

Masterarbeit

LAST-VERFORMUNGSVERSUCHE AN IM LABOR HERGESTELLTEN SCHÜTTKÖRPERN

Ševal Brkić

2011

Institut für Bodenmechanik und Grundbau

Technische Universität Graz

O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stephan Semprich

Begutachter:

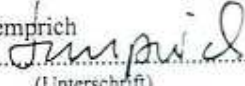
O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stephan Semprich

Betreuer:

Univ.-Ass. Dipl.-Ing. Christian Lackner

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

Diplomarbeit:

<p>KANDIDAT: Seval Brkic (Name)</p>	<p>0330974 F066468 (Mat.Nr.)/(Studienrichtung)</p>	 (Unterschrift)
<p>THEMA der Diplomarbeit: Last-Verformungsversuche an im Labor hergestellten Schüttkörpern.</p> <p>ZIELSETZUNG (stichwortartig):</p> <ul style="list-style-type: none"> - Literaturstudie zu bewehrten Schüttkörpern im Straßen- und Eisenbahnbau - Beschreibung des Aufbaues und der Durchführung von Vor- und Laborversuchen - Durchführung der Laborversuche - Auswertung der Versuchsergebnisse - Beschreibung von Problemen während der Versuchsdurchführung <p>.....</p> <p>.....</p>		
<p>FACHGEBIET: Bodenmechanik und Grundbau</p> <p>ggf. 2. FACHGEBIET: Verkehrswegebau</p>		
<p>BETREUER: O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stephan Semprich</p> <p>.....</p> <p align="center">(Name)  (Unterschrift)</p> <p>ggf. 2. BETREUER:</p> <p align="center">(Name) (Unterschrift)</p> <p>mitbetreuender Assistent: Dipl.-Ing. Christian Lackner.....</p> <p align="center">(Name)  (Unterschrift)</p>		
<p>AUSGABEDATUM: 01.06.2010.....</p>		
<p>SPÄTESTER ABGABETERMIN: 01.11.2010.....</p>		

Beurteilung:

<p>Beurteilung erfolgt durch den Betreuer</p>


 24.11.2010
 Datum und Unterschrift des Studiendekans

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre an Eides statt,

dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst, andere als die angegebenen Quellen nicht benutzt und die in den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche erkenntlich gemacht habe.

dass ich dieses Masterarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland, in irgendeiner Form, als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Graz, am.....

.....

Ševal Brkić

Danksagung

Im Leben eines Menschen gibt es manche Abschnitte, die sich als besondere Ereignisse einprägen. Der Abschluss meines Studiums ist für mich so ein Ereignis.

An dieser Stelle möchte ich mich sehr herzlich bei meiner Familie bedanken, insbesondere bei meinen Eltern und meiner Frau Amela, die mir mit Kraft und Liebe durch mein Studium geholfen haben und immer mit voller Unterstützung hinter mir standen.

Spezieller Dank für die Betreuung und Hilfestellung bei meiner Masterarbeit gilt Herrn O.Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Stephan Semprich. Ein weiteres Dankeschön gebührt Herrn Dipl.-Ing. Christian Lackner für die hilfreiche Mitbetreuung.

Des Weiteren geht mein Dank an alle Laboranten des geotechnischen Labors - Institut für Bodenmechanik und Grundbau, die mir bei Laborversuchen mit fachlicher Beratung zur Seite standen.

Ein Dank gebührt auch allen Studienkollegen und gefundenen Freunden für die abwechslungsreichen Stunden, während meines Studiums und für diese wunderbare Zeit in Graz.

DANKE

Kurzfassung

Last-Verformungsversuche an im Labor hergestellten Schüttkörpern

In Rahmen dieser Masterarbeit soll das Last-Verformungsverhalten an im Labor hergestellten Schüttkörpern unter statischer Beanspruchung untersucht werden.

Zu diesem Vorhaben wird im Labor des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau eine Versuchseinrichtung entwickelt. Nachfolgend wird der Aufbau der Versuchseinrichtung und die Versuchsdurchführung erklärt. In dieser Versuchseinrichtung ist es möglich, verschiedene Böden und Geokunststoffe in verschiedenen Einbauvarianten zu testen.

In diesem Fall werden in der Versuchseinrichtung fünf unterschiedlich bewehrte Schüttkörper mit konstanten Einbau- und Verdichtungsverhältnissen hergestellt und untersucht. Jeder dieser Schüttkörper wird einmal auf die gleiche Art und Weise wiederholt. In den Vorversuchen wird das Schüttmaterial getestet und für den Versuch ausgewählt. Als Bewehrungsmaterial wird ein Geokunststoffgitter verwendet.

Anhand der Untersuchungen soll geklärt werden, ob durch das Einlegen, das konstante Vorspannen oder das temporäre Vorspannen des Geokunststoffgitters, die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit der bewehrten Schüttkörper verbessert werden kann. Für die vollautomatische Messdatenerfassung wird das Programm Catman verwendet.

Um die Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse zu bewerten, werden Vergleiche zwischen gleich bewehrten Schüttkörpern durchgeführt und dargestellt. Das Hauptaugenmerk dieser Masterarbeit gilt dem Vergleich der Versuchsergebnisse von unterschiedlich bewehrten Schüttkörpern.

Abstract

Load-displacement tests on laboratory-produced soil structures

In the context of this thesis a reinforced soil structure's load-deformation behaviour is studied under static loading.

A new testing equipment is developed in the geotechnical laboratory of the Institute of Soil Mechanics and Foundation Engineering. In this thesis the construction process of the experimental setup and the experimental procedure is explained. The experimental device is developed to test various soil and geosynthetics with different installation options.

The load displacement behaviour of five different reinforced soils is tested under constant installation and compression. In preliminary tests, different materials are tested and selected for the experiment.

The investigation's aim is to determine the change in the load displacement behaviour of the different reinforced soil structures. For the data acquisition program Catman is used.

At first comparisons between same-reinforced soil bodies are carried out and presented. The main focus of this thesis is laid on the comparison of the test results for various reinforced fill materials.

Inhaltsverzeichnis

0	Einleitung.....	1
1	Geokunststoffe im Erd- und Verkehrswegebau.....	3
1.1	Geokunststoffe.....	3
1.1.1	Allgemeines	3
1.1.1.1	Geotextilien	3
1.1.1.2	Geotextil-verwandte Produkte	4
1.1.1.3	Dichtungsbahnen	4
1.1.1.4	Verbundstoffe.....	5
1.1.2	Rohstoffe.....	5
1.1.3	Anwendung von Geokunststoffen.....	5
1.2	Anwendung von Geokunststoffen im Straßenbau	6
1.2.1	Funktion der Geokunststoffe im Erd- und Straßenbau.....	7
1.2.1.1	Trennen.....	7
1.2.1.2	Filtern	8
1.2.1.3	Entwässern	9
1.2.1.4	Bewehren	10
1.2.1.5	Schützen	13
1.2.1.6	Abdichten	14
1.3	Anwendung von Geokunststoffen im Eisenbahnbau	15
1.3.1	Geokunststoffe mit der Filterfunktion in Entwässerungsanlagen.....	16
1.3.2	Geokunststoffe im Tragsystem.....	18
2	Versuchsüberblick	21
2.1	Versuch 1	23
2.2	Versuch 2	25
2.3	Versuch 3	27
2.4	Versuch 4	27
2.5	Versuch 5	28
2.6	Vergleichskriterien und geprüfte Schüttstreifen	29

3	Versuchseinrichtung	31
3.1	Holzkonstruktion.....	32
3.1.1	Aufbau des Holzbodens.....	33
3.1.2	Aufbau der Stirnwand	34
3.1.3	Aufbau der Seitenwände	35
3.2	Stahlrahmen.....	38
3.2.1	Aufbau des Stahlrahmens	39
3.2.2	Aufbau der Prüfpresse und der Messgeräte	40
3.2.3	Aufhängung der Verdichtungsplatte.....	41
3.3	Vorspanneinrichtung	42
3.3.1	Aufbau der Vorspanneinrichtung	43
3.3.2	Einbau der hydraulischen Druck- und Zugpresse	44
3.4	Messtechnik	45
3.4.1	Kraftmessdose der Versuchsplatte	45
3.4.1.1	Ausrichtung der Kraftmessdose und Versuchsplatte.....	45
3.4.1.2	Technische Daten [17].....	46
3.4.2	Wegseilnehmer.....	47
3.4.2.1	Ausrichtung der Wegseilnehmer	47
3.4.2.2	Technische Daten [18].....	49
3.4.3	Induktiver Wegnehmer.....	49
3.4.3.1	Ausrichtung des induktiven Wegnehmers	50
3.4.3.2	Technische Daten [15].....	50
3.4.4	Wegmessuhr	51
3.4.4.1	Ausrichtung der Wegmessuhren.....	51
3.5	Prüfpresse.....	52
3.5.1	Hydraulische Druckpresse HDP	52
3.5.1.1	Ausrichtung der hydraulischen Druckpresse HDP 01.....	53
3.5.1.2	Antriebssteuerung [17].....	53
3.5.1.3	Technische Daten [17].....	53
3.5.2	Hydraulische Druck- und Zugpresse DZP.....	54
3.5.2.1	Ausrichten der hydraulischen Druck- und Zugpresse DZP	54
3.5.2.2	Technische Daten.....	54

3.6	Datenerfassung	55
3.6.1	Datalogger	55
3.6.2	Software.....	56
4	Versuchsmaterial.....	57
4.1	Schüttmaterial.....	57
4.1.1	Vergleichskriterien Kantkorn- und Rundkorn	58
4.1.2	Vergleichsdurchführung	59
4.1.3	Allgemeine Beschreibung.....	61
4.1.4	Bodenmechanische Eigenschaften des gewaschenen Rundkorns.....	61
4.1.4.1	Korngrößenverteilung.....	62
4.1.4.2	Kornform	63
4.1.4.3	Korndichte	63
4.1.4.4	Wassergehalt	64
4.1.4.5	Porenanteil und Lagerungsdichte	65
4.1.4.6	Scherparameter.....	66
4.2	Geokunststoffgitter.....	67
4.2.1	Herstellung und Verwendung	67
4.2.2	Materialeigenschaften des verwendeten Geokunststoffgitters.....	68
5	Versuchsablauf.....	71
5.1	Aufschüttung des Materials.....	71
5.1.1	Auflegen und Vorspannen des Geokunststoffgitters.....	71
5.1.2	Aufschüttung des ersten Schüttstreifens und der ersten Schüttlage	74
5.2	Ausrichten des Stahlrahmens und der Verdichtungsplatte	76
5.2.1	Positionieren des Stahlrahmens und der Verdichtungsplatte.....	76
5.2.2	Versetzung des Stahlrahmens mit der Verdichtungsplatte	77
5.3	Verdichten des Schüttstreifens.....	78
5.4	Prüfen des Schüttstreifens	79
6	Vergleich der Versuchsergebnisse	81
6.1	Vergleich der gleich bewehrten Schüttstreifen	81
6.1.1	Versuch 1.....	82
6.1.2	Versuch 2.....	88
6.1.3	Versuch 3.....	94

6.1.4	Versuch 4	100
6.1.5	Versuch 5	106
6.2	Vergleich der unterschiedlich bewehrten Schüttkörper	112
6.2.1	Vergleich der verschiedenen Versuche	113
6.2.2	Vergleich zwischen verformbarer und verformbarer Frontverkleidung	120
6.3	Zusammenfassung der Versuchsergebnisse.....	121
7	Zusammenfassung und Ausblick	129
7.1	Zusammenfassung.....	129
7.2	Ausblick.....	131
8	Literaturverzeichnis.....	133
9	Abbildungsverzeichnis	136
10	Tabellenverzeichnis	141
11	Anhang	143
11.1	Porenanteil vor und nach der Versuchsdurchführung	143
11.2	Fotoreihe.....	148

0 Einleitung

Durch die allgemeine Baulandknappheit in manchen Regionen, sowie bei natürlich geneigten Hängen im alpinen Raum und durch die Anforderungen seitens der Baunormen, ist man gezwungen nach neuen Baulösungen zu suchen. Seit den achtziger Jahren des vorigen Jahrhunderts, setzen sich geokunststoffbewehrte Bauwerke immer mehr als eine alternative Lösung gegenüber konventionellen Bauweisen durch. Die wirtschaftliche, schnelle sowie flexible Bauweise von geokunststoffbewehrten Konstruktionen erhält immer mehr Akzeptanz gegenüber teuren und aufwändigen Bauwerken.

Im Rahmen dieser Masterarbeit soll das Last- Verformungsverhalten einer geokunststoffbewehrten Konstruktion unter statischer Belastung untersucht werden. Anhand von Versuchen soll geklärt werden, ob durch Einlegen, konstantem Vorspannen oder temporärem Vorspannen des Geokunststoffgitters, die Tragfähigkeit der bewehrten Konstruktion verbessert werden kann. Ebenso soll untersucht werden, ob die Verdichtbarkeit verbessert und ob die Setzung des Gesteins vermindert werden kann.

Weiters soll das Interaktionsverhalten zwischen Geokunststoffgitter und Boden untersucht werden. Der Boden selbst kann nur bedingt Zugkräfte aufnehmen. Das Geokunststoffgitter übernimmt durch die Interaktion zwischen Geogitter und Kontaktboden diese Zugfunktion.

Um das Verhalten von Geokunststoffgittern und dem Boden erforschen zu können, wird im Labor des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau eine Versuchseinrichtung entwickelt und gebaut. In der Versuchseinrichtung werden fünf unterschiedlich bewehrte Schüttkörper hergestellt und untersucht. Jeder dieser Schüttkörper wird auf die gleiche Art und Weise einmal wiederholt. An den insgesamt zehn Schüttkörpern werden sechzig statische Last- Verformungsversuche durchgeführt. Für die computergestützte Messdatenerfassung der Setzungen und der Druckkräfte während der Versuchsdurchführung, wird das Programm Catman 5.0 verwendet.

Der abschließende Vergleich der fünf unterschiedlich bewehrten Schüttkörper, soll die Vor- und Nachteile durch Einbringung von Geokunststoffgittern aufzeigen und die Wirkungsweise geokunststoffbewehrter Schüttkörper verständlich machen.

1 Geokunststoffe im Erd- und Verkehrswegebau

Geokunststoffe haben ein breites Anwendungsspektrum in den Ingenieurbereichen der Geotechnik, dem Bau von Verkehrswegen und bei wasserbaulichen Anlagen. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die Anwendungen von Geokunststoffen im Strassen- und Eisenbahnbau.

1.1 Geokunststoffe

„Ein Oberbegriff, der ein Produkt beschreibt, bei dem mindestens ein Bestandteil aus synthetischem oder natürlichem Polymer hergestellt wurde, in Form eines Flächengebildes, eines Streifens oder einer dreidimensionalen Struktur, das bei geotechnischen und anderen Anwendungen im Bauwesen im Kontakt mit Boden und/oder anderen Baustoffen verwendet wird.“ [1]

1.1.1 Allgemeines

Geokunststoffe sind europäisch harmonisierte Bauprodukte, deren Konformität mit dem CE-Kennzeichen dokumentiert wird. [3] Sie werden aufgrund ihrer CE – Kennzeichnung in vier Gruppen unterteilt, die wiederum aufgrund ihrer Wasserdurch- oder Wasserundurchlässigkeit zu unterscheiden sind.

GEOKUNSTSTOFFE			
wasserdurchlässige		nicht oder gering wasserdurchlässige	
Geotextilien	geotextil- verwandte Produkte	Dichtungsbahnen	dichtungsbahn- verwandte Produkte

Tab. 1. 1 Geokunststoffe

1.1.1.1 Geotextilien

Geotextilien sind wasserdurchlässige Vliesstoffe, Gewebe und Maschenware.

- Vliesstoffe - entstehen durch Verfestigung von Vliesen aus flächenhaft aufeinander abgelegten Filamentvliesstoffen oder Spinnfaservliesstoffen. Die Verfestigung kann mechanisch, kohäsiv oder adhäsiv erfolgen.

- Gewebe - besteht aus sich rechtwinkligen kreuzenden Fadensystemen. Sie unterscheiden sich durch die Art der Garne, ihre Verwebung oder durch die Anzahl der Fäden.
- Maschenware - sind Geotextilien, die durch Verschlingen oder Vermaschen von Garnen, Fasern, Filamenten hergestellt werden. [2]

1.1.1.2 Geotextil-verwandte Produkte

Zu den geotextil-verwandten Produkten gehören Geogitter bzw. gitterähnliche Produkte wie Geonetze, Geozellen, Geostreifen sowie Geomatten. [3] Geogitter sind aus synthetischen Fasern, Garnen oder aus Kunststoffen hergestellte Gitterstrukturen mit Öffnungsweiten über 10 mm. [3] Nach der Herstellung unterscheidet man Geogitter in:

- Gewebte Geogitter – sind Gewebe mit Öffnungen über 10 mm, die meist zusätzlich mit Polymerumhüllung ausgerüstet sind.
- Kettengewirkte Geogitter – sind Geogitter Maschenware mit Öffnungen über 10 mm, die meist zusätzlich mit Polymerumhüllung ausgerüstet sind.
- Gestreckte Geogitter – werden aus Kunststoffbahnen (Bahnen) oder extrudiert hergestellt. Die Bahnen oder extrudierten Gitter werden in einer oder beiden Richtungen gestreckt.
- Gelegte Geogitter – werden aus extrudierten und gestreckten Geogittern hergestellt. Sie werden kreuzweise gelegt und an Kreuzungsstellen verbunden. [2]

1.1.1.3 Dichtungsbahnen

Dichtungsbahnen sind flächige Produkte, z.B. Kunststoffdichtungsbahnen KDB, die wasserundurchlässig sind oder geosynthetische Tonabdichtungsbahnen GTD und Quellmitteldichtungsbahnen QDB, die gering wasserdurchlässig sind.

- Kunststoffdichtungsbahnen KDB – werden durch Extrusion von Polymer-Formmassen hergestellt.
- Geosynthetische Tonabdichtungsbahnen GTD – bestehen aus zwei Geotextillagen mit einer Füllung aus abdichtenden Tonen zwischen den Lagen. Der Verbund wird durch Vernadelung oder Vernähung der Deck- und Trägergeotextilien erreicht.
- Quellmitteldichtungsbahnen QDB – sind Vliesstoffe. Sie sind mit einem abdichtenden, polymeren Quellmittel ausgerüstet. [2]

1.1.1.4 Verbundstoffe

Verbundstoffe sind zwei oder mehrere Geokunststoffe, die miteinander kombiniert sind. Sie bestehen z.B. aus Vliesstoffen, Geweben, Geogittern, Dichtungsbahnen oder anderen Flächengebilden, die miteinander verbunden sind. [2]

1.1.2 Rohstoffe

Durch die Komponenten und deren Anordnung sowie durch die verwendeten Rohstoffe bei der Herstellung, werden die Eigenschaften des Produktes bestimmt. [2]

- Für Geotextilien und Geogitter sind folgende Polymere anwendbar (gemäß DIN ISO 2076 Chemiefasern, Mai 2001):
 - Aramid (AR)
 - Polyamid (PA)
 - Polyethylen
 - Polyester, vornehmlich als Polyethylenterephthalat (PET)
 - Polypropylen (PP)
 - Polyvinylalkohol (PVA)

„Polyethylen und Polypropylen werden als Polyolefine bezeichnet. Zur Sicherung produktspezifischer Eigenschaften oder zur Unterstützung bei der Fertigung können weitere Zusätze enthalten sein.“ [2] Für die Umhüllung können Polyvinylchlorid (PVC), Polyethylen (PE) oder Bitumen eingesetzt werden. [2]

- Für polymere Dichtungsbahnen (KDB) können als Rohstoffe angewendet werden:
 - Polyethylen hoher oder niedriger Dichte (PEHD oder PELD)
 - Flexibles Polypropylen (FPP) [2]

1.1.3 Anwendung von Geokunststoffen

Die Wirkung von Geokunststoffen wird in verschiedene Grundfunktionen unterteilt. Die wesentlichen Funktionen, die von Geokunststoffen übernommen werden, sind: Trennen, Filtern, Entwässern, Bewehren, Schützen und Abdichten.

- **Trennen** – „beschreibt die Wirkung des Geokunststoffes in einem Aufbau mit feinen und groben Erdstoffen, wobei die feinen Partikel nicht in die Groben eindringen sollen“. [4] Am häufigsten zum Einsatz kommen hier Geotextilien als Vliese und Gewebe.
- **Filtern** – „beschreibt den Wasserdurchgang durch ein zwischen zwei Bodenschichten eingebrachtes Geotextil“. [4] Am häufigsten zum Einsatz kommen hier Geotextilien als Vliese.
- **Entwässern** – das Wasser wird in der Ebene des Geokunststoffes gesammelt und abgeführt. Es werden meistens mehrlagige Systeme (Verbundstoffe) verwendet, wie z.B. Vliesstoffe mit abstandshaltenden Elementen aus Kunststoff. [4]
- **Bewehren** – besonders körnige Böden können geringe oder keine Zugkräfte aufnehmen. Zur Aufnahme von Zugkräften wird das Bodenmaterial durch zugfeste Einlagen (Geokunststoffgitter) bewehrt. Die Kräfte werden vom Bodenmaterial in das Geokunststoffgitter, über die Reibung und/oder Verzahnung eingeleitet. [4] Die Bewehrungsfunktion stellt in dieser Masterarbeit die Kernfunktion dar.
- **Schützen** – damit Kanten und Spitzenbelastung durch Mineralstoffkörner auf einen Untergrund (Dichtungsbahnen, Bauwerksabdichtung) vermindert werden können, werden Geokunststoffe mit Schutzfunktion verwendet. Für die Schutzfunktion werden Vliesstoffe oder auch spezielle Produkte verwendet.
- **Abdichten** – zur Verhinderung der Versickerung von Flüssigkeiten (Wasser, Öl) in den Untergrund, werden Kunststoffdichtungsbahnen (KDB) sowie Tondichtungsbahnen (GTD) verwendet.

1.2 Anwendung von Geokunststoffen im Straßenbau

Bautechniken aus beinahe allen Bereichen des Erd-, Hoch- und Tiefbaues dienen dem Bau und der Erhaltung von Straßenverkehrsanlagen. Geokunststoffe werden im Straßenbau auf verschiedene Art und Weise eingesetzt. Im folgenden Kapitel wird die Anwendung von Geokunststoffen im Erd- und Straßenbau, mit verschiedenen Funktionen dargestellt.

1.2.1 Funktion der Geokunststoffe im Erd- und Straßenbau

Wie schon in Kapitel 1.1.3 erwähnt, werden Geokunststoffe zum Trennen, Filtern, Entwässern, Bewehren, Schützen und Abdichten verwendet. Einige Geokunststoffe können zugleich mehrere Funktionen erfüllen.

1.2.1.1 Trennen

Der Einsatz von Geokunststoffen mit der Aufgabe des Trennens, ist im Straßenbau sowie im Erdbau mit Dammschüttungen weit verbreitet. [5]

Die Hauptaufgabe des Geokunststoffes ist das mechanische Trennen von zwei Bodenschichten mit unterschiedlichem Kornaufbau sowie unterschiedlichen Eigenschaften. Meistens wird ein weicher, feinkörniger Untergrund von grobkörnigem Schüttmaterial getrennt (Abb. 1. 1). [5]

Trennen ist immer mit Filtern oder/und Bewehren verbunden und sollte bei der Festlegung der Anforderungen nie alleine betrachtet werden.

„Die Auswahl der geeigneten Produkte richtet sich nach den Körnungen des Untergrundes, der Tragschichtmaterialien bzw. Schüttmaterialien und den zu erwartenden Belastungen z.B. durch den Baubetrieb. Der Geokunststoff muss den Einbau und den späteren Baubetrieb unbeschädigt überstehen und für die Lebensdauer der Konstruktion alterungsbeständig sein.“ [6]



Abb. 1. 1 Trennung zwischen Untergrund und Schüttmaterial [7]

Die Trennlagen sollten quer zur Längsachse verlegt werden. Die Überlappung der einzelnen Bahnen sollte mindestens 50 cm betragen und sie sollten in Schüttrichtung ausgeführt werden (Abb. 1. 2). Wenn der Geokunststoff bzw. die Trennlagen unter Wasser verlegt werden, müssen diese fest miteinander verbunden werden, z.B. durch Nähen. [4]



Abb. 1. 2 Überlappung der Geokunststoffbahnen [11]

1.2.1.2 Filtern

Der Einsatz von Geokunststoffen mit der Aufgabe des Filterns, ist im Straßenbau sowie im Erdbau mit Dammschüttungen auf weichem Untergrund weit verbreitet. [5]

Die Hauptaufgabe des Geokunststoffes als Filter ist die Ausschwemmung von Bodenbestandteilen und anderen Partikeln bei Wasserdurchfluss von der feinkörnigen Bodenschicht in die grobkörnige Bodenschicht zu verhindern (Abb. 1. 3). [5]

„Zu unterscheiden sind die hydraulische Filterwirksamkeit (Wasserdurchlässigkeit) mit dem Ziel eines druckverlustfreien Wasserdurchflusses und die mechanische Filterwirksamkeit (Bodenrückhaltevermögen)“. [6]



Abb. 1. 3 Geokunststoff als Filtrationsmaterial [7]

1.2.1.3 Entwässern

Der Einsatz von Geokunststoffen mit der Aufgabe des Entwässerns, findet im Straßenbau sowie im Erd- und Tiefbau immer größere Verbreitung. [5]

Die Hauptaufgabe des Geokunststoffes ist das Drainieren, bzw. Sammeln und Abführen des Sickerwassers (Niederschlag) und des seitlich aus dem Boden zufließenden Grundwassers mit möglichst geringem Druckverlust (Abb. 1. 4). Abhängig vom Einsatz übernehmen die Drainage-Geokunststoffe auch gleichzeitig die Schutzfunktion. [5]



Abb. 1. 4 Sammeln und abführen des Sickerwassers [6]

Weiters soll das Geokunststoffgitter (Vliese) die Ausschwemmung von Feinmaterial (Bodenentzug) verhindern. Einlagerungen von Feinmaterialen können die Durchlässigkeit in der Ebene des Geokunststoffes reduzieren. Sickerstränge sollten vollständig mit den Geotextilien (Gewebe) umhüllt sein, so dass das Einspülen des Feinkorns ausgeschlossen ist. [5]

1.2.1.4 Bewehren

Wie schon in Kapitel 1.1.1.4 erwähnt, stellt die Bewehrungsfunktion in dieser Masterarbeit, die Kernfunktion der Geokunststoffe dar. Deshalb folgt eine etwas ausführliche Abhandlung dieser Funktion.

Das Bauverfahren „Bewehrte Erde“ wurde von einem französischen Ingenieur Namens Henry Vidal entwickelt und im Jahre 1963 patentiert. Die Idee war die Herstellung eines äußerst festen Verbundkörpers durch die Kombination von Erdschüttungen und Bewehrungsbändern. [9] Die Bewehrung bestand aus schmalen verzinkten Stahlbändern, die Wandhaut bzw. die Frontverkleidung der Stützkonstruktion bestand aus Beton- oder Stahlfertigteilen. [10]

Der Einsatz von Geokunststoffen mit der Aufgabe des Bewehrens, begann in den siebziger bzw. achtziger Jahren. [5]

Die Funktion der Geokunststoffe als bewehrtes Element, ist vielfältig. Die Geokunststoffe werden in Bereichen eingesetzt wie z.B.: bei bewehrten Stützkonstruktionen (Abb. 1. 5), bei Dämmen auf wenig tragfähigem Untergrund (Abb. 1. 6), als Tragschichtbewehrung im Verkehrswegebau (Abb. 1. 7) sowie als bewehrtes Gründungspolster (Abb. 1. 8). [10] Mit den Geokunststoffen soll eine Verbesserung der Tragfähigkeit und eine Reduktion der Verformung der Schüttkörper erreicht werden. [5]

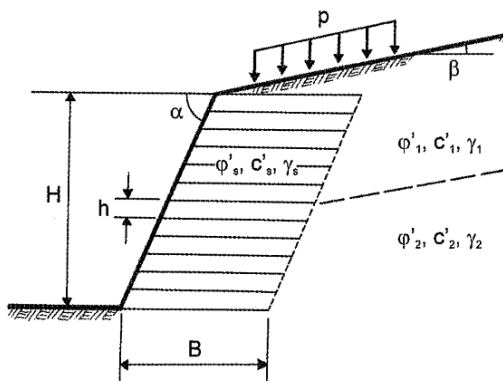


Abb. 1.5 Stützkonstruktion [5]

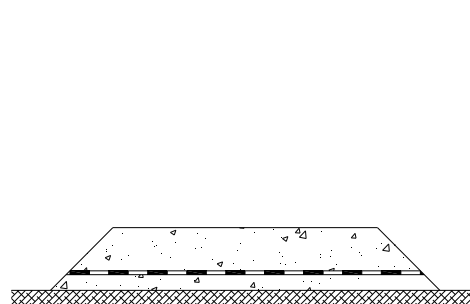


Abb. 1.6 Dammbau auf wenig tragfähigem Untergrund

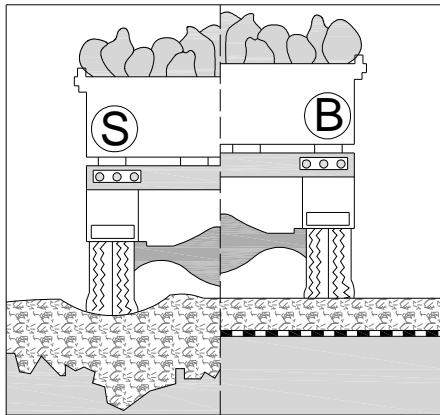


Abb. 1. 7 Tragschichtbewehrung [11]

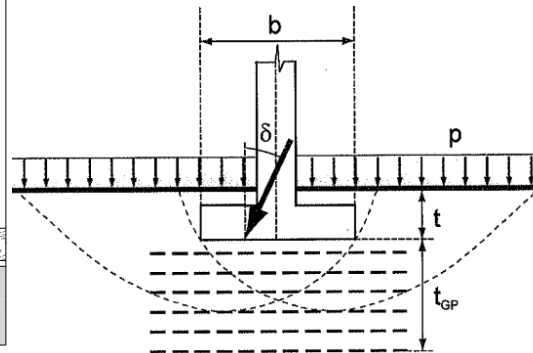


Abb. 1. 8 Bewehrtes Gründungspolster [3]

„Um die Anforderungen an Geokunststoffe mit permanenter Bewehrungsfunktion aufzustellen, ist die Kenntnis wichtig, welchen Beanspruchungen ein Geokunststoff während seiner Gebrauchs- oder Lebensdauer unterworfen ist und wie sich die maßgebenden Eigenschaften des Geokunststoffes mit der Zeit entwickeln (Abb. 1. 9). Am Ende seiner erwarteten oder verlangten Gebrauchsdauer muss bei einem geokunststoffbewehrten Bauwerk immer noch eine bestimmte Restsicherheit gegenüber einem Versagen infolge Bruch der Bewehrung vorhanden sein“. [5]

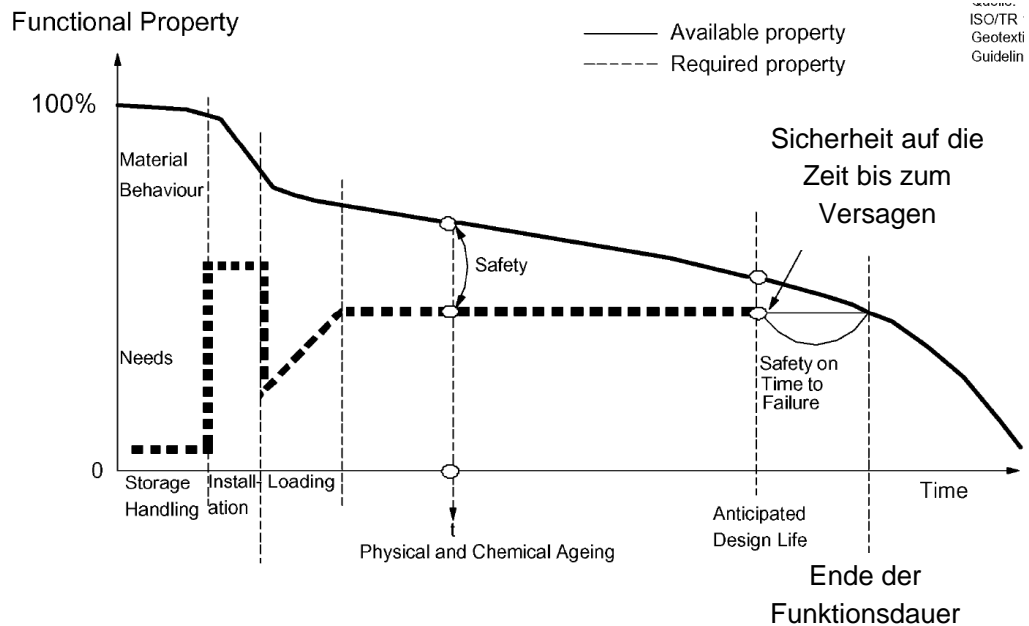


Abb. 1. 9 Schema der Zeitlastabhängigkeit einer Eigenschaft des Geokunststoffes [19]

„Zusätzlich soll die Gebrauchstauglichkeit des Bauwerkes z.B. durch eine Begrenzung der Deformation bis zum Ende der Gebrauchsdauer gewährleistet sein“. [5] Der Bemessungswert der Langzeitzugfestigkeit z_{Rd} beträgt (laut [5]):

$$z_{Rd} = \frac{r_{min}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot \gamma}$$

z_{Rd} = Mindestwert der Bemessungszugfestigkeit für eine Gebrauchsdauer der Zeit [t]

r_{min} = Mindestwert der Kurzzeitfestigkeit aus dem Streifenzugversuch

A_1 = Abminderungsfaktor für das Zustandsverhalten unter Dauerlast (Kriechen) und abhängig von der Gebrauchsdauer t.

A_2 = Abminderungsfaktor für die Beschädigung der Bewehrung durch Transport, Einbau und Verdichtung.

A_3 = Abminderungsfaktor für Verarbeitung (Verbindungsstellen, Anschlüsse an Bauteile)

A_4 = Abminderungsfaktor für langfristig einwirkende Umgebungseinflüsse (Chemikalien, Mikroorganismen, Temperatur, etc.)

A_5 = spezifische Einflüsse (dynamische Einwirkungen)

γ = Sicherheitsbeiwert

1.2.1.5 Schützen

Eine weitere Aufgabe des Geokunststoffes ist das Schützen einer Abdichtung (Kunststoffdichtungsbahn) und eines Bauteiles (Rohr) vor mechanischen Beschädigungen, beispielsweise vor scharfkantigen Unebenheiten des Untergrundes oder vor Verfüllmaterialien (Abb. 1.10). [5]



Abb. 1. 10 Schutzfunktion einer Abdichtung [7]

Für die Schutzfunktion sind, neben der Schichtdicke und der Flächenmasse, die Durchschlag- und Durchdrückfestigkeit wichtig. Als Schutzmaterial werden Vliesstoffe, Doppelgewebe sowie Verbundstoffe mit mineralischen Füllungen verwendet. [8]

Weiters haben Geokunststoffe eine Schutzfunktion bei Böschungen und Begrünungsflächen gegen Erosion (Abb. 1. 11). [2] Vielfach müssen Geokunststoffe auch drainieren, d.h. in der Ebene das Wasser abführen und dieses einem Entwässerungssystem zuführen. [5]



Abb. 1. 11 Schutzfunktion einer Böschung gegen Erosion [7]

1.2.1.6 Abdichten

Der Einsatz von Geokunststoffen mit Abdichtungsfunktion ist, im Hinblick auf den Umwelt- und Grundwasserschutz für die Gebrauchsfähigkeit und die Lebensdauer von Bauwerken, von wesentlicher Bedeutung. [8]

„Als technisch dichte Barrieren gegen Flüssigkeiten und Gase haben Kunststoffdichtungsbahnen große Bedeutung im Bauwesen erlangt.“ [8]

Verwendet werden die Geokunststoffdichtungsbahnen: im Deponiebau (um das Zulaufen von gefährlichen Flüssigkeiten ins Grundwasser zu verhindern), im Tunnelbau (um Eindringen von Grundwasser zu verhindern) sowie im Wasserbau (Abdichtung zur Verhinderung von Wasserverlusten) (Abb. 1. 12).

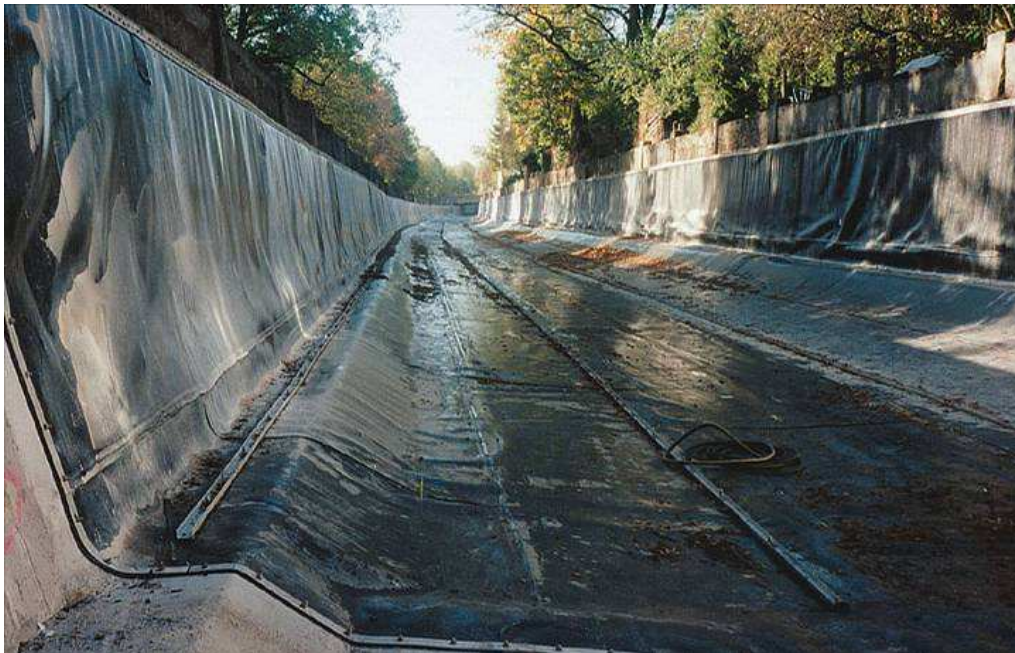


Abb. 1. 12 Abdichtung eines Wasserkanals [8]

Zur Anwendung kommen Dichtungsbahnen, insbesondere aus Polyethylen mit unterschiedlicher Dichte und mit Dicken von mehr als 1,0 mm. [8]

„Kunststofffolien mit 0,3 bis 1,0 mm Dicke werden verwendet, wenn nur geringe Beanspruchungen zu erwarten sind. Dies gilt vorwiegend für temporäre Abdeckungen und auch für Gartenteiche.“ [8]

1.3 Anwendung von Geokunststoffen im Eisenbahnbau

„Geokunststoffe werden im Eisenbahnbau seit etwa 30 Jahren angewendet. Dem damaligen technischen Stand entsprechend wurden zunächst vorrangig Vliesstoffe als Filterelement in Entwässerungsanlagen und als Trenn- und Filterelement zwischen dem Erdplanum und der Schutzschicht angeordnet.“ [4]



Abb. 1. 13 Geokunststoff im Eisenbahndammbau [7]

„Die meisten Eisenbahnstrecken (in Deutschland) sind in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts erbaut worden. Die damaligen technischen Voraussetzungen waren – aus heutiger Sicht – äußerst bescheiden. Die Erdbauwerke wurden damals ohne wesentliche Verdichtung geschüttet und entsprechen in der Regel nicht den heutigen gültigen Anforderungen an Dichte, Tragfähigkeit und Standsicherheit.“ [4]

„Diese Situation hatte zur Folge, dass bei der Instandsetzung und vor allem beim Ausbau der bestehenden Eisenbahnstrecken auf deutlich höhere Fahrgeschwindigkeiten viele geotechnische und geometrische Probleme auftraten, die bei ständiger Aufrechterhaltung des Eisenbahnbetriebes gelöst werden mussten.“ [4]

„Die wesentlichen Probleme, die beim Ausbau bestehender Eisenbahnstrecken auf den heute gültigen Standart zu lösen waren, lassen sich wie folgt zusammenfassen:

- sehr inhomogener und geschädigter Boden mit unzureichenden Tragfähigkeitseigenschaften im Unterbau/Untergrund

- *unzureichende Dichte und Tragfähigkeit der geschütteten Erdbauwerke, insbesondere Dämme*
- *übersteile Böschungen und unzureichende Standsicherheit der vorhandenen Böschungen an Dämmen, Ein- und Anschnitten*
- *unzureichende Breiten des Planums bestehender Eisenbahnstrecken auf Dämmen und in Einschnitten, die eine Wiederherstellung des Regelprofils durch Dammverbreiterungen und Einschnittserweiterungen erforderlich machen“ [4]*

„Die Anwendung von Geokunststoffen im Eisenbahnbau ist umfangreicher als im Straßenbau. Im Gegensatz zur Straße, bei der durch die „geschlossene“ Deckschicht ein Eindringen des Niederschlagswassers in den Unterbau weitestgehend ausgeschlossen ist, stellt das Eisenbahngleis ein „offenes“ System dar.“ [4]

„Die wichtigsten Anwendungsbereiche von Geokunststoffen im Eisenbahnbau lassen sich gegenwärtig wie folgt zusammenfassen:

- *Verhinderung der Kornumlagerung vom feinen zum groben Boden bei Wasserdurchströmung in Entwässerungsanlagen durch Anwendung eines Geokunststoffes (Filterfunktion)*
- *Verhinderung der Durchmischung und Durchdringung benachbarter Schichten durch Verlegung eines Geokunststoffes zwischen Erdplanum und Schutzschicht (Trennfunktion)*
- *Erhöhung bzw. Ausgleich der Tragschichten eines bindigen Untergrundes durch „Bewehrung“ der zwischen den Erdplanum und dem Schotterbett eingebauten Schutzschicht (Bewehrungsfunktion)*
- *Verbreiterung von Dämmen und Erweiterung von Einschnitten bestehender Eisenbahnstrecken durch Stützbauwerke aus geokunststoffbewehrter Erde (Bewehrungsfunktion und Begrünungselement)*
- *Erhöhung der Tragfähigkeit und Standsicherheit bestehender geschütteter Erdbauwerke durch Geokunststoffpolster über pfahlähnlichen Traggliedern (Gründungselement)“ [4]*

1.3.1 Geokunststoffe mit der Filterfunktion in

Entwässerungsanlagen

Die Ableitung des Oberflächenwassers und die Trockenhaltung des Erdplanums sind die wichtigsten Voraussetzungen für eine dauerhafte Standfestigkeit eines Dammes. [14] Die Ableitung des Oberflächenwassers soll auf kürzestem Weg und aus wirtschaftlichen Gründen in oberirdischen Bahngräben erfolgen, während

geschlossene unterirdische Entwässerungsanlagen - Tiefenentwässerungen in geeigneter Weise der Aufgabe dienen, wie:

- der Entwässerung des den Bahnkörper umgebenden Untergrundes
- der Absenkung des Grundwasserspiegels
- der Aufnahme und Ableitung von Oberflächen-, Sicker- und Schichtwasser

Tiefenentwässerungen sind geschlossene unterirdische Entwässerungsanlagen des Bahnkörpers. Sie werden längs zur Bahnachse unter dem Bahngraben angeordnet (Abb. 1. 14).

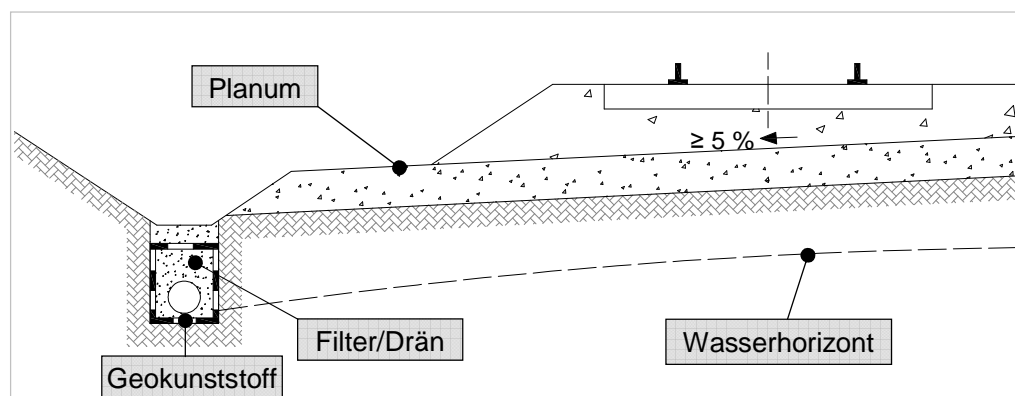


Abb. 1. 14 Tiefenentwässerung [4]

Geokunststoffe können auf Grund unterschiedlicher textiler Struktur bei der Oberflächen- und/oder Tiefenfiltration verwendet werden. Ein Filter aus Geokunststoff muss prinzipiell die Kornumlagerung (Erosion) bei Wasserdurchströmung verhindern.

Die Aufgaben des Geokunststofffilters sind:

- anströmendes Wasser staubfrei durchtreten lassen
- naheliegendes Lockergestein vor Erosion schützen
- bei Suffosion (ausspülen von Fein- bzw. Füllkorn) wandernde Feinteile durchtreten lassen, um die Kolmation (Verstopfung der Poren von Bodenfiltern) der Öffnungen im Geotextil zu verhindern [14]

„Entwässerungsanlagen erfüllen jedoch nur dann ihren Zweck, wenn sie ständig funktionsfähig sind. Bahngraben und Bahnmulden sind deshalb stets frei von Verkrautungen und Ablagerungen zu halten. Die Sickerrohrleitungen und Schächte sind regelmäßig mit Kanalreinigungsgeräten zu säubern, verstopfte Leitungsabschnitte müssen aufgedrungen, gereinigt oder erneuert werden.“ [14]

1.3.2 Geokunststoffe im Tragsystem

Wenn der anstehende Boden die Beanspruchungen aus dem Eisenbahnverkehr und aus der Witterung nicht mehr schadlos aufnehmen kann, werden Schutzschichten im Eisenbahnunterbau eingebaut (Abb. 1. 15). [4] Der geschädigte Boden wird ausgebaut und durch Schutzschichten zwischen dem anstehenden Boden und der Bettung ersetzt. [4]

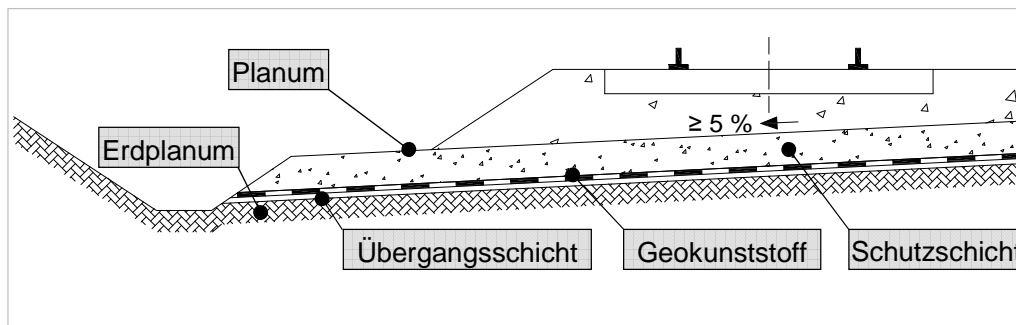


Abb. 1. 15 Geokunststoff als Schutzschicht im Eisenbahnunterbau [4]

Schutzschichten werden aus Korngemischen hergestellt und können mit Bodenverfestigungen bzw. -verbesserungen und mit Geokunststoffen kombiniert werden. [4]

„Die Materialien der Schutzschichten und der Geokunststoffe sind im Eisenbahnunterbau den wechselnden Bodenspannungen aus den statischen und dynamischen Belastungen des Eisenbahnbetriebes ausgesetzt“. [4] Auf der Abbildung 1. 16 kann man erkennen, wie der Geokunststoff die Durchmischung und die Durchdringung benachbarter Schichten (Erdplanum und Schutzschicht) im Eisenbahnunterbau verhindert (Trennfunktion).

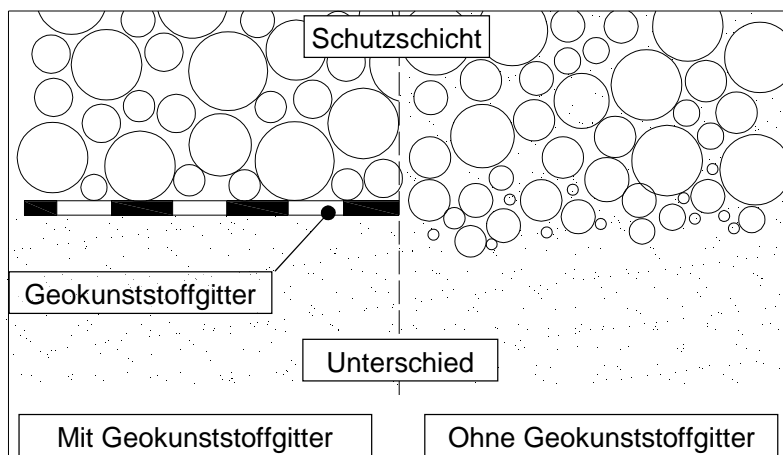


Abb. 1. 16 Eisenbahnunterbau mit und ohne Geokunststoff [4]

„Geokunststoffe müssen als Element des Tragsystems die Festigkeits- und Trageigenschaften des Bodens und des Schutzschichtmaterials verbessern, langfristig erhalten und zum Abbau von Spannungen und Verformungen beitragen.“
[4]

Geokunststoffe im Eisenbahnunterbau haben folgende Aufgaben:

- Trenn- und Filterelement
 - Filter- und Drainelement
 - Bewehrungselement
 - Dichtungselement [4]
-
- *„Als Trenn- und Filterelement verhindern sie dauerhaft Vermischung und schädliche Kornumlagerungen und erhalten so die Festigkeitseigenschaften der Schutzschicht bzw. frostsichere Eigenschaften der Frostschutzschicht.“* [4]
 - *„Als Filter- und Dränelement gestatten sie die Entspannung des ungebundenen Bodenwassers, führen es in sich entsprechend dem Quergefälle ab und erhalten so die Tragfähigkeit des anstehenden Bodens. Zusätzlich wird die textile Struktur durch Einlagerung von Feinkörnungen stabilisiert und aktiviert so eine Verbundwirkung zwischen Boden und Geokunststoff.“* [4]
 - Geokunststoff als Bewehrungselement hat die Aufgabe, Verformungen zu verhindern, Lasten zu verteilen und damit Spannungen, abzubauen. Weiters überbrücken sie die begrenzten Bereiche mit geringer Tragfähigkeit und gewährleisten damit ein gleichmäßigeres und höheres Tragfähigkeitsniveau. Zusätzlich wird die Tragfähigkeit des Systems bei geringen Tragfähigkeiten im Erdplanum erhöht. [4]
 - Durch die erwähnten Wirkungen des Geokunststoffes, wird insgesamt eine Stabilisierung des gesamten Tragsystems infolge Nachverdichtung durch den Verkehr ohne schädliche Kornumlagerungen erreicht. Zusätzlich wird eine langzeitige Erhaltung der Tragfähigkeit unter Dauerbelastung und wechselnder hydrologischer Beanspruchung erreicht. [4]

2 Versuchsüberblick

Um die Zusammenwirkung zwischen Gesteinsmaterial und Geokunststoffgitter feststellen zu können, wird im Labor des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau, eine Versuchseinrichtung gefertigt. In der Versuchseinrichtung werden fünf unterschiedlich bewehrte Schüttkörper hergestellt.

Jeder Versuch bzw. jeder Schüttkörper wird auf die gleiche Art und Weise einmal wiederholt. Das verwendete Material für den Schüttkörper wird im Kapitel 4 näher beschrieben. Abgesehen von den Vorversuchen, werden insgesamt zehn Versuche hergestellt und getestet.

Jeder Versuch hat 3 Schüttlagen und 10,5 Schüttstreifen (Abb. 2. 1). Die Buchstaben und Zahlen, wie z.B. S_S_3_1 bedeuten Schüttlage 3 und Schüttstreifen 1. Bei allen Versuchen hat die erste Schüttlage immer die gleiche Breite (100 cm), Höhe (15 cm) und Länge (190 cm). Bei jedem Versuch werden immer die gleichen Schüttstreifen geprüft (Abb. 2. 22).

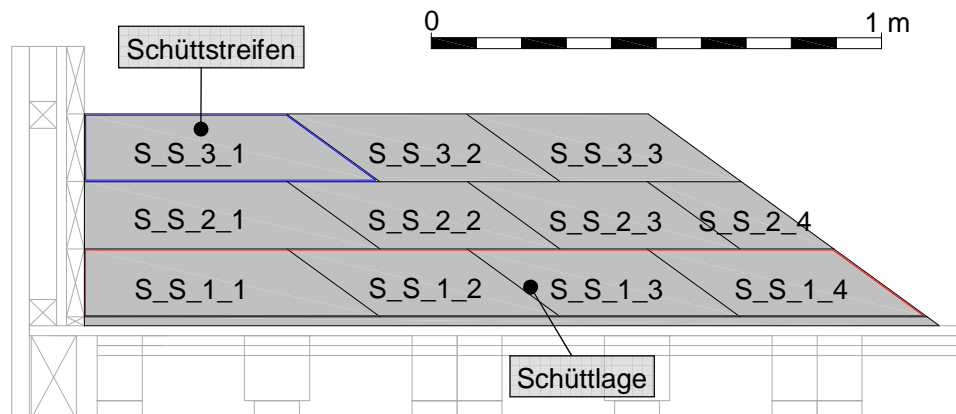


Abb. 2. 1 Längenschnitt des Schüttkörpers

Betrachtet man den Längenschnitt des Schüttkörpers kann man zwei unterschiedliche Frontverkleidungen erkennen (Abb. 2. 2). Auf der linken Seite wird der Schüttkörper an die Stirnwand der Versuchseinrichtung aufgeschüttet. Dies stellt eine verformarme (harte) Verkleidung dar. Die rechte Seite des Schüttkörpers stellt eine verformbare (weiche) Verkleidung dar.

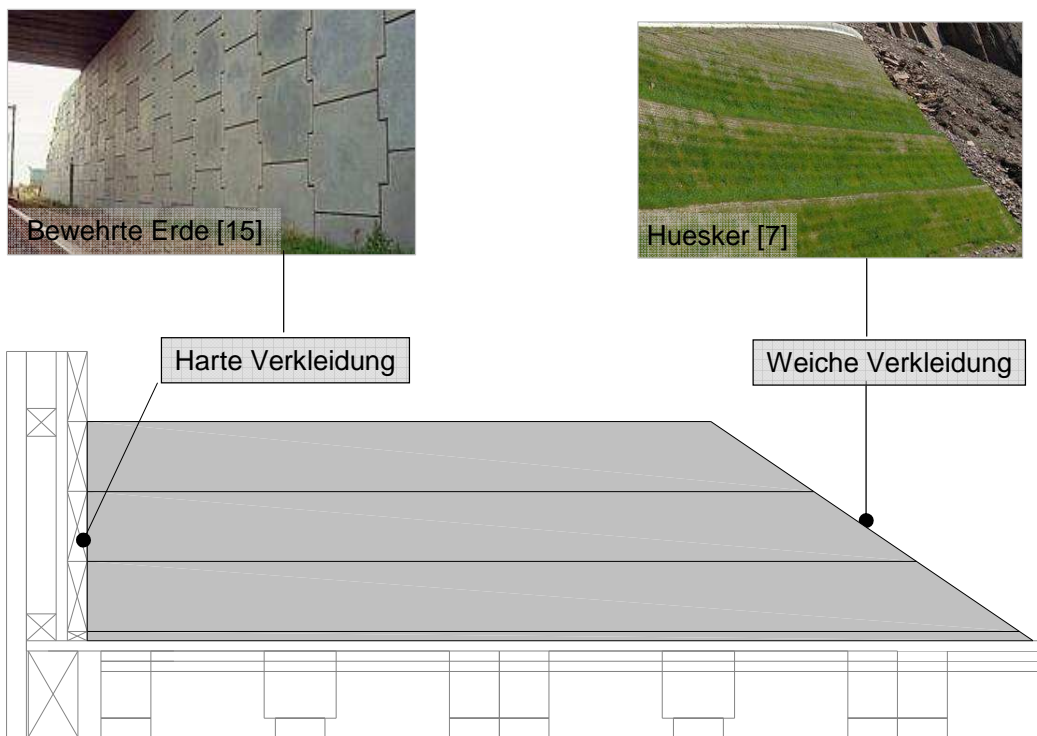


Abb. 2. 2 Frontverkleidung des Schüttkörpers

2.1 Versuch 1

Bevor die erste Schüttlage aufgeschüttet wird, wird bei jedem Versuch eine Bodenschüttlage von 2,0 cm auf dem Boden aufgelegt (Abb. 2. 3). Aus welchem Grund diese Bodenschüttlage auf dem Boden aufgelegt wird und aus welchen Material sie besteht, wird nachfolgend in Kapitel 4.1.2 beschrieben.

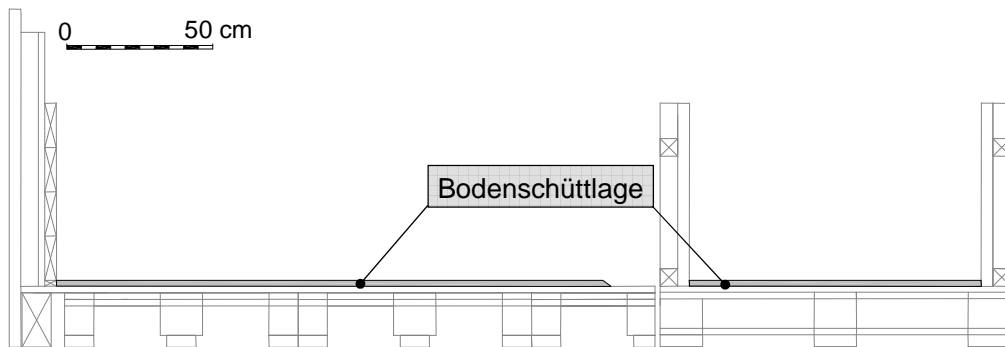


Abb. 2. 3 Längen- und Querschnitt der Bodenschüttlage

Der Versuch 1 ist ein unbewehrter Schüttkörper. Er besteht ausschließlich aus Schüttmaterial. Die erste Schüttlage besteht aus 4 Schüttstreifen (Abb. 2. 4). Jeder Schüttstreifen wird nach dem Aufschütten sofort verdichtet. Der zweite Schüttstreifen wird, nachdem alle Schüttstreifen verdichtet worden sind, mittels Versuchsplatte geprüft (Abb. 2. 22).

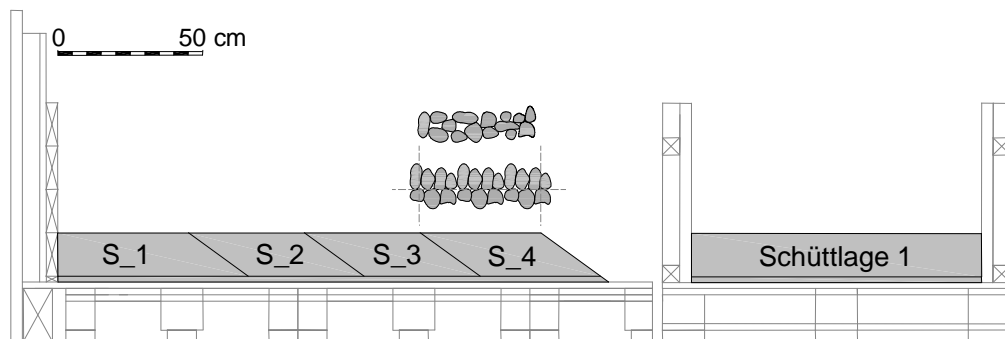


Abb. 2. 4 Längen- und Querschnitt der ersten Schüttlage

Die zweite Schüttlage besteht aus 3,5 Schüttstreifen (Abb. 2. 5). Die Schüttstreifen werden sofort nach dem Aufschütten verdichtet. Bei dieser Schüttlage werden der erste und der zweite Schüttstreifen geprüft (Abb. 2. 13).

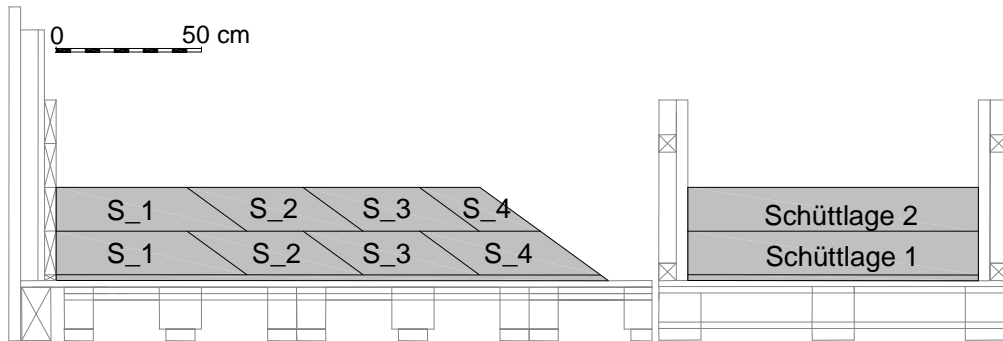


Abb. 2. 5 Längen- und Querschnitt der zweiten Schüttlage

Die dritte Schüttlage besteht aus 3 Schüttstreifen (Abb. 2. 6). Die Schüttstreifen werden auch hier sofort nach dem Aufschütten verdichtet. Bei dieser Schüttlage werden alle drei Schüttstreifen geprüft (Abb. 2. 13).

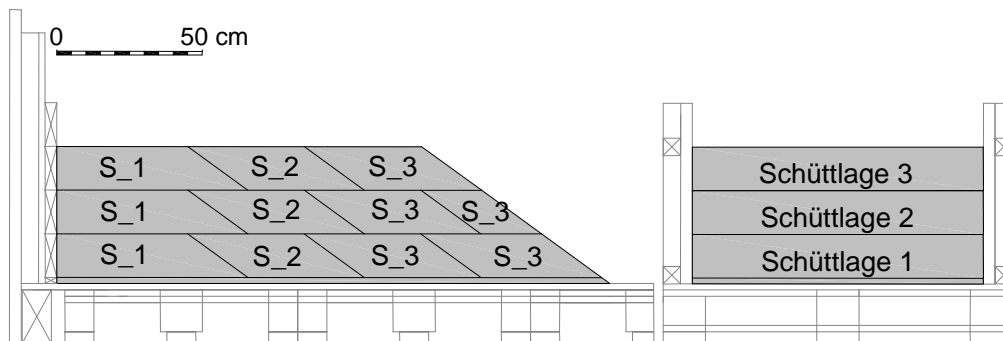


Abb. 2. 6 Längen- und Querschnitt der dritten Schüttlage

Nach dem Verdichten und Prüfen werden Deformationen und die Kräfte über Datalogger (Spider 8) vollautomatisch an den Rechner gesendet (Kapitel 3. 6).

2.2 Versuch 2

Die zweite Versuchsreihe findet an einem bewehrten Schüttkörper statt. Dieser besteht aus Schüttmaterial und Geokunststoffgitter. Das Geokunststoffgitter wird lose, auf die 2,0 cm dicke Bodenschüttlage verlegt und es wird keine Vorspannkraft aufgebracht (Kapitel 5.1.1). Es hat eine Breite von $B= 100$ cm und eine Länge von $L= 322$ cm (Abb. 2. 7). Das Geokunststoffgitter wird mittels der Befestigung BTH 04 und Schrauben an der Innenstirnplatte BTH 06 fixiert.

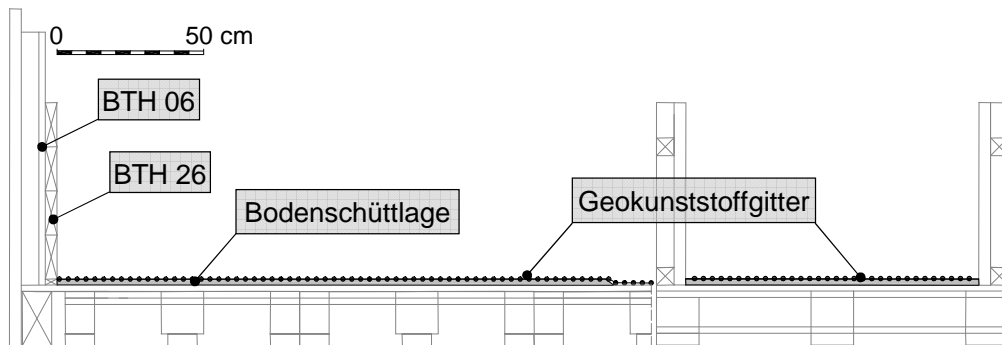


Abb. 2. 7 Längen- und Querschnitt der Bodenschüttlage mit Geokunststoffgitter

Die erste Schüttlage wird über die ganze Länge aufgeschüttet und dann erst streifenweise verdichtet (Abb. 2. 8). Dieser Versuch simuliert die konventionelle Bauweise, die man in der Praxis wieder findet.

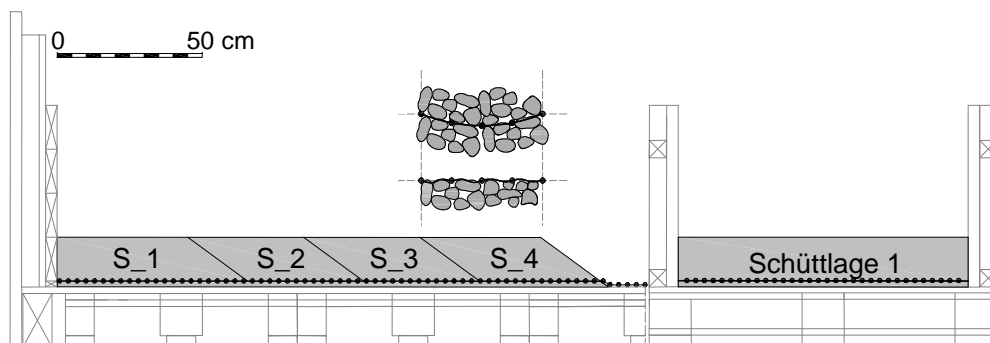


Abb. 2. 8 Längen- und Querschnitt der ersten Schüttlage mit Geokunststoffgitter

Das Geokunststoffgitter wird nach dem Verdichten auf die erste Schüttlage gelegt und an der Innenstirnplatte BTH 06 befestigt (Abb. 2. 9). Danach wird die zweite Schüttlage aufgeschüttet und der Schüttstreifen verdichtet.

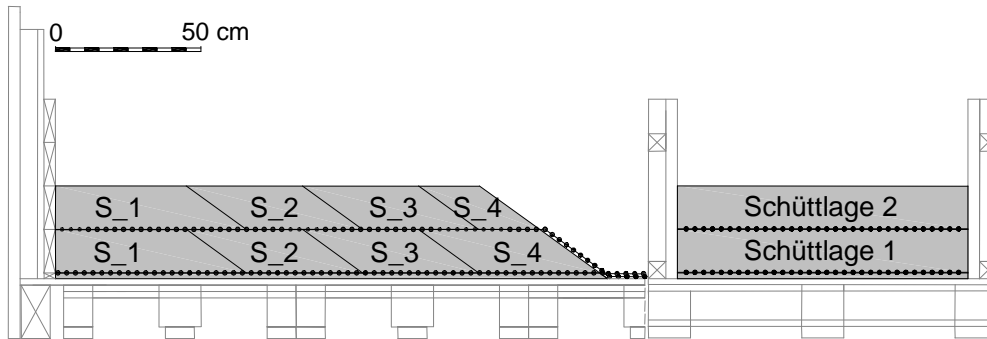


Abb. 2. 9 Längen- und Querschnitt der zweiten Schüttlage mit Geokunststoffgitter

Die dritte Schüttlage wird auf die gleiche Art und Weise hergestellt wie die zwei Vorherigen. Das Geokunststoffgitter wird auf die zweite Schüttlage aufgelegt und an der Innenstirnplatte BTH 06 befestigt (Abb. 2. 10). Die dritte Schüttlage wird aufgeschüttet und der Schüttstreifen wird daraufhin verdichtet.

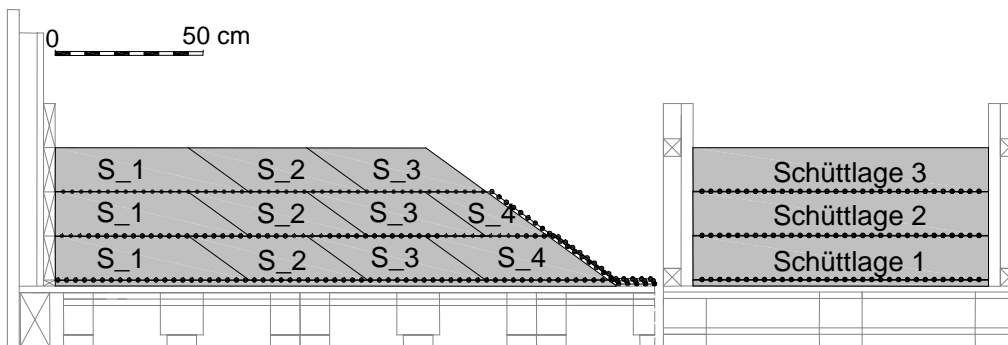


Abb. 2. 10 Längen- und Querschnitt der dritten Schüttlage mit Geokunststoffgitter

Die Länge der Schüttlagen entspricht der Länge des ersten Versuches. Geprüft werden die Schüttlagen an den gleichen Stellen wie beim Versuch 1.

2.3 Versuch 3

Der dritte Versuchskörper ist ein bewehrter Schüttkörper und besteht aus Schüttmaterial und Geokunststoffgitter. Er ist eine Kombination zwischen Versuch 1 und Versuch 2.

Nachdem die Bodenschüttlage aufgeschüttet worden ist, wird darauf das Geokunststoffgitter (wie bei Versuch 2) aufgelegt.

Das Aufschütten der ersten Schüttlage und das Verdichten des verwendeten Materials erfolgt in Schüttstreifen (wie bei Versuch 1).

Durch das sofortige Verdichten des Schüttstreifens, wird das Geokunststoffgitter unter den Schüttstreifen zur Folge der Verdichtung vorgespannt.

Geprüft werden die Schüttstreifen wie bei Versuch 1.

2.4 Versuch 4

Der vierte Versuch ist ein bewehrter Schüttkörper. Er besteht aus Schüttmaterial und Geokunststoffgitter. Der Versuch 4 verläuft ähnlich wie Versuch 3. Der Unterschied bei diesem Versuch ist, dass das Geokunststoffgitter vor jeder neuen Schüttlage bzw. vor jedem Aufschütten des Schüttstreifens permanent vorgespannt wird (Abb. 2. 11).

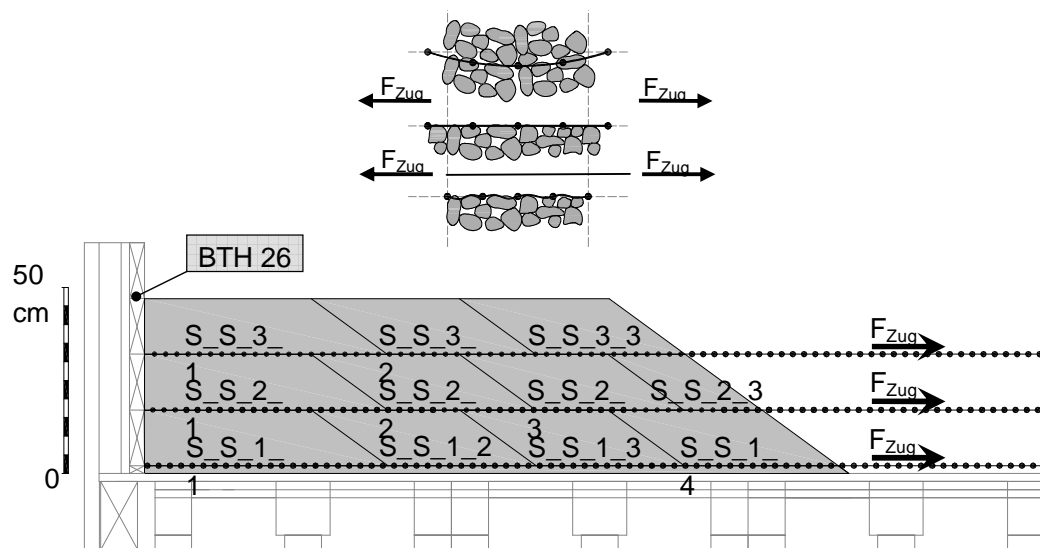


Abb. 2. 11 Längsschnitt des Schüttkörpers mit vorgespannten Geokunststoffgittern

Die Vorspannung wird mit einer Vorspanneinrichtung ausgeübt, bzw. das Geokunststoffgitter wird mit einer Druck- und Zugpresse DZP auf die entsprechende Dehnlänge gezogen.

Das vorgespannte Geokunststoffgitter wird am Ende der Holzkonstruktion mittels Fixiereinrichtung Halterung BTH 26 befestigt (Abb. 3. 6). Bei diesem Versuch bleibt das Geokunststoffgitter während des Verdichtens und des Prüfens vorgespannt.

Geprüft werden die Schüttstreifen wie bei Versuch 1.

2.5 Versuch 5

Der fünfte Versuchskörper ist ein bewehrter Schüttkörper. Dieser besteht aus Schüttmaterial und Geokunststoffgitter (Abb. 2. 12). Der Versuch 5 verläuft ähnlich wie Versuch 4. Auch in diesem Fall, wird das Geokunststoffgitter vorgespannt und temporär fixiert.

Erst nach dem Aufschütten und dem Verdichten der Schüttlage, wird das Geokunststoffgitter gelöst und der entsprechende Schüttstreifen geprüft.

Geprüft werden die Schüttstreifen wie bei Versuch 1.

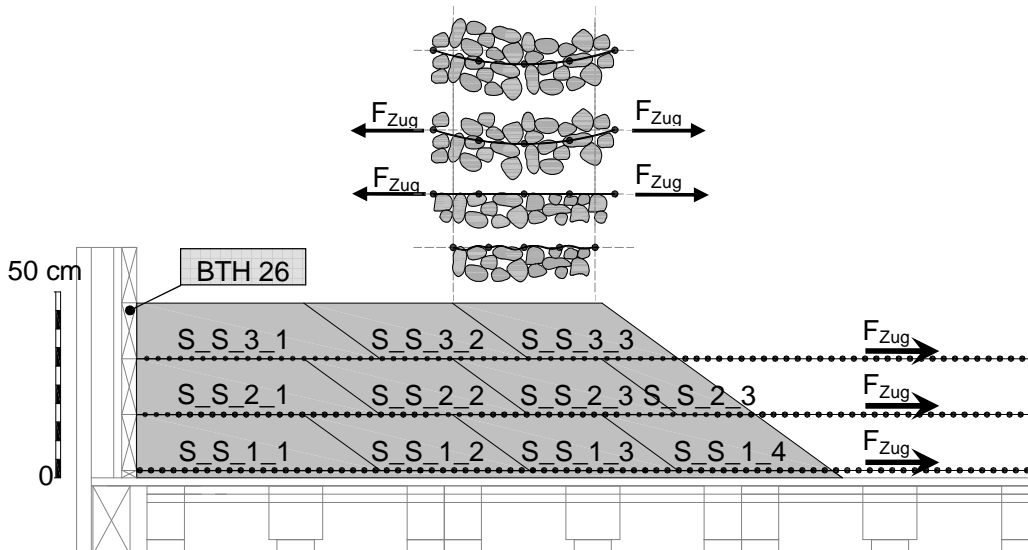


Abb. 2. 12 Längenschnitt des Schüttkörpers mit temporär vorgespannten Geokunststoffgittern

2.6 Vergleichskriterien und geprüfte Schüttstreifen

Die Tabelle 2. 1 zeigt noch einmal eine Übersicht über die Versuchsvarianten.

	Material geschüttet		Bewehrt	Vorspannung der Bewehrung	Vorgespannte Bewehrung	
	Schüttstreifen	Schüttlagen			Verdichtung	Prüfung
V_1	•	–	–	–	–	–
V_2	–	•	•	–	–	–
V_3	•	–	•	–	–	–
V_4	•	–	•	•	•	•
V_5	•	–	•	•	•	–

• trifft zu

– trifft nicht zu

Tab. 2. 1 Versuchsvarianten

Auf der Abbildung 2.13 werden jene Schüttstreifen dargestellt, die mit der Versuchsplatte geprüft werden.

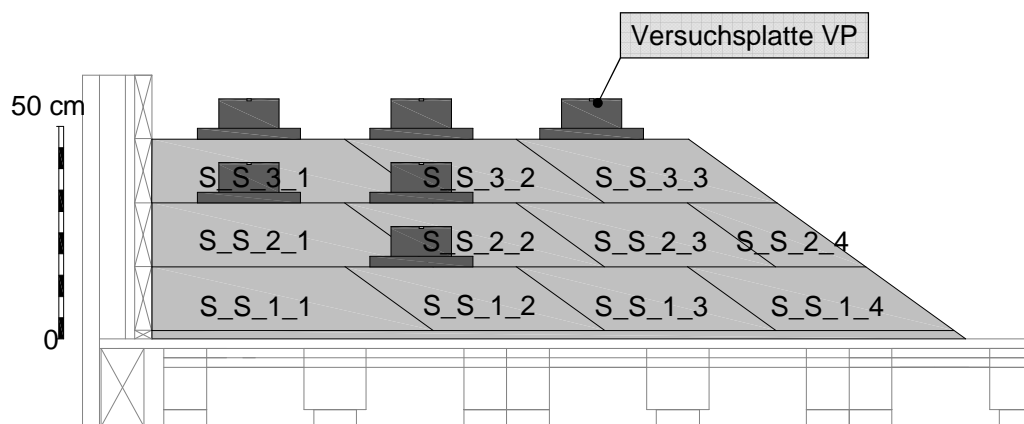


Abb. 2. 13

Geprüfte Schüttstreifen

3 Versuchseinrichtung

Die gesamte Versuchseinrichtung besteht aus drei Teilen. Der erste Teil ist die Holzkonstruktion, danach der Stahlrahmen und als letztes die Vorspanneinrichtung (Abb. 3. 1). Mit dieser Versuchseinrichtung sollte es möglich sein, Gesteinsmaterial und Geokunststoffbewehrung in unterschiedlichsten Einbauvarianten, lose oder vorgespannt, zu testen und zu erforschen.

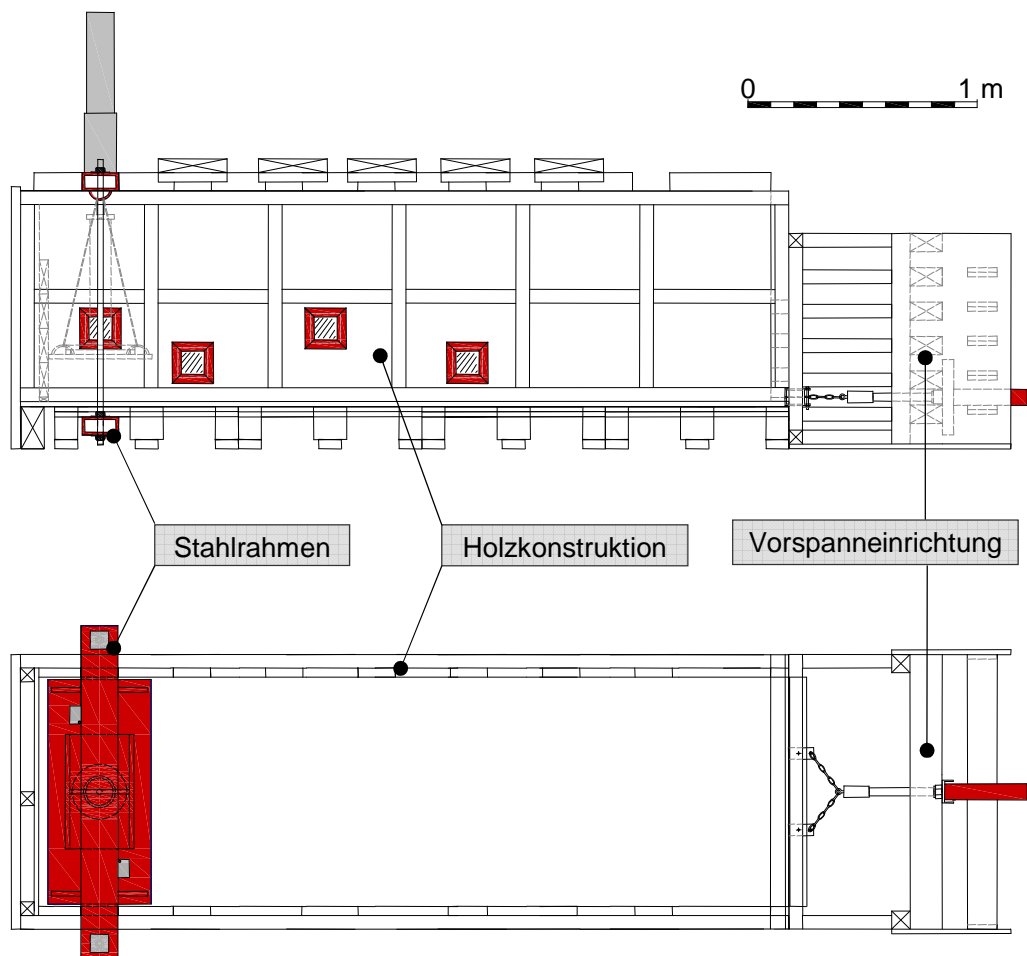


Abb. 3. 1 Seitenansicht und Draufsicht der Versuchseinrichtung

Der Aufbau des Versuches beginnt mit der Holzkonstruktion bzw. mit der Bodenplatte, gefolgt von den Seitenwänden und einer Stirnwand. Anschließend wurde der Stahlrahmen mit Druckpresse und den Messgeräten gebaut und als letztes die Vorspanneinrichtung mit der hydraulischen Druck- und Zugpresse DZP 01.

3.1 Holzkonstruktion

Die Holzkonstruktion setzt sich aus dem Holzboden, den Seitenwänden und der Stirnwand zusammen. Die Außenmasse der Holzkonstruktion betragen (B x H x L) 1,2 x 1,21 x 3,39 m, die Innenmasse (B x H x L) 1,0 x 1,0 x 3,39 m (Abb. 3. 2).

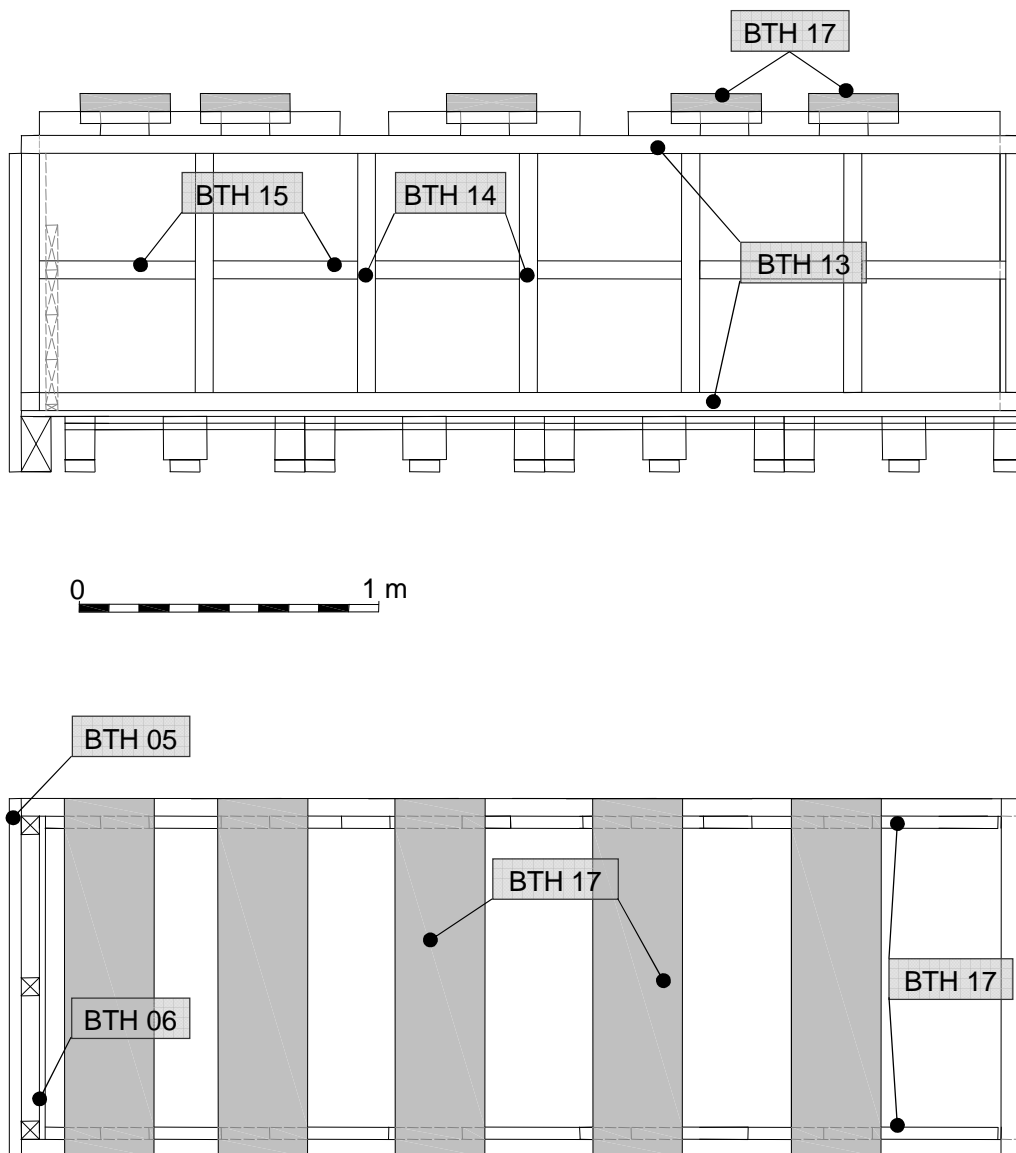


Abb. 3. 2 Seitenansicht und Draufsicht der Holzkonstruktion

3.1.1 Aufbau des Holzbodens

Der Holzboden besteht aus einer OSB-Holzplatte BTH 04, aus vier Europaletten BTH 02 und aus den Unterlagsbrettern BTH 01, die unter den Europaletten befestigt sind (Abb. 3. 3).

Die Unterlagsbretter dienen dazu das gewünschte Höhenniveau zu erreichen, damit das Hineinrollen des Hohlprofils BTS 02 unter den Europaletten BTH 02 auf Lastrollen durchführbar ist. Damit ist das Anbringen der Beilagscheiben VS 02 und der Schraubenmuttern VS 01 an der Gewindestange BTS 03 unter dem Hohlprofil BTS 02 möglich.

Die OSB-Holzplatte BTH 04 wird auf die Europaletten BTH 02 mittels Schrauben angeschraubt.



Abb. 3. 3 Aufbau der Holzkonstruktion

3.1.2 Aufbau der Stirnwand

Die Stirnwand (Abb. 3. 4) besteht aus einer Sperrholzplatte BHT 05 und einer OSB-Platte BHT 06. Beide Stirnplatten werden mittels Kanthölzer BTH 03, 09, 10, 11, 12 und durch Schrauben miteinander verbunden.

Weiters werden die Stirnplatten (BTH 05 und BTH 06) an die Europalette BTH 02, bzw. Bodenplatte BTH 04 und an den Seitenwänden BTH 16 rechtwinklig angeschraubt.



Abb. 3. 4 Außen- und Innenstirnwand der Holzkonstruktion

3.1.3 Aufbau der Seitenwände

Die Seitenwände bestehen aus 40 mm dicken Sperrholzplatten BTH 16 und aus kreuzweise aussteifenden Kanthölzern (BHT 13, BHT 14 und BHT 15). Es wird zuerst eine Rahmenkonstruktion (Abb. 3. 5) aus den Kanthölzern (BHT 13, BHT 14 und BHT 15) gefertigt und an die Bodenplatte rechtwinklig befestigt. Danach werden Öffnungen an den Sperrholzplatten BTH 16 für die Lagesicherung des Stahlrahmens ausgeschnitten. Weiters werden die ausgeschnittenen Sperrholzplatten BTH 16 an die Rahmenkonstruktion angeschraubt.



Abb. 3. 5 Seitenwände der Holzkonstruktion

Um die Reibung zwischen den Seitenwänden und dem Kies (Rundkorn gew. 8/16) so gering wie möglich zu halten (Reibungswinkel $\varphi^{\circ} = 24,4^{\circ}$), werden auf der Innenseite der Seitenwände verzinkte Stahlbleche (Abb. 3.6) angebracht.

Als Halterung des Geokunststoffgitters werden die Hölzer BTH 08 mit der Rückwandkonstruktion verbunden (Abb. 3. 6).

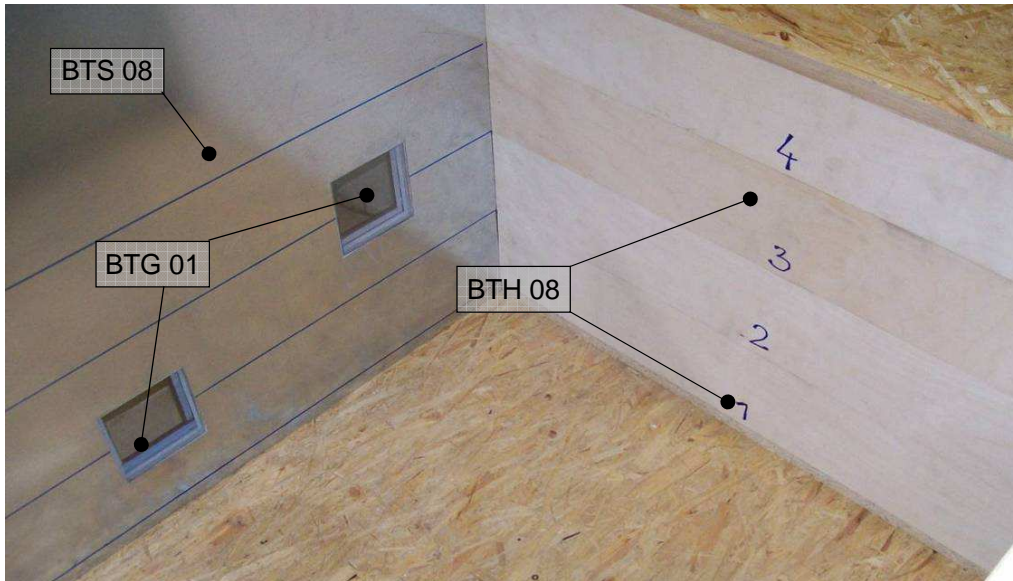


Abb. 3. 6 Geokunststoffhalterung an der Stirnwand

Um das Verhalten des Kiesel und des Geokunststoffes seitlich zu beobachten, werden an einer Seitenwand vier Fenster (130x130 mm) ausgeschnitten und durch Plexiglas ersetzt. Das Plexiglas wird durch einen Stahlrahmen an die Sperrplatte mittels Schrauben befestigt (Abb. 3. 7).

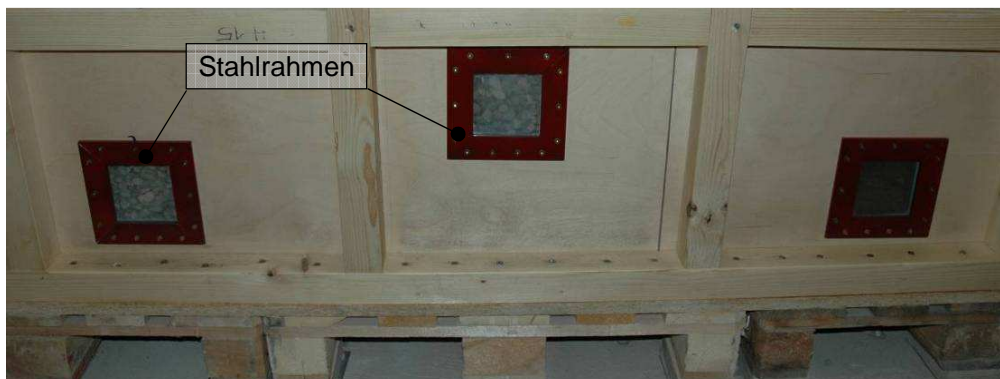


Abb. 3. 7 Vorderansicht der Seitenfenster

Um den möglichen Verformungen der Seitenwände im oberen Bereich entgegen zu wirken, werden die Seitenwände mit fünf Querträgern, die aus BTH 17 und BHT 18 zusammengesetzt sind, je nach Position des Stahlrahmens an unterschiedlichen Punkten ausgesteift (Abb. 3. 8).

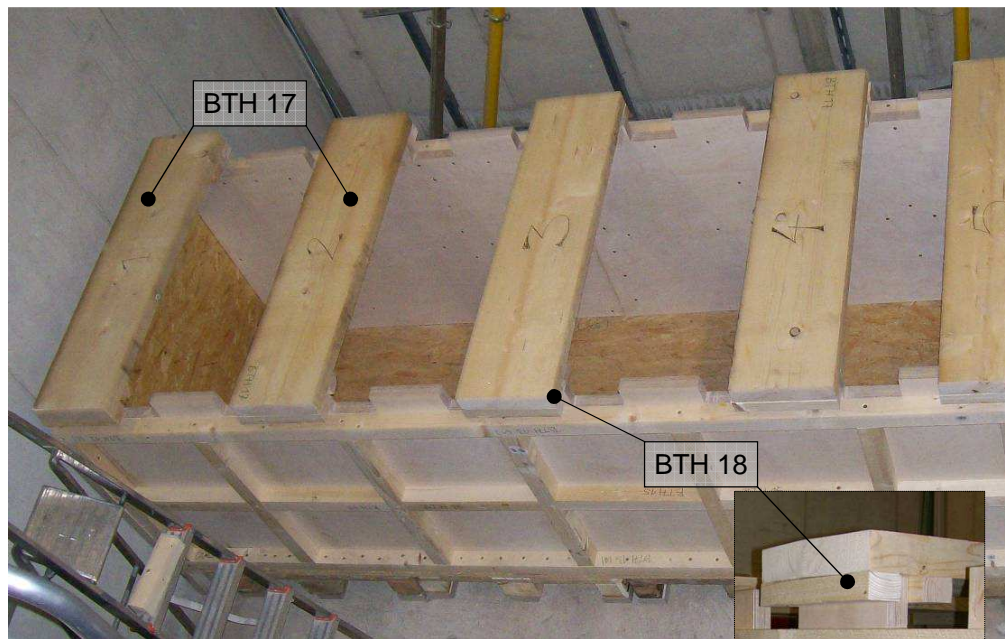


Abb. 3. 8 Querträger auf den Seitenwänden

3.2 Stahlrahmen

Der mobile Stahlrahmen besteht aus zwei Hohlprofilen (BTS 01 und BTS 02), aus zwei Gewindestangen BTS 03 und aus Schraubenmuttern mit Beilagscheiben (VS 01 und VS 02). Der Stahlrahmen umgibt die Holzkonstruktion (Abb. 3. 9). Er wird je nach gewünschter Versuchsposition mittels Portalkran versetzt.

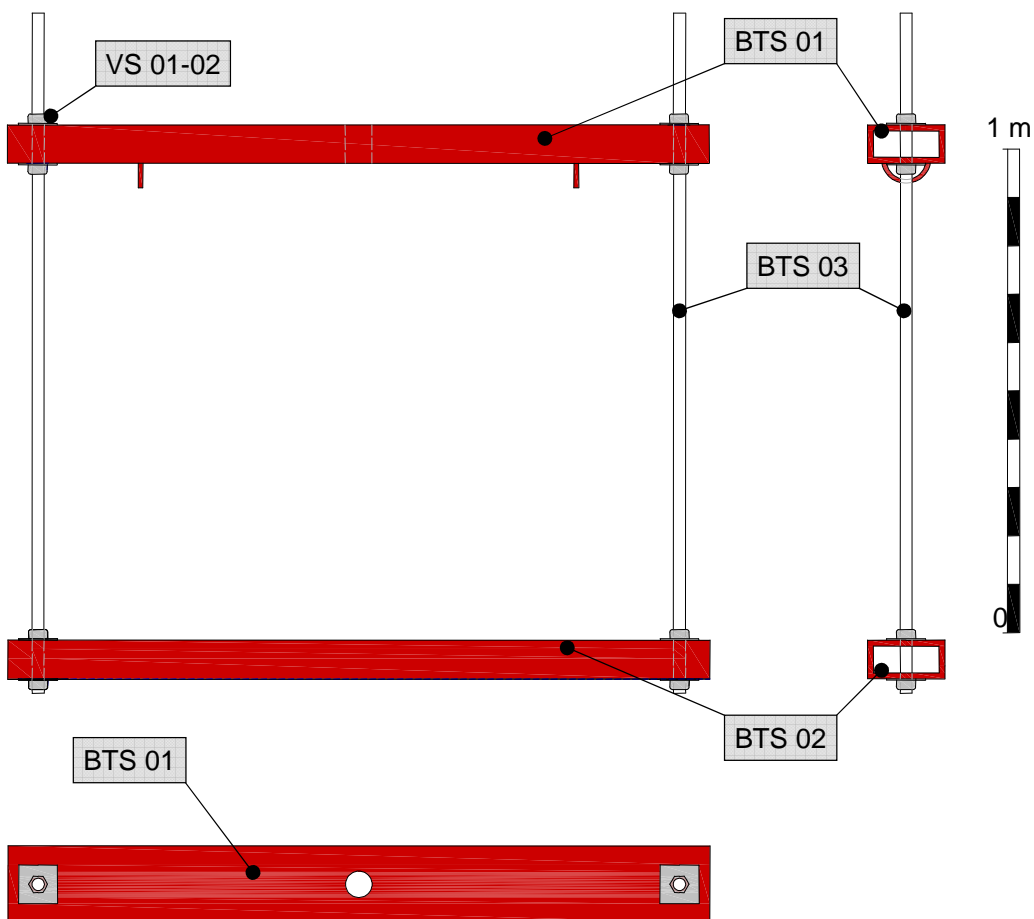


Abb. 3. 9 Seitenansicht und Draufsicht des mobilen Stahlrahmens

3.2.1 Aufbau des Stahlrahmens

Das Hohlprofil BTS 01 wird an zwei Zuggurte ($F_{\max}=2,0 \text{ kN}$) aufgehängt und mit dem Portalkran auf die entsprechende Position gefahren (z.B. Position 1). Es wird auf den Seitenwänden BTH 16 und auf den Kanthölzern BTH 13 aufgelegt. Weiters wird das Hohlprofil BTS 02 unter das Hohlprofil BTS 01 positioniert bzw. unter die Europalette eingerollt. Die beiden Hohlprofile werden mit den zwei Gewindestangen BTS 03, Schraubenmutter VS 01 und Beilagscheiben VS 02 fixiert.

Dabei ist darauf zu achten, dass die Hohlprofile und die Gewindestangen, waagrecht liegen bzw. senkrecht stehen. Die Überprüfung erfolgt mit der Wasserwaage (Abb. 3. 10).

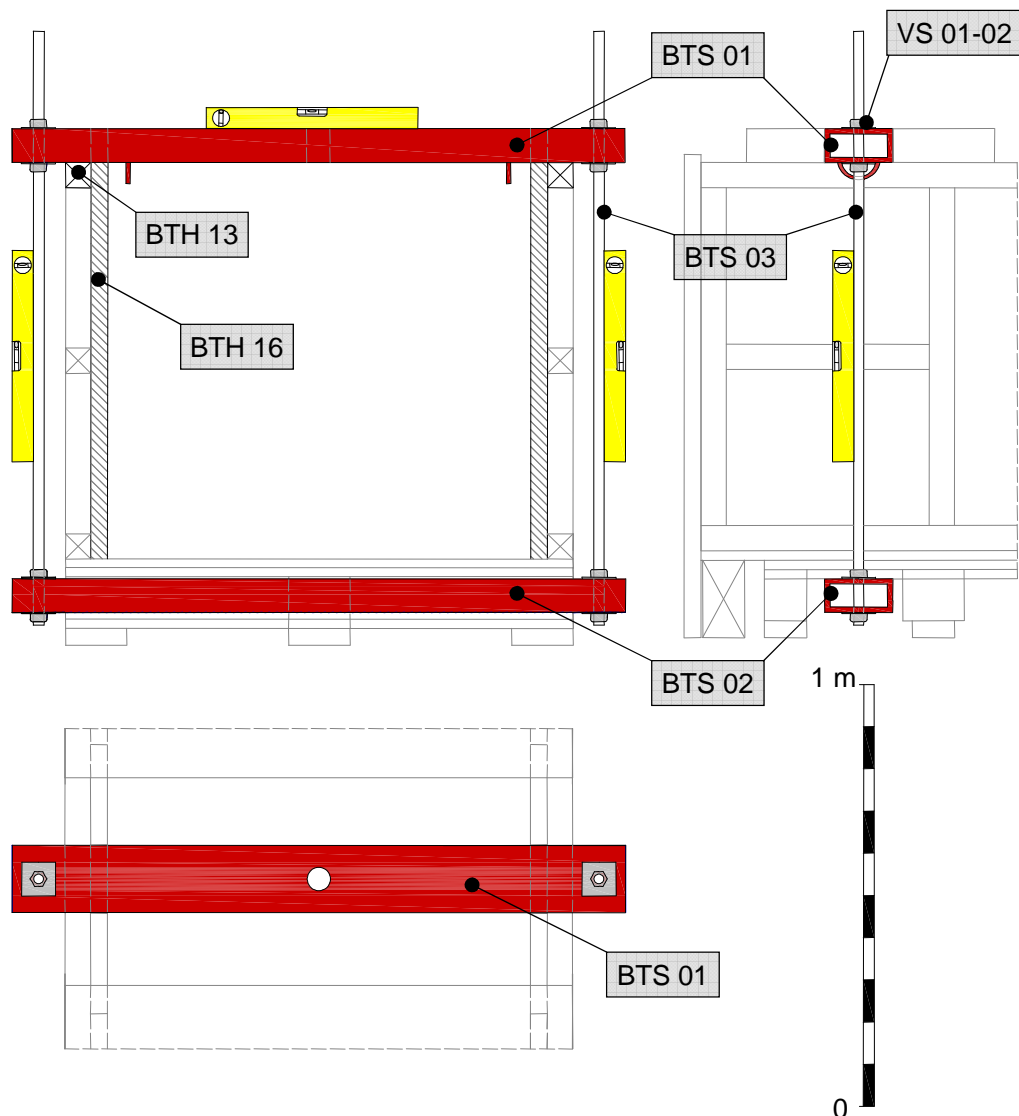


Abb. 3. 10 Aufbau und Ausrichtung des Stahlrahmens

3.2.2 Aufbau der Prüfpresse und der Messgeräte

Auf den Stahlrahmen bzw. auf das Hohlprofil BTS 01 wird mittig eine hydraulische Druckpresse HDP mit vier Schrauben und einer Wegmessuhr WMU 01 befestigt. Unterhalb des Hohlprofils BTS 01 wird ein induktiver Wegaufnehmer IWA 01 montiert. Seitlich an das Hohlprofil BTS 01 werden zwei Wegseilaufnehmer (WSA 02 und WSA 03) angebracht. Weiters wird an das Kantholz bzw. der Seitenwand zwei weitere Wegmessuhren (WMU 02 und WMU 03) angebracht (Abb. 3. 11).

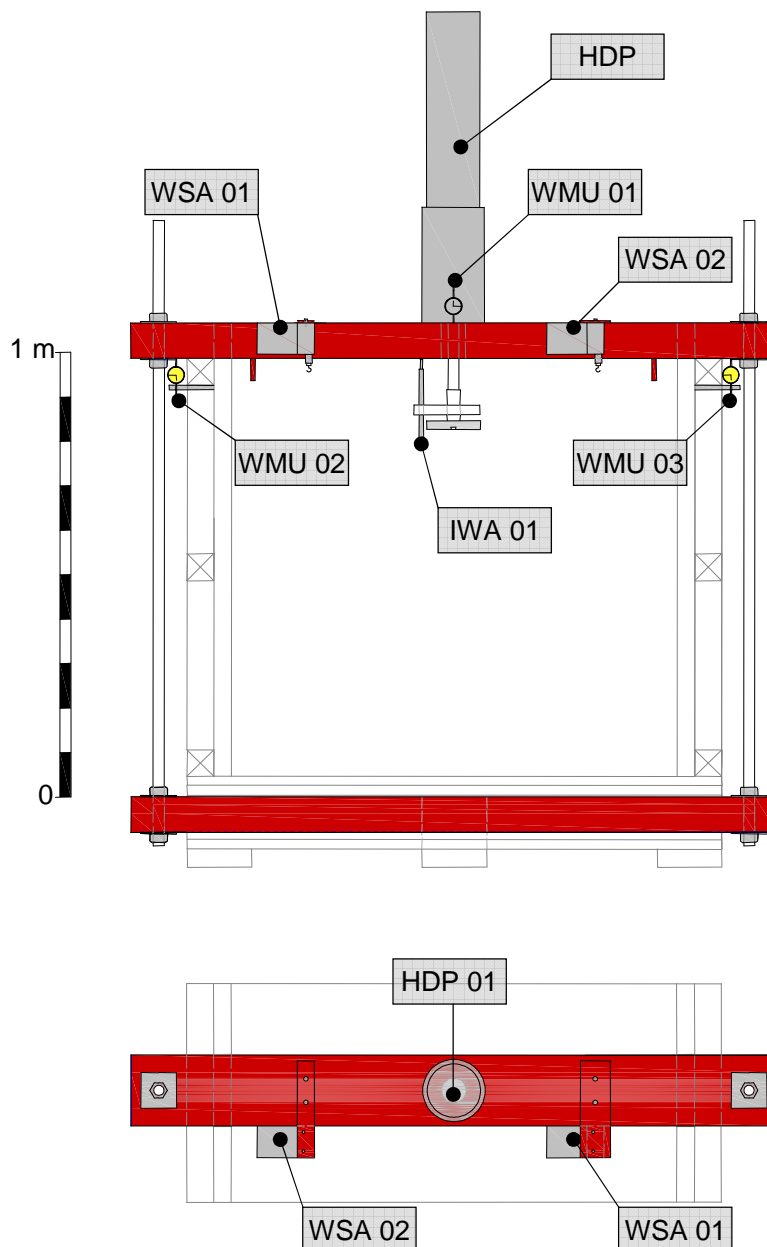


Abb. 3. 11 Aufbau der Prüfpresse und der Messgeräte

3.2.3 Aufhängung der Verdichtungsplatte

Die Verdichtungsplatte BTS 04 wird mit vier Stahlketten BTS 06 am Hohlprofil BTS 01 fixiert. Die Verbindung der Ketten an den angeschweißten Griffen erfolgt mit Karabinern VS 03. Zwischen der Lastplatte und der Verdichtungsplatte liegen ein Verlängerungszylinder BTS 07 und eine Kraftmessdose (Abb. 3. 12).

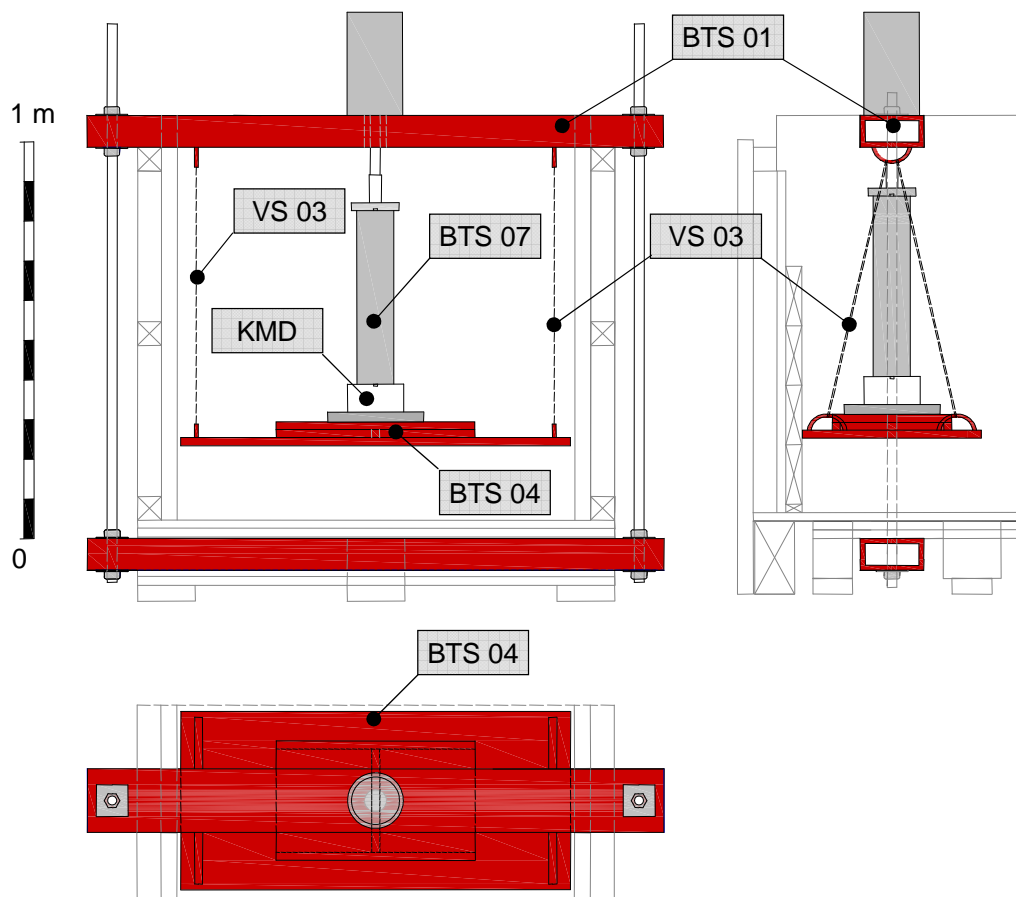


Abb. 3. 12 Seitenansicht und Draufsicht der Verdichtungsplatte

3.3 Vorspanneinrichtung

Die Vorspanneinrichtung dient der Vorspannung des Geokunststoffgitters (GSG) während der Versuche. Sie besteht aus einer kleinen Holzkonstruktion und einer Druck- Zugpresse DZP 01 (Abb. 3. 13). Beim Gebrauch wird sie an die Holzkonstruktion angeschlossen. Die Vorspanneinrichtung stützt sich, bei der Vorspannung des Geokunststoffgitters, gegen die Holzkonstruktion ab.

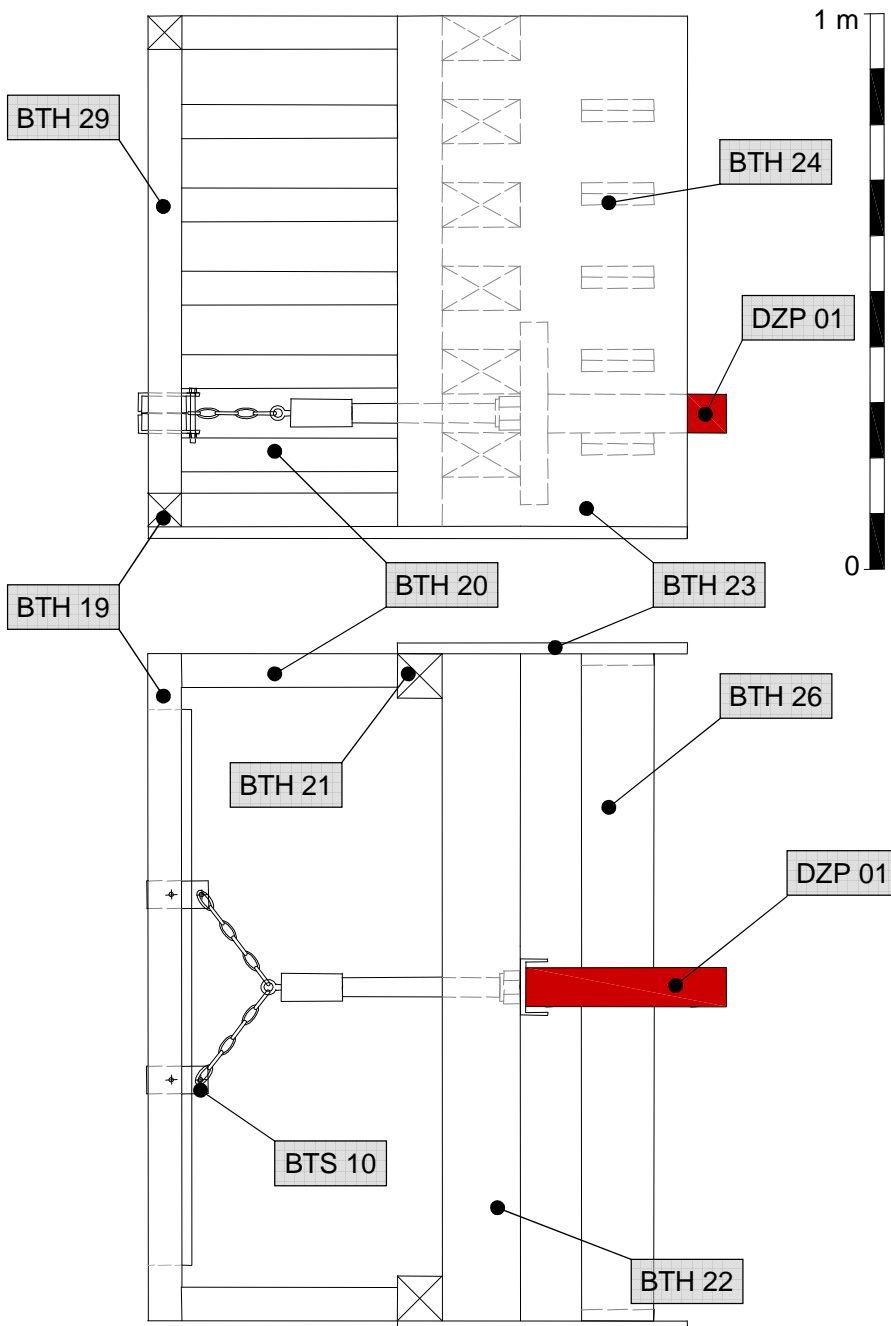


Abb. 3. 13 Seitenansicht und Draufsicht der Vorspanneinrichtung

3.3.1 Aufbau der Vorspanneinrichtung

Die kleine Holzkonstruktion setzt sich hauptsächlich aus einem Holzrahmen, zwei Seitenwänden (OSB-Platten BTH 23) und sechs Querbalken BTH 22 zusammen.

Die Herstellung der Holzkonstruktion beginnt mit dem Holzrahmen. Dieser besteht aus einigen Kanthölzern (BTH 19, BTH 20, BTH 21 und BTH 29). Die Kanthölzer werden mittels Schrauben miteinander verbunden (Abb. 3.14)

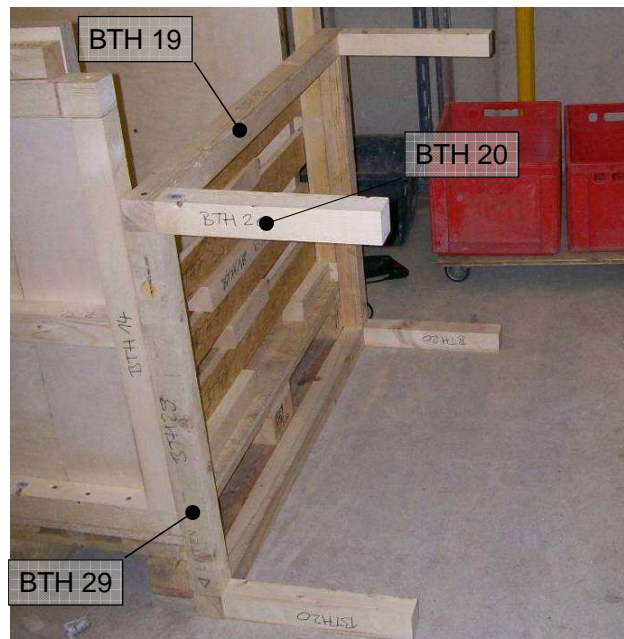


Abb. 3. 14 Aufbau der Vorspanneinrichtung

An den gefertigten Holzrahmen werden zwei OSB-Platten BTH 23 angeschraubt (Abb. 3. 15). Danach werden die Seitenwände (OSB-Platten BTH 23) mit sechs Querbalken BTH 22 verbunden. An die OSB-Platte BTH 23 werden die Pressenaufleger BTH 24 angeschraubt.

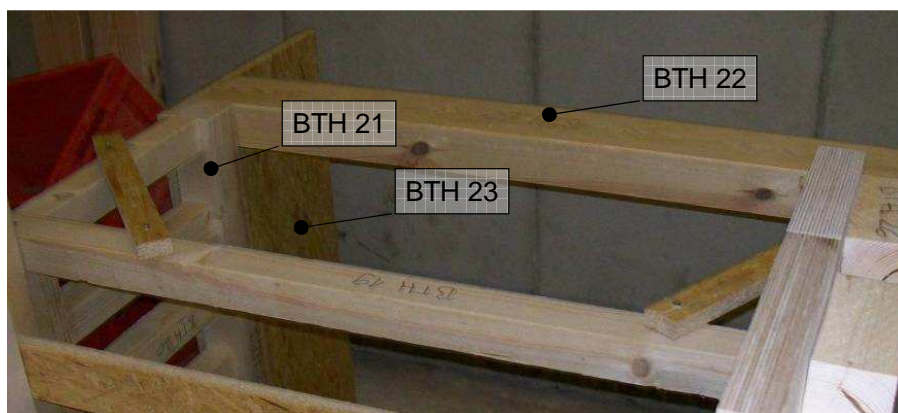


Abb. 3. 15 Teile der Vorspanneinrichtung

3.3.2 Einbau der hydraulischen Druck- und Zugpresse

Als erstes wird der vordere Teil der hydraulischen Druck- und Zugpresse DZP zwischen zwei Querbalken BTH 22 planeben eingelegt. Um die Lagesicherung der Druck- und Zugpresse DZP 01 zu gewährleisten, wird der hintere Teil auf eine Regalstufe BTH 26 gelegt. Je nach Höhenlage der Presse wird das U-Profil so gedreht, dass immer mindestens zwei Querbalken BTH 22 belastet werden (Abb. 3.16).

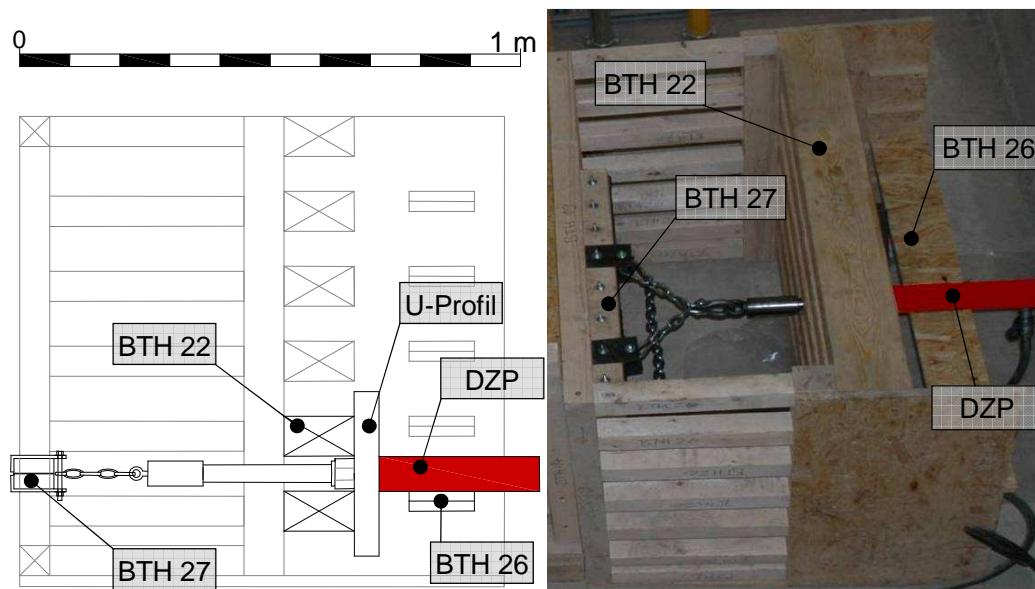


Abb. 3.16 Einbau der hydraulischen Druck- und Zugpresse DZP

3.4 Messtechnik

Bei der Verdichtung und der Durchführung der Last-Verformungsversuche werden verschiedene Messgeräte verwendet. Dabei wird die Druckkraft der Prüfpresse, die Setzungen der Verdichtungsplatte, die Drucklänge der Lastplatte bzw. der Versuchsplatte, die Abhebung und die Biegung des Hohlprofils BTS 01 gemessen.

3.4.1 Kraftmessdose der Versuchsplatte

Die Kraftmessdose KMD und die Versuchsplatte VP 01 kann man als ein Stück betrachten bzw. sind sie miteinander verbunden (Abb. 3.17). Die Kraftmessdose KMD misst die Druckkraft, die von der hydraulischen Druckpresse HDP ausgeübt wird. Die Versuchsplatte VP 01 dient entweder als Druckkraftüberträger auf die Verdichtungsplatte BTS oder als Stempel auf den Schüttstreifen während des Prüfvorgangs.



Abb. 3. 17 Kraftmessdose mit der Versuchsplatte

3.4.1.1 Ausrichtung der Kraftmessdose und Versuchsplatte

Beim Versuch liegt die Kraftmessdose auf der Versuchsplatte. Abhängig ob der Schüttstreifen verdichtet oder geprüft wird, liegt die Kraftmessdose mit der Versuchsplatte entweder auf der Verdichtungsplatte BTS 04 oder auf den verdichteten Schüttstreifen (Abb. 3. 18). Beim Einbau ist darauf zu achten, dass sie senkrecht in einer Achse mit der Lastplatte und dem Verlängerungszyylinder BTS 07 steht.

Sie sollte auch auf einer waagerechten Fläche aufliegen. Überprüft wird die Lage mittels einer Wasserwaage.

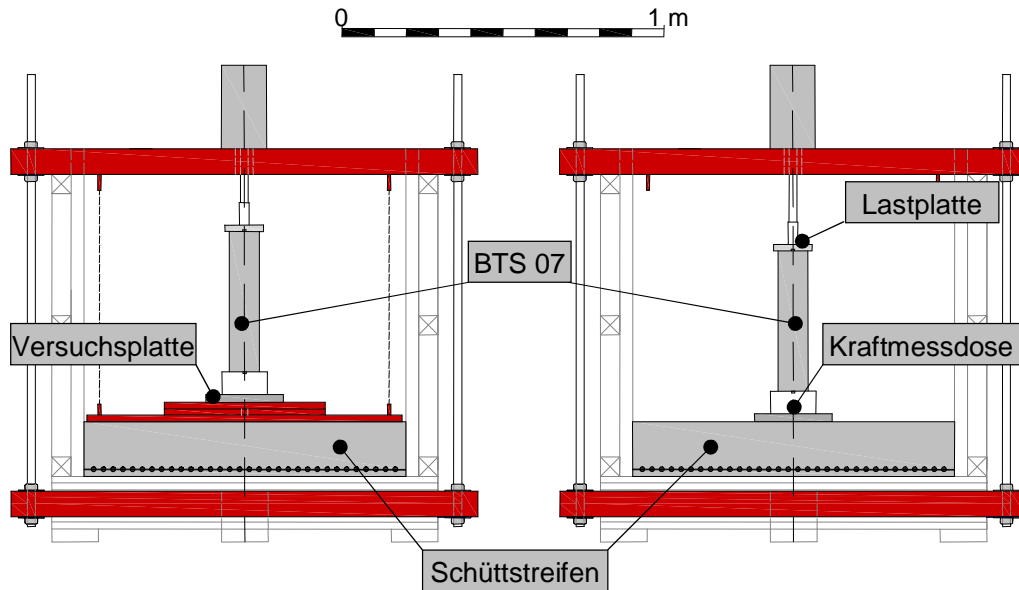


Abb. 3. 18 Ausrichtung der Kraftmessdose mit der Versuchsplatte

3.4.1.2 Technische Daten [17]

Aus den Angaben des Herstellers der Kraftmessdose (PERO Gesellschaft für Mess- und Steuerungstechnik m.b.H) werden folgende technische Daten entnommen:

Gerät	: Kraftaufnehmer KA 50 kN
Seriennummer	: 0801001
Bereich	: 0 - 50 kN
Kalibrierwerte	: 5,105 mV/V bei 50 kN
Anschlussbelegung	: 1-4 Brückenspannung 2-5 Ausgangsspannung

3.4.2 Wegseilaufnehmer

Für die Messung der Setzung der Verdichtungsplatte werden zwei Wegseilaufnehmer (WSA 01 und WSA 02) verwendet. Die zwei Wegseilaufnehmer werden seitlich an das Hohlprofil BTS 01 montiert (Abb. 3. 19). Sie sind an den Datalogger angeschlossen.



Abb. 3. 19 Wegseilaufnehmer

3.4.2.1 Ausrichtung der Wegseilaufnehmer

Sie werden so angebracht, dass der Abstand der Seile zur Mitte des Hohlprofils BTS 01 ident ist (Abb. 3. 20). Die Seile der Wegseilaufnehmer werden mit einem Haken, der sich am Ende des Seiles befindet, an die Verdichtungsplatte BTS 04 angehakt. Wichtig ist, dass die Seile senkrecht hängen, damit die Setzungen möglichst ohne Winkelverdrehung gemessen werden können.

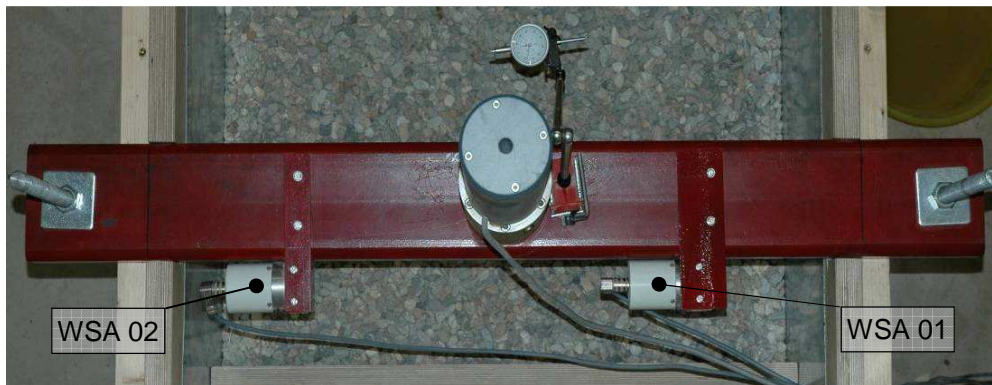
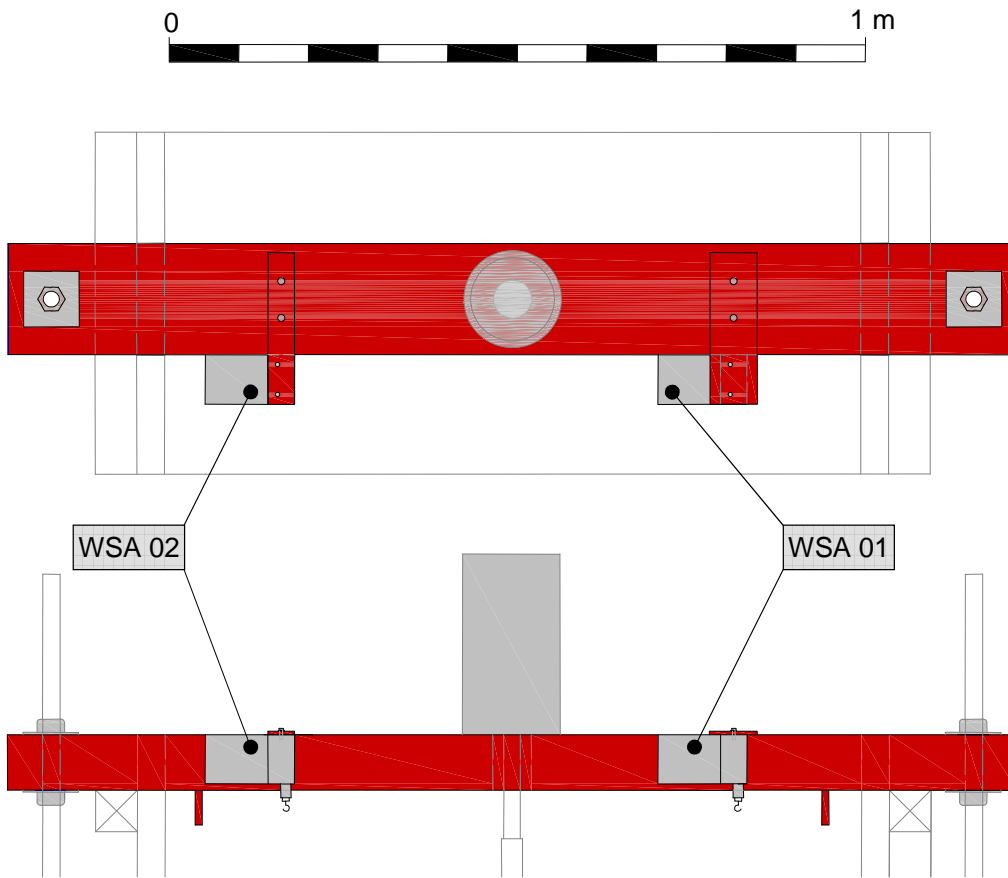


Abb. 3. 20 Ausrichtung des Wegseilaufnehmers

3.4.2.2 Technische Daten [18]

Aus den Angaben des Herstellers des Wegseilaufnehmers (ASM GmbH) werden folgende technische Daten entnommen:

Gerät	: WS 12 – 1500 – R1K – L1G
Seriennummer	: 20000862227
Messlänge	: 0 - 1500 mm
Empf.	: 0,6170 mV/V/mm
Linearitätsabweichung	: bis $\pm 0,05\%$ von Bereich
Sensorelement	: Präzisions-Potentiometer
Material	: Aluminium und Edelstahl, Messseil: Edelstahl
Schutzart	: IP67 (nur in Verbindung von Gegenstecker)
Elektrischer Anschluss	: Flanschstecker M12, 8-polig
Gewicht	: 1,0 kg
Max. Auszugskraft	: 10,4 N
Max. Einzugskraft	: 6,4 N

3.4.3 Induktiver Wegaufnehmer

Für die Setzung der Verdichtungsplatte BTS 04 und für die Absenkung der Lastplatte bzw. Versuchsplatte wird ein induktiver Wegseilaufnehmer IWA verwendet (Abb. 3. 21).



Abb. 3. 21 Induktiver Wegaufnehmer

3.4.3.1 Ausrichtung des induktiven Wegaufnehmers

Der induktive Wegaufnehmer IWA 01 wird an der Lastplatte angebracht. Während der Verdichtung und des Versuches drückt er gegen den Querriegel BTH 17 (Abb. 3. 22). Das heißt, der Messweg ergibt sich bei Einfahren oder bei Ausfahren des Tauchankers. Dabei ist darauf zu achten, dass der induktive Wegseilaufnehmer IWA 01 senkrecht zur Hauptachse steht.

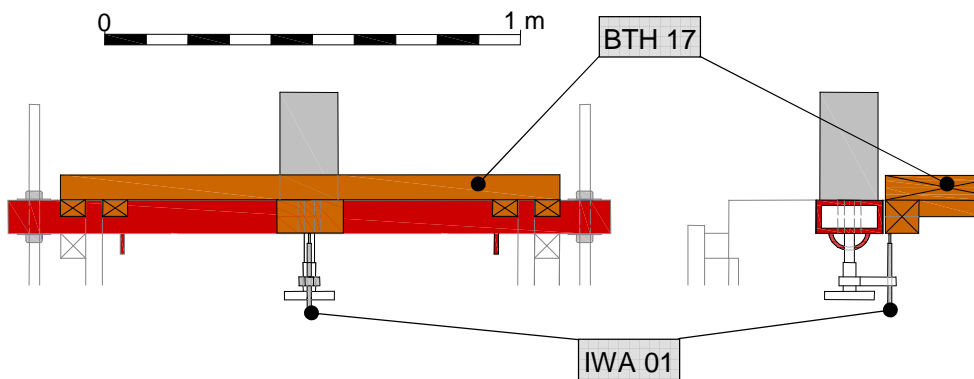


Abb. 3. 22 Ausrichtung des Wegaufnehmers

3.4.3.2 Technische Daten [15]

Gerät	: WA 50
Nennmessweg	: 0 – 50 mm
Nennkennwert	: 80 mV/V
Linearitätsabweichung	: $\leq \pm 0,2 \%$
Gebrauchstemperatur	: -25 bis +80 °C
Masse	: des Aufnehmerkörper: 68 g
	: des Tauchanker: 9 g

3.4.4 Wegmessuhr

Die Wegmessuhren (WMU 01, WMU 02 und WMU 03) werden verwendet um die Biegung und die Abhebung des Hohlprofils BTS 01 zu messen (Abb. 3. 23). Die Messwerte auf der Messuhr werden abgelesen und in einem Messprotokoll aufgeschrieben.



Abb. 3. 23 Wegmessuhr

3.4.4.1 Ausrichtung der Wegmessuhren

Die Wegmessuhr WMU 01 wird mittig auf das Hohlprofil BTS 01 angebracht um eine eventuelle Biegung zu messen. Der Tauchanker wird gegen den Querriegel BTH 17 gedrückt. Die beiden anderen Wegmessuhren (WMU 02 und WMU 03) werden an die Kanthölzer BTH 13 angebracht. Der Tauchanker drückt gegen das Hohlprofil BTS 01 (Abb. 3. 24).

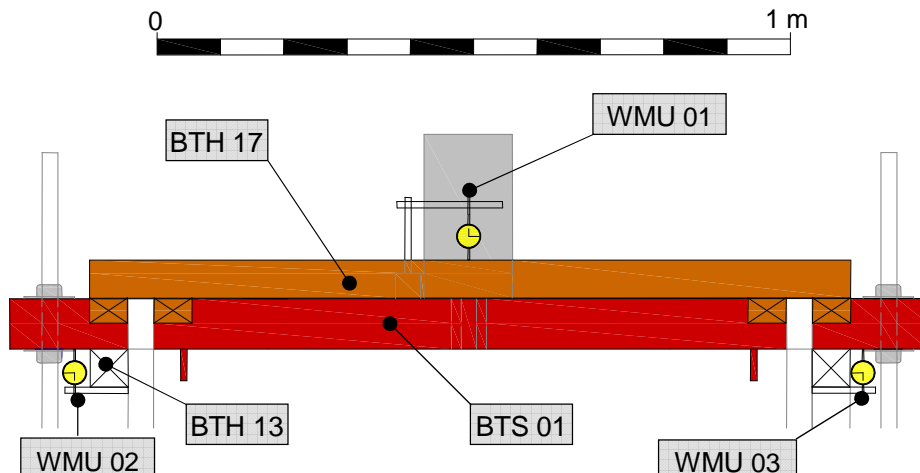


Abb. 3. 24 Ausrichtung der Wegmessuhren

3.5 Prüfpresse

Für den Versuch werden zwei hydraulische Pressen verwendet. Eine hydraulische Druckpresse HDP befindet sich auf dem Hohlprofil BTS 01, die zweite hydraulische Druck- und Zugpresse DZP befindet sich in der Vorspanneinrichtung.

3.5.1 Hydraulische Druckpresse HDP

Die hydraulische Druckpresse HDP stammt von der Firma PERO GESELLSCHAFT FÜR MESSTECHNIK UND STEUERUNGSTECHNIK m.b.H (Abb. 3. 25). Bei der Versuchsdurchführung wird sie für das Verdichten und für das Prüfen der Schüttstreifen verwendet.

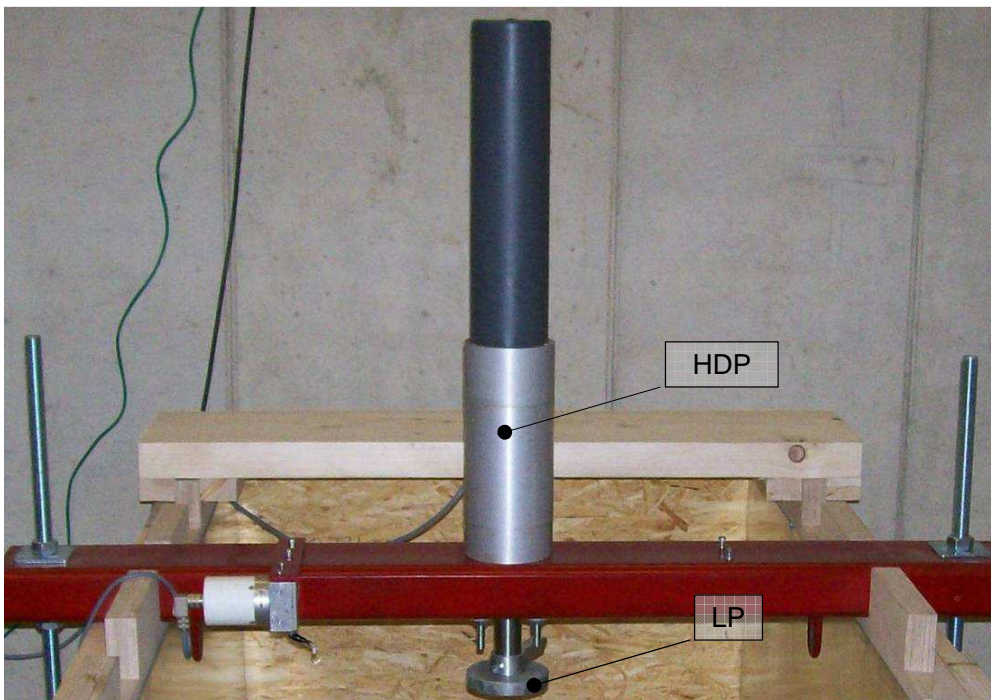


Abb. 3. 25 Hydraulische Druckpresse HDP

Die maximale Kraft der Presse (laut Hersteller) sollte 50 kN nicht überschreiten. Sollte der erforderliche Motorstrom um 5% für eine Last von 50 kN überschritten werden, schaltet sich die Überlastsicherung der Pressesteuerung ein und die Pressensteuerung schaltet den Vorschub aus. [17]

Die Druckkraft wirkt über die Lastplatte LP und den Verlängerungszylinder auf die Verdichtungsplatte BTS 04 bzw. auf die Versuchsplatte.

3.5.1.1 Ausrichtung der hydraulischen Druckpresse HDP 01

(siehe Kap. 3.2.2)

3.5.1.2 Antriebssteuerung [17]

Die Antriebssteuerung GS-MOT oder GS-MOT A misst die Drehzahl des Motors über das Ausgangssignal des Tachogenerators und liefert die elektrische Antriebsenergie in der Weise an den Motor, dass die Drehzahl konstant bleibt und dem eingestellten Wert entspricht. Damit wird die Winkelgeschwindigkeit der Sondenflügel bzw. der Vorschub lastunabhängig (Abb. 3. 26).



Abb. 3. 26 Vorder- und Hinteransicht der Antriebssteuerung

Die Antriebsteuerung GS-MOT enthält folgende Frontelemente:

- digitale Drehanzeige, kalibriert in %sec bzw. mm /min
- Schalter VOR-STOP-RÜCK
- Schalter Bereich 1, 2, 3, 4
- Geschwindigkeitsregler

3.5.1.3 Technische Daten [17]

Gerät	: Prüfpresse
Max. Kraft	: bis 50 kN
Vorschubgeschwindigkeit	: 0,002 – 20,00 mm/min
Hub	: 100 mm
Probenhöhe einstellbar	: bis 250 mm

3.5.2 Hydraulische Druck- und Zugpresse DZP

Der Hersteller der hydraulische Druck- und Zugpresse DZP ist die Firma ENERPAC aus den USA (Abb. 3. 27). Bei dem Versuch dient die hydraulische Druck- und Zugpresse DZP, zum ziehen des Geokunststoffgitters auf die entsprechende Dehnlänge vorzuspannen. Am Schlauch ist eine Messuhr angeschlossen, die die Druck- und Zugspannung misst. Das Aufpumpen des Druck- und Zugzylinders erfolgt mechanisch.



Abb. 3. 27 Hydraulische Druck- und Zugpresse

3.5.2.1 Ausrichten der hydraulischen Druck- und Zugpresse DZP

(siehe Kap. 2.3.1)

3.5.2.2 Technische Daten

Gerät	: Druck- und Zugpresse
Model - Nr.	: 168 OL2
Max. Vorschub	: 250 mm
Max. Druckkraft	: 36 kN
Max. Zugkraft	: 12 kN

3.6 Datenerfassung

Die Messdaten, vom Wegaufnehmer (WSA 01, WSA 02 und IWA 01) und von der Kraftmessdose KMD, werden mit dem Datalogger erfasst und dann an den PC gesendet. Die Messdaten werden mit dem Programm Catman aufgezeichnet und archiviert.

3.6.1 Datalogger

Für die Messdatenerfassung wird ein Datalogger (Typ Spider 8), von der Firma Hottinger Baldwin Messtechnik (HBM), verwendet (Abb. 3. 28)

Der Spider 8 ist eine PC-Messelektronik für das elektrische Messen mechanischer Größen wie Dehnungen, Kräfte, Drücke, Wege, Beschleunigung und Temperaturen. Die gesamte Signalkonditionierung – Speisung für passive Aufnehmer und Verstärkung, Digitalisierung, Rechnerinterface und Anschlusstechnik für maximal 8 Kanäle – ist in einem Gehäuse vereinigt. Der Spider 8 wird über den Druckeranschluss oder über eine RS-232-Schnittstelle an den Rechner angeschlossen. Alle erforderlichen Einstellungen werden vom Rechner per Befehl vorgenommen. [15]

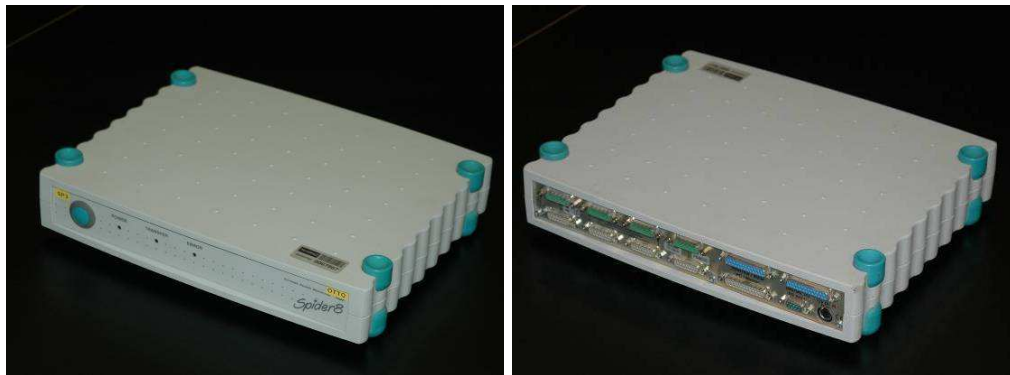


Abb. 3. 28 Vorder- und Hinteransicht des Dataloggers

3.6.2 Software

Für die Verarbeitung der Messdaten, die vom Datalogger an den Rechner geschickt werden, wird das Programm „Catman 5.0“ verwendet. Catman 5.0 ist ein Softwareprogramm zum Erfassen, Auswerten, Speichern und Darstellen von Messdaten mit unterschiedlichen Geräten und Messraten. Das Programm Catman 5.0 unterstützt folgende Funktionsblöcke:

- Gerätekalibrierung
- Messwernerfassung
- Prozess-Steuerung
- Daten- und Prozessvisualisierung
- Datenanalyse
- Reportgenerierung [15]

Die Messwerte werden sofort in fertigen Grafikfenstern visualisiert (Abb. 3.29).

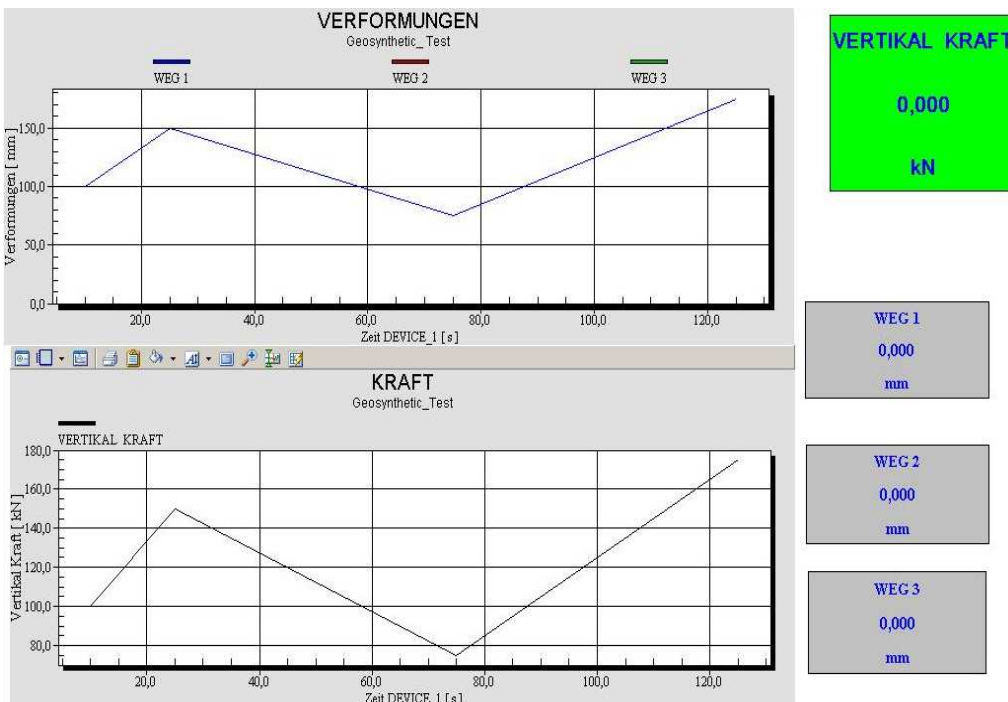


Abb. 3. 29 Grafikfenster im Programm Catman

Das Format für die Datenspeicherung ist in diesem Fall wählbar. Möglich ist die direkte Übertragung der Daten in eine Excel-Tabelle.

4 Versuchsmaterial

In dem nachfolgenden Kapitel werden die Versuchsmaterialien beschrieben, verglichen und ausgewählt. Es handelt um das Schüttmaterial und um ein Geokunststoffgitter.

4.1 Schüttmaterial

Für das Schüttmaterial werden zwei unterschiedliche Kiessorten in Betracht gezogen. Beide Kiessorten werden in den Vorversuchen einigen Tests untergezogen. Die Kiese werden von der Firma SCHOTTER- UND BETONWERK KARL SCHWARZL BETRIEBSGESELLSCHAFT m.b.H besorgt.

- Gewaschenes Kantkorn (laut Verkäufer: Splitt gew. 8/16)

Bei dem Kies handelt es sich um Kantkorn mit einem mittlerem Korndurchmesser von 8 bis 16 mm (Abb. 4. 1)



Abb. 4. 1 Gewaschenes Kantkorn

- Gewaschenes Rundkorn (laut Verkäufer: Rundkorn gew. 8/16)

Bei dem gewaschenen Kies handelt es sich um Rundkorn mit einem mittlerem Korndurchmesser von 8 bis 16 mm (Abb. 4. 2).

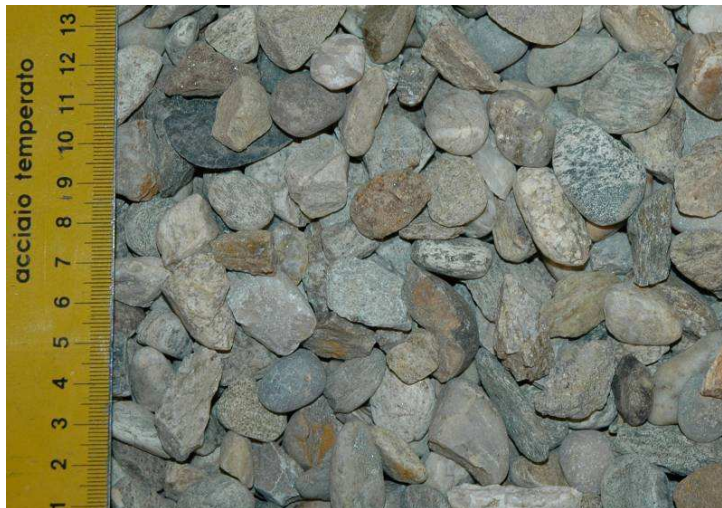


Abb. 4. 2 Gewaschenes Rundkorn

4.1.1 Vergleichskriterien Kantkorn- und Rundkorn

Bei dem Vergleich zwischen Kant- und Rundkorn wird auf zwei wichtige Kriterien geachtet. Und zwar handelt es sich um den Schüttwinkel des Kiesel und um das Setzungsverhalten eines Schüttkegels nach der entsprechenden Belastung (Abb. 4. 3).

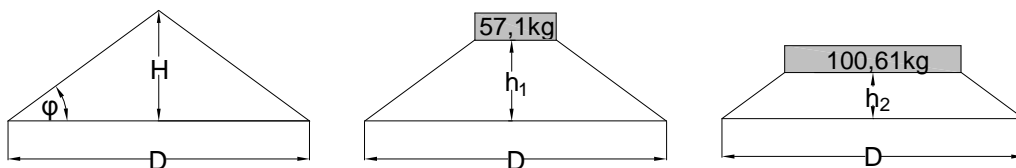


Abb. 4. 3 Schüttwinkel und Setzung des Schüttkegels

4.1.2 Vergleichsdurchführung

Bei der Vergleichsdurchführung werden drei verschiedene Varianten des Schüttkegels geprüft.

- Schüttkegel lose d.h. ohne Geokunststoffgitter (Abb. 4. 4)



Abb. 4. 4 Schüttkegel ohne Geokunststoffgitter

- Schüttkegel mit Geokunststoffgitter am Boden (Abb. 4. 5)



Abb. 4. 5 Schüttkegel mit Geokunststoffgitter am Boden

- Schüttkegel mit Geokunststoffgitter 2,5 cm über dem Boden (Abb. 4. 6)



Abb. 4. 6 Schüttkegel mit Geokunststoffgitter 2,5 cm über dem Boden

Anhand der Tabelle 4. 1 kann man erkennen, dass das Geokunststoffgitter, egal ob es auf dem Boden liegt oder 2,5 cm über dem Boden, den Schüttwinkel erhöht und die Setzung vermindert. In beidem Fällen hat der Schüttkegel mit Geokunststoffgitter 2,5 cm über den Boden, den größten Schüttwinkel und die kleinste Setzung. Daher fiel die Entscheidung für die Variante mit den Geokunststoffgitter 2,5 cm über dem Boden.

Bei dem Vergleich Kant- und Rundkorn, mit den Geokunststoffgitter 2,5 cm über dem Boden, kann man aus der Tabelle 4. 1 erkennen, dass der Schüttwinkel von Kantkorn etwas höher ist als von Rundkorn, aber die Setzungen fast gleichwertig sind. Dies zeigt, dass das Geokunststoffgitter eine größere Wirkung bei Rundkorn hat .

Lose - Kies ohne Geokunststoffgitter

GSG - Geokunststoffgitter am Boden

GSG* - Geokunststoffgitter 2,5 cm über den Boden

		Kantkorn			Rundkorn		
		Lose	GSG	GSG*	Lose	GSG	GSG*
1	Durchmesser D [cm]	59,5	58,5	58,5	58,0	58,0	58,0
2	Schüttwinkel $[\varphi]$	36,5	37,6	38,2	35,3	36,0	36,6
3	Höhe H [cm]	22,0	22,5	23,0	20,5	21,0	21,5
4	Höhe h_1 [cm] Belastung 57,10 kg	13,0	14,5	15,0	11,0	12,5	14,0
5	Setzung in [cm] Belastung 57.1 kg	9,0	8,0	8,0	9,5	8,5	7,5
6	Setzung in [%] Belastung 57.1 kg	40,9	35,6	34,8	46,3	40,5	34,9
7	Höhe h_2 [cm] Belastung 100,61 kg	12,5	13,0	14,0	10,5	11,7	13,0
8	Setzung in [cm] Belastung 100.61 kg	9,5	9,5	9,0	10,0	9,3	8,5
9	Setzung in [%] Belastung 100.61 kg	43,2	42,2	39,1	48,8	44,3	39,5

Tab. 4. 1 Vergleichstabelle Kant- und Rundkorn

An Hand dieser Resultate kann man annehmen, dass die Wirkung des Geokunststoffes bezogen auf das Setzungsverhalten, bei Rundkorn größer ist als bei Kantkorn.

Aus diesem Grund wird das Rundkorn für die Versuche verwendet.

4.1.3 Allgemeine Beschreibung

Das verwendete Material (Rundkorn gew. 8/16) wurde bei einem nahe gelegenen Schotter- und Betonwerk besorgt. Für den Versuch wurde 1 m³ gewaschenes Rundkorn benutzt. Das Rundkorn wurde in 40 kg Säcken geliefert.

4.1.4 Bodenmechanische Eigenschaften des gewaschenen Rundkorns

Um die bodenmechanischen Eigenschaften des verwendeten Materials (Rundkorn gew. 8/16) festzustellen, wurde das Material im Labor des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau folgenden Untersuchungen unterzogen:

- Korngrößenverteilung
- Kornform
- Korndichte
- Wassergehalt
- Porenanteil und Lagerungsdichte
- Scherparameter

4.1.4.1 Korngrößenverteilung

Die Korngrößenverteilung des verwendeten Materials (Rundkorn gew. 8/16), wird durch die Siebanalyse ermittelt.

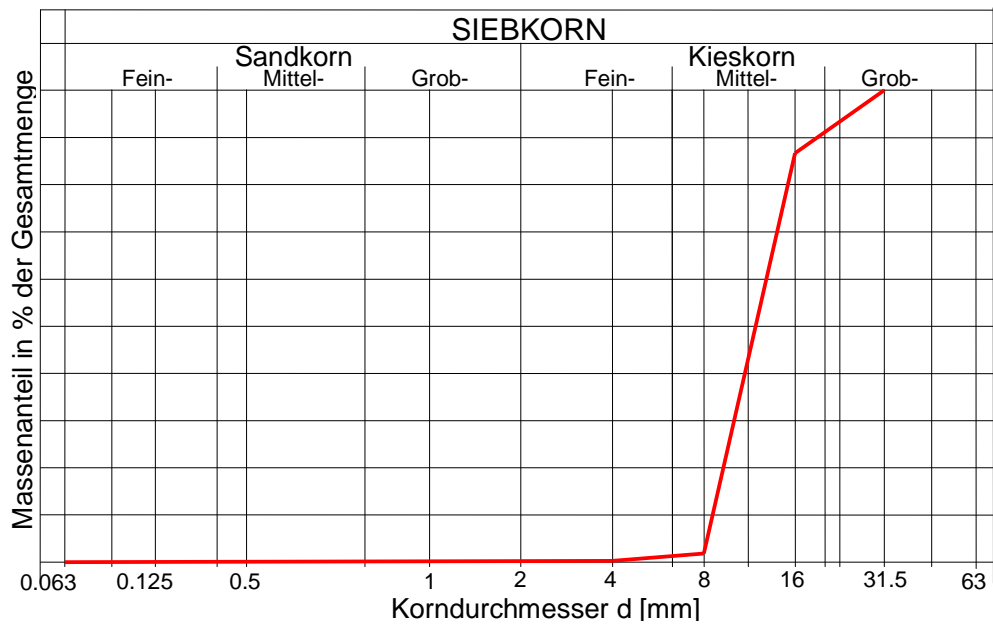


Abb. 4. 7 Siebcurve des gewaschenen Rundkorns

Die Anteile der Kornfraktion sind aus der Siebcurve ersichtlich (Abb. 4. 7). Die genauen Werte sind in der Tabelle 4. 2 dargestellt:

Mittlerer Durchmesser des Rundkorns [mm]	0 - 8,0	8,0 - 16,0	16,0 - 31,5	31,5- 63,0
Anteil [%]	2,9	86,9	10,2	0

Tab. 4. 2 Anteile der Kornfraktion

4.1.4.2 Kornform

Für einzelne Körner des verwendeten Materials (Rundkorn gew. 8/16), wird mit dem Kornform-Messschieber die Länge L und Breite B festgestellt und über diese Weite das Material in Kornformklassen eingeteilt. Der Massenanteil der Kornformklasse S ($L/B > 3$, d.h. nicht-kubisch) wurde bestimmt. Der Prozentsatz der ungünstig geformten Körner (nicht kubisch) wird mit der Kornformkennzahl SI bestimmt. In diesen Fall beträgt die Kornformkennzahl $SI = 14\%$.

$$SI = \frac{M_2}{M_1} \cdot 100\% = \frac{138,2}{1000} \cdot 100\% = 13,82\% \approx 14\%$$

Die Rundung des Kornes ist angerundet bis gerundet und die Oberfläche ist rau.

4.1.4.3 Korndichte

Die Korndichte des verwendeten Materials (Rundkorn gew. 8/16), wurde an einer Probe ermittelt. Die Korndichte des Rundkorns beträgt $\rho_s = 2,639 \text{ g/cm}^3$ (Tab. 4. 3)

Volumen Pyknometer	V [cm ³]	3405
Masse: Pyknometer + Wasser	m ^t [g]	3551,5
Masse: Wasser + Probe	m _P [g]	6377
Trockenmasse: Probe + Tara	m _d +T [g]	4696
Tara	T [g]	146,5
Trockenmasse: Probe	m _d [g]	4549,5
Bodenvolumen (n _w =1) (m ^t +m _d -m _P)/n _w	V _{bod} [cm ³]	1724
Korndichte: m _d /V _{bod}	ρ _s [g/cm ³]	2,639

Tab. 4. 3 Korndichte des Rundkorns

4.1.4.4 Wassergehalt

Der natürliche Wassergehalt des verwendeten Materials (Rundkorn gew. 8/16), wurde an drei Proben ermittelt. Der natürliche Durchschnittswassergehalt beträgt $w = 0,38 \%$ (Tab. 4. 4).

	Behälter 1 (Lila)	Behälter 2 (Gelb)	Behälter 3 (Grün)
m_f+m_b [g]	2276	2438,4	2479,5
m_d+m_b [g]	2270,7	2433,1	2464,2
m_b [g]	172	172,7	171,2
m_f [g]	2104	2265,7	2308,3
m_d [g]	2098,7	2260,4	2293
m_w [g]	5,3	5,3	15,3
w [%]	0,25	0,23	0,67
	0,38		

Tab. 4. 4 Wassergehalt des Rundkorns

4.1.4.5 Porenanteil und Lagerungsdichte

Der Porenanteil und die Lagerungsdichte des verwendeten Materials (Rundkorn gew. 8/16), wurde an drei Proben ermittelt. Dabei wurde der lockerste und dichteste Porenanteil festgestellt. Der lockerste Durchschnittsporenanteil beträgt $n_{d,locker} = 43,10 \%$ und der dichteste Durchschnittsporenanteil beträgt $n_{d,dicht} = 39,90 \%$ (Tab. 4.5).

Die durchschnittliche Lagerungsdichte D der Proben beträgt 0,46 (Tab. 4. 5). Das heißt dass die Lagerung des Rundkorn einer mitteldichten Lagerung entspricht.

	Behälter 1 (Lila)		Behälter 2 (Gelb)		Behälter 3 (Grün)	
	Locker	Dicht	Locker	Dicht	Locker	Dicht
d [cm]	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2	25,2
A [cm ²]	498,76	498,76	498,76	498,76	498,76	498,76
h [cm]	21,15	20,11	21,37	20,25	21,12	19,89
V [cm ³]	10548,8	10030,1	10658,5	10099,9	10533,8	9920,3

m+m _b [g]	16144,8	16144,8	16481	16481	16372	16372
m _d +m _b [g]	16104,1	16104,1	16442,4	16442,4	16263,5	16263,5
m _b [g]	381,8	381,8	383,5	383,5	382,3	382,3
m [g]	15763	15763	16097,5	16097,5	15989,7	15989,7
m _d [g]	15722,33	15722,33	16058,95	16058,95	15881,18	15881,18

w [%]	0,25	0,25	0,23	0,23	0,67	0,67
ρ_s [g/cm ³]	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639
n [%]	43,52	40,60	42,91	39,75	42,87	39,34
$n_{d,locker}$ [%]	43,10					
$n_{d,dicht}$ [%]	39,90					
e _o	0,77	0,68	0,75	0,66	0,75	0,65
ρ [g/cm ³]	1,494	1,571	1,510	1,594	1,518	1,612
ρ_d [g/cm ³]	1,490	1,568	1,507	1,590	1,508	1,601
D [-]	0,64		0,40		0,35	
	0,46					

Tab. 4. 5 Porenanteil und Lagerungsdichte

4.1.4.6 Scherparameter

An dem verwendeten Material (Rundkorn 8/16), wurden zwei direkte Scherversuche (300 x 300 mm) durchgeführt. Dabei wurden Scherparameter wie z.B. Reibungswinkel, Kohäsion und Restscherwinkel ermittelt. Der Reibungsscherwinkel φ' beträgt $40,1^\circ$, die Kohäsion c' beträgt $3,1 \text{ N/cm}^2$ und der Restscherwinkel φ_r beträgt $35,2^\circ$ (Abb. 4. 8).

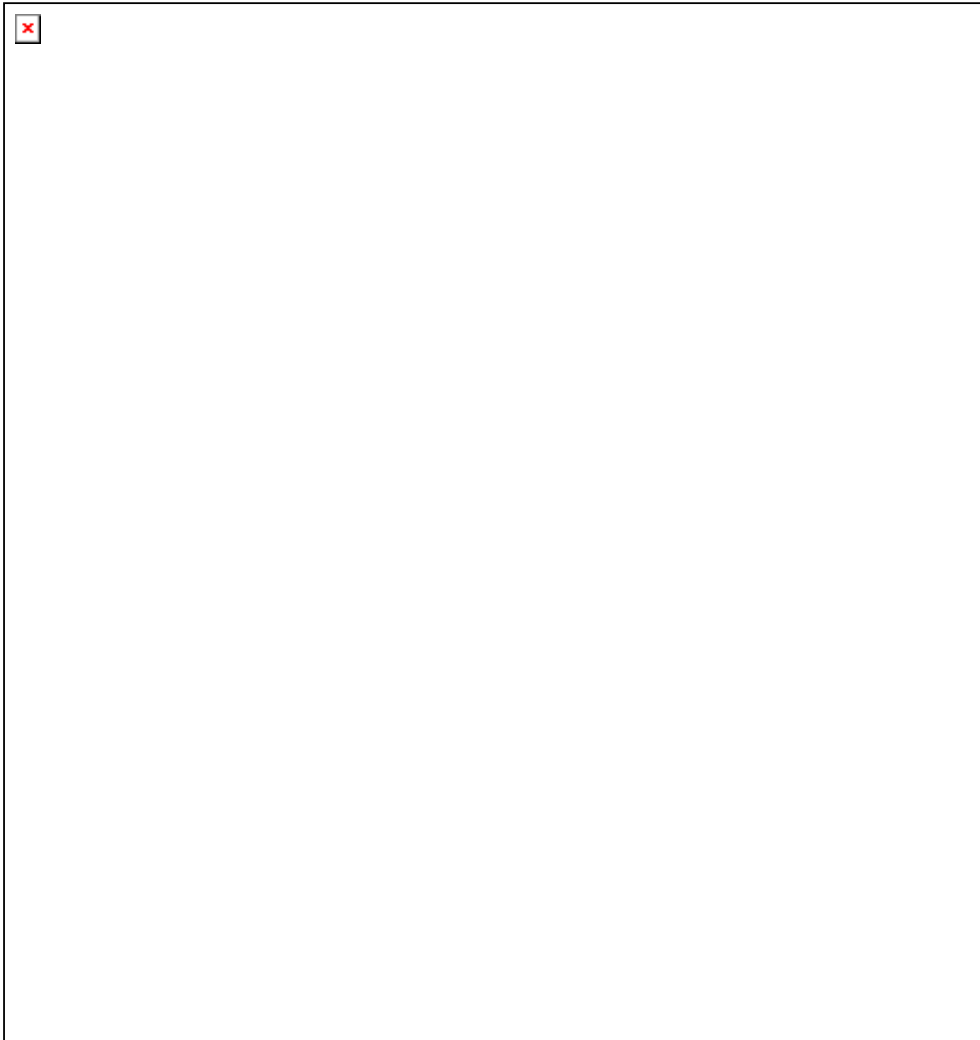


Abb. 4. 8 Scherparameter

4.2 Geokunststoffgitter

Für den Versuch wird ein spezielles Geokunststoffgitter verwendet. Es handelt sich um ein zweiachiales Fortrac-Geogitter 50/50-20 T von der Firma HUESKER Synthetic GmbH&Co (Abb. 4. 9).



Abb. 4. 9 Fortrac® Geogitter

4.2.1 Herstellung und Verwendung

Das Fortrac® Geogitter wird aus hochmodulen Polyestergarnen hergestellt und mit einer Polymer-Schutzschicht beschichtet. Die Polymerumhüllung der Fortrac® Geogitter bietet Schutz gegen Beschädigungen beim Einbau und dem Betrieb der kunststoffbewehrten Erde (KBE) Konstruktion. Als Rohstoff für Fortrac® Geogitter werden Polyester (PET), Aramid (AR) oder auch Polyvinylalkohol (PVA) und Polypropylen (PP) verwendet. Die Wahl des Rohstoffs hängt von verschiedenen Faktoren ab. Dazu gehören z.B. die Nutzungsdauer des zu erstellenden Bauwerks, die zulässigen Verformungen, Kriecheigenschaften der verwendeten Rohstoffe sowie insbesondere das chemische Milieu (pH-Wert) des Bodens. Sie werden in verschiedenen Standardtypen für einaxiale und zweiachiale Beanspruchungen mit Festigkeiten von 20 kN/m bis 250 kN/m und mit Maschenweiten von 10 mm bis 50 mm hergestellt. [7]

4.2.2 Materialeigenschaften des verwendeten

Geokunststoffgitters

Für die Versuchsreihe, die im Labor des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau statt findet, wird ein Fortrac® 50/50-20 T Geogitter verwendet. Fortrac® 50/50-20 T ist ein gewebtes Geogitter, das für zweiaxiale Beanspruchung mit Festigkeiten bis 50 kN/m hergestellt wurde und eine quadratische Maschenweite von $w=20$ mm besitzt. Die Bruchdehnung für alle Fortrac®-Geogitter beträgt 12,5 % (Abb. 4. 10).

Das Geogitter wird standardmäßig mit Rollenabmessungen von 5,0 m Breite hergestellt.

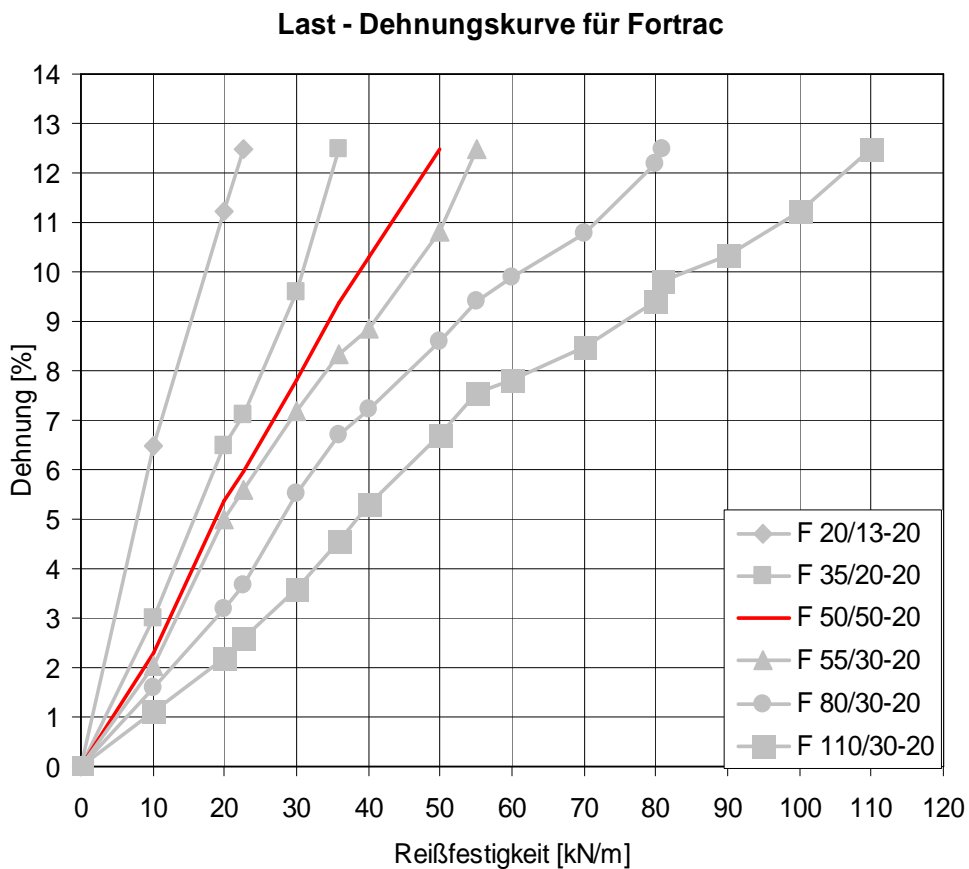


Abb. 4. 10 Last-Dehnungskurve für Fortrac-Geokunststoffgitter

Das verwendete Geokunststoffgitter wird einem Gebrauchstauglichkeitsnachweis unterzogen. Dabei wird die vom Händler angegebene Kurzzeitfestigkeit ($r_{\min} = 50 \text{ kN/m}$) auf die Bemessungszugfestigkeit z_{Rd} abgemindert.

Laut [3] und [5] wird die Bemessungszugfestigkeit z_{Rd} des Fortrac® T Geogitter wie folgt ermittelt:

$$z_{Rd} = \frac{r_{\min}}{A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot \gamma}$$

Der Bemessungszeitraum des Geogitters orientiert sich an der Versuchsdauer beträgt demnach ungefähr 1 Jahr.

- Der Abminderungsfaktor A_1 für das Kriechen von Fortrac® T Geogitter für 1 Jahr beträgt: $A_1 = 1,39$ (Tab. 4. 6)

Belastungsdauer bzw. Gebrauchsdauer						
	1 Jahr	2 Jahre	5 Jahre	10 Jahre	60 Jahre	120 Jahre
A_1	1,39	1,41	1,43	1,45	1,50	1,52

Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden.

Bodentemperatur $\leq 20^\circ\text{C}$

95 % Vertrauensbereich des Mittelwertes.

Tab. 4. 6 Abminderungsfaktor A_1 für das Kriechen [20]

- Der Abminderungsfaktor A_2 für die Beschädigung beim Einbau und der Bodenverdichtung von Fortrac® T Geogittern beträgt: $A_2 = 1,11$ (Tab. 4. 7)

Typ des Fortrac® T Geogitters	Bodengruppe nach DIN 18 196		
	feinkörnig $D_{90} < 2 \text{ mm}$	gemischtkörnig $D_{90} < 32 \text{ mm}$	grobkörnig $D_{90} < 63 \text{ mm}$
20/13-20 T	1,15	1,15	1,25
35/20-20 T	1,10	1,12	1,20
40/40-35 T	1,09	1,11	1,14
55/30-20 T	1,09	1,11	1,14
65/65-30 T	1,03	1,11	1,08
80/30-20 T	1,01	1,02	1,07
80/80-30 T	1,01	1,02	1,07
110/30-20 T	1,01	1,02	1,07
R150/30-30 T	1,01	1,02	1,07
R200/30-30 T	1,01	1,02	1,07
R500/50-30 T	1,01	1,02	1,07

Tab. 4. 7 Abminderungsfaktor A_2 für die Beschädigung beim Einbau [21]

- Der Abminderungsfaktor A_3 für die Verarbeitung (Anschlüsse, Verbindungsstellen) beträgt in diesem Fall: $A_3 = 1,0$ (in diesem Fall gibt es keine Anschlüsse und Verbindungsstellen)
- Der Abminderungsfaktor A_4 für die Umgebungseinflüsse (chemische Einflüsse) beträgt: $A_4 = 1,03$ (Tab. 4. 8)

pH - Wert des Bodens	2,0-4,0 sauer	4,0-9,0 neutral	9,0-9,5 alkalisch
A_4 [-]	1,15	1,03	1,10

Tab. 4. 8 Abminderungsfaktor A_4 für die Umgebungseinflüsse [22]

- Der Abminderungsfaktor A_5 für dynamische Einwirkungen beträgt in diesen Fall: $A_5 = 1,0$ (in diesem Fall gibt es keine dynamischen Einwirkungen)
- Der Sicherheitsbeiwert γ beträgt: $\gamma = 1,40$ (Tab. 4. 9)

	Partielles Sicherheitskonzept (DIN 1054, Ausgabe 2004-04)	Globales Sicherheitskonzept (DIN 1054, Ausgabe 1976)
γ [-]	1,40 (LF1)	1,75
	1,30 (LF2)	
	1,20 (LF3)	

Tab. 4. 9 Sicherheitsbeiwert [23]

Die Bemessungszugfestigkeit z_{Rd} des verwendeten Geogitters (Fortrac® 50/5020 T) beträgt:

$$z_{Rd} = \frac{50,0}{1,39 \cdot 1,11 \cdot 1,0 \cdot 1,03 \cdot 1,0 \cdot 1,4} = 22,68 \text{ kN/m}$$

Die maximale Kraft der für den Versuch verwendeten hydraulischen Druck- und Zugpresse HDZ (siehe Kapitel 3.5.2) beträgt $F_{max,Z} = 12 \text{ kN/m}$. Das heißt, die maximale Zugkraft $F_{max,Z}$ der HDZ-Presse ist deutlich unter der Bemessungszugfestigkeit z_{Rd} ($F_{max,Z} = 12 \text{ kN/m} < z_{Rd} = 22,68 \text{ kN/m}$).

5 Versuchsablauf

In diesem Kapitel wird beschrieben wie der Versuch durchgeführt wird. Es fängt mit der Materialaufschüttung bzw. dem Ausrichten des Geokunststoffgitters an, dann folgen das Ausrichten und das Versetzen des Stahlrahmens, anschließend wird verdichtet und als letztes geprüft.

5.1 Aufschüttung des Materials

Bevor der erste Schüttstreifen mit dem Material aufgeschüttet wird, wird eine 2 cm hohe Bodenschüttlage (Rundkorn gew. 8/10) (Abb. 5. 1) auf dem Boden aufgebracht. Das Aufschütten des Kieses erfolgt mittels zwei Behältern (B 01 und B 02).



Abb. 5. 1 Aufgeschüttete Bodenschüttlage

5.1.1 Auflegen und Vorspannen des Geokunststoffgitters

Die Breite und die Länge des angewendeten Geokunststoffgitters (GSG) beträgt (B x H) 1,0 x 3,22 m. Je nachdem um welchen Versuch es sich handelt (mit oder

ohne Gitter, siehe Kapitel 2), wird das GSG auf die 2 cm hohe Bodenschüttlage gelegt und vorgespannt (Abb. 5. 2). Das Geokunststoffgitter wird mit der Befestigung BTH 04 und Schrauben (16x160 mm), an die Stirnplatte fixiert (Abb. 5. 3).



Abb. 5. 2 Geokunststoffgitter auf der Bodenschüttlage

Die Zugkraft, mit der das Geokunststoffgitter angezogen bzw. vorgespannt wird, befindet sich im Bereich von 10 – 12 kN, die Dehnung bewegt sich im Bereich von 2 - 3 % (Abb. 5. 3).

Last - Dehnungskurve für Fortrac

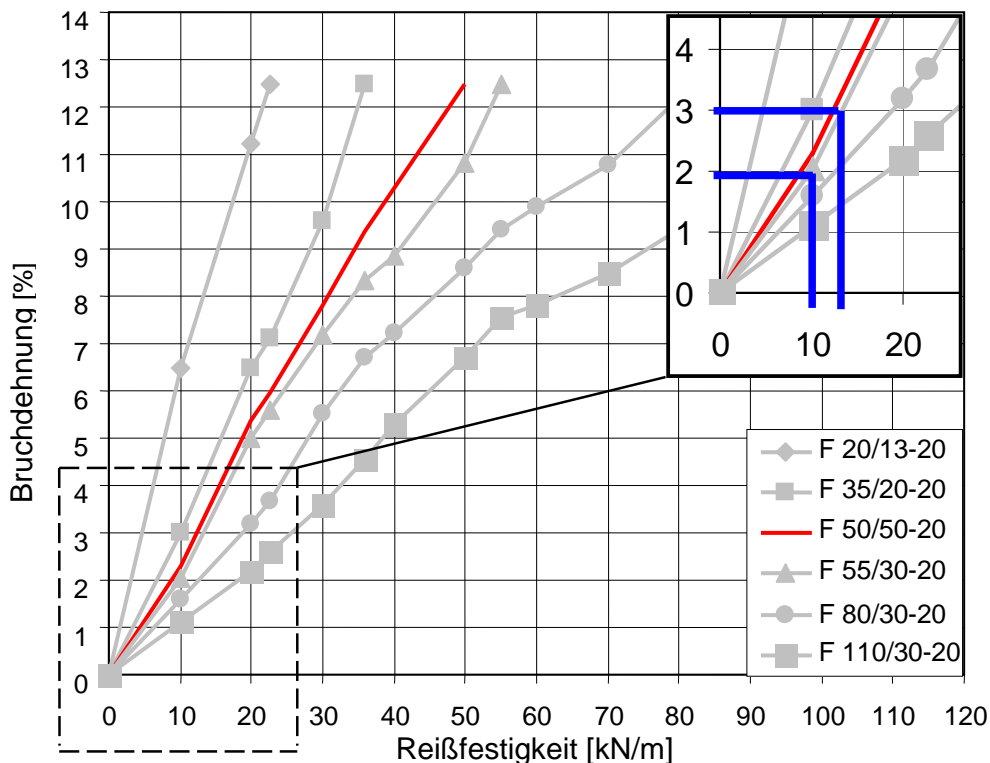


Abb. 5. 3 Dehnbereich des 50/50-20 T Fortrac-GSG während der Versuche

Das Anziehen des GSG erfolgt durch die Vorspanneinrichtung bzw. durch die hydraulische Druck- und Zugpresse DZP (Abb. 5. 4).

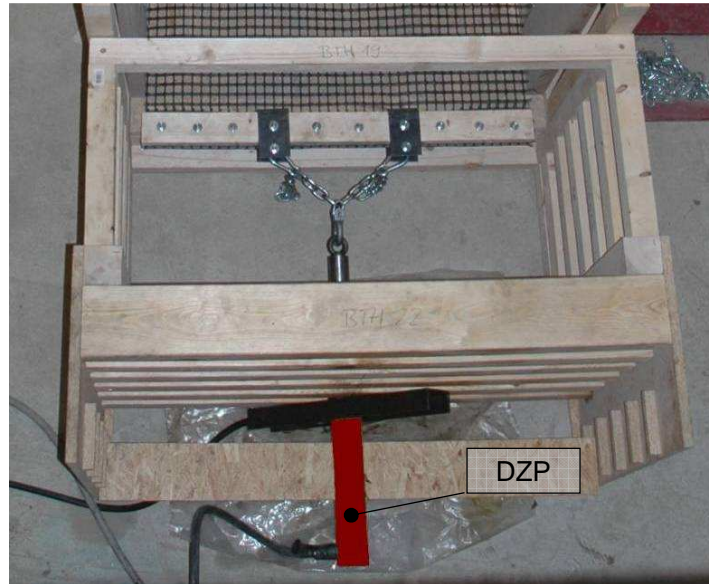


Abb. 5. 4 Vorspanneinrichtung mit der DZP

Das angezogene Geokunststoffgitter wird durch zwei Bretter festgehalten. Die zwei Holzbretter werden mittels Schrauben miteinander verbunden und stützen sich gegen die Holzkonstruktion ab (Abb. 5. 5).

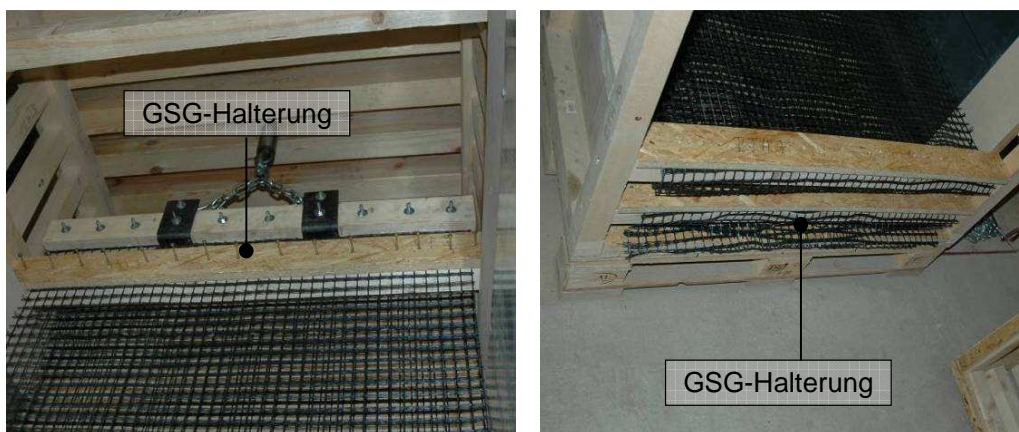


Abb. 5. 5 Geokunststoffgitter-Halterung

5.1.2 Aufschüttung des ersten Schüttstreifens und der ersten Schüttlage

Nachdem die Bodenschüttlage bzw. die Bodenschüttlage mit GSG hergestellt wurde, wird der erste Schüttstreifen geschüttet. Die Höhe des ersten Schüttstreifens beträgt $H = 15$ cm und die Länge $L = 45$ cm. Das Material wird mit konstanter Höhe, lagenweise auf die Bodenschüttlage aufgebracht (Abb. 5. 6).

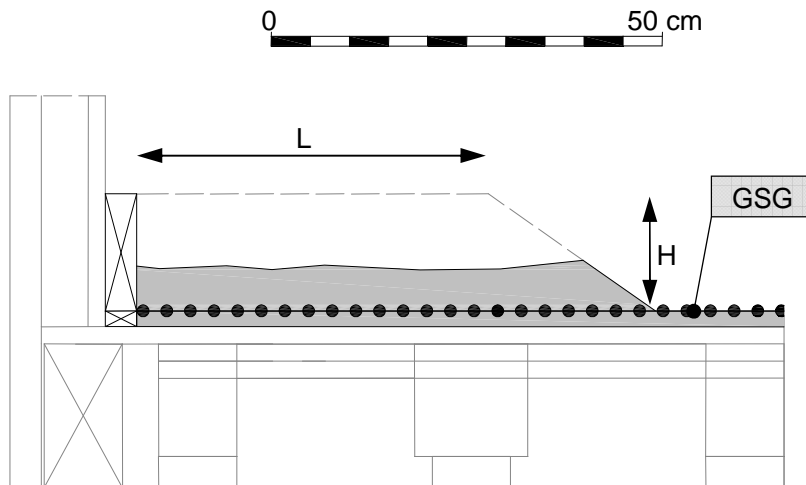


Abb. 5. 6 Aufschüttung des ersten Schüttstreifens

In Vorversuchen wurde festgestellt, dass nach dem Verdichten durch die Verdichtungsplatte BTS 04 und durch die hydraulische Druckpresse (HDP 01), die Verdichtbarkeit des Schüttstreifens 5 - 8% beträgt. Aus diesem Grund wird der Schüttstreifen 1,0 cm über die gewünschte Höhe aufgeschüttet (Abb. 5. 7).

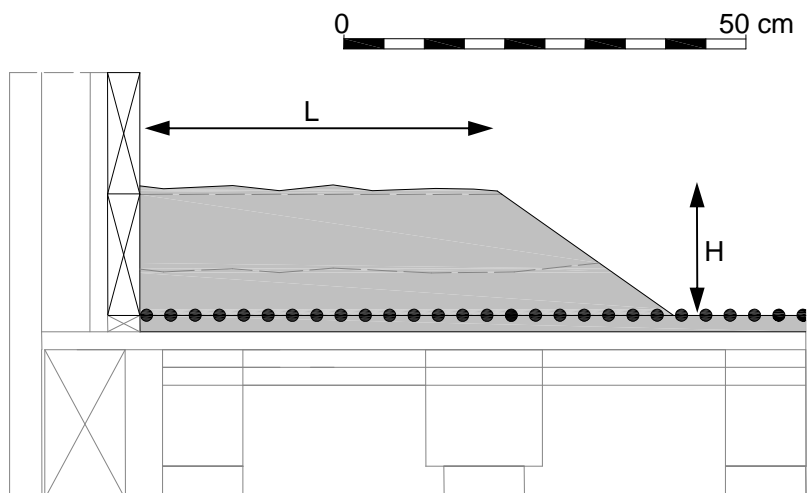


Abb. 5. 7 Aufgeschütteter erster Schüttstreifen

Die Masse des geschütteten Materials wird für jeden Schüttstreifen in einem Gewichtsprotokoll dokumentiert (Tab. 5. 1).

	Schüttlage 1	Schüttlage 1	Schüttlage 1	Schüttlage 1	$m_{E1=}$	0,762
	Schüttstreifen 1	Schüttstreifen 2	Schüttstreifen 3	Schüttstreifen 4	$m_{E2=}$	0,501
	Eimer in kg	Eimer in kg	Eimer in kg	Eimer in kg		
1	13,24	15,12	15,17	14,58		
2	11,27	15,20	17,89	13,36		
3	13,87	15,58	12,65	13,06		
4	13,22	13,72	13,94	14,14		
5	13,64	14,20	13,42	14,28		
6	13,97	13,10	14,24	14,33		
7	13,63	9,70	13,61	9,88		
8	15,16	16,80	16,80	16,80		
9	15,45	109,13	113,93	106,64		
10	14,36					
11	7,89					
12	29,39					
13	171,28					

Tab. 5. 1 Gewichtsprotokoll

Nach dem Verdichten des Schüttstreifens werden die nächsten Streifen auf die gleiche Art und Weise hergestellt.

5.2 Ausrichten des Stahlrahmens und der Verdichtungsplatte

Nach dem Aufschütten des Schüttstreifens bzw. der Schüttlage, wird die Verdichtungsplatte BTS 04, mittels Portalkran auf die entsprechende Position gebracht und auf den Schüttstreifen gelegt.

5.2.1 Positionieren des Stahlrahmens und der Verdichtungsplatte

Als erstes wird das Hohlprofil BTS 02 unter die Europalette BTH 02 gerollt. Danach werden zwei Zuggurte ($F_{\max} = 2,0 \text{ kN}$) an das Hohlprofil BTS 01 angelegt und am Portalkran aufgehängt. Das Hohlprofil BTS 01 wird, samt den zwei Gewindestangen BTS 03 und der hydraulischen Druckpresse HDP 01, auf entsprechende Position (z.B. Position 1) gebracht und auf die Kanthölzer BTH 13 bzw. auf die Seitenwände BTH 16 gesetzt (Abb. 5. 8).

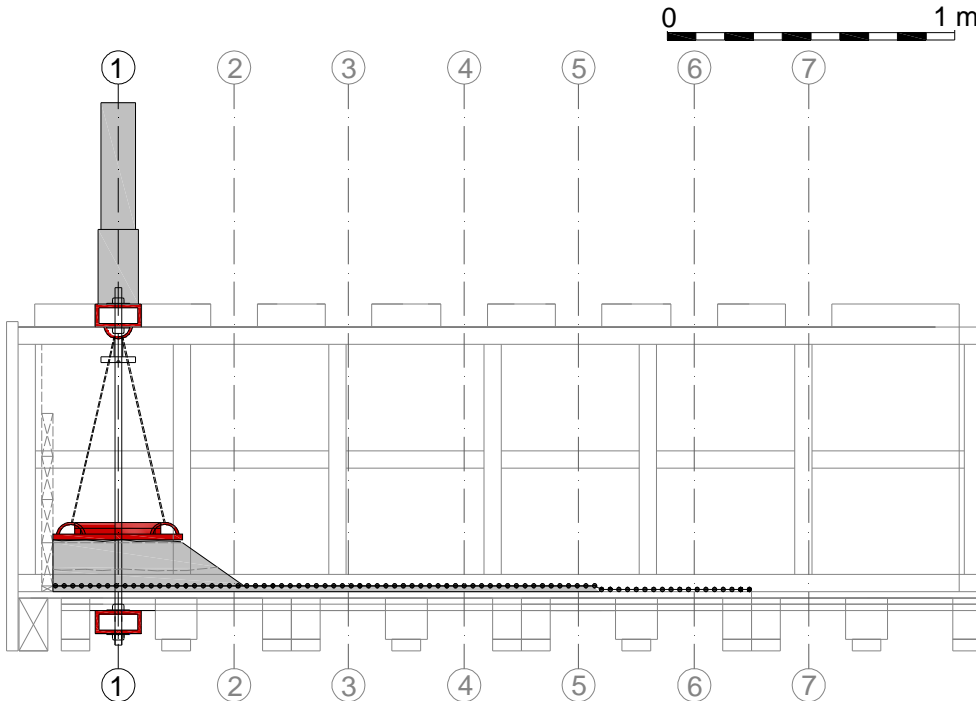


Abb. 5. 8 Positionierung der Verdichtungsplatte und des Stahlrahmens

Die zwei Hohlprofile (BTS 01 und BTS 02) werden miteinander verbunden (siehe Kapitel 3.2.1). Die Verdichtungsplatte BTS 04 wird an das Hohlprofil BTS 01 angehängt (siehe Kap. 3.2.3).

5.2.2 Versetzung des Stahlrahmens mit der Verdichtungsplatte

Nach dem Verdichten eines Schüttstreifens wird der Stahlrahmen mit der Verdichtungsplatte BTS 04 auf die nächste Position versetzt. Als erstes werden die Schrauben VS 01 unter dem Hohlprofil BTS 02 gelöst. Das obere Hohlprofil BTS 01 wird an den zwei Zuggurten aufgehängt. Das Hohlprofil BTS 01 wird mit der Verdichtungsplatte BTS 04 und den Gewindestangen BTS 03, mittels Portalkran, angehoben (Abb. 5. 9).

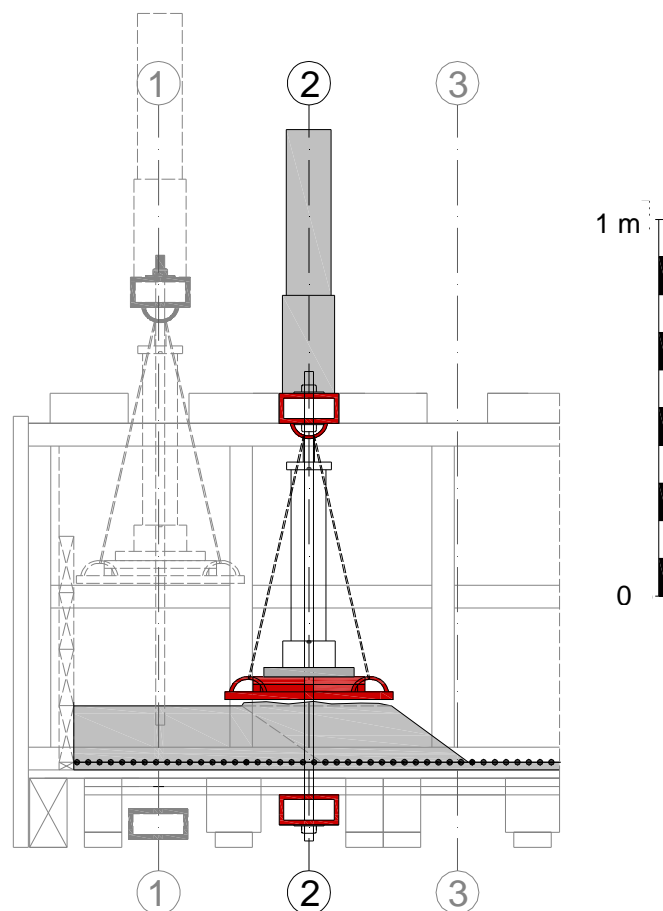


Abb. 5. 9 Versetzung des Stahlrahmens mit der Verdichtungsplatte

Das untere Hohlprofil BTS 02 wird aus der Position 1 herausgerollt und in die Position 2 hineingerollt. Das angehobene Hohlprofil BTS 01 wird, mit den Gewindestangen BTS 03 und der Verdichtungsplatte BTS 04, auf die Position 2 gebracht und auf die Holzkonstruktion aufgelegt. Der Stahlrahmen wird komplettiert in dem das untere Hohlprofil BTS 02 an die Gewindestangen BTS 03, mittels Schrauben (VS), angeschraubt wird.

5.3 Verdichten des Schüttstreifens

Nachdem der erste Schüttstreifen bzw. die erste Schüttlage aufgeschüttet ist, wird auf ihn die Verdichtungsplatte BTS 04 aufgelegt. Der Stahlrahmen, mit den Messgeräten (IWA 01, WSA und WMU 01) und der hydraulischen Druckpresse HDP, wird auf die entsprechende Position mit dem Portalkran gebracht und befestigt.

Weiters wird auf die Verdichtungsplatte BTS die Versuchsplatte VP 01 mit einer Kraftmessdose KMD aufgelegt. Zwischen der Kraftmessdose und der hydraulischen Druckpresse bzw. der Lastplatte wird ein Verlängerungszylinder BTS 07 aufgebracht (Abb. 5. 10).

Die Ausrichtung der Kraftmessdose mit der Versuchsplatte, und der Verdichtungsplatte BTS 04 wird im Kapitel 3.4.1.1 beschrieben.

Danach werden die Querriegel BTH 17 auf die Seitenwände BTH 16 und auf die Kanthölzer BTH aufgelegt (Abb. 3. 8). Weiters werden die Messgeräte an die vorgesehenen Stellen, die im Kapitel beschrieben werden, angebracht.

Die Druckkraft wirkt von der hydraulischen Druckpresse HDP über die Lastplatte, den Verlängerungszylinder BTS 07 und über die Kraftmessdose mit der Versuchsplatte, auf die Verdichtungsplatte.

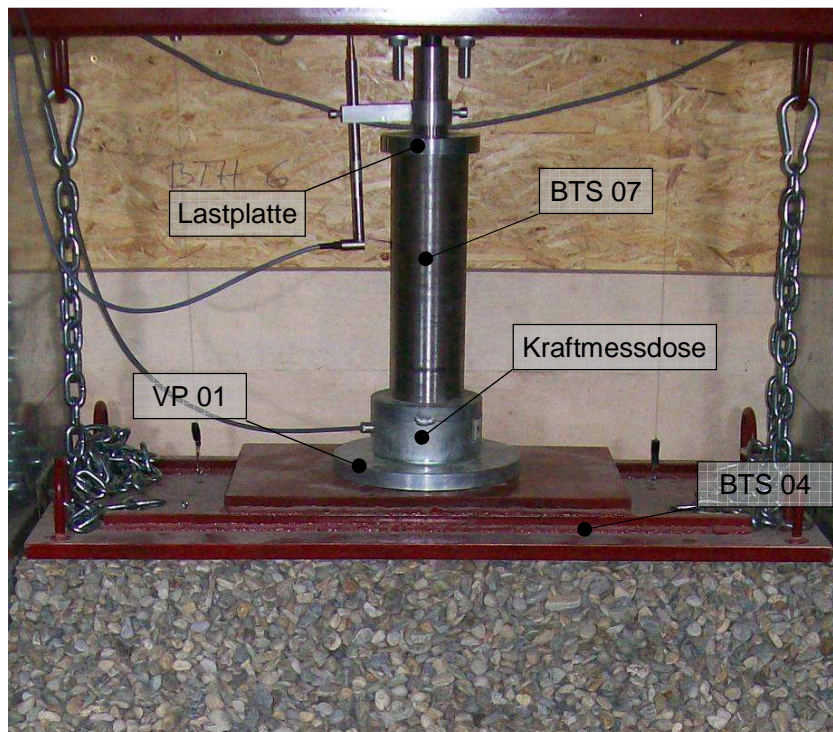


Abb. 5. 10 Versuchsplatte auf der Verdichtungsplatte

Die vorgesehene maximale Kraft für das Verdichten des Schüttstreifens sollte nicht mehr als 40 kN betragen. Die Druckkraft drückt auf den Schüttstreifen mit einer konstanten Geschwindigkeit von 2,0 mm/min. Die Geschwindigkeit der Druckkraft lässt sich über die Antriebssteuerung (Kapitel 3.5.1.2) einstellen. Die Messwerte, also die Druckkraft der hydraulischen Druckpresse DZP und die Setzungen der Verdichtungsplatte, werden über den Datalogger (Spider 8) auf den PC übertragen und mit dem Programm „Catman“ aufgezeichnet.

5.4 Prüfen des Schüttstreifens

Nachdem die erste Schüttlage (S_1) aufgeschüttet und mit der Verdichtungsplatte BTS 04 verdichtet wurde, wird der zweite Schüttstreifen (S_S_1_2) geprüft (Abb. 5. 11). Das Umstellen und das Befestigen des Stahlprofils erfolgt mit dem gleichen Prinzip wie beim Verdichten. Der Unterschied zum Verdichten ist, dass die Verdichtungsplatte und die Wegseilaufnehmer (WSA) nicht zur Anwendung kommen.

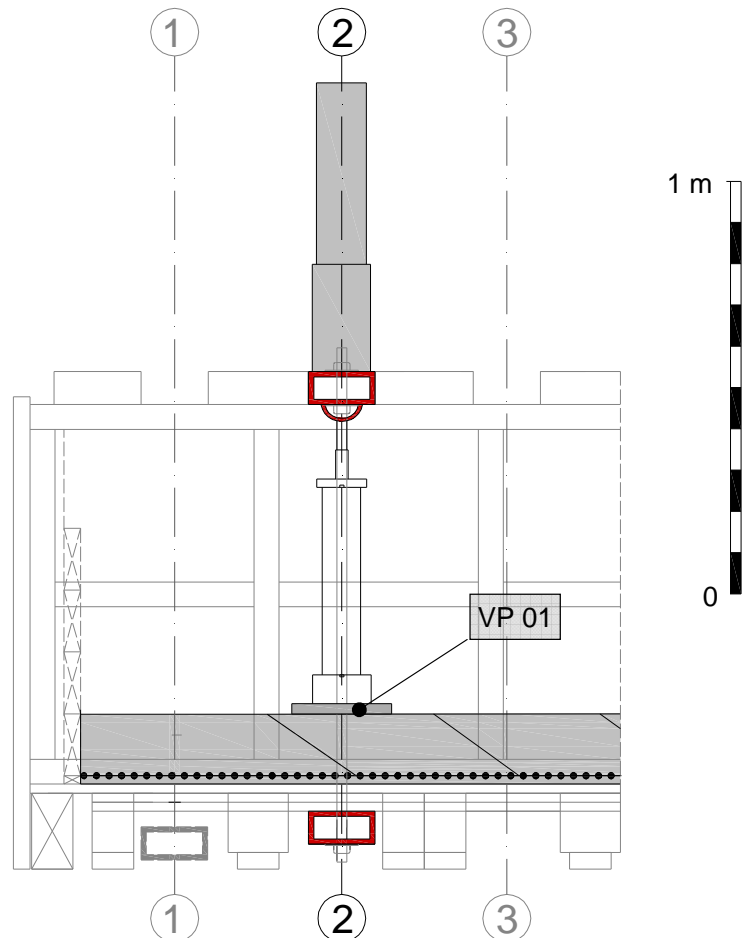


Abb. 5. 11 Prüfen des Schüttstreifens (S_S_1_2)

Das Prüfen des Schüttstreifens erfolgt mit der Versuchsplatte VP 01 (Abb. 5. 12). Die Ausrichtung der Kraftmessdose KMD mit der Versuchsplatte auf den Schüttstreifen wird im Kapitel 3.4.1.1 beschrieben.

Dabei wird die Druckkraft mit der Kraftmessdose gemessen und von dieser über den Datalogger an den PC gesendet.



Abb. 5. 12 Kraftmessdose und Versuchsplatte

6 Vergleich der Versuchsergebnisse

Im folgenden Kapitel soll ein abschließender Vergleich zwischen den fünf unterschiedlich bewehrten Schüttkörpern dargestellt werden. Dabei werden zuerst die gleich bewehrten Schüttstreifen verglichen um eine Aussage über die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu treffen. Das Hauptaugenmerk liegt aber auf der Darstellung der Versuchsergebnisse der unterschiedlich bewehrten Schüttkörper.

6.1 Vergleich der gleich bewehrten Schüttstreifen

Wie bereits in Kapitel 2 erwähnt, wird jeder Versuch einmal auf die gleiche Art und Weise wiederholt. Anhand der Diagramme werden geprüfte Schüttstreifen miteinander verglichen und dargestellt. Die Kurven in den Diagrammen zeigen den Verlauf der Druckkräfte und der Setzung des geprüften Schüttstreifens.

Die Intensität der Druckkraft kann hinsichtlich:

- Einbau
- Verdichtung
- Kornverschiebung
- Kornzertrümmerung
- Temperatur
- Lagerungsdichte
- Messfehlern abhängig sein.

6.1.1 Versuch 1

Der Versuch 1 ist ein unbewehrter Schüttkörper. Der Schüttkörper besteht ausschließlich aus Schüttmaterial (Kapitel 2.1).

- **Schüttlage 1 und Schüttstreifen 2**

Auf dem untenstehenden Diagramm (Abb. 6. 1) werden zwei Last-Verformungskurven dargestellt. Wie bereits im Kapitel 5.4 erwähnt, soll die Versuchsplatte 35,0 mm tief mit einer konstanten Geschwindigkeit von $V_p = 5 \text{ mm/min}$ in den Schüttstreifen eingedrückt werden. Bei Versuch_1_1 (blaue Kurve) wurde die Setzung nur bis 30 mm gemessen. Die Ursache war der induktive Wegaufnehmer IWA, der nicht auf die entsprechende Länge eingestellt wurde. Wenn man auf dem Diagramm die gelbe gestrichelte Linie betrachtet, ist erkennbar, dass bei 30,0 mm Setzung die Druckkraft bei Versuch_1_2 (rote Kurve) größer ist als die Druckkraft von Versuch_1_1. Die Kraftdifferenz, bei 30,0 mm Setzung, beträgt $F_d = 1,30 \text{ kN}$. Der Porenanteil bei Versuch_1_2 nach der Verdichtung ist um 1,0 % kleiner als bei Versuch_1_1. Der Kräfteunterschied liegt an der nur annähernd konstanten Verdichtung des Schüttstreifens.

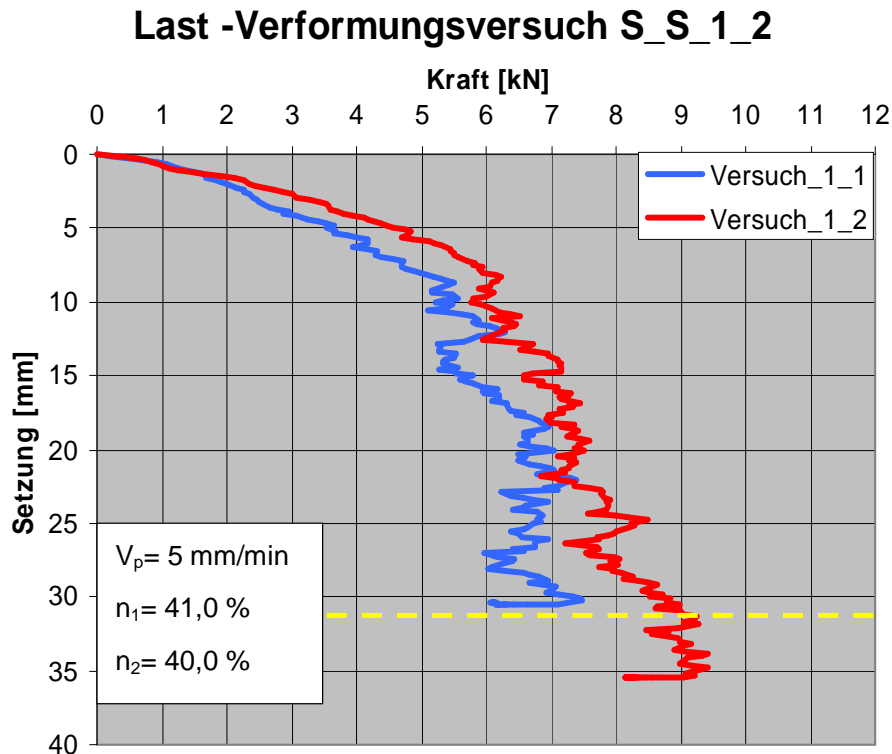


Abb. 6. 1

Last -Verformungsversuch S_S_1_2_V_1

- **Schüttlage 2 und Schüttstreifen 1**

Auf dem untenstehenden Diagramm (Abb. 6. 2) werden zwei Last-Verformungskurven. In diesem Fall ist die Versuchsplatte in beiden Fällen bis 35 mm in den Schüttstreifen eingedrückt worden. Betrachtet man das Diagramm und die gelben gestrichelten Linien kann man erkennen, dass die Kraft von 2,0 bis 20,0 mm Setzung, bei Versuch _1_1 (blaue Kurve) deutlich ansteigt. Die Kraftdifferenz bei 20,0 mm Setzung beträgt $F_{d,20} = 4,10$ kN. Die Kraftdifferenz bei 35,0 mm Setzung beträgt $F_{d,35} = 4,0$ kN $\approx F_{d,20}$. Der Porenanteil, der geprüften Schüttlage bei Versuch_1_1 nach der Verdichtung, ist um 2,0 % kleiner als bei Versuch_1_2. Der Kräfteunterschied liegt an der Verdichtung.

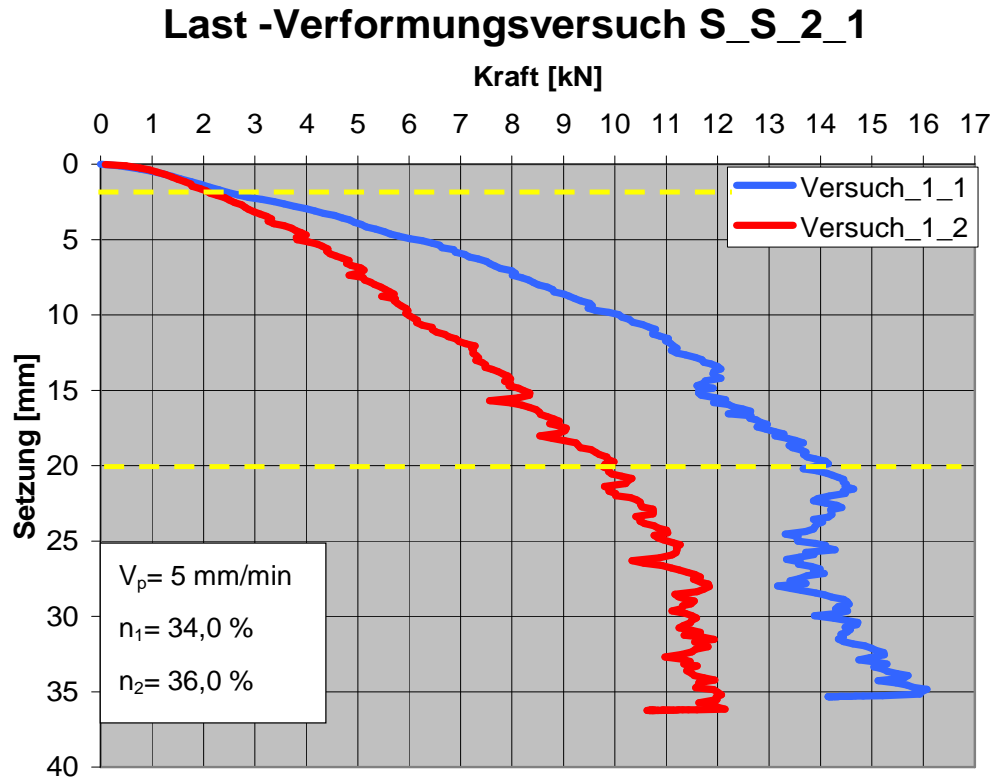


Abb. 6. 2

Last -Verformungsversuch S_S_2_1_V_1

- **Schüttlage 2 und Schüttstreifen 2**

Auf dem untenstehenden Diagramm (Abb. 6. 3) werden zwei Last-Setzungskurven dargestellt. Betrachtet man das Diagramm und die gelbe gestrichelte Linie kann man erkennen, dass die Kraft bis 18,0 mm Setzung bei beiden Versuchen steigt und gleich groß ist ($F \approx 6,3$ kN). Mit der Tiefe wächst die Druckkraft bei Versuch_1_1 (blaue Linie) mehr als bei Versuch_1_2. Die Kraftdifferenz bei 35 mm Setzung beträgt $F_d = 2,0$ kN. Dies ist damit zu erklären, dass der Porenanteil, der geprüften Schüttlage bei Versuch_1_1 nach der Verdichtung um $n = 2,0$ % kleiner als bei Versuch_1_2 ist.

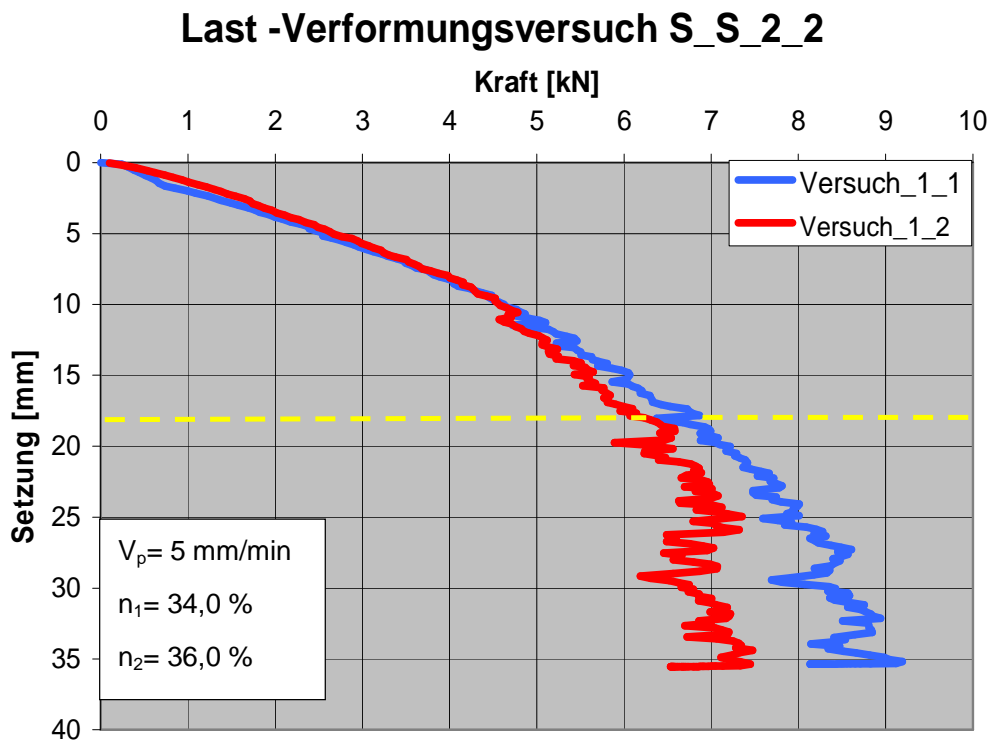


Abb. 6. 3

Last -Verformungsversuch S_S_2_2_V_1

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 1**

Betrachtet man das untenstehende Diagramm (Abb. 6. 4) und die gelbe gestrichelte Linie kann man sehen, dass die Druckkraft bis 15,0 mm Setzung bei beiden Versuchen wächst und annähernd gleich groß ist ($F \approx 9,6$ kN). Durch eine Verschiebung oder durch einen Bruch des Kieskornes verliert die Druckkraft bei Versuch_1_2 (rote Kurve) an Intensität. Bei Versuch_1_1 (blaue Kurve) wächst die Druckkraft weiter. Die Kraftdifferenz bei 35,0 mm Setzung beträgt $F_d = 3,5$ kN. Der Porenanteil bei beiden Versuchen beträgt $n = 35,0$ %.

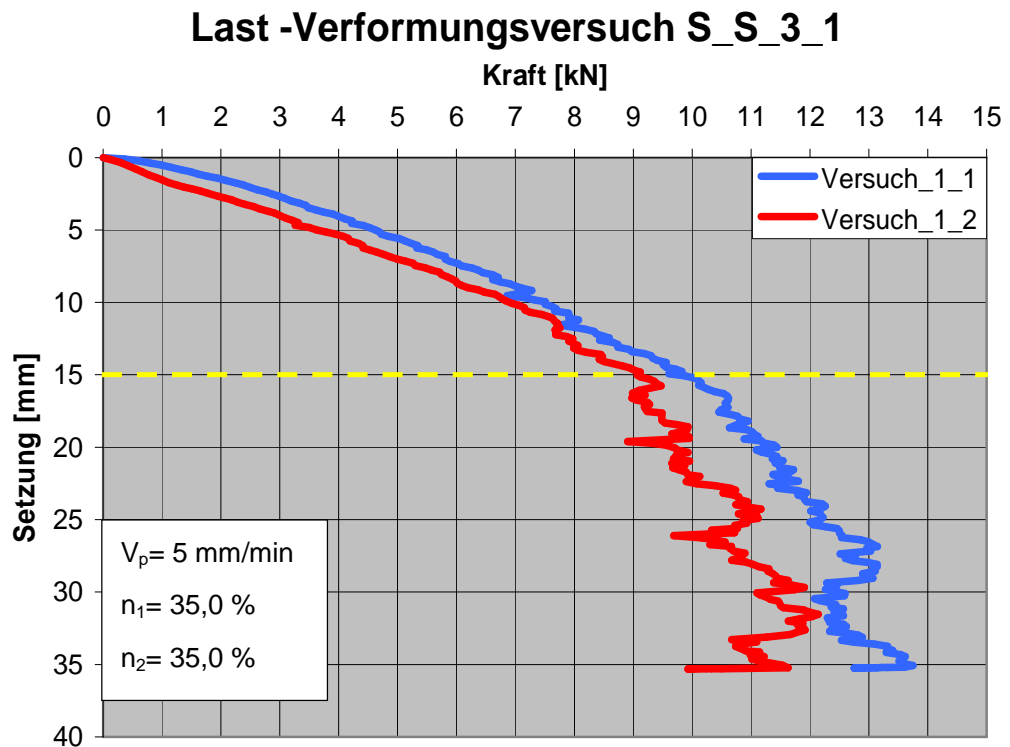


Abb. 6. 4 Last -Verformungsversuch S_S_3_1_V_1

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 2**

Auf dem untenstehenden Diagramm (Abb. 6. 5) sind erneut zwei Last-Setzungskurven dargestellt. Bei Versuch_1_2 (rote Kurve) steigt die Druckkraft bis zur 25,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie), an. Danach bleibt jene bis 33,0 mm Setzung konstant und steigt dann wieder an. Bei Versuch_1_1 (blaue Kurve) wächst die Druckkraft bis 30,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie), aber mit niedrigerer Intensität als bei Versuch_1_2. Danach nimmt die Druckkraft, durch eine große Verschiebung einzelner Kiespartikel und/oder durch einen Bruch des Kieskornes, um 1,0 kN ab. Bis zum Ende des Versuches steigt die Druckkraft nicht mehr an. Die Kraftdifferenz zwischen den beiden Versuchen beträgt am Ende $F_d = 1,4$ kN. Der Kräfteunterschied liegt an der Verdichtung des Schüttstreifens und an der Anordnung der Kieskörner unter der Versuchsplatte.

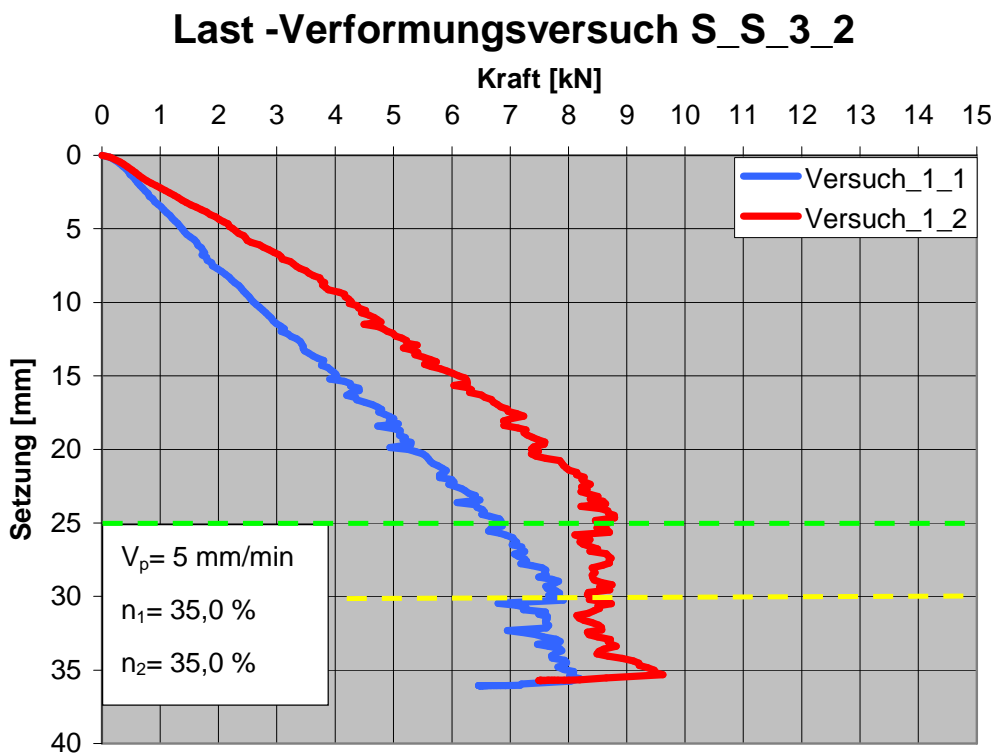


Abb. 6. 5

Last -Verformungsversuch S_S_3_2_V_1

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 3**

Auf dem untenstehenden Diagramm (Abb. 6. 6) werden zwei Last-Verformungskurven. Bis 15,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) beträgt die Druckkraft $F = 4,3$ kN bei beiden Versuchen. Ab diesen Punkt steigt die Druckkraft bei Versuch_1_1 (blaue Kurve) weiter, im Gegensatz zu Versuch_1_2 (rote Kurve). Am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_d = 1,3$ kN, zugunsten von Versuch_1_1. Der Kräfteunterschied liegt an der Verdichtung des Schüttstreifens und an der Anordnung der Kieskörner unter der Versuchsplatte.

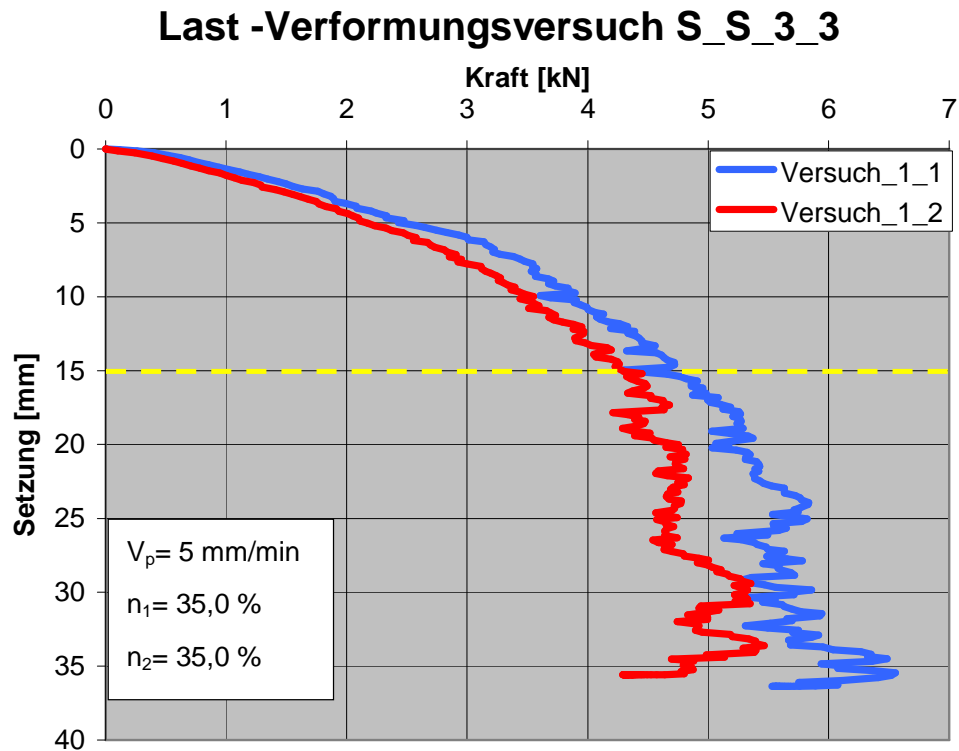


Abb. 6. 6 Last -Verformungsversuch S_S_3_3_V_1

Beim ersten Vergleich hat der Versuch_1_1 (blaue Kurve), von insgesamt sechs Versuchen, vier für sich entschieden, das heißt, dass die vier Druckkräfte von Versuch_1_1 höhere Intensität haben bzw. der Widerstand der Schüttstreifen größer und damit ist die Tragfähigkeit der Schüttstreifen höher ist. Der Grund dafür liegt bei Unregelmäßigkeiten die beim Aufbau des Stahlrahmens, beim Einbau des Kies unvermeidbar sind.

6.1.2 Versuch 2

Der zweite Versuch ist ein bewehrter Schüttkörper und er besteht aus Schüttmaterial und Geokunststoffgitter (Kapitel 2.2).

- **Schüttlage 1 und Schüttstreifen 2**

Betrachtet man das Diagramm (Abb. 6. 7) und die gelbe gestrichelte Linie kann man erkennen, dass die Druckkraft ab der 2,0 mm Setzung bei Versuch_2_2 (rote Kurve) mehr zunimmt. Ab 17,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie) verliert die Druckkraft bei Versuch_2_2 an ihrer Intensität und sie gleicht sich wieder mit der Druckkraft von Versuch_2_1 (blaue Kurve) an. Die Ursache kann die Nachgiebigkeit der unter der Versuchsplatte liegenden Kiesschicht sein. Die Nachgiebigkeit wird durch Kornverschiebung verursacht. Nach 20,0 mm Setzung steigt die Druckkraft bei Versuch_2_2 wieder an. Die Kraftdifferenz bei 35,0 mm Setzung beträgt in diesen Fall $F_d=2,7$ kN. Der Porenanteil beim Versuch_2_1 beträgt $n_1=41,0$ %. Der Porenanteil beim Versuch_2_2 mit $n_2=46,0$ % ist deutlich höher und ist durch einen Messfehler zu erklären.

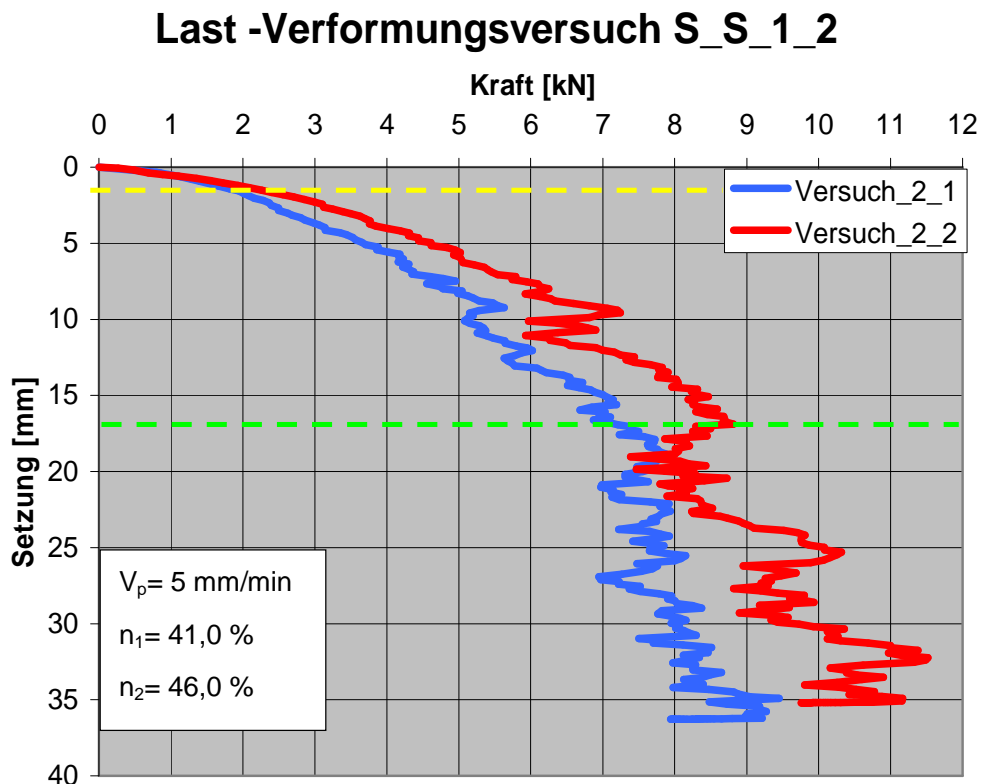


Abb. 6. 7

Last -Verformungsversuch S_S_1_2_V_2

- **Schüttlage 2 und Schüttstreifen 1**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 8) kann man erkennen, dass die Druckkraft bis 28,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) bei beiden Versuchen einen ähnlichen Verlauf hat. Erst ab 28,0 mm Setzung steigt die Druckkraft bei Versuch_2_2 (rote Kurve) an. Die Kraftdifferenz beträgt in diesen Fall $F_d= 1,4$ kN, zugunsten von Versuch_2_2. Der Porenanteil beim Versuch_2_1 beträgt $n_1= 34,0$ %. Der Porenunterschied beträgt $\Delta n= 5,0$ % und ist wahrscheinlich mit einem Messfehler verbunden. Der Porenanteil beim Versuch_2_2 beträgt $n_2= 39,0$ %. Dieser stimmt mit dem Porenanteil der Vorversuche überein.

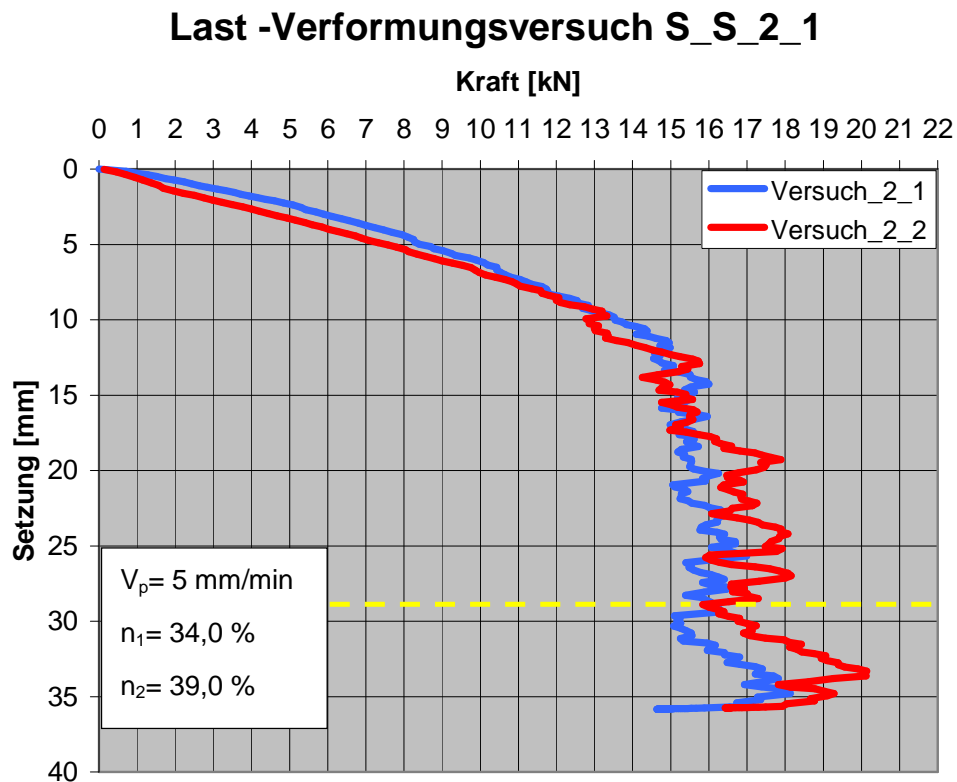


Abb. 6. 8

Last -Verformungsversuch S_S_2_1_V_2

- **Schüttlage 2 und Schüttstreifen 2**

Auf dem untenstehenden Diagramm (Abb. 6. 9) werden zwei Last-Setzungskurven dargestellt. Bei beiden Versuchen steigt die Druckkraft bis 8,0 mm Setzung, konstant an. Ab diesem Punkt vermindert sich die Druckkraft bei Versuch_2_1 (blaue Kurve), gegenüber dem Versuch_2_2 (rote Kurve). Mit der Tiefe steigt sie wieder an und gleicht sich bei 27,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) der Druckkraft von Versuch_2_2 an. Nach einigen Millimetern Setzung gibt die Druckkraft von Versuch_2_1 durch Kornverschiebung und/oder Kornzertrümmerung nach. Am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_d = 3,7$ kN zugunsten von Versuch_2_2. Für den Porenanteil und den Porenunterschied ergeben sich die gleiche Werte wie bei dem vorherigen Versuch mit $\Delta n = 5,0$ %.

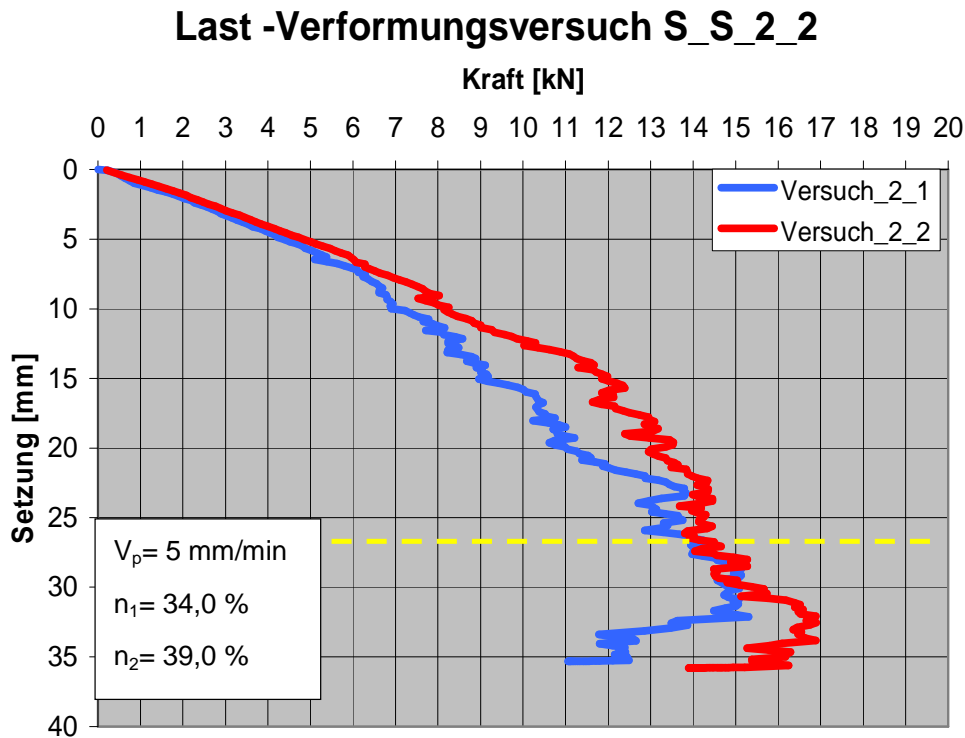


Abb. 6. 9

Last -Verformungsversuch S_S_2_2_V_2

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 1**

Bei beiden Versuchen (Abb. 6. 10) steigt die Druckkraft bis 17,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) konstant an. Ab diesen Punkt gibt die Druckkraft bei Versuch_2_2 (rote Kurve) durch Kornverschiebung nach. Die maximale Druckkraft in diesem Fall beträgt $F_{max} = 20,3 \text{ kN}$. Am Ende des Versuches beträgt die Kraftdifferenz $F_d = 0,9 \text{ kN}$. Der Porenunterschied beträgt $\Delta n = 1,0 \%$.

Last -Verformungsversuch S_S_3_1

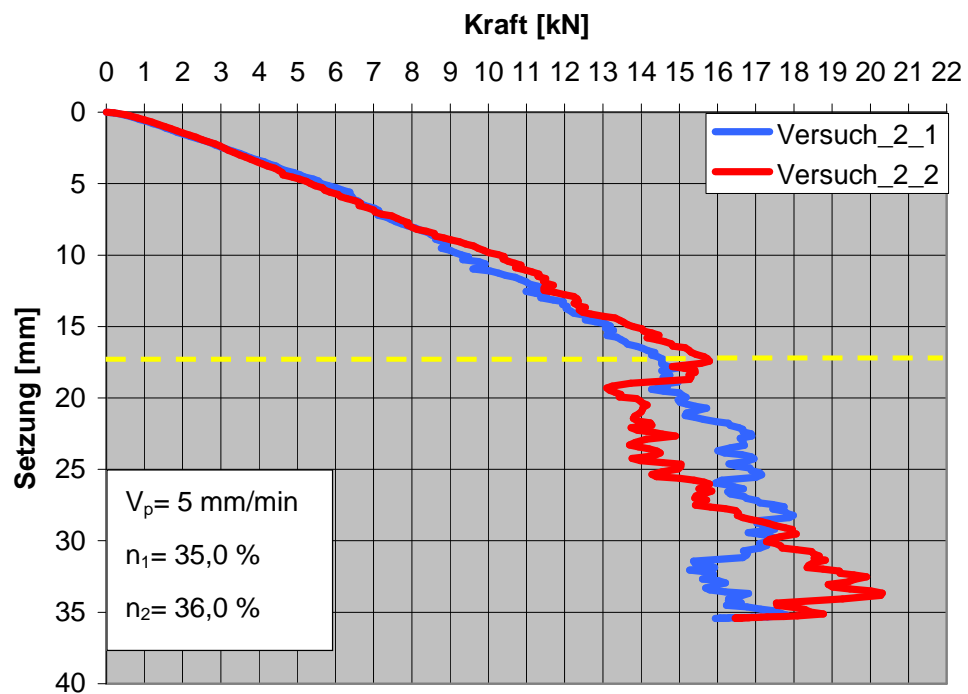


Abb. 6. 10 Last -Verformungsversuch S_S_3_1_V_2

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 2**

Auf dem untenstehenden Diagramm (Abb. 6. 11) werden zwei Last-Verformungskurven dargestellt. Bei beiden Versuchen steigt die Druckkraft konstant an. Die Druckkraft von Versuch_2_2 (rote Kurve) hat eine höhere Intensität bis zu 22,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie). Ab diesen Punkt nimmt sie durch Kornverschiebung und/oder Kornzertrümmerung ab und gleicht sich mit der Druckkraft von Versuch_2_1 (blaue Kurve) aus. Bis zum Ende haben beiden Versuche eine ähnliche Kraft-Setzungskurve. Die Kraftdifferenz bei 35,0 mm Setzung beträgt $F_d = 0,5 \text{ kN}$. Der Porenunterschied ist der Gleiche wie bei dem vorherigen Versuch $\Delta n = 1,0 \%$.

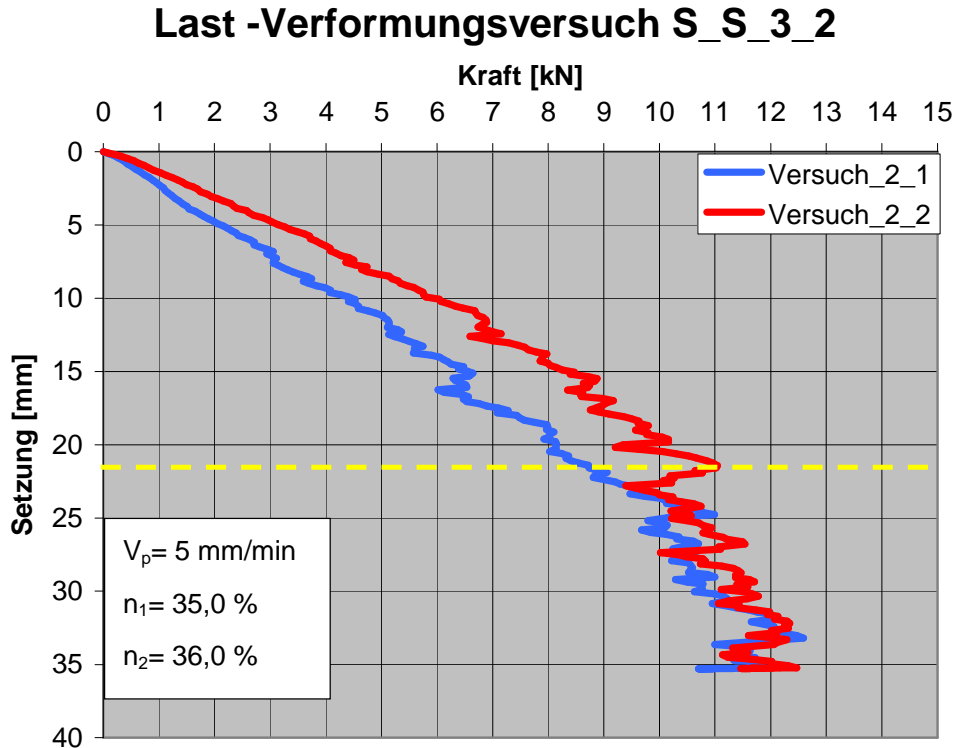


Abb. 6. 11

Last -Verformungsversuch S_S_3_2_V_2

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 3**

Bei beiden Versuchen (Abb. 6. 12) steigt die Druckkraft konstant an. Ab 12,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) lässt die Druckkraft bei Versuch_2_2 (rote Kurve) gegenüber dem Versuch_2_1 nach. Bei Versuch_2_1 steigt die Druckkraft bis zu einer Tiefe von 22,0 mm (grüne gestrichelte Linie) an. Danach nimmt sie ab und verliert 3,0 kN. Die Ursache kann eine Kornverschiebung, Kornzertrümmerung oder das Aktivieren einer Scherzone bzw. ein Geländebruch (da sich der geprüfte Schüttstreifen am Ende des Schüttkörpers befindet) sein. Ab 27,0 mm Setzung überholt die Druckkraft_2_1 die Druckkraft_2_2 und am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_d = 1,4$ kN. Der Porenunterschied beträgt, wie bei dem vorherigen Versuch $\Delta n = 1,0$ %.

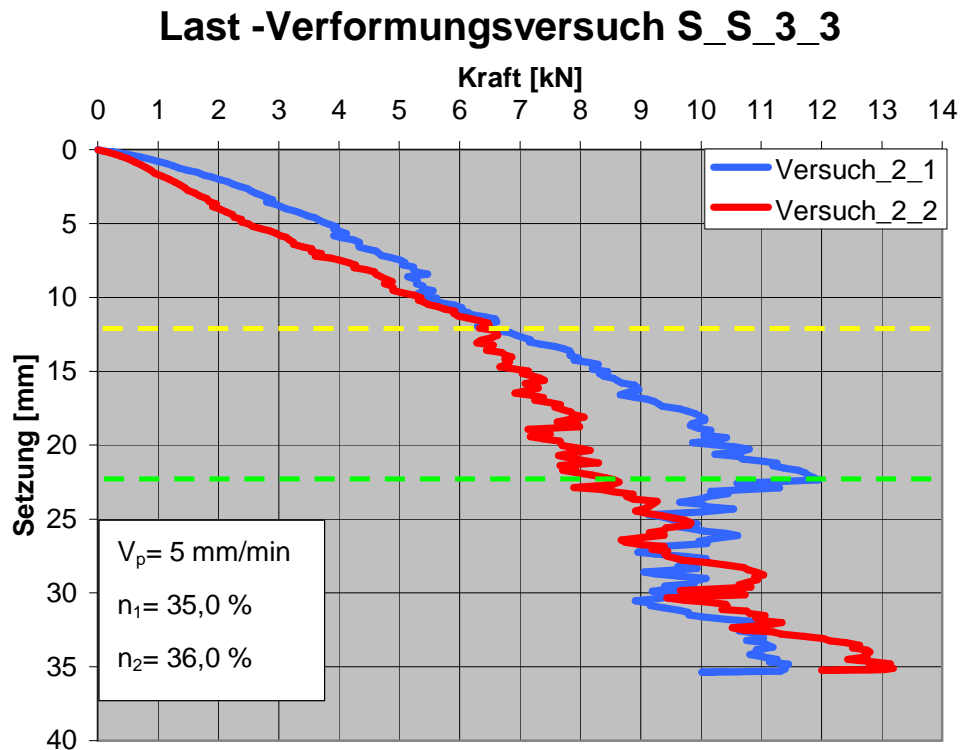


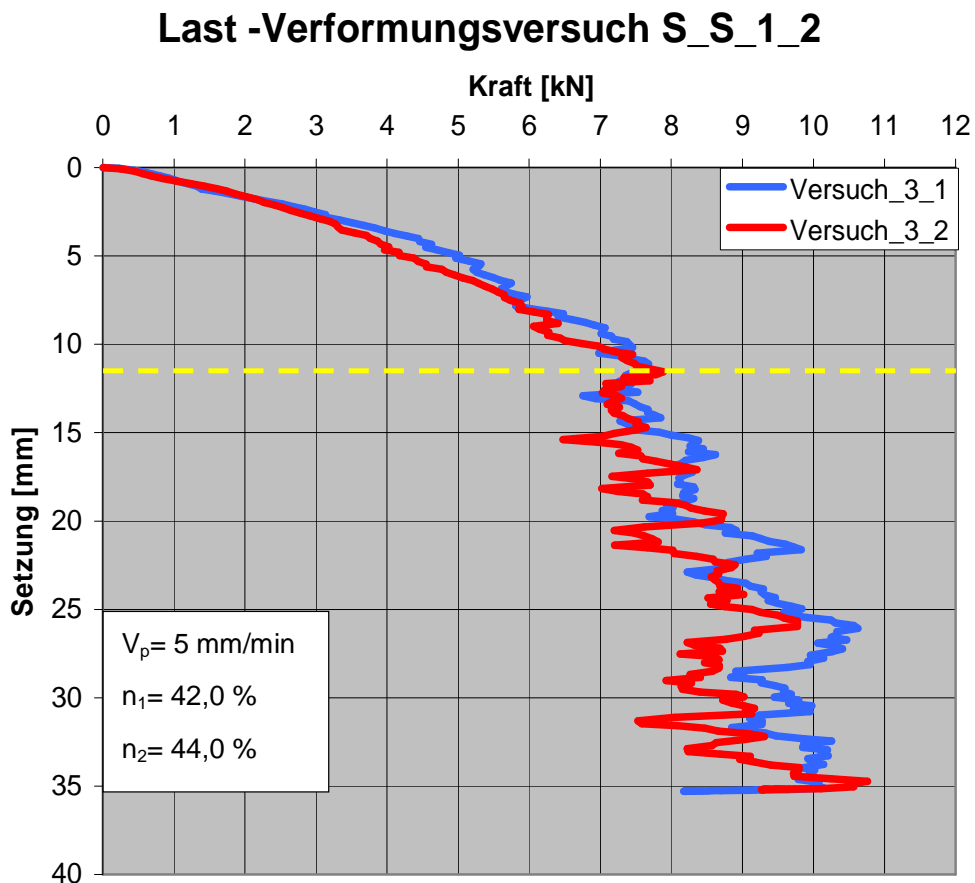
Abb. 6. 12 Last -Verformungsversuch S_S_3_3_V_2

6.1.3 Versuch 3

Der dritte Versuch ist ein bewehrter Schüttkörper. Er besteht aus Schüttmaterial und Geokunststoffgitter (Kapitel 2.3).

- **Schüttlage 1 und Schüttstreifen 2**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 13) kann man sehen, dass beide Druckkräfte bis 12,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) konstant ansteigen. Ab diesen Punkt steigen beide Versuche wechselhaft ab und an. Die Ursache dieses wechselhaften Verhaltens kann die Nachgiebigkeit des Schüttstreifens unter der weggesteuerten Versuchsplatte sein. Die Nachgiebigkeit in diesem Fall wird durch die Kornverschiebung der einzelnen Bodenpartikel hervorgerufen. Am Ende der Versuchsdurchführung beträgt die Kraftdifferenz $F_d = 0,5$ kN. Der Porenunterschied beträgt in diesem Fall $\Delta n = 2,0$ %.



- **Schüttlage 2 und Schüttstreifen 1**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 14) werden zwei Last-Verformungskurven dargestellt. Bei beiden Versuchen steigt die Druckkraft bis 18,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) an. Danach tritt bei Versuch_3_2 (rote Kurve) ein Druckkraftknick ein, verursacht durch eine nicht konstante Kornverschiebung. Die Druckkraft gleicht sich bei 33,0 mm Setzung mit dem Versuch_3_1 (blaue Kurve) aus. Am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_d= 0,8 \text{ kN}$ und der Porenunterschied $\Delta n= 1,0 \%$.

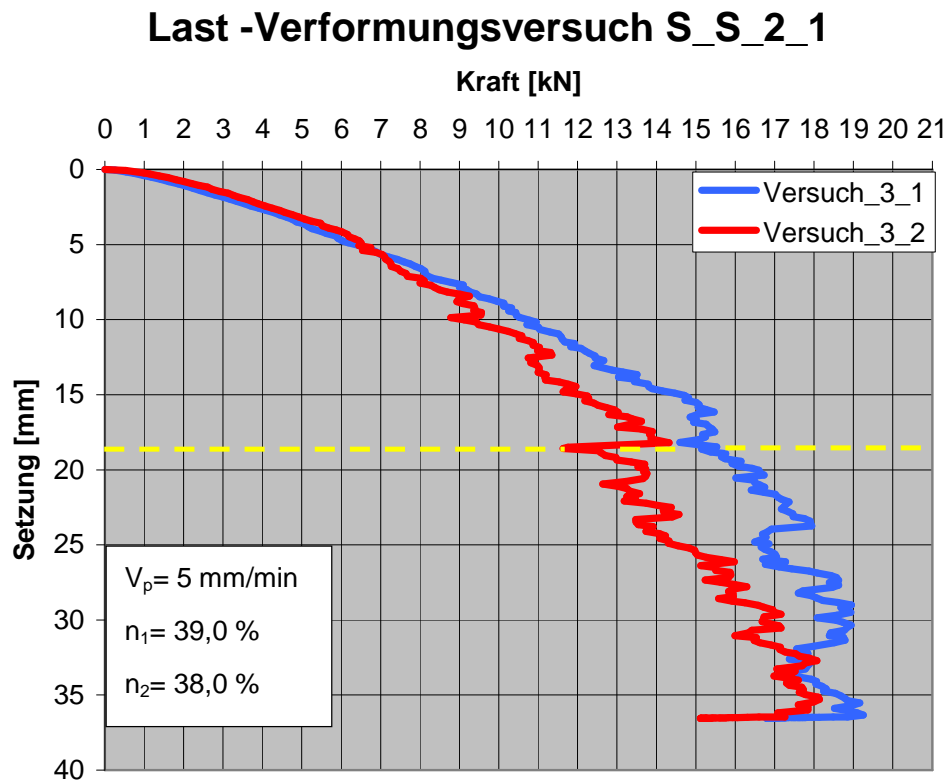


Abb. 6. 14 Last -Verformungsversuch S_S_2_1_V_3

- **Schüttlage 2 und Schüttstreifen 2**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 15) kann man sehen, dass beide Druckkräfte konstant ansteigen bis 13,0 mm bzw. 14,0 mm Setzung. Ab diesen Punkt lässt die Druckkraft bei Versuch_3_2 (rote Kurve) etwas nach. Mit der Tiefe übersteigt sie die Druckkraft von Versuch_3_1, die nach 25,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) stark nachgibt. Das geht aus der Nachgiebigkeit des Schüttstreifens unter der Versuchsplatte hervor. Die Kraftdifferenz beträgt am Ende $F_d= 0,9$ kN und der Porenunterschied $\Delta n= 1,0$ %.

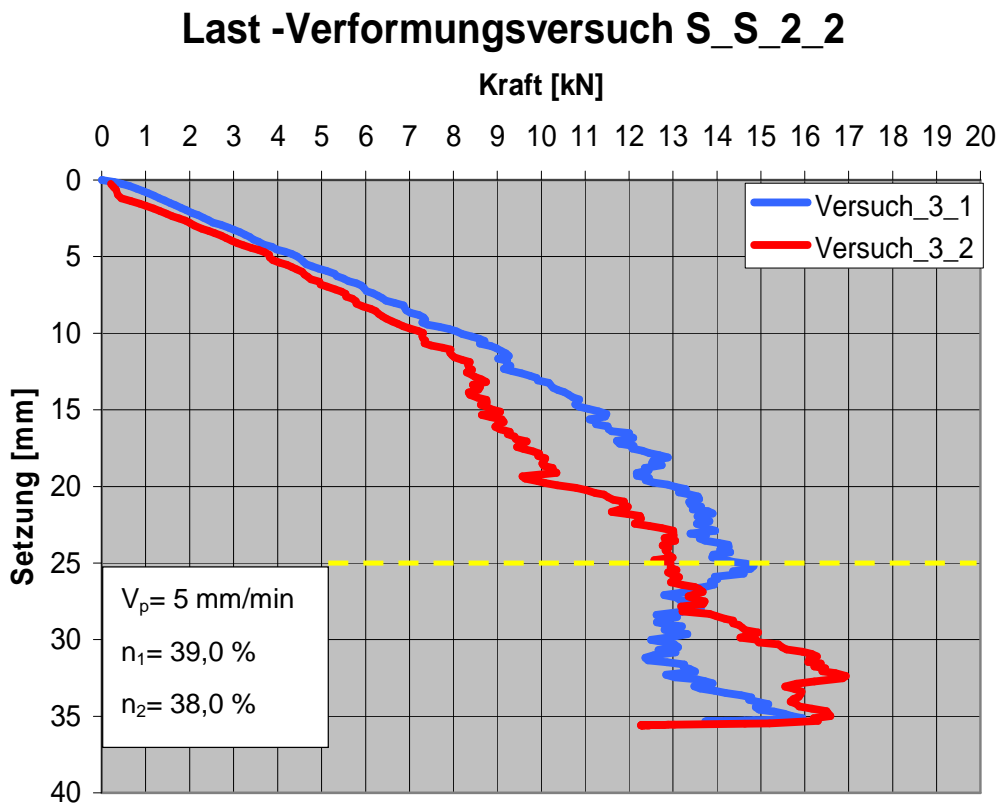


Abb. 6. 15

Last -Verformungsversuch S_S_2_2_V_3

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 1**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 16) werden erneut zwei Last-Setzungskurven dargestellt. Die Druckkraft steigt bei beiden Versuchen konstant an. Erst ab 19,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) lässt die Druckkraft bei Versuch_3_2 (rote Kurve) nach und bewegt sich abwechselnd zwischen 15 und 17 kN. Ab 28,0 mm Setzung steigt sie wieder an. Bei Versuch_3_1 steigt die Druckkraft bis 32,0 mm Setzung an. Danach erlebt sie einen Druckkraftknick und nimmt ab, verursacht durch Kornverschiebung und/oder Kornzertrümmerung. Am Ende ist die Kraftdifferenz $F_d = 0,9$ kN. In diesem Fall ist der Porenunterschied gleich.

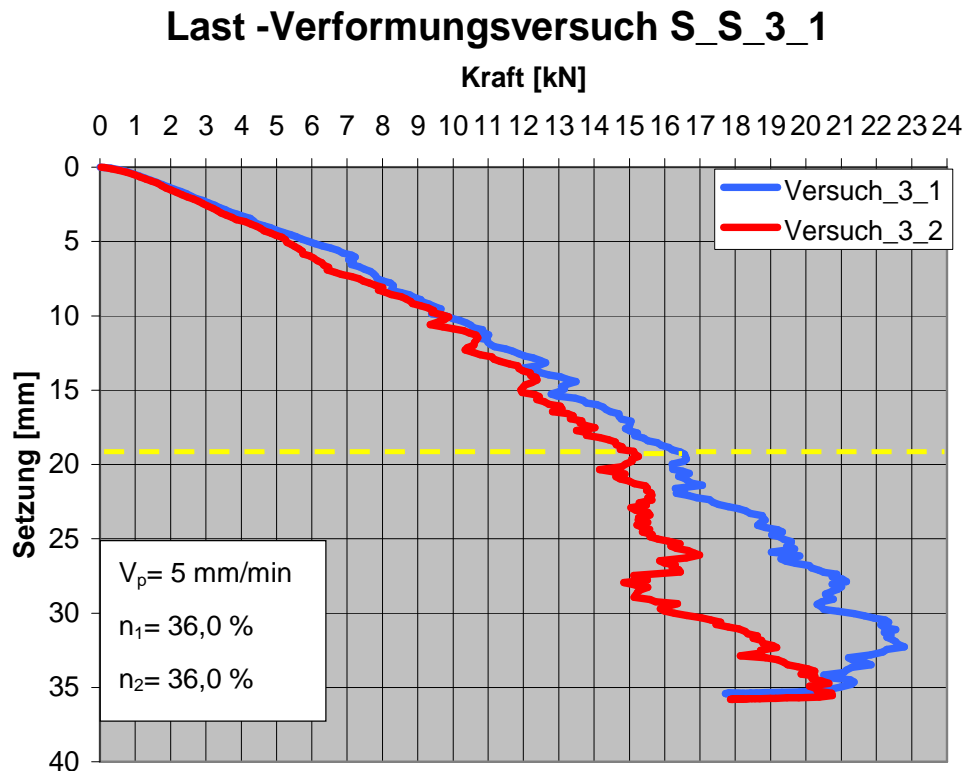


Abb. 6. 16 Last -Verformungsversuch S_S_3_1_V_3

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 2**

Die Druckkraft (Abb. 6. 17) steigt bei beiden Versuchen ähnlich konstant an. Die Druckkraft bei Versuch_3_2 (rote Kurve) lässt nach 18,0 mm (gelbe gestrichelte Linie) stark nach. Nach einigen Millimetern (23 mm) steigt jene wieder an. Beim Versuch_3_1 (blaue Kurve) steigt die Druckkraft bis 24,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie) an. Ab diesem Punkt bewegt sie sich bis zum Ende wechselhaft. Die Kräftedifferenz beträgt in diesem Fall $F_d = 2,0$ kN und der Porenanteil ist bei beiden Versuchen gleich groß mit $n = 36$ %.

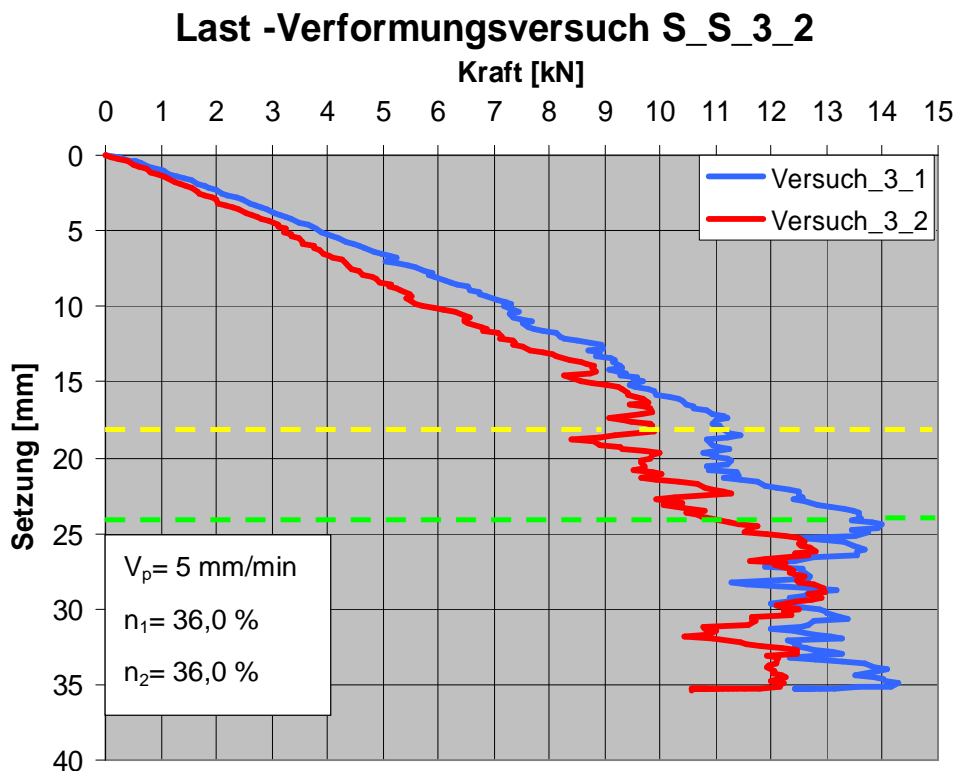


Abb. 6. 17

Last -Verformungsversuch S_S_3_2_V_3

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 3**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 18) werden wiederum zwei Versuchsergebnisse dargestellt. Die Druckkraft bei Versuch_3_2 steigt bis 13,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) an. Ab diesen Punkt steigt sie wechselhaft an. Die Druckkraft bei Versuch_3_1 steigt bis 17,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie) an und bewegt sich bis 24,0 mm wechselhaft. Ab diesem Punkt nimmt die Druckkraft stark ab. Die Reduktion resultiert aus der Kornverschiebung und/oder Kornzertrümmerung. Danach steigt sie wechselhaft an. Die Kraftdifferenz am Ende des Versuches beträgt $F_d = 1,2$ kN und der Porenanteil ist bei beiden Versuchen gleich mit $n = 36$ %.

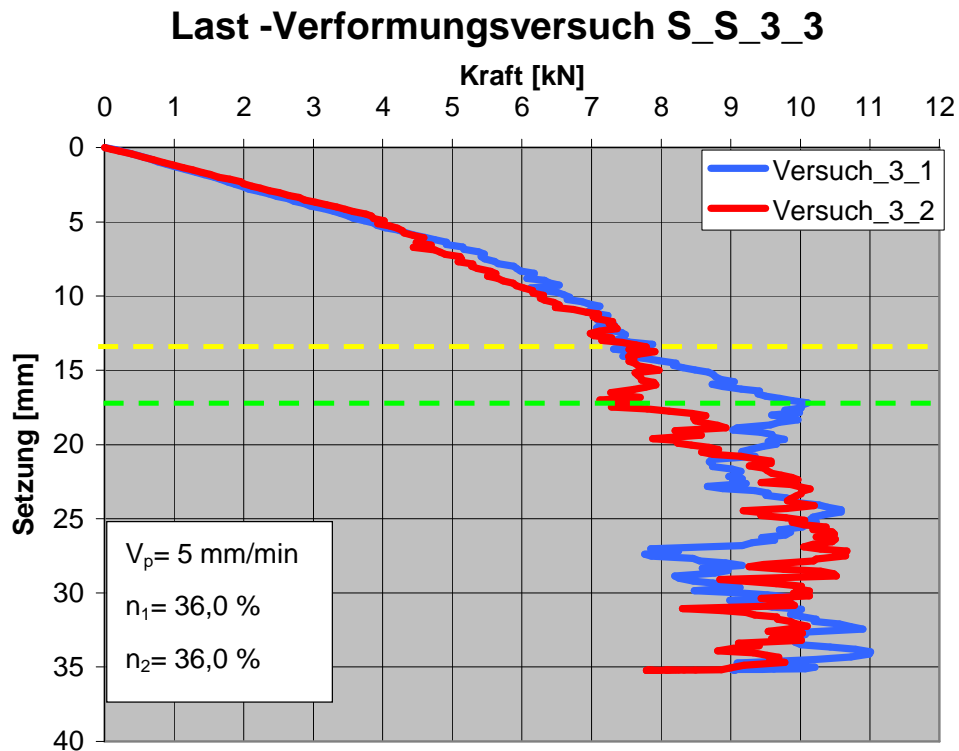


Abb. 6. 18 Last -Verformungsversuch S_S_3_3_V_3

Von insgesamt sechs Versuchen hat der Versuch_3_1 (blaue Kurve) vier Versuche für sich entschieden. Das heißt, dass die vier Druckkräfte von Versuch_3_1 höhere Intensität haben bzw. die Tragfähigkeit der Schüttstreifen ist höher. Die schlechteren Ergebnisse von Versuch_3_2 (rote Kurve) können durch die Abweichung, die beim Einbau, bei Aufschüttung des Kieses und bei der Verdichtung des Schüttstreifens entstehen, erklärt werden.

6.1.4 Versuch 4

Der vierte Versuch ist ein bewehrter Schüttkörper und er besteht aus Schüttmaterial und Geokunststoffgitter. Bei diesem Versuch wird das Geokunststoffgitter permanent vorgespannt. Es bleibt demnach während der Verdichtung und der gesamten Versuchsdurchführung vorgespannt (Kapitel 2.4).

- **Schüttlage 1 und Schüttstreifen 2**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 19) werden zwei Last-Verformungskurven dargestellt. Die Versuchskurve von Versuch_4_2 (rote Kurve) steigt bis 18,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) und nimmt ab diesem Punkt, gegenüber dem Versuch_4_1 (blaue Kurve) ab. Erst ab 29,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie) steigt die Druckkraft wieder an während sie bei Versuch_4_1 erneut abnimmt. Die Ursache des Druckkraftverlustes ist das Resultat der Kornverschiebung und/oder Kornzertrümmerung im Schüttstreifen. Ein weiterer Grund für das unterschiedliche Last-Setzungsverhalten liegt im Interaktionsverhalten von Geogitter und Kieskörnung. Bei Versuch_4_1 ist von einem besseren Interaktionsverhalten als bei Versuch_4_2 auszugehen. Die Last-Verformungslinien überkreuzen sich ein paar Mal und am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_d= 1,6 \text{ kN}$. Der Porenunterschied beträgt $\Delta n= 1,0 \%$.

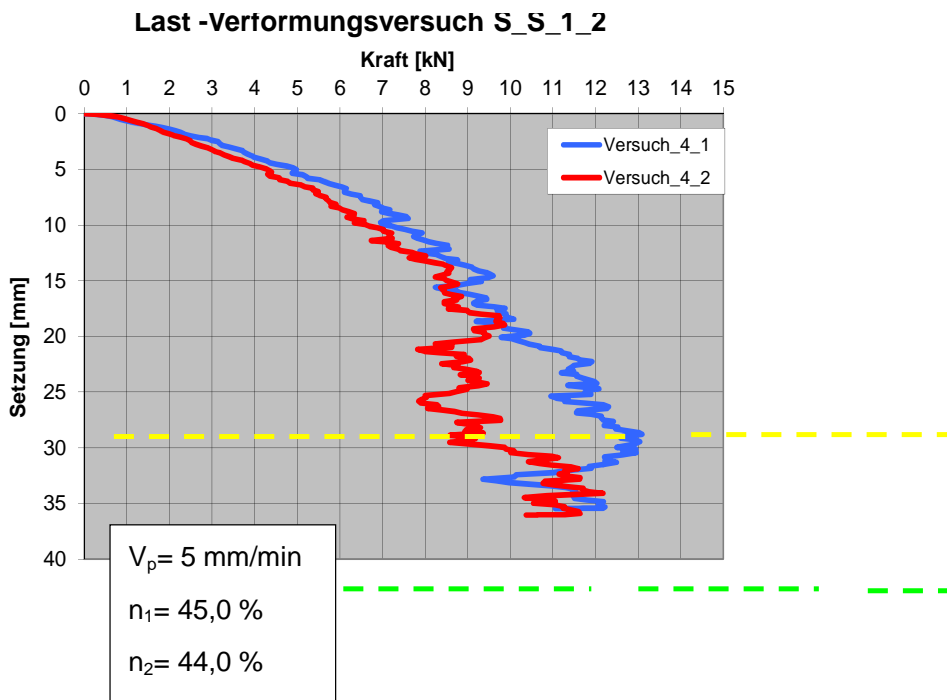


Abb. 6. 19

Last -Verformungsversuch S_S_1_2_V_4

- **Schüttlage 2 und Schüttstreifen 1**

Das Diagramm (Abb. 6. 20) zeigt zwei Last-Setzungskurven. Der Verlauf der Druckkraft von Versuch_4_1 (blaue Kurve) lässt bei 18,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) etwas nach und bewegt sich zwischen 15,0 und 16,0 kN. Ab 21,0 mm steigt jener wieder an bis 26,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie) und gleicht sich mit der Kurve von Versuch_4_2 aus, die genau ab diesem Punkt etwas nachgibt. Bis zum Ende steigt die Druckkraft von Versuch_4_1 abwechselnd ab und an. Die Druckkraft von Versuch_4_2 steigt bei 28,0 mm wieder auf und erreicht bei 32,0 mm Setzung ihre Maximalkraft von $F_{32}= 23,37$ kN. Am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_d= 3,4$ kN und der Porenunterschied $\Delta n= 3,0$ %.

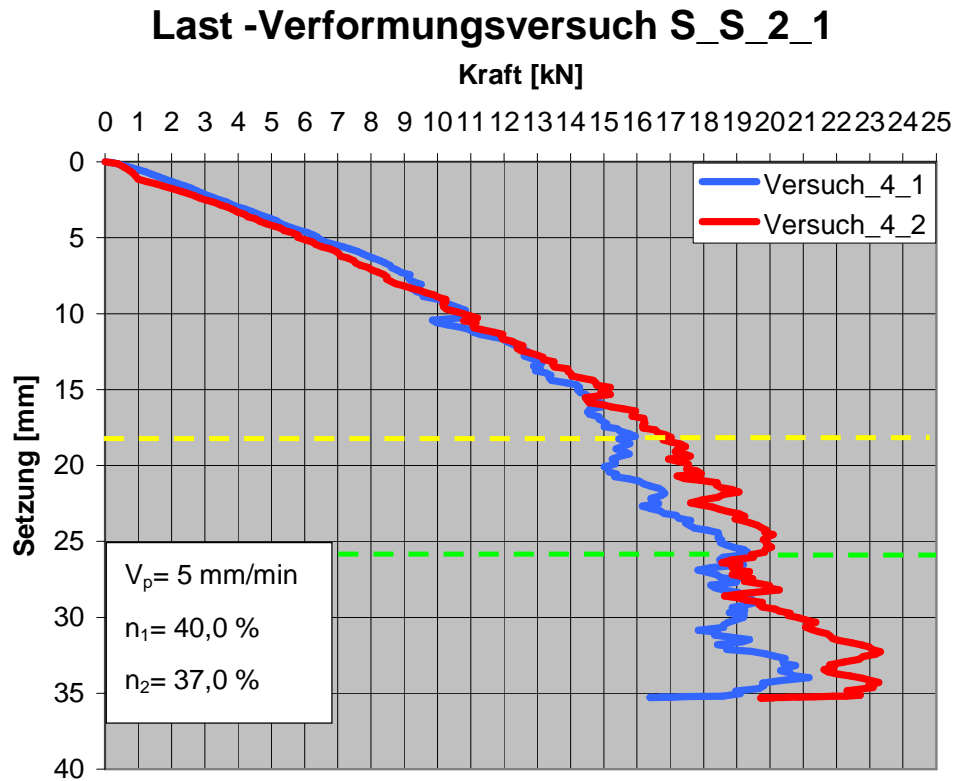


Abb. 6. 20 Last -Verformungsversuch S_S_2_1_V_4

- **Schüttlage 2 und Schüttstreifen 2**

Das Diagramm (Abb. 6. 21) zeigt, dass beide Last-Verformungskurven bzw. beide Druckkräfte, bis 17,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) steil ansteigen. Für kurze Zeit nimmt die Druckkraft von Versuch_4_2 (rote Kurve) ab und steigt wieder an. Die Druckkraft von Versuch_4_1 (blaue Kurve) nimmt bei 22,0 mm ab und nach 2,0 mm steigt sie wieder an. Bemerkenswert ist, dass die Druckkraft von Versuch_4_1 bis 33,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie) höher ist. Ab diesem Punkt wird sie von der Druckkraft_4_2 (rote Kurve) überholt. Am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_d=0,7$ kN und der Porenunterschied $\Delta n=3,0$ %.

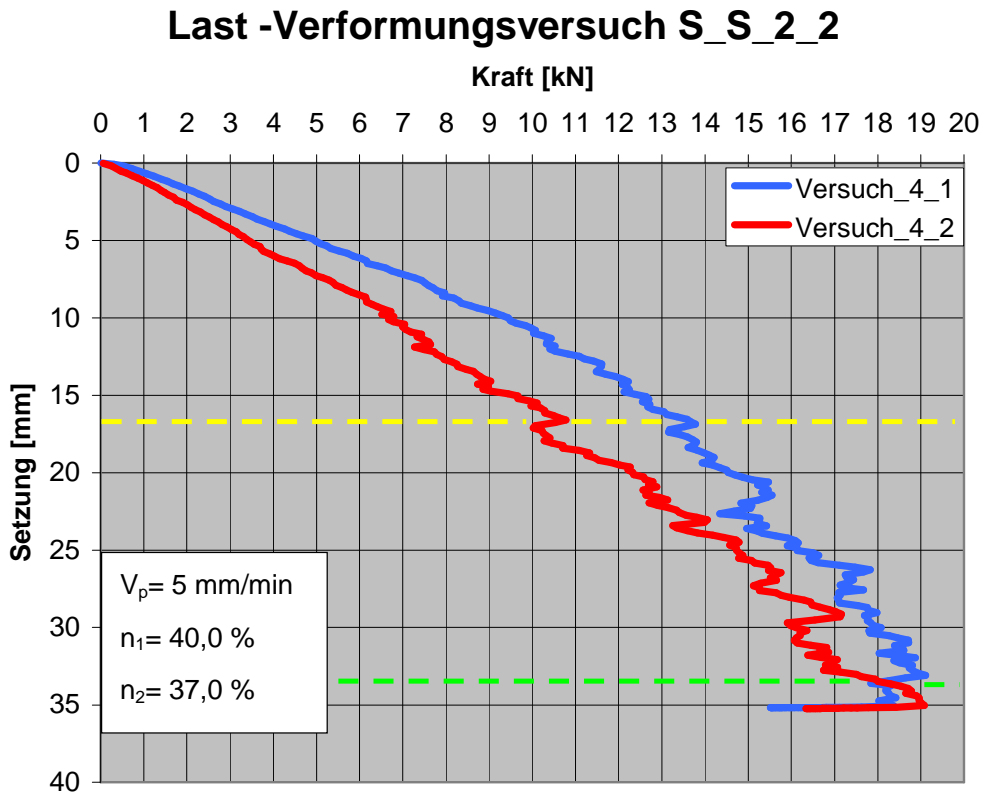


Abb. 6. 21

Last -Verformungsversuch S_S_2_2_V_4

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 1**

Das Diagramm (Abb. 6. 22) zeigt, dass beide Druckkräfte konstant ansteigen. Von Anfang an setzt sich die Druckkraft von Versuch_4_1 (blaue Kurve) ab und steigt bis 15,0 mm Setzung konstant an. Ab diesen Punkt lässt die Druckkraft etwas nach und bewegt sich abwechselnd steigend. Die Druckkraft von Versuch_4_2 (rote Kurve) hat über den ganzen Versuch die niedrigere Intensität, gegenüber dem Versuch_4_1. Besonders ist in diesem Fall, dass sie bei 27,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) stark abnimmt und bis 31,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie) um $F_v = 4,0$ kN an Intensität verliert. Die Ursache für so ein Verhalten kann eine Kornverschiebung und/oder Kornzertrümmerung unter der Versuchsplatte sein. Ab 31,0 mm Setzung steigt sie wieder an und am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_d = 8,8$ kN. Dies ist auch die größte Kraftdifferenz. Der Porenanteil beträgt in diesem Fall $n = 35,0$ %.

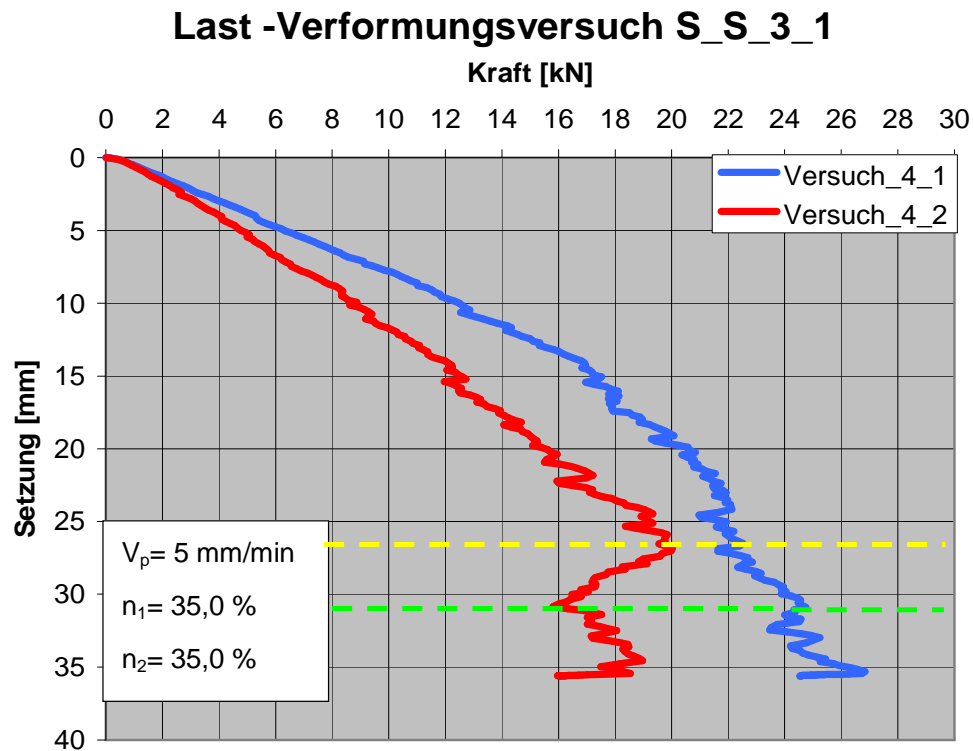


Abb. 6. 22 Last -Verformungsversuch S_S_3_1_V_4

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 2**

Auf dem untenstehenden Diagramm (Abb. 6. 23) werden zwei Last-Setzungskurven dargestellt. Abgesehen vom Bereich zwischen 12,0 und 16 mm Setzung bei Versuch_4_2 (rote Kurve), haben beide Versuche bzw. Druckkräfte einen ähnlichen Verlauf. Die Druckkraft nimmt bei 18,0 mm bzw. bei 20,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linien) bei beiden ab und steigt dann bei 23,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie) wieder an. Wie bereits erwähnt, verlaufen in diesen Fall die Versuchskurven ähnlich. Über den ganzen Versuch hat die Druckkraft von Versuch_4_1 eine höhere Intensität. Die Kraftdifferenz beträgt am Ende $F_d = 2,2 \text{ kN}$ und der Porenanteil ist der Gleiche wie beim vorherigen Versuch mit $n = 35,0 \%$.

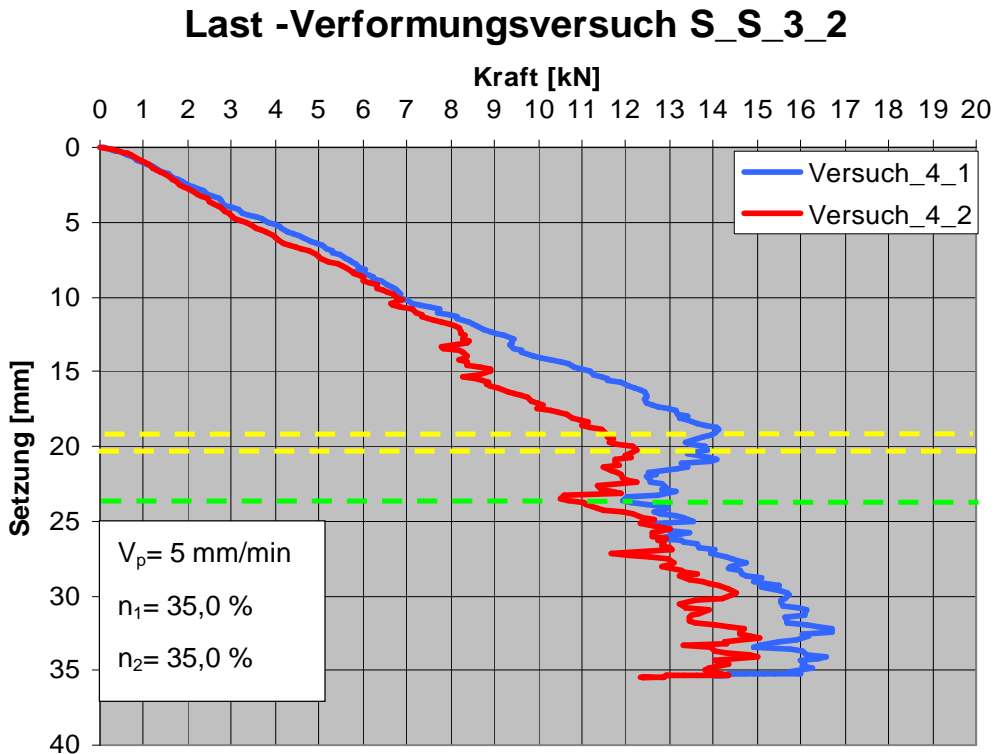


Abb. 6. 23

Last -Verformungsversuch S_S_3_2_V_4

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 3**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 24) werden zwei Last-Verformungskurven dargestellt. Vergleichbar mit dem vorherigen Versuch (Abb. 6. 23), haben die Versuchskurven bzw. die Druckkräfte einen ähnlichen Verlauf. Auch in diesen Fall hat die Druckkraft von Versuch_4_1 (blaue Kurve) fast über den ganzen Verlauf die höhere Intensität. Bei 31,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) nimmt die Druckkraft von Versuch_4_1 stark ab und bis zum Ende verliert sie $F = 2,0$ kN an ihrer Intensität. Die starke Druckkraftabnahme kann das Resultat der Kornverschiebung, der Kornzertrümmerung oder des Geländebruchs sein, da sich der geprüfte Schüttstreifen am Ende des Schüttkörpers befindet. Erst bei 33,0 mm Setzung überholt die Druckkraft von Versuch_4_2 die von Versuch_4_1 und am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_d = 0,6$ kN. Der Porenanteil beträgt auch in diesem Fall $n = 35,0$ %.

Last -Verformungsversuch S_S_3_3

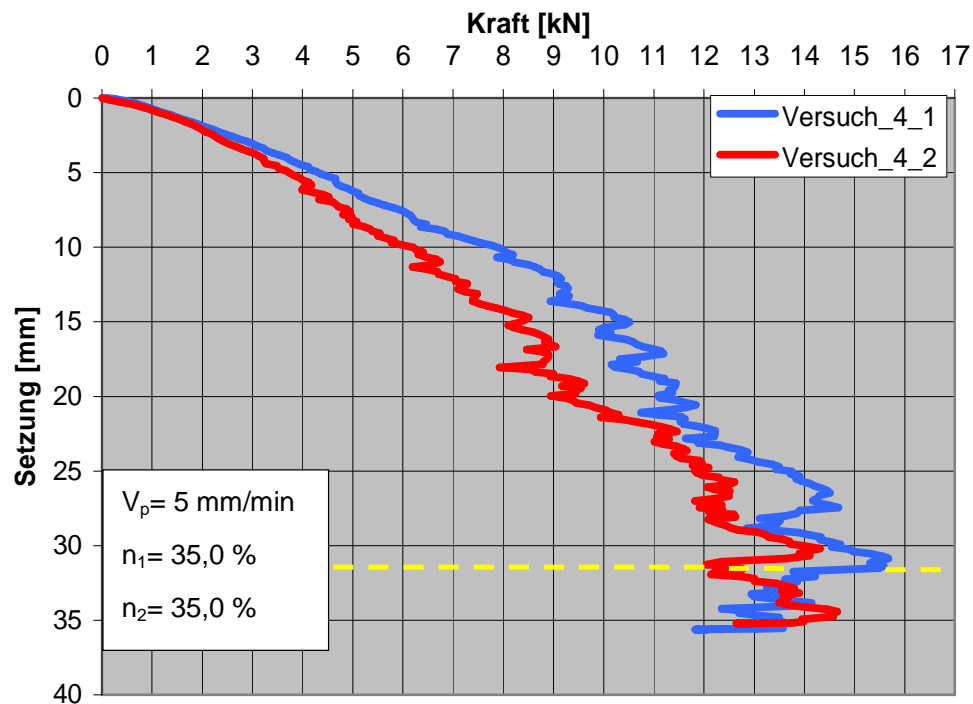


Abb. 6. 24 Last -Verformungsversuch S_S_3_3_V_4

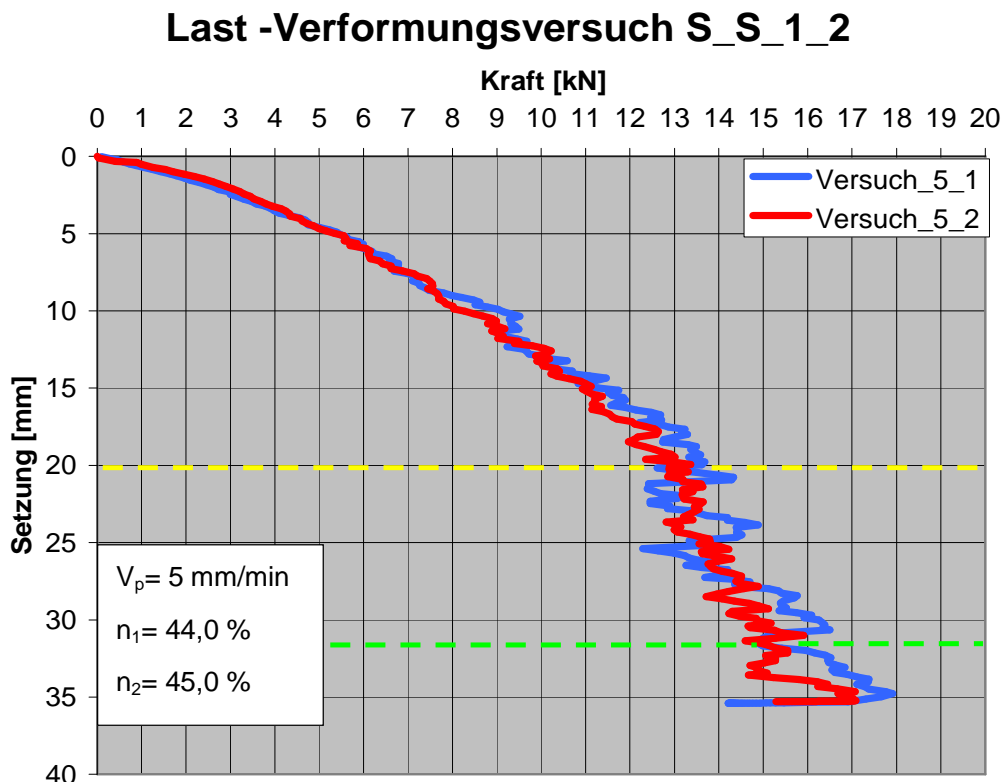
Vergleicht man alle Diagramme von Versuch_4 wird man sehen, dass bei Versuch_4_1 die Druckkraft bei drei, von insgesamt sechs Versuchen, ein höhere Tragfähigkeit hat. Abgesehen von den Last-Verformungsversuch S_S_2_1 (Abb. 6. 20) kann man auch auf den Diagrammen (Abb. 6. 21 und Abb. 6. 24) erkennen, dass über längere Strecken (Setzung) die Druckkraft von Versuch_4_1 eine höhere Intensität hatte.

6.1.5 Versuch 5

Der fünfte Versuch ist ein bewehrter Schüttkörper und er besteht aus Schüttmaterial und Geokunststoffgitter. Bei diesem Versuch wird das Geokunststoffgitter temporär vorgespannt. Die Vorspannung des Geokunststoffgitters wird nach dem Verdichten der Schüttlage gelöst (Kapitel 2.5).

- **Schüttlage 1 und Schüttstreifen 2**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 25) werden die Ergebnisse von zwei Last-Setzungskurven dargestellt. Auf dem Diagramm kann man erkennen, dass beide Versuchskurven bzw. Druckkräfte bis 20,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie), einen ähnlichen Verlauf haben. Ab diesem Punkt steigt die Druckkraft von Versuch_5_1 (blaue Kurve) mit einer höheren Intensität an. Erst ab den 32,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie) setzt sich die Druckkraft von Versuch_5_1 ab. Am Ende des Versuches beträgt die Kraftdifferenz $F_d = 0,7$ kN und der Porenunterschied $\Delta n = 1,0$ %.



- **Schüttlage 2 und Schüttstreifen 1**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 26) kann man sehen, dass die Last-Verformungskurven von Versuch_5_2 (rote Kurve) von Anfang an flacher geneigt ist. Sie wird bei 13,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) eingeholt und die Intensität beider Druckkräfte ist bis 18,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie) ähnlich groß. Ab diesen Punkt nimmt die Druckkraft von Versuch_5_2 um $F_{18} = 2,0$ kN ab. Erst ab 30,0 mm holt die Druckkraft von Versuch_5_2 die von Versuch_5_1 ein und steigt dann mit einer höheren Intensität an. Am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_d = 1,6$ kN und der Porenunterschied $\Delta n = 3,0$ %.

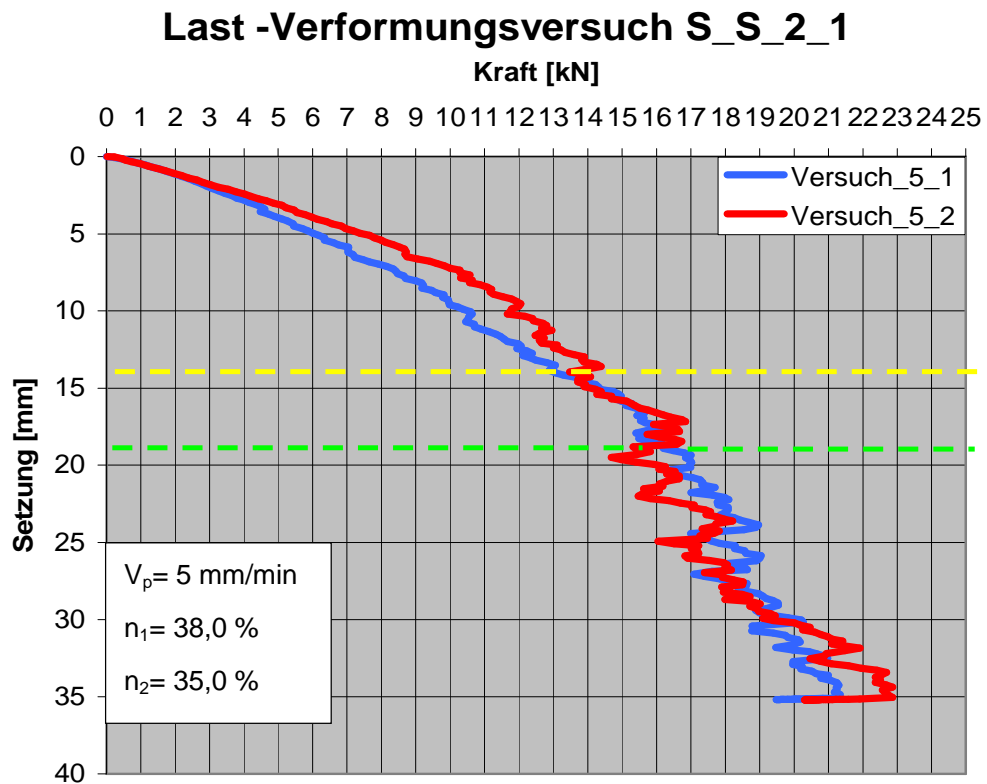


Abb. 6. 26

Last -Verformungsversuch S_S_2_1_V_5

- **Schüttlage 2 und Schüttstreifen 2**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 27) kann man erkennen, dass beide Druckkräfte bis 13,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) konstant ansteigen. Ab diesem Punkt nimmt die Druckkraft von Versuch_5_1 (blaue Kurve) um $F_{13}= 1,5$ kN ab. Nach einigen Millimetern steigt sie wieder an und bei 21,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie) hat sie die gleiche Intensität bzw. gleichen Wert wie die Druckkraft von Versuch_5_2 (rote Kurve). Ab diesem Punkt verliert sie wieder an Intensität um $F_{21}= 2,5$ kN. Sie steigt wieder an, aber dennoch hat sie am Ende die niedrigere Druckkraft. Die Kraftdifferenz beträgt in diesem Fall $F_d= 1,6$ kN und der Porenunterschied $\Delta n= 3,0$ %.

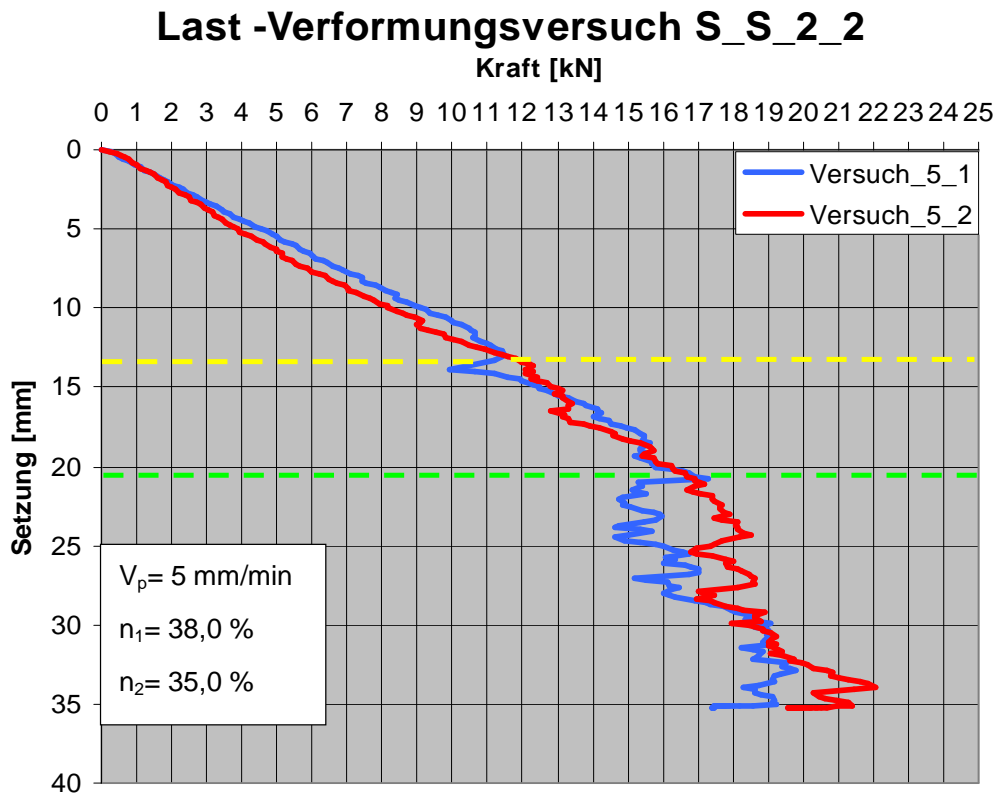


Abb. 6. 27

Last -Verformungsversuch S_S_2_2_V_5

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 1**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 28) kann man sehen, dass beide Druckkräfte von Anfang an steil ansteigen. Die Druckkraft von Versuch_5_2 (rote Kurve) lässt bei 18,0 mm Setzung mit ihrer Intensität nach und steigt erst ab 22,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) wieder an. Die Nachgiebigkeit der Druckkraft kann in diesem Fall durch die Kornzertrümmerung und/oder die Kornverschiebung verursacht werden. Bemerkenswert ist der Punkt bei 27,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie), wo sich beide Druckkräfte wieder näher kommen. Ab diesem Punkt steigt die Druckkraft von Versuch_5_1 (blaue Kurve) intensiv an und erreicht, bei 32,0 mm Setzung die maximale Druckkraft von $F_{max} = 28,66 \text{ kN}$. Im Gegensatz zu Versuch_5_1 nimmt die Druckkraft von Versuch_5_2 nach 27,0 mm Setzung um $F_{27} = 2,5 \text{ kN}$ ab und steigt unwesentlich an. Am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_d = 5,35 \text{ kN}$. Der Porenunterschied beträgt $\Delta n = 2,0 \%$

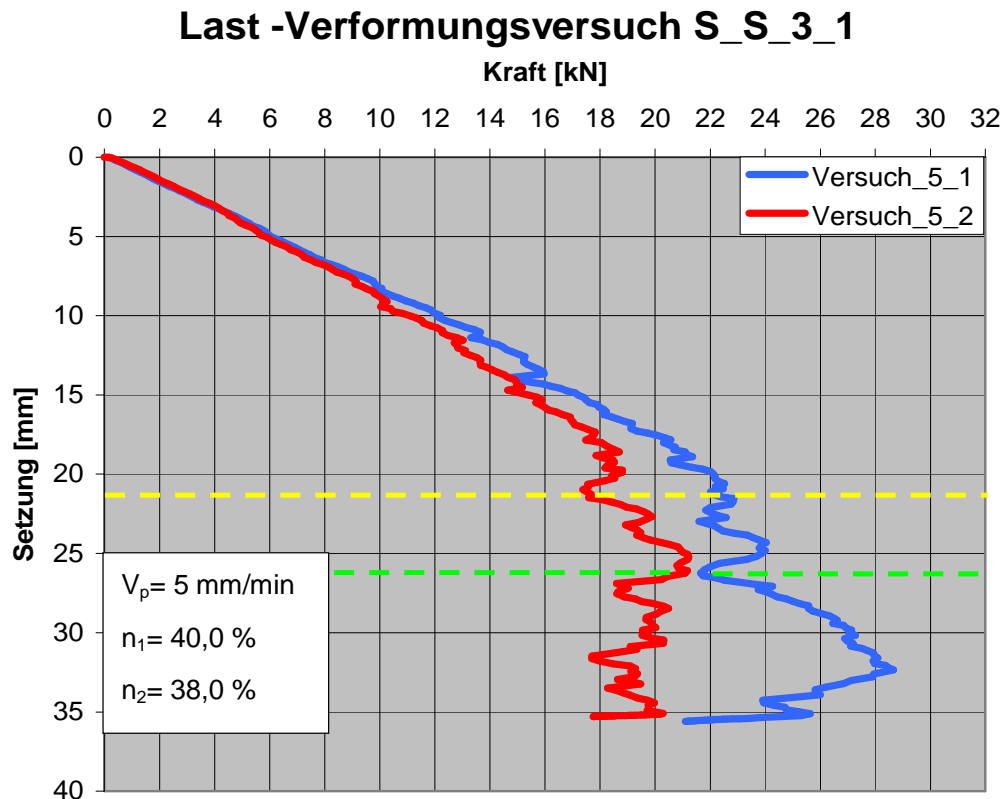


Abb. 6. 28 Last -Verformungsversuch S_S_3_1_V_5

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 2**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 29) werden erneut zwei Versuchsergebnisse dargestellt. Mit der Tiefe der Setzung steigen die Druckkräfte bei beiden Versuchen steil an. Ab 15,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie) nimmt die Druckkraft von Versuch_5_2 (rote Kurve), die bis dahin einen höheren Wert hat, in ihrer Intensität ab und gleicht sich mit Druckkraft von Versuch_5_1 (blaue Kurve) aus. Danach steigt sie wieder, gegenüber der Druckkraft von Versuch_5_1, die sich lange Zeit im Bereich von 10,0 bis 12,0 kN bewegt, steil an. Die Druckkräfte gleichen sich bei 28,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie) wieder an. Am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_d = 2,8 \text{ kN}$ und der Porenunterschied $\Delta n = 2,0 \%$.

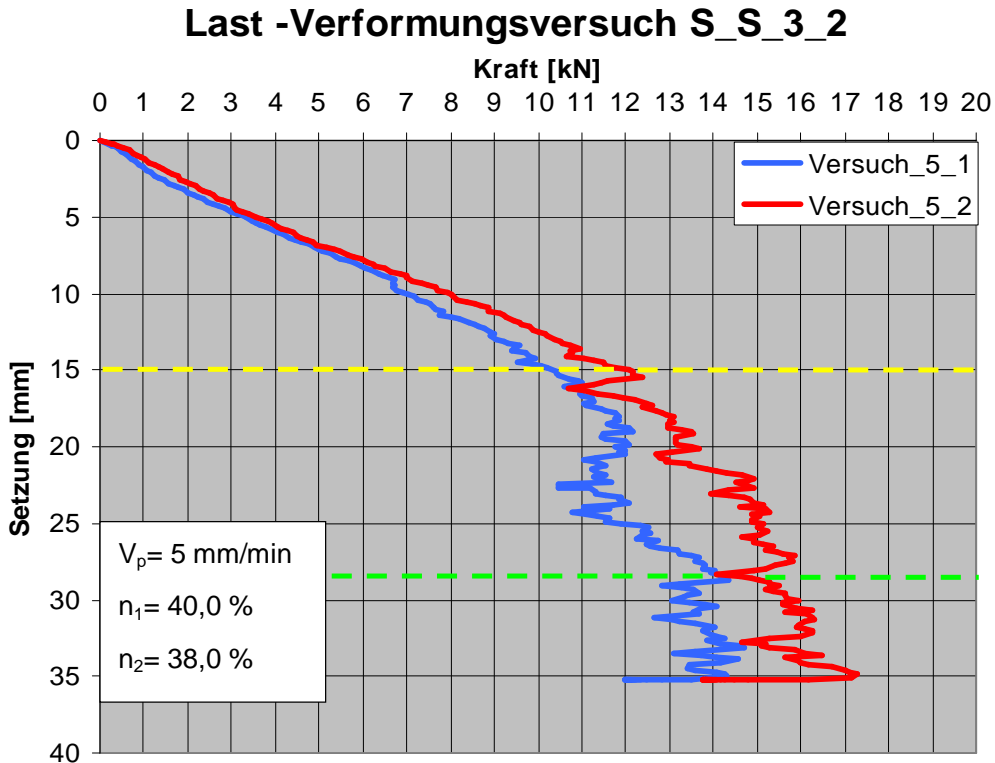


Abb. 6. 29

Last -Verformungsversuch S_S_3_2_V_5

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 3**

Bei dem letzten Diagramm (Abb. 6. 30) des fünften Versuches, kann man zwei Druckkräfte beobachten, die stetig ansteigen. Die Druckkraft von Versuch_5_2 (rote Kurve) hat, bis 18,0 mm Setzung (gelbe gestrichelte Linie), eine höhere Intensität. Ab diesen Punkt lässt die Druckkraft nach und nimmt um $F_{18} = 2,0$ kN ab. Die Druckkraftabnahme kann das Resultat der Kornverschiebung, der Kornzertrümmerung oder des Geländebruchs sein, da sich der geprüfte Schüttstreifen am Ende des Schüttkörpers befindet. Sie gleicht sich mit der Druckkraft von Versuch_5_1 (blaue Kurve) aus und nimmt dann wieder mehr an Intensität zu. Bei 32,0 mm Setzung (grüne gestrichelte Linie) gleichen sich beide Druckkräfte durch die Abnahme der Druckkraft von Versuch_5_2 bzw. durch die Steigung der Druckkraft von Versuch_5_1 wieder aus. Am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_d = 2,0$ kN. Der Porenunterschied beträgt $\Delta n = 2,0$ %.

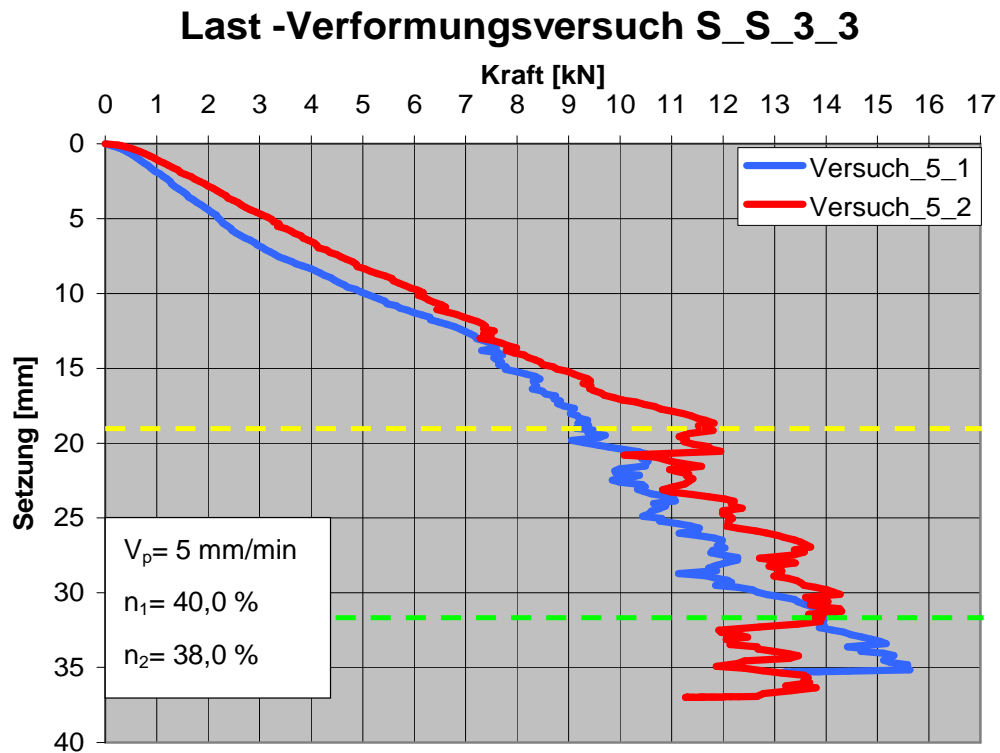


Abb. 6. 30 Last -Verformungsversuch S_S_3_3_V_5

Beim letzten Vergleich ist das Resultat unentschieden. Beide Versuche haben je drei Mal eine höhere Druckkraft. Die unterschiedlichen Werte der Druckkraft können an der Fehlervermeidung liegen, die beim Einbau, bei Aufschüttung des Kiesel und bei der Verdichtung des Schüttstreifens entstehen können. Zusammenfassend kann von einer guten Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse gesprochen werden. Die Konstanz bei Einbau und Verdichtung des Schüttkörpers, sowie die präzise Einstellung der Messeinrichtung sind entscheidende Einflussfaktoren für die gut reproduzierbaren Ergebnisse. Die Konstanz der Ergebnisse bei Versuch 5 ist besonders hervorzuheben. Durch die temporäre Vorspannung kommt es offensichtlich zu einer homogenen Verstärkung des Schüttkörpers.

6.2 Vergleich der unterschiedlich bewehrten Schüttkörper

Bei diesem Vergleich sollen an fünf verschiedenen Versuchen, die jeweils einmal wiederholt wurden, sechs unterschiedlich bewehrte Schüttstreifen verglichen werden. Insgesamt wurden 60 Last-Verformungsversuche durchgeführt. Es wurden von allen Versuchen für den entsprechenden Schüttstreifen, die maximalen Druckkraftverläufe herangezogen und untereinander verglichen. Der unbewehrte Schüttkörper (Versuch 1) liefert mit seinem Ergebnis eine Referenzgröße mit der die Versuche mit Geokunststoffgitter verglichen werden können. Interessant wird der Vergleich zwischen den Versuchen 2 und 3 bzw. den Versuch 4 und 5, da sich die Versuche vom Aufbau der Geokunststoffbewehrung sehr ähnlich sind.

Die Steigung der Last-Verformungskurve ist – wie bereits erwähnt- abhängig von:

- Einbau
- Verdichtung
- Kornverschiebung
- Kornzertrümmerung
- Temperatur
- Lagerungsdichte
- Messfehlern

6.2.1 Vergleich der verschiedenen Versuche

Auf den Diagrammen werden fünf Versuche, die unterschiedlich bewehrt sind, dargestellt. Wie bereits erwähnt, wird auf den Vergleich zwischen den Versuchen 2 und 3 bzw. den Versuche 4 und 5 ein besonderes Augenmerk gelegt.

- **Schüttlage 1 und Schüttstreifen 2**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 31) werden fünf Versuche, die unterschiedlich bewehrt sind, dargestellt. Die Druckkraft bei Versuch 2 (rote Kurve) und 3 (gelbe Kurve) unterscheidet sich nicht drastisch. Dennoch kann man erkennen, dass ab 12,0 mm Setzung die Druckkraft von Versuch 2 eine etwas höhere Intensität hat. Am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_{d(2-3)} = 0,6 \text{ kN}$ zugunsten von Versuch 2. Bei den Versuchen 4 (grüne Kurve) und 5 (lila Kurve) sieht es anders aus. Schon ab 8,0 mm Setzung setzt sich die Druckkraft von Versuch 5 ab und vergrößert mit der Tiefe ihre Intensität. Ab 31,0 mm Setzung nehmen beide Druckkräfte in ihrer Intensität ab, verursacht durch Kornverschiebung und/oder Kornzertrümmerung unter der Versuchsplatte. Die Druckkraft von Versuch 5 erholt sich schneller und am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_{d(4-5)} = 5,5 \text{ kN}$ zugunsten von Versuch 5.

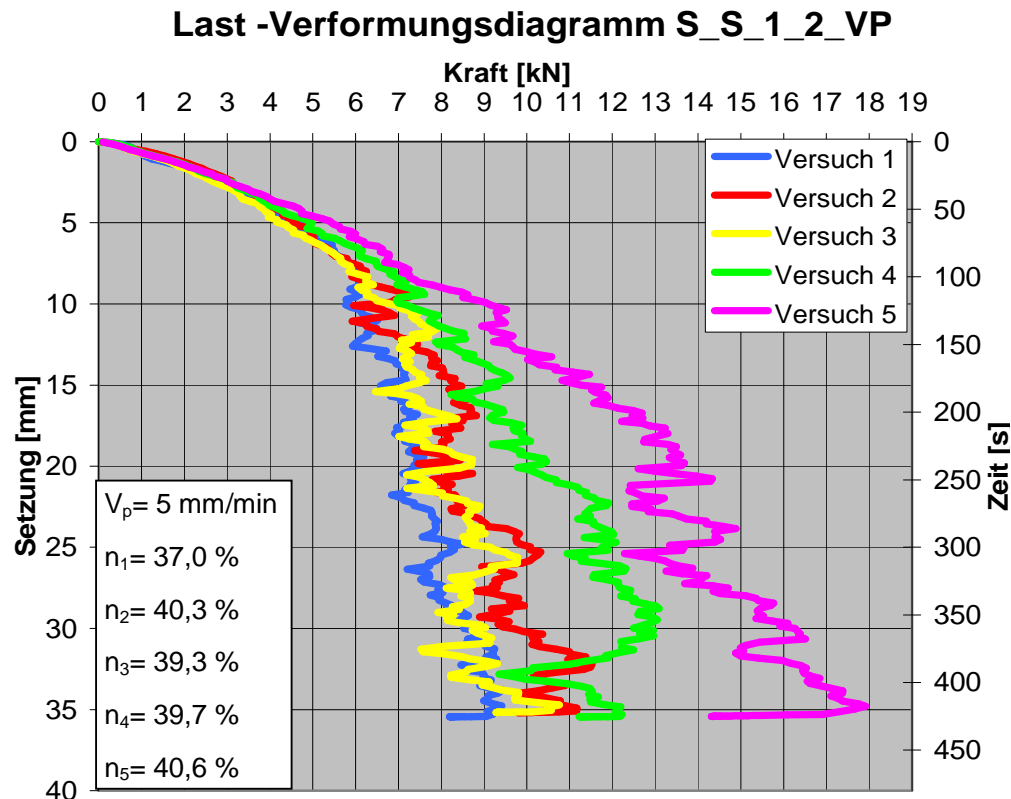


Abb. 6. 31

Last -Verformungsversuch S_S_1_2_V_1-5

Die niedrigste Druckkraft hat am Ende der Versuch 1 (blaue Kurve) mit $F_1 = 9,3 \text{ kN}$. Die höchste Druckkraft hat der Versuch 5 mit $F_5 = 17,7 \text{ kN}$. Wie bereits erwähnt, liefert der Versuch 1 mit seinem Ergebnis eine Referenzgröße. In diesem Fall bedeutet, dass die Druckkraft von Versuch 5 eine um 90 % höhere Intensität hat, als die Druckkraft von Versuch 1. Durch den Prozentwert wird gezeigt, um wie viel die Tragfähigkeit eines Schüttkörpers mit einer Bewehrung erhöht werden kann.

- **Schüttlage 2 und Schüttstreifen 1**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 32) werden wiederum fünf Versuche, die unterschiedlich bewehrt sind, dargestellt. In diesem Fall kann man nur bei Versuch 1 (blaue Kurve) den Verlauf der Druckkraft leicht erkennen. Erst ab 20,0 mm Setzung kann man sehen, dass sich die Druckkraft von Versuch 4 (grüne Kurve) etwas von den anderen drei absetzt bzw. eine höhere Druckkraft hat. Beim 33,0 mm nähern sich die Druckkräfte von Versuch 4 und 5 (lila Kurve) und steigen dann beide konstant an. Am Ende beträgt die Kraftdifferenz zwischen den Versuchen $F_{d(4-5)} = 0,6 \text{ kN}$ zugunsten von Versuch 5. Die Druckkraft bei Versuch 2 (rote Kurve) steigt am Anfang steil an. Dennoch verliert sie bei 13,0 mm Setzung an Intensität und gleicht sich mit der Druckkraft von Versuch 3 (gelbe Kurve) bzw. von Versuch 4 und 5 aus. Ab 16,0 mm Setzung und bis zum Ende der Versuchsdurchführung überkreuzen sich die Druckkräfte von den Versuchen 2 und 3 mehrere Male.

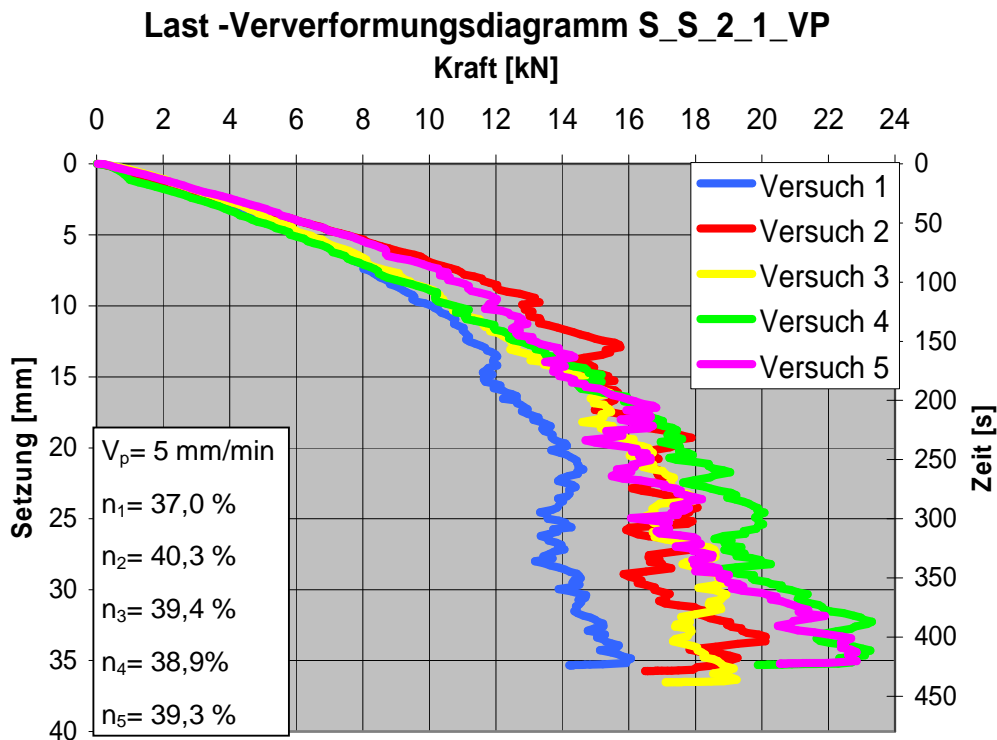


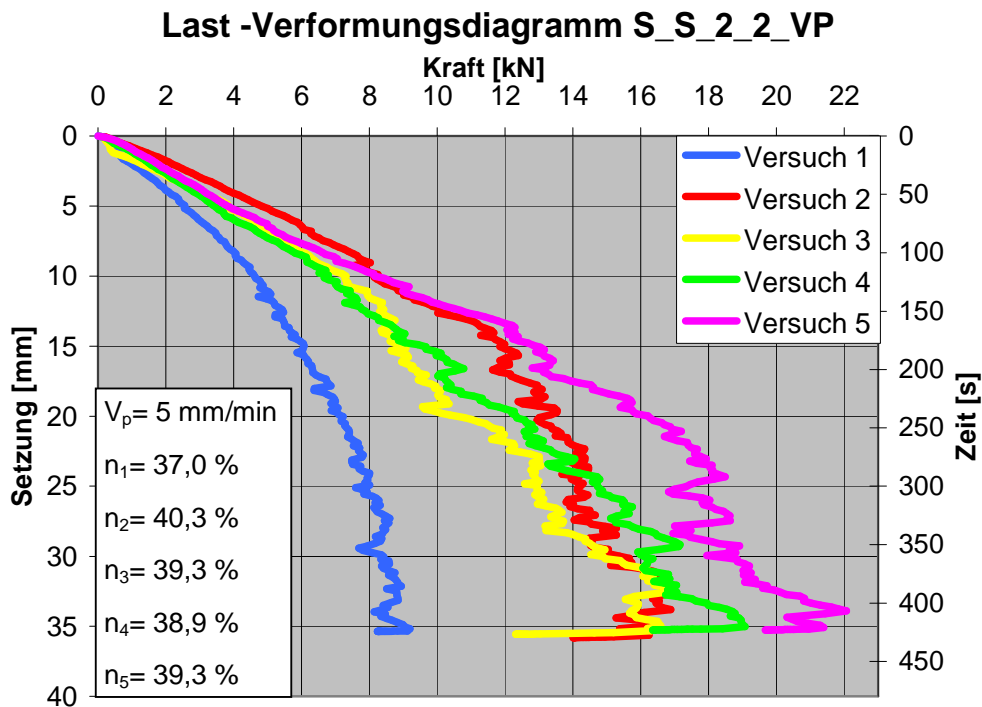
Abb. 6. 32

Last -Verformungsversuch S_S_2_1_V_1-5

Am Ende beträgt die Kraftdifferenz zwischen den beiden Versuchen $F_{d(2-3)} = 0,9$ kN zugunsten von Versuch 2. Die niedrigste Druckkraft hat auch in diesem Fall der Versuch 1 mit $F_1 = 16,0$ kN und die höchste Druckkraft hat der Versuch 5 mit $F_5 = 22,9$ kN. Die Kraftdifferenz zwischen der minimalen und maximalen Druckkraft beträgt $F_{d(1-5)} = 6,9$ kN. Das heißt, durch das temporär vorgespannte Geokunststoffgitter ergibt sich eine Erhöhung der Tragfähigkeit des Schüttstreifens bzw. des Schüttkörpers um 43,1%.

- **Schüttlage 2 und Schüttstreifen 2**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 33) werden erneut fünf Versuche, die unterschiedlich bewehrt sind, dargestellt. Auch in diesem Fall kann man den Druckkraftverlauf von Versuch 1 (blaue Kurve) leicht erkennen. Die Druckkraft ist deutlich niedriger als die der restlichen Versuche. Die Druckkräfte von den Versuchen 2 (rote Kurve) und 5 (lila Kurve) steigen von Anfang an steil an. Erst ab 16,0 mm Setzung lässt die Druckkraft von Versuch 2 gegenüber der Druckkraft von Versuch 5 in ihrer Intensität nach. Sie wird bei 23,0 mm Setzung von der Druckkraft von Versuch 4 (grüne Kurve) bzw. bei 30,0 mm Setzung von der Druckkraft von Versuch 2 (gelbe Kurve), eingeholt. Die Kraftdifferenz zwischen den Versuchen 2 und 3 beträgt am Ende $F_{d(2-3)} = 0,4$ kN zugunsten von Versuch 3 und zwischen den Versuchen 4 und 5 beträgt sie $F_{d(4-5)} = 1,6$ kN zugunsten von Versuch 5. Wie bereits erwähnt, hat der Versuch 1 mit $F_1 = 9,0$ kN die minimale Druckkraft. Die Kraftdifferenz zwischen der am Ende minimalen und maximalen Druckkraft beträgt $F_{d(1-5)} = 12,3$ kN. Dies bedeutet mehr als eine Verdoppelung der Tragfähigkeit bzw. eine Erhöhung der Druckkraft um 137,0 % zugunsten von Versuch 5.



- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 1**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 34) werden fünf Versuche, die unterschiedlich bewehrt sind, dargestellt. Wie bei den vorherigen drei Last-Verformungsversuchen, hat auch dieses Mal die Druckkraft von Versuch 1 (baue Kurve) die niedrigste Intensität gegenüber den vier anderen Versuchen. Interessant ist der Vergleich zwischen dem Versuch 2 (rote Kurve) und 3 (gelbe Kurve), wo die Druckkräfte bis 18,0 mm Setzung eine ähnliche Intensität haben. Ab diesem Punkt nimmt die Druckkraft von Versuch 2 um $F'_{2} = 3,0$ kN ab. Sie fängt sich nach einigen Millimeter Setzung wieder ein und steigt dann weiter an. Die Kraftdifferenz zwischen diesen zwei Versuchen beträgt $F_{d(2-3)} = 2,5$ kN zugunsten von Versuch 3. Bei den Versuchen 4 (grüne Kurve) und 5 (lila Kurve) verläuft die Druckkraft, bis 17,0 mm Setzung, mit ähnlicher Intensität. Ab diesem Punkt steigt die Druckkraft von Versuch 5 mit einer höheren Intensität gegenüber der Druckkraft von Versuch 4 an. Bei 32,0 mm Setzung erreicht sie ihr Maximum mit $F'_{5} = 28,66$ kN. Dies ist auch die maximale Druckkraft, die bei der Versuchsdurchführung erreicht wurde. Die Kraftdifferenz beträgt bei diesem Punkt $F_{32,(4-5)} = 5,2$ kN. Interessanterweise nimmt sie ab diesem Punkt ab und wird sogar von der Druckkraft von Versuch 4 eingeholt und überholt. Die Ursache der starken Druckkraftabnahme kann eine Kornverschiebung und/oder Kornzertrümmerung unter der Versuchsplatte sein. Am Ende beträgt die Kraftdifferenz zwischen diesen zwei Versuchen $F_{d(4-5)} = 0,7$ kN zugunsten von Versuch 4.

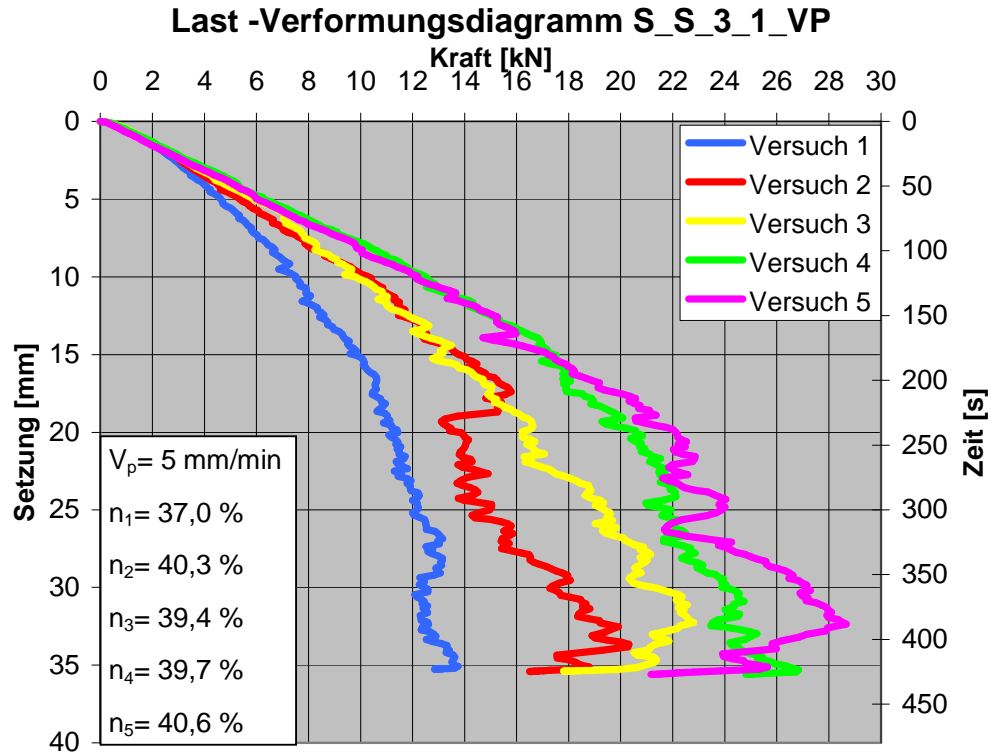


Abb. 6. 34 Last -Verformungsversuch S_S_3_1_V_1-5

Die Kraftdifferenz zwischen der am Ende minimalen und maximalen Druckkraft wird ausnahmsweise zwischen dem Versuch 1 mit $F_1 = 13,8 \text{ kN}$ und dem Versuch 4 mit $F_4 = 26,0 \text{ kN}$ entschieden. Sie beträgt $F_{d(1-4)} = 12,2 \text{ kN}$ und in Prozent heißt das eine Erhöhung der Tragfähigkeit um 88,4 % zugunsten von Versuch 4.

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 2**

In diesem Schüttstreifen verlaufen die Druckkräfte (Abb. 6. 35) von Versuch 2 (rote Kurve) und 3 (blaue Kurve) recht unterschiedlich. Über die ganze Versuchsdurchführung hat die Druckkraft von Versuch 3 eine höhere Intensität. Bei 24,0 mm Setzung beträgt die Kraftdifferenz $F_{32,(2-3)} = 3,8$ kN. Nach diesem Punkt nimmt die Druckkraft von Versuch 3 etwas ab und die Kraftdifferenz beträgt am Ende $F_{d(2-3)} = 2,3$ kN. Die Druckkräfte von den Versuchen 4 (grüne Kurve) und 5 (lila Kurve) überschneiden sich bis zum Ende mehrmals. Nach 21,0 mm Setzung nimmt die Druckkraft von Versuch 4 um $F'_4 = 2,1$ kN ab. Nach einiger Zeit überholt sie die Druckkraft von Versuch 5. Bis zum Ende verliert die Druckkraft von Versuch 4 an ihrer Intensität. Die Kraftdifferenz beträgt in diesem Fall $F_{d(4-5)} = 1,5$ kN. Wiederum hat der Versuch 1 (blaue Kurve) mit $F_1 = 9,5$ kN die niedrigste Druckkraft. Die Kraftdifferenz zwischen den Versuchen 1 und 5 bzw. der minimalen und maximalen Druckkraft beträgt am Ende $F_{d(1-5)} = 7,7$ kN. Das heißt, eine Erhöhung der Druckkraft um 81,1 % zugunsten von Versuch 5.

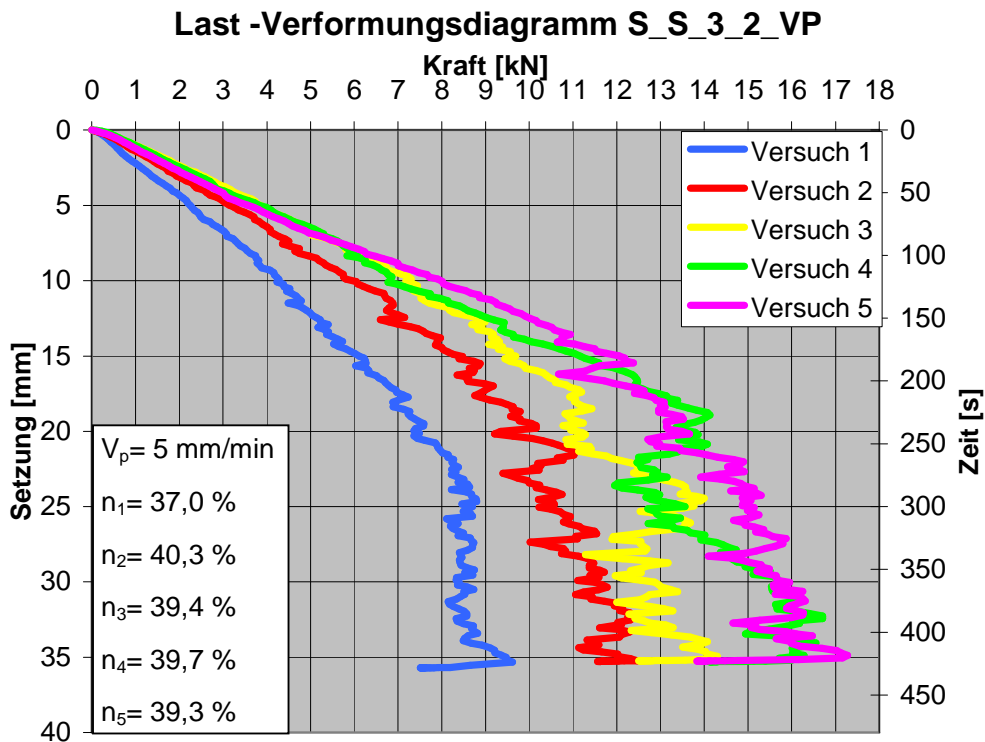


Abb. 6. 35

Last -Verformungsversuch S_S_3_2_V_1-5

- **Schüttlage 3 und Schüttstreifen 3**

Auf dem Diagramm (Abb. 6. 36) werden wiederum fünf Versuche, die unterschiedlich bewehrt sind, dargestellt. In diesem Fall steigt die Druckkraft von Versuch 5 (lila Kurve) am Anfang mit einer mäßigen Intensität gegenüber den anderen Versuchen an. Sie gleicht sich der Druckkraft von Versuch 4 (grüne Kurve) bei 12,0 mm Setzung an. Die zwei Druckkräfte überschneiden sich ab diesem Punkt mehrmals. Am Ende der Versuchsdurchführung beträgt die Kraftdifferenz zwischen den beiden Versuchen $F_{d(4-5)} = 1,4 \text{ kN}$ zugunsten von Versuch 5. Die Druckkraft von Versuch 3 (gelbe Kurve) steigt am Anfang steil an. Bis 17,0 mm Setzung hat sie mit $F'_{17} = 10,1 \text{ kN}$ die höchste Intensität. Ab diesem Punkt nimmt sie ab und verläuft wechselhaft. Bei 27,0 mm Setzung wird sie von der Druckkraft von Versuch 2 (rote Kurve) eingeholt und überholt. Am Ende beträgt die Kraftdifferenz $F_{d(2-3)} = 2,6 \text{ kN}$. Die Druckkraft von Versuch 1 (blaue Kurve) kann ab den 8,0 mm Setzung nicht mit den anderen Versuchen mithalten. Sie hat am Ende, wie bei den vorherigen fünf Versuchen, mit $F_1 = 6,1 \text{ kN}$ die niedrigste Intensität der Druckkraft. Der Vergleich zwischen der minimalen und maximalen Druckkraft zeigt am Ende eine Kraftdifferenz von $F_{d(1-5)} = 9,2 \text{ kN}$. Prozentuell heißt das eine Erhöhung der Druckkraft um 152 % bzw. mehr als eine Verdoppelung der Tragfähigkeit des Schüttstreifens.

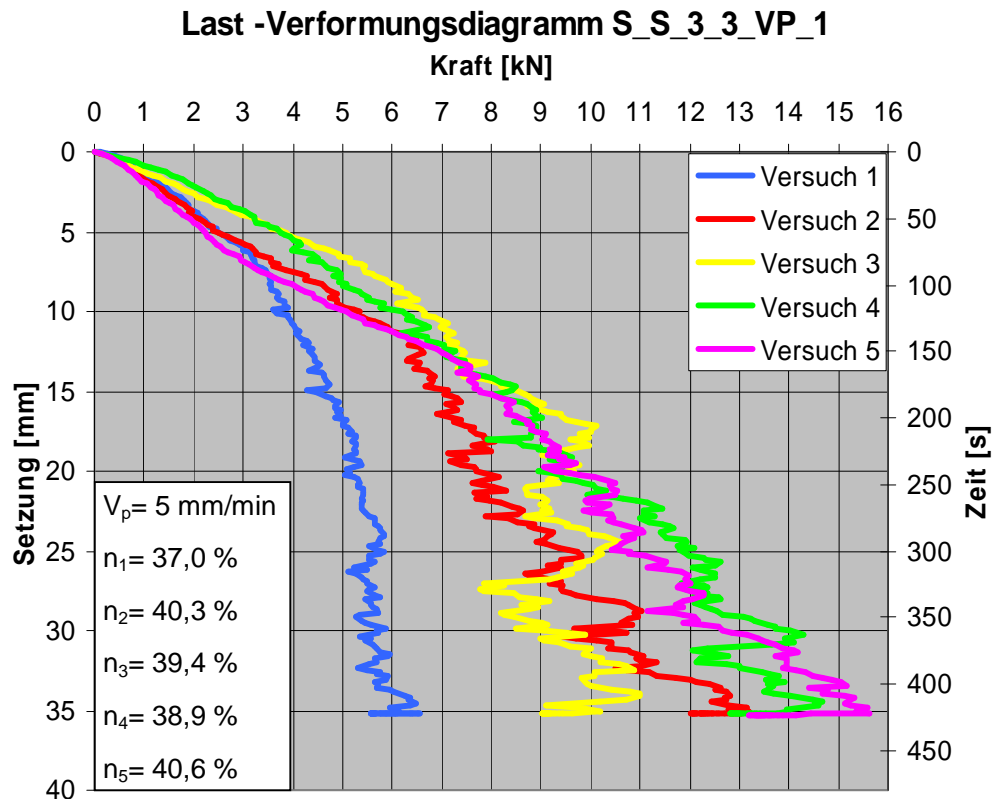


Abb. 6. 36

Last -Verformungsversuch S_S_3_3_V_1-5

6.2.2 Vergleich zwischen verformbarer und verformbarer Frontverkleidung

Auf der Abbildung 6. 37 ist ein Schüttkörper mit der dritten Schüttlage dargestellt. Auf der linken Seite des Schüttkörpers ist eine verformarme Frontverkleidung (harter Verbau) und auf der rechten Seite eine verformbare Frontverkleidung (weicher Verbau) erkennbar. In diesen Fall werden fünf unterschiedlich bewerte Schüttkörper miteinander verglichen. Für den Vergleich werden für dritte dritten Schüttlage drei Schüttstreifen berücksichtigt. Auf dem Diagramm kann man unterhalb des Schüttkörpers die Druckkräfte der jeweiligen Versuche ablesen. Betrachtet man Position 1 (S_S_3_1) wird es deutlich, dass der Versuch 1 (blaue Linie) die niedrigste Druckkraft hat. Die Versuche 2 (rote Linie) und 3 (gelbe Linie) haben eine mittlere Druckkraft und die Versuche 4 (grüne Linie) und Versuch 5 (lila Linie) haben die höchste Druckkraft. Auf der Position 2 (S_S_3_2) kann man bei allen Versuchen einen Kräfteabfall erkennen. Das heißt, dass durch den größeren Abstand vom harten Verbau, die Tragfähigkeit abnimmt. Auf der Position 3 (S_S_3_3) bzw. bei weichem Verbau nimmt die Druckkraft gegenüber der Position 2 ab, außer beim Versuch 2. In diesen Fall steigt die Druckkraft etwas an. Der Grund dafür kann die bessere Interaktion zwischen dem Geokunststoffgitter und dem Kontaktboden auf der Position 3 sein.

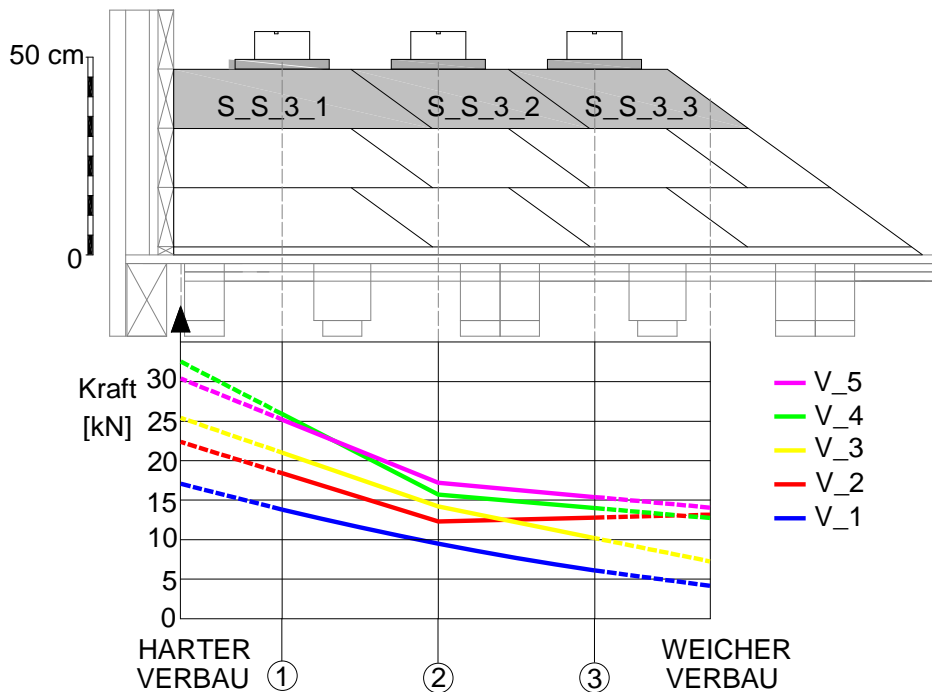


Abb. 6. 37 Frontverkleidungsvergleich

6.3 Zusammenfassung der Versuchsergebnisse

In den Kapiteln 6.1 und 6.2 wurden Vergleiche zwischen gleich bewehrten Schüttkörpern sowie Vergleiche zwischen fünf unterschiedlich bewehrten Schüttkörpern dargestellt.

In den Diagrammen des Kapitels 6.1 wurde der Verlauf der Druckkraft mit der Setzung für gleich bewehrte Schüttstreifen dargestellt. Dabei hat man die minimale und die maximale Druckkraft des jeweiligen Schüttstreifens erkennen können.

In den Diagrammen des Kapitels 6.2 wurden die Verläufe der Druckkräfte mit der Setzung für unterschiedlich bewehrte Schüttstreifen dargestellt. In diesem Fall wurde die maximale Druckkraft von jedem unterschiedlich bewehrten Schüttstreifen abgebildet.

In den sechs Diagrammen, die im Kapitel 6.2 dargestellt wurden, hat man erkennen können, dass die Intensität der Druckkraft bzw. die Tragfähigkeit des Schüttkörpers mit einem Geokunststoffgitter erhöht wird. Eine zusätzliche Erhöhung der Tragfähigkeit wird mit einem Vorspannen des Geokunststoffgitters sowie mit einer temporärer Vorspannung des Geokunststoffgitters erzielt. Aus den Last-Verformungsdiagrammen wird deutlich, dass die Druckkraft gegenüber der Setzung nicht linear verläuft. Auf den dargestellten Diagrammen kann man erkennen, dass die Druckkräfte im Durchschnitt bei 15,0 mm Setzung einen Kräfteknick haben. Die Intensität der Druckkräfte nimmt ab diesem Punkt etwas ab.

Wie bereits erwähnt, ist die Intensität der Druckkräfte von:

- Einbau und Verdichtung des Schüttstreifens
- Kornverschiebung und Kornzertrümmerung
- Temperatur
- Lagerungsdichte
- Messfehlern abhängig.

- **Einbau und Verdichtung des Schüttstreifens**

Je nachdem wie der Schüttstreifen eingebaut und verdichtet wurde, ist auch die Intensität der Druckkraft abhängig. Beim Einbau bzw. bei der Aufschüttung des Schüttmaterials ist es sehr wichtig, dass bei jeder Aufschüttung die Schütthöhe konstant bleibt. Durch den Unterschied der Schütthöhe, hängt auch die Verdichtbarkeit des Schüttstreifens ab. Weiters soll jeder Schüttstreifen die gleiche Höhe und Länge haben (Abb. 6. 38). Wichtig ist auch, dass die Verdichtungskraft bei jedem Schüttstreifen gleich groß ist

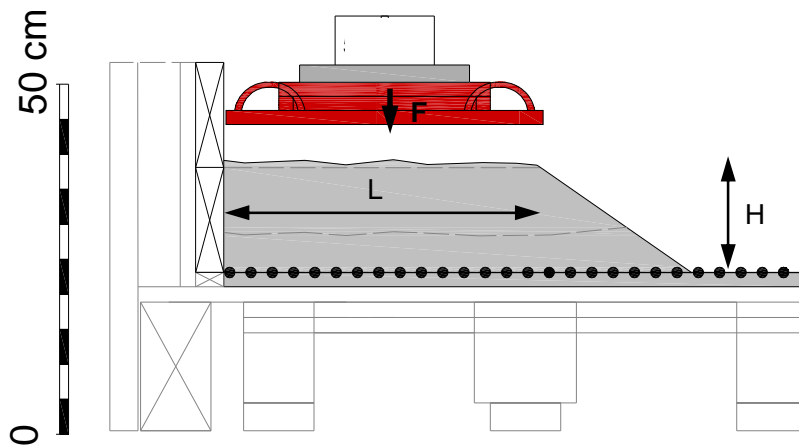


Abb. 6. 38 Einbau und Verdichtung

Wie bereits erwähnt, wird das Kiesmaterial in einer mitteldichten Lagerung eingebaut. Jeder Verdichtungsprozess wird aufgezeichnet und dokumentiert. Auf dem Diagramm (Abb. 6. 39) werden die Verdichtungsverläufe von den Versuchen 1 bis 5 für den dritten Schüttstreifen in der ersten Schüttlage (S₁_S₃) dargestellt. Betrachtet man das Diagramm und die gelbe gestrichelte Linie, kann man erkennen, dass sich die Verdichtungen bzw. die Setzungen von den Versuchen 4 (grüne Kurve) und den Versuch 5 (lila Kurve) bei $F_V=10,0$ kN Verdichtungskraft sich deutlich unterscheiden. Die Setzungsdifferenz beträgt $s_d= 0,6$ mm. Dennoch gleichen sich die Setzungen am Ende des Verdichtungsprozesses aus und betragen $s_{4,5}= 6,8$ mm. Die Verdichtungskurve von den Versuchen 1 (blaue Kurve) und 2 (rote Kurve) haben bis $F_V=10,0$ kN (grüne gestrichelte Linie) einen gleichen Wert $s_{1,2}= 4,4$ mm. Ab diesem Punkt steigt die Verdichtungskraft von Versuch 2 und gleicht sich mit der Verdichtung bzw. Setzung von Versuch 3 (gelbe Kurve) aus. Die Setzungen betragen am Ende $S_{2,3}= 6,3$ mm. In diesem Fall hat der Versuch 1 die größte Setzung mit $s_1= 7,0$ mm. Eine etwas größere Setzung haben

die Versuche 4 und 5 gegenüber den Versuchen 1 und 2. Die Setzungsdifferenz beträgt in diesem Fall $s_d = 0,5$ mm. Diese ergibt sich durch den geringen Spielraum zwischen dem Schüttstreifen und dem Geokunststoffgitter. Dieser Spielraum entsteht durch die geringe Abhebung des Geokunststoffgitters während der Vorspannung.

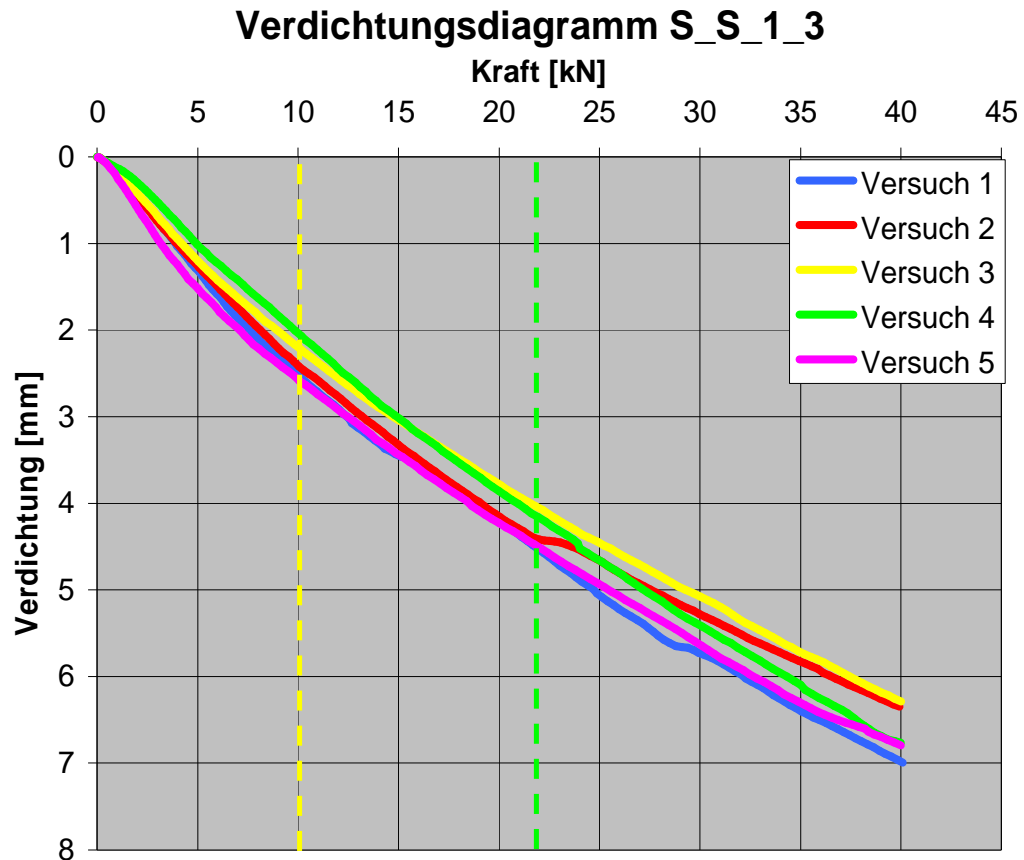


Abb. 6. 39 Verdichtungsdiagramm

- **Kornverschiebung und Kornzertrümmerung**

Die Intensität der Druckkraft ist von der Kornverschiebung und der Kornzertrümmerung unter der Versuchsplatte, sowie der Kornverschiebung bzw. Korndurchrutschung der Kieskörner durch die Geokunststoffgittermaschen abhängig. Je nachdem, wie die Kieskörner im Schüttstreifen positioniert sind (die längere Seite waage- oder senkrecht), ist auch der Bruch des Kieskorns (Kornzertrümmerung) sowie die Kornverschiebung abhängig (Abb. 6. 39). Durch den Bruch und durch die Verschiebung des Kieskorns unter der Versuchsplatte verkleinert sich zeitweise die Intensität der Druckkraft. Ebenso gibt die Druckkraft nach, wenn die Kieskörner durch die Geogittermaschen durchrutschen und die

Interaktion zwischen dem Kies und Geokunststoffgitter nicht mehr konstant ist (Abb. 6. 39).

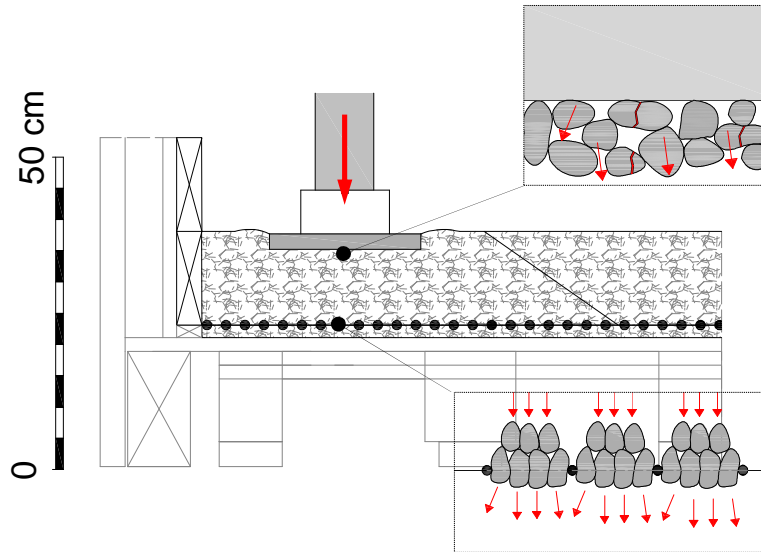


Abb. 6. 40 Kornverschiebung und Kornzertrümmerung

Nachdem die Versuchsdurchführung beendet ist, wird das Schüttmaterial unter der Versuchsplatte durch ein Sieb 8-16 mm gesiebt und die 0-8 mm Kieskörner werden entsorgt. Das heißt, dass für Schüttstreifen mehr oder weniger, das gleiche Schüttmaterial verwendet wird. Auf dem Diagramm (Abb. 6. 40) wird eine Körnungslinie (blaue Linie) vor der Versuchsdurchführung und eine Körnungslinie (rote Linie) nach der Versuchsdurchführung dargestellt.

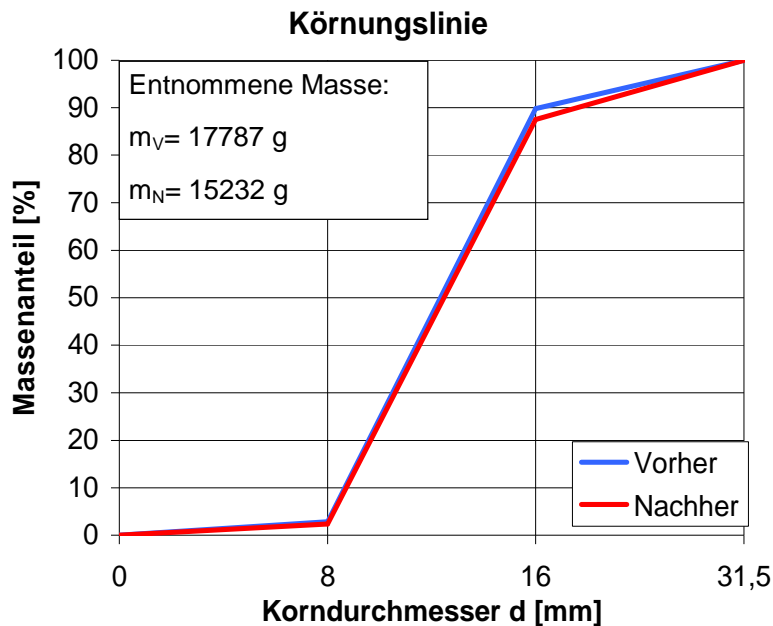


Abb. 6. 41 Körnungslinie vorher-nachher

In der Tabelle 6. 1 werden die Anteile der mittleren Durchmesser vor und nach der gesamten Versuchsdurchführung dargestellt. Für die Korngrößen 0 - 8 und 8 – 16 mm haben sich nach der Versuchsdurchführung kleinere Werte als vor der Versuchsdurchführung ergeben. Dieser Ergebnis ist nicht als plausibel zu bewerten. Folglich sind diese Ergebnisse nicht aussagekräftig für die weiteren Schlußfolgerungen.

Mittlerer Durchmesser des Rundkorns [mm]	0 - 8,0	8,0 - 16,0	16,0 - 31,5	31,5- 63,0
Anteil vorher [%]	2,9	86,9	10,2	0
Anteil nachher [%]	2,4	85,1	12,5	0

Tab. 6. 1 Anteil der mittleren Durchmesser vor und nach der Versuchsdurchführung

- **Temperatur**

Im Labor des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau wurden drei Messgeräte (zwei Wegseilaufnehmer WSA und ein induktiver Wegaufnehmer IWA) hinsichtlich unterschiedlicher Raumtemperatur getestet. Der gemessene Temperaturunterschied während der Versuchsdurchführung von $\Delta T = 1^\circ\text{C}$ hat kein Einfluss auf die getesteten Messgeräte.

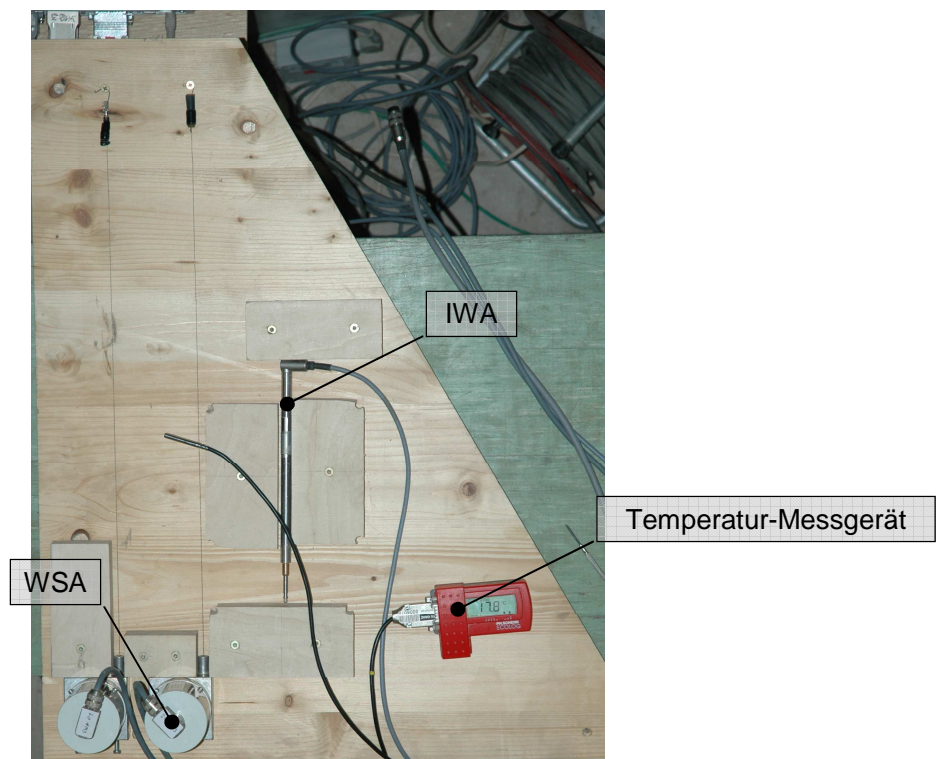


Abb. 6. 42 Überprüfung der Messgeräte

- **Lagerungsdichte**

Nach dem Verlauf der Druckkraft auf den Diagrammen, in Kapitel 6.1 und 6.2, und anhand des Porenanteils für den entsprechenden Schüttstreifen wird es deutlich, dass der Porenanteil einen geringen Einfluss auf die Intensität der Druckkraft hat. Der Versuch 1 hat zwar den kleinsten Porenanteil mit $n = 37,0\%$, dennoch hat er, weil unbewehrt, die niedrigste Druckkraft bzw. die schlechteste Platzierung (Platz 5) von allen Versuchen (Tab. 6. 2). Der Vergleich zwischen den Versuchen 2 und 3 zeigt, dass der Porenanteil bei Versuch 3 kleiner ist. Trotzdem ist die Druckkraft nicht immer größer als bei Versuch 2. Die Platzierungen der zwei Versuche wechseln sich ab. Ähnlich ist es beim Vergleich zwischen Versuch 4 und 5. In diesem Fall hat der Versuch 4 meistens den kleineren Porenanteil gegenüber Versuch 5, aber trotzdem hat der Versuch 5 am Ende meistens die höchste Druckkraft bzw. die beste Platzierung von allen Versuchen.

- **Messfehler**

Bei der Berechnung von der Lagerungsdichte wurden leider auch Messfehler festgestellt, da der Unterschied der Porenanteile hoch ist (Versuch 2, Schüttlage 1 und 2). Bei der Versuchsdurchführung wurden, abgesehen von Versuch_1_1, Schüttlage 1 und Schüttstreifen 2, keine direkten Messfehler festgestellt. In dem angesprochenen Fall wurde der induktive Wegaufnehmer IWA nicht auf die gewünschte Weglänge eingestellt und gehört zum Aufbaufehler.

- Versuchsergebnisse**

In der Tabelle 6. 2 werden alle wichtigen Angaben und Ergebnisse, der im Kapitel 6. 2 durchgeführten bzw. dargestellten Vergleiche aufgelistet.

Schüttlage und Schüttstreifen	Porenanteil n [%]	Maximale Druckkraft		Druckkraft F [kN] bei 35,0 mm Setzung	Platzierung am Ende 1 - sehr gut 5 - schlecht
		F _{max} [kN]	zugehörige Setzung [mm]		
Versuch 1					
S_S_1_2	37,0	9,3	35,0	9,3	5
S_S_2_1	37,0	12,0	35,0	12,0	5
S_S_2_2	37,0	9,0	35,0	9,0	5
S_S_3_1	37,0	13,8	35,0	13,8	5
S_S_3_2	37,0	9,5	35,0	9,5	5
S_S_3_3	37,0	6,5	34,5	6,1	5
Versuch 2					
S_S_1_2	40,3	11,5	32,2	11,2	3
S_S_2_1	40,3	20,1	33,5	19,1	3
S_S_2_2	40,3	16,9	32,5	16,2	4
S_S_3_1	40,3	20,3	33,7	18,4	4
S_S_3_2	40,3	12,4	32,2	12,3	4
S_S_3_3	40,3	13,1	34,8	12,8	3
Versuch 3					
S_S_1_2	39,3	10,8	34,7	10,6	4
S_S_2_1	39,4	19,0	29,0	18,5	4
S_S_2_2	39,3	16,9	32,4	16,5	3
S_S_3_1	39,4	22,8	32,6	21,0	3
S_S_3_2	39,4	14,2	35,0	14,2	3
S_S_3_3	39,4	11,0	34,0	10,2	4
Versuch 4					
S_S_1_2	39,7	13,1	28,8	12,1	2
S_S_2_1	38,9	23,3	32,2	22,5	2
S_S_2_2	38,9	19,1	35,0	19,1	2
S_S_3_1	39,7	25,9	35,0	25,9	1
S_S_3_2	39,7	16,7	32,3	15,7	2
S_S_3_3	38,9	14,7	34,4	14,0	2
Versuch 5					
S_S_1_2	40,6	17,9	34,8	17,7	1
S_S_2_1	39,3	22,9	35,0	22,9	1
S_S_2_2	39,3	22,1	33,9	21,3	1
S_S_3_1	40,6	28,7	32,4	25,2	2
S_S_3_2	39,3	17,3	34,9	17,2	1
S_S_3_3	40,6	15,6	34,8	15,4	1

Tab. 6. 2

Versuchsergebnisse

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

In manchen Ländern bzw. manchen Regionen besteht ein Bauproblem, das durch die Baulandknappheit, durch natürlich geneigte Hänge im alpinen Raum und durch die Anforderungen seitens strenger Normen für Bauwerke entstehen kann. Daher ist man auf der Suche nach neuen effektiven Baulösungen. Als eine dieser Baulösungen gegenüber konventionellen Bauweisen bieten sich geokunststoffbewehrte Bauwerke an.

Der Leitgedanke dieser vorliegenden Masterarbeit ist, dass durch die Verwendung von Geokunststoffen bzw. durch das Einlegen, durch permanentes Vorspannen sowie temporärem Vorspannen des Geokunststoffgitters in einem Schüttkörper, die Tragfähigkeit der bewehrten Konstruktion verbessert werden kann.

In der vorliegenden Masterarbeit werden statische Last-Verformungsversuche an unterschiedlich bewehrten Schüttkörpern, die im Labor des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau hergestellt wurden, durchgeführt, ausgewertet und dargestellt.

Das Kapitel 1 bietet eine Übersicht über das Anwendungsspektrum des Geokunststoffes in den Ingenieurbereichen der Geotechnik, dem Bau von Verkehrswegen und bei wasserbaulichen Anlagen. Des Weiteren wurde ein Überblick über die Rohstoffe und über die Funktionen der Geokunststoffe im Verkehrswegebau gegeben.

In dem nächsten Kapitel werden 60 Last-Verformungsversuche bzw. fünf unterschiedlich bewehrte Schüttkörper, mit dem Einbau des Gesteinsmaterials und des Geokunststoffgitters auf verschiedene Art und Weise vorgestellt.

Das Kapitel 3 beschreibt die Versuchseinrichtung mit ihren wichtigsten Bestandteilen, die im Labor des Instituts für Bodenmechanik und Grundbau hergestellt wurde und in der alle Versuche durchgeführt wurden. Mit dieser Versuchseinrichtung wird es auch zukünftig möglich sein, Gesteinsmaterial mit verschiedener Kornverteilung und verschiedene Geokunststoffbewehrungen in unterschiedlichsten Einbauvarianten, lose oder vorgespannt, zu testen und zu erforschen.

Das nächste Kapitel, bietet eine Übersicht des Versuchsmaterials bzw. eine Übersicht über den Vergleich und über die anschließende Auswahl der für die Versuche geeigneten Materialien sowie deren Materialeigenschaften. Die Versuchsdurchführung in der Versuchseinrichtung, das Aufschütten des Gesteinsmaterials, das Ausrichten des Stahlrahmens und der Verdichtungsplatte,

das Verdichten des Schüttstreifens sowie das Prüfen des entsprechenden Schüttstreifens, wird im Kapitel 5 beschrieben.

Die Versuchsergebnisse von 60 statischen Last- Verformungsversuchen werden in Kapitel 6 zusammengefasst. Dabei werden zuerst die gleich bewehrten Schüttstreifen miteinander verglichen. Bei vielen Vergleichen kann man erkennen, dass die Intensität der Druckkräfte ähnlich groß ist, sodass eine gute Reproduzierbarkeit der Ergebnisse bescheinigt werden kann. Dennoch gibt es Fälle, wo sich die Intensität der Druckkräfte unterscheiden. Die unterschiedliche Intensität der Druckkräfte kann sich aufgrund von Einbau, Verdichtung, Kornzertrümmerung, Kornverschiebung, Temperatur, Lagerungsdichte sowie Messfehler ergeben.

Das Hauptaugenmerk dieser Masterarbeit liegt auf der Darstellung der Versuchsergebnisse der unterschiedlich bewehrten Schüttkörper. In den sechs Diagrammen, die dargestellt wurden, hat man erkennen können, dass die Intensität der Druckkraft bzw. die Tragfähigkeit des Schüttkörpers durch die Interaktion Gesteinsmaterial-Geokunststoffgitter, erhöht wird. Eine zusätzliche Erhöhung der Tragfähigkeit wird mit permanentem Vorspannen des Geokunststoffgitters sowie mit temporärer Vorspannung des Geokunststoffgitters erzielt.

Anhand der Last-Verformungsdiagramme wird deutlich, dass die Druckkraft gegenüber der Setzung, nicht linear verläuft. Man kann erkennen, dass die Druckkräfte im Durchschnitt bei 15,0 mm Setzung einen Kräfteknick aufweisen. Die Intensität der Druckkräfte nimmt bei diesem Punkt etwas ab.

Die Durchführung der Versuche mit Geokunststoffgitter und besonders die Versuche mit vorgespannten Geokunststoffgitter sind aufwendig. Das Einlegen, das Vorspannen und das Festhalten des Geokunststoffgitters am Ende der Holzkonstruktion fordert zusätzlichen Zeit- und Arbeitsaufwand.

7.2 Ausblick

Aufgrund der gewonnenen Erkenntnisse bei der Versuchsdurchführung sowie bei der Bearbeitung und bei der Auswertung der Versuchsergebnisse ergaben sich Erkenntnisse, die in Zukunft einer detaillierten Betrachtung untergezogen werden können.

Aufgrund der aufwendigen Versuchsdurchführung wurde für den Vergleich der unterschiedlich bewehrten Schüttkörper immer die maximale Druckkraft der gleich bewehrten Schüttkörper berücksichtigt. Da die Druckkräfte sich bei gleich bewehrten Schüttkörpern unterscheiden, ist es schwer zu sagen mit welchem Prozentwert die Tragfähigkeit, durch Einlegen, Vorspannen bzw. temporären Vorspannen des Geokunststoffgitters erhöht wird.

Weiterhin bleibt die Frage offen, ob die Tragfähigkeit des bewehrten Schüttkörpers mit Gesteinsmaterial anderer Korngrößen und dem Geokunststoffgitter bzw. anderen Geokunststoffgitter erhöht werden kann.

Des Weiteren sollte das Last- Setzungsverhalten der bewehrten Schüttkörper über längere Zeit erforscht werden, so dass die Gebrauchstauglichkeit (SLS) der bewehrten Konstruktion über diesen Zeitraum gewährleistet werden kann.

Offen bleibt noch die Frage, wie eine Vorspanneinrichtung und die Geokunststoff-fixierungselemente in der Praxis umgesetzt werden können.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Geokunststoffe: ÖNORM EN ISO 10318, Ausgabe: 01.05.2006
- [2] Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues, Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen e. V.; Köln, Ausgabe: 2005
- [3] Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrung aus Geokunststoffen, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V. , Ausgabe: Jänner 2010
- [4] Geokunststoffe im Erd- und Straßenbau, Prof. Dr. -Ing. Jochen Müller-Rochholz, Ausgabe: 2005
- [5] Bauen mit Geokunststoffen, Schweizer Verband für Geokunststoffe (SVG), Ausgabe: 2003
- [6] TENAX Kunststoffe GmbH
Url: www.tenax-net.de/1/geokunststoffe/funktionen/trennen/TENAX; Letzter Zugriff am 24.11.2010 19:02
- [7] HUESKER Synthetic GmbH
Url: www.huesker.de/geokunststoffe/anwendungsbereiche/strassen-und-verkehrs-wegebau/strassenbau/; Letzter Zugriff am 25.11.2010 15:00
- [8] IVG Industrieverband Geokunststoffe e.V.
Url: www.ivgeokunststoffe.com; Letzter Zugriff am 06.12.2010 12:50
- [9] Das Bauverfahren „Bewehrte Erde“ – Überblick und Langzeiterfahrungen, von Marko Brüggemann, Österr. Ingenieur- und Architekten-Zeitschrift, Ausgabe: September 2009

- [10] Interaktionsverhalten von Geokunststoff und Erdstoff bei statischen und zyklischen Beanspruchungen, Dipl.-Ing. Axel Nernheim, Ausgabe: 24. Juni 2005
- [11] Geosynthetics Kordtrade s.r.o.
Url: www.geotextilien-geogitter.de/geotextilien.html; Letzter Zugriff am 06.12.2010 20:00
- [12] Abteilung Landesagentur für Umwelt
Url:
www.provinz.bz.it/umweltagentur/wasser/regenwasserbewirtschaftung.asp;
Letzter Zugriff am 06.12.2010 20:55
- [13] ROGEO GEOTEXTILIEN
Url: www.filztuch.de/geotex.htm; Letzter Zugriff am 09.12.2010 16:15
- [14] Entwicklungslinie in der Planumsverbesserung, EI – Eisenbahningenieur (54), von Wolfgang Henn, Ausgabe: September 2003
- [15] Hottinger Baldwin Messtechnik GmbH (HBM)
Url: www.hbm.com/de/menu/produkte/messelektroniken;
Letzter Zugriff am 16.12.2010
- [16] BEWEHRTE ERDE Ingenieurgesellschaft mbH;
Url: <http://www.bewehrte-erde.de/referenzen/sinn-fleisbach>;
Letzter Zugriff am 05.12.2010
- [17] Mess- und Steuergeräte; PERO Gesellschaft für Mess- und Steuertechnik m.b.H;
- [18] ASM - Automation, Sensorik, Messtechnik
Url: <http://www.asm-sensor.com>; Letzter Zugriff am 13.12.2010
- [19] Geotextiles and geotextile-related products - Guidelines on durability: ISO/TR 13434, Ausgabe: 15.12.1998

- [20] Gutachtliche Stellungnahme MRG 05-04 Abminderungsfaktoren für Langzeitverhalten (Zeitstandfestigkeit für Kriechen) für Fortrac®T; Industrie und Handelskammer Nord-Westfalen; Prof. Dr. -Ing. Jochen Müller-Rochholz, Ausgabe: 07.01.2004
- [21] Gutachtliche Stellungnahme MRG 03-06 Abminderungsfaktoren für Beschädigungen bei Einbau für Fortrac®T; Industrie und Handelskammer Nord-Westfalen; Prof. Dr. -Ing. Jochen Müller-Rochholz, Ausgabe: 11.01.2006
- [22] Gutachtliche Stellungnahme MRG 04-06 Dauerfestigkeit von Geokunststoffen (Stabilenka/ Fortrac®T aus Polyester für >100 Jahre); Industrie und Handelskammer Nord-Westfalen; Prof. Dr. -Ing. Jochen Müller-Rochholz, Ausgabe: 03.02.2006
- [23] Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – DIN 1054; Ausgabe: April 2004

9 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1. 1	Trennung zwischen Untergrund und Schüttmaterial [7]	7
Abb. 1. 3	Geokunststoff als Filtrationsmaterial [7].....	9
Abb. 1. 4	Sammeln und abführen des Sickerwassers [6].....	9
Abb. 1. 5	<i>Stützkonstruktion</i> [5]	10
Abb. 1. 6	Damm auf wenig tragfähigem	10
Abb. 1. 7	<i>Tragschichtbewehrung</i> [11]	11
Abb. 1. 8	<i>Bewehrtes Gründungspolster</i> [3]	11
Abb. 1. 9	Schema der Zeitlastabhängigkeit einer Eigenschaft des Geokunststoffes [19].....	11
Abb. 1. 10	Schutzfunktion einer Abdichtung [7].....	13
Abb. 1. 11	Schutzfunktion einer Böschung gegen Erosion [7].....	13
Abb. 1. 12	Abdichtung eines Wasserkanals [8].....	14
Abb. 1. 13	Geokunststoff im Eisenbahndammbau [7]	15
Abb. 1. 14	Tiefenentwässerung [4]	17
Abb. 1. 15	Geokunststoff als Schutzschicht im Eisenbahnunterbau [4].....	18
Abb. 1. 16	Eisenbahnunterbau mit und ohne Geokunststoff [4]	18
Abb. 2. 1	Längenschnitt des Schüttkörpers	21
Abb. 2. 2	Frontverkleidung des Schüttkörpers	22
Abb. 2. 3	Längen- und Querschnitt der Bodenschüttlage.....	23
Abb. 2. 4	Längen- und Querschnitt der ersten Schüttlage.....	23
Abb. 2. 5	Längen- und Querschnitt der zweiten Schüttlage	24
Abb. 2. 6	Längen- und Querschnitt der dritten Schüttlage.....	24
Abb. 2. 7	Längen- und Querschnitt der Bodenschüttlage mit Geokunststoffgitter	25
Abb. 2. 8	Längen- und Querschnitt der ersten Schüttlage mit Geokunststoffgitter	25
Abb. 2. 9	Längen- und Querschnitt der zweiten Schüttlage mit Geokunststoffgitter	26

Abb. 2. 10	Längen- und Querschnitt der dritten Schüttlage mit Geokunststoffgitter	26
Abb. 2. 11	Längenschnitt des Schüttkörpers mit vorgespannten Geokunststoffgittern	27
Abb. 2. 12	Längenschnitt des Schüttkörpers mit temporär vorgespannten Geokunststoffgittern	28
Abb. 2. 13	Geprüfte Schüttstreifen	29
Abb. 3. 1	Seitenansicht und Draufsicht der Versuchseinrichtung.....	31
Abb. 3. 2	Seitenansicht und Draufsicht der Holzkonstruktion.....	32
Abb. 3. 3	Aufbau der Holzkonstruktion	33
Abb. 3. 4	Außen- und Innenstirnwand der Holzkonstruktion	34
Abb. 3. 6	Geokunststoffhalterung an der Stirnwand	36
Abb. 3. 7	Vorderansicht der Seitenfenster	36
Abb. 3. 8	Querträger auf den Seitenwänden	37
Abb. 3. 9	Seitenansicht und Draufsicht des mobilen Stahlrahmens.....	38
Abb. 3. 10	Aufbau und Ausrichtung des Stahlrahmens.....	39
Abb. 3. 11	Aufbau der Prüfpresse und der Messgeräte	40
Abb. 3. 12	Seitenansicht und Draufsicht der Verdichtungsplatte.....	41
Abb. 3. 13	Seitenansicht und Draufsicht der Vorspanneinrichtung	42
Abb. 3. 14	Aufbau der Vorspanneinrichtung	43
Abb. 3. 15	Teile der Vorspanneinrichtung.....	43
Abb. 3. 16	Einbau der hydraulischen Druck- und Zugpresse DZP	44
Abb. 3. 18	Ausrichtung der Kraftmessdose mit der Versuchsplatte	46
Abb. 3. 19	Wegseilaufnehmer	47
Abb. 3. 20	Ausrichtung des Wegseilaufnehmers	48
Abb. 3. 21	Induktiver Wegaufnehmer	49
Abb. 3. 22	Ausrichtung des Wegaufnehmers.....	50
Abb. 3. 23	Wegmessuhr	51
Abb. 3. 24	Ausrichtung der Wegmessuhren	51
Abb. 3. 25	Hydraulische Druckpresse HDP	52
Abb. 3. 26	Vorder- und Hinteransicht der Antriebssteuerung.....	53
Abb. 3. 27	Hydraulische Druck- und Zugpresse	54

Abb. 3. 28	Vorder- und Hinteransicht des Dataloggers	55
Abb. 3. 29	Grafikfenster im Programm Catman	56
Abb. 4. 1	Gewaschenes Kantkorn	57
Abb. 4. 2	Gewaschenes Rundkorn	58
Abb. 4. 3	Schüttwinkel und Setzung des Schüttkegels	58
Abb. 4. 4	Schüttkegel ohne Geokunststoffgitter	59
Abb. 4. 5	Schüttkegel mit Geokunststoffgitter am Boden	59
Abb. 4. 6	Schüttkegel mit Geokunststoffgitter 2,5 cm über dem Boden.....	60
Abb. 4. 7	Siebkurve des gewaschenen Rundkorns.....	62
Abb. 4. 8	Scherparameter.....	66
Abb. 4. 9	Fortrac® Geogitter.....	67
Abb. 4. 10	Last-Dehnungskurve für Fortrac-Geokunststoffgitter	68
Abb. 5. 1	Aufgeschüttete Bodenschüttlage	71
Abb. 5. 3	Dehnbereich des 50/50-20 T Fortac-GSG während der Versuche.....	72
Abb. 5. 4	Vorspanneinrichtung mit der DZP.....	73
Abb. 5. 5	Geokunststoffgitter-Halterung.....	73
Abb. 5. 6	Aufschüttung des ersten Schüttstreifens.....	74
Abb. 5. 7	Aufgeschütteter erster Schüttstreifen.....	74
Abb. 5. 8	Positionierung der Verdichtungsplatte und des Stahlrahmens	76
Abb. 5. 9	Versetzung des Stahlrahmens mit der Verdichtungsplatte.....	77
Abb. 5. 10	Versuchsplatte auf der Verdichtungsplatte.....	78
Abb. 5. 11	Prüfen des Schüttstreifens (S_S_1_2).....	79
Abb. 5. 12	Kraftmessdose und Versuchsplatte	80
Abb. 6. 1	Last -Verformungsversuch S_S_1_2_V_1.....	82
Abb. 6. 2	Last -Verformungsversuch S_S_2_1_V_1.....	83
Abb. 6. 3	Last -Verformungsversuch S_S_2_2_V_1.....	84
Abb. 6. 4	Last -Verformungsversuch S_S_3_1_V_1.....	85
Abb. 6. 5	Last -Verformungsversuch S_S_3_2_V_1.....	86
Abb. 6. 6	Last -Verformungsversuch S_S_3_3_V_1.....	87
Abb. 6. 7	Last -Verformungsversuch S_S_1_2_V_2.....	88

Abb. 6. 8	Last -Verformungsversuch S_S_2_1_V_2	89
Abb. 6. 9	Last -Verformungsversuch S_S_2_2_V_2	90
Abb. 6. 10	Last -Verformungsversuch S_S_3_1_V_2.....	91
Abb. 6. 11	Last -Verformungsversuch S_S_3_2_V_2.....	92
Abb. 6. 12	Last -Verformungsversuch S_S_3_3_V_2.....	93
Abb. 6. 13	Last -Verformungsversuch S_S_1_2_V_3.....	94
Abb. 6. 14	Last -Verformungsversuch S_S_2_1_V_3.....	95
Abb. 6. 15	Last -Verformungsversuch S_S_2_2_V_3.....	96
Abb. 6. 16	Last -Verformungsversuch S_S_3_1_V_3.....	97
Abb. 6. 17	Last -Verformungsversuch S_S_3_2_V_3.....	98
Abb. 6. 18	Last -Verformungsversuch S_S_3_3_V_3.....	99
Abb. 6. 19	Last -Verformungsversuch S_S_1_2_V_4.....	100
Abb. 6. 20	Last -Verformungsversuch S_S_2_1_V_4.....	101
Abb. 6. 21	Last -Verformungsversuch S_S_2_2_V_4.....	102
Abb. 6. 22	Last -Verformungsversuch S_S_3_1_V_4.....	103
Abb. 6. 23	Last -Verformungsversuch S_S_3_2_V_4.....	104
Abb. 6. 24	Last -Verformungsversuch S_S_3_3_V_4.....	105
Abb. 6. 25	Last -Verformungsversuch S_S_1_2_V_5.....	106
Abb. 6. 26	Last -Verformungsversuch S_S_2_1_V_5.....	107
Abb. 6. 27	Last -Verformungsversuch S_S_2_2_V_5.....	108
Abb. 6. 28	Last -Verformungsversuch S_S_3_1_V_5.....	109
Abb. 6. 29	Last -Verformungsversuch S_S_3_2_V_5.....	110
Abb. 6. 30	Last -Verformungsversuch S_S_3_3_V_5.....	111
Abb. 6. 31	Last -Verformungsversuch S_S_1_2_V_1-5	113
Abb. 6. 32	Last -Verformungsversuch S_S_2_1_V_1-5	114
Abb. 6. 33	Last -Verformungsversuch S_S_2_2_V_1-5	116
Abb. 6. 34	Last -Verformungsversuch S_S_3_1_V_1-5	117
Abb. 6. 35	Last -Verformungsversuch S_S_3_2_V_1-5	118
Abb. 6. 36	Last -Verformungsversuch S_S_3_3_V_1-5	119
Abb. 6. 37	Frontverkleidungsvergleich.....	120
Abb. 6. 39	Verdichtungsdiagramm	123
Abb. 6. 41	Körnungslinie vorher-nachher	124
Abb. 6. 42	Überprüfung der Messgeräte.....	125
Ševal Brkić		139

Abb. 11. 1	Versuchseinrichtung (Draufsicht)	148
Abb. 11. 2	Verdichtung des Schüttstreifens	148
Abb. 11. 3	Prüfung des Schüttstreifens.....	149
Abb. 11. 4	Vorspannung des Geokunststoffgitter.....	149
Abb. 11. 5	Vorgespanntes Geokunststoffgitter.....	150
Abb. 11. 6	Verdichtung des Schüttstreifens mit Geokunststoffgitter	150
Abb. 11. 7	Prüfung des Schüttstreifens mit Geokunststoffgitter	151
Abb. 11. 8	Geprüfte dritte Schüttlage.....	151
Abb. 11. 9	Sicht durch die Seitenfenster für die PIV Auswertung	152

10 Tabellenverzeichnis

Tab. 1. 1	Geokunststoffe.....	3
Tab. 2. 1	Versuchsvarianten	29
Tab. 4. 1	Vergleichstabelle Kant- und Rundkorn.....	61
Tab. 4. 2	Anteile der Kornfraktion.....	62
Tab. 4. 3	Korndichte des Rundkorns	63
Tab. 4. 4	Wassergehalt des Rundkorns	64
Tab. 4. 5	Porenanteil und Lagerungsdichte.....	65
Tab. 4. 6	Abminderungsfaktor A_1 für das Kriechen [20].....	69
Tab. 4. 7	Abminderungsfaktor A_2 für die Beschädigung beim Einbau [21].....	69
Tab. 4. 8	Abminderungsfaktor A_4 für die Umgebungseinflüsse [22].....	70
Tab. 4. 9	Sicherheitsbeiwert [23].....	70
Tab. 5. 1	Gewichtsprotokoll.....	75
Tab. 6. 1	Anteil der mittleren Durchmesser vor und nach der Versuchsdurchführung	125
Tab. 6. 2	Versuchsergebnisse.....	127
Tab .11. 1	Porenanteile Versuch_1_1 und Versuch _1_2	143
Tab .11. 2	Porenanteile Versuch_2_1 und Versuch _2_2	144
Tab .11. 3	Porenanteile Versuch_3_1 und Versuch _3_2	145
Tab .11. 4	Porenanteile Versuch_1_1 und Versuch _4_1	146
Tab .11. 5	Porenanteile Versuch_5_1 und Versuch _5_2.....	147

11 Anhang

11.1 Porenanteil vor und nach der Versuchsdurchführung

	S_S_1_1	S_S_1_2	S_S_1_3	S_S_1_4	S_S_2_1	S_S_2_2	S_S_2_3	S_S_3_1	S_S_3_2	S_S_3_3
Versuch 1										
IWA-Setzung [mm]	5,778	6,915	6,993	7,285	8,577	9,525	10,220	8,903	10,790	10,450
MA-Setzung [mm]	5,0	4,5	4,0	5,0	5,5	8,0	10,0	6,0	8,5	8,5
Gewicht [g]	158110	112810	120880	123800	150180	92600	103310	121390	86360	84860
Höhe vorher [cm]	19,000	19,350	19,600	19,650	15,450	15,350	15,750	13,900	13,950	13,200
Höhe nachher [cm]	18,422	18,659	18,901	18,922	14,592	14,398	14,728	13,010	12,871	12,155
Breite [cm]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Länge [cm]	58,076	40,000	40,000	40,000	55,633	40,000	40,000	54,566	40,000	40,000
Volumen vorher [cm ³]	110344	77400	78400	78600	85952	61400	63000	75847	55800	52800
Volumen nachher [cm ³]	106988	74634	75603	75686	81181	57590	58912	70989	51484	48620
Korndichte [g/cm ³]	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639
Porenanteil vorher n [%]	43					38			40	40,4
Porenanteil nachher n [%]	41					34			35	36,8

	S_S_1_1	S_S_1_2	S_S_1_3	S_S_1_4	S_S_2_1	S_S_2_2	S_S_2_3	S_S_3_1	S_S_3_2	S_S_3_3
Versuch 2										
IWA-Setzung [mm]	5,507	6,553	6,993	7,235	7,860	10,440	9,928	9,045	9,799	12,820
MA-Setzung [mm]	3,0	6,5	7,0	6,0	6,5	9,0	10,0	8,5	7,5	10,5
Gewicht [g]	174840	112650	128280	133400	130820	97010	93050	138550	87560	91990
Höhe vorher [cm]	18,850	19,500	20,850	20,950	15,000	15,300	14,800	14,750	14,350	14,550
Höhe nachher [cm]	18,299	18,845	20,151	20,227	14,214	14,256	13,807	13,846	13,370	13,268
Breite [cm]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Länge [cm]	57,972	40,000	40,000	40,000	55,323	40,000	40,000	55,151	40,000	40,000
Volumen vorher [cm ³]	109278	78000	83400	83800	82984	61200	59200	81347	57400	58200
Volumen nachher [cm ³]	106085	75379	80603	80906	78636	57024	55229	76359	53480	53072
Korndichte [g/cm ³]	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639
Porenanteil vorher n [%]	42					40			39	40,3
Porenanteil nachher n [%]	40					36			35	36,8

Tab .11. 1

Porenanteile Versuch_1_1 und Versuch_1_2

	SS_1_1	SS_1_2	SS_1_3	SS_1_4	SS_2_1	SS_2_2	SS_2_3	SS_3_1	SS_3_2	SS_3_3
IWA-Setzung [mm]	7,496	9,186	8,065	8,445	8,379	9,623	8,599	8,834	9,739	9,912
IMA-Setzung [mm]	5,0	6,5	7,5	6,0	5,5	8,5	5,5	8,0	8,0	10,0
Gewicht [g]	144830	98010	94830	107080	127470	104620	92360	140080	85270	98460
Höhe vorher [cm]	17,200	17,350	17,050	16,750	14,800	14,900	14,700	15,100	14,450	14,950
Höhe nachher [cm]	16,450	16,431	16,244	15,906	13,962	13,938	13,840	14,217	13,476	13,969
Breite [cm]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Länge [cm]	56,007	40,000	40,000	40,000	54,472	40,000	40,000	54,664	40,000	40,000
Volumen vorher [cm³]	96333	69400	68200	67000	80618	59600	58800	82542	57800	58800
Volumen nachher [cm³]	92135	65726	64974	63622	76054	55751	55360	77713	53904	58835
Korndichte [g/cm³]	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639
Porenanteil vorher n [%]		44				38			40	40,5
Porenanteil nachher n [%]		41				34			35	36,9

	SS_1_1	SS_1_2	SS_1_3	SS_1_4	SS_2_1	SS_2_2	SS_2_3	SS_3_1	SS_3_2	SS_3_3
IWA-Setzung [mm]	6,224	6,274	6,409	7,320	7,823	8,677	8,608	7,226	8,294	10,010
IMA-Setzung [mm]	4,5	4,5	4,0	7,0	5,0	6,5	8,5	5,5	7,0	7,0
Gewicht [g]	138510	95590	104060	87000	137710	89120	87470	136000	91450	90870
Höhe vorher [cm]	17,050	17,250	17,650	18,150	15,300	15,050	15,050	14,900	15,050	14,500
Höhe nachher [cm]	16,428	16,623	17,009	17,418	14,518	14,182	14,189	14,177	14,221	13,499
Breite [cm]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Länge [cm]	55,912	40,000	40,000	40,000	54,792	40,000	40,000	54,536	40,000	40,000
Volumen vorher [cm³]	96329	69000	70600	72600	83831	60200	60200	81268	60200	58000
Volumen nachher [cm³]	91849	66490	68036	69672	79545	56729	56757	77317	56882	53996
Korndichte [g/cm³]	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639
Porenanteil vorher n [%]		48				42			40	43,3
Porenanteil nachher n [%]		46				39			36	40,3

Tab .11. 2 Porenanteile Versuch_2_1 und Versuch_2_2

	SS 1_1	SS 1_2	SS 1_3	SS 1_4	SS 2_1	SS 2_2	SS 2_3	SS 3_1	SS 3_2	SS 3_3
IWA-Setzung [mm]	6,321	5,862	6,701	7,296	6,890	8,891	8,413	9,315	9,061	7,983
IMA-Setzung [mm]	3,5	4,0	6,5	7,5	4,5	10,5	7,5	6,5	8,5	6,0
Gewicht [g]	13,720	10,590	11,830	11,870	13,246	8,782	7,890	13,087	9,253	8,915
Höhe vorher [cm]	16,950	18,000	19,200	20,750	14,950	14,750	13,700	15,050	14,450	14,450
Höhe nachher [cm]	16,318	17,414	18,530	20,021	14,261	13,861	12,859	14,119	13,544	13,652
Breite [cm]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Länge [cm]	55,848	40,000	40,000	40,000	54,568	40,000	40,000	54,632	40,000	40,000
Volumen vorher [cm³]	94662	72000	76800	83000	81579	59000	54800	82220	57800	57800
Volumen nachher [cm³]	91131	68655	74120	80082	77819	55444	51435	77132	54176	54607
Korndichte [g/cm³]	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639
Porenanteil vorher n [%]		44				43			40	
Porenanteil nachher n [%]		42				39			36	

Versuch 3_1

	SS 1_1	SS 1_2	SS 1_3	SS 1_4	SS 2_1	SS 2_2	SS 2_3	SS 3_1	SS 3_2	SS 3_3
IWA-Setzung [mm]	6,271	7,179	6,327	7,081	7,860	8,743	8,693	9,089	9,551	7,936
IMA-Setzung [mm]	4,5	5,5	4,5	6,5	7,5	7,0	8,5	7,5	8,0	6,0
Gewicht [g]	14,189	9,233	9,713	8,894	13,994	9,397	9,560	13,904	9,519	8,650
Höhe vorher [cm]	16,750	17,050	16,600	17,000	15,900	15,300	15,950	14,950	15,300	14,750
Höhe nachher [cm]	16,123	16,332	15,967	16,292	15,114	14,426	15,081	14,041	14,345	13,956
Breite [cm]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Länge [cm]	55,720	40,000	40,000	40,000	55,176	40,000	40,000	54,568	40,000	40,000
Volumen vorher [cm³]	93330	68200	66400	68000	87729	61200	63800	81579	61200	58000
Volumen nachher [cm³]	88836	65328	63869	65168	83392	57703	60323	76619	57380	55826
Korndichte [g/cm³]	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639
Porenanteil vorher n [%]		46				42			40	
Porenanteil nachher n [%]		44				38			36	

Versuch 3_2

Tab .11. 3

Porenanteile Versuch_3_1 und Versuch_3_2

	SS_1_1	SS_1_2	SS_1_3	SS_1_4	SS_2_1	SS_2_2	SS_2_3	SS_3_1	SS_3_2	SS_3_3
IWA-Setzung [mm]	5,605	6,538	6,805	7,066	6,472	9,035	7,389	7,443	8,630	7,628
IWA-Setzung [mm]	5,0	4,5	4,0	5,0	4,5	8,5	6,5	5,5	6,5	5,5
Gewicht [g]	139000	97170	96050	98260	134470	83570	85190	131740	91690	93500
Höhe vorher [cm]	17,000	17,350	17,600	17,650	15,000	15,050	14,300	14,300	14,150	14,800
Höhe nachher [cm]	16,440	16,696	16,920	16,943	14,353	14,147	13,561	13,556	13,287	14,037
Breite [cm]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Länge [cm]	55,880	40,000	40,000	40,000	54,600	40,000	40,000	54,152	40,000	40,000
Volumen vorher [cm³]	94995	69400	70400	70600	81899	60200	57200	77437	56600	59200
Volumen nachher [cm³]	91863	66785	67678	67774	78366	56586	54244	73406	53148	56149
Korndichte [g/cm³]	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639
Porenanteil vorher n [%]		47				43			38	
Porenanteil nachher n [%]		45				40			35	

Versuch 4 1

	SS_1_1	SS_1_2	SS_1_3	SS_1_4	SS_2_1	SS_2_2	SS_2_3	SS_3_1	SS_3_2	SS_3_3
IWA-Setzung [mm]	5,950	6,148	7,571	7,216	7,694	8,099	7,307	7,772	9,620	8,646
IWA-Setzung [mm]	4,5	4,5	5,5	7,0	5,5	6,0	5,5	6,0	7,5	7,0
Gewicht [g]	145690	88150	96190	101920	134180	85320	89300	134240	94920	98180
Höhe vorher [cm]	17,050	16,900	17,350	17,650	14,750	14,600	14,200	14,900	15,200	15,250
Höhe nachher [cm]	16,455	16,285	16,593	16,928	13,982	13,790	13,469	14,123	14,238	14,385
Breite [cm]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Länge [cm]	55,912	40,000	40,000	40,000	54,440	40,000	40,000	54,536	40,000	40,000
Volumen vorher [cm³]	95329	67600	69400	70600	80298	58400	56800	81258	60800	61000
Volumen nachher [cm³]	92002	65141	66372	67714	76115	55160	53877	77019	56952	57542
Korndichte [g/cm³]	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639
Porenanteil vorher n [%]		46				41			39	
Porenanteil nachher n [%]		44				37			35	

Versuch 4 2

Tab .11. 4 Porenanteile Versuch_1_1 und Versuch_4_1

	SS_1_1	SS_1_2	SS_1_3	SS_1_4	SS_2_1	SS_2_2	SS_2_3	SS_3_1	SS_3_2	SS_3_3
IWA-Setzung [mm]	5,916	6,651	6,852	7,357	7,678	8,702	7,886	8,552	10,990	11,100
MA-Setzung [mm]	4,0	5,5	6,0	5,5	5,5	8,0	7,0	6,5	10,0	9,5
Gewicht [g]	139320	84070	100310	91800	136230	86210	97020	136300	96390	81390
Höhe vorher [cm]	16,550	16,450	16,650	16,850	15,200	15,300	15,100	15,300	15,600	15,600
Höhe nachher [cm]	15,958	15,785	15,965	16,113	14,432	14,430	14,311	14,445	14,501	14,490
Breite [cm]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Länge [cm]	55,592	40,000	40,000	40,000	54,728	40,000	40,000	54,792	40,000	40,000
Volumen vorher [cm ³]	92004	66800	66600	67400	83186	61200	60400	83831	62400	62400
Volumen nachher [cm ³]	88715	63140	63859	64453	78984	57719	57246	79145	58004	57960
Kornichte [g/cm ³]	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639
Porenanteil vorher n [%]	46					41			44	43,7
Porenanteil nachher n [%]	44					38			40	40,6

Versuch_5_1

	SS_1_1	SS_1_2	SS_1_3	SS_1_4	SS_2_1	SS_2_2	SS_2_3	SS_3_1	SS_3_2	SS_3_3
IWA-Setzung [mm]	5,237	8,102	8,432	7,301	7,088	8,495	7,873	8,426	8,825	9,368
MA-Setzung [mm]	4,5	6,0	7,5	5,5	6,0	8,0	7,5	6,5	8,0	8,5
Gewicht [g]	132240	93550	101780	96880	131210	88440	95770	142460	90430	94510
Höhe vorher [cm]	17,150	17,600	17,750	17,400	14,350	14,400	14,650	15,800	15,350	15,200
Höhe nachher [cm]	16,626	16,790	16,907	16,670	13,641	13,551	13,863	14,957	14,468	14,263
Breite [cm]	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Länge [cm]	55,975	40,000	40,000	40,000	54,184	40,000	40,000	55,112	40,000	40,000
Volumen vorher [cm ³]	99998	70400	71000	69600	77753	57600	58600	87076	61400	60800
Volumen nachher [cm ³]	93067	67159	67627	66680	73913	54202	55451	82433	57870	57053
Kornichte [g/cm ³]	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639	2,639
Porenanteil vorher n [%]		48				39			41	42,4
Porenanteil nachher n [%]		45				36			38	39,3

Versuch_5_2

Tab. 11. 5

Porenanteile Versuch_5_1 und Versuch_5_2

11.2 Fotoreihe



Abb. 11.1 Versuchseinrichtung (Draufsicht)

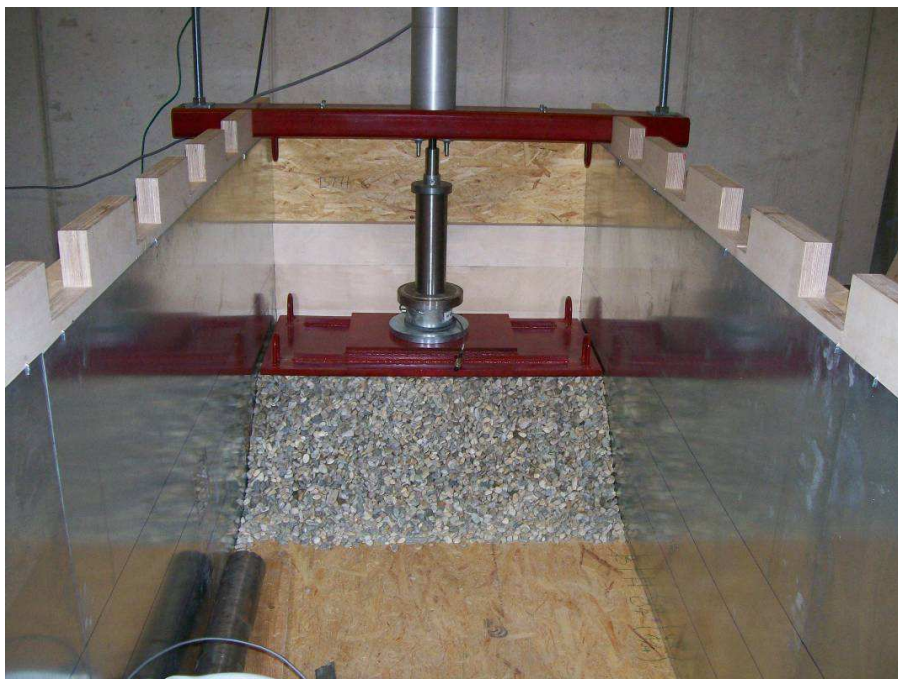


Abb. 11.2 Verdichtung des Schüttstreifens

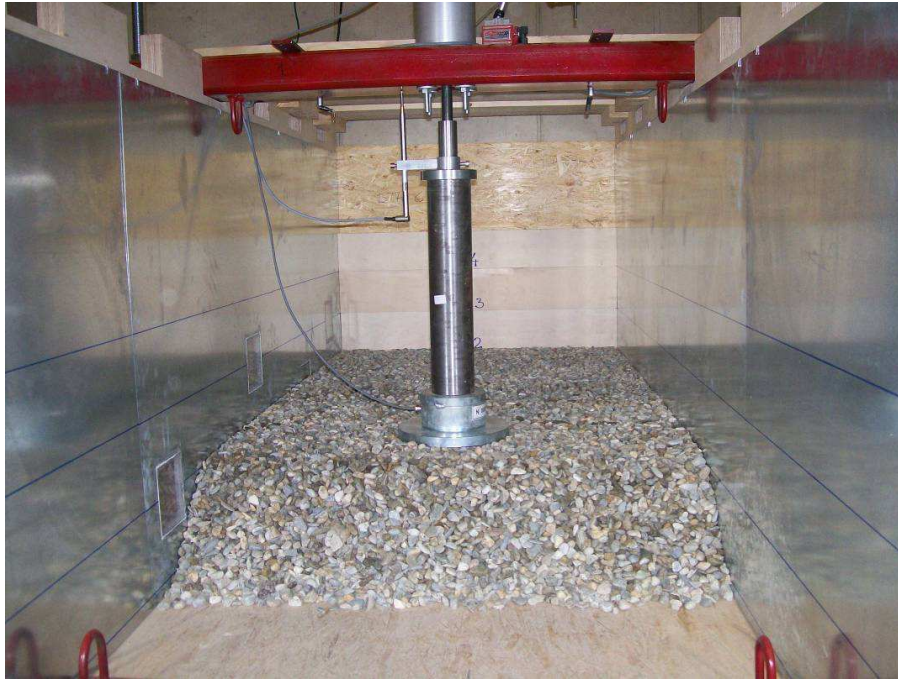


Abb. 11.3 Prüfung des Schüttstreifens



Abb. 11.4 Vorspannung des Geokunststoffgitter



Abb. 11.5 Vorgespanntes Geokunststoffgitter



Abb. 11.6 Verdichtung des Schüttstreifens mit Geokunststoffgitter



Abb. 11. 7 Prüfung des Schüttstreifens mit Geokunststoffgitter



Abb. 11. 8 Geprüfte dritte Schüttlage



Abb. 11. 9 Sicht durch die Seitenfenster für die PIV Auswertung