

Sicherung bruchgefährdeter Straßenbereiche in Altbergbau- und Subrosionsgebieten

Untersuchungen zum Trag- und Reibungsverhalten der Geokunststoffe

Von Norbert Meyer, Axel Nernheim und Sven Schwerdt

Beim Neubau oder der Sanierung von Verkehrswegen müssen teilweise Bereiche gequert werden, in denen mit Erdfällen oder Tagesbrüchen an der Geländeoberfläche gerechnet werden muss.

Als Tagesbrüche werden diejenigen Hohlformen bezeichnet, die sich als Resultat von Altbergbautätigkeiten bilden. Je nach Abmessung des Hohlraums, der Tiefenlage des Abbaus sowie der angetroffenen Gesteine können verschiedene Schadensereignisse auftreten. Eine besondere Gefährdung ergibt sich aus den Tages- und Schachtverbrüchen. Die Schächte wurden nach Einstellung des Bergbaus häufig nur unzureichend verfüllt. Die Lage der Schächte ist allerdings häufig aus alten Rissunterlagen bekannt. Diese können daher im Vorfeld von Baumaßnahmen gezielt aufgesucht und ordnungsgemäß verfüllt werden.

Im Bereich von Abbaufeldern, Wartungs- und Vorrichtestrecken ist das Aufsuchen und Verwahren der Hohlräume jedoch mit einem unverhältnismäßig großen Aufwand verbunden (ROTHENHÖFER 1999), zumal der Abbau zum Teil in unterschiedlichen Teufenlagen erfolgte. Der Verwahrerfolg kann in diesen Fällen nicht sichergestellt werden, da über den Zustand und die Verbindung von einzelnen Abbaukammern häufig nichts bekannt ist. Sollen derartige Bereiche mit Verkehrswegen gekreuzt werden, müssen zusätzliche Sicherungsmaßnahmen vorgesehen werden.

Einbrüche infolge geologischer Ursachen werden als Erdfälle bezeichnet. Sie sind an das Vorhandensein von auslaugbaren Gesteinen im oberflächennahen Untergrund gebunden. Infolge der Auslaugung der wasserlöslichen Gesteine entstehen an der Oberfläche großflächige Senkungen. Insbesondere über Salzlagerstätten bilden sich weitgespannte Subrosionssenken (BÜCHNER 1991). Wenn Lockergesteine über Schloten oder Spalten in tiefergelegene Hohlräume transportiert werden, entstehen steilwandige Erdfalltrichter, die häufig von klaffenden Spalten begleitet werden. Die Hohlräume brechen allmählich bis zur Geländeoberfläche durch.

Nach Unterlagen des Geologischen Landesamtes Sachsen-Anhalt (HECKNER et al. 1998) wurden in Sachsen-Anhalt seit 1960 etwa 500 Erdfälle registriert. Eine Auswertung der aufgetretenen Ereignisse zeigte, dass etwa 75 % einen oberflächigen Bruchdurchmesser von weniger

als 3 m besaßen. Bei weniger als 5 % der aufgetretenen Ereignisse wurden Erdfalldurchmesser von über 10 m registriert.

Ist beim Bau von Verkehrswegen mit einbruchgefährdeten Trassenabschnitten zu rechnen, sind in diesen Bereichen präventive Sicherungsmaßnahmen vorzusehen. Dabei wird zwischen Verfahren der Voll- und Teilsicherung unterschieden. Bei der Vollsicherung werden die erdeinbruchgefährdeten Bereiche mit Hilfe von bewehrten Stahlbetonplatten gesichert. Nachdem ein Erdeinbruch eingetreten ist, überspannt die Stahlbetonplatte diesen Bereich. Einsenkungen der Fahrbahnoberfläche treten nicht auf. Eine Verfüllung des aufgetretenen Hohlraums und Sanierung der Fahrbahn ist nicht notwendig.

In Bereichen, in denen nur ein mäßiges oder geringes Einbruchrisiko besteht, wird aus ökonomischen Gründen häufig die Variante der Teilsicherung gewählt. Im allgemeinen werden dabei Geokunststoffe zur Sicherung eingesetzt. In Bild 1 ist die prinzipielle Verlegung einer Geokunststoffbewehrung dargestellt.

duktions- und Querrichtung weichen voneinander ab.

Die Bemessung von Erdeinbruchüberbrückungen ist im deutschen Regelwerk bisher nicht genormt. Die gebräuchlichen analytischen Bemessungsverfahren, z.B. nach British Standard BS 8006, gehen davon aus, dass für die Überbrückung von kreisförmigen Hohlräumen isotrope Geokunststoffe verwendet werden, die über gleiche Dehnsteifigkeiten in Produktions- und Querrichtung verfügen. Bei der Überbrückung von langgestreckten Hohlräumen, z.B. Spalten, ist dagegen eine Lastübertragung nur in einer Richtung möglich. Für diesen Fall ist ausschließlich die Zugkraft in dieser Richtung (i.d.R. die Produktionsrichtung) zu bemessen.

Praktische Erfahrungen haben gezeigt, dass in der Regel mit kreisförmigen Einbrüchen gerechnet werden muss. Wenn diese unter Verwendung von einlagig verlegten, anisotropen Geokunststoffen überbrückt werden sollen, können die bisherigen Bemessungsverfahren nicht mehr angewendet werden. Eine Bemessung ist dann

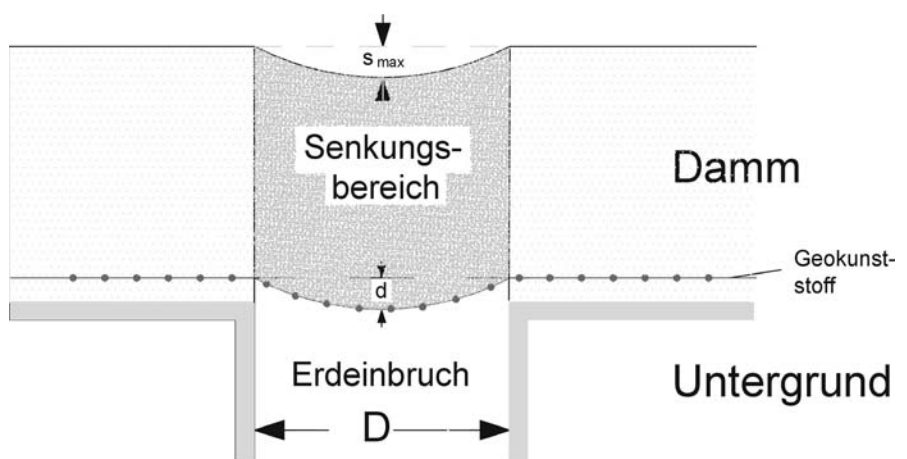


Bild 1: Anordnung einer Geokunststoffbewehrung zur Sicherung eines bruchgefährdeten Trassenbereiches

Dabei kommen zunehmend einlagig verlegte Geokunststoffbewehrungen zum Einsatz. Diese Materialien verfügen häufig über anisotrope Eigenschaften, d.h. die Dehnsteifigkeiten in Pro-

nur unter Verwendung von numerischen Verfahren möglich.

Ein weiteres Problem, das in den bisher angewendeten Bemessungsverfahren nur unzurei- ►

chend berücksichtigt wurde, ist die Lastübertragung vom Geokunststoff auf den umgebenden Boden neben dem Erdrinbruch. Die bisherigen Verfahren gehen davon aus, dass eine flächenhafte Abtragung der Zugkräfte über Reibung auf den umgebenden Boden erfolgt. Dies ist jedoch nur dann der Fall, wenn flächenhafte Geokunststoffe, z.B. Geogewebe, verwendet werden. Bei Geogittern erfolgt die Lastübertragung nicht nur über Reibung, sondern durch weitere Komponenten (s. Bild 4).

Es werden daher Untersuchungen durchgeführt, um das Trag- und Reibungsverhalten von geokunststoffbewehrten Erdrinbruchüberbrückungen besser erfassen zu können. Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen in die „Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen“ (EBGEO) einfließen.

Erdfall-Großversuche

Versuchsaufbau und -durchführung

Die Erdfall-Versuche wurden in einer Großversuchsanlage der Hochschule Anhalt (FH) in Dessau ausgeführt, die über Abmessungen von $l = 4,7 \text{ m}$, $b = 3,0 \text{ m}$ und $t = 4,0 \text{ m}$ verfügt. In Bild 2 ist die Versuchsrinne mit eingelegtem Geokunststoff und dem aufgetretenen Erdrinbruch erkennbar.

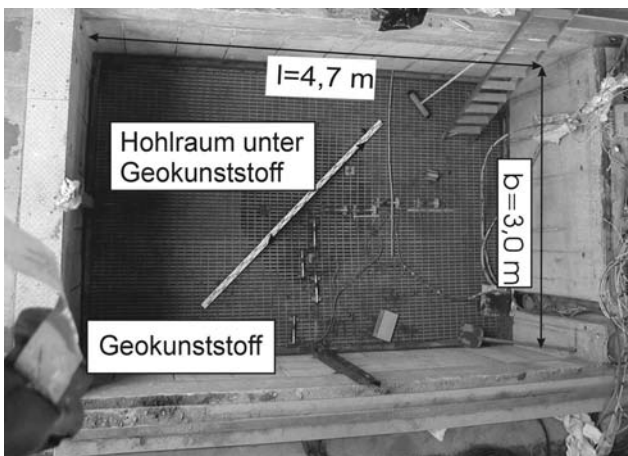


Bild 2: Großversuchsrinne mit Geokunststoff und aufgetretenem Hohlraum (Ansicht nach Versuchsende)

In einer Tiefe von etwa 1,7 m wurde ein Hohlraum vorgesehen. Während des Einbaus der Geokunststoffbewehrung und der überlagernden Bodenschichten war dieser mittels einer Falltürkonstruktion verschlossen.

Die Versuche wurden mit verschiedenen Geokunststoffen durchgeführt. Es handelte sich dabei um Geogewebe, gelegte Geogitter, gestreckte Geogitter und gewebte Geogitter. Die Zugfestigkeiten und Dehnsteifigkeiten sowie das Verhältnis der Dehnsteifigkeiten zwischen der Längs (Produktions-) und Querrichtung wurden variiert.

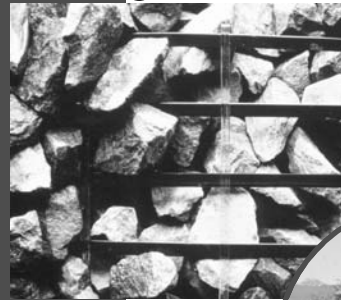
Die Belastung der Geokunststoffe erfolgte durch die Eigenlasten der überlagernden Bodenschichten mit einer Gesamtdicke von 1,7 m sowie durch veränderliche statische und dynamische Lasten.

Die veränderliche Belastung erfolgt durch vier hintereinander angeordnete Prüfpressen. Die dynamische Belastung wurde sinusförmig mit einer Zeitverzögerung der Prüfpressen untereinander eingetragen. Damit ergab sich eine rollende Belastung, die ►

COLBOND

GEOSYNTHETICS

Enkagrid® PRO



Leistungsstark und zuverlässig bei der Bewehrung von Böschungen.



Enkagrid® MAX



Optimal für Untergründe im Straßenbau. Schnelle, einfache Installation und hohe Wirksamkeit.



Enkagrid® TRC



Geokomposit mit zusätzlicher Trenn- und Filterfunktion für extreme Untergrundverhältnisse.



Colbond Geosynthetics GmbH, D-63784 Obernburg
Fon (+49) 6022-812020 Fax (+49) 6022-812800
enkadrain@colbond.com www.colbond.com

derjenigen eines LKW-Zwillingstreifens mit einer Geschwindigkeit von 60 km/h entsprach. Die dynamischen Belastungen wurden innerhalb von 2 Wochen mehr als 300.000 mal wiederholt. Dies entspricht etwa der Belastung auf einer stark befahrenen vierspurigen Bundesstraße oder Autobahn im betrachteten Zeitraum.

Die wichtigsten Messgrößen, wie die Einsenkungen der Geokunststoffe, der Bodenschichten und der Fahrbahn, die Dehnungen der Geokunststoffe sowie die Vertikalspannungen in verschiedenen Ebenen wurden mit umfangreichen Messeinrichtungen erfasst.

Versuchsergebnisse

Die bisherigen Versuchsergebnisse können folgendermaßen zusammengefasst werden:

- Das Tragverhalten der Geokunststoffe hängt vom Dehnsteifigkeitsverhältnis zwischen Produktions- und Querrichtung und den Grenzdehnungen in Produktions- und Querrichtung ab.
- In den Bodenschichten über dem Geokunststoff bildet sich nach dem Auftreten eines Erdeinbruchs ein Traggewölbe aus. Unter dynamischen Belastungen kam es bei einigen Versuchen zum Einbruch des Traggewölbes. In diesen Fällen zeigte sich über dem unterirdischen Hohlraum ein kegelförmiger Einbruchbereich, der bis zur Fahrbahnoberfläche reichte. In **Bild 3** ist exemplarisch ein aufgetretener Einbruch der Fahrbahnoberfläche dargestellt.

- Wenn sich ein stabiles Traggewölbe ausbildet, bleiben die Zugkräfte im Geokunststoff sehr klein. Die Belastung resultiert in diesem Fall nur aus dem Eigengewicht der Bodenschichten unter dem Gewölbescheitel.
- Wenn ein Bruch des Gewölbescheitels erfolgt, wird der Geokunststoff durch das Eigengewicht der überlagernden Bodenschichten und die Verkehrslast belastet. In diesem Fall treten im Geokunststoff große Zugkräfte auf.
- Rings um den Geokunststoff bildet sich ein Bereich aus, in dem die auftretenden Zugkräfte über Reibung auf den umgebenden Boden übertragen werden. Dieser Bereich wird Lastabtragungsbereich genannt. Die Größe des Lastabtragungsbereiches ist von der Größe der Zugkräfte und der Vertikalspannung abhängig. In **Bild 3** sind unterschiedliche Lastabtragungsbereiche für Geogewebe und Geogitter dargestellt.

Trag- und Reibungsverhalten von Geokunststoffen

Generell wird zwischen zwei Möglichkeiten der Kinematik im bewehrten Bodenmaterial unterschieden: der Verschiebung einer Geokunststofflage zusammen mit dem aufliegenden Bodenpaket oder einer Verschiebung einer eingelegten Geokunststofflage ohne Bewegung der benachbarten Bodenpakete. In beiden Fällen sind die Scherspannungen, die in der jeweiligen Scherfläche während der Verschiebungsphase und im Bruchzustand aufgenommen werden können,

che im Pull-Out-Gerät ermittelt.

Bei diesen Versuchen wird die Abtragung der über dem Erdeinbruch in das Bewehrungsmaterial eingeleiteten Zugkräfte im Lastabtragungsbereich simuliert. Die Lastabtragung geschieht dabei über unterschiedliche Mechanismen, die sowohl von der Art des verwendeten Geokunststoffes als auch vom Bodenmaterial abhängen.

Bei einem flächigen Bewehrungsmaterial, das wie eine Trennlage zwischen zwei Bodenschichten liegt, wird die Kraft im Wesentlichen über Reibung in den umgebenden Boden abgetragen. Dieser Mechanismus ist z.B. bei Geogeweben zu beobachten. Zusätzlich können Bodenpartikel, die sich in das Geogewebe einlagern, den Reibungswiderstand vergrößern.

Bei Geogittern, die aus einer gitterartigen Struktur mit Abständen der Längs- bzw. Querstreben von bis zu 240 mm bestehen, müssen zusätzliche Lastabtragungskomponenten betrachtet werden, da die Bodenpakete unterhalb und oberhalb der Bewehrungslage durch die Öffnungen miteinander verbunden sind. Zur Reibungskomponente, die zwischen Längs- bzw. Querstreben des Geogitters und dem umgebenden Bodenmaterial wirkt, kommen noch zwei zusätzliche Mechanismen der Lastabtragung hinzu: passiver Erdwiderstand und Interlock-Effekt (vgl. **Bild 4a** und **4b**). Diese Mechanismen werden bestimmt durch das Verhältnis von mittlerem Korndurchmesser zur Geometrie der Querstreben. Der passive Erdwiderstand baut sich vor den Querstreben bei Verwendung kleinerer Kornfraktionen auf, beim Interlock verkeilen

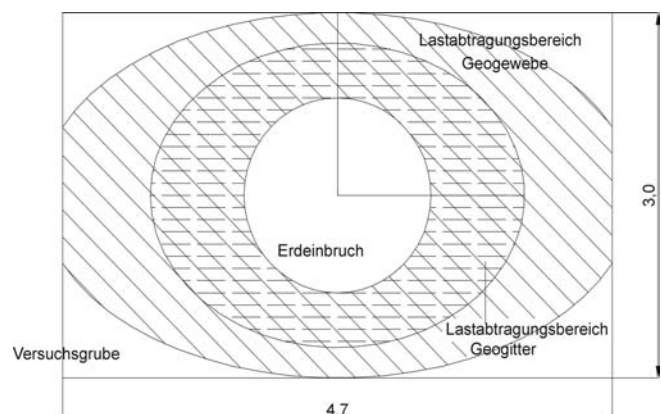


Bild 3a und b: Beispiel kegelförmiger Einbruchbereich und Lastabtragungsbereiche für ausgewählte Geokunststoffe

- Die Stabilität des Traggewölbes hängt vom Hohlraumdurchmesser, der Höhe und den Scherparametern der Bodenschichten über dem Geokunststoff ab.

von elementarer Bedeutung. Diese werden bei Versagenszuständen der ersten Variante über Reibungsversuche im Schergerät, bei der zweiten Variante über Herauszieh- bzw. Pull-Out-Versu-

sich einzelne größere Partikel in den Öffnungen (JEWELL et al. 1985; LIGAN et al. 1987). ▶

Versuchsgerät und -durchführung

Beschreibung des Herausziehgerätes

Wesentliche Elemente dieses Versuchsstandes sind: Eine Versuchsbox mit den Dimensionen (Länge x Breite x Höhe = 1,50 m x 0,60 m x 0,60 m), in die eine Geokunststoffprobe im Verbund mit Erdmaterial eingebaut wird, eine vertikale Belastungseinrichtung zur flächigen Lastaufbringung mittels Druckkissen bis zu einer Größenordnung von 300 kN/m² sowie eine horizontale Hydraulik- und Klemmeneinheit, die das Kunststoffprobenmaterial mit max. 250 kN/m aus der Versuchsbox herauszieht (vgl. **Bild 5**). Wesentliche Eckdaten der Konstruktion entsprechen den Empfehlungen der E DIN EN 13738 zur „Bestimmung des Widerstandes gegen Auszug aus dem Boden“.

Während des Herausziehvorganges werden von einem Messsystem wesentliche Parameter protokolliert, aus denen Rückschlüsse auf Tragfähigkeit, Einbindelänge sowie Interaktionsverhalten des Materials gezogen werden können. Die Ermittlung der horizontalen Auszugskraft dient der Bemessung von geokunststoffbewehrten Stützkörpern. Die Aufnahme von Verschiebungen an unterschiedlichen Punkten des Probenmaterials über Stangenextensometer lässt Aussagen über die Materialdehnung im Verbund und damit zum Einen über die Einbindelänge und zum Anderen über die Komponenten der Lastabtragung zu. Bei Geogittern setzt sich die Lastabtragung aus Reibung zwischen Boden und Bewehrungsmaterial, dem Erdwiderstand vor den Querstreben des Bewehrungsmaterials sowie einem Verspannungseffekt (Interlock) durch Einlagerung von Bodenpartikeln in die Gitteröffnungen zusammen. Ein Novum im Bereich der großmaßstäblichen Pull-Out-Geräte stellt die Möglichkeit der Messung der Vertikalkraft im unteren Teil der Versuchsbox dar. Mit Hilfe dieser Technik lässt sich die tatsächlich in der Probenebene wirksame Normalspannung ermitteln (*NERNHEIM* und *MEYER* 2003).

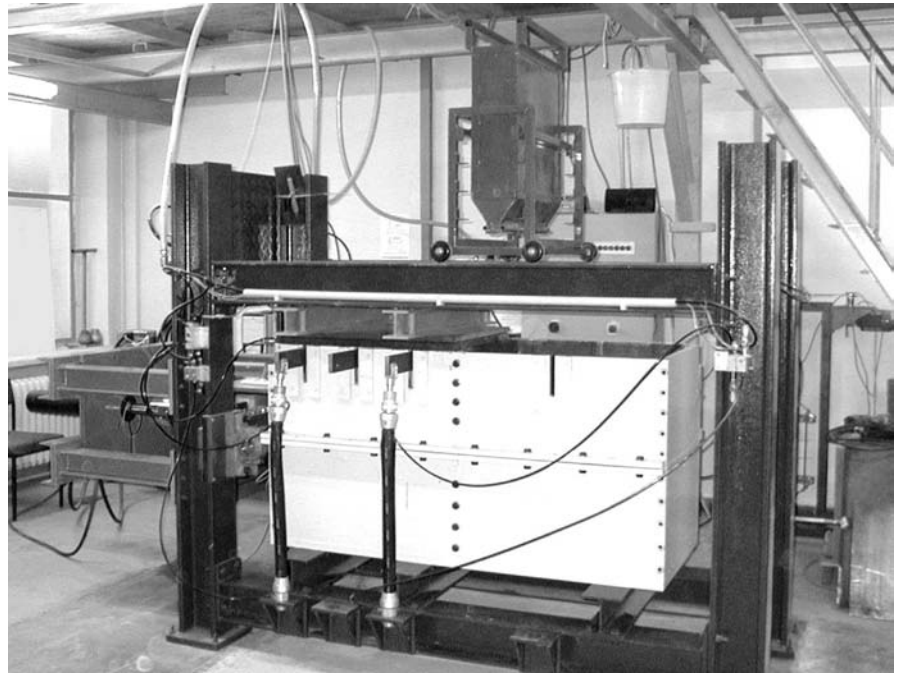


Bild 5: Versuchsstand Pull-Out-Gerät

Einflussfaktoren auf das Herausziehverhalten

Das Herausziehverhalten – und damit im Wesentlichen die Zugkraft während des Herausziehvorganges und die Verformungen des Bewehrungsmaterials – wird von versuchsbedingten, bodenbedingten und bewehrungsbedingten Einflussfaktoren bestimmt. Versuchsbedingte Einflussfaktoren sind bspw. die aufgebrachte Auflast, die Geschwindigkeit der Lastaufbringung, aber auch Randbedingungen wie die Reibung an den Seitenwänden der Versuchsbox. Bodenbedingte Einflüsse sind vor allem die verwendete Bodenart mit ihrer Kornzusammensetzung (Korngröße, aber auch Kornform) und ihre Einbaudichte, während als bewehrungsbedingt die Art und Geometrie der Bewehrung, ihre Einbindelänge in das Bodenmaterial und die Geokunststoffbreite von Relevanz sind (z.B. *FARRAG* et al. 1993; *LOPES* et al. 1996).

Im Rahmen eines umfangreichen Untersuchungsprogramms am Institut für Geotechnik und Markscheidewesen der TU Clausthal ist vor allem der Einfluss der Parameter Auflast und Einbaudichte betrachtet worden. Dazu wurden drei unterschiedliche Geogitterarten bei variablen Dichten in mehreren Auflaststufen untersucht. **Bild 6** zeigt eine deutlich steigende Höchstauszugsspannung mit steigender Auflast bzw. zunehmender Dichte. Zu beachten ist, dass sich die Höchstauszugsspannungen der Dichten 1,7 und 1,75 g/cm³ bei höheren Auflasten annähern, da mit Aufbringen der Auflast bereits eine Verdichtung des lockeren Bodenmaterials einhergeht. Bei einer Lagerungsdichte von 18,0 kN/m³ ist sowohl eine Zunahme des Verbundreibungswinkels (Steigung der Geraden) als auch der Strukturfestigkeit (Achsenabschnitt der Höchstauszugskraft ohne Auflast) zu verzeichnen, was auf eine Zunahme von Reibungseffekten und auch Erdwiderstandseffekten schließen lässt. ►

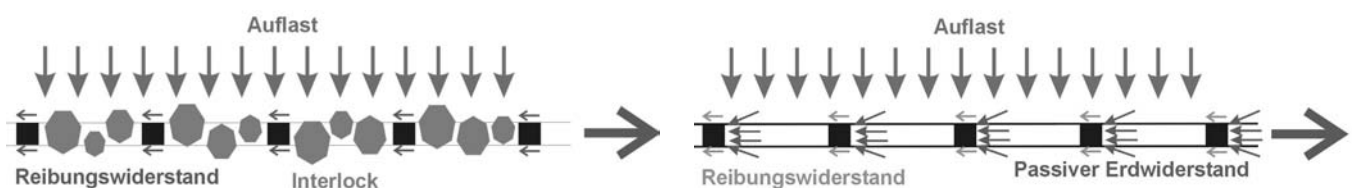


Bild 4a und b: Lastabtragung bei Geogittern durch passiven Erdwiderstand und Interlock-Effekt

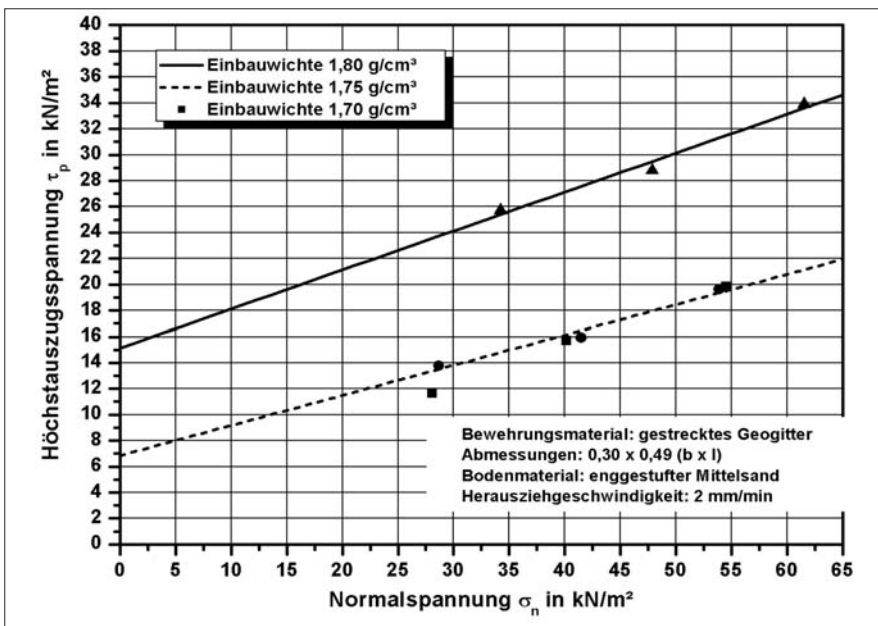


Bild 6: Einfluss der Auflast und der Lagerungsdichte auf die Pull-Out-Kraft

Nicht-ruhende Belastungen

Neben der statischen Belastung können Verankerungsbereiche bei Erdfallsicherungen, aber bspw. auch bei bewehrten Brückenwiderlagern oder Eisenbahndämmen, einer nicht-ruhenden Beanspruchung durch Verkehr ausgesetzt sein.

Dabei treten zusätzliche vertikale Belastungen auf, die im Wesentlichen eine verdichtende Wirkung auf das Gesamtsystem haben (NIMMESGERN et al. 1991), aber auch zusätzliche horizontale Beanspruchungen, deren Auswirkungen auf das Verbundsystem einer weitergehenden Analyse bedürfen.

Zu diesem Zweck ist das vorgestellte Pull-Out-Gerät speziell bezüglich der Aufbringung nicht-ruhender Belastungen optimiert worden: Zyklen lassen sich in vertikaler Richtung mittels pneumatischer Muskeln und in horizontaler Richtung durch den Hydraulikzylinder in einem Frequenzbereich von bis zu 4 Hz aufbringen. Systematische Untersuchungen unterschiedlicher Frequenzen und Amplituden in Verbindung mit einem Vergleich statischer Herausziehversuche sollen Aufschluss darüber geben, ob im Laufe der einzelnen Zyklen eine Verschlechterung der Verankerungswirkung eintritt oder ob gar eine Verfestigung des Verbundverhaltens zu beobachten ist.

Ausblick

Mit Hilfe der vorgestellten Versuche ist es möglich, das Lastabtragungsverhalten von einlagig verlegten Geokunststoffbewehrungen über kreisförmigen Erdenbrüchen besser zu erfassen. Die Versuche sind derzeit noch nicht abgeschlossen. Über weitere Untersuchungsergebnisse wird zu gegebener Zeit berichtet werden. Wie bereits dargelegt, sollen die Ergebnisse in die Neuauflage der „Empfehlungen für Bewehrungen aus Geokunststoffen“ (EBGEO) einfließen.

Anm. d. Red.: Die vollständigen Ergebnisse aus den Erdfallgroßversuchen und den Pull-Out-Versuchen werden demnächst als abgedruckte Dissertationen in der Schriftenreihe des Institutes für Geotechnik und Markscheidewesen erscheinen. Auf Wunsch können über die Verfasser die vollständigen Literaturangaben bezogen werden.

Prof. Dr.-Ing. Norbert Meyer
Dipl.-Ing. Axel Nernheim
Institut für Geotechnik und Markscheidewesen
Erzstraße 18
38678 Clausthal-Zellerfeld
Tel.: 0 53 23/72-22 95 (Meyer)
0 53 23/72-35 13 (Nernheim)
Fax: 0 53 23/72-24 79
E-Mail: norbert.meyer@tu-clausthal.de
axel.nernheim@tu-clausthal.de

Dipl.-Ing. Sven Schwerdt
Hochschule Anhalt (FH)
Seminarplatz 3
06846 Dessau
Tel.: 03 40/51 97-15 63

Ökologisch, flexibel,
wirtschaftlich:



Als Hersteller von Geosynthetics bieten wir Ihnen überzeugende technische Lösungen - wirtschaftlich, sicher, fortschrittlich.

Geosynthetics für den

- Erd- und Grundbau
- Deponiebau
- Wasserbau
- Verkehrswegebau

Beratung, Planung, Umsetzung - weltweit.

HUESKER Synthetic GmbH
Postfach 12 62 · D-48705 Gescher
Telefon: (0 25 42) 7 01-0
Telefax: (0 25 42) 7 01-499
E-mail: info@huesker.de

Besuchen Sie uns im Internet:
www.huesker.com

HUESKER Synthetic GmbH ist zertifiziert:



HUESKER

Abdichten · Armieren · Bewehren · Dränen · Filtern · Schützen · Stabilisieren · Trennen · Verpacken

Bauen mit Geosynthetics