

# Untersuchung der Empfindlichkeit von Geotextilien und Geokunststoffen im Boden gegenüber dynamischer Beanspruchung

FA 5.106

Forschungsstelle: Technische Universität München, Lehrstuhl und Prüfamt für Grundbau, Bodenmechanik und Felsmechanik (Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. e.h. R. Floss)

Bearbeiter: Bräu, G.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bonn

Abschluss: August 2001

## 1. Aufgabenstellung

Bei der Bearbeitung des Forschungsauftrages FA 5.086 G86C "Entwicklung von Laborprüfmethoden zur Bestimmung der Wirkungsweise von Geotextilien im Boden unter dynamischen Beanspruchungen" wurde die grundsätzliche Eignung eines großmaßstäblichen Laborprüfgerätes (Großpulsationsanlage mit  $A = 70 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$ ) zur Untersuchung der Empfindlichkeit von Geotextilien im Boden unter dynamischen Belastungen festgestellt. Die Erfahrungen und Einstufungen von Produkten im Freifeldversuch konnten mit dieser aufwändigen Versuchstechnik im Labor simuliert werden. Auf Grund der Aufgabenstellung konnten nur wenige Produkte und grundsätzliche Parameterkombinationen untersucht werden.

In der vorliegenden Forschungsarbeit sollte eine Palette von am Markt befindlichen Geotextilprodukten hinsichtlich der Auswirkungen der dynamischen Belastungen auf die mechanischen Eigenschaften untersucht werden. Da die Versuchsdurchführungen sehr aufwändig und für rasche Kontrollprüfungen nicht gedacht sind, sollte überprüft werden, inwieweit die hierbei festgestellten Untersuchungsergebnisse auch durch bestehende kleinmaßstäbliche Laborprüfmethoden (z.B. Zugversuch, Stempeldruckversuch) ggf. nach Modifikationen nachvollzogen werden können. Soweit dies nicht zielführend erscheint, sollten neue einfache Prüfgeräte entwickelt werden.

Die Voruntersuchungen haben gezeigt, dass der vorgesehene großmaßstäbliche Laborversuch nach FA 5.086 für Reihenuntersuchungen zu aufwändig und vor allem auf europäischer Ebene nicht umsetzbar ist. In Abstimmung mit dem Betreuungsausschuss wurde der Schwerpunkt der Arbeit auf die Entwicklung kleinmaßstäblicher dynamischer Simulationsversuche gelegt und dabei die Entwicklung auf europäischer Ebene berücksichtigt.

Für die Untersuchung dynamischer Beanspruchungen von Geotextilien wurde auf europäischer Ebene zunächst von Frankreich eine Versuchsdurchführung vorgestellt, bei der ein Geokunststoff zwischen zwei Schichten aus einem schotterähnlichen Aluminiumkorund bei einer Probengröße von  $30 \text{ cm} \times 30 \text{ cm}$  vollflächig mit einer maximalen Schwelllast von  $\sigma_{NS} = 200 \text{ kN/m}^2$  mit 60 Zyklen beaufschlagt wurde. In eigenen Vergleichsversuchen zeigte sich sehr schnell, dass diese Beanspruchung selbst bei sehr empfindlichen Produkten zu keinen Veränderungen führte. Es wurden daher Modifikationen an dieser auf europäischer Ebene grundsätzlich befürworteten Versuchsanordnung vorgenommen und untersucht, die letztlich zu den in diesem Bericht vorgestellten Einrichtungen mit verkleinerter Belastungsplatte und erhöhten Schwelllasten führten.

Bei den mit der vorgenannten Versuchseinrichtung durchgeführten Reihenuntersuchungen ergaben sich Fragestellungen hinsichtlich der Auswirkungen verschiedener Schwellbelastungen (Größe, Zyklenanzahl), verschiedener Bodenmaterialien und deren Abrieb sowie der Übertragbarkeit der im Versuch auftretenden Verformungen auf die unterschiedlichen Anwendungsfälle der Praxis (Trennlage auf weichem Untergrund, Bewehrung auf festem Untergrund), die zu klären waren. Da in der Versuchseinrichtung nur grobkörnige Böden mit geringen Verfor-

mungen Verwendung fanden, wurde die Berücksichtigung von weichen Untergrüdböden auch in der Versuchseinrichtung erforderlich. Auf Grund der dabei auftretenden Verformungen musste die Versuchseinrichtung zur Verringerung von Randeinflüssen vergrößert werden. Zur Abgrenzung des Einflusses der dynamischen Beanspruchungen vom Einfluss von Bodeneinlagerungen wurden Untersuchungen zum Einfluss des bei Schwellbelastungen entstehenden und sich in die Produkte einlagernden Abriebes der Bodenmaterialien erforderlich.

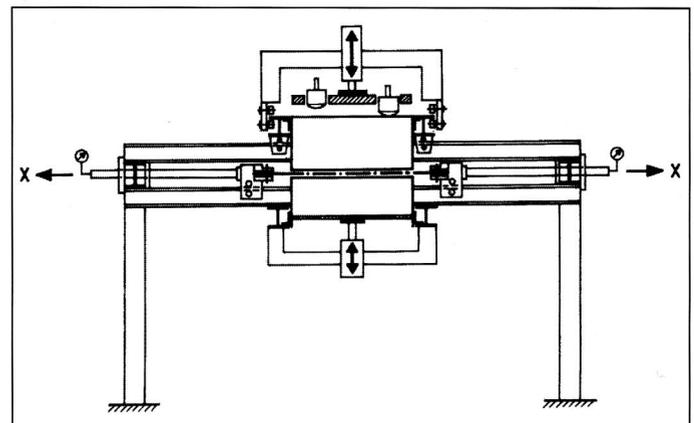
Die Ergebnisse der Forschungsarbeit wurden stets an Baustellenuntersuchungen zur Einbaubeanspruchung rückgebunden, die im Rahmen des Forschungsvorhabens FE 5.110 "Aufstellen eines Systems für die Anforderungen an Geotextilien hinsichtlich ihrer Beanspruchungen beim Einbau" untersucht werden. Aus beiden Arbeiten sollen Hinweise für die Überprüfung und Erweiterung bestehender Klassifizierungssysteme entstehen, die im Bericht zum Forschungsvorhaben FE 5.110 aufgezeigt werden sollen.

## 2. Untersuchungsmethodik

### 2.1 Großversuche im 70 cm x 70 cm-Scherkasten ("Großpulsationsanlage", GPA)

Die Versuchseinrichtung besteht aus einem horizontalen, hydraulisch gesteuerten Spannrahmen, einem unteren und einem oberen Bodenbehälter sowie einer Vorrichtung zum Aufbringen von statischen und dynamischen Auflasten. Die Versuchseinrichtung ist schematisch in Bild 1 dargestellt.

Es sind zwei stählerne Bodenbehälter mit einer Grundfläche von  $70 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$  und einer Höhe von  $30 \text{ cm}$  vorhanden. Es befindet sich je ein Behälter unter- und oberhalb der Spannebene für die Geotextilien. Jeder Behälter verfügt über einen hydraulisch, vertikal bewegten Stempel (Grundfläche  $70 \text{ cm} \times 70 \text{ cm}$ ), durch den der eingebaute Boden gegen das Geotextil gepresst werden kann. Zusätzlich sind in der oberen Stempelfläche drei kleinere Hydraulikkolben mit einer kreisförmigen Pressfläche von  $A = 180 \text{ cm}^2$  verteilt angeordnet. Sie dienen zur Erzeugung einer zyklischen Walkbeanspruchung des oberen Bodenkörpers und des Geotextils.



1: GPA, Schema Querschnitt

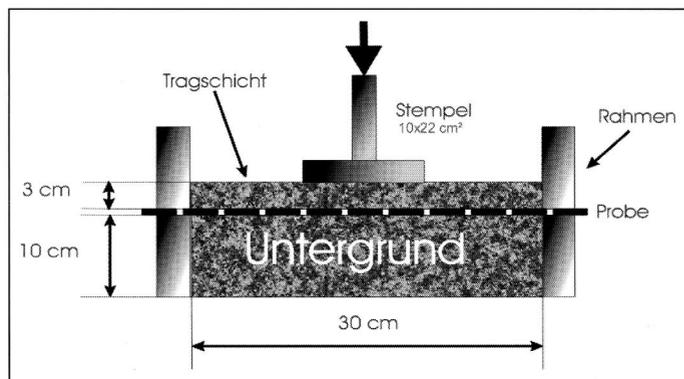
### 2.2 Modellversuche im CBR-Topf mit Durchmesser 30 cm (Groß-CBR)

Aus der Versuchseinrichtung "Großpulsationsanlage" wurde der Bereich unter einem Kolben herausgegriffen und in einer eigenständigen Versuchseinrichtung realisiert.

In Anlehnung an den Stempeldurchdrückversuch wird bei dieser Versuchseinrichtung ein kreisrunder Bodenbehälter mit einem Durchmesser  $d = 300$  mm und einer Höhe von  $h = 450$  mm verwendet. Als oberer Abschluss wird die untere Hälfte eines Spannrings für die Fixierung der Geotextilien aufgesetzt und der Untergrundboden bis zur Oberkante dieses Ringes eingebaut. Am Oberteil des Spannrings ist der obere Bodenbehälter ( $d = 300$  mm) mit einer Höhe  $h = 150$  mm befestigt. Die Schwellbelastung erfolgt über einen hydraulisch angetriebenen Stempel mit kreisförmiger Grundfläche ( $d = 100$  mm).

### 2.3 Modellversuche im Rechteckkasten 30 cm x 30 cm (RKA30)

Der Versuchskasten nach ENV 10722 besteht aus einem quadratischen Kasten mit einer Grundfläche von 300 mm x 300 mm. Die beiden Bodenbehälter haben eine Höhe von jeweils 100 mm. Die Versuchseinrichtung ist schematisch in Bild 2 dargestellt. Die zyklische Belastung erfolgt über eine hydraulisch angetriebene Lastplatte mit einer Größe von 100 mm x 220 mm. Die zyklische Belastung wird sinusförmig mit einer Zyklendauer von  $t = 2$  s und Lastspannen von 0 bis 270 kN/m<sup>2</sup>, 0 bis 540 kN/m<sup>2</sup> und 0 bis 820 kN/m<sup>2</sup> erzeugt.



2: Querschnitt des Rechteckkastens 30 cm x 30 cm nach ENV 10722

### 2.4 Modellversuche im Rechteckkasten 60 cm x 30 cm (RKA60)

Da die Abmessungen der vorstehend beschriebenen Belastungseinrichtung nach ENV 10722 für Bodenmaterialien mit größerem Größtkorn nicht ausreichen, kann die Anlage eine Bodenfläche von 600 mm x 300 mm verwendet werden kann. Die Bodenkästen können in Stufen von jeweils 10 cm erhöht werden.

### 2.5 Produkte, Materialien

Für die Versuchsreihen wurden überwiegend Geokunststoffe (im weiteren "Produkte" genannt) verwendet, die in Straßenbauanwendungen als Trennlagen zur Anwendung kommen. Es wurden mechanisch und thermisch verfestigte bzw. vernähte Vliesstoffe, Bändchengewebe und Multifilamentgarngewebe verwendet. Die eingesetzten Bodenmaterialien (im weiteren "Materialien" genannt) wurden so ausgewählt, dass Rückbindungen an durchgeführte Freifelduntersuchungen oder anderweitige Erfahrungen aus Baustellenuntersuchungen möglich sind. Es kamen daher verschiedene Schluffe, Kiese und Schotter zur Anwendung. Da diese Böden z.T. nicht generell verfügbar sind, wurde nach Standardböden und Ersatzmaterialien gesucht, die stets gleiche Eigenschaften aufweisen und somit für normative Festlegungen geeignet sind. Für die Simulation weicher Untergründerböden wurden Gummieinlagen oder eine Mischung aus Glycerin und Bentonit (ähnlich Plastilin) und für die Tragschichtmaterialien ein Aluminiumkorund (ALU) verwendet. Die Übertragbarkeit der Ergebnisse auf natürliche Bodenverhältnisse war zu überprüfen.

## 3. Untersuchungsergebnisse und Wertung

Es wurde eine große Anzahl von Versuchsreihen und Einzelversuchen durchgeführt, bei denen der Einfluss der Bodenmaterialien, der Geokunststoffe, der Größe sowie der Dauer der dynamischen Belastung in den verschiedenen Versuchsgeräten untersucht wurden. Besonderes Augenmerk wurde bei den Versuchsreihen auf die Veränderung der Festigkeit durch die dynamische Einwirkung auf die Geokunststoffprodukte gelegt.

Zusammenfassend können die verwendeten Versuchseinrichtungen und Untersuchungsparameter wie folgt beurteilt werden. Für die Großpulsationsanlage (GPA) wurde bereits im Forschungsvorhaben FE 5.086 aufgezeigt, dass die aufgebrachten dynamischen und walkenden Belastungen sowie die Verformungen, Beschädigungsbilder und Restfestigkeiten der Produkte für verschiedene Aufbauten sehr gut die Erfahrungen und Beobachtungen bei Freifeldversuchen und Baustellenaufgrabungen zur Untersuchung der Trennwirkung von Produkten simulieren können. Der Nachteil der Einrichtung ist der verhältnismäßig große Versuchsaufwand und die Schwierigkeit der Probenahme aus den Produkten, um sie z.B. einer Restfestigkeitsbestimmung im Zugversuch zuführen zu können.

Die aus der GPA abgeleitete Versuchseinrichtung des modifizierten Groß-CBR-Topfes (Groß-CBR) vermindert den Versuchsaufwand erheblich. Gegenüber dem Einbau in der GPA müssen die Produkte hier eingespannt werden, da infolge der kleineren Geometrie und der nicht realisierbaren seitlichen Auflast eine Einspannung der Produkte durch den Aufbau alleine nicht Gewähr leisten kann. Die Proben sind weiterhin rund und daher nur schwierig im Zugversuch zu untersuchen. Die Simulation der Verformungen und Beschädigungen durch die Schwelllasten sind wie bei der Großpulsationsanlage gut.

Der Rechteckkasten 30 cm x 30 cm (RKA30) ist nach verschiedenen Vorüberlegungen auf europäischer Ebene entstanden. In den dabei konzipierten Versuchsgeräten (u.a. mit vollflächiger Belastung) konnten praktisch keine Verformungen oder Beschädigungen an den untersuchten z.T. sehr schwachen Produkten bewirkt werden. Bei der derzeit als Vornorm im Umlauf befindlichen Variante mit kaum verformbarem Untergrund werden durch hohe Maximalwerte der Schwelllast Festigkeitsverringerungen bei den Produkten erzeugt, jedoch praktisch keine visuell erkennbaren Beschädigungen wie Löcher, Ausdünnungen oder Abriebserscheinungen, wie sie aus der Baupraxis bekannt sind. Dies resultiert auch aus den sehr geringen Verformungen, die unter der Schwelllast entstehen. Der Versuch ist gut reproduzierbar, einfach durchführbar und die Proben sind für die Untersuchung im Zugversuch angepasst, wenngleich durch hohe Randspannungen unter der Schwelllastplatte besonders der Einspannbereich der Zugproben beansprucht wird.

Hauptsächlich wurden durch Einbau weicher Bodenschichten als Untergrund Modifikationen des RKA30 vorgenommen, wodurch größere Verformungen und sichtbare Beschädigungen der Produkte auftraten, die mit den Praxiswerten bei Trennlageneinsätzen besser zusammenpassen als beim Standardversuch. Es zeigte sich jedoch, dass hierdurch die Geometrie des Kastens zu vergrößern ist, was zu einem Kasten mit 60 cm x 30 cm (RKA60) führte. Hier können neben den größeren Verformungen auch Versuche mit größerem Tragschichtmaterial ausgeführt werden. Ein Nachteil des weichen Untergrundbodens besteht darin, dass dieser Versuchsaufbau für offene Produkte (z.B. Geogitter) versuchstechnisch kaum verwendbar ist, da die Bodenschichten nach Versuchsende nicht voneinander getrennt werden können.

Bei den untersuchten Tragschichtmaterialien stellt der ALU als künstlich hergestelltes Material zwar ein sehr gut reproduzierbares, überall erhältliches Material dar, jedoch erzeugt sein glassplitterartiger Abrieb unrealistische Auswirkungen auf verschiedene Produkte, die mit einer dynamischen Beanspruchung auf üblichen Baustellen wenig gemein hat. Der verwendete Taunusquarzit (TAQ) besitzt eine ausreichende Härte und Kantigkeit, mit der ebenso Beschädigungen erzeugt werden konnten, sodass die Verwendung dieses Materials wegen der besseren Übertragbarkeit zu empfehlen ist.

Bei Verwendung stark verformbarer Untergrüdböden treten in der Praxis häufig weiche Schluffe auf. Bei Verwendung dieser Materialien in einem Schwelllastversuch ist neben den Verformungseigenschaften auch die Konsolidierung zu berücksichtigen. Deshalb wurde für die Versuche eine Mischung aus Glycerin und Bentonit (Glyben) verwendet, die vergleichbare Verformungseigenschaften aufweist, aber über längere Zeiten ohne Veränderung benutzbar ist. Nachteil dieses Materials ist die schwierige Vergleichbarkeit mit Böden mittels standardisierter bodenmechanischer Versuchsergebnisse. Die Wirkungen von Gummi- oder Kautschukersatzstoffen sind noch nicht abschließend untersucht.

Die verwendeten Versuchsaufbauten mit gleichem Material (Schotter) über und unter den Produkten (kaum verformbares System) sind allenfalls für die Simulation von Einsätzen bei Bewehrungsaufgaben z.B. bei Steilböschungen angezeigt. Es ist jedoch bei den derzeit verwendeten Versuchsparametern zu erwarten, dass für Bewehrungsaufgaben hergestellte Produkte kaum die Beschädigungen erfahren werden, wie sie im Praxiseinsatz zu beobachten sind. Selbst schwache Produkte, die für Trennaufgaben vorgesehen sind, wurden z.T. kaum beeinträchtigt. Versuchsaufbauten mit weichem, stark verformbarem Untergrund erscheinen dagegen für die Simulation von Baustraßenbedingungen gut geeignet.

Bei der Versuchsdurchführung ergeben sich zwei grundsätzliche Möglichkeiten:

Zum Einen kann nach einer bestimmten geringeren Belastung (fixe Zyklenzahl und geringere Schwelllast) die Restfestigkeit der untersuchten Produkte festgestellt werden. Dies ermöglicht die Angabe von Abminderungsbeiwerten, muss jedoch hinsichtlich

der baupraktischen Übertragbarkeit noch überprüft werden. Eine der ursprünglichen Zielsetzungen des Standardversuches auf europäischer Ebene war, die Produkte in diesem Versuch vorzuschädigen und anschließend z.B. hydraulische Untersuchungen an den veränderten Produkten durchführen zu können. Diese Vorgehensweise liefert Proben für derartige Folgeversuche. Da jedoch im dynamischen Belastungsversuch praktisch keine Beschädigungen in baustellenrelevanter Form zu beobachten waren, ist die Aussagekraft dieser Folgeversuche sehr fragwürdig.

Die zweite Variante besteht darin, eine höhere Belastung (Schwelllast) zu definieren, bei der Produkte innerhalb versuchstechnisch realisierbarer Zeiten zum Bruch gelangen. Die erzielbaren Zyklenzahlen sind ein Maß für die Widerstandsfähigkeit gegenüber den dynamischen Beanspruchungen z.B. beim Einbau. Bei letzterem Vorgehen sind die Proben nach dem Versuch für andere Untersuchungen nicht mehr zu verwenden.

Die Auswirkungen der verschiedenen Versuchsdurchführungen auf die unterschiedlichen Produkte und Produktgruppen wurden ausführlich dargestellt. Meist zeigte sich über alle Produkte, die aus hinsichtlich des Rohstoffeinsatzes optimierten Produktionen stammen, hinweg ein guter Zusammenhang zwischen der Ausgangsflächenmaße und der Restfestigkeit der Produkte. Zusammenhänge zwischen Ausgangsfestigkeiten und Bruchdehnungen zur Restfestigkeit sind meist nur innerhalb der jeweiligen Produktgruppen zu erkennen. Auswertungen zum Zusammenhang zwischen der Restfestigkeit und dem Arbeitsvermögen der Produkte erscheinen zielführend.

Eine Einstufung der Produkte in Klassen oder Kategorien ist auf Grund der vorliegenden Versuche möglich, jedoch nur sinnvoll in Rückbindung zu Baustellenuntersuchungen und -erfahrungen, die im Forschungsvorhaben FE 5.110 bearbeitet werden. □