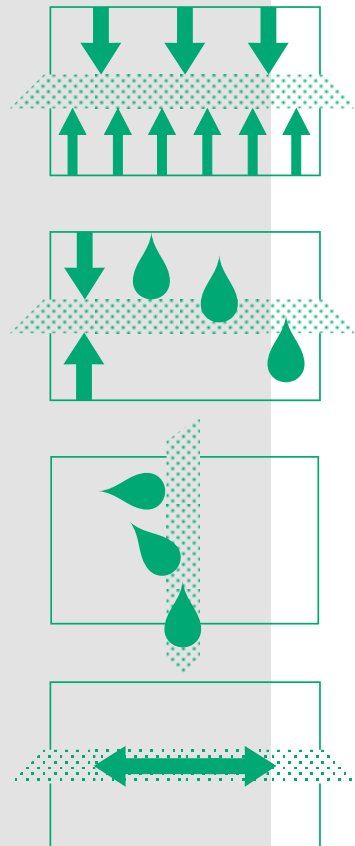


# ANWENDUNGSHANDBUCH ZU DEM MERKBLATT

über die Anwendung von  
Geokunststoffen im Erdbau des  
Straßenbaus (M Geok E), 2016

April 2019



Mit freundlicher  
Empfehlung  
überreicht von

## IMPRESSUM

### **GEOscope GmbH & Co. KG**

Dr.-Ing. Jan Retzlaff

Nordstraße 3

99427 Weimar

Telefon: +49 (0) 3643 4683 080

E-Mail: [team@geoscope.eu](mailto:team@geoscope.eu)

Internet: [www.geoscope.eu](http://www.geoscope.eu)

<b>Inhalt</b>	<b>Seite</b>
Vorwort .....	4
1 Geokunststoffe als Trennelement .....	5
1.1 Allgemeines.....	5
1.2 Hinweise zur Dimensionierung .....	6
1.2.1 Geotextilrobustheitsklassen .....	6
1.2.2 Filterkriterien.....	10
1.2.3 Witterungsbeständigkeit .....	11
1.3 Hinweise zur Produktauswahl .....	11
1.4 Umweltunbedenklichkeit.....	13
2 Geokunststoffe als Filterelement .....	15
2.1 Allgemeines.....	15
2.2 Hinweise zur Dimensionierung .....	16
2.2.1 Hydraulische Sicherheitsfälle .....	16
2.2.2 Wasserdurchlässigkeit .....	20
2.3 Hinweise zur Produktauswahl .....	20
3 Geokunststoffe als Dränelement .....	23
3.1 Allgemeines.....	23
3.2 Hinweise zur Dimensionierung .....	25
3.2.1 Allgemeines .....	25
3.2.2 Nachweis der Dränleistung .....	26
3.2.3 Nachweis der mechanischen und hydraulischen Filterwirksamkeit .....	28
3.2.4 Nachweis der Standsicherheit .....	28
3.3 Hinweise zur Produktauswahl .....	29
4 Geokunststoffe als bewehrendes Element	
ungebundener Tragschichten im Straßenbau .....	31
4.1 Allgemeines.....	31
4.2 Hinweise zur Dimensionierung .....	32
4.2.1 Witterungsbeständigkeit .....	38
4.3 Hinweise zur Produktauswahl .....	38

<b>M GeoK E Merkblatt</b>	
<b>Seite</b>	<b>Kapitel</b>
<b>S. 18</b>	<i>Kap. 4.2</i>
<b>S. 18</b>	<i>Kap. 4.2</i>
<b>S. 21</b>	<i>Kap. 4.2.3</i>
<b>S. 99</b>	<i>Kap. 7.2.6.1</i>
<b>S. 79</b>	<i>Kap. 5.2</i>
<b>S. 104</b>	<i>Kap. 7.4.2</i>
<b>S. 21</b>	<i>Kap. 4.2.3</i>
<b>S. 108</b>	<i>Kap. 7.7</i>
<b>S. 23</b>	<i>Kap. 4.3</i>
<b>S. 23</b>	<i>Kap. 4.3</i>
<b>S. 79</b>	<i>Kap. 5.2</i>
<b>S. 79</b>	<i>Kap. 5.2</i>
<b>S. 82</b>	<i>Kap. 5.2.4</i>
<b>S. 27</b>	<i>Kap. 4.3.3</i>
<b>S. 28</b>	<i>Kap. 4.4</i>
<b>S. 28</b>	<i>Kap. 4.4</i>
<b>S. 79</b>	<i>Kap. 5.2</i>
<b>S. 79</b>	<i>Kap. 5.2.1</i>
<b>S. 83</b>	<i>Kap. 5.2.5</i>
<b>S. 79</b>	<i>Kap. 5.2</i>
<b>S. 32</b>	<i>Kap. 4.4.2</i>
<b>S. 35</b>	<i>Kap. 4.5</i>
<b>S. 35</b>	<i>Kap. 4.5</i>
<b>S. 73</b>	<i>Kap. 5.1</i>
<b>S. 93</b>	<i>Kap. 6.16</i>
<b>S. 50</b>	<i>Kap. 4.5.3</i>

	Seite
5 Qualitätssicherung .....	41
5.1 Allgemeines.....	41
5.2 Eigen- und Fremdüberwachung .....	42
5.3 ISO 9001 .....	42
5.4 CE-Kennzeichnung .....	43
5.5 IVG-Zertifikat.....	44
Literatur.....	46

Seite	Kapitel
S. 110	Kap. 8.3
S. 110	Kap. 8.3
S. 110	Kap. 8.3.2
S. 110	Kap. 8.3.2
S. 114	Anhang A1

## Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1	Anwendungsfälle (AS) für rundkörniges Schüttmaterial (schneidet die Körnungslinie den Bereich AS 3 oder AS 4, gilt dieser Anwendungsfall, sonst gilt AS 2) .....	8
Abbildung 2	Anwendungsfälle (AS) für scharfkantiges Schüttmaterial (schneidet die Körnungslinie den Bereich AS 4 oder AS 5, gilt dieser Anwendungsfall, sonst gilt AS 3) .....	8
Abbildung 3	Definition filtertechnisch schwieriger Böden i. S. d. FGSV 535 (Abbildung aus FGSV 535, 1994) .....	17
Abbildung 4	Plastizitätsdiagramm für Böden.....	19
Abbildung 5	Secugrid®/Combigrig®-Bemessungsdiagramm für Zielwert auf Tragschicht $E_{V2,oben} \geq 45 \text{ MN/m}^2$ .....	34
Abbildung 6	Secugrid®/Combigrig®-Bemessungsdiagramm für Zielwert auf Tragschicht $E_{V2,oben} \geq 80 \text{ MN/m}^2$ .....	35
Abbildung 7	Secugrid®/Combigrig®-Bemessungsdiagramm für Zielwert auf Tragschicht $E_{V2,oben} \geq 120 \text{ MN/m}^2$ .....	36
Abbildung 8	Secugrid®/Combigrig®-Bemessungsdiagramm für Zielwert auf Tragschicht $E_{V2,oben} \geq 150 \text{ MN/m}^2$ .....	37
Abbildung 9	Bemessungsbeispiel einer Secugrid®/Combigrig®-bewehrten Schottertragschicht (blaue gestrichelte Linien) für Zielwert auf der Tragschicht $E_{V2,oben} \geq 150 \text{ MN/m}^2$ (blaue Linie) .....	39

## Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1	Eigenschaften von Geokunststoffen als Trennelement.....	6
Tabelle 2	Definition Anwendungsfälle (AS) .....	7
Tabelle 3	Definition Beanspruchungsfälle (AB) .....	9
Tabelle 4	Definition Geotextilrobustheitsklassen (rundkörniges Schüttmaterial) .....	10
Tabelle 5	Definition Geotextilrobustheitsklassen (scharfkantiges Schüttmaterial) .....	10
Tabelle 6	Filterkriterien für Trennelemente .....	10
Tabelle 7	Witterungsbeständigkeit und höchstzulässige Freiliegedauer für Geokunststoffe ohne Bewehrungsfunktion .....	11
Tabelle 8	Anforderungen der Geotextilrobustheitsklassen (GRK) an Vliesstoffe.....	11
Tabelle 9	Anforderungen der Geotextilrobustheitsklassen (GRK) an Folienbändchen- oder Spleißgarngewebe aus Polyolefinen .....	12
Tabelle 10	Anforderungen der GRK an Multifilamentgewebe (meist Polyester) .....	12
Tabelle 11	Prüfwerte für die Feststellung der Umweltunbedenklichkeit von Geokunststoffen.....	14
Tabelle 12	Eigenschaften von Geokunststoffen als Filterelement.....	16
Tabelle 13	Kriterien für hydraulische Sicherheitsfälle .....	18
Tabelle 14	Anforderungen hydraulischer Sicherheitsfälle an $O_{90}$ .....	22
Tabelle 15	Eigenschaften von Geokunststoffen als Dränelement.....	24
Tabelle 16	Abminderungsfaktoren für Dränelemente.....	26
Tabelle 17	Anforderungen an Dränelemente nach BAST-WAS 7 (2007) .....	29
Tabelle 18	Beispiele für die Bettung von Dränelementen .....	30
Tabelle 19	Eigenschaften von Geokunststoffen als bewehrendes Element.....	32
Tabelle 20	Näherungswerte für zu erwartende Verformungsmoduln $E_{v2}$ in $[MN/m^2]$ .....	33
Tabelle 21	Witterungsbeständigkeit und höchstzulässige Freiliegedauer für Geokunststoffe mit Bewehrungsfunktion .....	38
Tabelle 22	Empfohlene Geogitter und Verbundstoffe unter und in Tragschichten.....	40

## Vorwort

Das „Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus“ (M Geok E) ist seit 1994 das Standardwerk der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen zu Geokunststoffen. Mit überarbeiteten Veröffentlichungen des Merkblattes in den Jahren 2005 und 2016 wurde dem Zugewinn an Erfahrungen und neuen wissenschaftlichen Erkenntnissen Rechnung getragen. Es ist jedoch immer ein Handbuch für die Baupraxis geblieben und bietet sowohl Planern als auch Anwendern auf der Baustelle wertvolle Hinweise für den Einsatz von Geokunststoffen.

Kernpunkte sind die im Merkblatt definierten Geotextilrobustheitsklassen, die stark vereinfachten Filterregeln oder die Beschreibung der Untersuchungen zur Umweltunbedenklichkeit von Geokunststoffen, auf die bei fast jedem Projekt Bezug genommen wird.

Mit der Einführung der „Technischen Lieferbedingungen für Geokunststoffe im Erdbau des Straßenbaus“ (TL Geok E-StB) und der Aufnahme von Geokunststoffen in die „Zusätzlichen Technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau“ (ZTV E-StB) wurden die Hinweise des Merkblattes auch Bestandteil der Verträge zwischen Straßenbaulasträgern und Ausführenden.

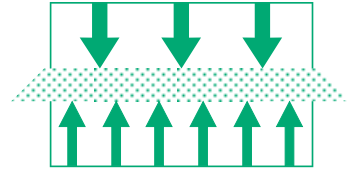
Mit Blick auf die große Relevanz des Merkblattes für den Einsatz von Geokunststoffen im Straßenbau und darüber hinaus ist bei der NAUE GmbH & Co. KG die Idee entstanden, das Merkblatt um Kommentare zu ergänzen, die zum einen eigene Erfahrungen der Unternehmensgruppe widerspiegeln und zum anderen Diskussionen zwischen Fachleuten und damit auch den Mitarbeitern des Arbeitsausschusses „Geokunststoffe“ der FGSV aufgreifen.

Die NAUE GmbH & Co. KG hat mir diese Aufgabe angetragen und mich darum gebeten, Hinweise aus meiner langjährigen Mitarbeit im "Merkblatt-Ausschuss" sowie der praktischen Anwendung des Merkblattes bei einer Vielzahl von Projekten in diese Ausarbeitung einfließen zu lassen. Ich hoffe, dass es mit dem nachfolgenden Handbuch gelungen ist, dem Einsatz von Geokunststoffen den Weg weiter zu ebnen und die Diskussion über den Einsatz von Geokunststoffen in verschiedenen, auch neuen Anwendungen anzuregen.

## 1 Geokunststoffe als Trennelement

### 1.1 Allgemeines

Trennen wirkt der fehlenden Stabilität in der Kontaktfläche zwischen zwei unterschiedlichen Bodenschichten entgegen, also der Gefahr des Vermischens unterschiedlicher Böden.



Das Abgrenzen von Bodenschichten mit variierenden Korngrößenverteilungen, insbesondere grobkörnigen und feinkörnigen Böden, ist eine typische Anwendung von Geotextilien im Straßenbau. Allerdings beschränkt sich die Wirksamkeit von Trennlagen auf Schichtgrenzen zwischen den Böden, die nicht oder zeitweise nur so von Wasser durchströmt werden, dass die Stabilität des Korngerüstes nicht beeinflusst wird. Zieht man für die Definition von Trennelementen BAW (1993) hinzu, dann sind Trennlagen lediglich auf den sicheren Bodenrückhalt auszulegen. Insofern sind auch immer Betrachtungen zur charakteristischen Öffnungsweite und zur mechanischen Beanspruchung des Geokunststoffes anzustellen. Dies ist notwendig um zu überprüfen, ob der Geokunststoff grundsätzlich als Trennelement geeignet und ob seine Robustheit ausreichend ist, um seine trennenden Eigenschaften gegenüber dem anstehenden Boden auch über den Einbau hinaus sicherzustellen.

Wenn Geokunststoffe als Trennelemente eingesetzt werden sollen, ist ihre Eignung auf der Grundlage der in Tabelle 1 genannten mechanischen Eigenschaften zu überprüfen. Dafür sind die auf der Baustelle herrschenden Rahmenbedingungen zu beachten sowie die erforderliche Geotextilrobustheitsklasse zu bestimmen und der Geokunststoff anhand weiterer Eigenschaften zu klassifizieren.

Mechanische Eigenschaft	Prüfverfahren	Anforderung
Robustheit gegen Einbaubeschädigung	FGSV 535 (2016)	Tabelle 4 und Tabelle 5
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864 (2005)	Tabelle 8, Tabelle 9 und Tabelle 10
Durchdrückkraft	DIN EN ISO 12236 (2006)	Tabelle 8
Zugfestigkeit	DIN EN ISO 10319 (2015)	Tabelle 9 und Tabelle 10
Öffnungsweite des Filters	DIN EN ISO 12956 (2010)	Tabelle 6
Wasserdurchlässigkeit	DIN 60500-4 (2007)	$k_{v,5\%} > k_f$ -Boden
Dauerhaftigkeit	DIN EN 13249 ff (2016)	CE-Kennzeichnung
Witterungsbeständigkeit	DIN EN 12224 (2000)	Tabelle 7
Umweltunbedenklichkeit	FGSV 535 (2016)	Tabelle 11

Tabelle 1: Eigenschaften von Geokunststoffen als Trennelement

## 1.2 Hinweise zur Dimensionierung

### 1.2.1 Geotextilrobustheitsklassen

Neben den Filterkriterien (Öffnungsweite des Filters und Wasserdurchlässigkeit) und der Witterungsbeständigkeit beschränkt sich die Dimensionierung unter baustellenspezifischen Bedingungen auf die Klassifizierung der Geokunststoffe. Dafür sind im Merkblatt Geotextilrobustheitsklassen festgelegt, mit denen die mechanischen Beanspruchungen durch das Schüttmaterial, den Einbauvorgang und den Baubetrieb berücksichtigt werden. Die Geotextilrobustheitsklassen werden aus einer Matrix von Anwendungs- und Beanspruchungsfällen abgeleitet. Sie sind für jede Baustelle individuell festzulegen.

Es werden 5 Anwendungsfälle (AS) unterschieden, die gemäß Tabelle 2 über das Schüttmaterial definiert sind.



AS	Schüttmaterial	
	rundkörnig	scharfkantig
AS 1	ohne Einfluss auf die Auswahl	
AS 2	grob- und gemischtkörnige Böden, wie SW, SE, SI, GW, GE, GI, SU, SU*, GU, GU* nach DIN 18196	
AS 3	grob- und gemischtkörnige Böden mit bis zu 40 % Steinen und Blöcken	grob- und gemischtkörnige Böden, wie SE, SI, GW, GE, GI, SU, SU*, GU, GU* nach DIN 18196
AS 4	grob- und gemischtkörnige Böden mit über 40 % Steinen und Blöcken	grob- und gemischtkörnige Böden mit bis zu 40 % Steinen und Blöcken
AS 5		grob- und gemischtkörnige Böden mit über 40 % Steinen und Blöcken

Tabelle 2: Definition Anwendungsfälle (AS)

**Die Tabelle gilt bei einer Unterlage aus feinkörnigen oder sandigen Böden.**

**Liegt das Geotextil auf einem grob- oder gemischtkörnigen Boden, erhöht sich die Stufe der Anwendungsfälle AS 2 bis AS 4 um eine Stufe.**

Für das Überbauen der als Trennelemente eingesetzten Geokunststoffe mit einer Frostschutz- oder Kies- und Schottertragschicht aus qualifiziertem Material nach FGSV 698 (2007) ist zu beachten, dass bereits die Sieblinienbereiche 0/56 und 0/63 ein Größtkorn > 63 mm, also Steine, zulassen. Die Beanspruchung des Geokunststoffes durch Einbau, Verdichtung und Bauverkehr nimmt angenähert exponentiell zur Korngröße zu.

Das Merkblatt unterscheidet darüber hinaus zwischen rundkörnigem und scharfkantigem Schüttmaterial. Von scharfkantigem Material ist zumindest immer dann auszugehen, wenn das Mineralstoffgemisch gebrochene Anteile enthält. So ergeben sich auf Basis der Einteilung nach Tabelle 2 die nachfolgenden Anwendungsfälle für die Korngrößenverteilungen von rundkörnigen (Abbildung 1) und scharfkantigen (Abbildung 2) Schüttmaterialien.

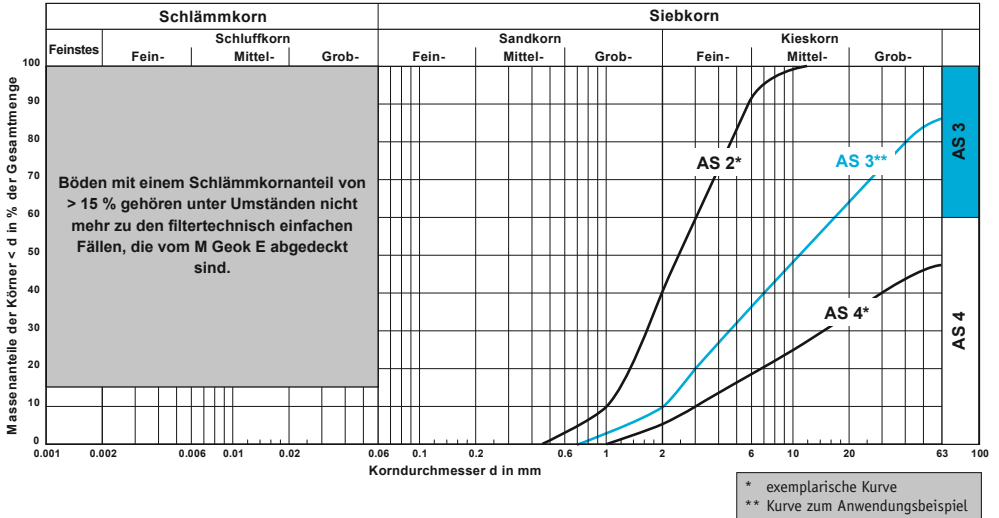


Abbildung 1: Anwendungsfälle (AS) für rundkörniges Schüttmaterial (schneidet die Körnungslinie den Bereich AS 3 oder AS 4, gilt dieser Anwendungsfall, sonst gilt AS 2)

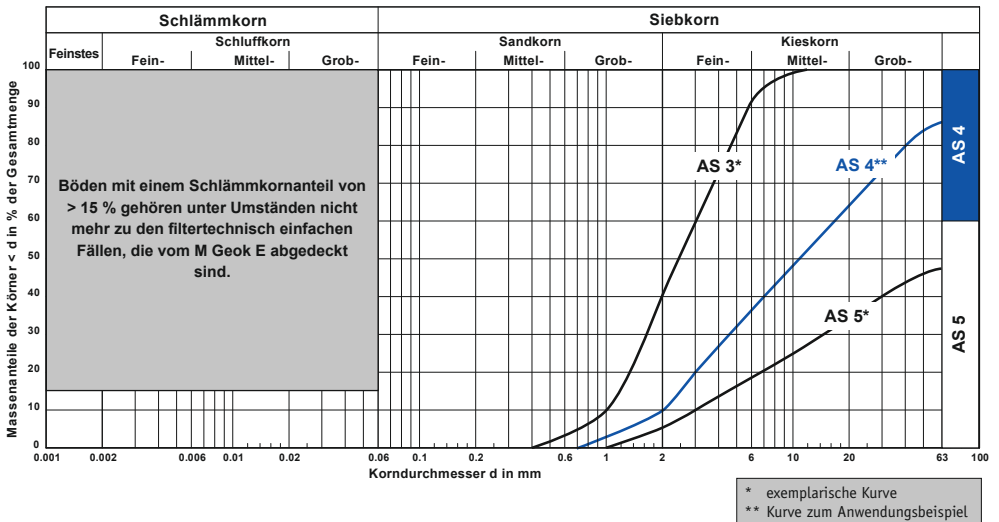


Abbildung 2: Anwendungsfälle (AS) für scharfkantiges Schüttmaterial (schneidet die Körnungslinie den Bereich AS 4 oder AS 5, gilt dieser Anwendungsfall, sonst gilt AS 3)

Mit der Unterscheidung der Beanspruchungsfälle (AB) in Tabelle 3 wird insbesondere der Untergrund, der Einbau des Schüttmaterials, die Verdichtung der Schüttlage über dem Geokunststoff und der anschließende Bauverkehr in die Bestimmung der Geotextilrobustheitsklasse einbezogen.

Wenn Geokunststoffe als Trennelemente auf weichem und wenig tragfähigem Untergrund von  $E_{v2} \leq 15 \text{ MN/m}^2$  eingesetzt werden, ist davon auszugehen, dass Spurrinnen entstehen, sobald mit Bauverkehr zu rechnen ist. Es geht bei der Betrachtung der Verformungen also nicht um die im Endzustand des Straßenaufbaus zu erwartenden Spurrinnen, sondern um die, die bereits während der Bauphase auftreten und eine enorme Walkarbeit erzeugen können. Es ist somit davon auszugehen, dass relevante Spurrinnen mit einer Tiefe ( $t_s$ )  $\geq 5 \text{ cm}$  zu berücksichtigen sind.

AB	Einbau des Schüttmaterials	Verdichtung des Schüttmaterials	Erwartete Spurrinentiefe ( $t_s$ ) durch Bauverkehr
AB 1	von Hand	kein Einfluss	kein Bauverkehr
AB 2	maschinell	maschinell	< 5 cm
AB 3	maschinell	maschinell	5 cm bis 15 cm
AB 4	maschinell	maschinell	15 cm bis 30 cm
AB 5	maschinell	maschinell	> 30 cm

Tabelle 3: Definition Beanspruchungsfälle (AB)

Sind die vorgenannten Hinweise relevant, dann ergeben sich für die Festlegung der Geotextilrobustheitsklassen folgende besonders gekennzeichnete Standardfälle, die wiederum in rundkörniges (Tabelle 4) und scharfkantiges (Tabelle 5) Schüttmaterial zu unterscheiden sind:

	AB 1	AB 2	AB 3	AB 4	AB 5
AS 1	GRK 3	-	-	-	-
AS 2	GRK 3	GRK 3	GRK 3	GRK 4	GRK 5
AS 3	GRK 3	GRK 3	GRK 4	GRK 5	1)
AS 4	GRK 4	GRK 4	GRK 5	1)	1)
AS 5	GRK 5	GRK 5	1)	1)	1)

Tabelle 4: Definition Geotextilrobustheitsklassen (rundkörniges Schüttmaterial)

*Hinweis: In der Praxis können sich in gewissen Fällen bereits Überdeckungen von wenigen Zentimetern als zielführend erweisen, z. B. bei Trennlagen auf gut verdichteten Tragschichten als Unterlage für Pflasterbettungen.*

	AB 1	AB 2	AB 3	AB 4	AB 5
AS 1	GRK 3	-	-	-	-
AS 2	GRK 3	GRK 3	GRK 3	GRK 4	GRK 5
AS 3	GRK 3	GRK 3	GRK 4	GRK 5	1)
AS 4	GRK 4	GRK 4	GRK 5	1)	1)
AS 5	GRK 5	GRK 5	1)	1)	1)

Tabelle 5: Definition Geotextilrobustheitsklassen (scharfkantiges Schüttmaterial)

Für mit 1) gekennzeichnete Fälle (Tabelle 4 und 5) ist der Einsatz von Geogittern (ggfs. mit Vliesstoff kombiniert) zur Erhöhung der Gesamttragfähigkeit des Systems und zur Minderung der Spurrinntentiefe nach vorheriger Dimensionierung sinnvoll. Es sind auch „schwerere“ Vliesstoffe und Gewebe erhältlich, jedoch ist deren Einsatz nicht validiert und oft produktspezifisch. Ferner wäre eine Erhöhung der Schüttlagendicke oder auch die Verwendung von Schüttmaterial mit einer höheren Scherfestigkeit möglich.

*Hinweis: Nach Kap. 7.2.6.1 des M Geok E ist es für geotextile Verbundstoffe sinnvoll, die resultierende geotextile Robustheitsklasse des Verbundstoffes in einem repräsentativen Baustellenversuch zu bestimmen. Hierbei werden nach Überbauung Geokunststoffe bekannter GRK mit den verprobten Verbundstoffen verglichen und dadurch die GRK des Verbundstoffes nachgewiesen.*

## 1.2.2 Filterkriterien

Für die Dimensionierung und die Auswahl von Trennlagen aus Geokunststoffen werden vereinfachte Anwendungsregeln ohne rechnerische Nachweise herangezogen. Das sind die vereinfachten Filterkriterien der Tabelle 6, mit denen die Öffnungsweite  $O_{90}$  für Vliesstoffe bzw. Gewebe vorgegeben wird.

Geokunststoff	Anforderung
Vliesstoffe	$0,06 \text{ mm} \leq O_{90} \leq 0,2 \text{ mm}$
Gewebe	$0,06 \text{ mm} \leq O_{90} \leq 0,4 \text{ mm}$

Tabelle 6: Filterkriterien für Trennelemente

Weitere Details zu Filtern findet man auch im Merkblatt DWA-M 511 "Filtern mit Geokunststoffen" und im "Anwendungshandbuch zu den Merkblättern DWA-M 511 Filtern mit Geokunststoffen und BAW-Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG)" (Glabisch, 2019).

### 1.2.3 Witterungsbeständigkeit

Wie generell bei allen Geokunststoffen ist auch beim Einsatz von Geokunststoffen als Trennelement zu beachten, dass diese nur für einen begrenzten Zeitraum der unmittelbaren Witterung und Sonneneinstrahlung ausgesetzt werden dürfen. Idealerweise werden die verlegten Geokunststoffe unmittelbar nach ihrem Verlegen mit Boden überbaut und so vor Witterungseinflüssen geschützt. Sollte dies einmal nicht möglich sein, sind die maximal zulässigen Freiliegedauern der Tabelle 7 einzuhalten. Bei einer längeren Freibewitterung der Geokunststoffe kann nicht mehr grundsätzlich von einer uneingeschränkten Funktionalität ausgegangen werden.

Dies ist im Einzelfall zu überprüfen.

Restfestigkeit	≥ 60 %	> 20 %	≤ 20 %
Höchstzulässige Freiliegedauer	1 Monat	2 Wochen	1 Tag
Witterungsbeständigkeit	hoch	mittel	niedrig

*Tabelle 7: Witterungsbeständigkeit und höchstzulässige Freiliegedauer für Geokunststoffe ohne Bewehrungsfunktion*

### 1.3 Hinweise zur Produktauswahl

Typischerweise werden mechanisch verfestigte Vliesstoffe als Trennelement eingesetzt. Sofern die geplante Anwendung den Beanspruchungsfällen AB 4 und AB 5 zugeordnet wird, sind nach dem Merkblatt FGSV 535 (2016) hoch dehnfähige Produkte mit einer Dehnung bei Höchstzugkraft von > 50 % einzusetzen. Üblicherweise werden hohe Verformungen, die zu den Beanspruchungsfällen AB 4 und AB 5 führen, durch Verbundprodukte mit Trenn- und Bewehrungsfunktion vermieden. Hier setzt das Merkblatt FGSV 535 (2016) ein Ausschlusskriterium für Gewebe und viele thermisch verfestigte Vliesstoffe. In diesem Bereich sollen vornehmlich mechanisch verfestigte Vliesstoffe zum Einsatz kommen, die mit ihren Dehnungen den Verformungen des Untergrundes folgen können.

Aus der zuvor ermittelten Geotextilrobustheitsklasse (GRK) ergeben sich die in den nachfolgenden Tabellen aufgelisteten Anforderungen an die mechanischen Eigenschaften des einzusetzenden Trennelementes:

Vliesstoffe		
	Stempeldurchdrückkraft $R_{p,5\%}$	Masse pro Flächeneinheit $m_{5\%}$
GRK 3	≥ 1,5 kN	≥ 150 g/m <sup>2</sup>
GRK 4	≥ 2,5 kN	≥ 250 g/m <sup>2</sup>
GRK 5	≥ 3,5 kN	≥ 300 g/m <sup>2</sup>

*Tabelle 8: Anforderungen der GRK an Vliesstoffe*

Folienbändchen-/Spleißgarngewebe		
	Höchstzugkraft $R_{k0,5\%}$	Masse pro Flächeneinheit $m_{5\%}$
GRK 3	$\geq 35 \text{ kN/m}$	$\geq 180 \text{ g/m}^2$
GRK 4	$\geq 45 \text{ kN/m}$	$\geq 220 \text{ g/m}^2$
GRK 5	$\geq 50 \text{ kN/m}$	$\geq 250 \text{ g/m}^2$

Tabelle 9: Anforderungen der GRK an Folienbändchen- oder Spleißgarngewebe aus Polyolefinen

Multifilamentgewebe		
	Höchstzugkraft $R_{k0,5\%}$	Masse pro Flächeneinheit $m_{5\%}$
GRK 3	$\geq 150 \text{ kN/m}$	$\geq 320 \text{ g/m}^2$
GRK 4	$\geq 180 \text{ kN/m}$	$\geq 400 \text{ g/m}^2$
GRK 5	$\geq 250 \text{ kN/m}$	$\geq 550 \text{ g/m}^2$

Tabelle 10: Anforderungen der GRK an Multifilamentgewebe (meist Polyester)

Auch wenn die Trennfunktion von Geokunststoffen in aller Regel in Kombination mit anderen Funktionen wie dem Filtern oder Bewehren zum Einsatz kommt, ist sie eine sehr wichtige Funktion, die unter Umständen entscheidend für den erfolgreichen Einsatz der Geokunststoffe sein kann. So ist z. B. im Verkehrswegebau auf sehr gering tragfähigem Untergrund die Trennfunktion erforderlich, um den darüberliegenden Schichten eine Bettung zu bieten, mit der die Scherfestigkeit des Tragschichtmaterials aktiviert werden kann. Diese tragende Funktion übernehmen in der Regel Verbundstoffe mit Trenn- und Bewehrungsfunktion. So ist eine Mindesttragfähigkeit Voraussetzung für den weiteren Aufbau, evtl. einer bewehrten Tragschicht (Bräu & Vogt, 2011). Erst dann können auch Kräfte in eine möglicherweise vorgesehene Bewehrung eingeleitet werden.

Weiterhin kann ein Trennelement nur dann zum Einsatz kommen, wenn es eine charakteristische Öffnungsweite in der Bandbreite der Tabelle 6 hat. Weitere Kriterien für die Berücksichtigung der charakteristischen Öffnungsweite und der hydraulischen Leistungsfähigkeit finden sich in Kapitel 2.

## 1.4 Umweltunbedenklichkeit

Die Umwelt ist ein hohes Gut, das es zu schützen gilt. Das Merkblatt ist derzeit das einzige Dokument in Deutschland, das sich explizit zum Einfluss von Geokunststoffen auf die Umwelt bezieht und einen Weg zur Beurteilung der Umweltunbedenklichkeit aufzeigt. Um in der Terminologie der Geotechnik zu bleiben und mit der Beurteilung von Böden vergleichbare Ergebnisse zu erhalten, erfolgt die Beurteilung der Umweltunbedenklichkeit von Geokunststoffen nach der Bundesbodenschutzverordnung BBodSchV (2017). Durch die Umrechnung von Masse pro Volumeneinheit von Geokunststoffen (bezogen auf einen Kubikmeter Boden) wurde das Massenverhältnis Wasser zu Boden so modifiziert, dass es dem ungünstigen Einsatzfall von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaus gerecht wird und somit eine Beurteilung anhand der Grenzwerte des Pfades Boden-Wasser der BBodSchV (2017) vorgenommen werden kann. Mittlerweile hat sich diese Vorgehensweise auch im Verkehrswegebau der Eisenbahnen und im Wasserbau durchgesetzt und findet sich in den entsprechenden Regelwerken und Empfehlungen der zuständigen Bundesbehörden und -anstalten.

Die Umweltunbedenklichkeit ist durch den Hersteller bzw. den Lieferanten der Geokunststoffe durch entsprechende Prüfungen zu belegen.

Ein Geokunststoff ist dann unbedenklich für die Umwelt, wenn die Inhaltsstoffe der nach dem Merkblatt FGSV 535 (2016) hergestellten Eluate folgende Prüfwerte einhalten:

Substanz	Prüfwert µg/l
Antimon	≤ 10
Arsen	≤ 10
Blei	≤ 25
Cadmium	≤ 5
Chrom, gesamt	≤ 50
Chromat	≤ 8
Kobalt	≤ 50
Kupfer	≤ 50
Molybdän	≤ 50
Nickel	≤ 50
Quecksilber	≤ 1
Selen	≤ 10
Zink	≤ 500
Zinn	≤ 40
Cyanid, gesamt	≤ 50
Cyanid, leicht freisetzbar	≤ 10
Fluorid	≤ 750
Mineralölkohlenwasserstoffe	≤ 200
BTEX	≤ 20
Benzol	≤ 1
LHKW	≤ 10
Aldrin	≤ 0,1
DDT	≤ 0,1
Phenole	≤ 20
PCB, gesamt	≤ 0,05
PAK, gesamt	≤ 0,20
Naphthalin	≤ 2

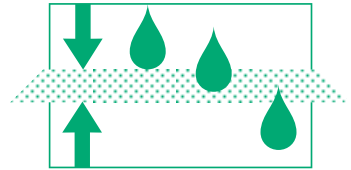
*Tabelle 11: Prüfwerte für die Feststellung der Umweltunbedenklichkeit von Geokunststoffen*



## 2 Geokunststoffe als Filterelement

### 2.1 Allgemeines

Geokunststoffe mit Filterfunktion verhindern den uneingeschränkten Austausch von Bodenteilchen in der Grenzfläche zweier von Wasser durchströmter Böden oder in der Kontaktfläche zwischen zu entwässerndem Boden und Entwässerungssystem.



Üblicherweise handelt es sich um ein Geotextil zwischen zwei Bodenschichten, z. B. einer feinkörnigen Schicht und einer Dränschicht. Dadurch soll verhindert werden, dass Wasser, das aus der feinkörnigen Bodenschicht in die Dränschicht fließt, Erdstoff von der einen in die andere Bodenschicht transportiert. Unter Berücksichtigung der Phänomene Suffusion, Erosion und Kolmation kann dieser Transport von Fraktionen die Stabilität des Korngerüsts der feinkörnigen Schicht auf der einen Seite negativ beeinflussen und auf der anderen Seite die Leistungsfähigkeit der Dränschicht oder ihr Retentionsvermögen herabsetzen.

In gleicher Weise übernehmen Filterelemente ihre Aufgabe bei Sickeranlagen und in kombinierten Geokunststoffdränelementen.

Gleichzeitig trennen sie die jeweiligen Schichten voneinander, so dass die in Kapitel 1 gemachten Ausführungen zu berücksichtigen sind.

Sind Filterelemente Teil einer Entwässerungsanlage, so sind FGSV 539 (2005) und FGSV 598 (2014) zu beachten, in Wasserschutzgebieten zusätzlich FGSV 514 (2016) sowie DWA-M 511 (2017).

Neben der Überprüfung, ob ein Filterelement so robust gebaut ist (Geotextilrobustheitsklassen, Kapitel 1), dass es seine Funktion auch noch nach dem Einbau und der darauffolgenden Verdichtung vollumfänglich besitzt, ist die Filterstabilität gegenüber dem Boden auf der Anströmseite des Wassers nachzuweisen. Für diese Beurteilung können die in Tabelle 12 aufgelisteten Eigenschaften mit herangezogen werden.

Mechanische Eigenschaft	Prüfverfahren	Anforderung
Robustheit gegen Einbaubeschädigung	FGSV 535 (2016)	Tabelle 4 und Tabelle 5
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864 (2005)	Tabelle 8, Tabelle 9 und Tabelle 10
Dicke	DIN EN ISO 9863-1 (2016)	$\geq 1 \text{ mm}$
Durchdrückkraft	DIN EN ISO 12236 (2006)	Tabelle 8
Höchstzugkraft	DIN EN ISO 10319 (2015)	Tabelle 9 und Tabelle 10
Höchstzugkraftdehnung	DIN EN ISO 10319 (2015)	$\geq 30$
Öffnungsweite des Filters	DIN EN ISO 12956 (2010)	Tabelle 14
Wasserdurchlässigkeit	DIN 60500-4 (2007)	$k_{v,5\%} > k_f\text{-Boden}$ $k_{v,5\%} \geq 1 \times 10^{-4} \text{ m/s}$
Dauerhaftigkeit	DIN EN 13249 ff (2016)	CE-Kennzeichnung
Witterungsbeständigkeit	DIN EN 12224 (2000)	Tabelle 7
Umweltunbedenklichkeit	FGSV 535 (2016)	Tabelle 11

Tabelle 12: Eigenschaften von Geokunststoffen als Filterelement

## 2.2 Hinweise zur Dimensionierung

### 2.2.1 Hydraulische Sicherheitsfälle

Die üblicherweise für Geokunststoffe als Filterelement angewendeten Nachweise für die mechanische und hydraulische Filterwirksamkeit stellen auf die charakteristische Öffnungsweite nach DIN EN ISO 12956 (2010) ab. Die im Merkblatt FGSV 535 (2016) zusammengefassten Informationen sind nur für filtertechnisch einfache Fälle gedacht. Allerdings ist das dort beschriebene Verfahren kein Bemessungsverfahren, sondern eine Hilfestellung bei der Produktauswahl unter Berücksichtigung, dass es sich um Bauwerke mit geringen Sicherheitsanforderungen an das Filterelement und einfache filtertechnische Problemstellungen handelt. Im Merkblatt FGSV 535 (2016) werden 3 hydraulische Sicherheitsfälle für die mechanische Filterwirksamkeit beschrieben, wobei nur die hydraulischen Sicherheitsfälle I und II als filtertechnisch einfach gelten und hierfür ein vereinfachtes Auswahlverfahren anstatt der für komplexere Aufgaben notwendigen Bemessung angewendet wird. Genauso ausgeschlossen sind auch Dimensionierungen für filtertechnisch schwierige Böden, die mit ihrem Körnungsband in Bereich II der Abbildung 3 liegen. Mit der mechanischen Filterwirksamkeit ist sicherzustellen, dass das Filterelement ein ausreichendes Bodenrückhaltevermögen hat.

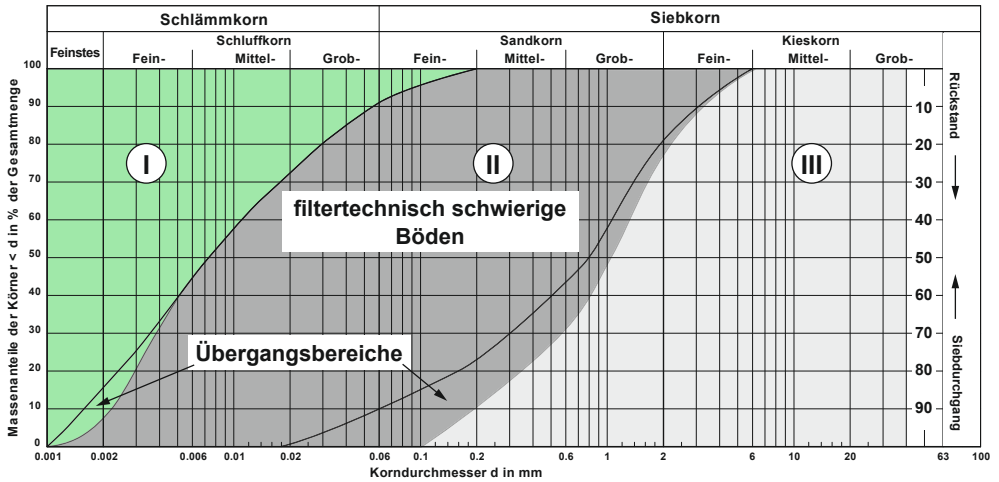


Abbildung 3: Definition filtertechnisch schwieriger Böden (FGSV 535, 2016)

*Hinweis: Das Diagramm der Abbildung 3 ist eine Einschränkung, wie sie gerade wieder diskutiert wird, da es die ideale „kleine“ Öffnungsweite (siehe Kapitel 2.3 und Tabelle 14) nicht gibt. Baustellenerfahrungen lassen den Schluss zu, dass die hydraulische Leistungsfähigkeit von Vliesstoffen mit der Zeit sinkt, wenn einfach ein Vliesstoff mit einer möglichst kleinen charakteristischen Öffnungsweite gewählt wird. Um die langfristige Wasserdurchlässigkeit sicherzustellen, sollte ein Vliesstoff mit einer Öffnungsweite an der oberen Grenze des hydraulischen Ansatzes gewählt werden. Die Abbildung 3 ist im aktuellen Merkblatt FGSV 535 (2016) nicht enthalten.*

Hydraulischer Sicherheitsfall I	Hydraulischer Sicherheitsfall II	Hydraulischer Sicherheitsfall III
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anfall geringer Wassermengen</li> <li>- einseitige Anströmung</li> <li>- geringes hydraulisches Gefälle</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- mittlere Wassermengen bei einseitiger Anströmung</li> <li>- geringe Wassermengen bei beidseitiger Anströmung</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- einseitige konzentrierte Anströmung</li> <li>- großflächige wechselseitige Anströmung mit hohem Wasseranfall</li> </ul>

*Tabelle 13: Kriterien für hydraulische Sicherheitsfälle*

Darüber hinaus ist immer dann vom hydraulischen Sicherheitsfall III auszugehen, wenn auch nur ein lokales oder teilweises Versagen des Filterelementes das Bauwerk beeinträchtigt. In einer solchen Situation ist der Filter für den Einzelfall unter besonderer Berücksichtigung der hydraulischen Bedingungen des Bauwerks zu dimensionieren. Dieser Anwendungsfall wird vom Merkblatt FGSV 535 (2016) nicht abgedeckt. Gleiches gilt für den hydraulischen Sicherheitsfall II, wenn suffusionsgefährdete und filtertechnisch schwierige, z. B. erosionsgefährdete Böden zu entwässern sind.

Die Erosionsgefährdung ist je nach Bodengruppe differenziert zu betrachten. Das Merkblatt FGSV 535 (2016) beschränkt sich hier auf Ausschlusskriterien. Für Böden mit einem erheblichen Grobschluff- und Feinsandanteil sowie geringen kohäsiven Eigenschaften ist wegen der möglichen Einzelkornmobilität die Anwendung der genannten vereinfachten Verfahren ausgeschlossen. Besser nachvollziehbar dafür ist der Grenzwert für die Ungleichförmigkeitszahl  $U < 5$ , wobei die Ungleichförmigkeitszahl als  $U = d_{60}/d_{10}$  definiert ist. Oft liegen Böden der Bodengruppen UL, SE oder SI nach DIN 18196 (2011) in diesem Bereich.

Auch für die Bestimmung der Suffusionsgefährdung wird eine einfache Grenzwertbetrachtung über den Verlauf der Körnungslinie angestellt. Das Merkblatt FGSV 535 (2016) beschreibt solche Böden als suffusionsgefährdet, die keine Plastizität besitzen und deren Ungleichförmigkeitszahl bei einem stetigen Verlauf der Körnungslinie  $U > 14$  ist oder die eine Ausfallkörnung unterhalb 40 M-% im Siebdurchgang aufweisen.

Aus den Zustandsgrenzen des zu untersuchenden Bodens können mit Hilfe der Abbildung 4 Rückschlüsse auf seine Plastizität gezogen werden.

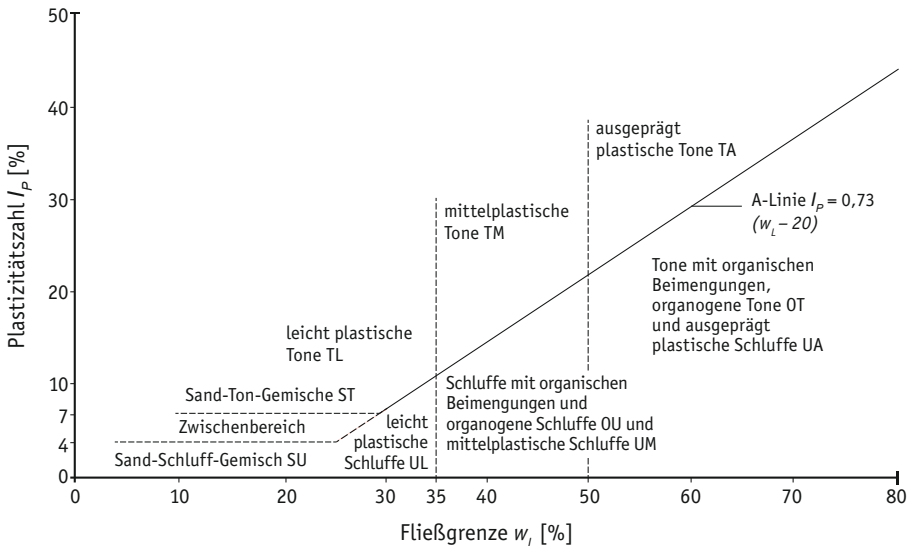


Abbildung 4: Plastizitätsdiagramm für Böden

*Hinweis: Grundsätzlich ist bei der Zuordnung zu den hydraulischen Sicherheitsfällen I und II zu bedenken, dass die im Merkblatt FGSV 535 (2016) genannten Faustregeln nur ein Leitfaden für einfache Anwendungen im Straßenbau sind. Andere Anwendungsbereiche erfordern unter vergleichbaren Randbedingungen möglicherweise deutlich detailliertere Betrachtungen. Im hydraulischen Sicherheitsfall III ist der Filtervliesstoff entsprechend dem Merkblatt DWA-M 511 zu dimensionieren. In der Regel genügen Gewebe den dort genannten Anforderungen nicht.*

## 2.2.2 Wasserdurchlässigkeit

Mit der hydraulischen Filterwirksamkeit soll die erforderliche Wasserdurchlässigkeit auf Dauer sichergestellt werden. Ziel ist es, das Wasser druckfrei abzuleiten. Es kann davon ausgegangen werden, dass dies der Fall ist, wenn die Durchlässigkeit des Filterelementes größer ist als die des zu entwässernden Bodens und wenn der Wasserdurchlässigkeitsbeiwert  $k_{v,5\%} \geq 1 \times 10^{-4}$  m/s ist. Nach Möglichkeit sollte ein  $k_v$ -Wert, der in Untersuchungen zur Wasserdurchlässigkeit normal zur Ebene des Filterelementes nach DIN 60500-4 (2007) bzw. in Anlehnung daran bestimmt wurde, verwendet werden. Dies ist eine direkte Messung, bei der mit einer Auflast gemessen werden kann, die den tatsächlichen Gegebenheiten entspricht und bei der die auflastabhängige Dicke des Filterelementes berücksichtigt wird.

Umrechnungen des Geschwindigkeitsindex  $VI_{50,5\%}$  nach DIN EN ISO 11058 (2010) über die Schichtdicke des Filterelementes bzw. aus Messungen nach DIN EN ISO 10776 (2012) in einen Durchlässigkeitsbeiwert  $k_v$  sind ungenauer und sollten nur hilfsweise angewendet werden.

Um die mittels Durchlässigkeitsbeiwert ermittelte Wasserdurchlässigkeit in ausreichendem Maße langfristig zu ermöglichen, ist die Kolmationssicherheit des Systems nachzuweisen. Nach dem Merkblatt FGSV 535 (2016) kann Kolmation grundsätzlich eingeschränkt und behindert werden, wenn ein Filterelement gewählt wird, dessen charakteristischer  $O_{90}$ -Wert nahe an der Obergrenze des zulässigen maximalen  $O_{90}$  für den jeweiligen Boden liegt und  $\geq 0,20$  x maximaler  $O_{90}$  ist. Für den hydraulischen Sicherheitsfall I kann hier grundsätzlich an die Obergrenze der gegebenen Bandbreite aus Tabelle 14 gegangen werden.

Filtertechnisch komplexere Anwendungen, angefangen mit dem im Merkblatt FGSV 535 (2016) beschriebenen hydraulischen Sicherheitsfall III, sind nach weiterführenden Empfehlungen und Regelwerken zu bemessen. Dazu sei hier, ohne Anspruch auf Vollständigkeit, lediglich auf Heyer & Krug (1999) sowie MAG der BAW (1993) und DWA-M 511 (2017) verwiesen.

## 2.3 Hinweise zur Produktauswahl

Nach dem Merkblatt FGSV 535 (2016) können sowohl Vliesstoffe als auch Gewebe als Filterelement eingesetzt werden. Genannt werden Gewebe nur für den hydraulischen Sicherheitsfall I. Auch wenn das Merkblatt FGSV 535 (2016) Gewebe für den hydraulischen Sicherheitsfall II nicht explizit ausschließt, wird die Wahl des Produktes mit der Festlegung der oberen Grenze für die charakteristische Öffnungsweite  $O_{90}$  in der Regel auf einen Vliesstoff fallen müssen, da Gewebe produktionstechnisch eine größere Öffnungsweite besitzen.

Erfüllen beide Produktgruppen, Vliesstoffe und Gewebe, die Anforderungen an die charakteristische Öffnungsweite  $O_{90}$ , dann kann davon ausgegangen werden, dass die mechanische Filterstabilität auch in dem vom Merkblatt FGSV 535 (2016) geforderten Umfang sichergestellt werden kann. Dies ist die vornehmliche Randbedingung für den hydraulischen Sicherheitsfall I. Kommen erhöhte Anforderungen an die hydraulische Filterstabilität hinzu, wie für die hydraulischen Sicherheitsfälle II und III, dann geht die Leistungsfähigkeit von Vliesstoffen und Geweben auseinander. Korrekt dimensionierte Vliesstoffe weisen auch bei Bodeneinlagerungen eine ausreichende hydraulische Filterstabilität auf, die ein druckfreies Ableiten des anströmenden Wassers erlaubt, während es bei Geweben zu Einschränkungen der Durchlässigkeit kommen kann (Heerten, 1981).

Die hydraulische Leistungsfähigkeit eines Filterelements nimmt mit seiner Dicke zu. Diese Anforderung sollte nur bei geringen Sicherheitsniveaus und geringen Beanspruchungen entfallen (BAW, 1993).

Auch wenn es sich bei den beschriebenen Anwendungen des Merkblattes FGSV 535 (2016) im Straßenbau vornehmlich um einfache Anwendungen handelt, bei denen ein verzögerter Ablauf des anströmenden Wassers zu einem Rückstau führen kann und dies nicht gleichbedeutend mit einem Standsicherheitsverlust des Erdbauwerkes ist, sind funktionale Einschränkungen des Bauwerkes, also seine Gebrauchstauglichkeit, zu prüfen.

Bei den zuvor gemachten Ausführungen ist immer von einer optimalen Bettung des Filterelementes ausgegangen worden. Dies ist für den Straßenbau kritisch zu hinterfragen, da sowohl die Bettung durch unterschiedliche Körnungsbänder der angrenzenden Bodenschichten als auch die Spurrinnenbildung besondere Beanspruchungen darstellen. Als ein Kriterium, das im Straßenbau zum Einbaupunkt des Filterelementes oftmals nicht erfüllt wird, ließe sich z. B. eine Tragfähigkeit des Untergrundes von  $E_{v2} \geq 30 \text{ MN/m}^2$  aus DWA-M 512-1 (2012) anführen, wenn die mit dem Filterelement belegte Fläche befahren werden soll.

Der vorgesehene Geokunststoff muss also in seiner Struktur so beschaffen sein, dass die charakteristische Öffnungsweite trotz der erhöhten mechanischen Anforderungen auch über den Einbau hinaus erhalten bleibt und sich z. B. Elemente des Gewebes nicht verschieben und sich die ursprüngliche charakteristische Öffnungsweite  $O_{90}$  nicht ändert, obwohl es zu deutlichen Verformungen in der Filterebene kommen kann. Vliesstoffe haben diesbezüglich bei gleicher Geotextilrobustheitsklasse (GRK) einen deutlich größeren Sicherheitspuffer als Gewebe.

Für den hydraulischen Sicherheitsfall I werden allgemeingültige Öffnungsweiten für Vliesstoffe und Gewebe im Merkblatt FGSV 535 (2016) festgelegt. Die charakteristische Öffnungsweite für den hydraulischen Sicherheitsfall II ist in Abhängigkeit vom zu entwässernden Boden nach Tabelle 14 auszuwählen. Hier sollten ausschließlich Vliesstoffe eingesetzt werden.

Kriterium für	Charakteristische Öffnungsweite
Hydraulischer Sicherheitsfall I	
Vliesstoffe	$0,06 \text{ mm} \leq O_{90} \leq 0,2 \text{ mm}$
Gewebe	$0,06 \text{ mm} \leq O_{90} \leq 0,4 \text{ mm}$
Hydraulischer Sicherheitsfall II	
Geotextil in Kontakt mit kohäsiven Böden	$0,06 \text{ mm} \leq O_{90} \leq 0,20 \text{ mm}$
Geotextil in Kontakt mit Grobschluff bis Feinsand	$0,06 \text{ mm} \leq O_{90} \leq 0,11 \text{ mm}$
Geotextil in Kontakt mit Feinsand	$0,06 \text{ mm} \leq O_{90} \leq 0,13 \text{ mm}$
Geotextil in Kontakt mit Mittelsand	$0,08 \text{ mm} \leq O_{90} \leq 0,30 \text{ mm}$
Geotextil in Kontakt mit Grobsand	$0,12 \text{ mm} \leq O_{90} \leq 0,60 \text{ mm}$

Tabelle 14: Anforderungen hydraulischer Sicherheitsfälle an  $O_{90}$

Es sollte ein Filterelement gewählt werden, dessen charakteristischer  $O_{90}$ -Wert nahe an der Obergrenze des zulässigen maximalen  $O_{90}$  für den jeweiligen Boden liegt und  $\geq 0,20 \times$  maximaler  $O_{90}$  ist.

*Hinweis: Die im Straßenbau marktüblichen Produkte weisen Öffnungsweiten am unteren Grenzwert der in Tabelle 14 verzeichneten Spanne auf. Produkte mit höheren Öffnungsweiten sind auf Anfrage bei qualifizierten Herstellern verfügbar.*

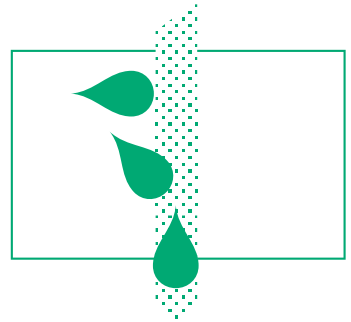


## 3 Geokunststoffe als Dränelement

### 3.1 Allgemeines

Das Dränen ist eine Kombination aus Permeabilität und Transmissivität eines Geokunststoffsystems zum Sammeln und Ableiten von Flüssigkeiten und Gasen.

Mit Hilfe der Permeabilität wird die Durchlässigkeit gegenüber Flüssigkeiten oder Gasen normal zur Ebene eines Geokunststoffes unter Einbeziehung des dabei auftretenden Druckverlustes ausgedrückt.



Die Transmissivität beschreibt die Durchlässigkeit eines Geokunststoffes in seiner Ebene für Flüssigkeiten oder Gase in Abhängigkeit eines definierten Energiehöhengefälles.

Dränelemente erfüllen Aufgaben der Entwässerung im Erdbau und bei Bauwerken von erdberührten Teilen. Geokunststoffe werden dann als Äquivalent für mineralische Sickermaterialien zum Sammeln und Ableiten von Wasser genutzt. Die Ausführungen in diesem Handbuch beschränken sich auf das Abführen von Wasser. Im Deponiebau zum Beispiel können Geokunststoffe auch zum Sammeln und Ableiten von Deponiegasen genutzt werden.

Oftmals macht es Sinn, über das Merkblatt FGSV 535 (2016) hinaus weiterführende Regelwerke zu berücksichtigen. Entweder sind sie für bestimmte Bereiche verbindlich vorgegeben, wie die Richtzeichnung BAST-WAS 7 (2007) für die Hinterfüllung von Bauwerken im Straßenbau, oder sie bieten Anhaltspunkte für die notwendige Leistungsfähigkeit wie die DIN 4095 (1990) für die allgemeine Bauwerksdränung.

Zur Entwässerung im Erdbau gehört auch der Einsatz von vorgefertigten Vertikaldräns (FGSV 542, 2010). Diese meist etwa 10 cm breiten Dränelemente werden mit Lanzen in einem dreiecksförmigen Raster in den Boden gedrückt, um den bei Aufschüttungen und Überbauungen beginnenden Konsolidierungsprozess zu beschleunigen. Mit Hilfe der Vertikaldräns kann der Porenwasserüberdruck abgebaut und überschüssiges Porenwasser auf kurzem Wege abgeleitet werden. Dabei werden zwei Phänomene genutzt. Zum einen ist die Schichtung von Böden in der Regel horizontal, so dass Böden im Allgemeinen eine höhere horizontale als vertikale Wasserdurchlässigkeit aufweisen. Dies wird durch die Vertikaldräns verbessert. Zum anderen werden durch die Geokunststoffe die Dränwege verkürzt.

Auch Dränung von Tunneln in offener oder geschlossener Bauweise stellt ein besonderes Anwendungsfeld von Geokunststoffen als Dränelement dar, das den Straßenbau berührt. Hier werden z. B. neben der technischen Leistungsfähigkeit besondere Anforderungen an das Brandverhalten, insbesondere während der Einbauphase, und an die Dauerhaftigkeit gestellt. Geokunststoffe können in Tunneln besonderen Anforderungen ausgesetzt sein, wie z. B. erhöhten Temperaturen, die die Alterung der Kunststoffe beeinflussen, oder müssen aggressive Bergwässer sammeln und abführen. All diese Betrachtungen sind vor dem Hintergrund anzustellen, dass Wartungsarbeiten in Tunneln sehr aufwendig sind. Die Versinterung von Dränelementen aufgrund von Kalkablagerungen aus alkalischen Bergwässern oder Kolmation durch die Einlagerung von Fein- und Feinstkorn spielen eine entscheidende Rolle bei der Auswahl geeigneter Dränelemente. Oft sind Dränelemente im Tunnelbau integrale Bestandteile des Dichtungssystems und haben gleichzeitig auch eine Schutzfunktion. Weiterführende Hinweise finden sich in DGGT 2017.

Die in der nachfolgenden Tabelle 15 zusammengefassten Eigenschaften spielen für die im Merkblatt FGSV 535 (2016) beschriebenen Anwendungen von Dränelementen eine Rolle:

Mechanische Eigenschaft	Prüfverfahren	Anforderung
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864, 2005	Deklaration
Dicke	DIN EN ISO 9863-1, 2016	Deklaration, Tabelle 17
Höchstzugkraft	DIN EN ISO 10319, 2015	Deklaration
Höchstzugkraftdehnung	DIN EN ISO 10319, 2015	Deklaration
Druckkriechverhalten	DIN EN 25619, 2009	ist als Abminderungsfaktor D1 zu berücksichtigen
Robustheit gegen Einbaubeschädigung	GDA E2-20, 2016	ist als Abminderungsfaktor D2 zu berücksichtigen
Wasserableitkapazität	DIN EN ISO 12958, 2010	Deklaration, Tabelle 17
Öffnungsweite des Filters	DIN EN ISO 12956, 2010	Tabelle 14
Wasserdurchlässigkeit des Filters	DIN 60500-4, 2007	$k_{v,5\%} > k_f$ -Boden $k_{v,5\%} \geq 1 \times 10^{-4}$ m/s Tabelle 17
Dauerhaftigkeit	DIN EN 13249 ff, 2016	CE-Kennzeichnung
Witterungsbeständigkeit	DIN EN 12224, 2000	Tabelle 7
Umweltunbedenklichkeit	FGSV 535, 2016	Tabelle 11

Tabelle 15: Eigenschaften von Geokunststoffen als Dränelement

Für die Abminderungsfaktoren  $D$  der Dränelemente (Tabelle 16) ist eine Einschätzung unter Berücksichtigung der tatsächlichen Verhältnisse auf der Baustelle und den Einsatzbedingungen im Bauwerk vorzunehmen.

## 3.2 Hinweise zur Dimensionierung

### 3.2.1 Allgemeines

Die Bemessung von Dränelementen reicht von der bloßen Auswahl von Produkten unter Berücksichtigung verschiedener Kennwerte über eine einfache Dimensionierung bis hin zum detaillierten rechnerischen Nachweis. Im Falle der Hinterfüllung von Bauwerken orientiert man sich an der Richtzeichnung BAST WAS 7 (2007) oder, wo anwendbar, an der DIN 4095 (1990). Hier reiht sich auch das Merkblatt FGSV 535 (2016) ein und beschreibt, dass für normale Anwendungen eine langfristige Abflussleistung des Dränelementes von  $q_{d,A} \geq 0,1 \text{ l}/(\text{s} \times \text{m})$  – gemessen bei einem hydraulischen Gefälle von  $i = 1$  unter Berücksichtigung von einem Abminderungsfaktor  $D = 2,0$  und einem Teilsicherheitsbeiwert  $S = 1,1$  – ausreichend ist.

Der Abminderungsfaktor  $D$  des Merkblattes FGSV 535 (2016) schließt ein, dass

- die Bedingungen auf der Baustelle andere sind als im Labor,
- das Dränelement während des Einbaus beansprucht wird,
- es im Bereich der Überlappungen und Stöße zu Querschnittsveränderungen im Abflussprofil kommen kann,
- Bodeneinträge die Abflussleistung beeinflussen können.

Unter Berücksichtigung dieser Einwirkungen, die nicht weiter quantifiziert werden, beschreibt das Merkblatt FGSV 535 (2016), dass eine charakteristische Abflussleistung von  $q_{k,A,5\%} \geq 0,3 \text{ l}/(\text{s} \times \text{m})$  ausreichend ist, um „normale“ Anwendungen im Straßenbau abzudecken.

Die Anwendung von Abminderungsfaktoren und eines Sicherheitsbeiwertes zeigt bereits, dass die Bemessung von Dränelementen oftmals eben nicht nur die einfache Auswahl eines Produktes nach seinen Kennwerten ist. Um die Auswahl des richtigen Geokunststoffes zu optimieren bzw. um auch technische Lösungen entwickeln zu können, sollten die äußeren Einflussgrößen auf das Dränelement weiter untersucht und in die Eignungsbeurteilung einbezogen werden.

Ein solcher Planungsprozess setzt sich dann in der Regel aus drei wesentlichen rechnerischen Nachweisen zusammen:

- Nachweis der Dränleistung
- Nachweis der mechanischen und hydraulischen Filterstabilität
- Nachweis der Standsicherheit

### 3.2.2 Nachweis der Dränleistung

Ansätze für die Nachweisführung der Dränleistung, die über das Merkblatt FGSV 535 (2016) hinausgehen, bietet zum Beispiel GDA E2-20 (2016). Ganz deutlich wird dabei, dass die im Merkblatt FGSV 535 (2016) genannten Einflussgrößen auf die Leistungsfähigkeit eines Dränelementes unterschiedlich zu gewichten sind. Richtwerte für die einzelnen Abminderungsfaktoren nach GDA E2-20 (2016) sind in Tabelle 16 zusammengefasst:

Faktor	Beschreibung	Wert
$D_1$	Abminderungsfaktor für in der Abschätzung des Langzeit-Wasserableitvermögens nicht berücksichtigte Streuung der Messdaten	1,3
$D_2$	Abminderungsfaktoren für die Beeinträchtigung des Wasserableitvermögens durch unvermeidliche geringfügige Einbaubeanspruchungen	1,2
$D_3$	Abminderungsfaktor für Beeinträchtigungen des Wasserableitvermögens durch lokale Querschnittsänderungen (Überlappungen, Stöße, Bauteilanschlüsse)	1,2
$D_4$	Abminderungsfaktor für Beeinträchtigung des Wasserableitvermögens durch langwierige Einwirkungen im eingebauten Zustand (Ausfällung, Bodeneintrag, Wurzeln)	1,1 bis 2,0

Tabelle 16: Abminderungsfaktoren für Dränelemente

Eine Differenzierung zwischen dem Ansatz des Merkblattes FGSV 535 (2016) und dem detaillierteren Vorgehen in GDA E2-20 (2016) macht immer dann Sinn, wenn das Dränelement nur mit einer dünnen Deckschicht überbaut wird. Dort wären dann Abminderungsfaktoren  $D_4$  in Richtung 2,0 anzugeben, so dass es je nach Art des Bewuchses auf begrüntem Böschungen zu funktionalen Einschränkungen der Dränelemente kommen könnte.

Unter Berücksichtigung der nachfolgenden Gleichung ist der Bemessungswert des für den Nachweis zu verwendenden Langzeit-Wasserableitvermögens zu berechnen.

$$q_{d,A} = \frac{q_{k,A,5\%}}{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3 \cdot D_4}$$

Wenn nicht den Werten der Tabelle 16 gefolgt wird, dann ist der zusätzliche Sicherheitsbeiwert  $S = 1,1$  zu berücksichtigen.

Es ist zu beachten, dass die bisher genannten Ansätze das Langzeit-Abflussvermögen als Ausgang der Bemessung ansehen. Dieser Wert ist also nicht der charakteristische Wert des Wasserableitvermögens des Dränelementes nach der Produktion, sondern berücksichtigt das Druck-Kriechverhalten und damit die mit der Zeit abnehmende Dicke und Wasserableitkapazität unter Beanspruchung. Dazu werden Druck-Kriechversuche mit verschiedenen Auflasten durchgeführt. Mit diesen Versuchen können unterschiedliche Zeiträume und Druckbeanspruchungen berücksichtigt werden. Ergebnis dieser Versuche und deren Auswertung ist die zu erwartende Dicke des Dränelementes, die sich nach einer bestimmten Nutzungsdauer unter der korrespondierenden ständigen Druckbeanspruchung einstellt. In Versuchen zur Ermittlung der Wasserableitkapazität der Dränelemente nach DIN EN ISO 12958 (2010) wird der Geokunststoff dann durch Aufbringen einer vertikalen Last soweit zusammengedrückt, bis er die zu erwartende Dicke erreicht hat. Dann wird das Wasserableitvermögen ermittelt.

Bei den Versuchen kann das hydraulische Gefälle dem tatsächlichen Einsatzzweck angepasst werden. Da sich aus diesen Randbedingungen eine ganze Matrix von Versuchen ergibt, kann es notwendig sein, zwischen den Messwerten für das hydraulische Gefälle zu interpolieren und die Auflast so zu wählen, dass die tatsächlich zu erwartende Beanspruchung kleiner oder gleich einer gemessenen Auflast ist.

*Hinweis: Für die Ermittlung der Wasserableitkapazität ist die Bettung des Dränelementes von entscheidender Bedeutung. Die Bettung des Dränelementes wird entweder mit einer formstabilen Platte (hart), z. B. um ein Betonaufleger oder eine Kunststoffdichtungsbahn zu simulieren, bzw. mit einem Schaumstoff- oder Gummiaufleger (weich), um z. B. das anstehende Erdreich nachzubilden, geprüft. Die Bettungsbedingungen sind baustellenspezifisch zu überprüfen. Die Bettungsbedingungen hart/hart ergeben in der Regel höhere Ableitkapazitäten als einseitig oder beidseitig weiche Bettungen. Deshalb gelten Prüfungen mit beidseitig weichen Bettungsbedingungen als auf der sicheren Seite liegend.*

### 3.2.3 Nachweis der mechanischen und hydraulischen Filterwirksamkeit

Für den Nachweis der mechanischen und hydraulischen Filterstabilität sind die Ausführungen des Kapitels 2 dieses Handbuchs anzuwenden. Bei komplexeren Aufgabenstellungen sei an dieser Stelle auf weiterführende Literatur verwiesen.

### 3.2.4 Nachweis der Standsicherheit

Wenn es sich um eine Bauwerksdränung handelt, kann das Dränelement unter einem Winkel von bis zu 90°, ohne dass ein Standsicherheitsnachweis erforderlich ist, eingebaut werden. Soll das Dränelement jedoch z. B. unter dem Oberboden eines Regenrückhaltebeckens eingebaut werden und ergeben sich daraus Neigungen, die einen Böschungswinkel von 10° überschreiten, so ist der statische Nachweis der Standsicherheit zu führen. Dies kann sowohl in Anlehnung an DGGT (2010) als auch GDA E3-8 (2016) erfolgen. Bei flachen Böschungen ist lediglich zu zeigen, dass die innere Scherfestigkeit des Dränelementes sowie der Scherwiderstand in den Kontaktflächen zu den darüber- und darunterliegenden Schichten unter Berücksichtigung der zu beachtenden Teilsicherheitsbeiwerte so groß ist, dass eine ausreichende Sicherheit gegen Gleiten des Systems in Böschungsfällrichtung auf allen der genannten Scherflächen und zwischen den Einzelkomponenten des Dränelementes nachgewiesen werden kann.

Neben den Ausführungen zu Scherversuchen Boden/Geokunststoffe in DIN EN ISO 12957-1 (2005) und DIN EN ISO 12957-2 (2005) enthält GDA E3-8 (2016) weitergehende Empfehlungen zur Untersuchung des Reibungsverhaltens von Geokunststoffen.

Zur Ermittlung der inneren Scherfestigkeit der Bodenschichten selbst sei auf die DIN 18137-3 (2002), den direkten Scherversuch, verwiesen.

*Hinweis: Über die flächige Abtragung von Scherkräften hinaus dürfen Dränelemente nicht beansprucht werden. Auch wenn die mit dem Kern kombinierten Vliesstoffe oder der Kern selbst Zugkräfte aufnehmen können, dürfen diese in den rechnerischen Nachweisen nicht angesetzt und in der Praxis nicht genutzt werden.*

In Fällen, in denen die Standsicherheit nicht auf diesem Wege nachgewiesen werden kann, ist ein zusätzliches Bewehrungselement zur Lastabtragung vorzusehen. Die Nachweise sind dann analog zu denen in DGGT (2010) bzw. GDA E3-8 (2016) zu führen.

### 3.3 Hinweise zur Produktauswahl

Das einzusetzende Produkt muss die Anforderungen der zuvor durchgeführten Bemessung erfüllen. Unabhängig von der tatsächlichen Zugkraft des Dränelementes darf es nicht planmäßig und schon gar nicht dauerhaft auf Zug beansprucht werden. Sollte dies das Ergebnis des statischen Nachweises sein, so sind zusätzliche Geokunststoffe als Bewehrung einzusetzen, um das Dränelement selbst nicht mit einer Zugkraft zu beanspruchen.

Bei der Auswahl des geeigneten Dränelementes sind die Abminderungsfaktoren der Tabelle 16 zu beachten.

Eine Besonderheit bei der Auswahl des Produktes stellt der Einsatz von Geokunststoffen als Dränelement hinter Brückenwiderlagern dar. Dort sind folgende Anforderungen relevant:

Eigenschaft	Anforderung
Witterungsbeständigkeit (Tabelle 7)	hoch
Dicke bei 2 kPa Auflast	$\geq 5$ mm
Charakteristische Öffnungsweite des Filters	$0,66 \text{ mm} \leq O_{90} \leq 0,2 \text{ mm}$
Wasserdurchlässigkeit des Filters $k_v$	$\geq 100 k_{f, \text{Boden}}$
Abflussleistung $q$ (hart/weich)	$\geq 0,3 \text{ l/(s x m)}$ und $q_{d,A} \geq 0,1 \text{ l/(s x m)}$

*Tabelle 17: Anforderungen an Dränelemente an erdberührten Flächen und Bauwerkshinterfüllungen nach BAST-WAS 7 (2007)*

**Es ist darauf zu achten, dass nur Geokunststoffe eingesetzt werden, die über eine CE-Kennzeichnung für Anwendungen in der Geotechnik verfügen.** Der Untersuchungsumfang unterscheidet sich unter Umständen deutlich von Materialien, die für die Dränung von Gebäuden eingesetzt werden. In der Geotechnik dürfen Geokunststoffe, die für Bauwerke mit einer Nutzungsdauer von mehr als 5 Jahren eingesetzt werden sollen, keine Rezyklate oder Regenerate enthalten.

Da die Wasserleitkapazität des Dränelementes eine wesentliche Eigenschaft ist, ist zu überprüfen, ob diese Eigenschaft so ermittelt wurde, dass die im Versuch vorgenommene Bettung den Bedingungen des Einsatzes entspricht:

Bettung im Versuch	Anwendungsbeispiel
hart-hart	zwischen Kunststoffdichtungsbahn und Betonelement
hart-weich	auf einer Kunststoffdichtungsbahn, unter einer Rekultivierungsschicht
weich-weich	zwischen zwei Bodenschichten

*Tabelle 18: Beispiele für die Bettung von Dränelementen*

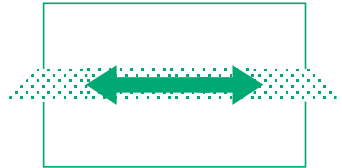
Es können Messungen mit der Bettung weich-weich als auf der sicheren Seite liegend angesehen werden, wenn im Anwendungsfall mit weich-harter oder hart-harter Bettung zu rechnen ist. Das Gleiche gilt für Messwerte bei hart-weicher Bettung, wenn der Anwendungsfall auf eine hart-harte Bettung schließen lässt. Umgekehrt sind Messungen bei hart-harter Bettung nicht auf weiche Bettungen im Anwendungsfall übertragbar und auch keine Messungen bei weich-harter Bettung auf weich-weiche Bettungen in der Anwendung.



## 4 Geokunststoffe als bewehrendes Element ungebundener Tragschichten im Straßenbau

### 4.1 Allgemeines

Das Bewehren charakterisiert den Widerstand eines Geokunststoffes, den er durch sein Zugkraft-Dehnungsverhalten und seine Struktur den Verformungen des Bodens, in den er eingebettet ist, entgegensetzen kann.



Ziel des Einbaus von Geokunststoffen unter oder in Tragschichten ist die Erhöhung der resultierenden Tragfähigkeit des Gesamtsystems aus Geokunststoffen und Boden bzw. die Reduzierung der statisch notwendigen Schichtmächtigkeit oberhalb nicht ausreichend tragfähiger Untergründe. Es gibt zwei wesentliche Ansätze, um Geokunststoffe unter Fahrwegen einzusetzen. Es können Erdstoffe und Erdarbeiten gegenüber einem konventionellen Bodenaustausch bei Erreichen der gleichen oder einer besseren Leistungsfähigkeit des Systems eingespart oder bei gleichbleibendem Aufbau durch den Einsatz von Geokunststoffen die Leistungsfähigkeit des Aufbaus verbessert werden. Letzteres kann sich in einer Erhöhung der Zahl der Überfahrten, einer Verringerung der Spurrinnen oder ganz allgemein in der Verlängerung der Lebensdauer des Bauwerks bzw. der Reduzierung eines möglichen Wartungsaufwandes ausdrücken.

Die Ausführungen von Floss (2011) und die Erkenntnisse aus großmaßstäblichen Überfahrversuchen von Cuelho und Perkins (2009/2014) legen dar, dass die optimale Wirkung der Geokunststoffe als Unterlage unter Tragschichten neben den grundsätzlichen Zugfestigkeitseigenschaften auch noch durch weitere Faktoren beeinflusst wird. Insbesondere auf sehr weichen Untergründen

*Hinweis: Das in einigen Bereichen diskutierte Stabilisieren beschreibt die komplexe Wirkungsweise der bewehrenden Funktion eines Geokunststoffes bei sehr geringen Verformungen, wobei insbesondere die horizontale Spreizwirkung der Bodenteilchen unter vertikaler Beanspruchung behindert wird und Wechselwirkungen mit anderen Funktionen wie Trennen, Filtern und Dränen ebenfalls einen Einfluss haben können. Da „Stabilisieren“ nicht durch europäische harmonisierte Normen abgedeckt ist, wird als Grundlage zur Verwendung der CE-Kennzeichen eine ETA erforderlich. (Anmerkung: Die Europäische Technische Zulassung bzw. European Technical Approval wird seit Inkrafttreten der Europäischen Bauproduktenverordnung als Europäische Technische Bewertung bzw. European Technical Assessment (ETA) bezeichnet und ist ein allgemein anerkannter Nachweis zur technischen Brauchbarkeit eines Bauproduktes im Sinne der Bauproduktenverordnung in den Mitgliedsstaaten der EU.)*

ist es vielmehr eine Kombination aus dem positiven Zugkraft-Dehnungsverhalten (entsprechend hohe Dehnsteifigkeit bei kleinen Dehnungen) der Bewehrungskomponente sowie der Trenn- und Filterfunktion der Geotextilkomponente, die zu einer optimalen Tragfähigkeitserhöhung des Gesamtaufbaus führt.

So führt, insbesondere auf sehr wenig tragfähigen Untergründen, erst die Kombination aus der Zugkraftaufnahme bei sehr kleinen Dehnungen und der Trenn- und Filterfunktion einer Geotextilkomponente zu einer deutlichen Tragfähigkeitserhöhung des Gesamtsystems.

Mechanische Eigenschaft	Prüfverfahren	Anforderung
Masse pro Flächeneinheit	DIN EN ISO 9864 (2005)	Deklaration
Höchstzugkraft	DIN EN ISO 10319 (2015)	Deklaration
Höchstzugkraftdehnung	DIN EN ISO 10319 (2015)	Deklaration
Einbaubeschädigung	nach EBGE0	ist als Abminderungsfaktor A2 zu berücksichtigen
Zugfestigkeit Nähte und Verbindungen	DIN EN ISO 10321 (2008)	ist als Abminderungsfaktor A3 zu berücksichtigen
Wasserdurchlässigkeit	DIN 60500-4 (2007)	nur relevant bei Geotextilkomponenten
Dauerhaftigkeit	DIN EN 13249 ff (2016)	CE-Kennzeichnung
Witterungsbeständigkeit	DIN EN 12224 (2000)	Tabelle 21
Umweltunbedenklichkeit	FGSV 535 (2016)	Tabelle 11

Tabelle 19: Eigenschaften von Geokunststoffen als bewehrendes Element

## 4.2 Hinweise zur Dimensionierung

Diese Hinweise zur Dimensionierung beschränken sich auf die Ermittlung der Bewehrung ungebundener Tragschichten durch Einlage von Geokunststoffen zur Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit von Straßenverkehrswegen. Es sind die Anforderungen der FGSV 599 (2017), der FGSV 698 (2007) und der FGSV 499 (2012) zu beachten. Das betrifft insbesondere die Gesamtdicke des frostsicheren Oberbaus von Straßen in Abhängigkeit der Frosteinwirkzone gemäß FGSV 499 (2012).

Für die Dimensionierung von Tragschichten sind zwei Herangehensweisen gebräuchlich. Zum einen ist es die allein für die Dimensionierung von Baustraßen mit ungebundenem Oberbau

anwendbare Methode über die von den zu erwartenden Überfahrten abhängige Spurrinntiefe, die z. B. nach dem Ansatz von Giroud & Noiray (1981) oder Giroud & Han (2004) berechnet werden kann. Entsprechende Diagramme stellt die EBGeo für Spurrinntiefen von 7,5 bis 10 cm zur Verfügung. Zum anderen ist es die messtechnische Auswertung bereits ausgeführter Projekte, durch die Rückschlüsse auf die Verformungsmoduln des Schichtenaufbaus möglich werden. Letzterer ist der übliche Ansatz, wenn die über den Verformungsmodul ermittelten Tragfähigkeiten das Kriterium für den Bau von Straßenverkehrswegen mit und ohne gebundenen Oberbau sind.

Der empirisch ermittelte Zusammenhang zwischen der Tragschichtdicke auf einem anstehenden Untergrund bis zum Erreichen des Zielwertes  $E_{v2}$  der Tragfähigkeit auf der Tragschicht ist produkt-spezifisch und berücksichtigt als solcher günstig wirkende Effekte im Sinne der DGGT (2010). Der hier vorgestellte Bemessungsansatz erlaubt eine Bewertung des Aufbaus nach seinem Verformungsmodul, der über Lastplattendruckversuche nach DIN 18134 (2012) ermittelt werden kann.

Sofern noch keine genaueren Angaben für den zu erwartenden Baugrund vorliegen, können die Bodenkennwerte der nachfolgenden Tabelle als erste Anhaltswerte für den anstehenden Untergrund herangezogen werden:

Boden- gruppe	$I_p$	$w_L$	$I_c$				
			0 - 0,5	0,5 - 0,75	0,75 - 1,0	> 1,0	>> 1,0
	[%]	[%]	breiig	weich	steif	halbfest	fest
TA	$\geq 7$	$> 50$	-	$E_{v2} \approx 5$	$E_{v2} \approx 10$	$E_{v2} \approx 15$	$E_{v2} \approx 20$
TM	$\geq 7$	35 - 50	-	$E_{v2} \approx 5$	$E_{v2} \approx 10$	$E_{v2} \approx 15$	$E_{v2} \approx 20$
TL	$\geq 7$	$\leq 35$	-	$E_{v2} \approx 5$	$E_{v2} \approx 10$	$E_{v2} \approx 20$	$E_{v2} \approx 25$
UM	$\leq 4$	35 - 50	-	$E_{v2} \approx 5$	$E_{v2} \approx 10$	$E_{v2} \approx 15$	$E_{v2} \approx 20$
UL	$\leq 4$	$\leq 35$	-	$E_{v2} \approx 10$	$E_{v2} \approx 10$	$E_{v2} \approx 15$	$E_{v2} \approx 20$

Tabelle 20: Näherungswerte für zu erwartende Verformungsmoduln  $E_{v2}$  in  $[MN/m^2]$  nach Floss (1973)

Die Zuordnung der Böden kann nach Abbildung 4 vorgenommen werden.

Mit den nachfolgenden produktspezifischen Secugrid®/Combigrid®-Geogitter-Diagrammen (nicht übertragbar auf andere Produkte oder Produktgruppen, wie z. B. Geweben) kann die Tragschichtmächtigkeit unter Berücksichtigung der Tragfähigkeit auf dem Untergrund und dem zur Verfügung stehenden Tragschichtmaterial ermittelt werden. Die Tragfähigkeit kann erreicht werden, wenn die Verdichtung der Tragschicht mit  $D_{PR} \geq 97\%$  erfolgt und der Porenwasserüberdruck, der möglicherweise durch den Verdichtungsprozess entsteht, abgebaut ist. Daraus ergibt sich eine zeitabhängige Entwicklung der Tragfähigkeit, gemäß der auch noch nach 2 bis 4 Wochen Tragfähigkeitszuwächse messbar sein können. Es ist gut möglich, dass sich in dieser Zeit die Verformungsmodul nahezu verdoppeln.

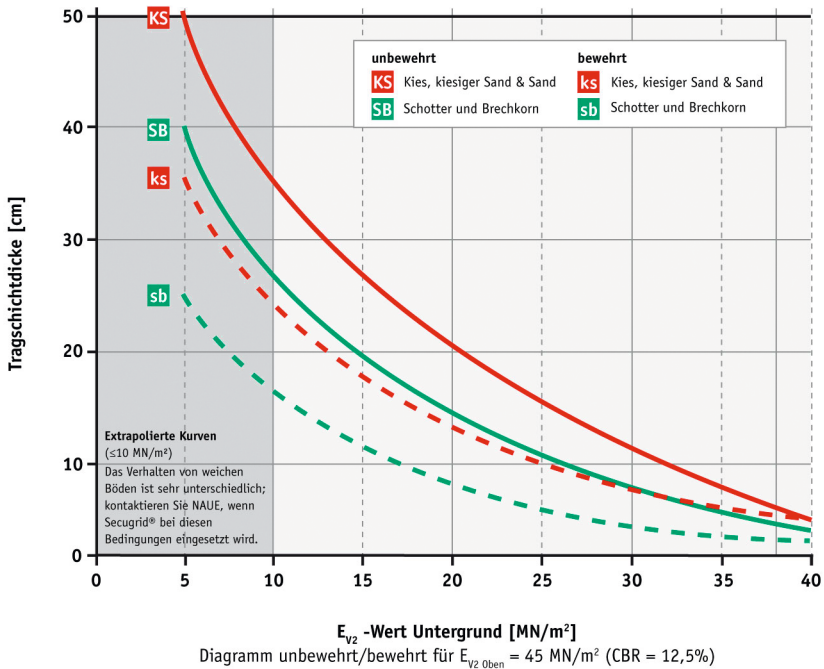


Abbildung 5: Secugrid®/Combigrid®-Bemessungsdiagramm für Zielwert auf Tragschicht  $E_{v2,oben} \geq 45 MN/m^2$

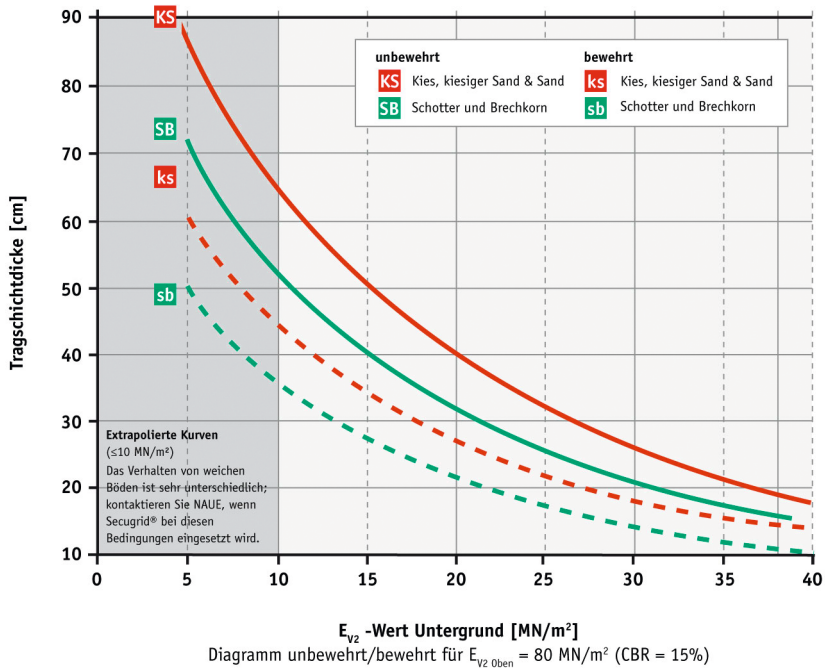


Abbildung 6: Secugrid®/Combigrid®-Bemessungsdiagramm für Zielwert auf Tragschicht  $E_{v2,oben} \geq 80$   $MN/m^2$

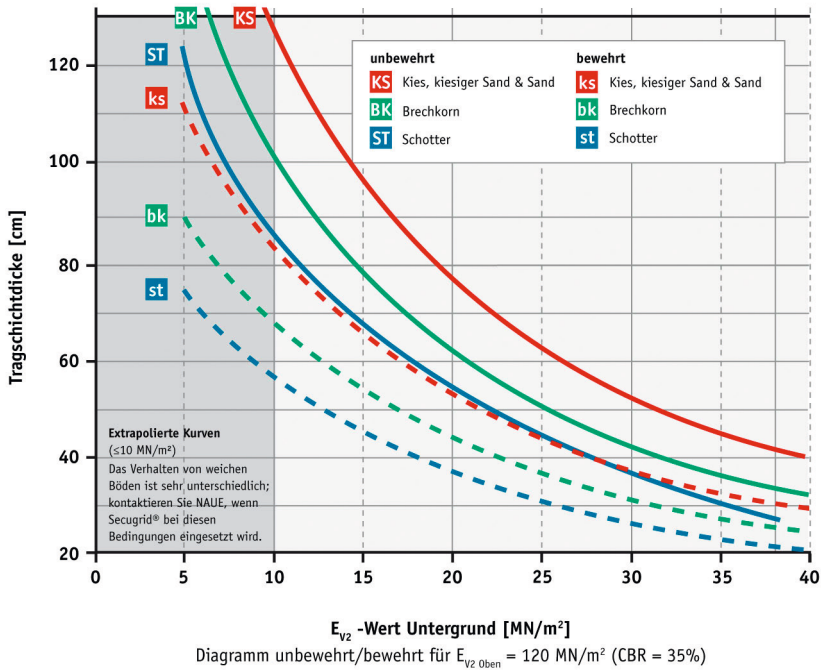


Abbildung 7: Secugrid®/Combigrid®-Bemessungsdiagramm für Zielwert auf Tragschicht  $E_{V2,oben} \geq 120 \text{ MN/m}^2$

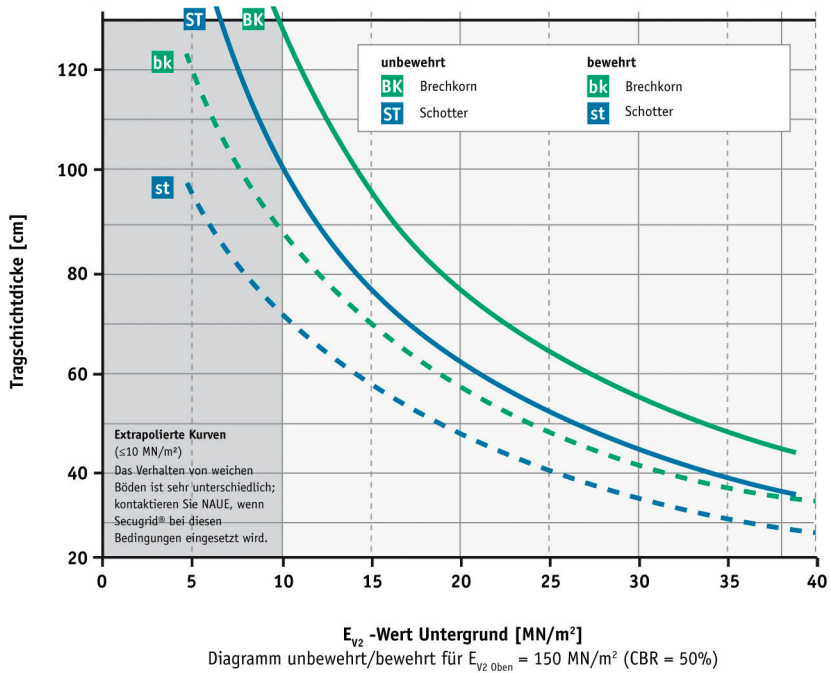


Abbildung 8: Secugrid®/Combigrd®-Bemessungsdiagramm für Zielwert auf Tragschicht  $E_{v2, \text{oben}} \geq 150 \text{ MN/m}^2$

### 4.2.1 Witterungsbeständigkeit

Grundsätzlich gelten die in Kapitel 1.2.3 gemachten Ausführungen zur Witterungsbeständigkeit. Da es sich bei Geokunststoffen mit Bewehrungsfunktion um statische Elemente handelt, die unmittelbar zur Standsicherheit eines Bauwerkes beitragen, werden hinsichtlich der Freibewitterung, die zu einer beschleunigten Alterung des Materials und damit zu einem unmittelbaren Zugfestigkeitsverlust führen kann, deutlich höhere Anforderungen als an Geokunststoffe mit anderen Funktionen gestellt. Diese erhöhten Anforderungen sind in Tabelle 21 zusammengefasst.

Restfestigkeit	≥ 80 %	> 60 %	≤ 60 %
Höchstzulässige Freiliegedauer	1 Monat	2 Wochen	1 Tag
Witterungsbeständigkeit	hoch	mittel	niedrig

*Tabelle 21: Witterungsbeständigkeit und höchstzulässige Freiliegedauer für Geokunststoffe mit Bewehrungsfunktion*

### 4.3 Hinweise zur Produktauswahl

Sollen Geokunststoffe eingesetzt werden, mit denen Funktionen kombiniert werden können, wie z. B. Trennen, Stabilisieren und Bewehren, dann ist auf weichem Untergrund darauf zu achten, dass die für die Bewehrungsfunktion verantwortlichen Elemente so robust sind, dass sie auch nach dem Einbau noch die notwendige Zugfestigkeit bereitstellen können.

Nach Retzlaff (2000 und 2007) ist eine optimale Wirkungsweise der Geokunststoffe in Trag-schichten bei Schichtmächtigkeiten zwischen 30 bis 50 cm zu erwarten. Folgt man Floss (2011), dann können bei Achslasten zwischen 10 t und 15 t bei wassergesättigten Untergründen mit Tragfähigkeiten < 20 MN/m<sup>2</sup> Porenwasserüberdrücke entstehen, die ein Aufweichen des Untergrundes verursachen. Unter diesen Randbedingungen ist es sinnvoll, die bewehrende Funktion eines Geogitters um die trennende und filternde Wirkung eines Vliesstoffes zu ergänzen (Verbundstoff wie z. B. Combigrid®).

Als Bemessungsfestigkeit soll diese nach EBGE0 bei 2 % Dehnung mindestens 8 kN/m betragen (entspricht einer Dehnsteifigkeit J von 400 kN/m). Neuere Ergebnisse zeigen (Vollmert, 2016), dass Bewehrungsprodukte mit einer steifen Produktstruktur ihre stabilisierende Wirkung auch bereits bei sehr kleinen Verformungen mobilisieren können. Die aus den oben genannten Kennwerten abgeleitete Dehnsteifigkeit J von 400 kN/m sollte daher bereits bei sehr kleinen Verformungen des Geogitters von ≤ 0,5 % erreicht werden.



Die nachfolgende Tabelle 22 gibt Empfehlungen für die Auswahl eines geeigneten Geogitters bzw. Verbundstoffes für die Bewehrung und Stabilisierung von Tragschichten. Grundsätzlich sind das Geogitter bzw. der Verbundstoff unmittelbar auf dem anstehenden Untergrund einzubauen. Ist die darüberliegende Tragschicht mächtiger als 0,50 m, ist der Einbau einer Zwischenlage 0,25 m oberhalb der ersten Geokunststofflage empfehlenswert. Dieser Lagenabstand ist auch für weitere Bewehrungslagen einzuhalten.

Beispiel:

Das bedeutet für das nachfolgende Beispiel, dass bei einer Tragfähigkeit des Untergrundes von  $E_{V_2} = 20 \text{ MN/m}^2$  auf einer mit Secugrid® bewehrten Schottertragschicht mit einer Dicke von 48 cm ein Verformungsmodul auf der Tragschicht von  $E_{V_2} \geq 150 \text{ MN/m}^2$  erreicht werden kann. Es ist in der Regel ausreichend, hier eine Bewehrungslage unterhalb der Tragschicht anzuordnen. Ohne Bewehrung wäre von einer Tragschichtmächtigkeit von ca. 63 cm auszugehen.

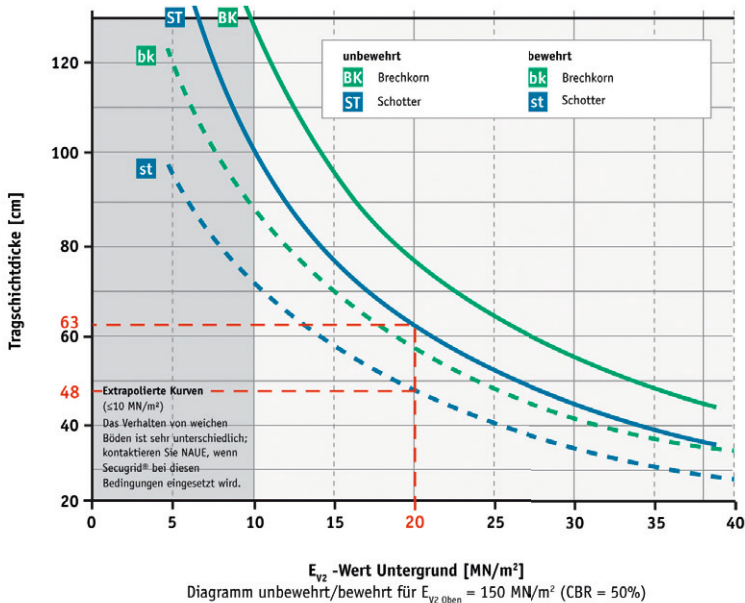


Abbildung 9: Bemessungsbeispiel einer Secugrid®/Combrigrid®-bewehrten Schottertragschicht (blaue gestrichelte Linie) für Zielwert der Tragschicht  $E_{V_2, \text{oben}} \geq 150 \text{ MN/m}^2$  (blaue Linie)

Aufgrund des wenig tragfähigen Untergrundes ist nach Tabelle 22 ein Verbundgeokunststoff bestehend aus einer Bewehrungslage und einem fest integrierten Filtervliesstoff (z. B. Combigrid® 30/30 Q1) geeignet, um die Tragschicht so zu verstärken, dass ca. 30 % des hochwertigen Schottertragschichtmaterials gegenüber einer unbewehrten Situation gespart werden können.

Die grünen Balkenabschnitte bezeichnen die grundsätzlichen Einsatzbereiche des jeweiligen Geogitters (in Abhängigkeit des Untergrundes -  $E_{v2}$ -Wert). Beim Einsatz von Secugrid® im  $E_{v2}$ -Bereich  $< 5 \text{ MN/m}^2$  bitte gesonderte Informationen anfordern.

Die grün schraffierten Abschnitte berücksichtigen zusätzlich mögliche hohe Beanspruchungen z. B. durch den Einbau oder die spätere Verkehrsbelastung.

			15 - 25 $\text{MN/m}^2$					Secugrid® 30/30 Q1 oder Q6
			10 - 20 $\text{MN/m}^2$					Secugrid® 30/30 Q1 oder Q6 Combigrid® 30/30 Q1 oder Q6
			5 - 15 $\text{MN/m}^2$					Combigrid® 40/40 Q1 oder Q6
			2 - 10 $\text{MN/m}^2$					Combigrid® 60/60 Q1 oder Q6 Combigrid® 80/80 Q1 oder Q6
0	10	15	20	25	30	38		$E_{v2}$ -Untergrund ( $\text{MN/m}^2$ )

Tabelle 22: Empfohlene Geogitter und Verbundstoffe unter und in Tragschichten

In der Regel führt der Aufbau von bewehrten Tragschichten ab einem Verformungsmodul  $E_{v2} > 5 \text{ MN/m}^2$  des Untergrundes zu reproduzierbaren Ergebnissen der Gesamttragfähigkeit mehrschichtiger Systeme aus Boden und Geokunststoffen. Nichtsdestotrotz sind die Randbedingungen für eine erfolgreiche Verbesserung der Gebrauchstauglichkeit von Tragschichten im Verkehrswegebau sehr komplex, so dass bei höheren Anforderungen an das Bauwerk der Aufbau eines Probefelds empfohlen ist.

Um sicherzustellen, dass der geforderte Verdichtungsgrad für das Tragschichtmaterial mit dem gewählten Arbeitsverfahren (Einbaugeräte, Verdichtungsgeräte, zulässige Schütthöhe, Anzahl der Übergänge, Arbeitsgeschwindigkeit u. a.) erreicht werden kann, sind gegebenenfalls entsprechende Einbauversuche unter Berücksichtigung von FGSV 599 (2017) und DGGT (2010) durchzuführen.

Werden mechanisch verfestigte Vliesstoffe als Trenn- und Filterlage eingesetzt, kann die anfängliche Zusammendrückbarkeit des Vliesstoffes zu einer Reduzierung des Prüfwertes von rund

10 MN/m<sup>2</sup> führen. Mittel- bis langfristig nimmt diese Zusammendrückbarkeit durch das Einwandern von Bodenpartikeln in die Faserstruktur ab, so dass sich verbesserte Prüfergebnisse ergeben. In diesen Fällen wird empfohlen, das Verdichtungsverhältnis als zusätzliches Bewertungskriterium heranzuziehen.

## 5 Qualitätssicherung

### 5.1 Allgemeines

Geokunststoffen kommen mit ihren verschiedenen Funktionen essentielle Aufgaben im Bauwerk zu. Mit ihnen werden Standsicherheits- und Gebrauchstauglichkeitsprobleme gelöst. Dabei gehen planende Ingenieure von einer Vielzahl mechanischer, hydraulischer und chemischer Eigenschaften aus. Für jedes Projekt werden so baustellenspezifische Anforderungen an die Geokunststoffe gestellt, die diese über die zgedachte Nutzungsdauer erfüllen müssen. Deshalb ist es wichtig, dass jeder Geokunststoff, der zum Einsatz kommt, einem Mindestmaß an Qualität genügt. Die verschiedenen Anforderungen an die Qualität ergeben sich aus der Anwendung und Funktion der Geokunststoffe. Wie mit der FGSV 599 (2017) können derartige Anforderungen Vertragsbestandteil werden.

Geokunststoffe sind im Allgemeinen industriell hergestellte Produkte auf der Basis von ebenfalls industriell hergestellten Ausgangsmaterialien. Dadurch schwanken Geometrie und Eigenschaften deutlich weniger als bei Naturbaustoffen.

Die Qualitätssicherung ist ein Mittel, um die zugesicherten Eigenschaften der Geokunststoffe zu kontrollieren. Sie steht aber auch für einen ressourcenschonenden Umgang mit den Ausgangsstoffen.

### 5.2 Eigen- und Fremdüberwachung

Kontrollmaßnahmen, die im Rahmen der Qualitätssicherung eingesetzt werden, lassen sich im Wesentlichen in Eigen- und Fremdüberwachung unterteilen. Die Untersuchungen der Eigenüberwachung kann der Hersteller der Geokunststoffe in Eigenregie und mit eigenen Geräten durchführen. Er kann sie auch an ein externes Labor vergeben und dann in seine Qualitätssicherung mit aufnehmen. Typischerweise gehört die werkseigene Produktionskontrolle (WPK) zu den Aufgaben der Eigenüberwachung. Je nach Anwendung und Funktion der Geokunststoffe kann es sein, dass zusätzliche Prüfungen durch ein externes, herstellernunabhängiges und qualifiziertes Labor durchzuführen sind. Die Fremdüberwachung von Geokunststoffen im Bereich des Straßenbaus ist dabei in der FGSV 599 (2017) geregelt. Sie besteht aus der Baustoffeingangsprüfung von Geokunststoffen und kann um Kontrollprüfungen der Geokunststoffe ergänzt werden. Da sowohl die Programme der Baustoffeingangsprüfungen als auch etwaiger Kontrollprüfungen sehr umfangreich und mit einem zeitlichen Aufwand verbunden sind, aber erst nach Lieferung des Materials auf die Baustelle mit den Untersuchungen begonnen werden kann, wurde das in Kapitel 5.5 beschriebene Verfahren mit Fremdüberwachung entwickelt und das IVG-Zertifikat etabliert.

### 5.3 ISO 9001

Die DIN EN ISO 9001 (2015) ist das Schlagwort und die Grundnorm für Qualitätsmanagementsysteme in der Industrie. Mittlerweile ist eine Zertifizierung ein Muss für jeden Hersteller, um zu zeigen, dass er sich vertieft mit den Prozessen und Kommunikationswegen in seinem Unternehmen beschäftigt und diese mit dem Fokus einer gleichbleibenden Qualität kontinuierlich überdenkt. Durch die ständig wiederkehrenden Audits der Zertifizierungsstelle unterliegt ein Qualitätsmanagementsystem einem ständigen Anpassungs- und Optimierungsprozess. Die Zertifizierung kann die komplette Wertschöpfungskette von der Entwicklung über die Produktion und den Vertrieb bis hinein in die Anwendung von Geokunststoffen umfassen.

### 5.4 CE-Kennzeichnung

Geokunststoffe gehören zu den europäisch harmonisierten Bauprodukten. Sie sollen innerhalb der Europäischen Union ohne nationale Handelshemmnisse in Umlauf gebracht werden können. Dazu sind Geokunststoffe mit einem CE-Kennzeichen zu versehen. Die dafür möglichen Verfahren sind im Bauproduktengesetz beschrieben und eine verbindliche Voraussetzung für alle Geokunststoffe, die in den Verkehr gebracht werden sollen. Dafür, dass ein Geokunststoff mit einem CE-Kennzeichen versehen wird, ist derjenige verantwortlich, der das Produkt in der Europäischen Union vermarkten möchte. Dieser „Inverkehrbringer“ muss nicht zwingendermaßen der Hersteller sein.

Das Verfahren zur Kennzeichnung ist das Konformitätsnachweisverfahren 2+ und beruht auf einer Leistungserklärung des „Inverkehrbringers“. Das Verfahren umfasst die Erstprüfung des Produktes und eine kontinuierliche werkseigene Produktionskontrolle durch den Antragsteller. Er wird dabei von einer benannten Stelle begleitet, die eine Erstinspektion des Werkes und der werkseigenen Produktionskontrolle vornimmt sowie die werkseigene Produktionskontrolle laufend überwacht und anerkennt. Es werden essentielle Kennwerte der Geokunststoffe ermittelt, die für eine gewisse Markttransparenz sorgen sollen und zeigen, dass die gekennzeichneten Geokunststoffe für bestimmte Anwendungen grundsätzlich geeignet sind. Aber genau darin liegen auch die Grenzen der CE-Kennzeichnung. Der allgemeine Ansatz für Europa berücksichtigt nicht in jedem Fall nationale Anforderungen und individuelle Lösungen auf der Baustelle.

*Hinweis: Die CE-Kennzeichnung umfasst keine Verfahren zur Ermittlung von Abminderungsfaktoren und baustellenspezifischen Nachweisen.*

Allgemeine Randbedingungen für die Anwendung gekennzeichnete Produkte ist deren Einsatz in natürlichen Böden mit einem pH-Wert zwischen 4 und 9 bei Bodentemperaturen bis zu 25 °C und planmäßigen Nutzungsdauern von 5, 25, 50 und 100 Jahren. Die CE-Kennzeichnung der Produkte und die dazugehörige Leistungserklärung ist dem Anwender durch den „Inverkehrbringer“ zur Verfügung zu stellen.

Die Einhaltung der Regelungen zur CE-Kennzeichnung wird durch die Marktaufsicht, die bei der Administration der einzelnen Bundesländer angesiedelt ist, überwacht. Die Benennung und die Kontrolle der die CE-Kennzeichnung begleitenden Organisationen ist in Deutschland dem Deutschen Institut für Bautechnik (DIBt) übertragen worden.

## 5.5 IVG-Zertifikat

Das IVG-Zertifikat steht am Ende des in IVG-Industrieverband Geokunststoffe e.V. (2018) festgelegten Verfahrens zur freiwilligen Qualitätskontrolle, das über die reinen Anforderungen der CE-Kennzeichnung hinausgeht und in das zugelassene Überwachungsstellen eingebunden sind. Dazu gehört eine Fremdüberwachung mit regelmäßiger Probenahme und deren Prüfung in akkreditierten Laboren. Diese Kombination aus Erstinspektion und laufender Überwachung in grundsätzlich halbjährlichem bzw. jährlichem Rhythmus ist als eine der Baustoffeingangsprüfung der FGSV 599 (2017) gleichwertige Überwachung anerkannt.

Nichtsdestotrotz bleibt es dem Auftraggeber überlassen, bei vermuteten Schwachstellen oder Qualitätsmängeln Kontrollprüfungen nach FGSV 599 (2017) einzufordern.

*Hinweis: Das IVG-Zertifikat ist von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) als Nachweis des Herstellers bzw. Lieferanten für ein gleichwertiges Überwachungsverfahren zur Baustoffeingangsprüfung im Sinne der FGSV 599 (2017) anerkannt. Somit ist eine Baustoffeingangsprüfung im Geltungsbereich der FGSV 599 (2017) nicht erforderlich.*

Mit dem IVG-Zertifikat erlangt der Hersteller bzw. derjenige, der ein Produkt in den Verkehr bringt, die Möglichkeit, seine Produkte mit dem IVG-Qualitätssiegel zu versehen. Die Regelungen in IVG-Industrieverband Geokunststoffe e.V. (2018) decken alle in den Produktnormen für Geotextilien und geotextilverwandten Produkten sowie geosynthetischen Dichtungsbahnen genannten Anwendungen ab. Somit können die Vorteile dieser erweiterten Qualitätsüberwachung in allen relevanten Anwendungsgebieten von Geokunststoffen, insbesondere den in FGSV 535 (2016) beschriebenen, genutzt werden und bedeuten unmittelbare Zeit- und Kostenersparnis auf der Baustelle.

Informationen zum IVG-Zertifikat und eine Übersicht der gültigen Zertifikate sind unter ***[www.ivgeokunststoffe.com](http://www.ivgeokunststoffe.com)*** zu finden.

## Literatur

BAST-WAS 7 (2007). Richtzeichnung WAS 7 - Entwässerung erdberührter Flächen und Hinterfüllung von Bauwerken. In BAST, *Sammlung Brücken- und Ingenieurbau - Entwurf - Richtzeichnungen für Ingenieurbauten RiZ-ING*. Dortmund: Borgmann.

BAW (1993). *Merkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG)*. (BAW, Hrsg.) Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

BBodSchV (2017). *Bundes-Bodenschutz- und Altlastenverordnung (BBodSchV)* (vom 12. Juli 1999 (BGBl. I S. 1554), zuletzt geändert durch Artikel 3 Absatz 4 der Verordnung vom 27. September 2017 (BGBl. I S. 3465) Ausg.). Berlin: Bund.

Bräu, G., & Vogt, S. (2011). *Erhöhung der Tragfähigkeit direkt befahrener Schüttungen mit Geokunststoffen - Einsparungen von hochwertigen Dammbaustoffen durch die Erhöhung der Tragfähigkeit von direkt befahrenen Schüttungen mit Geokunststoffen (Bd. Forschung Straßenbau und Straßenverkehrstechnik Heft 1065)*. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.

DGGT (2010). *Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen - EBGEO*. Berlin: Ernst & Sohn.

DGGT (2017). *Empfehlungen zu Dichtungssystemen im Tunnelbau - EAG-EDT*. Berlin: Ernst & Sohn.

DIN 18134 (2012). *Baugrund - Versuche und Versuchsgeräte - Plattendruckversuch*. Berlin: Beuth.

DIN 18137-3 (2002). *Baugrund, Untersuchung von Bodenproben - Bestimmung der Scherfestigkeit - Teil 3: Direkter Scherversuch*. Berlin: Beuth.

DIN 18196 (2011). *Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke*. Berlin: Beuth.

DIN 4095 (1990). *Baugrund; Dränung zum Schutz baulicher Anlagen; Planung, Bemessung und Ausführung*. Berlin: Beuth.



DIN 60500-4 (2007). *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Teil 4: Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit normal zur Ebene unter Auflast bei konstantem hydraulischen Höhenunterschied*. Berlin: Beuth.

DIN EN 12224 (2000). *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung der Witterungsbeständigkeit*. Berlin: Beuth.

DIN EN 13249 ff. (2016). *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Geforderte Eigenschaften für die Anwendung beim Bau von Straßen und sonstigen Verkehrsflächen (mit Ausnahme von Eisenbahnbau und Asphaltoberbau)*. Berlin: Beuth.

DIN EN 25619 (2009). *Geokunststoffe - Bestimmung des Druckverhaltens - Teil 1: Eigenschaften des Druckkriechens*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 10318 (2015). *Geokunststoffe - Teil 1: Begriffe*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 10319 (2015). *Geokunststoffe - Zugversuch am breiten Streifen*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 10321 (2008). *Geokunststoffe - Zugprüfung von Verbindungen/Nähten am breiten Streifen*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 10776 (2012). *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit normal zur Ebene unter Auflast*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 11058 (2010). *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit normal zur Ebene, ohne Auflast*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 12236 (2006). *Geokunststoffe - Stempeldurchdruckversuch (CBR-Versuch)*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 12956 (2010). *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung der charakteristischen Öffnungsweite*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 12957-1 (2005). *Geokunststoffe - Bestimmung der Reibungseigenschaften - Teil 1: Scherkastenversuch*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 12957-2 (2005). *Geokunststoffe - Bestimmung der Reibungseigenschaften - Teil 2: Schiefe-Ebene-Versuch*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 12958 (2010). *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung des Wasser-ableitvermögens in der Ebene*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 13431 (1999). *Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung des Zug- krieb- und des Zeitstandbruchverhaltens*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 9001 (2015). *Qualitätsmanagementsysteme - Anforderungen*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 9863-1 (2016). *Geokunststoffe - Bestimmung der Dicke unter festgelegten Drücken - Teil 1*. Berlin: Beuth.

DIN EN ISO 9864 (2005). *Geokunststoffe - Prüfverfahren zur Bestimmung der flächenbezogenen Masse von Geotextilien und geotextilverwandten Produkten*. Berlin: Beuth.

DWA-M 511 (2017). *Merkblatt DWA-M 511, Filtern mit Geokunststoffen*. Hennef: DWA.

DWA-M 512-1 (2012). *Merkblatt DWA-M 512-1, Dichtungssysteme im Wasserbau, Teil 1: Erdbau- werke*. (DWA, Hrsg.) Hennef: DWA.

FGSV 499 (2012). *RStO 12 - Richtlinien für die Standardisierung des Oberbaus von Verkehrsflächen*. Köln: FGSV.

FGSV 514 (2016). *RiStWag 16 - Richtlinien für bautechnische Maßnahmen an Straßen in Wasser- schutzgebieten*. Köln: FGSV.

FGSV 535 (2016). *Merkblatt über die Anwendung von Geokunststoffen im Erdbau des Straßenbaues - M Geok E*. Köln: FGSV.

FGSV 539 (2005). *RAS-Ew - Richtlinien für die Anlage von Straßen - Teil: Entwässerung mit RAS-Ew-Bemessungshilfen auf CD-ROM*. Köln: FGSV.

FGSV 542 (2010). *Merkblatt über Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund*. Köln: FGSV.

FGSV 598 (2014). *ZTV Ew-StB 14 - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Entwässerungseinrichtungen im Straßenbau*. Köln: FGSV.

FGSV 599 (2017). *ZTV E-StB 17 - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau*. Köln: FGSV.

FGSV 698 (2007). *ZTV SoB-StB - Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für den Bau von Schichten ohne Bindemittel im Straßenbau*. Köln: FGSV.

Floss, R. (1973). *Bodenmechanische Gesichtspunkte bei der Auswahl und Dimensionierung von Straßenbefestigungen. Straße und Autobahn*.

Floss, R. (2011). *Handbuch ZTV E-StB - Kommentar und Leitlinien mit Kompendium Erd- und Felsbau*. Bonn: Kirschbaum.

GDA E2-20 (11. Januar 2016). *GDA-Online*. Entwässerungsschichten in Oberflächenabdichtungssystemen: <http://gdaonline.de>

GDA E2-7 (11. Januar 2016). *GDA-Online*. Nachweis der Gleitsicherheit von Abdichtungssystemen: <http://gdaonline.de>

GDA E3-8 (11. Januar 2016). *GDA-Online*. Reibungsverhalten von Geokunststoffen: <http://www.gdaonline.de>

Giroud, J.-P., & Noiray, L. (1981). *Geotextile-Reinforced Unpaved Road Design. Geotextiles (GT 9), 1233-1254*.

Giroud, J.-P., & Han, J. (2004). *Design Method for Geogrid-Reinforced Unpaved Roads, Part I + II*. Reston: ASCE.

Glabisch, U. (2019). *Anwendungshandbuch zu den Merkblättern DWA-M 511 Filtern mit Geokunststoffen und BAW-Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG)*.

Heerten, G. (1981). *Geotextilien im Wasserbau - Prüfung, Anwendung, Bewährung - (Heft 52)*. Hannover: Franzius-Institut.

Heyer, D., & Krug, M. (1999). *Filterwirksamkeit von Geotextilien bei geringen hydraulischen Gefällen (Bde. Forschung Straßenbau und Verkehrstechnik, Heft 831)*. Bonn: BMVBW.

IVG-Industrieverband Geokunststoffe e.V. (2018). *Empfehlung für die Durchführung der Überwachung und Zertifizierung von Geotextilien, geotextilverwandten Produkten und geosynthetischen Dichtungsbahnen, zugelassen nach dem europäischen Konformitätsverfahren System 2+*. Obernburg: IVG.

Retzlaff, J. (2000). *Einsatz von Geogittern im Straßenbau unter ungebundenen Tragschichten bei besonderer Berücksichtigung zeitabhängiger Faktoren*. Wismar: Hochschule Wismar.

Retzlaff, J. (2007). *Verhalten von Geokunststoffbewehrungen unter zyklischer Beanspruchung (Bde. 2007-3)*. (Institut für Geotechnik der Technischen Universität Bergakademie Freiberg, H. Klapperich, & H. Konietzky, Hrsg.) Freiberg: IFGT.

Vollmert, L. (2017). *Zur Gebrauchstauglichkeit geogitter-bewehrter Tragschichten unter zyklisch-dynamischen Beanspruchungen*. Dissertation, TU Clausthal.



