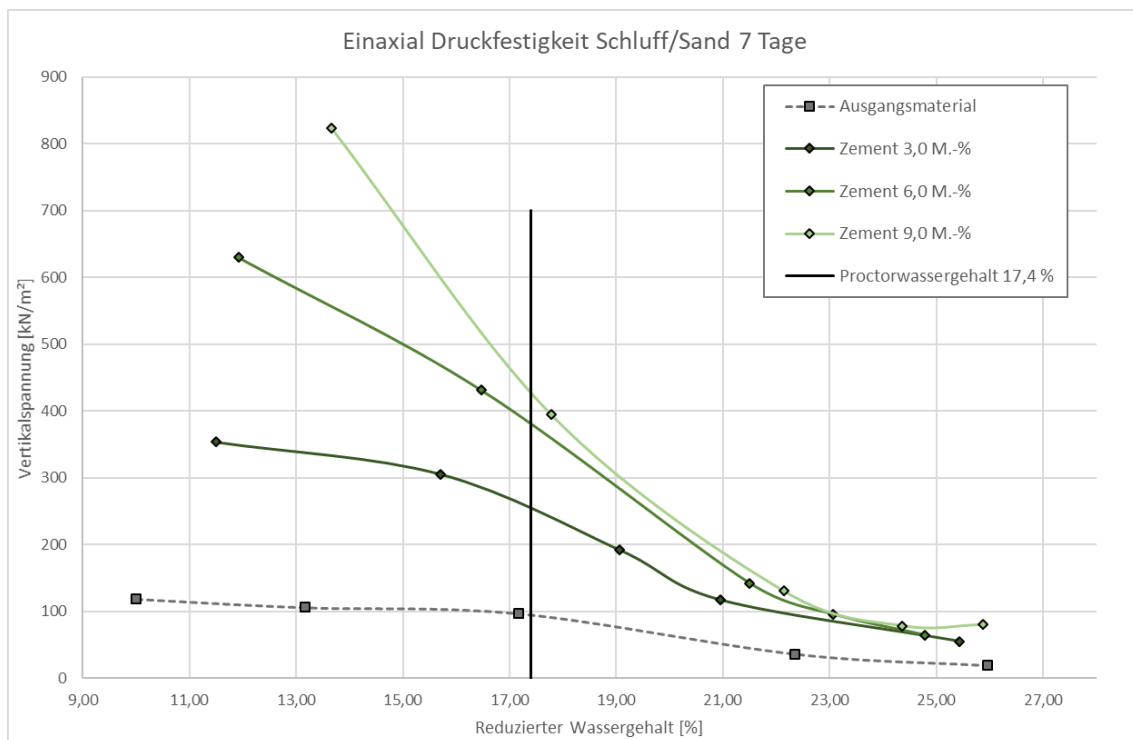
Zementstabilisiert:

7 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt

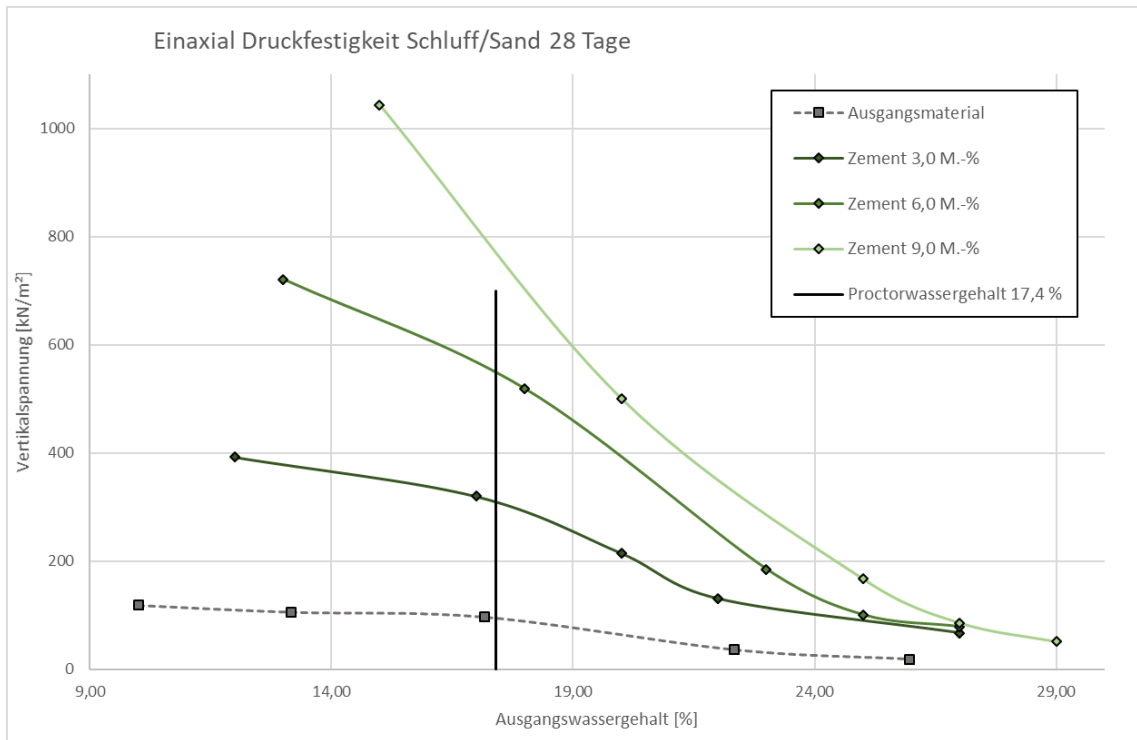


Reduzierter Wassergehalt

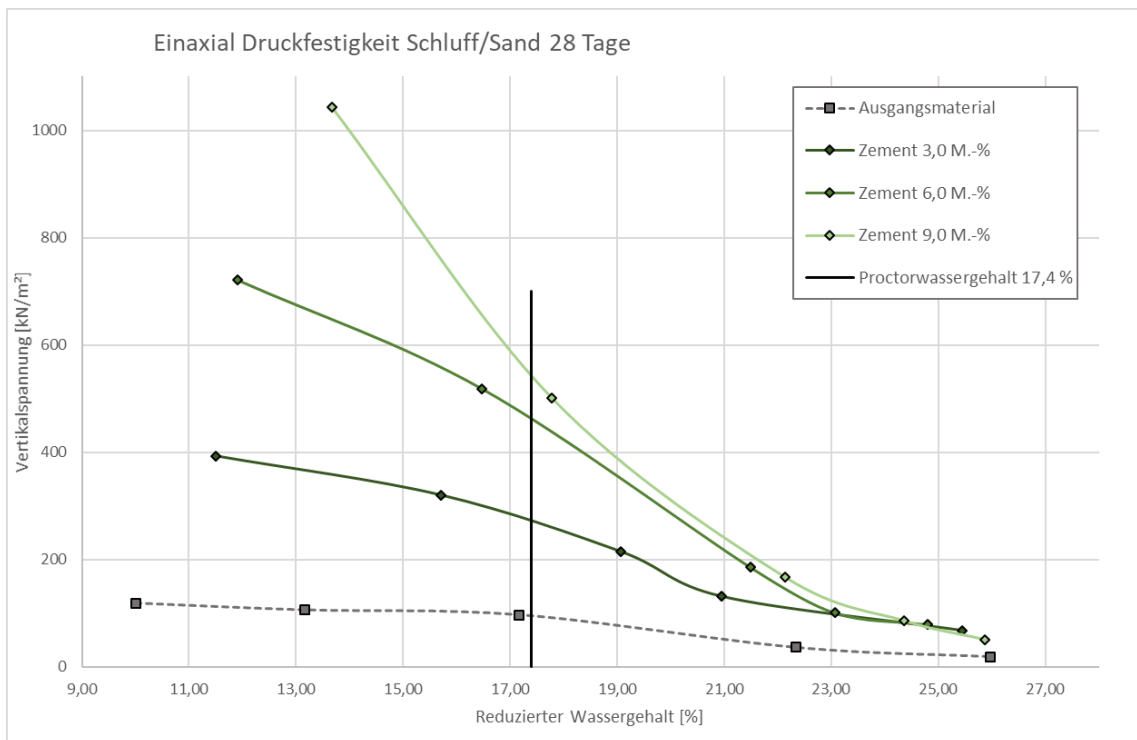


28 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt



Reduzierter Wassergehalt

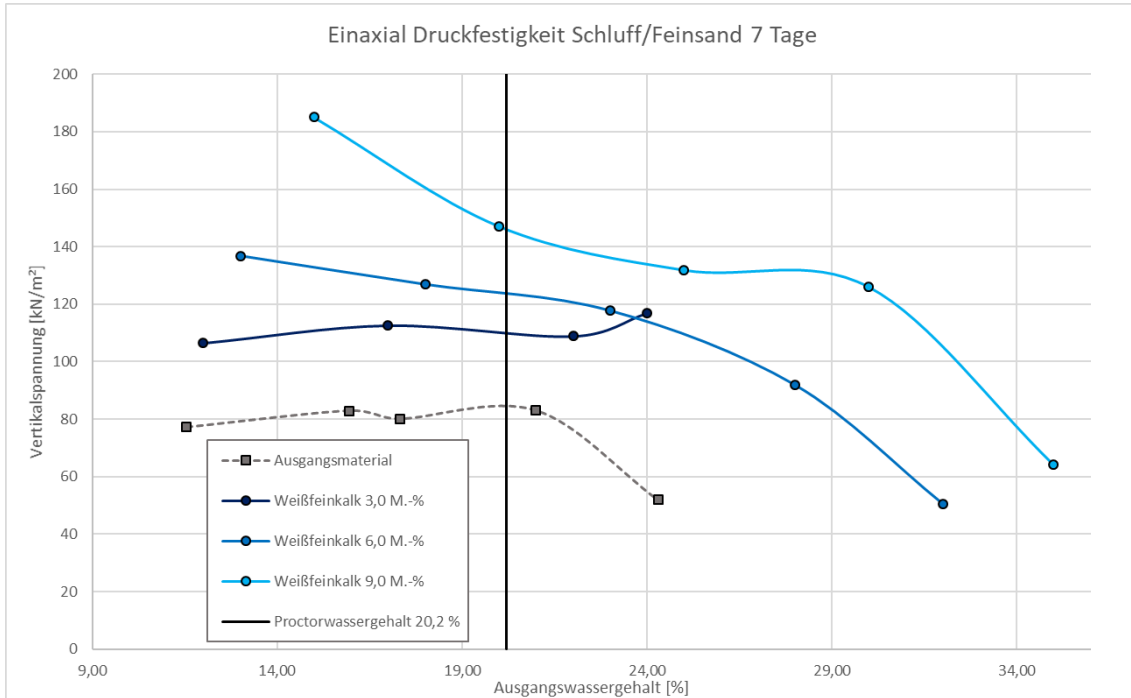


D2 Druckversuche Schluff-Feinsand-Gemisch

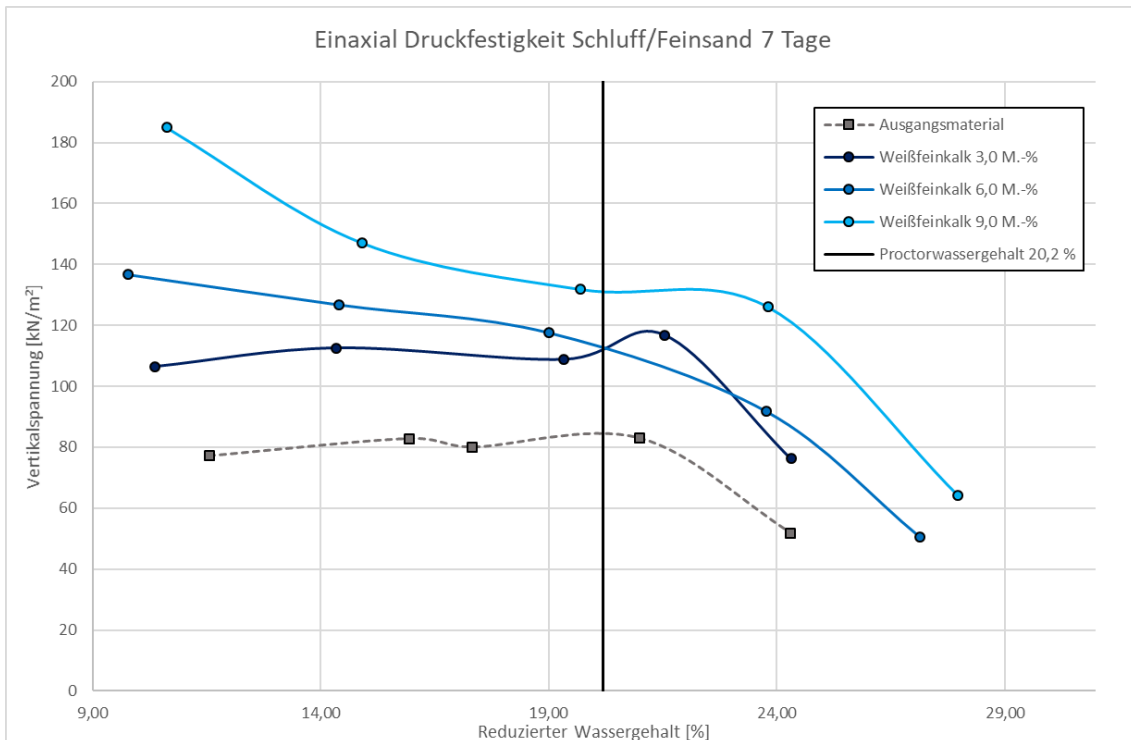
Weißfeinkalkstabilisiert:

7 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt

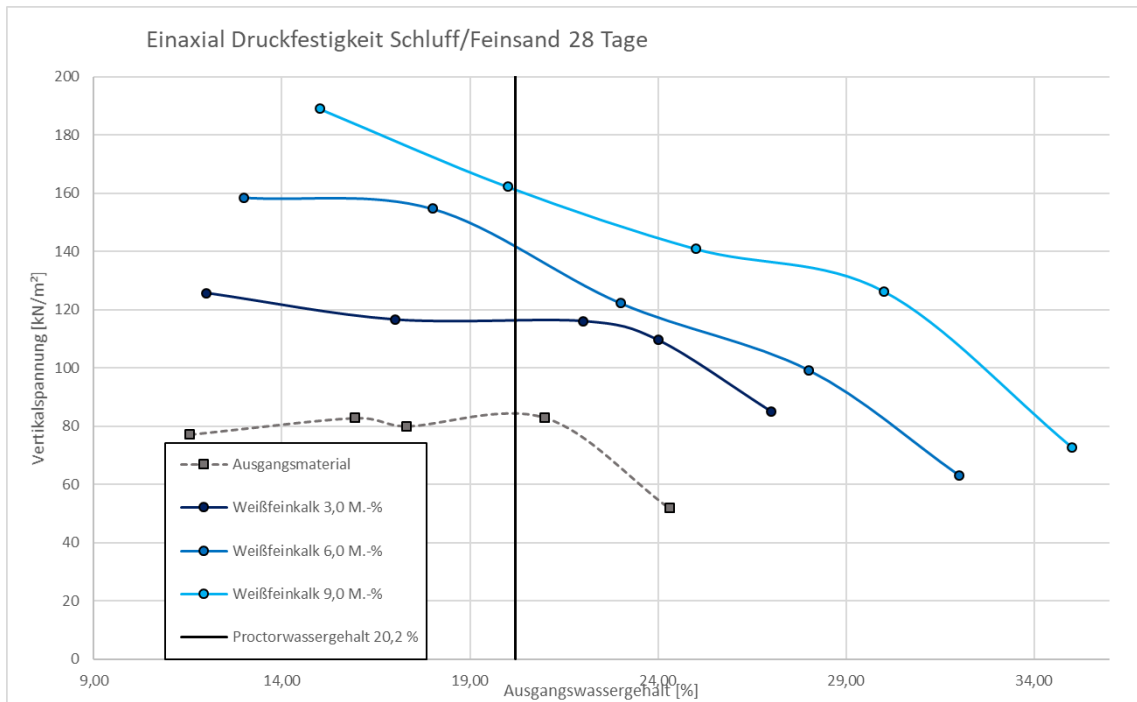


Reduzierter Wassergehalt

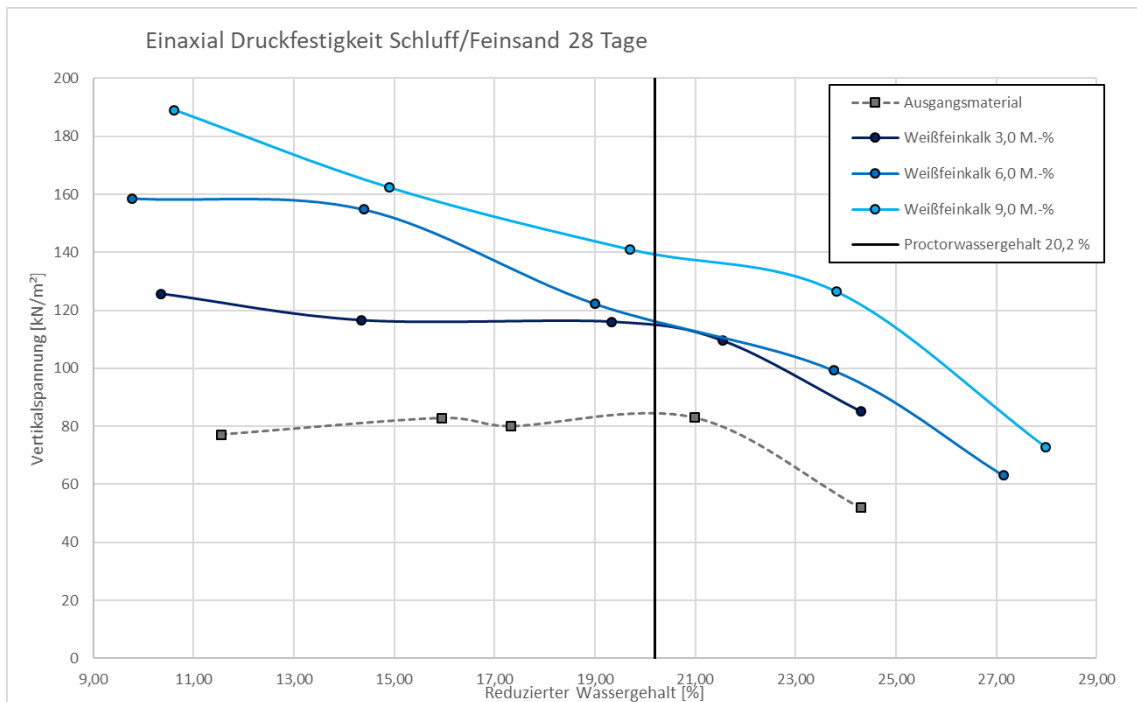


28 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt



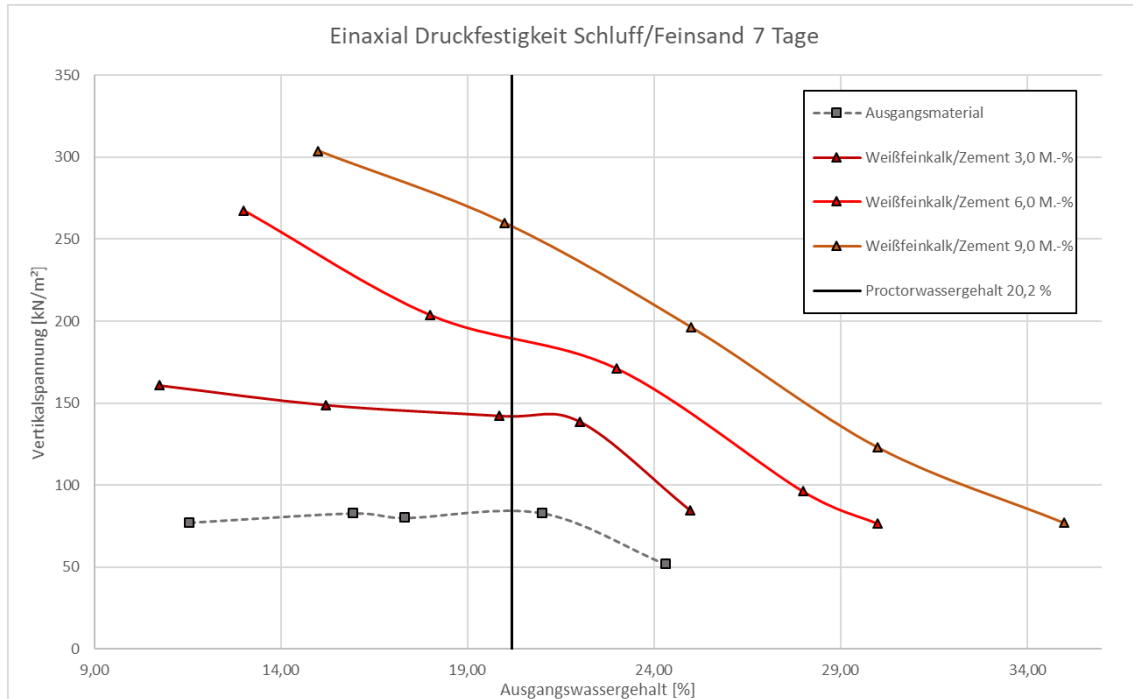
Reduzierter Wassergehalt



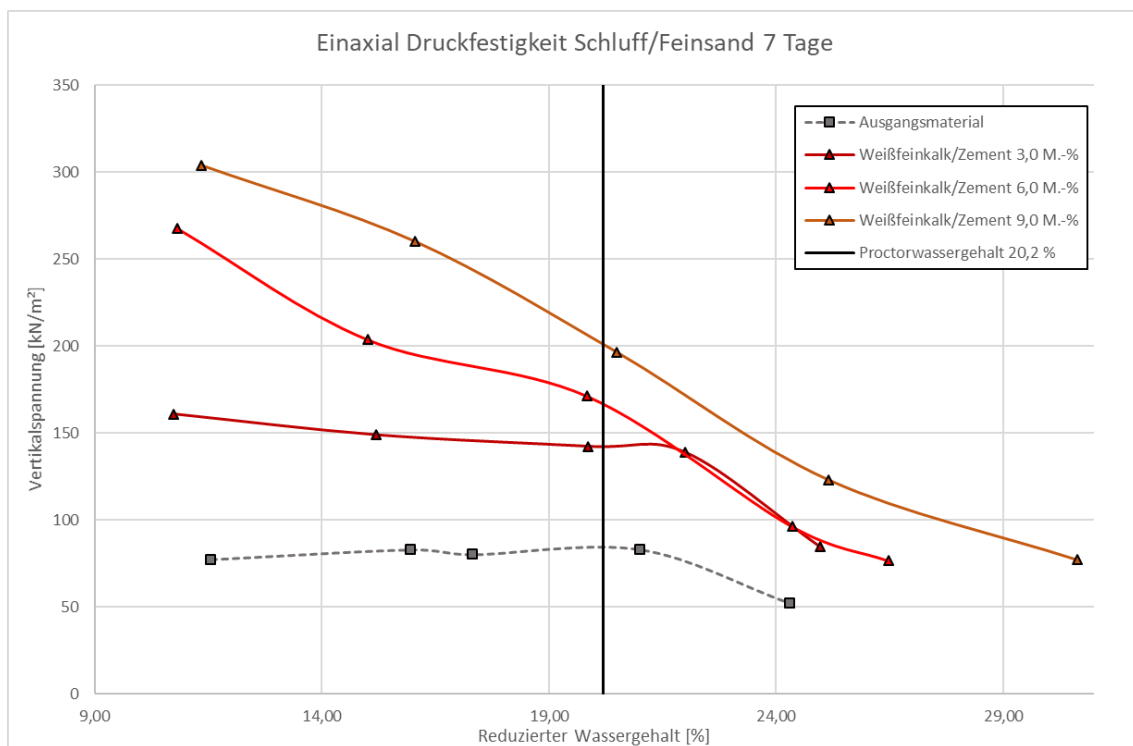
Weißfeinkalk/Zementstabilisiert:

7 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt



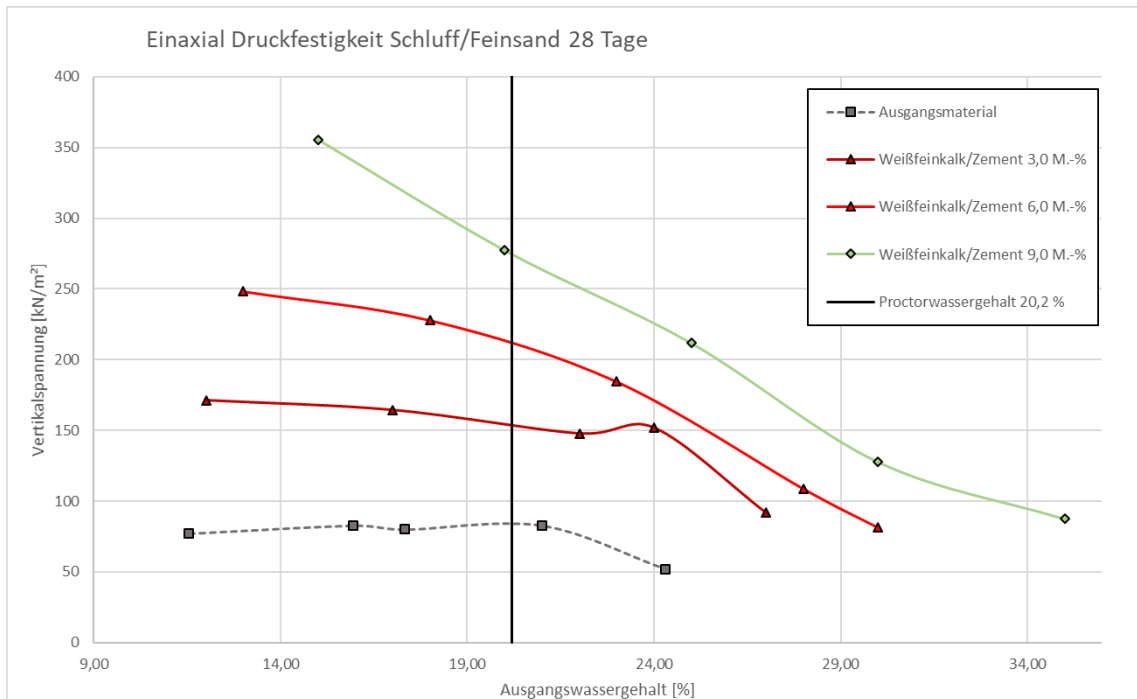
Reduzierter Wassergehalt



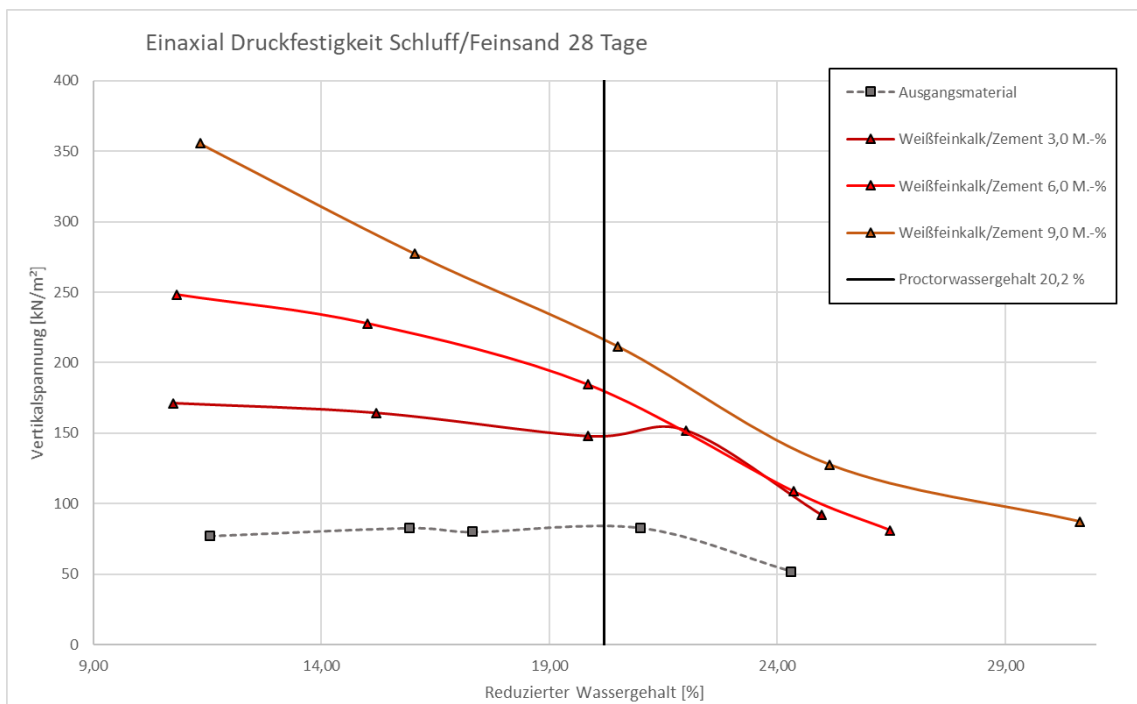


28 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt



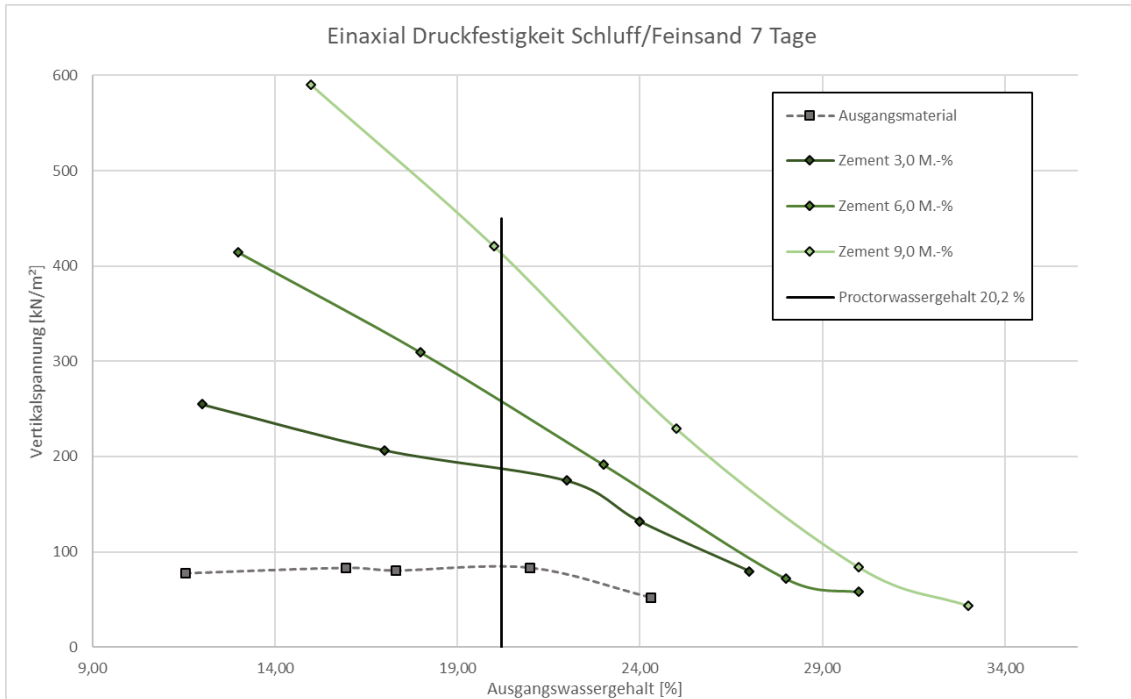
Reduzierter Wassergehalt



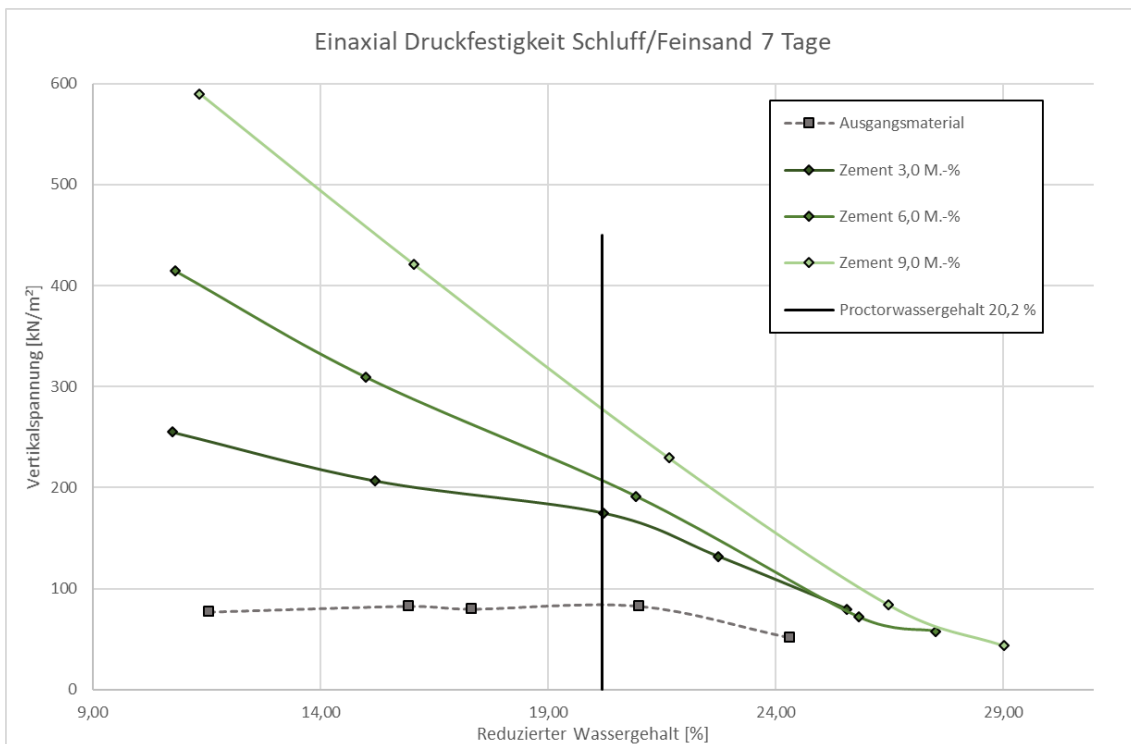
Zementstabilisiert:

7 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt

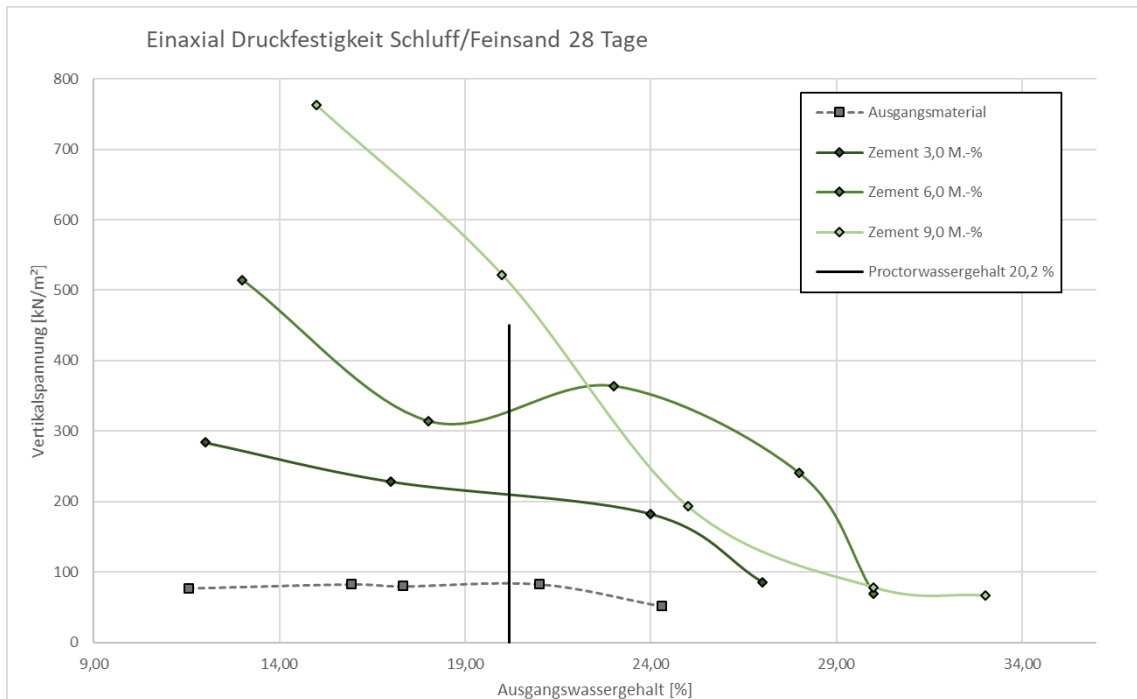


Reduzierter Wassergehalt

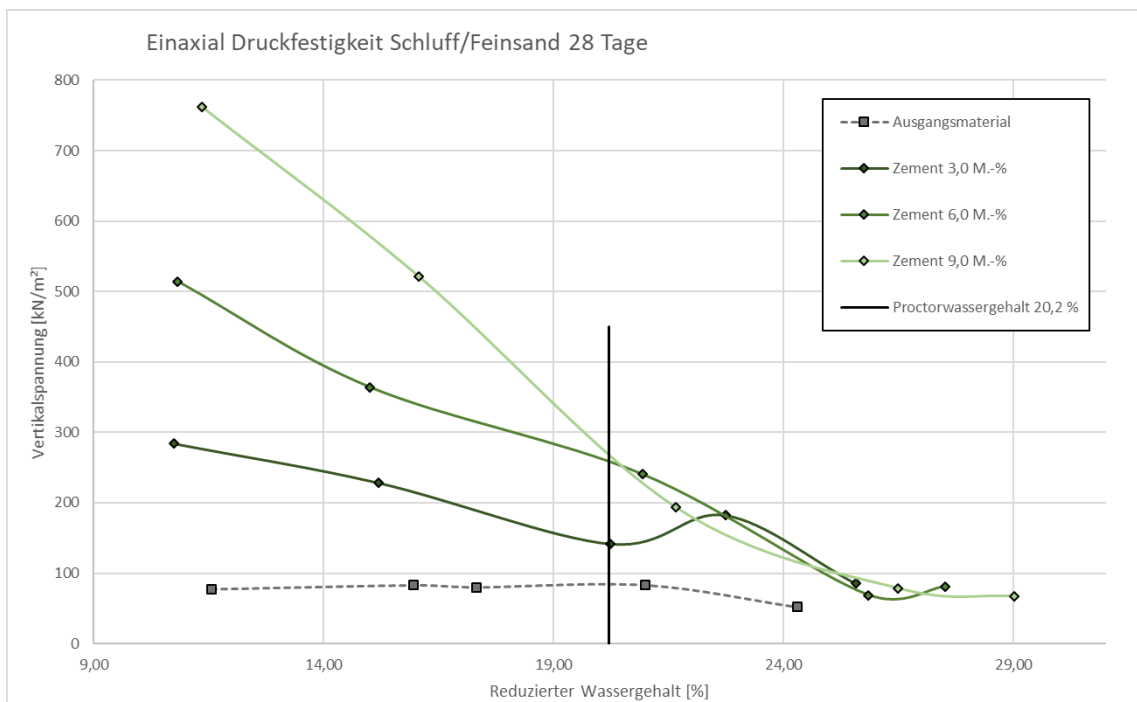


28 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt



Reduzierter Wassergehalt

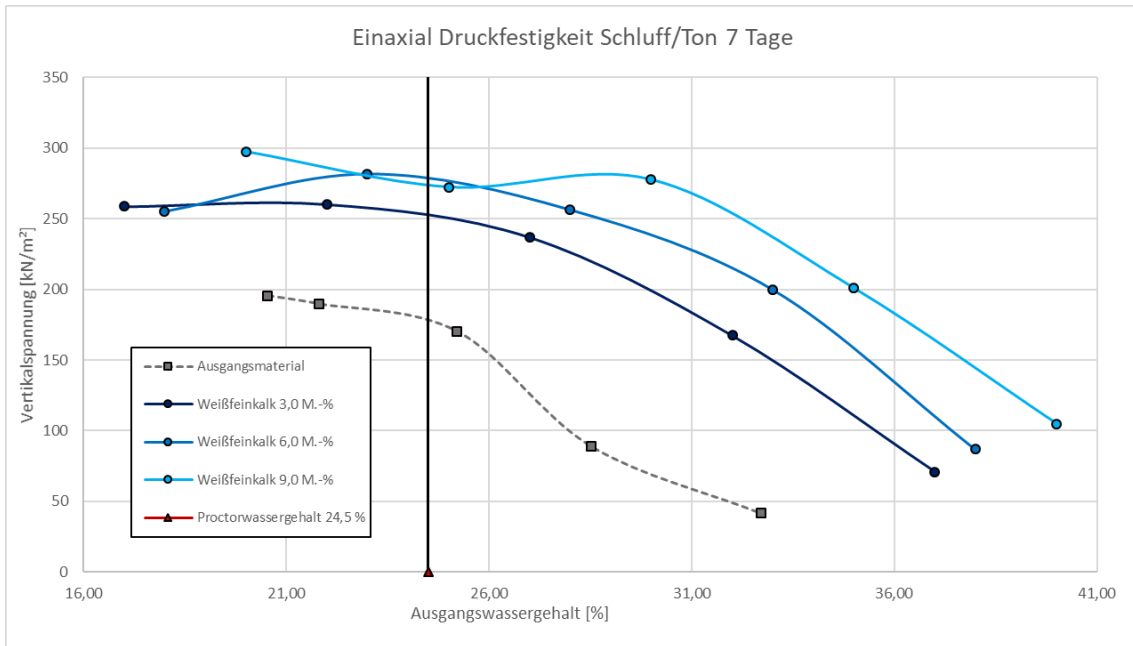


### D3 Druckversuche Toniger Schluff

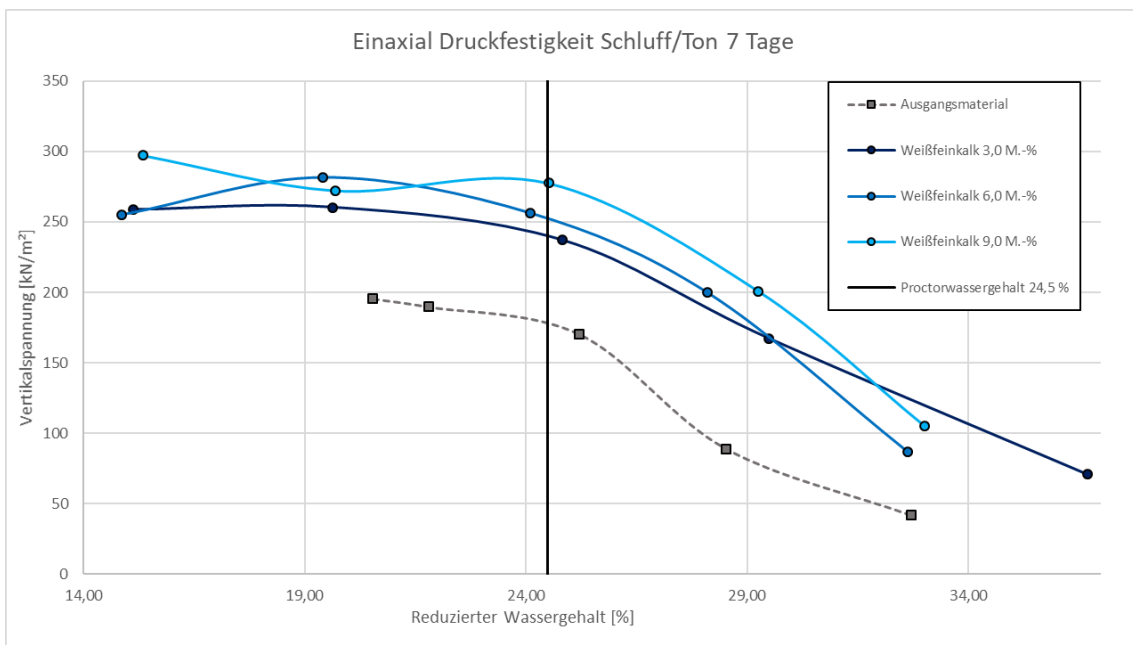
Weißfeinkalkstabilisiert:

7 Tage Lagerung

#### Ausgangswassergehalt

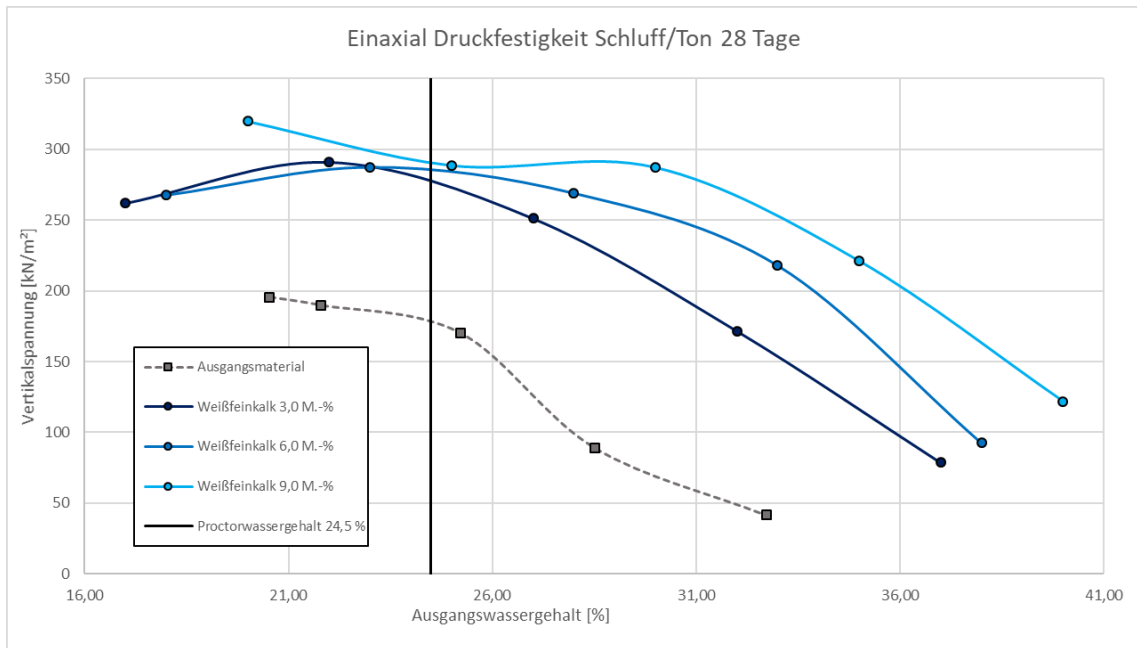


#### Reduzierter Wassergehalt

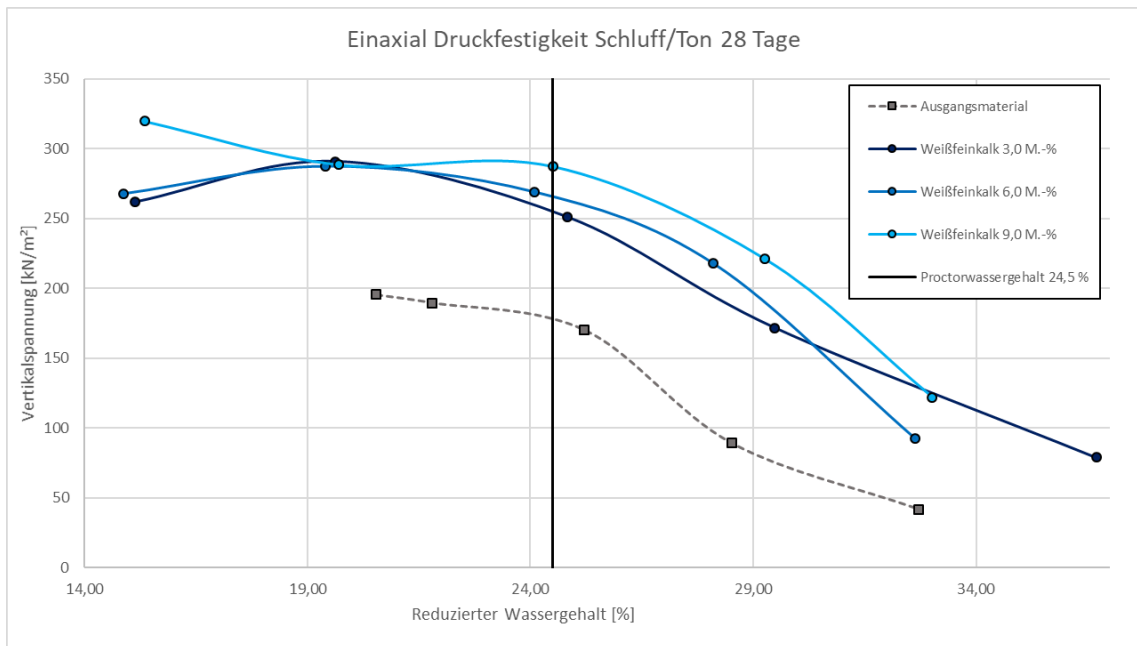


28 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt



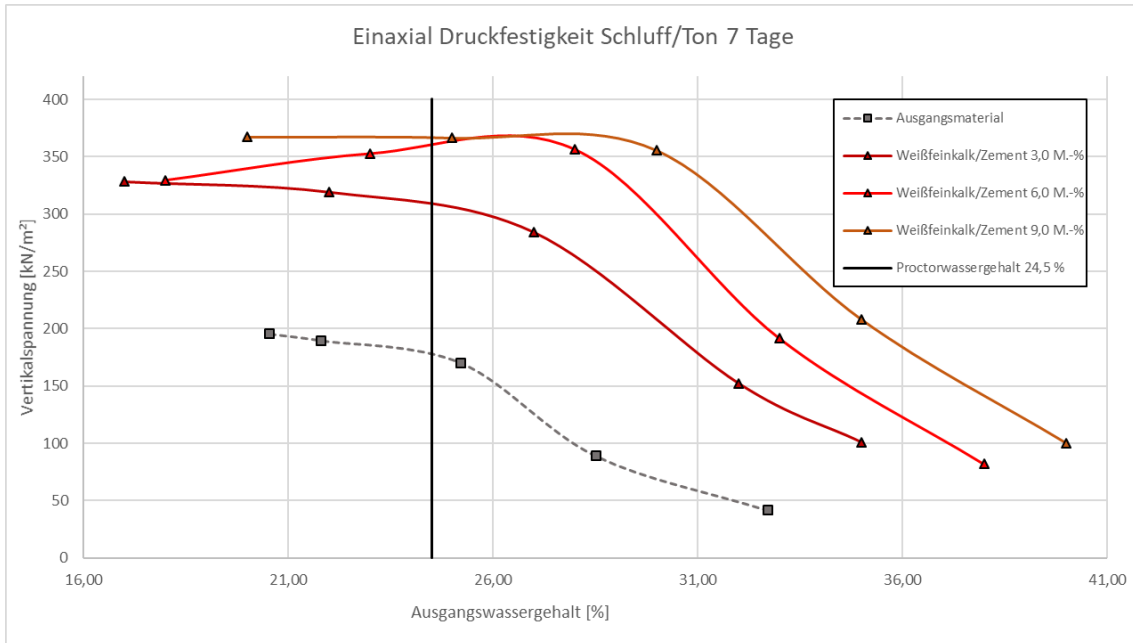
Reduzierter Wassergehalt



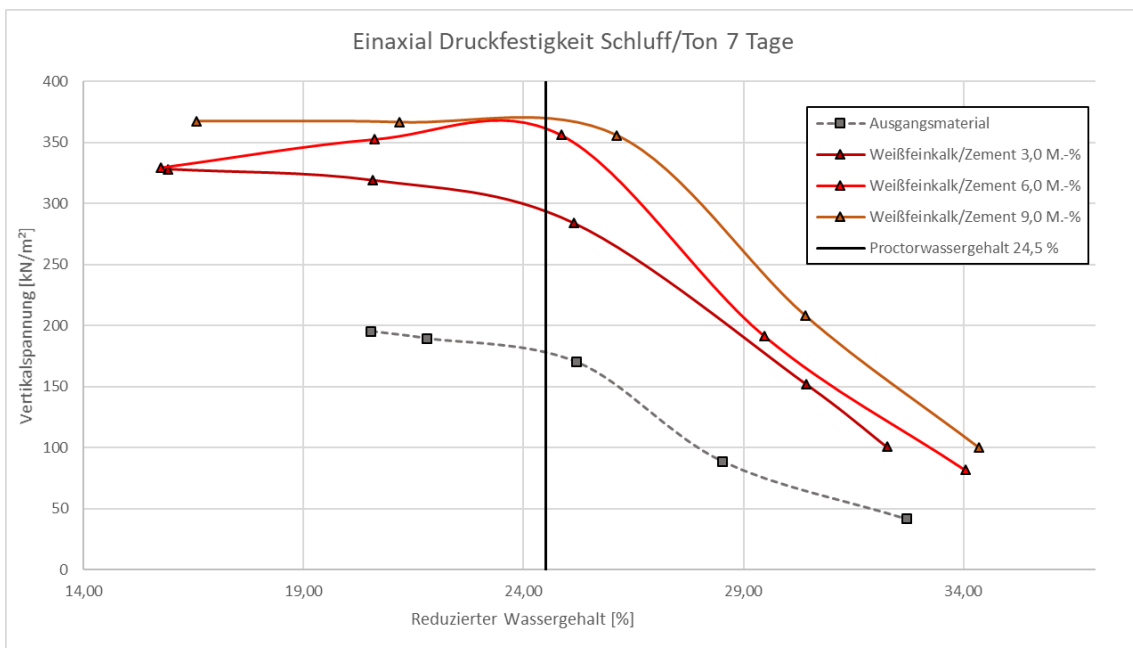
Weißfeinkalk/Zementstabilisiert:

7 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt

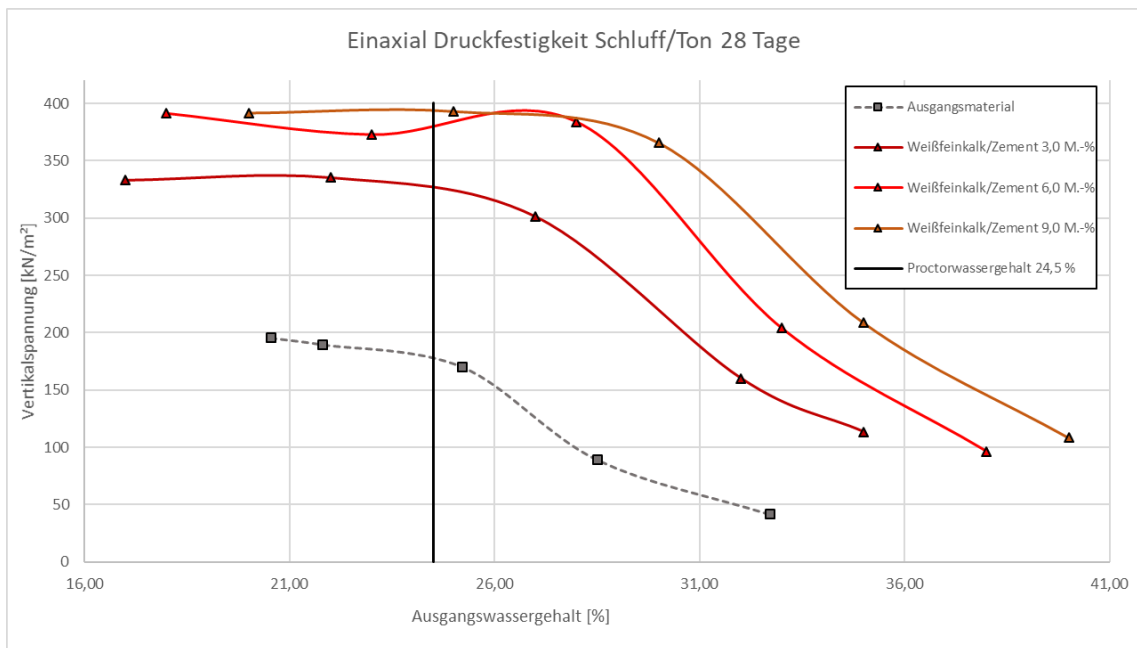


Reduzierter Wassergehalt



28 Tage Lagerung

Ausgangswassergehalt



Reduzierter Wassergehalt

