

Aufstellen eines Systems für die Anforderungen an Geotextilien hinsichtlich ihrer Beanspruchung beim Einbau

FA 5.110

Forschungsstelle: Technische Universität München, Zentrum Geotechnik, Lehrstuhl und Prüfamnt für Grundbau, Boden- und Felsmechanik (Prof. Dr.-Ing. N. Vogt)

Bearbeiter: Bauer, A. / Bräu, G.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen, Bonn

Abschluss: August 2003

1. Aufgabenstellung

In nahezu allen Bereichen des Erd- und Grundbaues werden Geokunststoffe vor allem zum Trennen, Filtern und Bewehren von Bodenschichten verwendet. Für diese Anwendungsfälle sind Untersuchungen im Labor und im Felde durchgeführt und Bemessungsverfahren und -hinweise aufgestellt worden, wobei meist der Endzustand und nicht die verschiedenen Phasen der Anlieferung, des Verlegens, des Beschüttens sowie Einbauens der Geokunststoffe und der Bodenschichten als maßgebend betrachtet werden. Da diese Vorgänge jedoch bei jeder Baumaßnahme mit Geokunststoffen relevant sind, kommt der Untersuchung der Einbaubeanspruchung von Geokunststoffen eine große Bedeutung zu.

Die erste und auch heute noch umsatzstärkste Anwendung von Geokunststoffen ist die Trennung von weichem, feinkörnigem, kaum bis nicht befahrbarem Untergrund gegenüber grobkörnigen Tragschichten bei Baustraßen, Dammschüttungen und hochwertigen Fahrstraßen. Auf Grund vieler Beobachtungen auf Baustellen, bei denen jeweils unterschiedliche Bodenarten, Geokunststoffe und Belastungen vorlagen, ergab sich infolge der Vielfalt von Geokunststoffprodukten die Notwendigkeit eines systematischen Vergleiches unter definierten Randbedingungen.

Im Forschungsbericht zur FA 5.078 "Wirkungsweise von Geotextilien als Trennlage unter Tragschichten bei intensiver Verkehrsbelastung" wurde erstmals das unterschiedliche Verhalten von Geotextilien bei verschiedenen Randbedingungen deutlich herausgearbeitet. Neben verschiedenen exemplarischen Freifeldversuchsstrecken wurden Untersuchungen in einem Versuchsstand durchgeführt, bei dem ein Lkw-Zwillingsrad (Auflast ca. 30 kN) über verschiedene Versuchsabschnitte bewegt werden konnte. Es zeigte sich die Phase des Einbaues als besonders kritische Phase, die im Allgemeinen die höchsten Beanspruchungen lieferte. Verschiedene internationale Untersuchungen belegen ebenfalls die Notwendigkeit der Betrachtung, sind jedoch meist nicht auf die Belange und Produkte in Deutschland übertragbar.

Für die verschiedenen Bearbeitungsphasen des Merkblattes für die "Anwendung von Geotextilien und Geogittern im Erdbau des Straßenbaues" (MAGG, Ausgabe 1994) bzw. "Merkblatt für die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus", Fassung 2003 in Vorbereitung) sollte in der vorliegenden Forschungsarbeit die Widerstandsfähigkeit gegenüber den Beanspruchungen beim Einbau für eine breite Palette von Geokunststoffen, verschiedene bodenmechanische Randbedingungen sowie unterschiedliche Belastungen untersucht werden. Die Anforderungen des Merkblattes sollten überprüft und ergänzt werden, ggf. sollte ein neues Anforderungsschema erstellt werden. Es sind Empfehlungen für einfache Laborversuche als Standardtests zur Bestimmung der Empfindlichkeit der

Produkte sowie für einen Laborversuch, der die Baustellenbedingungen simuliert, zu geben. Für Bewehrungsprodukte sollten im Hinblick auf das Schüttmaterial und die Einbaubeanspruchung unter besonderer Berücksichtigung ihrer Konstruktionsangaben zu Abminderungsfaktoren erarbeitet werden.

2. Versuchsdurchführungen und Auswertungen

2.1 Freifeldversuche

Für die Versuchsreihen wurden überwiegend Geokunststoffe (im weiteren "Produkte" genannt) verwendet, die im Straßenbau als Trenn-, Filter- und Bewehrungslagen zur Anwendung kommen, wobei versucht wurde, von jeder Produktart unterschiedliche Qualitäten zu verwenden. Ausgewählte Produkte wurden auch in den Versuchsreihen der FA 5.106 vergleichende Laborsimulationen verwendet. Es kamen mechanisch und thermisch verfestigte bzw. vernähte Vliesstoffe, Bändchen- und Spleissgarne sowie Multifilamentgarnewebe zum Einsatz.

Es wurden Versuchsreihen auf gering tragfähigem Untergrund, meist bestehend aus weichen bis breiigen Tonen und Schluffen, mit Tragschichten aus rundkörnigem Kies, gebrochenem Schotter und Felsschüttungen durchgeführt. Für Vergleichsuntersuchungen wurden auch Tragschichtaufbauten auf tragfähigem Untergrund herangezogen, wobei im Untergrund und bei der Tragschicht das gleiche grobkörnige Material verwendet wurde.

Der Untergrund wurde mit einer Baustellenraupe bzw. einem Hydraulikbagger mit Humusschaufel eingeebnet und planiert. Bei den Aufbauten mit festem Untergrund wurde dieser mit einer Vibrationswalze verdichtet.

Die Produkte wurden in ausreichender Größe auf dem vorbereiteten Untergrund ausgebreitet. Für die Tragschichtaufbringung wurde das Material vom Lkw seitlich der Prüffläche abgekippt und anschließend mit einem Hydraulikbagger aufgebracht. Die eingebauten Tragschichtdicken variierten bei den verschiedenen Versuchsstrecken.

Nach Fertigstellung der Tragschicht wurde diese mit einem Vibrationswalzenzug verdichtet. Grundsätzlich wurden Typen mit Einsatzgewichten von ca. 8 t bis 10 t verwendet. Bei der Verdichtung wurde die gesamte eingebaute Fläche Spur-an-Spur mit mehreren Überfahrten statisch und dynamisch abgefahren.

Nach Abschluss der Verdichtung wurden in einem Teilbereich der eingebauten Fläche Belastungsfahrten mit beladenen Lkw bzw. Radladern durchgeführt. Die Gesamtbelastung der baustellentypischen Lkw betrug ca. 30 t. Soweit möglich wurde versucht, 10 bis 12 Überfahrten durchzuführen.

Nach Abschluss der dynamischen Belastungen wurden die Tragschichten mit einem Hydraulikbagger bis auf eine verbleibende Höhe von ca. 10 cm bis 20 cm abgetragen. Das restliche Tragschichtmaterial wurde von Hand entfernt. Die Produktproben wurden nach dem Freilegen fotografiert und visuell begutachtet, von losem Bodenmaterial gesäubert, verpackt und zur weiteren Untersuchung ins Labor transportiert.

Die beim Freifeldversuch ausgebauten Proben wurden im Labor nochmals im Detail fotografiert. Anschließend wurde die gesamte Probenfläche in Teilflächen/Einzelproben mit einem Raster von 50 cm x 50 cm unterteilt und den Beanspruchungen "Verdichtung" und "Verdichtung und Befahrung" zugeordnet.

Die Einzelproben wurden visuell auf Beschädigungen untersucht. Die Beschädigungen wurden nach Lage, Größe und Art dokumentiert. Es konnte somit ein Lochflächenanteil bzw. Integritätsgrad ermittelt werden.

Nach erfolgter Probenvorbereitung wurden an allen Einzelproben die Flächenmasse und die Dicke bestimmt. Im Weiteren wurden Stempeldruckversuche bzw. Zugversuche unter den gleichen Bedingungen wie bei den fabrikneuen Proben durchgeführt. Einzelproben, die auf Grund eines besonders hohen Beschädigungsgrades (geringen Integritätsgrades) nicht untersucht werden konnten, sind in der hier vorliegenden Auswertung mit einem Wert von Null bei den Festigkeitswerten berücksichtigt.

Neben dem Einsatz von Geokunststoffen als Trenn- und Filterlagen werden verschiedene Produkte auch für die Bewehrung von Böden verwendet. Da hier wie z. B. beim Bau von Steilböschungen kein gering tragfähiger Untergrund vorliegt, sondern unter und über dem Bewehrungsprodukt das gleiche grobkörnige Bodenmaterial zum Einsatz kommt, liegen erheblich geänderte Randbedingungen vor, die in eigenen Freifeldversuchen für verschiedene Produkttypen ebenfalls für unterschiedliche Belastungen (Verdichtung, Befahrung) untersucht wurden. Für viele typische Filter- und Trennprodukte ist diese Art von Versuchen baupraktisch nicht relevant. Sie waren jedoch für einen direkten Produktvergleich notwendig.

2.2 Laborsimulationen

Die Ergebnisse der großmaßstäblichen Freifeldversuchsreihen dienten als Grundlage für die Abstimmung der Versuchsrandbedingungen für Laborsimulationsversuche. Für die Verdichtungs- und die Befahrungssimulation wurden u. a. die Versuchseinrichtungen verwendet, die in den FA 5.086 "Entwicklung von Laborprüfmethoden zur Bestimmung der Wirkungsweise von Geotextilien im Boden unter dynamischen Beanspruchungen" und FA 5.106 "Untersuchung der Empfindlichkeit von Geotextilien und Geokunststoffen im Boden gegenüber dynamischer Beanspruchung" entwickelt worden sind.

In der vorliegenden Forschungsarbeit wurden die Ergebnisse der Freifeldversuche mit denen der Laborsimulationen für ausgewählte Parametersätze verglichen. Durch die gleichzeitige Benutzung von verschiedenen Produkten in beiden Versuchsreihen waren direkte Vergleiche der Restfestigkeiten nach den entsprechenden Belastungen möglich.

Auf Grund der unterschiedlichen Herstellung und Wirkungsweise sind bei Bewehrungsprodukten die Auswirkungen der Zerstörung einzelner Zuelemente gesondert zu betrachten. Für gewebte und gestreckte Geogitter wurde dies in einer Versuchseinrichtung untersucht, die sich in einer kleineren Ausführung im FA 5.094 "Untersuchungen zum Kraftdehnungsverhalten von Geotextilien" und FA 5.111 "Entwicklung eines Bemessungsverfahrens für die Bodenbewehrung mit Vliesstoffen auf der Grundlage der bei Zug- und Zugkriechversuchen mit Bodenkontakt gewonnenen Parameter" (vgl. S. 5-4) als In-soil-Zugversuch für Vliesstoffe gut bewährt hat. Mit einer Probenfläche von ca. 40 cm x 40 cm wurden künstlich beschädigte Proben hergestellt, indem an verschiedenen Stellen sowohl in der Länge als auch in der Breite Längsstreifen durchtrennt wurden.

3. Ergebnisse der Versuchsreihen

3.1 Einbaubeanspruchungen bei Trenn- und Filterprodukten

Der Einbauzustand ist für die Funktionstauglichkeit der Produkte im Endzustand von entscheidender Bedeutung und darf

bei der Produktauswahl und Dimensionierung nicht vernachlässigt werden. Dies hat sich auf Grund vieler Beobachtungen auf Baustellen, bei denen jeweils unterschiedliche Bodenarten, Geokunststoffe und Belastungen vorlagen, immer wieder bestätigt. Vergleichsuntersuchungen zur Bestimmung der Einflussfaktoren aus den baupraktischen Randbedingungen und den spezifischen Eigenschaften der Produkte wurden im Rahmen der vorliegenden Forschungsarbeit auf verschiedenen Baustellen für die Beanspruchungen Verdichtung bzw. Verdichtung und Befahrung von Tragschichten aus verschiedenen Bodenmaterialien (rundkörniger und gebrochener Kies, Felschüttungen) durchgeführt. Auf die baupraktische Relevanz der Geokunststoffprodukte und der Bodenmaterialien aber auch der verwendeten Baugeräte und Vorgehensweisen wurde hierbei besonderer Wert gelegt.

Bei den Untersuchungen zeigte sich, dass jeder Einflussfaktor sehr unterschiedliche Auswirkungen bei den verschiedenen Geokunststoffproduktgruppen und -typen haben kann. Es wurden teilweise auch nicht unmittelbar zu vermutende Vorgänge festgestellt, die eine generalisierte Darstellung der Ergebnisse sehr erschweren. So haben teilweise Felsschüttungen, die auf den ersten Blick als deutlich "aggressiver" eingestuft wurden als Schotter mit Lieferkörnungen nach TL-MIN, geringere Beschädigungen hervorgerufen, weil sie offenbar ein deutlich stabileres Traggerüst gebildet haben und so die Produkte entsprechend weniger mechanisch beansprucht wurden. Die Verwendung von rundkörnigem Kies (damit auch von Sanden) erzeugte nur geringe Beschädigungen. Die Beanspruchungen durch eine zusätzliche Befahrung riefen deutlich größere Beschädigungen hervor als bei einer Belastung allein durch Verdichtung. Teilweise wurden hier bei den Versuchen die Ergebnisse auch durch Tragfähigkeitsprobleme überlagert, allerdings vorrangig bei sehr "schwachen" Produkten, die insbesondere zur Abgrenzung der Produktpaletten in diesem Bereich eingesetzt wurden.

Bei der Versuchsdurchführung hat sich die sorgfältige Arbeit insbesondere bei der Freilegung der Produkte als besonders wichtig herausgestellt. Für die Beurteilung des Verhaltens der Produkte ist ferner die Festlegung eines ausreichend großen Bereiches zwingend erforderlich, der in seiner Gesamtheit zu untersuchen ist. Die Probenauswahl muss nach statistischen Kriterien mit ausreichender Anzahl oder aber flächendeckend durchgeführt werden. Zerstörte Proben sind mit einem Wert von "Null" in die Auswertung einzuführen und nicht, wie aus anderen Untersuchungen bekannt, zu vernachlässigen, nur weil versuchstechnisch keine Restfestigkeit bestimmt werden kann. Neben der Bestimmung der Restfestigkeit, die stets auf die tatsächliche Ausgangsfestigkeit bezogen werden muss, ist die flächendeckende, visuelle Beurteilung (Auszählen von Beschädigungen, Löchern) unerlässlich, auch wenn sie einen hohen Arbeitsaufwand bedeutet.

Grundsätzlich erweist sich die Flächenmasse als geeignetes Kriterium für die Beurteilung der Anfälligkeit der Produkte gegenüber der Einbaubeanspruchung. Dieser Ansatz wurde bereits in der Anfangszeit der Verwendung von Geokunststoffen verwendet, ist aber nur sinnvoll, wenn die Produkte auch nach anderen technischen Gesichtspunkten, vor allem den Festigkeitseigenschaften und dem Kraft-Dehnungsverhalten, optimiert sind. Für die heutzutage in Deutschland auf dem Markt befindlichen qualitativ sehr hochwertigen Produkte ist dies jedoch gegeben, sodass die Vorteile dieses einfachen Kriteriums nicht vernachlässigt werden sollten. Mit der Beziehung der Restfestigkeiten nach der Einbaubeanspruchung zur Flächenmasse sind oft bessere produktgruppenübergreifende Zuordnungen festzustellen, als es für Beziehungen zu den Ausgangsfestigkeitswerten möglich ist. Die Beziehungen zu den Festigkeitswerten sind insbesondere innerhalb der einzelnen Produktgruppen gut zur Abschätzung des Verhaltens geeignet. Die Be-

trachtung des Kriteriums des Arbeitsvermögens der Produkte kann in den vorliegenden Versuchen keine grundsätzlich neuen oder entscheidend besseren Zusammenhänge aufzeigen.

Das auf den Kriterien Festigkeit und Flächenmasse beruhende Klassifizierungssystem des MAGG kann in vielen Punkten bestätigt werden. Für bestimmte Produktgruppen ist eine Verschärfung der Kriterien zu erwägen. Bei bestimmten Bodenarten erscheinen Abschwächungen möglich. Die Anwendungs- und Beanspruchungsfälle sollten nach oben erweitert werden, um mit den gestiegenen Beanspruchungen auf der Baustelle Schritt halten zu können. Die unteren Einstiegsklassen werden in der baupraktischen Umsetzung meist nicht benötigt und könnten entfallen.

Auf Grund der Vielfalt von Einflussfaktoren wird klar, dass eine Simulation der Freifeldergebnisse in einem Laborversuch schwer sein wird. Die bei der europäischen Normungsarbeit gehegte Euphorie, mit einem Versuch alle Fragestellungen abdecken zu können, ist nicht zielführend. Für einzelne Teilaspekte der Einbaubeanspruchung können jedoch Versuchsrandbedingungen gefunden werden, die eine gute Nachbildung des Freifeldverhaltens erwarten lassen. So kann der Belastungsversuch nach ENV 10722 bei Verwendung einer weichen Unterlage und entsprechender maximaler Schwellbelastung und Zyklenzahl zielführend sein. Hier sind noch weitere Entwicklungen und Parameterstudien erforderlich.

3.2 Auswirkung von Beschädigungen bei Bewehrungsprodukten

Die In-soil-Versuche haben in Übereinstimmung mit Bauer et al. (1994) und Bauer (1997) gezeigt, dass ein Verbund mit Boden das Kraft-Dehnungsverhalten der Geokunststoffe deutlich beeinflusst und die Dehnsteifigkeit im Verbund zunimmt. Dies wird besonders deutlich bei Vliesstoffen. Bei unbeschädigten Geweben oder Geogittern ist die Konstruktionsdehnung herstellungsbedingt gering, der Boden und die Bodenauflast beeinflussen das Kraft-Dehnungsverhalten nur wenig.

Sind die Geokunststoffe beschädigt, gewinnen der Boden und die Bodenauflast auch bei Geweben und Geogittern Einfluss auf die Dehnsteifigkeit. Im Falle einer Beschädigung der kraftübertragenden Längsstrukturen müssen die Kräfte in andere Bereiche des Geokunststoffes umgelagert werden, wozu teilweise starke Verschiebungen notwendig sind. Diese Verschiebungen werden im Verbund mit dem Boden wiederum reduziert, die Kraftweiterleitung um Schadstellen herum wird deutlich verbessert. Dieser Zusammenhang macht deutlich, dass Versuche zur Untersuchung von beschädigten Proben nur im Bodenkontakt sinnvoll sind.

Die Versuche haben gezeigt, dass weitgehend isotrope Bewehrungsmaterialien wie Vliesstoffe eine besonders gute Kraftweiterleitung um Fehlstellen herum aufweisen und damit nur geringe Festigkeitsverluste infolge lokaler Fehlstellen berücksichtigt werden müssen. Dieses Ergebnis steht im Einklang mit den guten Erfahrungen in der Praxis mit Vliesstoffen.

Bei dem untersuchten Gewebe war infolge des Kontaktes mit dem Boden auch eine vergleichsweise hohe Restfestigkeit im Gebrauchszustand festzustellen. Der untersuchte Verbundstoff weist hohe Festigkeitsverluste auf. Eine Kraftumleitung um die Schadstellen herum ist auf Grund der vorliegenden Ergebnisse kaum festzustellen.

Bei den Geogittern liegt die Hauptursache für das unterschiedliche Verhalten in der Ausbildung der Knoten. Sind diese steif ausgeführt, werden hohe Restfestigkeiten festgestellt. Dies gilt bei geringen Dehnungen auch für das verwendete einaxial verstreckte Geogitter. Bei größeren Dehnungen nehmen für dieses Material dann die Restfestigkeiten ab, die Querstränge sind nicht mehr in der Lage, die notwendigen Kräfte weiterzuleiten.

Sind die Knoten verschieblich, sind als Folge davon die Restfestigkeiten geringer als bei steifen Knoten.

Bei der Bemessung müssen zwei produktspezifische Faktoren berücksichtigt werden.

Der erste Faktor ist die Empfindlichkeit der Produkte gegen mechanische Beanspruchungen beim Einbau. Die Schadenshäufigkeit ist bei gleicher Beanspruchung, wie die Baustellenversuche gezeigt haben, von Produkt zu Produkt unterschiedlich. Diese Empfindlichkeit kann im Einzelfall für jede Produkt-Boden-Verdichtungskombination im Baustellenversuch bestimmt werden. Sinnvoll ist dann eine Auswertung im Hinblick auf einen so genannten gewichteten mittleren Schadensabstand, wobei die Schadenanzahl an den Proben zu zählen und auf die Länge der zugehörigen Bewehrungsstränge zu beziehen wäre. Gewichtet werden die jeweiligen Schäden in Bezug auf den Umfang der Schädigung, eine Beschädigung der Umhüllung bei Geogittern wirkt sich anders auf die Festigkeit aus als ein An- oder Durchriss.

Dieser mittlere, gewichtete Schadensabstand allein kann aber keine direkte Größe sein zur Bestimmung eines notwendigen Sicherheitszuschlages. Dazu muss die jedem Produkt eigene Fähigkeit berücksichtigt werden, Schadstellen durch Kraftweiterleitung zu überbrücken. Diese Fähigkeit ist der zweite Faktor, der dann zu einem Schadensbewertungskriterium führt. Die Kraftweiterleitung hängt, wie die Versuche gezeigt haben, von der Produktgruppe und dem Herstellungsprozess ab. Sie kann bisher nur experimentell bestimmt werden. Die Versuche sollen einen Zusammenhang zwischen der Restfestigkeit und dem Längenabstand der Schäden aufweisen. Dieser Zusammenhang konnte ansatzweise für ein Geogitter bestimmt werden.

Der bei der Bemessung zu berücksichtigende Sicherheitszuschlag bezogen auf die Festigkeit (= A_2 nach EBGE0) wäre aus der Funktion der Restfestigkeit in Abhängigkeit des Längenabstandes der Schäden unter Ansatz des tatsächlich festgestellten, mittleren gewichteten Schadensabstandes direkt zu bestimmen.

4. Schlussbemerkungen

Abschließend muss angemerkt werden, dass bei der Vielzahl von Einflussfaktoren, die sich auf die Ergebnisse der Freifeldversuche auswirken, die Simulation in einem einzigen Laborversuch nicht möglich sein wird. Die Sammlung von weiteren Erfahrungen und Ergebnissen aus tatsächlichen Freifeldversuchen und deren Rückbindung in die entsprechenden Regelwerke wird kurzfristig schneller zu einer zielgerichteten Berücksichtigung der Einbauphase bei der Anwendung von Geokunststoffen führen. 