



Tensar

THE COMPANY
YOU CAN BUILD ON™

Zur Stabilisierung dynamisch beanspruchter ungebundener Tragschichten mit Geogittern

Zur Stabilisierung dynamisch beanspruchter ungebundener Tragschichten mit Geogittern

Ing. (M.Eng.) Kalliopi Fotiadou und Dipl.-Ing. (FH) Daniel Cammarata, Tensar International GmbH, Bonn, Deutschland

Veranlassung

Geokunststoffe werden bei unterschiedlichen Anwendungen und mit unterschiedlichen Funktionen eingesetzt. Die Auswahl geeigneter Geokunststoffe für den jeweiligen Verwendungszweck und die jeweiligen Anforderungen ist jedoch nicht immer selbstverständlich. Um ein geeignetes Produkt auszuwählen, muss dessen vorherrschende Funktion in Betracht gezogen werden.

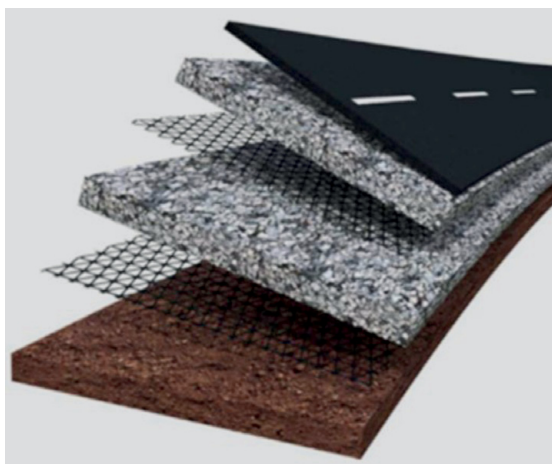
Geokunststoffe werden seit vielen Jahren zur Erhöhung der Tragfähigkeit ungebundener Tragschichten von Straßen- und Verkehrsflächen angewendet. Die Anwendung von Geogittern in einer oder mehreren Lagen hat sich etabliert (**Bild 1**). Dabei wurde bisher überwiegend verallgemeinernd von einer Bewehrung der ungebundenen Tragschicht gesprochen. Dies ändert sich jedoch mit der Anfang Oktober 2018 veröffentlichten neuen Fassung der Norm DIN EN ISO 10318-1 [1], denn darin wird neben der für Geokunststoffe bereits bekannten Funktion der Bewehrung auch die Funktion Stabilisierung in den Begriffskatalog deutscher Regelwerke eingeführt.

Dieser Artikel behandelt die Stabilisierungsfunktion von Geogittern mit unterschiedlichen Öffnungsgeometrien in ungebundenen Tragschichten.

Definitionen der Bewehrungs- und der Stabilisierungsfunktion

DIN EN ISO 10318-1:2018-10 enthält die folgenden Definitionen:

Bild 1: Geogitter in einer ungebundenen Tragschicht einer Verkehrsfläche



Die neue Ausgabe der DIN EN ISO 10318-1 definiert eine neue Funktion von Geokunststoffen, nämlich die Stabilisierung. Dieser Beitrag zeigt am Beispiel von Geogittern in ungebundenen Tragschichten anhand einer in den USA durchgeführten Untersuchung auf Mikroebene die positive Auswirkung auf die Kornpartikel durch die Stabilisierungsfunktion von Geokunststoffen auf.

Geotechnik • Verkehrsinfrastruktur • Normen • Geokunststoffe • Geogitter • Stabilisierung

- ▶ **Bewehrungsfunktion:** „Nutzung des Spannungs-Dehnungs-Verhaltens eines Materials aus Geokunststoff zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften des Bodens oder von anderen Baustoffen“.
- ▶ **Stabilisierungsfunktion:** „[Die] Verbesserung des mechanischen Verhaltens von ungebundenem körnigen Material durch eine oder mehrere geosynthetische Schichten, so dass eine Verformung durch aufgebrachte Kräfte durch Minimierung von Bewegungen des ungebundenen körnigen Materials verringert wird“.

Relevanz der Stabilisierungsfunktion für ungebundene Tragschichten

Die in der DIN EN ISO 10318 neu eingeführte Funktion der Stabilisierung ist für bestimmte Geogittertypen, die in ungebundenen Tragschichten eingesetzt werden, relevant. Denn die dauerhafte Immobilisierung der Kornpartikel ist hierbei ein wichtiger Aspekt der Tragfähigkeits- und Gebrauchstauglichkeitserhöhung.

Einige Geogitter können nachweislich eine Stabilisierung des Korngerüsts einer ungebundenen Tragschicht ermöglichen. Die positive Auswirkung von Geogittern auf die Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit einer ungebundenen Tragschicht wurde in der Vergangenheit bereits durch zahlreiche Untersuchungen bestätigt [z. B. 2]. Die Effektivität der Stabilisierungsleistung kann jedoch von Geogitter zu Geogitter je nach Art und Struktur erheblich variieren. Weil sich die Kornpartikel in den Öffnungen der Geogitter gut verzahnen und dauerhaft abstützen sollen, spielt die Geometrie der Geogitteröffnungen eine wesentliche Rolle. Geogitter, die im Rahmen von Straßen- und Verkehrsflächenbaumaßnahmen eingesetzt werden, haben entweder eine biaxiale oder eine multiaxiale Öffnungsgeometrie. Um die Stabilisierungsleistung dieser Geogitter besser zu verstehen und um den Einfluss der

Öffnungsgeometrie zu erfassen, führten Liu et al. in der Pennsylvania State University in Kooperation mit der Kennesaw State University, USA, eine gezielte Untersuchung zur Aufzeichnung der Kornbewegungen in ungebundenen Tragschichten mit biaxialen Geogittern, mit multiaxialen Geogittern und ohne Geogitter unter zyklischer Belastung durch [3]. Die durchgeführten Untersuchungen und ihre Ergebnisse werden nachfolgend komprimiert wiedergegeben, weil sie zum Verständnis der Definition der genannten Stabilisierungsfunktion „mit Minimierung von Bewegungen des ungebundenen körnigen Materials“ in der DIN EN ISO 10318-1:2018-10 beitragen.

Untersuchung der Kornbewegungen in einer ungebundenen Tragschicht

Im Rahmen der genannten Forschungsarbeit untersuchten Liu et al. [3] die Bewegung von Kornpartikeln einer ungebundenen Tragschicht unter zyklischer Belastung für die Anwendung bei Eisenbahnstrecken auf weichen Untergründen [1]. Fokus der Untersuchungen war insbesondere die Interaktion bzw. Verzahnung zwischen Kornpartikel und Geogitter mit Erprobung einer Messmethode für diesen Zweck. Es wurden drei Belastungsversuche durchgeführt:

- ▶ Ohne Geogitter zur Kontrolle bzw. zum Vergleich
- ▶ Mit einer Lage eines biaxialen Geogitters (BX) mit rechteckigen Öffnungen
- ▶ Mit einer Lage eines multiaxialen Geogitters (TX) mit dreieckigen Öffnungen

Versuchsaufbau

In den Versuchen wurde in einer Box mit den Abmessungen 244 cm × 183 cm × 102 cm (L x B x H) der Schichtaufbau einer Bahnstrecke auf weichem Untergrund mit und ohne Geogitter und mit einer seitlichen Böschungsneigung von 1 : 2, wie in den **Bildern 2 und 3** dargestellt, nachgebildet und über die Schwellen zyklisch belastet:

- ▶ Weicher **Untergrund** auf der nassen Seite der Proctorkurve
- ▶ **Ausgleichsschicht** als Filter zwischen Untergrund und Schotter (10 cm dick)
- ▶ Ggf. **Geogitter**
- ▶ **Schotter** (30 cm dick)
- ▶ Zwei **Schwellen** mit den Abmessungen von 75 cm × 18 cm × 18 cm (L x B x H), 50 cm Abstand zwischen den Schwellen und 30 cm Abstand zwischen Außenkante Schotterschicht und Schwellenrand, 6 cm tief in die Schotterschicht eingelassen

In allen drei Versuchen wurden vier sogenannte Smart Rocks, drahtlose Messinstrumente mit der Geometrie eines Schottersteins, an den im **Bild 2** gekennzeichneten Positionen eingebaut.

Erdstoffe und Geogitter

Die Erdstoffe des Untergrunds, der Ausgleichs- und der Schotterschicht, deren Körnungslinien im **Bild 4** dar-

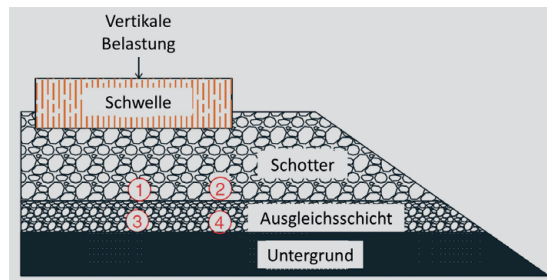


Bild 2: Versuchsaufbau mit den Positionen der vier Smart-Rock-Messinstrumente [3]

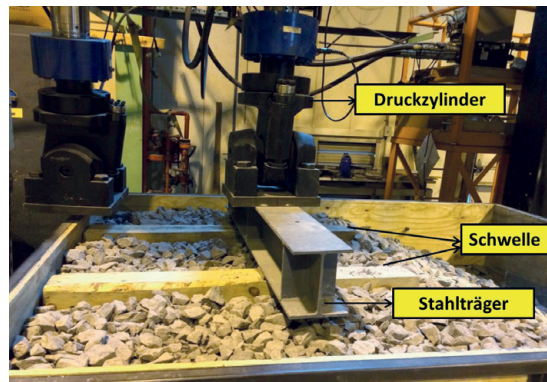


Bild 3: Durchführung des Belastungsversuchs [3]

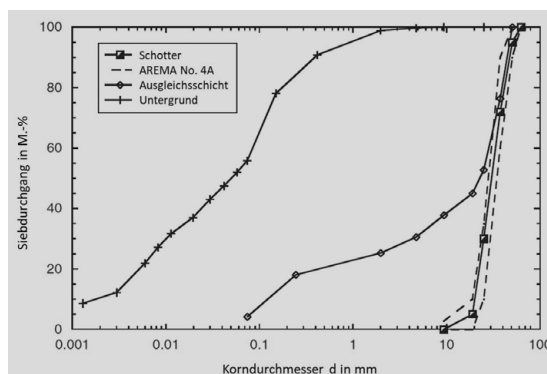


Bild 4: Kornverteilungslinien von Untergrund, Ausgleichs- und Schotterschicht [3]

gestellt sind, können folgendermaßen charakterisiert werden:

- ▶ **Untergrund:** Es wurde ein künstlicher bindiger Boden verwendet, dessen Proctorkurve im **Bild 5** und CBR-Werte im **Bild 6** abhängig vom Wassergehalt dargestellt sind. Für die Versuche wurde der Untergrund mit höherem Wassergehalt als der Optimalwert der Proctorkurve hergestellt und verdichtet (**Bild 7**, rechts), sodass eine reduzierte Tragfähigkeit erzielt wurde.
- ▶ **Ausgleichsschicht:** Als Filterschicht wurde eine Schicht aus gebrochenem Kalkstein verwendet, die größer als der Untergrund und feiner als die Schotterschicht war.
- ▶ **Schotterschicht bzw. ungebundene Tragschicht:** Es wurde eng gestufter Granit eingebaut, der die Anforderungen des amerikanischen Verbands ARE-

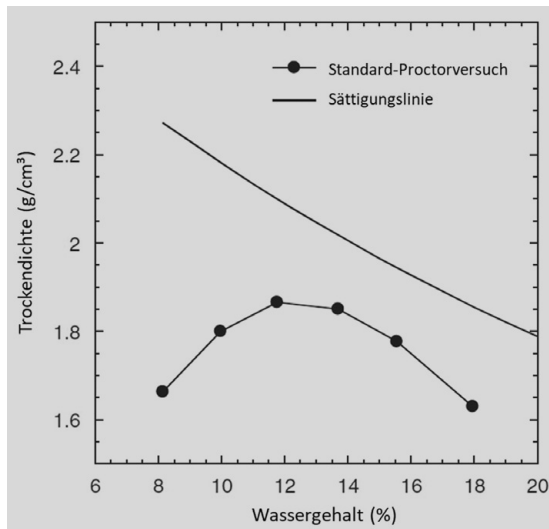


Bild 5: Proctorkurve des Untergrundmaterials mit Sättigungslinie [3]

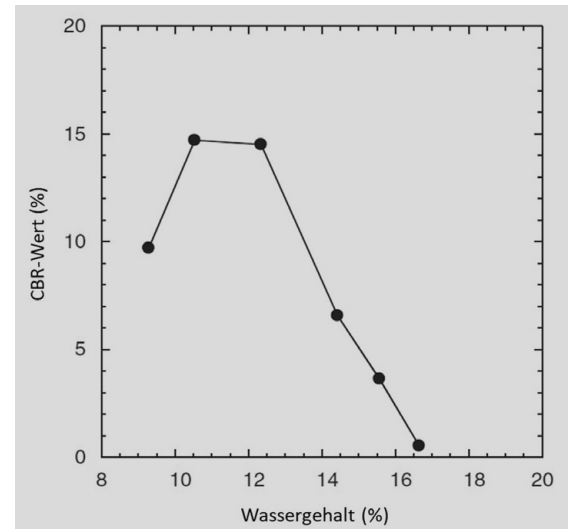


Bild 6: CBR-Werte des Untergrundmaterials abhängig vom Wassergehalt [3]

MA (American Railway Engineering and Maintenance-of-Way Association) an die Korngrößenverteilung Nr. 4a erfüllte.

Bei den Versuchen wurden ein gestrecktes, biaxiales Geogitter (BX) mit rechteckiger Öffnungsgeometrie und ein gestrecktes, multiaxiales Geogitter (TX) mit einer dreieckigen Öffnungsgeometrie aus dem Rohstoff Polypropylen mit konkav hochkant stehenden Stegen mit scharfen Rändern getestet. In **Tabelle 1** sind Eigen-

schaften der Geogitter angegeben. **Bild 7** zeigt links und in der Mitte die beiden Geogitter.

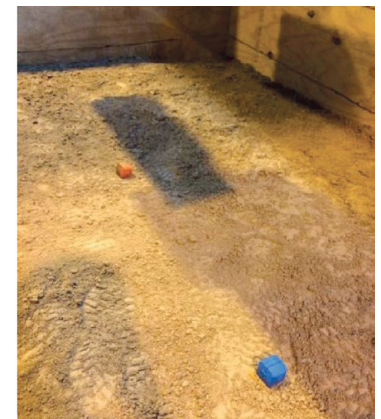
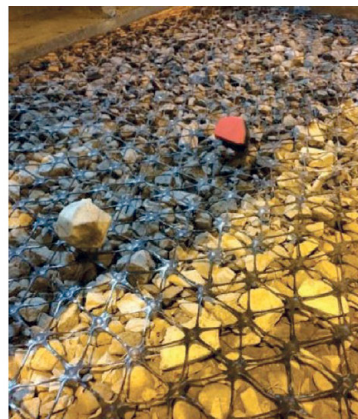
Messinstrumente Smart Rock

Zur Überwachung und Aufzeichnung der Kornbewegung unter zyklischer Belastung wurden drahtlose Messinstrumente mit der Bezeichnung Smart Rock verwendet (**Bild 8**). Sie bestehen aus einem dreiachsigen Gyroskop, einem dreiachsigen Beschleunigungsaufnehmer und einem dreiachsigen Magnetometer, die jeweils Rotation, Translation (Verschiebung) und Verschieberichtung in neun Freiheitsgraden erfassen können. Die Aufzeichnungen werden zur Darstellung und Analyse über Bluetooth an eine Basisstation übertragen. Durch Verwendung eines 3D-Druckers wurde die Geometrie der Messinstrumente an die eines Schotterkorns angepasst. Für die Untersuchung wurden zwei unterschiedliche Smart Rocks in unterschiedlichen Größen hergestellt, nämlich mit Kantenlängen von ca. 6 cm und ca. 3,5 cm. Die Anordnung der Smart Rocks ist dem **Bild 2** zu entnehmen, wobei Nr. 1 und 2 die großen und Nr. 3

Tabelle 1: Eigenschaften der Geogitter [3]

Eigenschaft	[mm]	Geogitter vom Typ	
		BX	TX
Öffnungsweite	[mm]	60 x 46	60 x 60
Radiale Sekantensteifigkeit bei 0,5% Dehnung	[kN/m]	nicht anwendbar	350
Knoteneffizienz	[%]	93	93

Bild 7: Herstellung des Versuchsaufbaus mit Smart-Rock-Messinstrumenten – links mit BX-Geogitter, in der Mitte mit TX-Geogitter und rechts Untergrund [3]



und 4 die kleinen Steine darstellen. Die kleinen Smart Rocks wurden an der Unterseite der Ausgleichsschicht (**Bild 7** rechts) und die großen Smart Rocks an der Unterseite der Schotterschicht aufgebracht (**Bild 7** links und Mitte).

Versuchsdurchführung

Feldbeobachtungen lassen darauf schließen, dass die größten Verschiebungen und Rotationen der Kornpartikel der ungebunden Tragschicht während der Anfangsnutzung auftreten. Um dieses Verhalten näher zu betrachten, wurden im Rahmen dieser Versuchsdurchführung die Beanspruchungen auf 1.000 Lastzyklen beschränkt. Die zyklische Belastung wurde mithilfe eines Lastrahmens mit einem Prüfzylinder einer Druckkapazität von 490 kN eingeleitet. Die Versuche wurden unter gesteuerter Last mit einer Spitzenlast von 85 kN (Auflagedruck der Schwelle 315 kPa) und einer Belastungsfrequenz von 1 Hz durchgeführt – entsprechend dem Belastungsprofil einer harmonischen Belastung. Um Abweichungen in den Versuchsergebnissen aufgrund anfänglicher Auflagerfehler zu beseitigen, wurde zuvor eine statische Belastung von 1 kN aufgebracht, bis die Schwellen gut gelagert waren.

Versuchsergebnisse

Es werden exemplarisch ausgewählte Ergebnisse von Liu et al. wiedergegeben, ausführlichere Angaben können aus [3] entnommen werden. **Bild 9** zeigt die vertikalen Verschiebungen in Abhängigkeit von den Lastzyklen bzw. von der Zeit für die drei Versuche. Deutlich wird, dass die vertikale Verschiebung mit den Lastzyklen bzw. der Zeit zunahm. Im Allgemeinen wuchs die vertikale Verschiebung insbesondere während der ersten 100 Zyklen, danach verringerte sich die Wachstumsrate merklich. Grund dafür ist die anfänglich stattfindende Umlagerung der Kornpartikel. In den Versuchen mit Geogittern ergaben sich geringere vertikale Verschiebungen als im Kontrollversuch ohne Geogitter. Die vertikale Verschiebung des BX-Geogitters war um 49 % und die des TX-Geogitters um 55 % kleiner als die Verschiebung im Kontrollversuch ohne Geogitter. Grund für die reduzierten vertikalen Verschiebungen in den Versuchen mit Geogitter ist die Verzahnung der Kornpartikel in den Geogitteröffnungen. Obwohl die vertikalen Verschiebungen bei BX- und TX-Geogittern quantitativ ähnlich waren, waren beim TX-Geogitter etwa 50 % mehr Lastzyklen notwendig, um die gleiche Verformung zu erreichen.

Die Echtzeit-Bewegung der eingebauten Smart Rock-Messinstrumente spiegelt die Bewegungen der umgebenden Kornpartikel der Schotterschicht während der zyklischen Belastungen wider. Somit kann die Verzahnung der Kornpartikel in den Öffnungen der Geogitter auf Mikroebene betrachtet und dadurch die Stabilisierungsfunktion der unterschiedlichen Geogittertypen verdeutlicht werden. Die aufgezeichneten Verschiebungsbeschleunigungen der Smart Rocks Nr. 3 entsprechend **Bild 2** in den drei Versuchen sind im

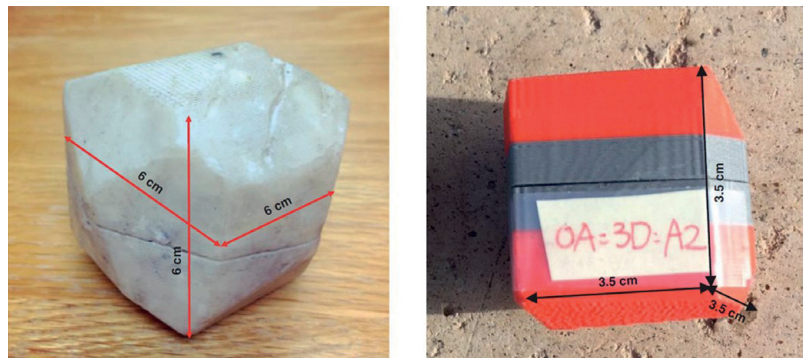


Bild 8: Großer (links) und kleiner (rechts) Smart Rock [3]

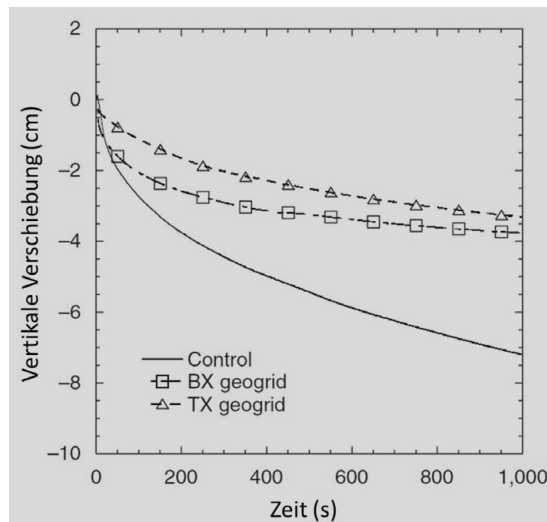


Bild 9: Vertikale Verschiebung abhängig von den Lastzyklen bzw. von der Zeit [3]

Bild 10 dargestellt. Das Koordinatensystem wurde wie folgt ausgerichtet: Die x-Achse verläuft in Schwellenrichtung, die y-Achse in Gleisrichtung und die z-Achse vertikal, also rechtwinklig zu den Bodenschichten. Wie **Bild 9** exemplarisch für Smart Rock Nr. 3 zeigt, waren die Beschleunigungen in den Versuchen mit Geogittern geringer und wiesen weniger Fluktuationen auf. Im Kontrollversuch hatten die translatorischen Beschleunigungen viele Spitzen, die zu einer irreversiblen Kornverschiebung und somit zu einer plastischen Verformung führten. Bei den Versuchen mit Geogittern ist hervorzuheben, dass die translatorischen Beschleunigungen im Versuch mit TX-Geogittern deutlich geringer ausfielen als im Versuch mit BX-Geogittern.

Die erfassten Rotationen der Smart Rocks Nr. 3 sind im **Bild 11** dargestellt. Der Kontrollversuch ohne Geogitter weist in allen drei Achsen unter zyklischer Belastung eine deutlich stärkere Rotation auf. Im Vergleich dazu weist der Versuch mit dem BX-Geogitter geringere Rotationen auf. Auffallend ist auch die deutlich geringere Rotation im Versuch mit dem TX-Geogitter als mit BX-Geogitter. Die aus einer Kornimmobilisierung resultierende geringere Steinrotation spiegelt auch die durchgeführte statistische Auswertung des Smart Rocks Nr. 1 im **Bild 12** wider. Das wiederum verdeutlicht das gute Interaktionsverhalten zwischen TX-Geogitter und Kornpartikel.

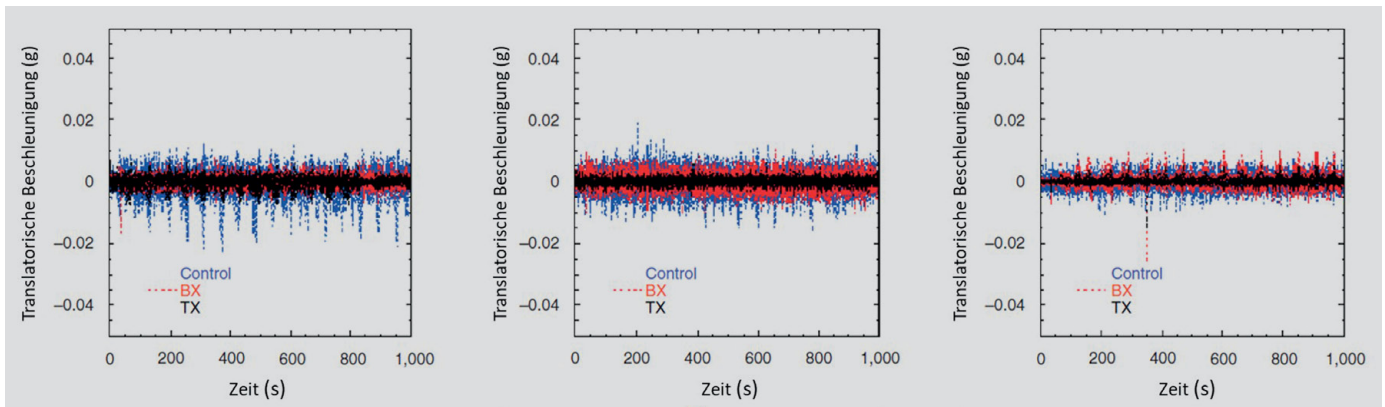


Bild 10: Verschiebungsbeschleunigungen der Smart Rocks Nr. 3 gemäß Bild 2 abhängig von den Lastzyklen [3]

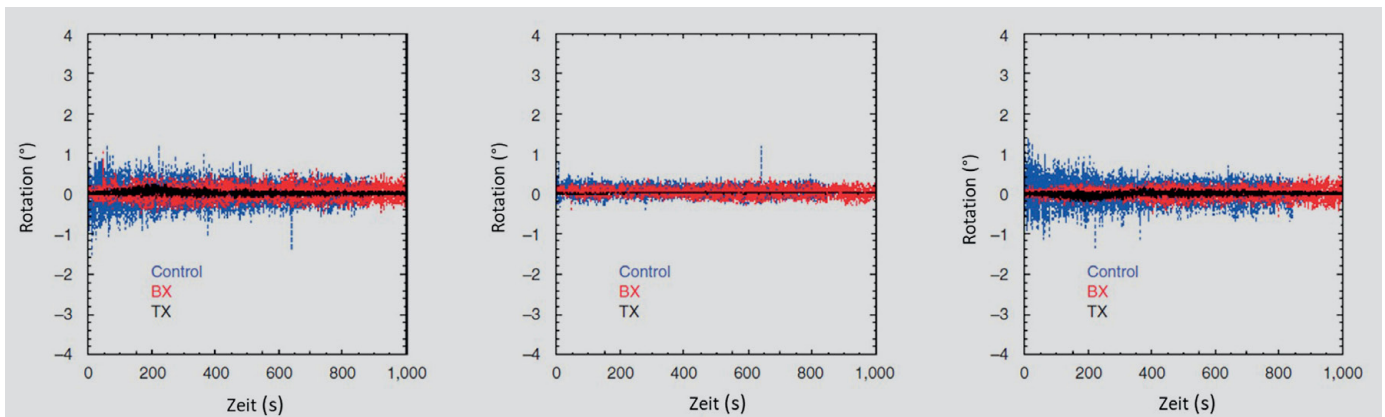


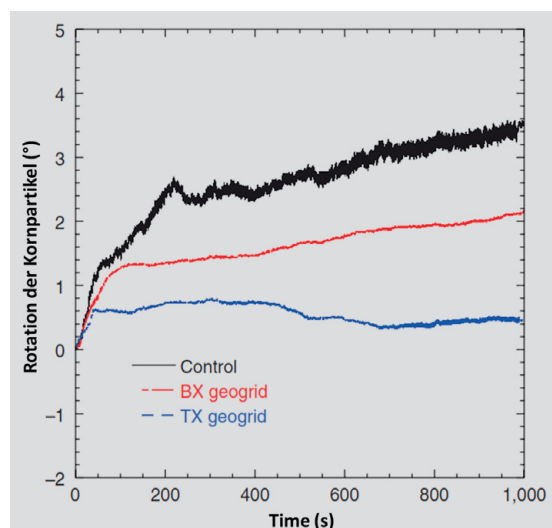
Bild 11: Rotationen der Smart Rocks Nr. 3 gemäß Bild 2 abhängig von den Lastzyklen [3]

Körnungslinien von Schotterproben, die nach der zyklischen Belastung entnommen wurden, zeigten nur sehr geringe Anzeichen einer Kornzertrümmerung.

Schlussfolgerungen

Die Untersuchungen von Liu et al. [3] veranschaulichen auf Mikroebene der Kornpartikel die in der DIN EN ISO 10318-1 neu beschriebene Funktion

Bild 12: Statistische Auswertung der Rotation des Smart Rocks Nr. 1 abhängig von der Zeit [3]



der Stabilisierung. Die zu diesem Zweck in den Belastungsversuchen verwendeten Smart Rocks zur Messung von Kornbewegungen erfüllten die Erwartungen und stellten ihre Eignung erneut unter Beweis. Die Ergebnisse zeigen, dass für die gewählten Randbedingungen die Bewegung der Kornpartikel durch den Einsatz von Geogittern bedeutend beschränkt wird. Beim Vergleich der Ergebnisse zwischen den zwei verwendeten Geogittern zeigt sich jedoch, dass im Versuch mit dem Geogitter mit dreieckiger Öffnungsstruktur die Bewegungen, die Rotationen und die vertikalen Verschiebungen deutlich geringer als im Versuch mit dem Geogitter mit rechteckiger Öffnungsstruktur ausfallen. Das triaxiale Geogitter wies eine deutlich bessere Interaktion zwischen Kornpartikel und Geogitter auf. Diese Ergebnisse deuten darauf hin, dass Geogitter mit triaxialer Öffnungsstruktur das Korngerüst besser abstützen und den ungebundenen Oberbau effektiver stabilisieren können. Liu et al. weisen aufgrund ihrer Ergebnisse darauf hin, dass für die Anwendung im Eisenbahnbau durch die Auswahl eines geeigneten Geogittertyps nicht nur Kornumlagerungen verringert werden. Hiedurch können auch größere Instandsetzungsintervalle und Kosteneinsparungen erzielt werden.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die Anwendung von Geokunststoffen, die eine dauerhafte Immobilisierung des Korngerüsts ermöglichen kön-

nen, nachweislich eine Verbesserung der Tragfähigkeit und der Gebrauchstauglichkeit ungebundener Tragschichten bewirkt. Die offizielle Einführung des Begriffs „Stabilisierung“ in der aktuellen DIN EN ISO 10318-1:2018-10 verdeutlicht zugleich den hohen Stellenwert, den diese Funktion in der Fachwelt der Geokunststoffe eingenommen hat.

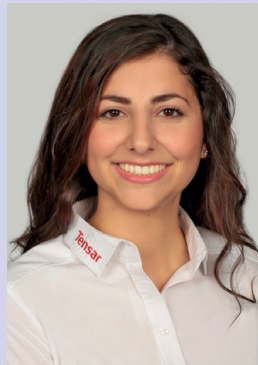
Quellen

Dieser Fachbeitrag basiert insbesondere auf den Untersuchungen „Comparative Evaluation of Particle Movement in a Ballast Track Structure Stabilized with Biaxial and Multiaxial Geogrids“ an der Pennsylvania State University und Kennesaw State University von S. Liu, H. Huang, T. Qiu und J. Kwon.

- [1] DIN EN ISO 10318-1:2018-10: Geokunststoffe – Teil 1: Begriffe (ISO 10318-1:2015 + Amd 1:2018); Dreisprachige Fassung EN ISO 10318-1:2015 + A1:2018
- [2] Cammarata, D.: Belastungsversuche zum Nachweis der Erhöhung der Gebrauchstauglichkeit von Verkehrsflächen mit Geogittern. GeoResources Zeitschrift (3-2018), S. 32–35. Online: <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-3-2018.pdf>
- [3] Liu, S.; Huang, H.; Qiu, T.; Kwon, J. (2017): Comparative Evaluation of Particle Movement in a Ballast Track Structure Stabilized with Biaxial and Multiaxial Geogrids. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, No. 2607, 2017, pp. 15–23. Online: <http://dx.doi.org/10.3141/2607-04>

Ing. (M.Eng.) Kalliopi Fotiadou

ist seit 2017 in der Anwendungstechnik der Firma Tensar International GmbH, Bonn, Ansprechpartnerin für technische Beratung und Bemessung von Baumaßnahmen.



Kontakt: fotiadou@tensar.de

Dipl.-Ing. (FH) Daniel Cammarata

ist Leiter der Anwendungstechnik bei der Tensar International GmbH, Bonn, und seit 2009 für die technische Beratung von Baumaßnahmen zuständig.



Kontakt: cammarata@tensar.de

Quelle des Artikels

Fotiadou, K.; Cammarata, D. (2018): Zur Stabilisierung dynamisch beanspruchter ungebundener Tragschichten mit Geogittern. GeoResources Zeitschrift (4-2018), S. 12–17.
Online: <https://www.georesources.net/download/GeoResources-Zeitschrift-4-2018.pdf>



Tensar® TriAx® Geogitter

- ◆ Schnelle Erhöhung der Belastbarkeit von wenig tragfähigem Untergrund
 - ◆ Zeit- und Kostenersparnis durch schnelle und einfache Verlegung
 - ◆ Reduzierung der Tragschichtdicke um bis zu 50%
 - ◆ Vergleichmäßigung von Setzungen

Tensar International GmbH

Brühler Str. 7, 53119 Bonn
Tel: +49 (0)228 91392-0
Fax: +49 (0)228 91392-11
info@tensar.de | www.tensar.de

