

Neue Erkenntnisse beim Verbund- & Systemverhalten von Geokunststoffen in bindigen Böden mit Bindemittelverbesserung

Dipl. – Ing. (FH) Sebastian Althoff, Univ. – Prof. Dr. – Ing. Herbert Klapperich,
Priv. – Doz. Dr. – Ing. habil. Nándor Tamáskovics

TU Bergakademie Freiberg, Institut für Geotechnik,
Gustav-Zeuner-Straße 1, D-09599 Freiberg

1 Einleitung

Geokunststoffe erlangen in der Geotechnik einen immer größeren Einfluss. Insbesondere die Verwendung von Geogittern wächst stetig. Darüber hinaus werden zunehmend Böden mit natürlicher oder “künstlicher“ (durch eine Bodenstabilisierung herbei geführte) Kohäsion verwendet [4]. Somit erhält auch das Verbundverhalten Geogitter zu bindigen Lockergestein mit Bindemittelstabilisierung eine immer größere Bedeutung. Der gegenwärtige Erkenntnisstand auf diesem Gebiet ist aber nicht zufriedenstellend.

In einer umfangreichen Versuchsserie wurde das Verbundverhalten bindemittelstabilisiertes Lockergestein / Geokunststoff untersucht. Aus den gewonnenen Ergebnissen werden Schlussfolgerungen für die Bemessung, Anwendung sowie für weitere Untersuchung gezogen. Darüber hinaus wird ein Verfahren vorgestellt, Scher-, Reibungs- und Herausziehversuche, die bei der Zugabe von Kalk und Zement sehr zeitintensiv sind, wirtschaftlich und mit geringem Zeitaufwand durchzuführen.

2 Bodenphysikalische Untersuchungen

In Vorbereitung der Versuche im Großrahmenschergerät wurden bodenphysikalische Untersuchungen an dem ausgewählten, bindigen Lockergestein Canitz-Schluff (CS5) durchgeführt, deren Ergebnisse in der Tabelle 1 zusammengestellt sind. In Abbildung 1 sind die ermittelten Kornverteilungskurven für das untersuchte Lockergestein abgebildet. Beim CS5 handelt es sich um einen schwach tonigen und stark sandigen Schluff. Die Konsistenzgrenzen und die Plastizitätszahl des Materials zeigen eine leichte Plastizität.

Eigenschaften:	Zeichen:	Maßeinheit:	Versuchsergebnisse:
			CS5
Korndichte	ρ_s	[kg/m ³]	2.600
Ausrollgrenze	w_p	[1]	0,135
Fließgrenze	w_L	[1]	0,176
Plastizitätszahl	I_p	[1]	0,0406
Optimaler Wassergehalt	w_{opt}	[1]	0,113
Proctordichte	ρ_{Pr}	[kg/m ³]	1946

Tabelle 1: Ergebnisse der bodenphysikalischen Untersuchungen

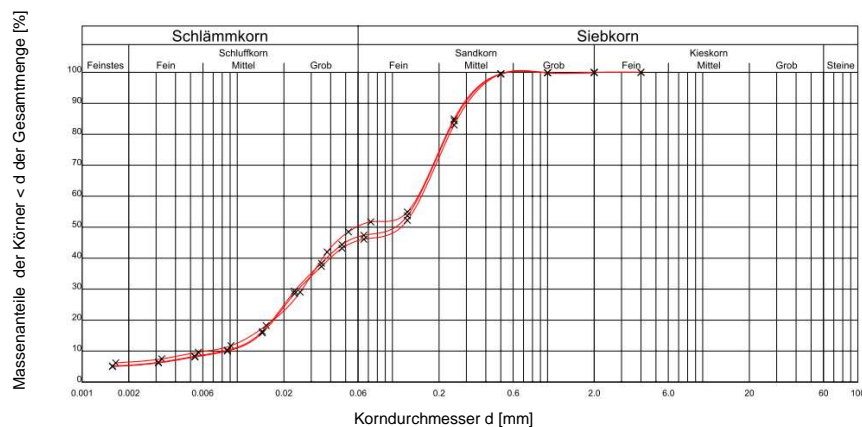


Abbildung 1: Kornverteilungskurve des CS5

Die Dichte der Proben wurde während der Versuchsserie konstant gehalten, blieb aber wegen der im Vergleich zum Proctorversuch niedrigeren verfügbaren spezifischen Verdichtungsenergie beim Einbau in das Interaktionsprüfgerät unterhalb der Proctordichte. Zur günstigen Verdichtbarkeit wurde der Wassergehalt auf den optimalen Wassergehalt von $w = 0,113$ [1] erhöht, um die Bildsamkeit des Lockergesteins beim Materialeinbau in das Versuchsgerät zu begünstigen.

3 Das Interaktionsprüfgerät

Das Interaktionsprüfgerät (IPG) des Instituts für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg ermöglicht sowohl die Durchführung von Großrahmenscherversuchen (ISV) zur Ermittlung der Scherfestigkeit an reinem Lockergestein als auch Großrahmenreibungsversuche (IRV) und Großrahmenherausziehversuche (IPV) zur Ermittlung der Scherfestigkeit eines Geokunststoff / Lockergestein–Verbundes. Die allgemeinen technischen Parameter des IPGs sind in Tabelle 2 zusammengefasst [1].

Scherkastengröße	L=437, W=437, H=200 [mm]
Normalspannungsbereich	0–600 kN/m ²
Schubspannungsbereich	0-600 kN/m ²
Maximale Scher- & Herausziehkraft	125 kN
Maximale Scherverschiebung	400 mm
Schergeschwindigkeit	0,000001–12,5 mm/min

Tabelle 2: Technische Parameter des IPGs

Untersuchungen an Lockergesteinen mit Zement- und Kalkstabilisierung sind sehr zeitintensiv, da die Reaktion des Kalks und des Zements in mehreren Phasen und erst zeitlich versetzt eintritt. Wird eine stabilisierte Probe in das IPG eingebaut, muss die Reaktionszeit abgewartet werden und das IPG kann in dieser Zeit nicht verwendet werden.

Aufgrund dieses Umstandes wurde die Inlay-Technik entwickelt, mit diesem neuartigen experimentellen Verfahren kann die Probenherstellung von dem IPG entkoppelt werden. Mit der Inlay-Technik ist es möglich, die Proben für Scher-, Reibungs- und Herausziehversuche mit und ohne Stabilisierung außerhalb des Gerätes herzustellen und erst nach der gewünschten Reaktionszeit die Proben in das Gerät zu installieren. Der aus zwei Teilrahmen bestehende Inlay-Kasten ist in Abbildung 2 dargestellt. Die Inlay-Rahmen haben sich in der Praxis bewährt und zur Sicherung der experimentellen Flexibilität hat das Institut für Geotechnik zehn solcher Inlay-Rahmen anfertigen lassen.

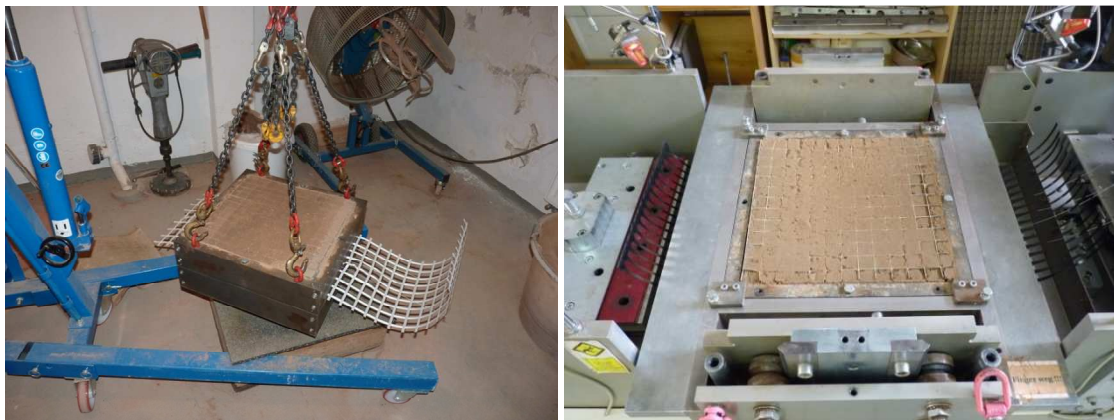


Abbildung 2: Fotos des Inlay-Rahmens

4 Reibungs- bzw. Verbundverhalten

Die Auswertung von Großrahmenscherversuchen, Großrahmenreibungversuchen und Großrahmenherausziehversuchen im Interaktionsprüfgerät erfolgt zunächst durch Berechnung der Scherparameter des MOHR-COULOMB'schen Versagenskriteriums

$$\tau = \sigma' \cdot \tan \varphi' + c'$$

wo τ die Schubspannung beim Bruch, σ' die wirksame Normalspannung in der Scherebene, φ' den Bruchwert des Reibungswinkels und c' den Bruchwert der Kohäsion beschreibt. Bei der Ermittlung der Schubspannung ist die Scherfläche korrekt zu berücksichtigen. In Versu-

chen mit dem Interaktionsprüfgerät hat sich gezeigt, dass die Korrektur der Größe der Scherfläche in Abhängigkeit des eingetragenen Scherweges sowohl beim Großrahmenscherversuch als auch beim Großrahmenreibungversuch zu falschen Ergebnissen führt [6]. In den vorliegenden Versuchen wurde deshalb keine Scherflächenkorrektur vorgenommen. Bei der Ermittlung der Scherfläche in den Großrahmenherausziehversuchen muss berücksichtigt werden, dass Schubspannungen an beiden Seiten des Geokunststoffes angreifen. Somit muss für die Rückrechnung des Herausziehwiderstandes (F) aus der Schubspannung (τ) die Fläche (A) des Geogitters zweimal berücksichtigt werden ($\tau = F/(2 \cdot A)$). Da der Geokunststoff durch die Probe durchgezogen wird, ist wiederum keine Korrektur der Scherfläche in Abhängigkeit vom Herausziehweg erforderlich.

In der "Empfehlung für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrung aus Geokunststoffen (EBGEO)" [4] wird die Verbundwirkung vereinfacht durch den Reibungsbeiwert $f_{sg,k}$ erfasst, der wie folgt definiert ist:

$$f_{sg,k} = \lambda \cdot \tan \varphi_k$$

mit

λ	Verbundbeiwert für Reibung $\lambda = \frac{\tan \delta}{\tan \varphi}$
$\tan \varphi$	Reibungsbeiwert Boden (Messergebnis)
$\tan \delta$	Reibungsbeiwert Geokunststoff / Boden (Messergebnis)
$\tan \varphi_k$	charakteristischer Reibungsbeiwert Boden

Die Verbundwirkung der Kohäsion kann durch den Scherbeiwert $f_{scg,k}$ erfasst werden, der wie folgt definiert ist:

$$f_{scg,k} = \lambda_c \cdot c_k$$

mit

λ_c	Verbundbeiwert für Kohäsion $\lambda_c = \frac{a}{c}$
a	Adhäsion Geokunststoff / Boden (Messergebnis)
c	Kohäsion Boden (Messergebnis)
c_k	charakteristische Kohäsion Boden

Wird bei der Bemessung der Adhäsionsanteil angesetzt, so muss die dauerhafte Wirkung über die gesamte Nutzungsdauer gewährleistet sein [4].

Bei der Bestimmung des Verbundbeiwertes sind zwei Fälle zu unterscheiden. Auf der einen Seite das Abscheren auf der Kontaktfläche Geokunststoff / Boden und auf der anderen Seite das Herausziehen des Geokunststoffes aus dem Boden. Das Abscheren auf der Kontaktfläche Geokunststoff / Boden kann in einem Reibungsversuch untersucht werden. Bei einem Reibungsversuch wird der Geokunststoff in der Scherebene fixiert und anschließend werden beide Teile des Scherkastens gegeneinander verschoben. Das Herausziehen des Geokunststoffes wird in einem Herausziehversuch (Pullout-Versuch) nachgebildet, dazu werden der obere und der untere Teil des Scherkastens miteinander verbunden und der Geokunststoff, nach dem Einstellen des Scherspalt, aus dem Lockergestein gezogen. Die experimentelle Erfahrung zeigt, dass der Verbundbeiwert für Reibung λ zwischen 0,5 und 1,0 liegt [4]. In der hier beschriebenen Versuchsserie werden nur Herauszieh- und Scherversuche betrachtet, Reibungsversuche werden in einer späteren Versuchsserie folgen.

Die Abmessungen der Kästen sollten in Anlehnung an DIN EN 12957-1 [3] und DIN EN 13738 [2] 300 · 300 mm bis 500 · 500 mm betragen. Vorzugsweise sind die Scherbeiwerte Geokunststoff / Boden und Boden / Boden in dem gleichen Versuchsgerät durchzuführen. Die in den Normen für den direkten Scherversuch (DIN 18137-3) und für die Bestimmung des Herauszieh Widerstandes (DIN EN 13738) genannten Versuchsgeschwindigkeiten weichen voneinander ab. Da aber ein Verbundbeiwert für den Geokunststoff aus dem Vergleich der beiden Versuchstypen erfolgen soll, wurden sowohl die Scherversuche als auch die Reibungsversuche mit einer Geschwindigkeit von $v = 1,0$ mm/min durchgeführt. Aufgrund der hohen Durchlässigkeit des zu untersuchenden Lockergesteins stellen Porenwasserüberdrücke kein Problem dar.

5 Bodenstabilisierung

Mit Zement verfestigte Böden zeigen eine schnelle Zunahme der Druckfestigkeit und des Steifemoduls. Dies ist damit begründet, dass sich in den Porenräumen ein Zementsteinskelett bildet. Bei feinkörnigen Böden ist daher der Zementbedarf sehr hoch. Kalk hingegen hat nur eine moderate Erhöhung der Deformationskennwerte und die Verfestigung tritt erst im Laufe der Zeit ein. Im Gegensatz zu einer Zementstabilisierung (Zementsteinskelett) ruft Kalk aber eine Verfestigung der Aggregate durch eine Puzzolanreaktion des Kalkhydrats hervor [8]. Untersuchungen von Witt haben die in Tabelle 3 dargestellten Erfahrungswerte für das Mischungsverhältnis Kalk zu Zement ergeben [7]. In Anlehnung an diese Tabelle wurde ein Kalk-Zementverhältnis von 30 zu 70 zur Stabilisierung des CS5 gewählt. Damit können die Vorteile beider Bindemittel genutzt werden.

	GE - SE - GW - SW - GU - SU - GU* - SU* - UL - TL - UM - IM - UA - IA						
Kalk/Zement	0/100	→	20/80	→	30/70	→	40/60 → 50/50 → 70/30
	Menge 2% - 6% , je nach Ziel der Stabilisierung						

Tabelle 3: Erfahrungswerte zur Stabilisierung mit Mischbindern nach [7]

In einaxialen Kompressionsversuchen wurde weiterhin festgestellt, dass eine 3%-Zugabe des Mischbinders (M13) bezogen auf die Gesamtfeststoffmasse (der feuchten Probe) eine praktikable Vergütungsstrategie beim Versuchsmaterial CS5 darstellt.

6 Versuchsprogramm und Ergebnisse

In der hier beschriebenen Versuchsserie zur Untersuchung des Verbundverhaltens Geokunststoff / Lockergestein mit Mischbinder wurde die Mehrstufentechnik angewendet. Bei der Mehrstufentechnik handelt es sich um ein am Institut für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg entwickeltes Verfahren, Scher- und Verbundparameter wirtschaftlich und mit geringem Zeitaufwand zu bestimmen [5].

In Tabelle 4 sind das Versuchsprogramm, die Versuchsbedingungen und die Versuchsergebnisse dargestellt. Die Versuche wurden unter nahezu identischen Bedingungen an dem Versuchsmaterial (CS5) in dem IPG unter Verwendung der Inlay-Rahmen durchgeführt. Bei den Versuchen mit Stabilisierung wurden dem CS5 mit Hilfe eines Zwangsmischers drei Massenprozent des Mischbinders zugegeben. Die Versuche an den stabilisierten Proben

wurden nach einer Reaktionszeit von 14 Tagen durchgeführt. Bei den untersuchten Geogittern handelte es sich um gelegte Secugrid Gitter, ein biaxiales Geogitter aus PP (Material 09) und ein einaxiales Geogitter aus PET (Material 10).

Versuch:	Versuchsbedingungen:			Versuchsergebnisse:		Verbundbeiwert:	
	ρ_d [kg/m ³]	w_E [1]	Laststufen [kN/m ²]	φ'_i [°]	c'_i [kN/m ²]	λ [1]	λ_c [1]
Großrahmenscherversuche mit Mischbinder (ISV), unbewehrt							
ISV-00-CS5-M1314-V2,V4&V7	1751	0,113	50,100,150,200,250,300,350,400	38,8*	71,5*	1,38	1,91
ISV-00-CS5-M1314-VT1	1808	0,112	50,100,150,200	33,5*	35,7*	1,13	0,95
Großrahmenherausziehversuche mit Mischbinder (IPV), bewehrt							
IPV-09-CS5-M1314-V1	1782	0,113	10,20,30,40,50	27,3	10,3	0,89	0,27
IPV-10-CS5-M1314-V1 bis V3	1823	0,113	10,20,30,40,50,60,70	32,8	15,3	1,11	0,41
Großrahmenscherversuche ohne Mischbinder (ISV), unbewehrt							
ISV-00-CS5-00-V4 bis V9	1929	0,113	25,50,100,150,200	30,2	37,4	REF	REF
ISV-00-CS5-00-VT1	1929	0,113	25,50,100,150,200	28,5	38,1	0,71	1,01
Großrahmenherausziehversuche ohne Mischbinder (IPV), bewehrt							
IPV-09-CS5-00-V1 bis V3	1926	0,114	5,15,20,25	39,0	10,7	1,39	0,29
IPV-10-CS5-00-V1 & V2	1903	0,111	10,20,40,50	37,9	9,3	1,33	0,24
ρ_d	Einbautrockendichte		c'_i	Kohäsion aus Mehrstufenversuch			
w_E	Einbauwassergehalt, bei Versuchen mit Mischbinder vor der Zugabe		M1314	Versuch mit 3 M-% Mischbinder, Reaktionszeit 14 Tage			
φ'_i	Reibungswinkel aus Mehrstufenversuch bei ISV ohne erste Laststufe		V "xx"	Versuchsnummer			
VT1	Versuch mit Trennfläche		*	ohne den Wert der ersten Laststufe ermittelt			
REF	Referenzversuch		λ	Verbundbeiwert für Reibung, Vergleich mit ISV-00-CS5-00-V4 bis V9			
			λ_c	Verbundbeiwert für Kohäsion, Vergleich mit ISV-00-CS5-00-V4 bis V9			

Tabelle 4: Übersicht des Versuchsplans und der Versuchsergebnisse

Zur einfacheren Betrachtung des Verbundverhaltens wurde in Tabelle 4 eine Spalte mit den Verbundbeiwerten für Reibung und Kohäsion eingefügt. Für die Berechnung dieser Parameter wurden die Messergebnisse mit den Ergebnissen aus den Referenzversuchen ISV-00-CS5-00-V4 bis V9 (Großrahmenscherversuch ohne Mischbinder) verglichen.

Die Maximalwerte der Schubspannung für die jeweilige Laststufe, der Herausziehversuche mit Material 10, sind in Abbildung 3 aufgetragen. Die einzelnen Messwerte lassen sich mit guter Näherung durch eine Regressionsgerade abbilden, die ebenfalls in dem Diagramm aufgetragen ist.

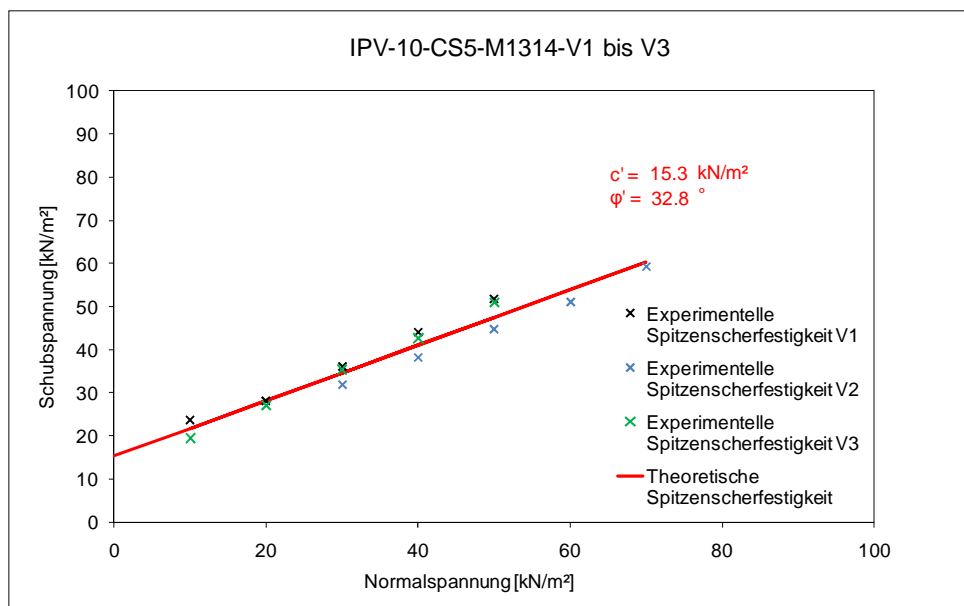


Abbildung 3: Ergebnisse Großrahmenherausziehversuche mit Material 10 und Mischbinder

Bei den Scherversuchen mit Mischbinder streut die erste Laststufe sehr stark, aufgrund dieser Tatsache wurden bei den Mehrstufenversuchen die Schubspannungen für die erste Laststufe nicht eingezeichnet (Abbildung 4) und auch nicht in der Regression berücksichtigt. Bei den mit diesem Verfahren ermittelten Scherparametern handelt es sich nicht um die Spitzenwerte, sondern vielmehr um die Scherparameter, die an der Restscherfestigkeit bestimmt wurden. Diese liegen auf der sicheren Seite und wurden mit einem “ * “ gekennzeichnet.

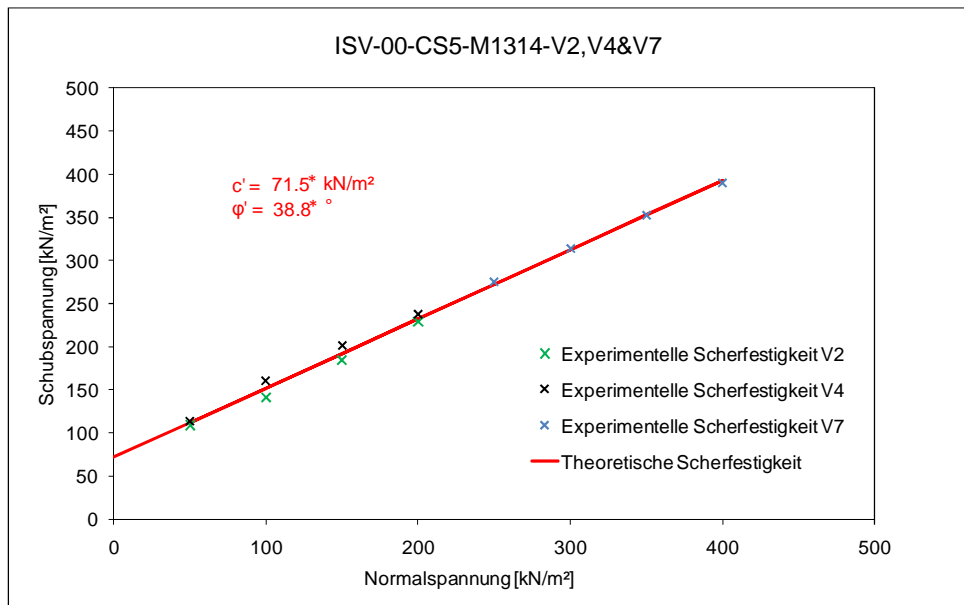


Abbildung 4: Ergebnisse Grobrahmenscherversuche mit Mischbinder

Die in den Diagrammen dargestellten Versuchsergebnisse zeigen, dass sich die Mehrstufentechnik für diese Versuchsserie sehr gut eignet und reproduzierbare Ergebnisse liefert. So sind die Ergebnisse des Versuchs ISV-00-CS5-M1314-V2 und die Ergebnisse des Wiederholungsversuchs V4 auf einem Niveau. Die Ergebnisse des Versuchs V7, der mit einer höheren ersten Laststufe begonnen wurde, ergibt vergleichbare Scherparameter.

Der Vergleich der Scherparameter aus den Scherversuchen mit Mischbinder ($\phi'_f = 38,8^\circ$, $c'_f = 71,5 \text{ kN/m}^2$) mit den Parametern aus den Herausziehversuchen mit Mischbinder ($\phi'_f = 27,3^\circ$, $c'_f = 10,3 \text{ kN/m}^2$ & $\phi'_f = 32,8^\circ$, $c'_f = 15,3 \text{ kN/m}^2$) zeigt, dass die Herausziehversuche eine deutlich geringere Kohäsion und einen geringeren Reibungswinkel haben. Diese deutliche Reduzierung, insbesondere der Kohäsion, muss über die Verbundbeiwerte in der Bemessung berücksichtigt werden. Die ermittelten Verbundbeiwerte bedeuten aber nicht, dass Geokunststoffe nicht im Zusammenhang mit einer Bodenstabilisierung verwendet werden sollen. Teilweise wird das auf der Baustelle vorhandene Lockergestein erst durch die Stabilisierung handhabbar. Darüber hinaus zeigt der Vergleich der Herausziehversuche mit Material 10 und Mischbinder mit den Scherversuchen ohne Mischbinder ($\lambda = 1,11$) einen Verbundbeiwert für Reibung größer 1,0. Grundsätzlich lässt sich sagen, dass durch den Einbau eines Geogitters die Adhäsion Geokunststoff / Boden reduziert wird. Dies ist besonders auffällig in den Versuchen mit Mischbinder, da bei den Scherversuchen mit Mischbinder die Kohäsion sehr hoch ist. Die Störung der Adhäsion ist aber nicht alleine die Folge des Geogitters, sondern der Versuchsaufbau hat auch einen großen Anteil. In einem Herausziehversuch wird das Geogitter auf den verdichteten Boden gelegt und anschließend die nächste Lage eingebaut, hingegen wird bei einem Scherversuch die Scherzone homogen ohne

Trennfläche hergestellt. Um dies zu verdeutlichen, wurde der Versuch ISV-00-CS5-M1314-VT1 durchgeführt. In diesem wurde in der Höhe der Scherzone verdichtet, also eine Trennfläche, wie sie auch in den Herausziehversuchen entsteht, geschaffen. Die Ergebnisse zeigen, dass die geringe Adhäsion in den Herausziehversuchen sowohl durch die Trennfläche als auch durch das Geogitter zustande kommt.

Zusätzlich ist bei der Verwendung von Geokunststoffen in Verbindung mit einer Bodenstabilisierung auf die Langzeitbeständigkeit der Geokunststoffe in einem alkalischen Milieu zu achten. Beständigkeitsuntersuchungen wurden im Rahmen dieser Versuchsserie nicht durchgeführt. Das untersuchte PET Geogitter kann aber unter Berücksichtigung der entsprechenden Abminderungsfaktoren bis zu einem pH-Wert von 12,5 verwendet werden.

7 Schlussfolgerungen

Aus den vorliegenden Untersuchungen folgen einige wichtige Erkenntnisse zur Untersuchung, Bemessung und Verwendung von Geokunststoffen in bindigen Böden mit Bindemittelstabilisierung:

1. **Kombination von Geokunststoffen und Bodenstabilisierung ist eine sinnvolle Bauweise.** Teilweise werden bindige Lockergesteine erst durch den Einsatz einer Bodenstabilisierung handhabbar. Die Ergebnisse zeigen, dass der Reibungsverbund sowohl mit als auch ohne Mischbinder zufriedenstellend ist.
2. **Mehrstuferentechnik, eine wirtschaftliche Versuchsmethode zur Untersuchung des Verbundverhaltens.** Für die hier dargestellte Versuchsserie hat die Mehrstuferentechnik enorme Vorteile, sie ist eine geeignete Versuchsmethode, die reproduzierbare und schlüssige Ergebnisse liefert.
3. **Inlay-Rahmen machen die Versuchsserie im IPG erst möglich.** Die Inlay-Technik ist eine sehr gute und in der Praxis bewährte Erweiterung für das IPG, die eine Versuchsserie mit langen Reaktionszeiten beherrschbar macht.
4. **Scherversuche und Herausziehversuche bei gleicher Geschwindigkeit.** Für die Bestimmung von Verbundparametern aus Scher- und Herausziehversuchen ist es sinnvoll, nicht nur dasselbe Gerät zu verwenden, sondern auch die Versuche mit der gleichen Versuchsgeschwindigkeit durchzuführen.
5. **Verdichtung erzeugt Trennfläche.** Die Verdichtung in der Höhe der Scherzone erzeugt eine Trennfläche, wodurch die Kohäsion bzw. die Adhäsion im Scher- und Herausziehversuch reduziert wird.
6. **Geogitter in der Scherfläche reduziert die Adhäsion.** Bei der Bestimmung des Verbundbeiwertes für Kohäsion zeigte sich, dass das Geogitter in der Scherfuge einen negativen Einfluss auf den Kohäsions- bzw. Adhäsionsanteil hat.
7. **Geometrie des Geogitters hat Einfluss auf das Verbundverhalten.** Beim Vergleich von Material 09 und 10 zeigte sich, dass die Geometrie einen Einfluss hat, aktuell wird an der Bestimmung von Parametern gearbeitet.
8. **Schädigung des Geogitters ist wegabhängig.** Bei den hier untersuchten Geogittern stellte sich eine visuelle und prüftechnisch erkennbare Schädigung erst bei einem Herausziehweg von ca. 50 mm ein.

9. **Mischbinder erhöht die Scherparameter.** Durch die drei prozentige Zugabe des Mischbinders konnten die Scherparameter des Canitz-Schluffs deutlich erhöht werden.
10. **Verbundbeiwert für Reibung ist >1,0.** Für die hier gezeigten Herausziehversuche ohne Mischbinder ist der Verbundbeiwert für Reibung λ größer eins. Auch mit Mischbinder konnten gute Verbundbeiwerte für Reibung erzielt werden.

Danksagung

Für die finanzielle Unterstützung der DFG im Rahmen des Forschungsvorhabens "Verbundverhalten von Geokunststoffen in bindigen Böden", den Co-Autoren für die fachliche Unterstützung sowie den Herstellern für die Zurverfügungstellung der Produkte sei an dieser Stelle gedankt.

Literatur

- [1] Aydogmus T. (2006): **Beitrag zum Interaktionsverhalten von Geokunststoffen und Lockergestein.** Veröffentlichung des Institutes für Geotechnik der TU Bergakademie Freiberg; Herausgeber: H. Klapperich, H. Konietzky; Heft 2006-6 pp. 1-177.
- [2] DIN EN 13738 (2005): **Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung des Herauszieh Widerstandes aus dem Boden,** Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [3] DIN EN ISO 12957-1 (2005): **Geokunststoffe - Bestimmung der Reibungseigenschaften - Teil 1 Scherkastenversuch.** Beuth Verlag GmbH, Berlin.
- [4] EB GEO ENTWURF (2010): **Empfehlung für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrung aus Geokunststoffen.** Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e. V.
- [5] Tamáskovics N. (2009): **Multi-stage Large Shear-Frame Tests to the Fast Interface Parameter Determination for Geosynthetics.** 10th International Symposium on Environmental Geotechnology and Sustainable Development, Bochum 2009.
- [6] Tamáskovics N., Klapperich H. (2010): **Verbundverhalten von Geokunststoffen in bindigem Boden.** 9. Sächsisches Bautextilien-Symposium BAUTEX 2010 Bauen mit Geokunststoffen, Chemnitz.
- [7] Witt K. J. (2002): **Zement – Kalk – Stabilisierung von Böden.** Geotechnik Seminar, Weimar.
- [8] Witt K. J. (2010): **Erwünschte und unerwünschte Reaktionsmechanismen bei der Bodenstabilisierung mit Bindemitteln.** 5. Fachtagung Zementstabilisierter Böden, Chemnitz.