

Überprüfung der Geotextilrobustheitsklassen hinsichtlich neuer Produktentwicklungen

FA 5.199

Forschungsstelle: Süddeutsches Kunststoffzentrum (SKZ) – Testing GmbH, Würzburg

Bearbeiter: Zanzinger, H.

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, Bonn

Abschluss: Januar 2022

1 Einführung

Die SKZ-Testing GmbH erhielt vom Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, am 17. Dezember 2019 den Auftrag zur Durchführung des Forschungs- und Entwicklungsvorhabens "Überprüfung der Geotextilrobustheitsklassen hinsichtlich neuer Produktentwicklungen".

Für die Funktion des Trennens von Böden unterschiedlicher Körnung mit Geotextilien werden empirische Klassifizierungssysteme verwendet. Im vorliegenden Projekt soll das Klassifizierungssystem des "Merkblatts über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus" (M Geok E) überprüft, die internationalen Erfahrungen miteinbezogen und eine Grundlage für ein mögliches europäisch harmonisiertes Klassifizierungssystem gelegt werden. Dabei soll unter anderem auch geprüft werden, ob die Festigkeitsbeurteilung einheitlich auf die Zugfestigkeit abgestellt werden kann und ob die Einbaubedingungen auch mittels Laborsimulation nachgebildet werden können.

Der Bericht beschreibt die Auswahl der Versuchsmaterialien, die Prüfung der Geotextilien im Anlieferungszustand, die Planung und die Durchführung der Feldversuche und die Prüfung der ausgebauten Geotextilien sowie die Versuchsauswertung.

Im derzeitigen Klassifizierungssystem werden fünf Anwendungsfälle unterschieden, die den Einfluss des Schüttmaterials berücksichtigen. Diese werden wiederum mit fünf Beanspruchungsfällen, welche sich aus dem Einbau des Geokunststoffs und dem damit verbundenen Baubetrieb ergeben, kombiniert. Daraus resultieren 25 mögliche Anwendungskombinationen, die sich heutzutage auf drei Geotextilrobustheitsklassen (GRK 3 bis GRK 5) konzentrieren und somit die Beanspruchung der Trennlage beschreiben. Am weitesten verbreitet sind Geovliesstoffe (GTX-N) mit Stapelfasern aus Polypropylen (PP). Im allgemeinen Straßenbau hat sich der Einsatz von GTX-N der GRK 3 etabliert, GTX-N der GRK 4 kommen vereinzelt und die der GRK 5 meist nur in Ausnahmefällen zum Einsatz.

Die Randbedingungen der Freifeldversuche dieses Forschungsvorhabens berücksichtigen insbesondere die baustellenspezifischen Bedürfnisse in Deutschland. Die Auswahl der untersuchten Produkte beschränkt sich nach Abstimmung mit dem Industrieverband Geobaustoffe e. V. (IVG) auf GTX-N, die die in

Deutschland im Erdbau des Straßenbaus vornehmlich eingesetzten Materialien repräsentieren.

Straßen werden oft auf weichem Untergrund gebaut. Durch die Verkehrsbeanspruchung des Untergrunds wirken sich wiederholende, zyklische Belastungen auf den Untergrund aus. Die Einwirkung solcher Lasten auf weiche Böden können die Qualität der Verkehrswege schnell verschlechtern. Überfahrten verursachen dynamische Einwirkungen. Dadurch wird Feinmaterial aus dem Untergrund in die darüberliegenden Tragschichten gepumpt. Dies reduziert die Tragfähigkeit der Schüttschicht. Zur Funktionsfähigkeit von Geotextilien ist es aber grundsätzlich von entscheidender Bedeutung, dass diese nicht nur den Einbau schadlos überstehen, sondern auch dauerhaft die Funktionstüchtigkeit erhalten bleibt. Es dürfen keine Löcher oder Beschädigungen auftreten, die die Filter- wie auch die Trennfunktion lokal außer Kraft setzen würden.

2 Untersuchungen

Für die Untersuchungen dieses Vorhabens wurden mechanisch verfestigte GTX-N als auch mechanisch verfestigte GTX-N mit einseitig thermischer Nachbehandlung ausgewählt. Für jedes Produkt wurden die Kennwerte im Anlieferungszustand (ALZ) für Masse pro Flächeneinheit, Dicke, Zugfestigkeit und Stempeldurchdrückkraft ermittelt. Zusätzlich zu diesen standardmäßig ermittelten Werten wurden auch das Arbeitsvermögen im Zug als auch im Stempeldurchdrückversuch bestimmt. Diese sollen zur Beurteilung des Verhaltens unter mechanischer Beanspruchung und als möglicher Indikator der Robustheit gegenüber den mechanischen Einwirkungen beim Einbau dienen.

Im Zugversuch wird eine axiale Verformung, im Stempeldurchdrückversuch hingegen wird in Näherung an die Mantelfläche eines Kegelstumpfs eine mehraxiale Verformung erzeugt. Das Integral der Kraft-Dehnungs-Linie, beschrieben als "Arbeitsvermögen, linear", wird bis zum Erreichen der Zugfestigkeit ermittelt. Das "Arbeitsvermögen, flächig", basierend auf der mehraxialen Verformung des Geotextils im Stempeldurchdrückversuch, wird aus dem Integral der Kraft-Dehnungs-Linie berechnet – allerdings ist hierunter die flächige Dehnung zu verstehen.

Zur Variation der Einbausituation von vier verschiedenen Geotextilrobustheitsklassen wurden drei verschiedene Schüttmaterialien ausgewählt und diese mit zwei unterschiedlich starken Einwirkungen durch den Baubetrieb kombiniert. In der Matrix wurden die Beanspruchungen aus dem Baubetrieb so gewählt, dass in den Versuchsfeldern durch den Einsatz von drei verschiedenen Schüttmaterialien die GRK 3 bis GRK 5 sowie eine fiktive GRK 6 abgedeckt werden konnten. Der Einbau und das Verdichten des Schüttmaterials erfolgten hierbei maschinell. Die zu erwartenden Spurrinntiefen in der Ebene der Geotextillage lagen zwischen 5 und 15 cm. Es kamen rundkörniges Schüttmaterial (sandiger Kies) und scharfkantiges

Schüttmaterial mit Steinen (sandig, steiniger Kies) und ohne Steine (Sand-Kies-Gemisch) zum Einsatz.

Für die großmaßstäblichen Feldversuche stand eine Renaturierungsfläche eines Bauunternehmens in Mecklenburg-Vorpommern zur Verfügung. Um eine gleichmäßige Beanspruchung der Geotextilien über die gesamte Länge der jeweiligen Versuchsfelder sicherzustellen, wurden für jedes Versuchsfeld Mulden mit einer Tiefe von 0,5 m und einer Breite von 6 m in entsprechenden Längen von bis zu 31 m ausgehoben und mit einem Quarzsand 0/2 mm bis zur Oberkante des anstehenden Geländes aufgefüllt. Über die Schüttdichte hinaus wurde dieser Sand nicht verdichtet und vor dem Einbau der Geotextilien und dem Einbau des Tragschichtmaterials auch nicht befahren. Die zu untersuchenden Geokunststoffe wurden nach den Abmessungen der Versuchsfelder (VF) von ca. 3 m in Produktionsrichtung und eine Breite von ca. 4 beziehungsweise 5 m quer zur Produktionsrichtung konfektioniert.

Das Schüttmaterial der Tragschichten wurde mit einem Radlader auf die Versuchsfelder geschüttet und mit einem Mobilbagger mit Räumlöffel verteilt und eingeebnet. Die Tragschicht wurde mit einem Walzenzug so verdichtet, dass der Versuchsaufbau mit einem dreiachsigen Lastkraftwagen (Lkw) befahren werden konnte. Nach den Überfahrten und dem Einmessen der Spurrillen auf der Oberkante der Tragschichten wurden die obersten 10 bis 15 cm des Tragschichtmaterials vorsichtig mit einem Löffelbagger zurückgebaut. Danach kam ein mobiler Saugbagger zum Einsatz, mit dem der Großteil des restlichen Schüttmaterials aufgenommen wurde. Der Rest wurde manuell entfernt.

3 Auswertung

Alle entnommenen Geovliesstoff-Proben wurden einer einheitlichen visuellen Probenansprache unterzogen. Die Beschädigungen wurden als Eindruckstellen oder Löcher und Risse erfasst. Es wurden sechs Beschädigungsklassen eingeführt, die einem definierten visuellen Beschädigungsfaktor zugeordnet wurden. Zur Beurteilung aller entnommener Proben wurden die Löcher gezählt, deren Lochdurchmesser gemessen und jeder entnommenen Probe je Versuchsfeld der entsprechenden Beschädigungsklasse zugewiesen. Optische Beschädigungen wurden fast ausschließlich im Bereich der Fahrspuren festgestellt. In der "Mitte" wurden kaum optische Beschädigungen gefunden.

Alle ausgebauten Proben wurden entsprechend der Vorgehensweise zur Prüfung der mechanischen Eigenschaften im ALZ auch wieder nach der gleichen Art und Weise geprüft. Sämtliche Zugversuche und Stempeldurchdruckversuche der Proben im ALZ wurden jeweils in einem gemeinsamen Diagramm dargestellt. Darin waren die Zugkraft über die lineare Dehnung im Zugversuch und die Durchdruckkraft im Stempeldurchdruckversuch über die flächige Dehnung zusammen aufgetragen. Es wurde damit gezeigt, dass die Kurvenverläufe sowohl für

mehrxiale Stempeldurchdruckversuche als auch für einaxiale Zugversuche weitestgehend kongruent sind.

Der Vergleich der mechanischen Eigenschaften der Proben im ALZ in Abhängigkeit der flächenbezogenen Masse zeigte generell sowohl für die Stempeldurchdruckkräfte, für das Arbeitsvermögen beim Stempeldurchdruckversuch, für die Zugfestigkeit und für das Arbeitsvermögen beim Zugversuch eine gute lineare Abhängigkeit. Insbesondere galt dies umso mehr, wenn man die Auswertung auf die Produktfamilie eines Herstellers bezog. Somit war auch eine gute Korrelation zwischen Zugfestigkeit und Stempeldurchdruckkraft zu erwarten.

Außerdem zeigten alle Geotextilien eines Herstellers, dass die Lochdurchmesser im Kegelfallversuch sehr gut über die Masse pro Flächeneinheit korrelierten und mit zunehmendem Flächengewicht immer kleinere Löcher aufzeigten. Eine thermische Oberflächenbehandlung hatte hierbei einen negativen Einfluss auf den Perforationswiderstand der GTX-N.

Die geprüften GTX-N zeigten höchst unterschiedliche Verformbarkeiten in Zug- und Stempeldurchdruckversuchen. In den näheren Betrachtungen wurde der Fokus auf das Arbeitsvermögen gelegt, weil hierbei sowohl die Festigkeit als auch die Dehnung miteingingen. Es zeigte sich für alle Proben ein mehr oder minder linearer Anstieg des Arbeitsvermögens mit der Zunahme des Flächengewichts. Diese Zunahme war identisch für alle Proben im ALZ als auch im ausgebauten Zustand. Unter den Fahrspuren zeigten die Proben größere Schädigungen, hier in Form des niedrigeren Arbeitsvermögens als die Proben "zwischen den Rädern". Dort konnten die GTX-N infolge der sich beidseitig einstellenden Spurrinnen auch gespannt werden, aber die unmittelbare Druckbelastung der groben Körnung der Tragschicht auf das Geotextil war dort nicht vorhanden. Die vorweggeschickte Verdichtung der Tragschicht durch den Walzenzug konnte die erste Schädigung bewirken. Komplette separieren ließen sich diese aufeinanderfolgenden Einflüsse im Nachhinein nicht.

Die gesamte Schädigungsarbeit ergab sich aus der Differenz des Arbeitsvermögens im ALZ und dem Rest-Arbeitsvermögen inklusive der Abminderung durch den visuellen Beschädigungsfaktor. Als "Schädigungsgrad" wurde das Verhältnis aus Schädigungsarbeit und Arbeitsvermögen im ALZ definiert. Mit zunehmendem Flächengewicht nahm der Schädigungsgrad ab.

Das Versuchsfeld VF GRK3 zeigte, dass bei 3 von 5 Proben der Schädigungsgrad unter 20 % lag. Die beiden anderen Proben waren thermisch oberflächenbehandelt und zeigten Schädigungsgrade zwischen 40 und 50 %. Die Proben aus dem VF GRK4a wiesen lediglich Schädigungsgrade zwischen 0 und 20 % auf, weil dort nur ein minimaler Baubetrieb infolge Lkw-Überfahrten erfolgt war. Hingegen wurden die Proben im VF GRK4b sehr stark geschädigt. Es wurden Schädigungsgrade zwischen 40 und 80 % festgestellt. Im VF GRK5 zeigten die fünf leichteren GTX-N mit Flächengewichten unter 300 g/m² allesamt relativ große Schädigungen, während die beiden schwereren GTX-N nur

Schadigungsgrade unter 20 % aufwiesen. Alle Proben aus dem VF GRK6 zeigten Schädigungsgrade zwischen 30 und 90 %.

Die Bewertung für die "Robustheit" wurde für alle Produkte vorgenommen. sechs der zwölf Produkte entsprachen in den jeweils eingesetzten Versuchsfeldern den ihnen zugewiesenen Anforderungen für einen zulässigen Schädigungsgrad von zum Beispiel 20 %. Fünf von zwölf Produkten wurden ausschließlich in Versuchsfeldern eingebaut, die nicht ihrer Klassifizierung entsprachen. Sie erfüllten nicht die Anforderungen eines zulässigen Schädigungsgrads von zum Beispiel 20 %. Eines von zwölf Produkten wurde adäquat seiner Klassifizierung in entsprechenden Versuchsfeldern eingebaut und hatte hierbei nicht die genannte Anforderung erfüllt. In einer zweiten Betrachtung wurde ein zulässiger Schädigungsgrad von zum Beispiel 50 % bewertet. Dieses Kriterium wiederum wurde durch elf von zwölf Produkten eingehalten. Es wäre grundsätzlich anzustreben, dass keinerlei Schädigungen der geotextilen Trennlagen auftraten, um deren Funktionsfähigkeit vollflächig und dauerhaft sicherstellen zu können.

Die Schädigungsarbeiten infolge eingebrachter Spurrinnen und Lkw-Überfahrten überwogen gegenüber den Schädigungsarbeiten infolge Beschüttung und anschließender Verdichtung mit Walzenzug. Die GTX-N des Herstellers C erfuhrten auf allen Versuchsfeldern die größten Schädigungsarbeiten. Die Produkte der Hersteller A und B zeigen tendenziell höhere Schädigungen infolge der Lkw-Überfahrten gegenüber der Schädigung infolge der Verdichtung mit dem Walzenzug.

Die gesamten Schädigungsarbeiten nahmen in den Versuchsfeldern VF GRK3 und VF GRK4b von ca. 10 auf ca. 24 kJ/m zu, wobei die Körnungslinien des sandigen Kieses in VF GRK3 und des Sand-Kies-Gemischs (scharfkantig) in VF GRK4 keinen gravierenden Unterschied zeigten. Aber die Kornform des Kieses war unterschiedlich. Dies zeigte, dass die Kornform des Schüttmaterials einen wichtigen Anteil an der Schädigung der Geotextilien hatte.

Ein weiterer Anstieg der Schädigungsarbeiten von ca. 40 auf ca. 45 kJ/m wurde beim Vergleich von VF GRK5 und VF GRK6 festgestellt. Hier wurde in beiden Versuchsfeldern die identische Körnung verwendet. Die Unterscheidung zwischen diesen Versuchsfeldern lag in den erzeugten Spurrinnen. Das zeigte wiederum, dass neben dem Baubetrieb in Form der Beschüttung und anschließender Verdichtung insbesondere die häufigeren Lkw-Überfahrten die Geotextilien schädigten.

Bei genauerer Betrachtung der Belastungen durch die Überfahrten mit dem beladenen Lkw zeigte sich, dass die Auswirkungen auf das Geotextil – wiedergegeben als Schädigungsarbeiten – infolge der Kornform des scharfkantigen Sand-Kies-Gemischs gegenüber einem rundkörnigen sandigen Kies des Schüttmaterials entscheidender war als die Einwirkungen des Baubetriebs. Runde oder gedrungene Kornformen waren offenkundig weniger schädigend als kantige oder spitze Formen des Schotter oder der Steine.

Die durch die Lkw-Überfahrten eingetragene Energie korrelierte für das scharfkantige Schüttmaterial mit den festgestellten Schädigungsarbeiten. Die primäre Auswahl geotextiler Trennlagen sollte daher vorzugsweise anhand des vorhandenen Schüttmaterials erfolgen. Die Dauer und die Intensität des darauffolgenden Baubetriebs sind weniger vorhersehbar. In Konsequenz sollte man sich u.E. auf scharfkantige Schüttmaterialien fokussieren. Als vereinfachte Vorgehensweise würde es reichen, nur "normalen Baubetrieb" und "anspruchsvollen Baubetrieb" zu unterscheiden.

Der Vergleich internationaler Klassifizierungssysteme übertragen auf die Bedingungen der Versuchsfelder zeigte, dass in anderen Ländern am Beispiel der geforderten Stempeldruckkräfte in der Regel geringere Anforderungen an die Geotextilien bestehen als in Deutschland. Die Studie zeigte, dass diese aber nicht ausreichen. Somit müssten diese folglich für die einzelnen Klassen angehoben werden.

Die GTX-N mit thermischer Oberflächenbehandlung in VF GRK3 ergaben größere Schädigungsarbeiten als die dehnfähigeren Produkte ohne thermische Nachbehandlung. Sie waren nicht so gut in der Lage, den Kräften, hervorgerufen durch die Eindrückungen der groben Körner, auszuweichen. Sie folgten eher dem Widerstandsprinzip. Anders als bei "dehnsteiferen" geotextilen Filtern, die bei Dränmatten die Hohlräume des Sickerkörpers sicher überspannen müssen, ist es bei Trennlagen zwischen weichem, feinkörnigem Untergrund und der darauf liegenden groben Schüttlage unerheblich, wenn sich die GTX-N in die feinkörnige Struktur des Untergrunds hineinverformen. Wesentlich ist, dass dies ohne Beschädigung des Filters erfolgt. Dieses Ausweichprinzip erscheint in Fällen, bei denen die Trennfunktion im Vordergrund steht, zweckmäßiger als das Widerstandsprinzip.

4 Vorschlag Klassifizierungssystem

Aus den Erfahrungen des Forschungsprojekts sollte in einem Klassifizierungssystem auch die Verformbarkeit der GTX-N berücksichtigt werden. Das Flächengewicht dient allein zur Identifikation und ist kein technischer Parameter, der die Robustheit der GTX-N beschreiben kann. Die Festigkeit und die Verformbarkeit der GTX-N müssen berücksichtigt werden. Deshalb sollten das Arbeitsvermögen und die Schädigungsarbeit zur Bewertung der Robustheit dienen.

Sowohl das Arbeitsvermögen als auch die Schädigungsarbeit werden aus Stempeldruckversuchen abgeleitet. Das Arbeitsvermögen wird aus der flächigen Dehnung ermittelt, die in Annäherung an die Mantelfläche eines Kegelstumpfs errechnet wird.

Tabelle 1: Vorschlag für ein modernes Klassifizierungssystem für geotextile Trennlagen im Erdbau des Straßenbaus

Eigenschaft	Norm	Klasse 3	Klasse 4	Klasse 5	Klasse 6
Arbeitsvermögen $W_{CBR,max}$ [kJ/m]	DIN EN ISO 12236	≥ 60	≥ 100	≥ 140	≥ 180
Durchdrückweg s_{1N} [mm]		≥ 55			
Dehnung ϵ [%]	DIN EN ISO 10319	≥ 50			
Lochdurchmesser D_c [mm]	DIN EN ISO 13433	≤ 15			

Als hinreichende Verformbarkeit sollte man für alle GTX-N beim Stempeldurchdrückversuch einen Durchdrückweg von mindestens 55 mm fordern. Dies entspräche etwa einer Höchstzugkraftdehnung im Zugversuch von 50 %. Weiterhin könnte man der Beschädigung infolge des Beschüttens zusätzlich entgegenwirken, indem man den zulässigen Lochdurchmesser des GTX-N beim Kegelfallversuch auf ca. 15 mm begrenzen würde.

Die Anforderungen an das Arbeitsvermögen ergeben sich daraus, dass das erhöhte Arbeitsvermögen für den jeweiligen Anwendungsfall, die im Forschungsprojekt jeweils festgestellte Schädigungsarbeit kompensieren kann, ohne dass das GTX-N Schaden nimmt. Für "Klasse 3" würde dies ein Arbeitsvermögen von 60 kJ/m, für "Klasse 4" 100 kJ/m, für "Klasse 5" 140 kJ/m und für die neue "Klasse 6" 180 kJ/m erfordern.

5 Weiterer Forschungsbedarf

Neben den vielen Erkenntnissen, die in dem Forschungsprojekt für mechanisch verfestigte GTX-N aus PP-Stapelfasern gewonnen werden konnten, ergaben sich neue Fragestellungen, die in zukünftigen Forschungsprojekten erörtert werden müssten:

- Können die neuen Anforderungen an die Robustheit von Geotextilien in Form eines erforderlichen Arbeitsvermögens für mechanisch verfestigte GTX-N aus PP-Stapelfasern direkt auch auf thermisch verfestigte GTX-N oder auf mechanisch verfestigte GTX-N aus Endlosfasern oder auf GTX-N aus PET übertragen werden?
- Ist das Arbeitsvermögen zur Einordnung der Robustheit der Geotextilien gegenüber Einbaubeschädigungen auch auf Geogewebe aus PP-Bändchengewebe, bei denen sicherlich das Widerstandsprinzip vorherrscht, anwendbar?
- Wie kann für Geoverbundstoffe mit Bewehrungs-, Filter- und Trennfunktion, bestehend aus gitterförmigem Geokunststoff und GTX-N, eine Anforderung für die Robustheit der Filter- und Trennlage festgelegt werden?

- Wie kann für Dränmatten mit Drän-, Filter- und Trennfunktion, bestehend aus einem geosynthetischen Sickerkörper und einem oder zwei GTX-N, eine Anforderung für die Robustheit der Filter- und Trennlagen festgelegt werden?
- Was ist ein "akzeptabler" Schädigungsgrad für geotextile Trennlagen und was sind "tolerierbare" Schädigungsgrade für Geotextilien mit Trenn- und Filterfunktion?