

# REVIEW AUSGEWÄHLTER BEITRÄGE DER 10TH ICG GEOKUNSTSTOFFBEWEHRTE GRÜNDUNGSPOLSTER AUF VERTIKALEN TRAGGLIEDERN, BEWEHRTE STÜTZKONSTRUKTIONEN, INTERAKTION GEOGITTER - BODEN

H. Hangen  
HUESKER Synthetic GmbH, Gescher

**KURZFASSUNG:** In der Zeit vom 21. bis 25. September 2014 wurde in Berlin die 10. internationale Fachkonferenz zu Geosynthetics (ICG) der International Geosynthetics Society (IGS) abgehalten. Der vorliegende Beitrag ist ein Überblick ausgewählter Beiträge zu drei von 38 Themenbereichen, welche im Rahmen der ICG behandelt wurden. Dies sind Geokunststoffbewehrte Gründungspolster auf vertikalen Traggliedern, bewehrte Stützkonstruktionen sowie das Interaktionsverhalten Geokunststoff – Boden. In allen drei Themenbereichen wurde sowohl zu wissenschaftlichen als auch praktischen Aktivitäten berichtet. Untersuchungen mit dem Ziel eines verbesserten Verständnis zum Trag- und Interaktionsverhalten geokunststoffbewehrter Erdkörper zeigen demnach erfolversprechende Ergebnisse. Die Nutzung neuer oder weiterentwickelter Simulations- und Messtechnologien spielt insbesondere bei mikroskopischer Betrachtung eine besondere Rolle. Die bisherigen, positiven Erfahrungen hinsichtlich des Tragverhaltens sowie der Ökonomie können grundsätzlich bestätigt werden.

## 1 EINLEITUNG

In der Zeit vom 21. bis 25. September 2014 wurde in Berlin die 10. internationale Fachkonferenz zu Geosynthetics (ICG) der International Geosynthetics Society (IGS) abgehalten. Im Rahmen der von der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik und dem German Chapter der IGS durchgeführten Konferenz trafen sich weltweit anerkannte Fachleute, um den Stand der Technik nahezu aller Themenbereiche im Zusammenhang mit Geokunststoffen darzustellen, zu diskutieren und Ziele für zukünftige Aktivitäten herauszuarbeiten. Insgesamt wurden Beiträge zu folgenden 38 Themen behandelt:

- Reinforcement - Behavior of MSE walls and slopes;
- Reinforcement - Numerical and physical modelling;
- Reinforcement - Seismic behavior;
- Reinforcement - Case History;
- Durability, Quality Control;
- Regulations;
- New Developments;
- Design Procedures - Reinforced Structures;
- Case Histories - Slope, reinforcement, Liners;
- Case Histories - Foundation, Waste Treatment;
- Roads and Transportation Application - Roads, Railways, Parking Areas;
- Roads and Transportation Application - Testing and Research;
- Roads and Transportation Application - Miscellaneous Applications;
- Soil Reinforcement - In-Situ-Testing and Conclusions;
- Asphalt Applications;
- Soil Geosynthetics Interaction;
- Landfill - Sealing Application;
- Landfill - Barrier Performance;
- Landfill - Testing and Performance;
- Landfill - General Concerns;
- Geosynthetic Clay Barriers - Testing and Performance
- Geomembrane Performance Concerns;
- Unpaved Roads reinforced with Geosynthetics;
- TC Filtration;

- Piled Embankments - State of the Art design and construction;
- Liner Action Leakage Rates: Factors to consider;
- Durability of Geosynthetics;
- Application of geosynthetics to protect the physical environment from seismic events and from heavy rainfall phenomem;
- TC Soil Reinforcement;
- Green Engineering, Sustainability;
- Piled Embankment;
- Quality Control Systems;
- Drainage Performance and Testing;
- Filtration - Design and Testing;
- Hydraulic Applications;
- Geomembrane - Terminology;
- Technical Concerns by TC Barrier Systems;
- Full Scale Testing and Monitoring;

Dieser Artikel soll einen Überblick zu folgenden drei Themen aus diesem umfangreichen Komplex vermitteln:

- Geokunststoffbewehrte Gründungspolster auf vertikalen Traggliedern (Piled Embankments),
- Bewehrte Stützkonstruktionen (MSE walls and slopes) sowie das
- Interaktionsverhalten Geokunststoff-Boden (Soil Geosynthetics Interaction)

Hinsichtlich einer Zusammenfassung ausgewählter Beiträge zur Bewehrung ungebundener Schüttungen von Verkehrsflächen sowie zu nachhaltigen Abdichtungen – Neuentwicklungen, bewährten Produkten und Systemen im Kontext zur geplanten Funktionsdauer sei auf die Beiträge von Vollmert et. al., bzw. Tarnowski verwiesen.

Die im Rahmen dieses Beitrags ausgewählten Veröffentlichungen sind jeweils mit der jeweiligen Referenznummer der ICG und dem Namen des Hauptautors gekennzeichnet. Diese und alle weiteren Veröffentlichungen der Konferenz sind erhältlich als USB-Stick über das Sekretariat der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik (DGGT):



## 2 GRÜNDUNGSPOLSTER AUF VERTIKALEN TRAGGLIEDERN

### 2.1 Überblick

Im Themenbereich „Gründungspolster auf vertikalen Traggliedern“ wurden im Rahmen der ICG insgesamt 13 Beiträge veröffentlicht. Ein Großteil der Beiträge wurde während zweier Spezialsitzungen zu diesem Thema mündlich vorgetragen. Darüber hinaus wurden Grundlagen zu diesem Thema auch in einer separaten Training Lecture vermittelt.

### 2.2 Grundsätzliche Fragestellungen

Bei der Bemessung von Gründungspolstern auf vertikalen Traggliedern unterscheidet man derzeit drei verschiedene Mechanismen mit Hilfe derer die Einwirkungen aus Eigengewicht und Verkehrslasten eines Dammbauwerks im Baugrund abgetragen werden. Dies sind die s.g. Gewölbewirkung, infolge derer Einwirkungen unmittelbar in vertikale Tragglieder eingeleitet werden, die Membranwirkung, welche den Lastabtrag durch Membrankräfte in einer unmittelbar über den vertikalen Traggliedern angeordneten Geokunststoffbewehrung beschreibt und die s.g. Bodenbettung, welche zumindest in einer frühen Bauphase an dem Lastabtrag beteiligt ist, wenn die Geokunststoffbewehrung nicht frei hängend eingebaut wird. Abbildung 2.2-1 zeigt die drei Mechanismen und den für deren Quantifizierung in Großbritannien, den Niederlanden und Deutschland bisher praktizierten Verfahrensweg. Die Gewölbewirkung wird hierbei mit „A“ bezeichnet, „B“ kennzeichnet die Membranwirkung und „C“ ist der Anteil der Bodenbettung. Besonderes Merkmal und wesentlicher Kritikpunkt an dieser Vorgehensweise ist, dass die Gewölbewirkung von den beiden anderen Mechanismen unabhängig betrachtet wird. Darüber hinaus ist es nicht möglich, auf diese Weise eine Aussage zum Verformungsverhalten des Bauwerks, z.B. der Setzung auf der Oberkante des Erdkörpers, abzuleiten.

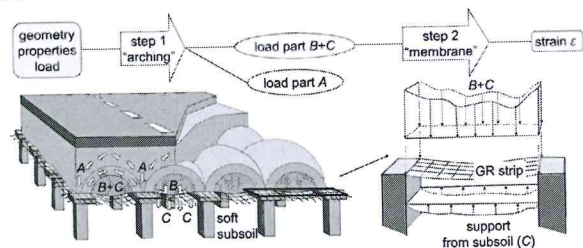


Abbildung 2.2-1 Vorgehensweise zur Bemessung geokunststoffbewehrter Erdkörper auf vertikalen Traggliedern

Ein Kernthema der ausgewählten Beiträge der 10. ICG war daher die Beschreibung verschiedener Ansätze mit dem Ziel einer verbesserten Erfassung des Systemverhaltens dieser Bauwerke.

### 2.3 Numerik

Ein Großteil der Veröffentlichungen befasst sich mit der Beschreibung numerischer Analysen des Tragverhaltens, wobei überwiegend Modelle verwendet werden, welche eine dreidimensionale Abbildung des Systems ermöglichen.

Insbesondere sind dies die Veröffentlichungen von Moormann et. al. #129, Song et. al. #123 und v.d. Peet.#112. Nur Kamash et al. #131 berichten von der Verwendung eines 2D Modells, wobei jedoch durch die Verwendung von hochwertigen Stoffgesetzen (Mod. Cam Clay) Fortschritte in der Modellierung der Konsolidation der Weichschichten, also der Bodenbettung, erreicht werden sollen. Üblicherweise berichten die meisten Autoren auch über Parameterstudien. So werden bei Kamash beispielsweise die Länge und Steifigkeit der vert. Tragglieder (Deep-Soil-Mixing) und die Dehnsteifigkeit der Bewehrung variiert. Moormann hingegen untersucht den Einfluss einer einlagigen oder mehrlagigen Anordnung der Bewehrung, wobei die Gesamtdehnsteifigkeit der Bewehrungen konstant bleibt und neben der aktivierten Dehnung der Bewehrung die Setzung auf der Oberkante des Systems als maßgebliches Beurteilungskriterium gewählt wird (siehe auch Tabelle 2.3-1).

Tabelle 2.3-1

Geotextile Reinforcement	level	max. $N_y$ [kN/m]	max. $\epsilon_y$ [%]	sag f [cm]
1 layer		390	2.2	16.4
3 layers	Top	97	1.6	
	Middle	106	1.8	
	Bottom	161	2.7	17.4

### 2.4 Analytik

Analytische Modelle werden von v. Eekelen #127 und Bezuijen #201 vorgestellt. Ziel der vorgestellten Untersuchungen ist die Verifizierung eines neuen Berechnungsansatzes (Concentric Arches Model) anhand von Ergebnissen eines Feldversuches in Brasilien (Almeida). Bezuijen beschreibt eine Erweiterung des „Trap-door“ Modelles von Terzaghi mit dem Ziel, den Ansatz eines inversen Dreiecks für die Beschreibung des Belastungsbildes auf dem Geogitterstreifen zu verifizieren (siehe auch Abbildung 2.4-1).

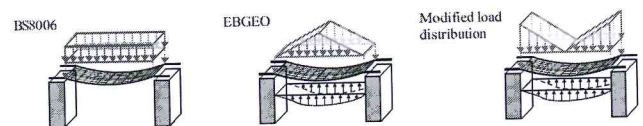


Abbildung 2.4-1 Ansatz der Belastung auf dem Geogitterstreifen, Moormann #129

### 2.5 Experimentell

Unter den Berichten zu experimentellen Vorgehensweisen wurden die Beiträge Da Silva Pinto #122, Hartmann #124 und van Eekelen #128 näher gesichtet. Beide Autoren beschreiben die Durchführung kleinmaßstäblicher Laborversuche. Da Silva Pinto et.al berichten über 1g-Versuche an einem Modell im Maßstab 1:10, wobei die vertikalen Tragglieder durch bis zu 16 Metallstäbe ersetzt wurden. Dies ermöglichte die Variation des Säulenanteils zwischen minimal 2,4% und maximal 10%. Eine große Herausforderung bei experimentellen Untersuchungen von Gründungspolstern auf vertikalen Traggliedern ist die Modellierung des Weichbodens. Da Silva Pinto et. al. verwenden hierfür ein Gemisch aus Sand, Polystyrolen-Kugeln und Wasser. Ziel der Untersuchung war die grundsätzliche Beschreibung des Lastabtrags. Quantitative Aussagen waren aufgrund unzureichender Skalierung des Spannungsniveaus nicht möglich. Hartmann #124 berichtet über Zentrifugenversuche mit Beschleunigungen von bis zu maximal 20g. Auch Hartmann berichtet über eine Variation des Säulenanteils, wobei der maximale Säulen-



anteil 4,91% des Prüfkörpers oder 61 Pfahlelemente be trägt. Die Simulation des Weichbodens erfolgt bei den Versuchen von Hartmann mit Hilfe einer motorgetriebenen Stahlplatte. Ziel der Untersuchungen von Hartmann ist die Untersuchung des Einflusses der Bewehrung auf die Lastumlagerung, einer Vorspannung der Bewehrung und die Frage, zum Einfluss einer ein- oder mehrlagigen Anordnung der Bewehrung. In den Untersuchungen von v. Eekelen wird im Rahmen eines 1g-Versuches mit vier vertikalen Traggliedern untersucht, ob sich Unterschiede im Tragverhalten des bewehrten Erdkörpers ergeben, wenn eine biaxiale Bewehrungslage durch zwei einaxiale, direkt aufeinander liegende oder mit einem größeren Abstand zueinander angeordnete Lagen, ersetzt wird.

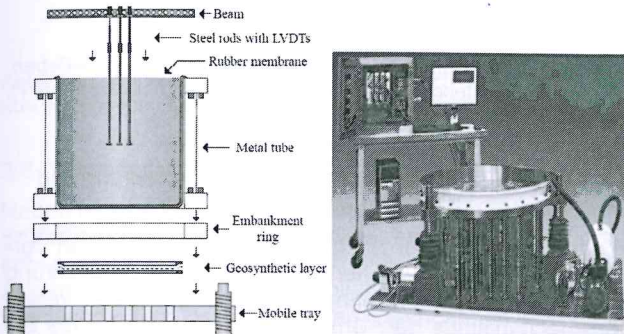


Abbildung 2.5-1 Versuchsanordnung für Zentrifugenversuche, Hartmann #124

## 2.6 Testfelder, Baubegleitende Messungen

Ein weiterer Teil der Beiträge beschreibt die Durchführung und Auswertung von Testfeldern oder baubegleitenden Messungen. Auffällig ist hierbei, dass drei der vier Aufsätze Maßnahmen beschreiben, bei denen die Konstruktion im Einflussbereich von Eisenbahnlasten liegt oder liegen soll (Huckert #26, Briancon #333 und Chen #126). In allen drei Fällen handelt es sich jedoch offensichtlich entweder um abseits eines Gleiskörpers gelegene Testfelder oder Bereiche, die zum Zeitpunkt der Berichterstattung tatsächlich weder durch eine simulierte noch durch eine reale Eisenbahnüberfahrt belastet wurden. Mit Bezug auf die von Heitz veröffentlichten Ergebnisse zur Gewölbbestabilität ist dies für eine zutreffende Analyse des Tragwerksverhaltens jedoch von großer Bedeutung. Bei dem von Briancon beschriebenen Versuchsfeld ist darüber hinaus bemerkenswert, dass im Rahmen des Testfeldes die Geokunststoffbewehrung ohne Ausführung von Kopfaufweitungen oder Kopfplatten oberhalb von Fertigbetonrammpfählen mit einer Querschnittsfläche von 0,29 m x 0,27 m ausgeführt wurde (Abbildung 2.6-1). In Deutschland sind derartige Konstruktionen nur für säulenartige Tragglieder mit ohnehin großen Durchmessern (0,6 m) bekannt.

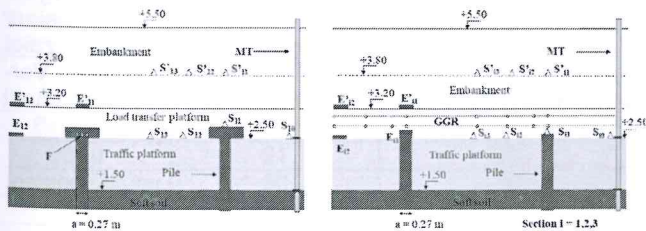


Abbildung 2.6-1 Regelprofil und Anordnung von Messgebern, Briancon #333, mit: E: Earth pressure cell, S: Settlement sensor, F: Force Sensor, GGR: Geogrid, Ausführung mit Kopfplatten (links), Ausführung ohne Kopfplatten (rechts)

## 2.7 Erkenntnisse

Auf Grundlage ihrer Untersuchungen kamen die Autoren zu folgenden wesentlichen Erkenntnissen:

- Für statische Lasten erscheint die Beschreibung der Einwirkung auf den Geogitterstreifen in Form eines inversen Dreiecks eine plausible Alternative zu dem bisherigen Ansatz eines Dreiecks (EBGEO), bzw. eines Rechtecks (BS 8006).
- Die in EBGEO und CUR gewählte Vorgehensweise zur Quantifizierung der Gewölbewirkung liefert gute Übereinstimmung mit Messergebnissen im Feld.
- Bei gleicher Gesamtsteifigkeit wirkt eine Bewehrungslage besser als mehrere über den Querschnitt verteilte Bewehrungslagen. Die untere Bewehrungslage wird stets deutlich stärker ausgelastet als darüber liegende.
- Eine biaxiale Bewehrungslage kann durch zwei einaxiale direkt übereinander angeordnete Bewehrungslagen ersetzt werden ohne das Tragverhalten zu verändern. Dies gilt in dem untersuchten Fall auch dann, wenn die Lagen mit geringem Abstand zueinander verlegt werden und wenn in der Zwischenschicht hochwertiges Mineralgemisch angeordnet ist.
- Im Zentrifugenversuch mit maximalen Beschleunigungen von bis zu 20g zeigte eine Vorspannung der Bewehrung keinen signifikanten Einfluss. Nicht behandelt wurden das Verhalten der Konstruktionen im Bauzustand, Einflüsse aus dynamischer Belastung, unsymmetrische Laststellungen und Fragen zum Spreizen, bzw. der damit verbundenen horizontalen Belastung der vertikalen Tragglieder.

## 3 GEOKUNSTSTOFFBEWEHRTE STÜTZKONSTRUKTIONEN

### 3.1 Überblick

Im Themenbereich „Geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen“ wurden im Rahmen der ICG insgesamt 49 Beiträge veröffentlicht. Neben dem Vortrag in einer Spezialsitzung wurden die Beiträge zu diesem Thema in verschiedenen Sitzungen mit unterschiedlicher Ausrichtung präsentiert. Darüber hinaus war die s.g. Giroud-lecture, vorgetragen von Herrn Prof. Richard J. Bathurst #235, diesem Thema gewidmet. Darüber hinaus wurden Grundlagen zu diesem Thema auch in einer separaten Training Lecture vermittelt.

### 3.2 Behandelte Fragestellungen

Die Verwendung von Geokunststoffbewehrungen zur Sicherung von Geländesprüngen ist eine der ältesten und seit langem etablierten Anwendungen von Geokunststoffen. Dennoch gibt es, insbesondere aus wissenschaftlicher Sicht, noch offene Fragen, welche auch im Rahmen der ICG diskutiert wurden. Neben einer Vielzahl von Fallstudien wurden nachfolgend aufgeführte Themen angesprochen:

- Einfluss der Dehnsteifigkeit der Geokunststoffbewehrung auf das Tragverhalten Ehrlich #188,
- Prognose und Berechnung der Gebrauchstauglichkeit,
- Verhalten und Dauerhaftigkeit der Frontelemente (Facing / Außenhaut) bei außergewöhnlichen Einwirkungen wie Anprall und Feuer oder Starkregen, Herold #302 und Yoo #301,
- Bestimmung der erforderlichen Verbindungsfestigkeit zwischen Geokunststoffbewehrung und Frontelement, Schwerdt #349,



- Einfluss der Verdichtung im Hinterfüllbereich einer Stützkonstruktion auf das Tragverhalten bei Erdbelastung, Fujita #06.

In den folgenden Abschnitten werden ausgewählte Untersuchungen zur Beantwortung dieser Fragen dargestellt.

### 3.3 Verhalten geokunststoffbewehrter Stützkonstruktionen im Erdbebenfall

Aufgrund der lokalen Relevanz ist die Frage nach dem Trag- und Verformungsverhalten geokunststoffbewehrter Stützkonstruktionen im Erdbebenfall in Asien, insbesondere in Japan, von besonderer Bedeutung. Die im Vergleich zu Stahlbetonkonstruktionen deutlich größere Duktilität dieser Konstruktionen ist grundsätzlich bereits seit längerem bekannt. Sowohl im Rahmen von groß- und realmaßstäblichen Shaking-Table Tests, Leshinsky, als auch im Ernstfall, Tatsuoka, wurde dies eindrucksvoll gezeigt. In weiterführenden Untersuchungen von Fujita #06 wird nun vorgestellt, welchen Einfluss geringe oder mäßige Verdichtung, die gem. einer Erhebung des Geosynthetic Institute (GSI) in rund 75% von 171 begutachteten Schadensfällen festgestellt wurde, im Erdbebenfall spielt. Die Autoren kombinieren zur Beantwortung dieser Frage Shaking-Table- und Zentrifugentechnik. Abbildung 3.3-1 zeigt die Versuchsanordnung, bei der die Bodenzone unmittelbar hinter dem Frontelement nur mit einem Verdichtungsgrad von Dpr. = 60% ausgeführt wurde. Der restliche Erdkörper wurde wie auch der Referenzversuch mit einem Verdichtungsgrad von Dpr = 90% hergestellt.

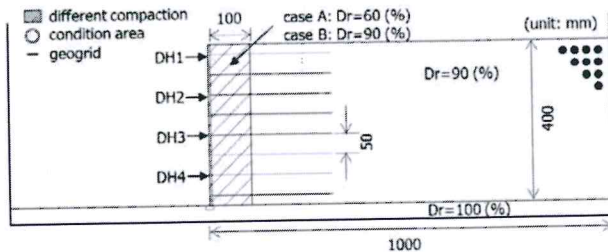


Abbildung 3.3-1 Versuchsanordnung Zentrifugen-Shaking Table Test, Fujita #06

Abbildungen 3.3-2 und 3.3-3 zeigen, dass die Bauwerke bei den dem „Kobe-Beben“ nachempfundenen Erdbelastungen starke Verformungen aufweisen, aber nicht versagen. Im Vergleich zu einem durchgängig mit Dpr = 90% ausgeführten Modell werden infolge der schlechten Verdichtung ca. 20% größere horizontale Verschiebungen beobachtet. Das Maximum liegt jeweils zwischen halber Wandhöhe und oberem Drittel.

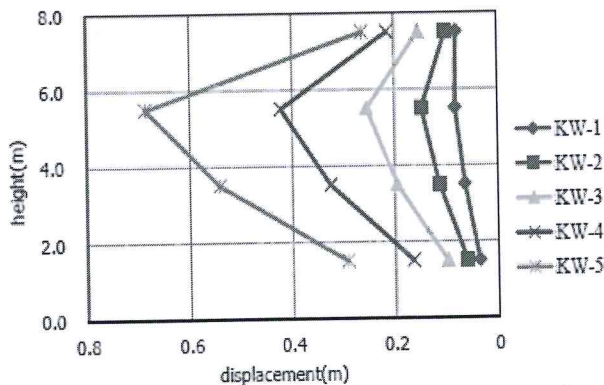


Abbildung 3.3-2 Horizontale Verformungen infolge Kobe-Beben, mit schlechter Verdichtung im Frontbereich (case A in Abbildung 3.3-1), Fujita #06

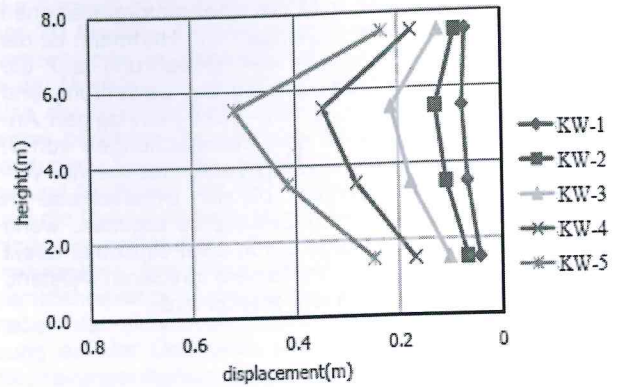


Abbildung 3.3-3 Horizontale Verformungen infolge Kobe-Beben, mit guter Verdichtung im Frontbereich (case B in Abbildung 3.3-1), Fujita #06

### 3.4 Verbindung zwischen Geokunststoffbewehrung und Frontelement

In der Praxis stellt der Nachweis einer ausreichenden Verbindungsfestigkeit zwischen der Geokunststoffbewehrung und dem Frontelement oftmals den maßgebenden Versagensmechanismus dar. Um zu klären, ob der für die Ermittlung der erforderlichen Widerstände derzeit üblicherweise zugrunde gelegte Erddruckansatz bestätigt werden kann, werden von Schwerdt #349 Ergebnisse von realmaßstäblichen Belastungsversuchen an Stützkonstruktionen vorgestellt. Das Frontsystem der untersuchten Konstruktionen besteht aus zwei unterschiedlichen Typen steingefüllter Drahtkörbe, welche gemäß DIN EN 14475 als bedingt verformbare Frontsysteme klassifiziert werden.

### 3.5 Prognose und Berechnung der Gebrauchstauglichkeit

Zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit einer geokunststoffbewehrten Stützkonstruktion ist es erforderlich, die Verformungen der Konstruktion mit geeigneten Methoden zu berechnen oder wenigstens konservativ abzuschätzen. Im Sinne der Beobachtungsmethode kann es alternativ, bzw. ergänzend, u.U. erforderlich sein, baubegleitende Messungen durchzuführen. Im Rahmen der ICG wurden zu beiden Ansätzen verschiedene Veröffentlichungen präsentiert. Im Beitrag von Lienhart et. al. #2 wird beispielsweise dargestellt, welche Verformungen bzw. Dehnungen sich in einer bis zu 25 m hohen und 60° geneigten Steilböschung einstellen. Die Neigung des Urgeländes dieser im alpinen Raum gelegenen Konstruktion beträgt zwischen 35° und 40° ist somit äußerst steil. Die Erfassung der Bauwerksbewegungen erfolgt neben geodätischer Vermessung der Böschungsoberfläche mit Hilfe verteilter faseroptischer Sensoren, welche mit speziellen Platten an der Geokunststoffbewehrung befestigt werden. Die Ergebnisse der Messungen werden mit den Ergebnissen einer FE-Simulationsrechnung verglichen. Abbildung 3.5-1 zeigt den Vergleich berechneter und aus den gemessenen Verformungen abgeleiteten Zugkräfte für den Messquerschnitt mit maximaler Höhe.



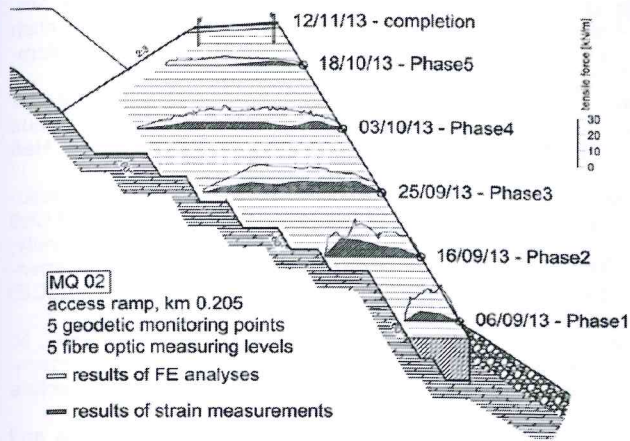


Abbildung 3.5-1 Messquerschnitt II, Vergleich berechneter und aus gemessenen Dehnungen abgeleitete Zugkräfte, Lienhart #02

### 3.6 Wirtschaftlichkeit

Neben technischen Vorteilen bieten geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen, insbesondere auch unter ökonomischen Gesichtspunkten, viele Vorteile. Tatsuoka et.al. #44 zeigen dies sehr eindrucksvoll für Stützkonstruktionen, welche im Netz der japanischen Eisenbahnen sowohl in Stahlbeton als auch mit Geokunststoffbewehrung errichtet wurden. Abbildung 3.6-1 zeigt typische Querschnitte einer Hochgeschwindigkeitstrasse des japanischen Schnellzuges Shinkansen, welche für lokale Erdbebenlasten und unter diesen Einwirkungen als schwierig einzustufenden Baugrundverhältnissen bemessen wurde.

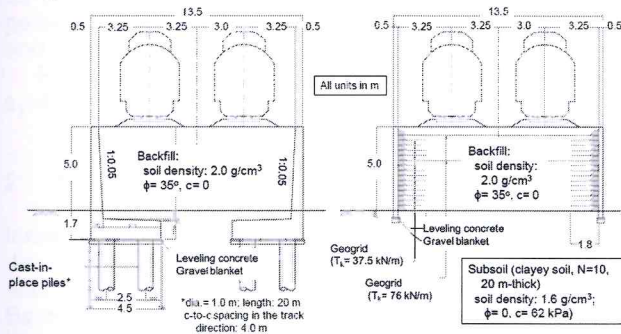


Abbildung 3.6-1 Regelquerschnitte für Stützkonstruktionen des japanischen Hochgeschwindigkeitszuges (Shinkansen) #44

Tabelle 3.6-1 zeigt einen Vergleich der Kosten beider Bauweisen, aufgeschlüsselt in die Anteile für Bau, Instandhaltung und jeweiligen Gesamtkosten. Bei ungünstigen Baugrundverhältnissen können die Gesamtkosten demnach auf ein Drittel der für die konventionelle Bauweise erforderlichen Aufwendungen reduziert werden!

Tabelle 3.6-1 Kostenvergleich konventionelle Bauweise (Stahlbeton) und geokunststoffbewehrter Erdkörper Tatsuoka #44

Baugrund	Kosten einer KBE-Konstruktion im Verhältnis zu konventioneller Bauweise [%]	
	günstig	ungünstig
Bau	81	32
Instandhaltung	50	50
Total	77	33

Über ähnlich signifikante Ergebnisse berichten auch Raithel et. al. #01 für s.g. Erddruckfänger, KBE-Konstruktionen, mit denen eine teilweise oder vollständige Entlastung von z.B. Kellerwänden oder Brückenwiderlagern erreicht werden kann.

### 3.7 Erkenntnisse

Im Hinblick auf die Beantwortung der im Abschnitt 3.2 formulierten Fragestellungen kamen die Autoren zu folgenden wesentlichen Erkenntnissen:

- Das gute Trag- und Verformungsverhalten von geokunststoffbewehrten Stützkonstruktionen kann auch unter besonderen Einwirkungen wie Eisenbahnlasten oder Erdbeben bestätigt werden.
- Geokunststoffbewehrte Stützkonstruktionen können bei entsprechend fachkundiger Bemessung und Bauausführung selbst bei Erdbebenlasten mit erheblichen Höhen ausgeführt werden.
- Unter Berücksichtigung ggf. erforderlicher zusätzlicher Maßnahmen ist es möglich, sowohl Leichtbaustoffe als auch Böden mit umweltrelevanten Inhaltsstoffen oder äußerst geringer Wasserdurchlässigkeit zu verwenden.
- Realmaßstäbliche Laborversuche eröffnen Ansätze für eine optimierte Vorgehensweise bei der Dimensionierung der Verbindung zwischen Frontelement und Außenhaut.
- Die Wirtschaftlichkeit von geokunststoffbewehrten Stützkonstruktionen wird am Beispiel von Systemvergleichen bestätigt.
- Hinsichtlich der Prognose der Gebrauchstauglichkeit gibt es Fortschritte, eine umfassende Vorgehensweise kann hingegen derzeit noch nicht vorgestellt werden.

## 4 INTERAKTIONSVERHALTEN GEOKUNSTSTOFF-BODEN

### 4.1 Überblick

Im Themenbereich „Interaktionsverhalten Geokunststoff-Boden“ wurden im Rahmen der ICG insgesamt 23 Beiträge veröffentlicht. Neben einem Vortrag in der Young IGS Sitzung wurden diese Beiträge in vier separaten Spezialsitzungen präsentiert und diskutiert.

### 4.2 Behandelte Fragestellungen

An einer möglichst genauen Beschreibung und Modellierung des Interaktionsverhaltens zwischen Böden und Geokunststoffen, im Besonderen den Geokunststoffbewehrungen wird nach wie vor intensiv geforscht. Im Rahmen der ICG wurden in diesem Zusammenhang folgende Schwerpunkte und Fragestellungen diskutiert:

- Einfluss der Gerätekonfiguration und Versuchsdurchführung (Auray #664, Stoltz #285),
- Vergleich des Verbundverhaltens verschiedener Materialien bei gleichbleibenden Geräterandbedingungen
  - Variation der Geokunststoffe (Han #330, Cardile #406, Manju #528),
  - Böden (Hanumasagar #448, Araujo #167)
- Simulation des Verbundverhaltens mit FEM (3D) (Fakharian #245),
- Einfluss besonderer Einwirkungen auf das Verbund- oder Scherverhalten, insbesondere Erdbeben (Lambert #169, Moreira #253, Carbone #637),
- Untersuchung des Verbundverhaltens im Hinblick auf den Lastabtrag und das Verformungsverhalten eines bewehrten Erdkörpers oder einer Verankerung (Lackner #03, Wang #29, Liu #77, Ziegler #286, Klompma-ker #231).



#### 4.3 Microscopic interaction effects of prestressed geogrids in a reinforced soil element

Aufgrund der großen Anzahl an Beiträgen wurde für eine detaillierte Darstellung in diesem Themenblock nur der Beitrag von Lackner et. al. #268 ausgewählt. Gegenstand des Beitrags ist die Untersuchung des Einflusses von Vorspannung eines Geogitters auf das Tragverhalten des bewehrten Erdkörpers. Lackner beschreibt hierbei im Wesentlichen die Vorgehensweise zur Erstellung und Validierung eines geeigneten 3D Modelles. Zu Einsatz kommen dabei sowohl die finite Elemente (FEM) als auch eine diskrete Elemente Modellierung (DEM). Die Kalibrierung der jeweiligen Modelle erfolgt mit Hilfe von PIV-Versuchen. Für die Abbildung des Geogitters und der Bodenpartikel, welche als Eingangswerte für die DEM benötigt werden, verwendet Lackner 3D Scanner und wertet diese mit einer 3D-CAD-Software aus. Die Abbildung 4.3-1 zeigt einen Ausschnitt des DEM-Modells für das untersuchte Geogitter. In der Diskussion der Berechnungsergebnisse kommt Lackner zu der Folgerung, dass das Verbundverhalten eines Geogitters mit Bodenpartikeln durch drei Mechanismen zu charakterisieren ist:

- Interlocking (Verzahnung von Bodenpartikeln innerhalb der Geogittermaschen),
- Single string (Verzahnung mit Bodenpartikeln, welche zwischen Faserbündeln (nur bei geraschelten oder gewebten Geogittern) entstehen kann,
- Alignment (Formschluss der Geogitterstränge mit den Bodenpartikeln).

Die Ergebnisse zeigen ferner, dass das der positive Effekt einer Vorspannung mit dem vorgestellten Verfahren zutreffend modelliert und verifiziert werden kann.

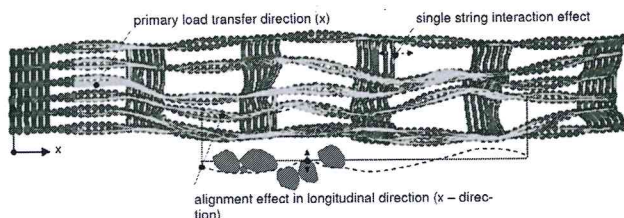


Abbildung 4.3-1 Seitenansicht eines DEM-Modells mit Visualisierung des Alignment Effektes #268

## 5 ZUSAMMENFASSUNG

Der vorliegende Beitrag vermittelt einen Überblick zu ausgewählten Beiträgen der 10. ICG in den Themenbereichen Geokunststoffbewehrte Gründungspolster auf vertikalen Traggliedern, Bewehrte Stützkonstruktionen und Interaktionsverhalten Geokunststoff – Boden. In allen drei Themenbereichen wurden zahlreiche Beiträge vorgestellt. Die Beiträge dokumentieren Aktivitäten sowohl im wissenschaftlichen als auch im praktischen Bereich. Vor allem mit Hilfe von neuen oder weiterentwickelten Simulations- und Messtechniken kann dabei in allen Bereichen ein Erkenntniszugewinn festgestellt werden. Dokumentationen von Langzeiterfahrungen an realen Bauwerken bestätigen bisher gewonnene, positive Erfahrungen sowohl hinsichtlich des Tragverhaltens als auch in Bezug auf die Ökonomie.

## 6 LITERATUR

10<sup>th</sup> ICG, IGS, 2014. Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Conference on Geosynthetics, Berlin, September 2014, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (DGGT), ISBN 978-3-9813953-9-6, 2014.

- Eekelen, S.J.M. van und Bezuijen, A., 2008. Design of piled embankments, considering the basic starting points of the British Standard. Proceedings of EuroGeo4, Edinburgh UK, September 2008.
- Heitz, C. 2006. Bodengewölbe unter ruhender und nichtruhender Belastung bei Berücksichtigung von Bewehrungseinlagen aus Geogittern. Schriftenreihe Geotechnik, Universität Kassel, Heft 19.
- Leshinsky, D., 2005. Large-Scale Shaking Table Tests on Modular-Block Reinforced Soil Retaining Walls, Department of Civil Engineering and Engineering Mechanics, Columbia University, New York, USA, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 04/2005; 131(4), DOI: 10.1061 / (ASCE) 1090-0241(2005).
- Tatsuoka, F., Koseki, J., Tateyama, M., Munaf, Y. and Horii, N. 1998. Seismic Stability Against High Seismic Loads of Geosynthetic-Reinforced Soil Retaining Structures, Keynote Lecture Proc. 6 ICG, Atlanta, 1: p.103-142.
- Koerner, R. M., Koerner, G., 2013. A data base, statistics and recommendations regarding 171 failed geosynthetic reinforced mechanically stabilized earth (MSE) walls, Geotextiles and Geomembranes Volume 40, October 2013, Pages 20–27.
- DIN EN 14475:2006-04. Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) - Bewehrte Schüttkörper; Deutsche Fassung, Beuth Verlag.
- EBGEO. (2010). Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Hrsg.), 2010, Verlag Ernst & Sohn
- CUR. (2009). Ontwerprichtlijn Paalmatrassystemen, CUR Publicatie 226, 2009, Stichting CUR, Gouda, NL.
- BS 8006-1:2010-10-31: Code of practice for strengthened / reinforced soils and other fills, BSI.