

BAWMerkblatt

Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG)

Ausgabe 2021

EU-Notifizierung

Nr. 2021/550/D

Hinweis:

Notifiziert gemäß der Richtlinie (EU) 2015/1535 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 9. September 2015 über ein Informationsverfahren auf dem Gebiet der technischen Vorschriften und der Vorschriften für die Dienste der Informationsgesellschaft (ABl. L 241 vom 17.9.2015, S. 1)

BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien Herausgeber

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17
76187 Karlsruhe

Postfach 21 02 53
76152 Karlsruhe

Tel.: 0721 9726-0
Fax: 0721 9726-4540

info@baw.de
www.baw.de

Übersetzung, Nachdruck – auch auszugsweise – nur mit Genehmigung des Herausgebers: © BAW 2021

Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Vorbemerkung	1
2	Begriffe	1
2.1	Geotextil	1
2.2	Erosion	1
2.3	Suffosion	1
2.4	Kolmation	1
2.5	Verockerung	1
2.6	Versinterung	2
2.7	Kohäsive Böden / nicht kohäsive Böden	2
2.8	Instationäre hydraulische Belastungen	2
2.9	Stationäre hydraulische Belastungen	2
3	Grundsätze für die Anwendung eines Geotextils als Filter oder als Trennlage	2
3.1	Notwendigkeit eines Geotextils	2
3.1.1	Filter	2
3.1.2	Trennlage	3
3.2	Planungsgrundlagen	3
3.2.1	Baugrund	3
3.2.1.1	Angaben in der Baugrundbeschreibung	3
3.2.1.2	Nicht kohäsive Böden	4
3.2.1.3	Kohäsive Böden	4
3.2.1.4	Inhomogene Untergrundverhältnisse	4
3.2.1.5	Suffosionsgefährdete Böden	5
3.2.2	Hydraulische Filterbelastungen	5
3.2.3	Mechanische Belastungen	5
3.2.3.1	Allgemeines	5
3.2.3.2	Mechanische Beanspruchungen während der Bauausführung	5
3.2.3.3	Mechanische Beanspruchungen durch den Wasserstraßenbetrieb	6
3.2.4	Wasser im Filterbereich	6
3.2.4.1	pH-Wert	6
3.2.4.2	Chemische und biologische Faktoren	6
3.2.5	UV-Beständigkeit	7
3.2.6	Durchwurzelung	7
4	Filter- und Deckschichtbauweisen	7
4.1	Allgemeines	7
4.2	Geotextil unmittelbar auf dem Baugrund (Standardbauweise)	7
4.3	Geotextil auf einer Ausgleichsschicht	8
4.4	Zwischenlage auf dem Geotextil (Polsterschicht)	8
4.5	Geotextil mit Zusatzausrüstung	8
4.5.1	Allgemeines	8
4.5.2	Geotextil mit Faschinenrost (Sinkstück)	9
4.5.3	Geotextil mit Einlagerung („Sandmatten“)	9
4.6	Endbereiche einer Böschungssicherung	9
4.7	Bauwerksanschlüsse	9

4.8	Überlappung und Nähte	9
4.9	Deckschichten	10
5	Anforderungen	10
5.1	Allgemeines	10
5.2	Filterwirksamkeit	11
5.2.1	Allgemeines	11
5.2.2	Bodentyp-Verfahren der BAW	11
5.2.2.1	Grundlagen	11
5.2.2.2	Anwendungsprinzip bei einer durchlässigen Deckschicht	12
5.2.2.3	Anwendungsprinzip bei einer dichten Deckschicht	12
5.2.3	Bemessung	13
5.2.3.1	Filterbemessung	13
5.2.3.2	Bemessung einer Trennlage	13
5.3	Materialeigenschaften	13
5.3.1	Allgemeines	13
5.3.2	Wasserdurchlässigkeit	13
5.3.3	Öffnungsweite	14
5.3.4	Dicke	14
5.3.4.1	Bei Filterfunktion	14
5.3.4.2	Bei Trennfunktion	15
5.3.5	Zugfestigkeit und Dehnungen	15
5.3.6	Durchschlagwiderstand	15
5.3.7	Abriebbeständigkeit	15
5.3.8	Durchdrückwiderstand	16
5.3.9	Reibungsbeiwert	16
5.3.10	Flächenbezogene Masse	16
6	Prüfungen	16
6.1	Allgemeines	16
6.2	Grundprüfung	17
6.3	Eignungsprüfung	17
6.4	Qualitätssicherung bei der Herstellung	17
6.5	Kontrollprüfungen des Auftraggebers	17
7	Hinweise zur Ausschreibung und Bauausführung	18
7.1	Vergabeunterlagen	18
7.2	Bauausführung	18
7.2.1	Vorbereitung des Filterplanums	18
7.2.2	Einbau im Trockenen	18
7.2.3	Einbau unter Wasser	19
7.3	Bestandsunterlagen	19
8	Literatur/Regelwerke	21
	Literatur	21
	Regelwerke	22

Anlagenverzeichnis	Seite
Anlage 1: Faserrohstoffe für Geotextilien und ihre Eigenschaften, ITV (1986)	24
Anlage 2: Filterbauweisen	25
Anlage 3: Geotextil mit Zusatzausrüstung	26
Anlage 4: Beispiele für die Ausbildung des oberen Endbereiches einer Böschungssicherung (Ziff. 4.6)	27
Anlage 5: Bauwerksanschlüsse (Ziff. 4.7)	28
Anlage 6: Überlappungen auf Böschungen (Ziff. 4.8)	29
Anlage 7: Empfohlener Kornbereich für eine mineralische Ausgleichsschicht (Ziff. 4.3)	30
Anlage 8: Beispiele einer Filteranwendung mit Festlegung der Anforderungen nach dem Bodentyp-Verfahren der BAW für eine durchlässige Böschungssicherung an einem Schifffahrtskanal	31
Anlage 9: Flussdiagramm zur Bemessung und Ausschreibung der Anforderungen an einen geotextilen Filter	38

Verwendete Kurzzeichen

c'	=	effektive Kohäsion
c_u	=	Kohäsion des undränierten (nicht entwässerten) Bodens
C_u	=	Ungleichförmigkeitszahl ($C_u = d_{60} / d_{10}$)
d_i	=	Korndurchmesser des Erdstoffes bei i % des Siebdurchganges
D_i	=	Korndurchmesser des Filterstoffes bei i % des Siebdurchganges
D	=	Schichtdicke
O_{90}	=	wirksame Öffnungsweite des Geotextils oder seiner Einzellagen
G	=	Flächengewicht (Masse pro Flächeneinheit)
h	=	hydraulischer Höhenunterschied
Δh	=	Änderung des hydraulischen Höhenunterschiedes
i	=	hydraulisches Gefälle (h / D)
I_p	=	Plastizitätszahl ($w_L - w_P$)
k	=	Durchlässigkeitsbeiwert
k_v	=	Durchlässigkeitsbeiwert eines Geotextils normal zur Filterfläche
k_{10}	=	Durchlässigkeit bei 10 Grad
M_G	=	Gesamtmasse des Bodendurchganges
M_L	=	Masse des Bodendurchganges in der letzten Prüfphase
q	=	Durchflussrate
Δt	=	Zeitunterschied
v	=	Strömungsgeschwindigkeit
v_h	=	Geschwindigkeit der Änderung des hydraulischen Höhenunterschiedes
V_{H50}	=	Geschwindigkeitsindex, Durchflussgeschwindigkeit durch ein Geotextil die einem hydraulischen Höhenunterschied von 50 mm entspricht
v_s	=	Schiffsgeschwindigkeit
w_L	=	Wassergehalt an der Fließgrenze
w_P	=	Wassergehalt an der Ausrollgrenze
β	=	Böschungswinkel, bezogen auf die Horizontale
φ'	=	innerer Reibungswinkel des entwässerten Bodens
σ	=	Spannung
PES	=	Polyester
PP	=	Polypropylen

1 Vorbemerkung

Dieses Merkblatt gilt für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte nach DIN EN 13253, die bei Böschungs- und Sohlensicherungen von Wasserstraßen und den zugehörigen baulichen Anlagen wie z. B. bei Dämmen oder Seitengräben als Filter oder als Trennlage eingesetzt werden.

Voraussetzung für die Anwendung von Geotextilien ist die Einhaltung bestimmter, auf den Anwendungsfall bezogener technischer Anforderungen entsprechend den Bestimmungen der Technischen Lieferbedingungen für geotextile Filter (TLG) und die Vorlage einer aktuellen Leistungserklärung nach DIN EN 13253.

Produkte aus anderen Mitgliedsstaaten der Europäischen Union und der Türkei sowie Ursprungswaren aus einem EFTA-Staat, der Vertragspartei des EWR-Abkommens ist, die diesem Merkblatt nicht entsprechen, werden einschließlich der im Herstellungsstaat durchgeführten Prüfungen, Überwachungen und Zertifizierungen als gleichwertig behandelt, wenn mit ihnen das geforderte Schutzniveau (Sicherheit, Gesundheit und Gebrauchstauglichkeit) gleichermaßen dauerhaft erreicht wird.

2 Begriffe

2.1 Geotextil

Für Geotextilien gelten grundsätzlich die Begriffe der DIN EN ISO 10318-1.

2.2 Erosion

Als Erosion wird hier die durch Wasserströmung verursachte Umlagerung und der Transport nahezu aller Kornfraktionen eines Bodens bezeichnet. Die einzelnen Erscheinungsformen der Erosion (äußere Erosion, innere Erosion, Kontakterosion, Fugenerosion) werden im BAWMerkblatt Materialtransport im Boden (MMB) erläutert.

2.3 Suffosion

Suffosion ist das Umlagern bzw. Ausspülen von Feinanteilen eines Bodens durch Porenwasserströmungen. Das tragende Korngerüst wird dabei in seiner Struktur nicht verändert (MMB).

2.4 Kolmation

Kolmation ist die Verringerung der Wasserdurchlässigkeit des Bodens bzw. Filters durch Ein- oder Anlagerung von Feststoffen.

2.5 Verockerung

Durch Oxidation von zweiwertigen Eisen- und Manganionen, meist unter Mitwirkung von Mikroorganismen, bewirkte Ausfällung und Anlagerung von Eisen- und Manganverbindungen.

Chemische Verockerung kann auftreten, wenn im Grundwasser zweiwertiges Eisen oder Mangan vorhanden ist. Bei Vorhandensein von im Wasser gelöstem Sauerstoff werden die zweiwertigen Eisen- und Manganionen oxidiert und als schwerlösliche Oxide und Hydroxide ausgefällt (Rüegger und Hufenus 2003, Kuntze 1978).

Hohe Verockerungsraten treten vor allem dann auf, wenn Eisen- und Manganbakterien die Oxidation von zweiwertigem Eisen und Mangan bei ihrer Stoffwechsellätigkeit zur Energiegewinnung nutzen können. Diese Bakterien besiedeln feste Oberflächen und können so zu einer **biologischen Verockerung** führen (Mendonca und Ehrlich 2006, Correia et al. 2017).

2.6 Versinterung

Unter Versintern versteht man die Entwicklung von Kalkablagerungen. Dieser Prozess wird durch die Veränderung des Kalk-Kohlensäure-Gleichgewichtes im Wasser meist infolge Kohlensäureaustriebs hervorgerufen und durch Druckänderungen (Fließwechsel) und Temperaturänderungen begünstigt.

2.7 Kohäsive Böden / nicht kohäsive Böden

Die Unterscheidung in kohäsive und nicht kohäsive Böden erfolgt in Anlehnung an die DIN 18196. Als kohäsive Böden werden mindestens mittelpastische fein- und gemischtkörnige Böden bezeichnet, die eine effektive Kohäsion c' besitzen. Als nicht kohäsive Böden gelten hier grobkörnige sowie leichtplastische gemischt- und feinkörnige Böden.

2.8 Instationäre hydraulische Belastungen

Hydraulische Belastungen sind im Sinne dieses Merkblattes **instationär**, wenn Änderungen Δh des hydraulischen Höhenunterschiedes in der Zeit Δt mit einer Geschwindigkeit

$$v_h = \Delta h / \Delta t > k_{\text{Boden}}$$

erfolgen (z. B. schneller Absink, Wellen, turbulente Strömungen). Sie bewirken im Grenzbereich zwischen Boden und Filter relativ große hydraulische Gefälle (Schnitter und Zeller 1957) und damit turbulente Filterdurchströmungen.

2.9 Stationäre hydraulische Belastungen

Hydraulische Belastungen sind im Sinne dieses Merkblattes **stationär**, wenn Änderungen Δh des hydraulischen Höhenunterschiedes in der Zeit Δt mit einer Geschwindigkeit

$$v_h = \Delta h / \Delta t \leq k_{\text{Boden}}$$

erfolgen (z. B. langsame Wasserstandsänderungen, geringe Wellenhöhen und Fließgeschwindigkeiten). Sie bewirken im Grenzbereich zwischen Boden und Filter relativ kleine hydraulische Gefälle (Schnitter und Zeller 1957) und damit laminare Filterdurchströmungen.

3 Grundsätze für die Anwendung eines Geotextils als Filter oder als Trennlage

3.1 Notwendigkeit eines Geotextils

3.1.1 Filter

Ein Filter ist zwischen zwei unterschiedlichen Gesteinskörnungen erforderlich, wenn ein maßgebender Kornanteil der feinkörnigeren Lage bei den zu erwartenden Porenwasserströmungen nicht von der grobkörnigeren Lage zurückgehalten werden kann, d. h. wenn keine ausreichende Sicherheit gegen Kontakterosion besteht.

Der Nachweis der Sicherheit gegen Kontakterosion erfolgt nach MMB.

Ein geotextiler Filter ist auszulegen auf

- die Körnung und Wasserdurchlässigkeit des zu schützenden Bodens, unter Berücksichtigung der Art der hydraulischen Belastung (instationär/stationär, Ziff. 2.8, 2.9),
- die mechanischen Beanspruchungen während der Bauausführung und durch den Wasserstraßenbetrieb,
- die mechanische Beanspruchung während der Nutzung (z. B. Sandschliff),
- die chemischen Eigenschaften des Wassers im Filterbereich,
- eine mögliche UV-Bewitterung während der Bauausführung und
- eine ausreichende Langzeitbeständigkeit.

3.1.2 Trennlage

Eine Trennlage kann erforderlich werden, wenn

- eine Durchmischung sehr unterschiedlicher Korngrößen im Hinblick auf langfristige Setzungen verhindert werden soll (z. B. Sand oder Mutterboden auf Grobkies oder Steinen, grobes Betriebswegmaterial auf feinkörnigem Boden),
- eine Durchdringung von zwei Lagen sehr unterschiedlicher Korngrößen im Hinblick auf die langfristige Funktion einer Lage verhindert werden soll (z. B. Wasserbausteine auf Tondichtung, Tondichtung auf sehr grobkörnigem Baugrund),
- eine Erosion des Bodens unter einer Hartdichtung im Falle von Rissen verhindert und gleichzeitig eine Selbstheilung der Dichtung durch Kolmation unterstützt werden soll oder
- ein veränderlich festes Gestein unter dem Einfluss von Wasser, Bewitterung und Strömungsbelastungen oder mechanischen Einwirkungen (z. B. Steinbewegungen) nicht erosionsfest ist (Sandstein, Tonstein).

Eine geotextile Trennlage ist auszulegen auf

- einen sicheren Bodenrückhalt,
- die mechanischen Beanspruchungen während der Bauausführung und durch den späteren Betrieb,
- die chemischen Eigenschaften des Wassers,
- eine mögliche UV-Bewitterung während der Bauausführung und
- eine ausreichende Langzeitbeständigkeit.

3.2 Planungsgrundlagen

3.2.1 Baugrund

3.2.1.1 Angaben in der Baugrundbeschreibung

Die Baugrundbeschreibung muss folgende Angaben enthalten und repräsentativ für den Bauabschnitt sein, in dem der Filter bzw. die Trennlage eingebaut werden soll:

a) **Korngrößenverteilung:** Sie wird benötigt für die

- Prüfung der Notwendigkeit eines Filters (Ziff. 3.1.1) bzw. einer Trennlage (Ziff. 3.1.2),

- die Prüfung der Suffosionssicherheit (MMB),
 - die Geotextilbemessung (Ziff. 5.2),
 - die Abschätzung des Bodens im Hinblick auf nicht kohäsiv oder kohäsiv (Ziff. 3.2.1.2, 3.2.1.3) und
 - die Abschätzung des k-Wertes des Bodens (MMB).
- b) **Effektiver innerer Reibungswinkel des entwässerten Bodens (φ'):**
Er wird benötigt für die Abschätzung des Reibungsbeiwertes zwischen Boden und Geotextil (Ziff. 5.3.9).
- c) **Wasserdurchlässigkeitsbeiwert (k-Wert):** Er wird benötigt für die
- Beurteilung der Art der hydraulischen Belastungen (Ziff. 2.8 und 2.9) sowie die
 - Abschätzung der erforderlichen Wasserdurchlässigkeit normal zur Ebene des Geotextils (Ziff. 5.3.2).
- d) **Kohäsion des undrännierten Bodens (c_u) und Plastizitätszahl (I_p):** Sie werden für die Bemessung der filtertechnischen Eigenschaften eines geotextilen Filters benötigt (Ziff. 5.2.2, 5.2.3).
- e) **Schichtenaufbau und -verlauf:** An Böschungen sind bei geschichteten Böden die Hinweise in Ziff. 3.2.1.4 zu beachten.
- f) **Wasser im Filterbereich:** Die chemischen Eigenschaften des Wassers müssen wegen möglicher schädlicher Einwirkungen auf ein Geotextil bekannt sein (Ziff. 3.2.4.).

3.2.1.2 Nicht kohäsive Böden

Auf Böschungen neigen nicht kohäsive Böden bzw. schwach kohäsive Böden unter dem Einfluss von Porenwasserströmungen oder Oberflächenwasser zu Erosionsrinnen und es besteht die Gefahr von Rutschungen, wenn der Böschungswinkel

$$\beta \geq \varphi'/2$$

ist. Bei Schiffahrtseinwirkungen (Wellen, Absenk) tritt eine Instabilität der Böschung schon früher ein. Dies ist bei der Wahl der Filterbauweise (Ziff. 4) zu beachten.

3.2.1.3 Kohäsive Böden

Kohäsive Böden besitzen aufgrund ihrer Kohäsion eine sehr geringe Mobilität der Einzelkörner und eine sehr geringe Wasserdurchlässigkeit. Dies kann bei der Filterbemessung (Ziff. 5.2) berücksichtigt werden. Mögliche konzentrierte Wasseraustritte sind jedoch bei der Wahl der Filterbauweise (Ziff. 4) zu beachten. Ungeschützte Oberflächen sind stets erosionsgefährdet.

3.2.1.4 Inhomogene Untergrundverhältnisse

Inhomogene Untergrundverhältnisse im Sinne dieses Merkblattes liegen vor

- bei Wechsellagerung von nicht kohäsiven feinkörnigen oder gemischtkörnigen und grobkörnigen Böden nach DIN 18196,
- bei in sich inhomogenen Böden (Linsen) oder
- wenn alte Bauteile im Untergrund verbleiben (z. B. alte Deckschichtreste).

Sie müssen, wenn sie unterhalb des höchsten Ruhewasserspiegels liegen, bei der Wahl der Filterbauweise (Ziff. 4) beachtet werden. Es darf z. B. bei stetigem Grundwasserzustrom unter dem Geotextil nicht zu Umlagerungen von Feinkorn in eine tieferliegende, durchlässigere Lage kommen.

3.2.1.5 Suffosionsgefährdete Böden

Die Suffosionssicherheit ist bei nicht kohäsiven Böden gemäß MBB nachzuweisen.

3.2.2 Hydraulische Filterbelastungen

Bei der Ermittlung der Anforderungen an die Filterwirksamkeit eines Geotextils (Ziff. 5.2) sind folgende hydraulische Belastungsarten zu unterscheiden:

- a) instationäre hydraulische Belastungen und
- b) stationäre hydraulische Belastungen.

Ob im Einzelfall die instationären oder die stationären hydraulischen Belastungen maßgebend sind, kann nach den Kriterien in Ziff. 2.8 bzw. 2.9 geprüft werden.

Schiffahrtseinflüsse oder vergleichbare hydraulische Einwirkungen bewirken immer instationäre hydraulische Filterbelastungen.

3.2.3 Mechanische Belastungen

3.2.3.1 Allgemeines

Während des Einbaus bzw. während der Baumaßnahme aber auch durch den Wasserstraßenbetrieb kann ein Geotextil erheblichen mechanischen Beanspruchungen unterliegen. Es ist daher entweder durch ausreichende Festigkeitseigenschaften hierfür ausulegen, oder es sind geeignete Schutzmaßnahmen zu treffen.

3.2.3.2 Mechanische Beanspruchungen während der Bauausführung

Während der Bauausführung können folgende mechanische Beanspruchungen eines Geotextils auftreten:

- a) Verlegen des Geotextils
 - Zugbeanspruchungen: Es ist dafür Sorge zu tragen, dass keine Zugkräfte durch das Einbaugerät auf das Geotextil übertragen werden. Bei Einbau unter Wasser von der Wasseroberfläche aus werden die Zugbeanspruchungen von der Größe des Staudrucks der angeströmten Geotextilfläche bestimmt (Abromeit 1989) (s. a. Ziff. 5.3.5).
- b) Einbau von Schüttmaterial auf dem Geotextil
 - Zugbeanspruchungen:
 - lokal durch das Eindrücken des Geotextils in den Untergrund,
 - flächig bei Fixierung des Geotextils an der Böschungsoberkante infolge der hangabwärts gerichteten Kräfte beim Beschütten und der Längenänderung infolge des Eindrückens durch die Wasserbausteine sowie
 - bei gering dehnfähigen Geotextilien beim Überspannen von Planumsunebenheiten.
 - Durchschlagbeanspruchungen: Sie treten beim Beschütten mit Wasserbausteinen auf. Bei Einbau unter Wasser durch Verklappen von der Wasseroberfläche beträgt die Fallenergie der üblichen Wasserbausteine nur max. 15 % der Fallenergie von im Trockenen aus 2 m Höhe abgeworfenen Steinen (Knieß 1981, Abromeit 1986) (s. a. Ziff. 5.3.6).
Erhöhte Durchschlagbeanspruchungen, z. B. durch das Beschütten eines Geotextils auf einem sehr festen (Halbfest- oder Festgestein) oder steinreichen Planum, sind, z. B. durch eine Ausgleichschicht nach Ziff. 4.3, zu vermeiden.
 - Durchdrückbeanspruchungen können bei Verdichtungsarbeiten auftreten.

c) Befahren einer Schutzschicht über dem Geotextil

- Durchdrückbeanspruchungen: Die Größe dieser Beanspruchungen ist abhängig von der Dicke der Schutzschicht, von ihrer Korngröße, Kornform und vom Gewicht des Baugerätes sowie von der Festigkeit des Untergrundes (s. a. Ziff. 5.3.8).

3.2.3.3 Mechanische Beanspruchungen durch den Wasserstraßenbetrieb

Durch den Wasserstraßenbetrieb (Strömungen, Wellen, schneller Absink) sind folgende mechanische Beanspruchungen eines Geotextils möglich:

- Zugbeanspruchungen können durch Untergrundverformungen auftreten.
- Abriebbeanspruchungen können durch Scheuerbewegungen von Steinmaterial oder durch Bewegungen des Geotextils an scharfkantigen Bauteilen verursacht werden (s. a. Ziff. 5.3.7). Ggf. können auch Abriebbeanspruchungen infolge Sedimenttransport auftreten.

3.2.4 Wasser im Filterbereich

3.2.4.1 pH-Wert

Die Langzeitbeständigkeit von Geotextilien aus den Faserrohstoffen Polypropylen (PP) ist gegenüber sauren oder basischen Böden und Wässern im Bereich $3 < \text{pH} < 12$ und für Polyester (PES) im Bereich $3 < \text{pH} < 10$ unproblematisch.

3.2.4.2 Chemische und biologische Faktoren

Durch chemische bzw. biologische Prozesse wie

- Verockerung oder
- Versinterung

kann die Wasserdurchlässigkeit eines Filtersystems erheblich vermindert werden.

Bei der chemischen bzw. biologischen Verockerung kommt es zu einer Verringerung des Porenraumes durch die Ausfällung und Anlagerung von Verockerungsprodukten an den Oberflächen der Filtermaterialien.

Bei Wasserstraßen im Binnenbereich sind bisher keine Schadensfälle im Deckwerk infolge Verockerung bekannt. Deshalb sind hier in der Regel keine negativen Auswirkungen auf den geotextilen Filter und damit das Deckwerk zu erwarten. Sind jedoch projektspezifisch Verockerungsfälle bekannt (z. B. verockerte Quellen, Brunnen oder Dränagen, Ockerhorizonte in Erkundungsbohrungen) sind die Verockerungsgefahr (Chemismus des Grundwassers, vgl. Kapitel 2.5) und die Auswirkungen auf die Auftriebssicherheit der Deckschicht näher zu untersuchen und zu bewerten.

In Tidegebieten ist die Verockerungsgefahr grundsätzlich zu untersuchen und in ihren Auswirkungen auf die Auftriebssicherheit der Deckschicht zu bewerten. Dabei sollten sowohl die Grundwasserchemie als auch die hydrogeologische Situation berücksichtigt werden.

Schadensfälle an Deckwerken infolge Versinterung sind bisher nicht bekannt. Eine Versinterungsgefahr kann bei ziemlich hartem bis sehr hartem Grundwasser, d. h. bei einem deutschen Härtegrad $\geq 18^\circ \text{DH}$, und bei gleichzeitigem Vorhandensein von freiem CO_2 („überschüssige Kohlensäure“) bestehen (Rüegger und Hufenus 2003).

Bei einer Versinterungs- oder Verockerungsgefahr sind für den Einzelfall geeignete Lösungen zu suchen. Ggf. ist es sinnvoll, einen möglichst durchlässigen Kornfilter anstelle eines geotextilen Filters einzubauen (*) oder

eine konstruktive Lösung (z. B. eine an die eventuelle Auftriebsproblematik infolge Verockerung des Filters angepasste Dicke der Deckschicht) zu entwickeln.

() Anmerkung: Ein mineralischer Filter kann in solchen Fällen örtlich aufbrechen und somit zu einer Entlastung führen, was durch die Zugfestigkeit von Geotextilien verhindert wird.*

3.2.5 UV-Beständigkeit

Die Langzeitbeständigkeit von Geotextilien aus den üblichen Faserrohstoffen gegenüber UV-Bewitterung ist sehr unterschiedlich (Anlage 1). Sie lässt sich bei den UV-empfindlichen Faserrohstoffen durch Stabilisatoren wesentlich verbessern. Eine permanente UV-Bewitterung muss jedoch durch eine Schutzschicht ausgeschlossen sein.

3.2.6 Durchwurzelung

Geotextilien sind nach den vorliegenden Erfahrungen an Wasserstraßen von Gräsern, Stauden und Gehölzen grundsätzlich durchwurzelbar. Je größer die Verschieblichkeit der Fasern ist, desto geringer ist der Einfluss auf das Wurzelwachstum.

4 Filter- und Deckschichtbauweisen

4.1 Allgemeines

Je nach Baugrund, Böschungsneigung, hydraulischen Einwirkungen und Einbaubedingungen des Geotextils kommen folgende Filterbauweisen bei einer **durchlässigen** Deckschicht in Betracht (Anlage 2):

- a) Geotextil unmittelbar auf dem Baugrund (Standardbauweise),
- b) Geotextil auf einer Ausgleichsschicht,
- c) Zwischenlage auf dem Geotextil (Polsterschicht).

Die Filter- und Deckschichtbauweise muss besonders auf Böschungen unter den möglichen hydraulischen Einwirkungen (Ziff. 3.2.2) eine stabile Grenzschicht zwischen dem Geotextil und dem Boden gewährleisten, um Bodenumlagerungen auszuschließen. Dies erfordert eine ausreichende Auflast durch die Deckschicht (BAWMerkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlsicherungen an Binnenwasserstraßen (MAR), BAWMerkblatt Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlsicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB)). Bei zu geringer Auflast können sich Erosionsrinnen unter dem Geotextil bilden oder die Standsicherheit der Böschung gefährdet sein.

Für die Filterendbereiche und Bauwerksanschlüsse müssen i. Allg. besondere Bauweisen gewählt werden.

Unter einer **dichten** Deckschicht übernimmt ein Geotextil nur die Funktion einer Trennlage (s. Ziff. 3.1.2 und 5.2.3.2).

4.2 Geotextil unmittelbar auf dem Baugrund (Standardbauweise)

Die Anordnung eines Geotextils unmittelbar auf dem Baugrund (Anlage 2) ist die Standardbauweise. Dabei müssen

- vorhandener Bewuchs und alte Bauwerksreste vollständig entfernt sein,
- das Planum sich aufgrund der Baugrundeigenschaften ebenflächig herstellen lassen und

- die Standsicherheit der Böschung im Bauzustand gegeben sein.

4.3 Geotextil auf einer Ausgleichsschicht

Auf Böschungen wird die Anordnung einer Ausgleichsschicht unter einem Geotextil (Anlage 2) in folgenden Fällen empfohlen:

- a) das Planum lässt sich aufgrund der Baugrundeigenschaften nicht ebenflächig herstellen oder ist im Bauzustand nicht standsicher,
- b) das Planum ist steinreich oder
- c) Wurzeln wurden nicht vollständig entfernt.

Die Ausgleichsschicht muss auf den Baugrund filterrichtig abgestimmt sein (BAWMerkblatt Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK)). Zur Anwendung auf allen Böden mit einem Kornanteil $d_{15} \leq 0,06$ mm ist die in Anlage 7 dargestellte erste Stufe des Standard-Zweistufenfilters nach MAK geeignet. Bei einem Kornanteil des Bodens $d_{15} > 0,06$ mm ist die erste Stufe des Standard-Zweistufenfilters dann geeignet, wenn ihre Durchlässigkeit größer als die Durchlässigkeit des Bodens ist.

Die Einbaumenge ist so zu wählen, dass Hohlräume vollständig verfüllt werden und eine rechnerische Mindestüberdeckung von 5 cm (bei Unterwassereinbau 10 cm) gewährleistet ist.

Auf Böschungen, die steiler als 1:3 geneigt sind, sollte bei Unterwassereinbau gebrochenes Material verwendet werden.

Das Geotextil ist auf die Ausgleichsschicht zu bemessen (Ziff. 5.2 und 5.3).

4.4 Zwischenlage auf dem Geotextil (Polsterschicht)

Durch eine Zwischenlage wird bei großen Deckschichtelementen ein vollflächiger Kontakt des Geotextils mit dem Baugrund auch bei sehr großen instationären hydraulischen Belastungen erreicht (Anlage 2). Die Zwischenlage muss auf die Deckschicht filterrichtig abgestimmt sein.

Zwischenlagen sind auch als Polsterschicht unter scharfkantigen Deckschichtelementen (z. B. Betonblöcken) und beim Verklappen größerer Wasserbausteine, für die die Durchschlagfestigkeit des Geotextils nicht ausreichend ist, erforderlich.

4.5 Geotextil mit Zusatzausrüstung

4.5.1 Allgemeines

Für ein Geotextil kommen je nach Randbedingung des Anwendungsfalles folgende Zusatzausrüstungen in Frage:

- Faschinenrost, der auf das Geotextil aufgebunden wird,
- werksseitige Einlagerung zwischen zwei Geotextillagen,
- Schutz- oder Opferschicht auf der Oberfläche des Geotextils.

4.5.2 Geotextil mit Faschinenrost (Sinkstück)

Ein vollflächiger, weitgehend faltenfreier Einbau von Geotextilien ist mit Hilfe eines Faschinenrostes möglich, der auf das Geotextil aufgebunden wird (Anlage 3). Beim Einbau unter Wasser wird das Sinkstück mit Hilfe eines Balkens an einem Ende abgesenkt und dann durch Beschütten sukzessive auf den Boden gedrückt. Der Faschinenrost verbessert gleichzeitig die Lagestabilität des Schüttmaterials auf dem Geotextil.

Diese Bauweise kommt vor allem bei großflächigen Sohlensicherungen in stark bewegten Gewässern (Küste, Ästuar, Flüsse) in Wassertiefen bis ca. 30 m in Betracht.

4.5.3 Geotextil mit Einlagerung („Sandmatten“)

Durch werksseitig zwischen zwei Geotextillagen eingebrachte Gesteinskörnungen (z. B. Sand) oder Granulate lässt sich das Flächengewicht eines Geotextils deutlich erhöhen. Dies wirkt sich für den Unterwassereinbau günstig aus (keine Lageveränderungen durch Aufschwimmen, geringere Faltenbildung).

Grundsätzlich sind folgende Bauweisen möglich:

- a) das Füllmaterial trägt zur Filterwirkung bei oder
- b) nur das Trägertextil ist als Filter dimensioniert, das Füllmaterial dient als Verlegehilfe.

4.6 Endbereiche einer Böschungssicherung

Werden Geotextilien auf der Böschung verlegt, so sind sie am oberen Rand gegen Unterspülung durch Oberflächenwasser und Wellenaufschlag auch während der Bauzeit zu sichern (Anlage 4).

Der seitliche Anfangs- und Endbereich der Geotextilfläche ist bei Wellenbelastungen oder turbulenten Strömungen ebenfalls gegen Unterspülungen zu sichern (z. B. durch Einbinden in den Untergrund).

Die Gestaltung des unteren Endbereiches der Geotextilien erfolgt, entsprechend der jeweiligen Bauweise, nach MAR.

4.7 Bauwerksanschlüsse

Der Anschluss eines geotextilen Filters an ein Bauwerk ist so auszubilden, dass der zu schützende Untergrund an keiner Stelle, auch unter Berücksichtigung von Verformungen des Anschlusses (Fugenbildung), freiliegt. Der Anschluss muss dauerhaft filterstabil bleiben.

Bauwerksanschlüsse, die im Trockenen hergestellt werden, können an ebene Anschlussflächen z. B. in Form eines überlappenden Passstücks hergestellt werden, das am Bauwerk hoch geführt und fest mit diesem verbunden wird. Das Passstück muss so ausgebildet werden, dass es bei Bauwerksbewegungen keine schädlichen Zugbeanspruchungen erfahren kann (Anlage 5).

Der Anschluss an ebenflächige oder unregelmäßige Anschlussflächen (z. B. eine Spundwand) kann sowohl im Trockenen als auch unter Wasser durch einen mit dem Geotextil überlappenden Kornfilter oder durch eine Plombe aus dichtem Beton hergestellt werden (Anlage 5).

4.8 Überlappung und Nähte

Die Überlappung von zwei Geotextilbahnen muss

- im Trockenen $\geq 0,50$ m,

- unter Wasser $\geq 1,00$ m

breit sein (ZTV-W LB 210).

Auf Böschungen sollen Überlappungsflächen nur in Fallrichtung verlaufen. Lässt sich eine horizontal liegende Überlappung auf einer Böschung nicht vermeiden, so muss immer die untere Filterbahn über die obere greifen (Anlage 6).

Nähte müssen mit einem Abstand von der Geotextilkante von mindestens 3 cm hergestellt werden.

Bei einem Fadenriss darf sich nicht die gesamte Naht lösen. Ein üblicher Stich ist der Doppelkettenstich.

Wenn das Füllmaterial von Sandmatten zur Filterwirkung beiträgt, ist ein Vernähen auf der Baustelle nicht zulässig, es sei denn, die Nähte werden durch den kompletten Geoverbundstoff inkl. Füllmaterial geführt.

4.9 Deckschichten

Die Deckschicht (Schutzschicht) über einem Geotextil muss so bemessen bzw. ausgebildet sein, dass sie dieses dauerhaft gegen Beschädigungen durch Schiffsverkehr sowie gegen UV-Bewitterung (Ziff. 3.3.5) schützt. Der Bodenkontakt eines Geotextils ist umso gleichmäßiger, je feinkörniger die Schüttlage auf dem Geotextil ist (s. a. Ziff. 4.4).

Für Böschungs- oder Sohlensicherungen geeignete Schutzschichtbauweisen sind im MAR beschrieben.

Die erforderliche Deckschichtdicke für einen ausreichenden Schutz des Geotextils gegen UV-Bewitterung und Beschädigungen, z. B. durch Ankerwurf, Ankerfurchung und Schiffsanfahrung, ist nach GBB zu ermitteln.

5 Anforderungen

5.1 Allgemeines

Ein Geotextil und seine Nahtverbindungen sind sowohl hinsichtlich ihrer Filterwirksamkeit als auch hinsichtlich ihrer Festigkeitseigenschaften zu bemessen. Die Anforderungen können auf der Grundlage von

- Systemversuchen,
- Bemessungsregeln oder
- gesicherten Erfahrungswerten

festgelegt werden.

Wird ein Geotextil als Filter für eine Böschungs- oder Sohlensicherung von Wasserstraßen nach MAR oder GBB eingesetzt, sind die Regelanforderungen der TLG zu erfüllen. Diese Anforderungen basieren auf Systemversuchen in Verbindung mit Erfahrungswerten.

Für andere Geotextilanwendungen, Deckschichtbauweisen oder hydraulische Randbedingungen müssen die einzelnen Anforderungswerte im jeweiligen Anwendungsfall gesondert ermittelt oder abgeschätzt werden.

5.2 Filterwirksamkeit

5.2.1 Allgemeines

Die Anforderungen an die mechanische und hydraulische Filterwirksamkeit eines Geotextils können für durchlässige Deckschichten nach den folgenden Filterkriterien festgelegt werden:

- a) bei instationären hydraulischen Belastungen:
 - Bodentyp-Verfahren der BAW (Ziff. 5.2.2),
- b) bei stationären hydraulischen Belastungen:
 - Filterregeln (Ziff. 5.2.3.1).

In Anwendungsfällen, in denen die **instationären** hydraulischen Belastungen (Ziff. 3.2.2) maßgebend sind, besitzt die **mechanische Filterwirksamkeit** Vorrang. Bei Vorliegen eines Körnungsbandes mit Böden im Grenzbereich zwischen „nicht kohäsiv“ und „kohäsiv“ ist die mechanische Filterwirksamkeit grundsätzlich für die feinstkörnige, **nicht kohäsive** Körnungslinie des Bandes zu bemessen. Es ist ausreichend, wenn die Wasserdurchlässigkeit des Geotextils auch bei möglichen Bodeneinlagerungen nicht geringer ist als die der durchlässigsten Körnung des Bandes.

Bei **stationären** hydraulischen Belastungen besitzt dagegen die **hydraulische Filterwirksamkeit** Vorrang. Sie ist für die **durchlässigste** Körnung eines Körnungsbandes bei möglichst großer Durchlässigkeit des Geotextils so zu bemessen, dass die feinstkörnige, nicht kohäsive Körnung gerade noch zurückgehalten wird.

Soll ein Geotextil auf einem **suffosionsgefährdeten** Baugrund angewendet werden, so sind folgende Möglichkeiten gegeben:

- Bemessung des Geotextils so offen, dass der bewegliche Kornanteil passieren kann, oder
- Bemessung des Geotextils so, dass der bewegliche Kornanteil zurückgehalten wird. Die dadurch mögliche Erhöhung des Wasserdruckes darf die Standsicherheit und Gebrauchsfähigkeit des Bauwerkes nicht gefährden.

Hinweise zur Abschätzung des beweglichen Kornanteils sind im MMB enthalten.

Für die Anwendung unter einer **dichten Deckschicht** (Dichtung) gelten besondere Kriterien (Ziff. 5.2.2.3).

5.2.2 Bodentyp-Verfahren der BAW

5.2.2.1 Grundlagen

Das Bodentyp-Verfahren ist von der BAW zur Beurteilung der Eignung eines Geotextils als Filter für Böschungs- und Sohlensicherungen an Schifffahrtskanälen entwickelt worden und auf **instationäre hydraulische** Filterbelastungen, wie sie an Wasserstraßen auftreten, ausgelegt (Knieß 1983).

Bei dem Bodentyp-Verfahren ist der Bereich der nicht kohäsiven bzw. schwach kohäsiven Böden vom Mittelschluff bis zum Mittelkies in Anlehnung an die Korngrenzen der DIN 18196 in drei Bodentypen (A, B und C) eingeteilt (TLG).

Im Rahmen der erforderlichen Grundprüfung (TLG, ZTV-W LB 210) werden die äußeren instationären hydraulischen Filterbelastungen an Wasserstraßen

- a) schneller Absink und Wiederanstieg des Wasserspiegels sowie

- b) oberflächenparallele turbulente Anströmungen des Filters durch Rückströmungen, Wellen, Schraubenstrahl

in einer Systemprüfung Geotextil/Boden simuliert und der Bodendurchgang durch das Geotextil sowie die Wasserdurchlässigkeit bei eingelagertem Boden ermittelt. Dies erfolgt für Böden des Bodentyps C im Turbulenzverfahren nach DIN EN ISO 10772, für Böden der Bodentypen A und B im Turbulenzverfahren oder im Durchströmungsverfahren (BAWRichtlinie Prüfung von Geokunststoffen im Verkehrswasserbau (RPG)).

Zur Prüfung wird ein am feinkörnigen Rand des Gültigkeitsbereiches des jeweiligen Bodentyps liegender Boden verwendet (TLG). Die Prüfung kann bei Bedarf im Rahmen einer Eignungsprüfung (Ziff. 6.3) auch mit dem anstehenden Baugrund durchgeführt werden.

5.2.2.2 Anwendungsprinzip bei einer durchlässigen Deckschicht

Von dem Boden des Filterplanums wird die Körnungslinie (Ziff. 3.2.1.1) benötigt. Ist er **kohäsiv**, so sollten auch sein c_u und I_p bekannt sein. Sind c_u und I_p nicht bekannt oder ist $c_u < 10 \text{ kN/m}^2$ und $I_p < 0,15$, ist das Geotextil – auf der sicheren Seite liegend – immer für den Bodentyp C zu bemessen.

Ist der Boden **nicht kohäsiv** im Sinne der Ziff. 3.2.1.2, so ist er anhand seiner feinstkörnigen, nicht kohäsiven Körnungslinie dem Gültigkeitsbereich eines der Bodentypen A, B oder C (TLG) zuzuordnen. Für die Filteranforderungen ist der Bodentyp maßgebend, in dessen Gültigkeitsbereich die Kornanteile $d_5 - d_{60}$ der Körnungslinie des zu schützenden Bodens liegen.

Ein Geotextil besitzt gegenüber allen Böden eines Bodentyps (A, B oder C) eine ausreichende Filterwirksamkeit, wenn die in TLG, Anlage 2, angegebenen Werte für den Bodendurchgang im Durchströmungsverfahren (Bodentyp A und B) bzw. im Turbulenztest (Bodentyp C), für die Schichtdicke (Ziff. 5.3.4.1) sowie die Durchlässigkeit normal zur Geotextilebene k_v (bei $h = 50 \text{ mm}$) eingehalten werden. Der Grenzwert für den Bodendurchgang in der letzten Prüfphase (M_L) gibt an, ob eine ausreichende Stabilisierung des Bodendurchganges während der Prüfungsdauer eingetreten ist.

Liegt für den Baugrund ein Körnungsband vor, das über die Grenzen des Gültigkeitsbereiches eines Bodentyps hinausreicht, so ist der geotextile Filter auf alle Bodentypen auszulegen, die von dem Körnungsband mit den Kornanteilen $d_5 - d_{60}$ erfasst werden, d. h. es gelten für den geotextilen Filter alle zugehörigen Anforderungen (Beispiel s. Anlage 8).

Der k_v -Wert des bodenbesetzten Geotextils muss grundsätzlich mindestens doppelt so groß sein wie der des Bodens (bei stark schluffigen Böden mindestens 10fach).

Für **kohäsive** Böden (z. B. Dichtungston) gelten in Abhängigkeit von ihrer Kohäsion und Plastizität verminderte Filteranforderungen. Ist $c_u \geq 10 \text{ kN/m}^2$ und $I_p \geq 0,15$, so ist aufgrund der Ergebnisse von Filterversuchen (Abromeit 1991) jedes Geotextil auf diesem Boden als Filter geeignet, das die Anforderungen an den zulässigen Bodendurchgang für einen der Bodentypen A, B oder C erfüllt.

Ist $c_u < 10 \text{ kN/m}^2$ oder $I_p < 0,15$, so ist jedes Geotextil als Filter geeignet, das die Anforderungen an den zulässigen Bodendurchgang für den Bodentyp C erfüllt.

5.2.2.3 Anwendungsprinzip bei einer dichten Deckschicht

Wird ein Geotextil unter einer dichten Deckschicht (Dichtung) als Trennlage vorgesehen, so soll es gleichzeitig deren Selbstheilung im Falle von Rissen unterstützen (MAR). Außerdem sollte seine Wasserdurchlässigkeit insbesondere in der Geotextilebene (Transmissivität) und Schichtdicke in diesem Fall möglichst gering sein,

um zu verhindern, dass sich bei Leckagen in der Dichtung das Druckpotential des Gewässers weiträumig unter der Dichtung ausbreitet. Es ist dazu ausreichend, die mechanische Filterwirksamkeit unabhängig von der Bodenart des Baugrundes entsprechend TLG auf den Bodentyp B auszulegen und ein Geotextil mit einer Dicke $D < 6$ mm zu wählen.

5.2.3 Bemessung

5.2.3.1 Filterbemessung

Geotextilien, die als Filter in Deckwerken eingesetzt werden, sind nach dem Bodentyp-Verfahren (Ziff. 5.2.2) zu bemessen.

Filterregeln, die auf der charakteristischen Öffnungsweite des Geotextils (DIN EN ISO 12956) basieren, wurden ausschließlich für stationäre und unidirektionale Durchströmung aufgestellt. Eine Bemessung für diese Fälle kann nach Merkblatt DWA-M 511 (2017) erfolgen. Weitere Beispiele für Filterregeln sind in Rügger und Hufenus (2003), CFGG (1986) und Holtz et al. (1997) enthalten. Filterregeln, die auch weitgestufte Kornverteilungen berücksichtigen, finden sich in CFEM (2006).

5.2.3.2 Bemessung einer Trennlage

Eine Trennlage ist filtertechnisch lediglich auf einen sicheren Bodenrückhalt zu bemessen. Es ist zu diesem Zweck ausreichend, eine obere Grenze für die zulässige Öffnungsweite (Ziff. 5.3.3) nach den Randbedingungen der Baumaßnahme festzulegen.

5.3 Materialeigenschaften

5.3.1 Allgemeines

Es gelten die allgemeinen Materialanforderungen der TLG.

Geotextilien müssen so flexibel und dehnfähig sein, dass sie sich den nicht vermeidbaren Bodenunebenheiten des Planums unter der Deckschichtauflast vollflächig anpassen, ohne ihre Filterwirksamkeit zu verlieren. Mechanisch verfestigte (vernadelte) Vliesstoffe besitzen eine deutlich größere Dehnfähigkeit als chemisch oder thermisch verfestigte oder als gewebte Materialien.

Ein Geotextil und seine Nahtverbindungen müssen so bemessen oder ausgelegt werden, dass die zu erwartenden mechanischen Beanspruchungen nicht zu einer Beeinträchtigung der Filtereigenschaften oder gar zur Beschädigung führen. In der Regel sind die Beanspruchungen während der Bauausführung für die erforderlichen Materialeigenschaften maßgebend (Ziff. 3.2.3.2).

Die wichtigsten physikalischen und chemischen Eigenschaften der üblichen Faserrohstoffe sind aus Anlage 1 zu ersehen (s. a. Ziff. 3.2.4.1). Diese Faserrohstoffe sind nach den bisherigen Erfahrungen umweltverträglich.

5.3.2 Wasserdurchlässigkeit

Die Wasserdurchlässigkeit eines Geotextils normal zur Ebene wird durch Porenanteil (bei Vliesstoffen ca. 80–95 %), Porengröße, Porenverteilung und die Dicke beeinflusst. Sie wird angegeben als

- Geschwindigkeitsindex V_{H50} (mm/s) nach DIN EN ISO 11058 oder
- Durchlässigkeitsbeiwert k_{10} (m/s).

Die Kennwerte verändern sich nicht linear zum hydraulischen Höhenunterschied und der Temperatur. Sie sind nur im laminaren Bereich ($i \leq 2$) konstant. Beim Vergleich von Kennwerten ist es daher erforderlich, die Versuchsrandbedingungen anzugeben, sofern sie von der Norm abweichen.

Die Durchlässigkeit eines fabrikneuen (ungebrauchten) Geotextils kann im Gebrauchszustand durch folgende Einflüsse erheblich verringert werden:

- Bodeneinlagerungen („clogging“), Verstopfen („blinding“),
- Anlagerung von Feinteilen,
- Versinterung, Verockerung,
- Höhe einer flächenhaften Auflast oder
- Verkleinerung der freien Durchflussfläche durch große ebenflächige Schutzschichtelemente (z. B. Betonelemente).

5.3.3 Öffnungsweite

Das Spektrum der Porengrößen eines Geotextils bzw. seiner Einzellagen wird ersatzweise durch den Kennwert O_{90} (charakteristische Öffnungsweite) nach DIN EN ISO 12956 beschrieben. Er wird durch Siebung ermittelt, wobei das Geotextil als Sieb dient. O_{90} ist die Öffnungsweite, die gleich der Korngröße d_{90} des Kornmaterials ist, das durch das Geotextil gesiebt wird. O_{90} dient bei der Filterbemessung nach Filterregeln (Ziff. 5.2.3.1) als ein charakteristischer Parameter für den Bodenrückhalt. Die Öffnungsweite kann sich durch eine Auflast verringern bzw. durch Geotextilverformungen oder Faserverschiebungen infolge von instationären Einflüssen je nach Geotextilart bzw. -festigkeit auch vergrößern.

Abriebbeanspruchte Geotextilien sollten auch nach dem Abriebtest (Ziff. 5.3.7) noch eine ausreichende Öffnungsweite aufweisen, da auch nach dieser Beanspruchung die Filterfunktion erhalten bleiben sollte.

5.3.4 Dicke

5.3.4.1 Bei Filterfunktion

Die Filterwirksamkeit eines Geotextils lässt sich durch die Schichtdicke beeinflussen. Mit zunehmender Dicke

- werden bei Vliesstoffen die Auswirkungen von möglichen Flächengewichtsschwankungen auf die Schwankungen der Öffnungsweite geringer (Erosionssicherheit),
- verringert sich die Empfindlichkeit gegen starke Schwankungen der Körnungslinie des Bodens (Erosionssicherheit),
- verringert sich der Abriebeeinfluss,
- werden die durch das Geotextil auf den Boden einwirkenden hydrodynamischen Kräfte (Wellen, turbulente Strömungen) gedämpft, d. h. es kann bei gleichem Bodenrückhalt offenerporiger sein (Kolmationssicherheit), und
- verbessert sich das Vermögen, Wasser auch in den Filterflächen abzuleiten, die z. B. durch sehr große Schutzschichtelemente belegt sind (Standssicherheit).

Für Standardanwendungen im Deckwerk werden in der TLG Mindestdicken für die Bodentypen A, B und C gefordert.

5.3.4.2 Bei Trennfunktion

Übernimmt ein Geotextil eine Trennfunktion (Ziff. 3.1.2), ist die Forderung einer Mindestdicke nicht notwendig. Die Dicke des Geotextils wird allein durch die benötigten Festigkeitseigenschaften bestimmt.

5.3.5 Zugfestigkeit und Dehnungen

In den TLG sind die erforderlichen Mindestwerte für die Zugfestigkeiten an der Bruchgrenze für 1:2 geneigte oder flachere Deckschichten angegeben. Sie decken nach den bisherigen Erfahrungen die üblichen, nicht vermeidbaren Zugbeanspruchungen (Ziff. 3.2.3) ausreichend sicher ab (Knieß 1982) und berücksichtigen auch Zugbeanspruchungen bei Unterwassereinbau durch den Staudruck von Strömungen ($v \leq 1,50$ m/s) (Abromeit 1986 und 1989). Für abriebbeanspruchte Geotextilien ist zusätzlich eine ausreichende Restzugfestigkeit nach dem Abriebtest (Ziff. 5.3.7) nachzuweisen.

Bei steiler als 1:2 geneigten Böschungen oder wesentlich stärkeren Strömungsbelastungen beim Einbau sind besondere Nachweise für die benötigte Höchstzugfestigkeit zu führen.

Vliesstoffe können bei einaxialen Zugbeanspruchungen Dehnungen an der Bruchgrenze bis zu 150 % erreichen. Bei Geweben liegen sie i. Allg. deutlich unter 20 %.

Die erforderlichen Höchstzugfestigkeiten für ein Geotextil mit Faschinenrost (Sinkstück) richten sich nach den Sinkstückabmessungen und dem Einbauverfahren (Ziff. 4.5.2). Sie sind im Regelfall höher als beim Einbau von Geotextilen ohne Faschinenrost.

5.3.6 Durchschlagwiderstand

Beim Aufbringen einer Schutzschicht aus Wasserbausteinen (Schüttsteinen) wird das Geotextil in Abhängigkeit von

- Form und Gewicht der Steine,
- Fallhöhe der Steine,
- Festigkeit des Untergrundes und
- Einbau im Trockenen oder unter Wasser

auf Durchschlag beansprucht. Diese Belastungen muss das Geotextil nachweislich schadlos überstehen, wozu der Durchschlagwiderstand nach den TLG nachzuweisen ist.

5.3.7 Abriebbeständigkeit

Abriebbeanspruchungen (Ziff. 3.2.3.3) können langfristig zu Beschädigungen eines Geotextils führen. Geotextilien werden im Deckwerk als Filter oder Trennlage verwendet und sind unter einer erosionsstabilen Schutzschicht aus Gesteinskörnungen angeordnet, sodass sie vor Abriebbeanspruchungen aus Sedimenttransport weitestgehend geschützt sind. Abriebbeanspruchungen treten nach den bisherigen Erfahrungen in nennenswerter Größe nur im Wasserwechselbereich bei ungebundenen Schutzschichten mit großen Hohlräumen (z. B. Wasserbausteine) oder bei durchlässigen Betonverbundsteinsystemen durch Scheuerbewegungen einzelner Steine bei häufigen starken Wellenbelastungen sowie bei schadhafte Deckschichten auf.

Als abriebbeständig gilt ein Geotextil dann, wenn nach der Abriebprüfung sich die Öffnungsweite um nicht mehr als ein für den Anwendungsfall zuträgliches Maß vergrößert hat und die geforderte Höchstzugfestigkeit nicht unterschritten wird. Wenn Geoverbundstoffe nur einseitig auf Abriebbeständigkeit geprüft werden, muss die geprüfte Seite nach der Verlegung oben liegen.

Bei Geotextilien mit Einlagerungen werden häufig Gewebe als Deckschicht für das Füllmaterial verwendet. Diese weisen i. Allg. keine ausreichende Abriebbeständigkeit auf. Um einen Eintrag von Kunststoffpartikeln in die Gewässer weitgehend zu vermeiden, dürfen Geotextilien mit Einlagerung, bei denen ein Geotextil aus nicht abriebbeständigem Bändchengewebe besteht, nur mit dem Bändchengewebe nach unten verlegt werden.

5.3.8 Durchdrückwiderstand

Lassen sich Durchdrückbeanspruchungen des Geotextils nicht vermeiden (Ziff. 3.2.3.2), so wird eine Eignungsprüfung (Ziff. 6.3) an einer Probefläche unter Baustellenbedingungen empfohlen, wenn eine Beschädigung des Geotextils aufgrund von Erfahrungen nicht ausgeschlossen werden kann.

Durchschlagfeste Geotextilien nach RPG sind bei Schutzschichtdicken nach Ziff. 4.9 auch durchdrückfest, da Durchschlagbeanspruchungen eine größere dynamische Belastung der Geotextiloberfläche darstellen.

5.3.9 Reibungsbeiwert

Der Reibungsbeiwert zwischen einem Geotextil aus mechanisch verfestigten Vliesen und Boden stellt i. Allg. bei der Anwendung für eine Böschungssicherung bis zu Böschungseigungen von 1:2,5 keine Mindestanforderung dar. Um die Lagestabilität beim Einbau zu gewährleisten, sollte das Beschütten des Geotextils mit den Deckwerkssteinen sukzessive von unten nach oben erfolgen, damit sich die Deckschicht in sich abstützen kann. Voraussetzung dafür ist eine regelgerechte Fußsicherung der Deckschicht nach MAR.

Für andere Geotextilien (Gewebe, thermisch verfestigte Vliese) sowie bei Böschungseigungen steiler als 1:2,5 sollte die Lagestabilität des Geotextils im Rahmen einer Eignungsprüfung nachgewiesen werden.

5.3.10 Flächenbezogene Masse

Die erforderliche flächenbezogene Masse eines Geotextils ergibt sich aus den geforderten Material- und Filtereigenschaften. Sie dient bei Qualitätskontrollen als kennzeichnender Vergleichswert und muss daher bei jeder Prüfung (Ziff. 6) bestimmt werden (DIN EN ISO 9864).

Sie kann aufgrund von Erfahrungen als Richtwert für das Erreichen bestimmter Materialeigenschaften herangezogen werden.

6 Prüfungen

6.1 Allgemeines

Im Rahmen der Qualitätssicherung werden folgende Prüfungen unterschieden

- Werkseigene Produktionskontrolle (WPK) bei der Herstellung,
- Nachweis der grundsätzlichen Eignung (Grundprüfung),
- Eignungsprüfung des Auftragnehmers (AN) und
- Kontrollprüfungen des Auftraggebers (AG).

Grund- und Kontrollprüfungen sind für Geotextilien nach Maßgabe der TLG und ZTV-W LB 210 durchzuführen.

6.2 Grundprüfung

Die Grundprüfung ist eine Prüfung, die der Hersteller des Geotextils gemäß den Regelungen der RPG in Auftrag gibt. Aus dem Deckblatt der Grundprüfung sind die Bodentypen (A, B und/oder C) der TLG, die Durchschlagfestigkeit und die Angabe „Nachweis der Dauerhaftigkeit 50 Jahre“ zu ersehen. Der Prüfbericht der Grundprüfung ist mit einer Geltungsdauer ausgestellt, die auf Antrag des Herstellers verlängert werden kann. Der AN muss für den vorgesehenen Verwendungszweck einen aktuell gültigen Prüfbericht über die Grundprüfung vorlegen.

6.3 Eignungsprüfung

Die Eignungsprüfung ist eine Prüfung des AN zum Nachweis der Eignung des Bauproduktes Geotextil unter Berücksichtigung des Einbauverfahrens für den vorgesehenen Verwendungszweck entsprechend den Anforderungen des Bauvertrages. Sie ist rechtzeitig vor Baubeginn durchzuführen.

Eine Eignungsprüfung ist erforderlich

- a) zum Nachweis der Einhaltung von Anforderungen, die durch besondere Randbedingungen der Baumaßnahme begründet sind und daher nicht durch das Zeugnis einer Grundprüfung abgedeckt sind;
- b) bei hohen Sicherheitsanforderungen und filtertechnisch schwierigem Baugrund (Systemversuche unter Verwendung der Körnung des Baugrundes als Prüfboden);
- c) bei Anwendung eines noch nicht erprobten Einbauverfahrens oder bei fehlender Erfahrung im Unterwassereinbau von Geotextilien.

6.4 Qualitätssicherung bei der Herstellung

Die Bewertung und Überprüfung der Leistungsbeständigkeit hinsichtlich der Übereinstimmung mit der DIN EN 13253 muss nach dem System 2+ erfolgen.

6.5 Kontrollprüfungen des Auftraggebers

Kontrollprüfungen sind Prüfungen des AG, um festzustellen, ob die Eigenschaften des Bauproduktes den vertraglichen Anforderungen entsprechen.

Proben der Kontrollprüfungen sind vom AN auf Anweisung des AG zu entnehmen und vom AG an die Prüfstelle zu versenden. Es sind für die Proben anzugeben:

- Produktbezeichnung,
- ausgeschriebene Anforderungen,
- Leistungserklärung des Herstellers,
- CE-Kennzeichnung,
- Rollen-Nr.,
- Bezeichnung der Baumaßnahme,
- Station, für die die Probe repräsentativ ist,
- Einbauoberseite des Geotextils,
- Datum der Probennahme,

- Name des Bevollmächtigten.

Werden Nahtverbindungen auf der Baustelle hergestellt, so sollte eine Probenahrt vor Einbaubeginn geprüft werden (ZTV-W LB 210).

Die Proben aus einer Lieferung sind der Prüfstelle durch den AG so rechtzeitig zu übersenden, dass die Prüfungsergebnisse noch vor Einbaubeginn vorliegen können (TLG).

7 Hinweise zur Ausschreibung und Bauausführung

7.1 Vergabeunterlagen

Die Lieferung von Geotextilien ist immer in Verbindung mit den „Technischen Lieferbedingungen für geotextile Filter (TLG)“ auszuschreiben.

Bei der Ausschreibung eines Geotextils für eine Regeldeckschicht nach dem Standardleistungskatalog (STLK) Leistungsbereich 210 sind mit der Zuordnung des zu schützenden Bodens nach dem Bodentyp-Verfahren der BAW (Ziff. 5.2.2) und der Angabe der Deckschichtbauweise alle maßgebenden (besonderen) Anforderungen nach TLG, Anlage 2, eindeutig festgelegt. Auf diese Anlage ist in den Vergabeunterlagen zu verweisen. Bei abweichenden oder zusätzlichen Anforderungen sind alle maßgebenden Anforderungen in die Baubeschreibung aufzunehmen.

Sind besondere Anschlüsse (Ziff. 4.6 und 4.7) auszuführen, so sind sie in den Vergabeunterlagen detailliert zu erläutern und ggf. zusätzlich zeichnerisch darzustellen.

In den Vergabeunterlagen sind zulässige Toleranzen für das Baugrundplanum anzugeben.

7.2 Bauausführung

7.2.1 Vorbereitung des Filterplanums

Das Filterplanum ist eben herzustellen. Erosionsrinnen und Löcher, die häufig bei der Planumsherstellung bei kohäsivem Boden entstehen, sind mit filterstabilem Boden abzugleichen (s. Ziff. 4.3). Bewuchs, frei liegende Steine oder Fremdkörper sind zu beseitigen. Andernfalls ist wegen der größeren Oberfläche eines unebenen im Vergleich zu einem ebenen Planum mit einem erhöhten Materialverbrauch zu rechnen, der bis zu 30 % der Filterfläche betragen kann (Abromeit 1986). Dies kann sich bei der Ausführung von Überlappungen oder Anschlüssen an ein Bauwerk durch erhebliche Fehlbreiten auswirken.

7.2.2 Einbau im Trockenen

Der Einbau von Geotextilien im Trockenen ist in der Regel unproblematisch (Ziff. 3.2.3.2). Es muss jedoch beachtet werden, dass die Sicherung des Geotextils gegen Lageveränderungen infolge Wind, Wellen (Tidebereich) etc. nicht zu einer Perforation des Geotextils in der später durchströmten Filterfläche führen darf (ZTV-W LB 210) und dass sie nicht unkontrollierte Zugspannungen beim Schutzschichteinbau zur Folge haben darf. Das Geotextil muss nachrutschen können.

Geotextilien dürfen nicht ohne ausreichende Schutzschicht befahren werden (Ziff. 3.2.3.2), ggf. ist eine Eignungsprüfung (Fahrversuch) durchzuführen.

7.2.3 Einbau unter Wasser

Da Geotextilien sich wegen ihres geringen spezifischen Gewichtes (Anlage 1) und infolge von Lufteinschlüssen ohne eine zusätzliche Auflast nicht unter Wasser auf das Planum absenken, ist ihr plangerechter Unterwasser-einbau nur mit technischen Hilfsmitteln oder mit einer Zusatzausrüstung (s. Ziff. 4.5) möglich.

An das Einbauverfahren sind folgende Anforderungen zu stellen (gilt nicht für Sinkstücke, Ziff. 4.5.2):

- a) Die Geotextilbahn soll im Moment des Einbaues der Deckschichtmaterialien möglichst auf dem Planum aufliegen oder nur in geringer Höhe ($< 0,50$ m) mit einer geringen Vorspannung darüber gehalten werden. Eine schwimmende Geotextilbahn lässt sich durch Beschütten nicht in die planmäßige Lage und auch nicht faltenfrei absenken. Außerdem besteht die Gefahr, dass grobe Schüttmaterialien (Steine) unter die Geotextilbahn gelangen (Durchschlagrisiko, Standsicherheit der Deckschicht auf Böschungen, Ziff. 4.1, erhöhtes Risiko des Durchscheuerns).
Die einwandfreie Lage des Geotextils ist jeweils vor dem Einbau der Schutzschicht durch Taucher zu kontrollieren, wenn dies nicht durch das Einbauverfahren oder durch die eingesetzte Zusatzausrüstung (Ziff. 4.5) gewährleistet ist.
- b) Überlappungsflächen sind unmittelbar vor dem Verlegen der Nachbarbahn durch Taucher auf vollflächiges Aufliegen und Steinfreiheit zu überprüfen.
- c) Fixierungen der Geotextilbahn, die zu Beschädigungen der vorgesehenen Filterfläche führen (z. B. Nageln), sind unzulässig.
- d) Die Geotextilbahn darf nur über abgerundete Kanten umgelenkt werden, um Scheuerbeanspruchungen durch Bewegungen der Verlegeeinrichtung oder des Geotextils gering zu halten.

Die zulässige Höchstgeschwindigkeit der Schifffahrt sollte im Baustellenbereich auf maximal $v_s = 6$ km/h begrenzt werden, um Rutschungen oder eine Erosion des Filterplanums, Beschädigungen der Filterbahn durch den Staudruck und Lageveränderungen der Überlappungen durch Rückströmungen oder Wellen so weit wie möglich auszuschließen. Gegebenenfalls ist der Abstand der Schiffe zur Böschung durch Schifffahrtszeichen, deutlich weiter als schon durch die Baugeräte bedingt, zu vergrößern.

Bei Einbau einer Ausgleichsschicht sind die Empfehlungen in Ziff. 4.3 zu beachten.

7.3 Bestandsunterlagen

Im Hinblick auf spätere Unterhaltungsarbeiten oder Reparaturen sind von der tatsächlichen Ausführung des Deckwerkes Bestandsunterlagen zu fertigen, aus denen alle wesentlichen Einzelheiten hervorgehen. Dazu gehören:

- Beschaffenheit des Untergrundes nach DIN EN ISO 14688-1 und DIN 18196,
- Leistungserklärung mit Produktbezeichnung des Geotextils und Zeugnis der Grundprüfung sowie evtl. Eignungsprüfungen,
- Art der Verbindung der Geotextilbahnen (Nähte, Überlappungen), Angabe der Bahnbreiten,
- Anschlüsse des Geotextils an den Untergrund und an Bauwerke,
- Deckwerksaufbau,
- Fußausbildung,
- Stationierung des Einbaubereiches,

- Besonderheiten beim Einbau (z. B. evtl. Mängel bei den Kontrollprüfungen oder Vorbehalte bei der Abnahme) und
- Taucherberichte.

8 Literatur/Regelwerke

Literatur

Abromeit, H.-U. (1986): Maschinelles Unterwassereinbau von geotextilen Filtern; Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Heft 62/1986.

Abromeit, H.-U. (1989): Zugbeanspruchungen einer Geotextilbahn durch Schiffsverkehr beim Unterwassereinbau von der Wasseroberfläche aus, BAW-Brief Nr. 5/1989, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.

Abromeit, H.-U. (1991): Filtertechnische Anforderungen an Geotextilien auf Tondichtungen, BAW-Brief Nr. 3/91, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.

Busch, K.-F.; Luckner, L. (1974): Geohydraulik für Studium und Praxis, 2. Auflage, Ferdinand Enke Verlag, Stuttgart.

CFEM (2006): Canadian Foundation Engineering Manual. 4th Edition. Canadian Geotechnical Society.

CFGG (1986): Géotextiles manual. Comité Français des Géotextiles et Géomembranes, Association Française de Normalisation, France, 64 p.

Correia, L.G.C.S.; Ehrlich, M.; Mendonca, M. B. (2017): The effect of submersion in the ochre formation in geotextile filters; Geotextiles and Geomembranes, International Geosynthetics society (IGS), 45 (2017), S. 1-7.

Grett, H.-D. (1984): Das Reibungsverhalten von Geotextilien in bindigem und nichtbindigem Boden; Mitteilungen des Franzius-Instituts für Wasserbau und Küsteningenieurwesen der Universität Hannover, Heft 59/84.

Holtz, R. D.; Christopher, B. R.; Berg, R. R. (1997): Geosynthetic Engineering. Richmond: BiTech Publishers Ltd.

ITV (1986): Denkkendorfer Fasertafel, Institut für Textil- und Verfahrenstechnik (ITV), Körschtalstr. 26, 73770 Denkkendorf.

Kézdi, A. (1969): Handbuch der Bodenmechanik I, VEB Verlag für Bauwesen, Berlin.

Knieß, H. G. (1981): Schütten von Steinen unter Wasser, Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Nr. 50, Karlsruhe.

Knieß, H. G. (1983): Kriterien und Ansätze für die technische und wirtschaftliche Bemessung von Auskleidungen in Binnenschiffahrtskanälen, Mitteilungsblatt Nr. 53 der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.

Knieß, H. G.; List, H.-J. (1982): Langzeitbeständigkeit geotextiler Filter; unveröffentlichter Forschungsbericht, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.

Kuntze, H. (1978): Verockerungen; Diagnose und Therapie; Schriftenreihe des Kuratoriums für Wasser- und Kulturwesen, Heft 32.

Mendonca, M. B.; Ehrlich, M. (2006): Column Test Studies of Ochre Biofilm Formation in Geotextile Filters; Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Oktober 2006, S. 1284–1291.

Schnitter, G.; Zeller, J. (1957): Sickerströmungen als Folge von Stauspiegelschwankungen in Erddämmen; Schweiz. Bauzeitung, 75. Jahrg., Heft 52.

Rüegger, R.; Hufenus, R. (2003): Bauen mit Geokunststoffen. Ein Handbuch für den Geokunststoff-Anwender. Schweizerischer Verband für Geokunststoffe (SVG). St. Gallen/Schweiz.

Regelwerke

DIN EN ISO 9864:2005-05: Geokunststoffe - Prüfverfahren zur Bestimmung der flächenbezogenen Masse von Geotextilien und geotextilverwandten Produkten (ISO 9864:2005).

DIN EN ISO 10318-1: 2018-10: Geokunststoffe - Teil 1: Begriffe (ISO 10318-1:2015 + Amd 1:2018).

DIN EN ISO 10319:2015-09: Geokunststoffe - Zugversuch am breiten Streifen (ISO 10319:2015).

DIN EN ISO 10772:2012-12: Geotextilien - Prüfverfahren zur Bestimmung der Filterbeständigkeit von Geotextilien in turbulenten Strömungsbedingungen (ISO 10772:2012).

DIN EN ISO 11058:2019-09: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit normal zur Ebene, ohne Auflast (ISO 11058:2019).

DIN EN ISO 12956:2020-05: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte - Bestimmung der charakteristischen Öffnungsweite (ISO 12956:2019).

DIN EN ISO 14688-1:2020-11: Geotechnische Erkundung und Untersuchung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden - Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14688-1:2017).

DIN EN 13253:2016-12: Geotextilien und geotextilverwandte Produkte – Geforderte Eigenschaften für die Anwendung in Erosionsschutzanlagen (Küstenschutz, Deckwerksbau).

DIN 18196:2011-05: Erd- und Grundbau, Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke.

DWA-M 511 (2017): Filtern mit Geokunststoffen, Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef.

GBB (2010) Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2010): Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).

MAK (2013) Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2013): BAWMerkblatt Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).

MAR (2008) Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2008): BAWMerkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Wasserstraßen (MAR). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).

MMB (2013) Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2013): BAWMerkblatt Materialtransport im Boden (MMB). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).

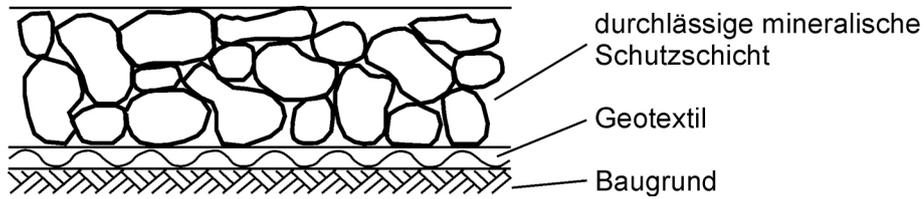
- RPG (2021) Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2021): BAWRichtlinie Prüfung von Geokunststoffen im Verkehrswasserbau (RPG). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).
- STLK 210 (2015) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2015): STLK – Standardleistungskatalog für den Wasserbau Böschungs- und Sohlensicherungen (Leistungsbereich 210). Öffentliche Bereitstellung über: Bundesanstalt für Wasserbau, Infozentrum Wasserbau: <https://izw.baw.de/wsv/planen-bauen/stlk-w-ztv-w>
- TLG (2018) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2018): Technische Lieferbedingungen für Geotextilien und geotextilverwandte Produkte an Wasserstraßen (TLG). Öffentliche Bereitstellung über: Bundesanstalt für Wasserbau, Infozentrum Wasserbau: <https://izw.baw.de/wsv/planen-bauen/stlk-w-ztv-w>
- ZTV-W LB 210 (2015) Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2015): Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau (ZTV-W) für Böschungs- und Sohlensicherungen (Leistungsbereich 210), EU-Notifizierung Nr. 2015/28/D. Öffentliche Bereitstellung über: Bundesanstalt für Wasserbau, Infozentrum Wasserbau: <https://izw.baw.de/wsv/planen-bauen/stlk-w-ztv-w>

Anlage 1: Faserrohstoffe für Geotextilien und ihre Eigenschaften, ITV (1986)

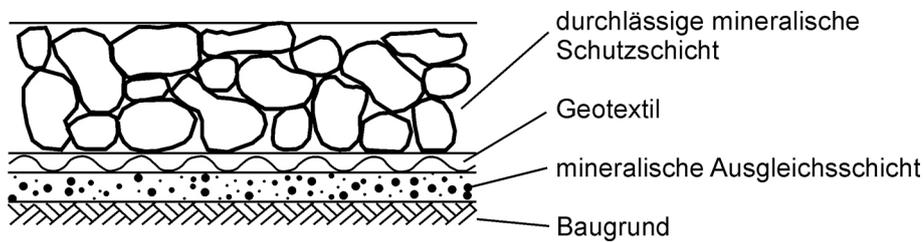
Faserart	Dichte [g/cm ³]	Biologische Beständigkeit	Widerstand gegen saure Wasser (pH ≤ 3)	Widerstand gegen basische Wasser (pH ≥ 12)	Widerstand gegen ultraviolette Strahlen ¹⁾	Erweichungspunkt (°C) / Schmelzpunkt [°C]
Polyacryl (PAC)	1,14 - 1,18	+++	++	++	++ (50 - 60)	200 / -
Polyamid (PA)	1 - 1,4	+	+	++	+ (5 - 15) ²⁾	PA 6 180 - 200 / 215 - 220 PA 6.6 220 - 235 / 255 - 260
Polyester (PES)	1,36 - 1,38	++	++	+	+ (5 - 15) ²⁾	220 - 240 / 250 - 260
Niederdruck-Polyethylen (PE)	0,95 - 0,96	++	++	++	+++ (keine Werte angegeben)	105 - 120 / 125 - 135
Polypropylen (PP)	0,90 - 0,92	++	++	++	+ (0 - 10) ³⁾	150 - 160 / 160 - 175
+++ sehr gute Beständigkeit, ++ gute Beständigkeit, + ausreichende Beständigkeit 1) Restfestigkeit in % der Anfangsfestigkeit (geprüft an Garnen) nach direkter Bewetterung von 12 Monaten, Ort Florida 2) Verbessert bei stabilisierten Typen 3) Wesentliche Verbesserung durch Stabilisierung möglich						

Anlage 2: Filterbauweisen

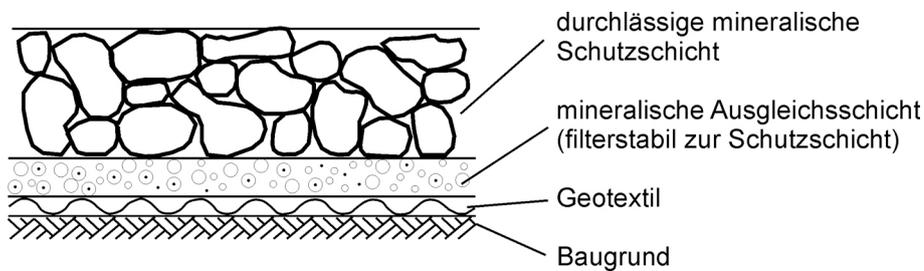
Geotextil unmittelbar auf dem Baugrundplanum (Standardbauweise, Ziff. 4.2)



Geotextil auf einer mineralischen Ausgleichsschicht (Ziff. 4.3)



Mineralische Zwischenlage auf dem Geotextil (Ziff. 4.4)



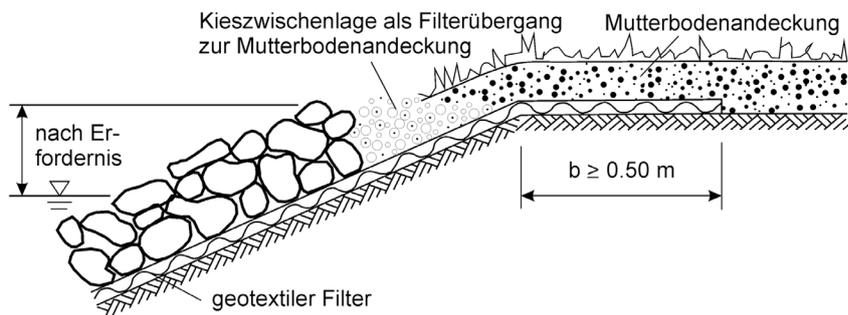
Anlage 3: Geotextil mit Zusatzausrüstung



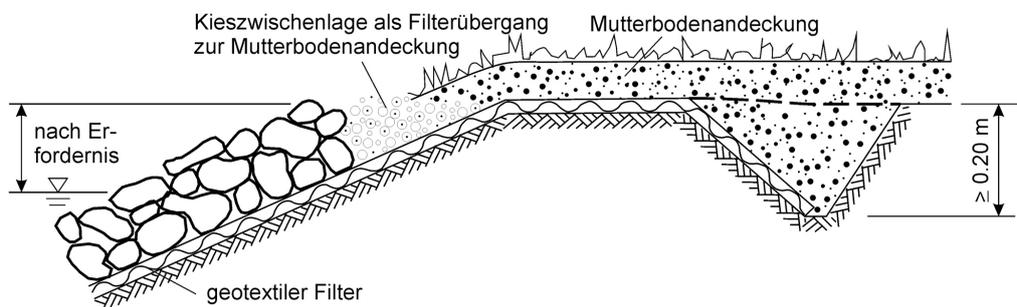
Faschinenrost (Sinkstück), (Ziff. 4.5.2)

Anlage 4: Beispiele für die Ausbildung des oberen Endbereiches einer Böschungssicherung (Ziff. 4.6)

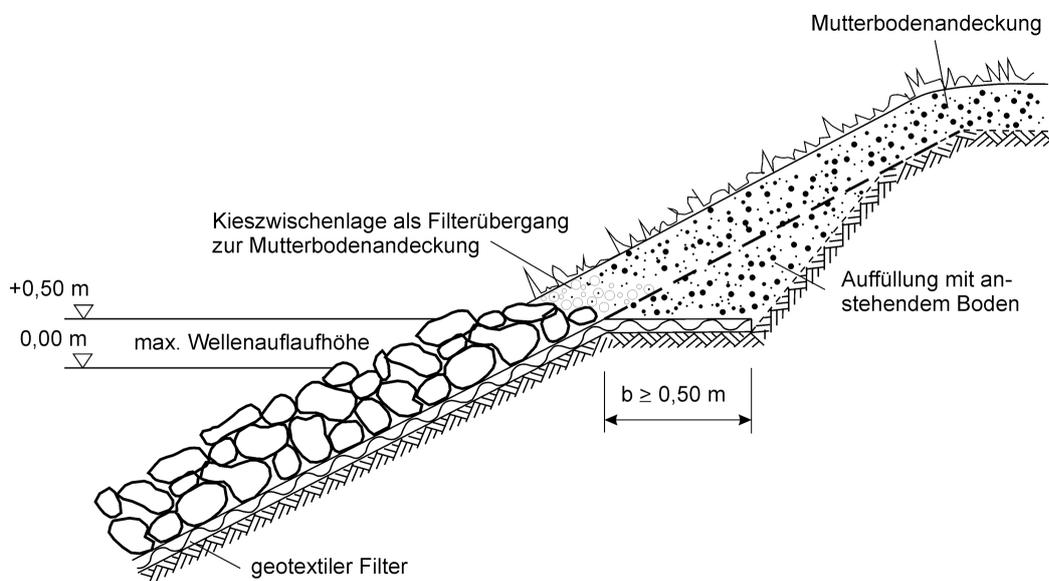
a) bei geringem Oberflächenwasseranfall



b) bei starkem Oberflächenwasseranfall

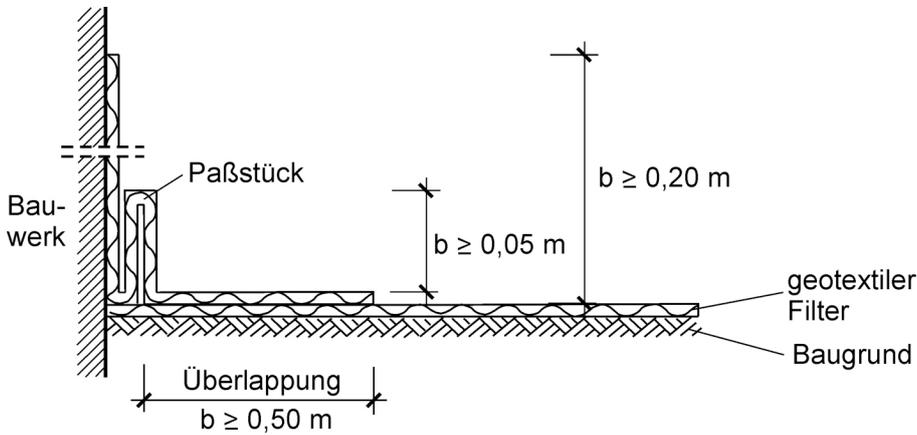


c) bei langen Böschungen



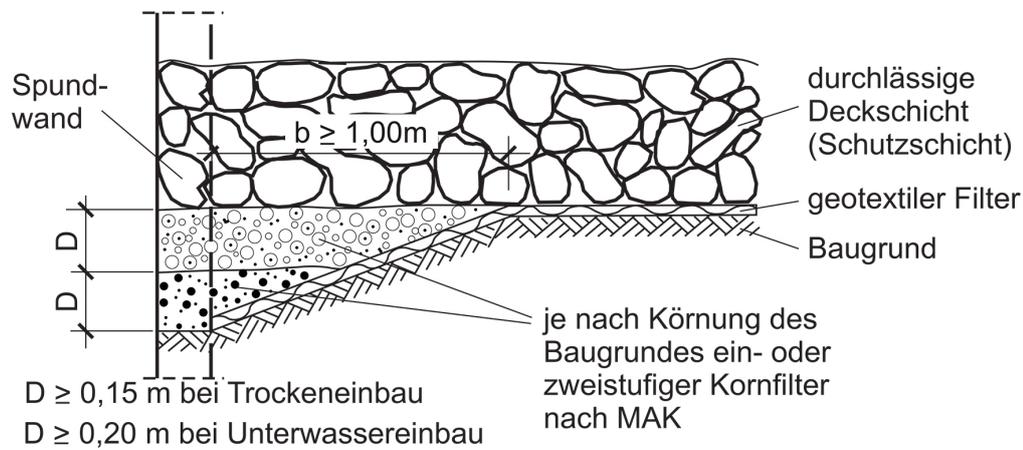
Anlage 5: Bauwerksanschlüsse (Ziff. 4.7)

Bauwerk mit ebener Anschlussfläche

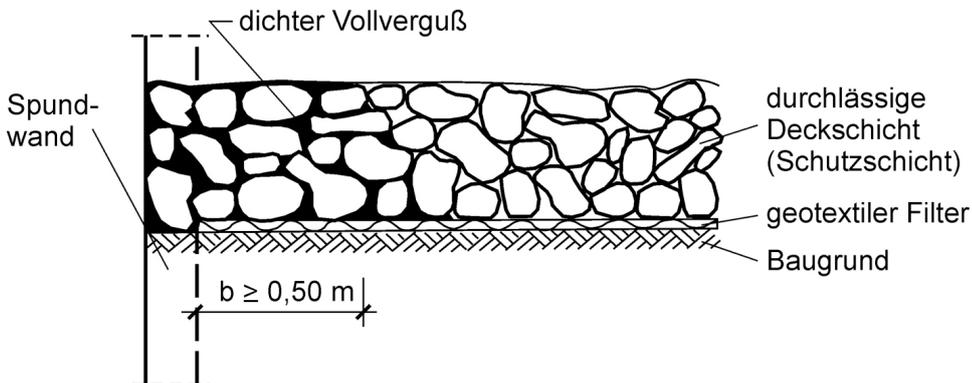


Bauwerk mit nicht ebener Anschlussfläche (z. B. Spundwand)

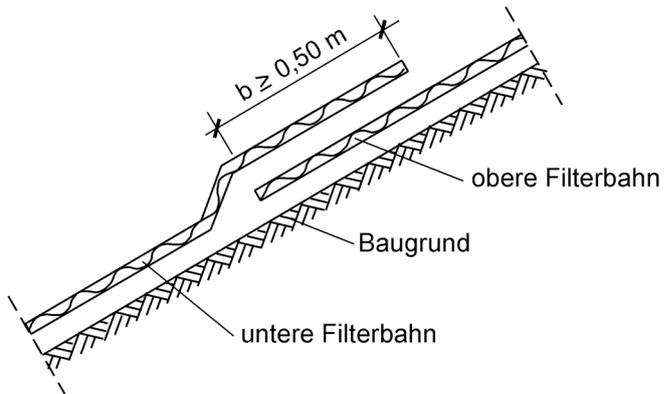
Variante 1



Variante 2

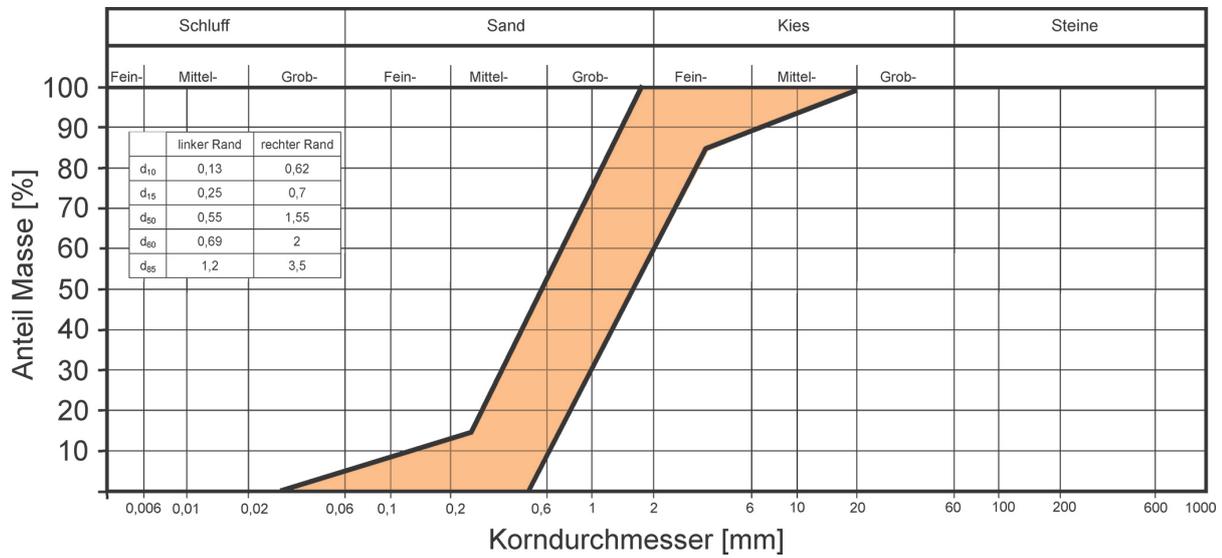


Anlage 6: Überlappungen auf Böschungen (Ziff. 4.8)



Überlappungen auf Böschungen

Anlage 7: Empfohlener Kornbereich für eine mineralische Ausgleichsschicht (Ziff. 4.3)



Anlage 8: Beispiele einer Filteranwendung mit Festlegung der Anforderungen nach dem Bodentyp-Verfahren der BAW für eine durchlässige Böschungssicherung an einem Schiffahrtskanal

1. Beispiel für Böden im Bereich der Bodentypen A bis C

1.1 Örtliche Randbedingungen

Gegeben:

- Körnungsband des Baugrundes SÜ bis SE gemäß Bild 1 (keine kritische Wechsellagerung, s. Ziff. 3.2.1.4) mit folgenden bodenmechanischen Kennwerten:
 - SÜ: $\varphi' = 30^\circ$
 c_u, I_P nicht bekannt
 - SE: $\varphi' = 35^\circ$;
- Durchführung der Baumaßnahme überwiegend unter Wasser;
- Deckschicht aus Wasserbausteinen LMB_{10/60};
- Böschungsneigung 1:3 ($\beta = 18,4^\circ$).

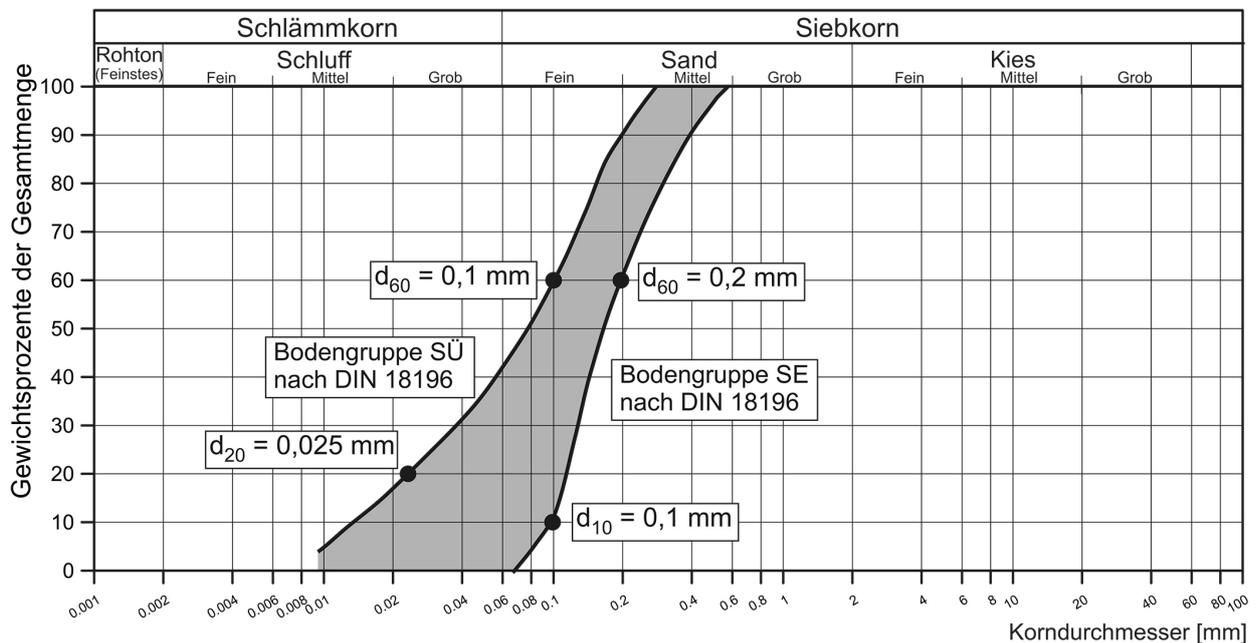


Bild 1: Körnungsband des Baugrundes

1.2 Beurteilung des Baugrundes

Zur Beurteilung des Baugrundes stehen die

- Körnungslinien (Körnungsband) und der
- innere Reibungswinkel der anstehenden Böden $S\bar{U}$ bis SE zur Verfügung.

Beide Böden werden nach Ziff. 2.7 als nicht kohäsiv eingestuft. Sie sind suffusions sicher ($C_u < 8$). Besonderheiten des Wassers im Sinne der Ziff. 3.2.4 sind hier nicht relevant.

1.3 Beurteilung der hydraulischen Belastungen

Nach Ziff. 3.2.2 müssen für die Filterbemessung dynamische hydraulische Belastungen zugrunde gelegt werden.

1.4 Wahl der Filterbauweise

Nach 3.1.1 ist ein Filter für die vorgesehene durchlässige Deckschicht aus Wasserbausteinen $LMB_{10/60}$ erforderlich.

1.5 Bemessung des geotextilen Filters

1.5.1 Zuordnung des Baugrundes zu den Bodentypen A bis C

Das Körnungsband $S\bar{U}$ bis SE (Bild 1) wird mit seinen Kornanteilen d_5 bis d_{60} mit dem Gültigkeitsbereich der Bodentypen A und C (TLG) verglichen und zugeordnet. Danach ergibt sich:

- $S\bar{U}$ = Bodentyp C (Bild 2a)
- SE = Bodentyp A (Bild 2b).

$S\bar{U}$ ist für die mechanische, SE für die hydraulische Filterwirksamkeit des Geotextils maßgebend (s. Ziff. 5.2.1).

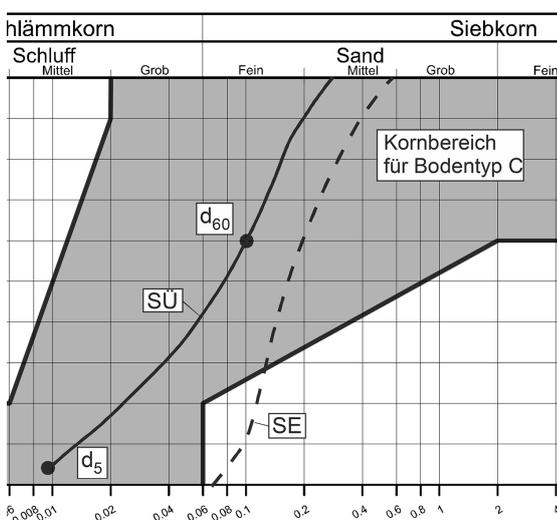


Bild 2a: Lage von $S\bar{U}$

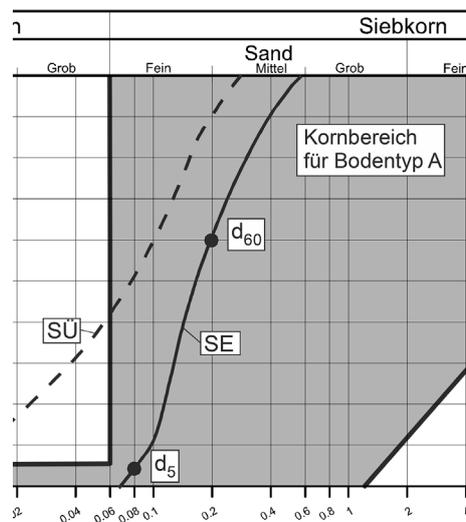


Bild 2b: Lage von SE

1.5.2 Materialanforderungen

Aufgrund der Deckschichtbauweise sind Anforderungen an das Geotextil hinsichtlich

- Zugfestigkeiten
- Durchschlagwiderstand und
- Abriebbeständigkeit

zu stellen.

1.6 Auszuschreibende Anforderungen

Es ist ein Geotextil auszuschreiben, das die Filteranforderungen für die Bodentypen A und C und die mechanischen Anforderungen für eine Deckschicht aus Steinen LMB_{10/60} erfüllt. Ausschreibung der Anforderungen an das Geotextil: „**Geotextil für die Bodentypen A und C nach TLG, Anlage 2**“ (s. Ziff. 7.1). Es sind damit im Einzelnen folgende Anforderungen an einen geotextilen Filter für die anstehenden Böden SÜ bis SE maßgebend:

zulässiger Bodendurchgang (für den feinstkörnigen nicht kohäsiven Bodentyp):

- Bodentyp C: ≤ 300 (30) g

K₁₀-Wert des bodenbesetzten Geotextils (für den durchlässigsten Bodentyp):

- Bodentyp A: $k_{10} > 1 \cdot 10^{-3}$ m/s

Dicke der Filterschicht: $D \geq 6$ mm (mechanische Filterwirksamkeit, Bodentyp C maßgebend)

Höchstzugfestigkeit: ≥ 12 kN/m

Durchschlagwiderstand für Steinklasse LMB_{10/60}: ≥ 1800 Nm

Abriebbeständigkeit

- Charakteristische Öffnungsweite O_{90} nach Abriebtest \leq Mittelwert plus Standardabweichung der Leistungserklärung
- Restzugfestigkeit nach Abriebtest: ≥ 9 kN/m

1.7 Auswahl des Geotextils

Es ist jedes Geotextil für die vorgesehene Baumaßnahme geeignet, dass alle in Anlage 8 Ziff. 1.6 angegebenen Anforderungen nachweislich erfüllt (s. Ziff. 6.2).

2 Beispiel für Böden, die nur zum Teil im Bereich der Bodentypen A bis C liegen

2.1 Örtliche Randbedingungen

Gegeben:

- Körnungsband des Baugrundes TM bis SU gemäß Bild 3 in Wechsellagerung mit folgenden bodenmechanischen Kennwerten:

- TM: $c_u = 15 \text{ kN/m}^2$
 $I_p = 0,18$
- SU: $\varphi' = 32,5^\circ$;
- Wellen- und Strömungsbelastungen durch Schiffsverkehr;
- Deckschicht aus Wasserbausteinen LMB_{10/60} mit Teilverguss;
- Böschungsneigung 1:3 ($\beta = 18,4^\circ$);
- alte Deckwerkreste vorhanden;
- Durchführung der Baumaßnahme im Trockenem;
- Sickerwasseraustritt aus der Böschung im Bauzustand.

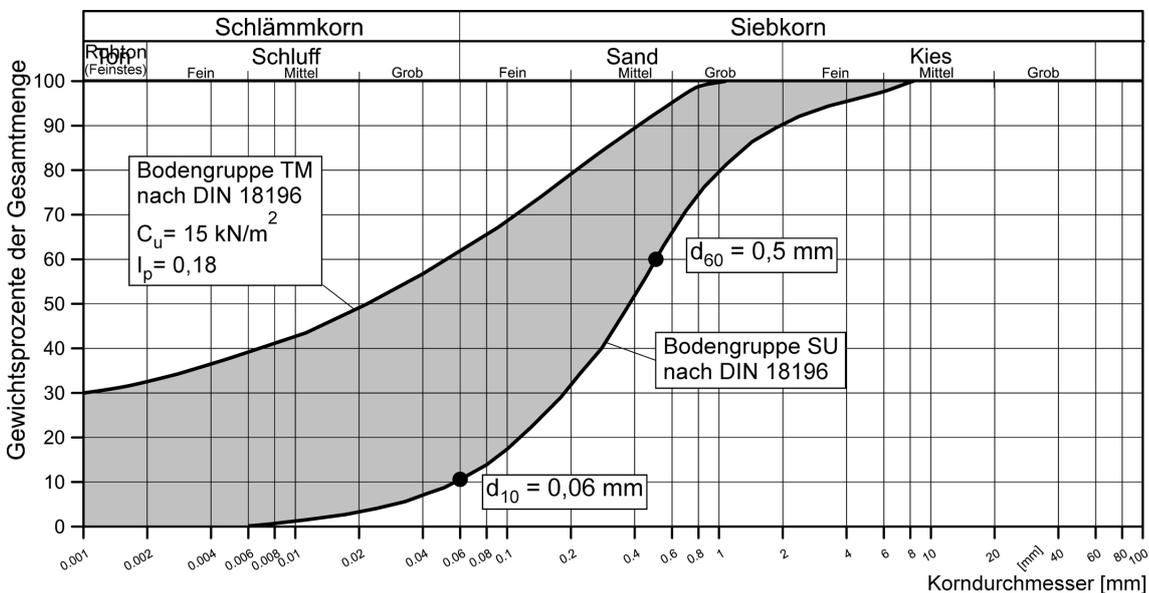


Bild 3: Körnungsband des Baugrundes

2.2 Beurteilung des Baugrundes

Zur Beurteilung des Baugrundes stehen die

- Körnungslinien (Körnungsband) und
- bodenmechanischen Kennwerte

der anstehenden Böden TM bis SU zur Verfügung.

TM ist kohäsiv und damit nicht erosionsgefährdet. SU ist nicht kohäsiv und bei dem gewählten Böschungswinkel im Bauzustand nicht standsicher ($\beta \geq \varphi'/2$) und erosionsgefährdet (Ziff. 3.2.1.2, 3.2.1.3). Der Baugrund ist homogen im Sinne der Ziff. 3.2.1.4, wenn die alten Deckwerkreste beseitigt werden. Die Böden sind nach Prüfung der Suffosionssicherheit (MMB) als suffosionssicher eingeschätzt worden.

2.3 Beurteilung der hydraulischen Belastungen

Nach Ziff. 3.2.2 müssen für die Filterbemessung dynamische hydraulische Belastungen zugrunde gelegt werden.

2.4 Wahl der Filterbauweise

Nach 3.1.1 ist ein Filter für die vorgesehene Deckschicht aus teilvergossenen Wasserbausteinen $LMB_{10/60}$ erforderlich. Es kommen folgende Bauweisen alternativ in Betracht:

- Geotextil auf dem Baugrundplanum, wenn die alten Deckwerkreste beseitigt werden;
- Geotextil auf einer mineralischen Ausgleichsschicht, wenn die alten Deckwerkreste nicht beseitigt werden oder wenn die Böschung im Bauzustand nicht standsicher ist (Anlage 8 Ziff. 2.2).

2.5 Bemessung des geotextilen Filters

2.5.1 Zuordnung des Baugrundes zu den Bodentypen A bis C

2.5.1.1 Geotextil auf dem Baugrundplanum

Das Körnungsband TM bis SU (Bild 3) wird mit seinen Kornanteilen d_5 bis d_{60} mit dem Gültigkeitsbereich der Bodentypen B und C (TLG) verglichen und soweit wie möglich zugeordnet. Danach ergibt sich:

- SU = Bodentyp B (Bild 4b);
- TM fällt in den Bereich, in dem die Filteranforderungen vermindert werden dürfen, wenn c_u und I_P bekannt sind. Sind zwischen SU und TM liegende Körnungen vorhanden (wird hier angenommen), gehören diese zum Bereich des Bodentyps C, die dann für die mechanische Filterwirksamkeit maßgebend sind. Für die hydraulische Filterwirksamkeit ist SU maßgebend.

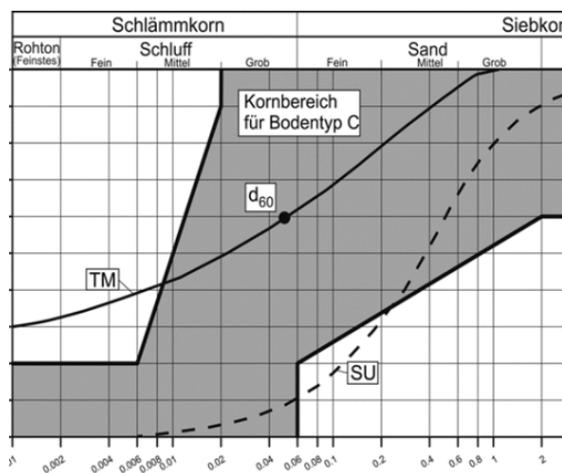


Bild 4a: Lage von TM

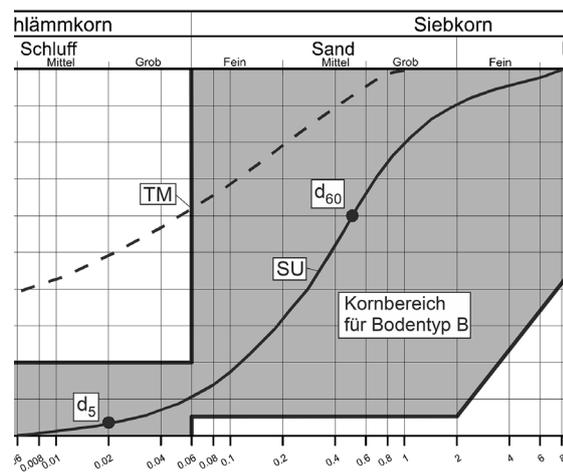


Bild 4b: Lage von SU

2.5.1.2 Geotextil auf einer mineralischen Ausgleichsschicht

Die Körnung der mineralischen Ausgleichsschicht muss die Bedingungen der Ziff. 4.3 erfüllen. Körnungen der Ausgleichsschicht im empfohlenen Kornbereich (Anlage 7) sind dem Bodentyp A zuzuordnen.

2.5.2 Materialanforderungen

Aufgrund der Deckschichtbauweise sind Anforderungen an das Geotextil hinsichtlich

- Zugfestigkeit und
- Durchschlagwiderstand

zu stellen. Bei der vorgesehenen Böschungsneigung und den zu erwartenden üblichen Einbaubeanspruchungen sind die Materialanforderungen nach TLG, Anlage 2, für eine Deckschicht aus Wasserbausteinen LMB_{10/60} ausreichend.

2.6 Auszuschreibende Anforderungen

2.6.1 Für einen geotextilen Filter auf dem Baugrundplanum

Es ist ein Geotextil auszuschreiben, das die Filteranforderungen für

- Bodentyp B und
- Bodentyp C

sowie die mechanischen Anforderungen für eine Deckschicht aus teilvergossenen Wasserbausteinen LMB_{10/60} erfüllt. Ausschreibung der Anforderungen an das Geotextil: „**Geotextiler Filter für die Bodentypen B und C nach TLG, Anlage 2, Durchschlagwiderstand $\geq 1800 \text{ Nm}$** “ (s. Ziff. 7.1).

Es sind damit im Einzelnen folgende Anforderungen an einen geotextilen Filter für die anstehenden Bodenarten TM bis SU maßgebend (s. TLG, Anlage 2):

zulässiger Bodendurchgang (für den feinstkörnigen nicht-kohäsiven Boden):

- Bodentyp C: $\leq 300 \text{ (30) g}$

K₁₀-Wert des bodenbesetzten Geotextils (für den durchlässigsten Bodentyp):

- - Bodentyp B: $k_{10} > 1 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$

Dicke der Filterschicht: $D \geq 6 \text{ mm}$ (Bodentyp C maßgebend)

Höchstzugfestigkeit: $\geq 12 \text{ kN/m}$

Durchschlagwiderstand für Wasserbausteine LMB_{10/60}: $\geq 1800 \text{ Nm}$

2.6.2 Für einen geotextilen Filter auf einer mineralischen Ausgleichsschicht

Es ist ein Geotextil auszuschreiben, das die Filteranforderungen für Bodentyp A (bei Lage der Körnungslinie der mineralischen Ausgleichsschicht im Körnungsband nach Anlage 7) und die mechanischen Anforderungen für eine Deckschicht aus teilvergossenen Wasserbausteinen LMB_{10/60} erfüllt.

Ausschreibung der Anforderungen an das Geotextil: „**Geotextiler Filter für Bodentyp A nach TLG, Anlage 2, Durchschlagwiderstand $\geq 1800 \text{ Nm}$** “.

Es gelten damit im Einzelnen folgende Anforderungen an einen geotextilen Filter auf einer mineralischen Ausgleichsschicht:

zulässiger Bodendurchgang

- Bodentyp A: ≤ 300 (30) g

K₁₀-Wert des bodenbesetzten Geotextils

- Bodentyp A: $k_{10} > 1 \cdot 10^{-3}$ m/s

Dicke der Filterschicht: $D \geq 4,5$ mm

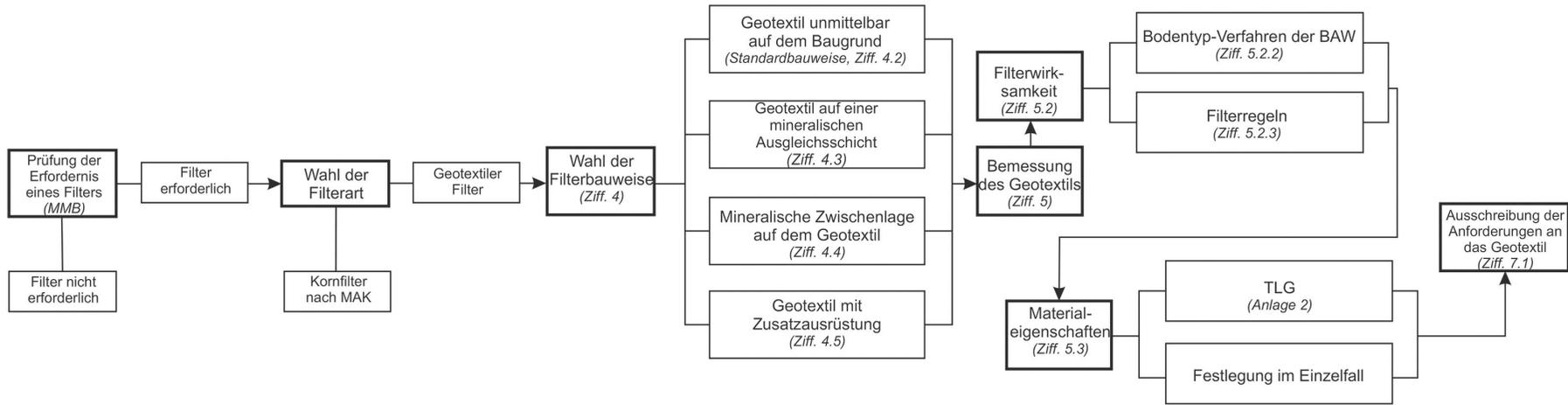
Mindestzugfestigkeit: ≥ 12 kN/m

Durchschlagwiderstand für Wasserbausteine LMB_{10/60}: > 1800 Nm.

2.7 Auswahl des Geotextils

Es ist für die vorgesehene Baumaßnahme jedes Geotextil geeignet, das die in Anlage 8 Ziff. 2.6.1 bzw. Anlage 8 Ziff. 2.6.2 (je nach gewählter Filterbauweise) angegebenen maßgebenden Anforderungen nachweislich erfüllt (s. Ziff. 6.2).

Anlage 9: Flussdiagramm zur Bemessung und Ausschreibung der Anforderungen an einen geotextilen Filter



Angaben in den Verdingungsunterlagen

Bemessung nach Filterregeln

- Öffnungsweite O_{90}
- Wasserdurchlässigkeit
- Mindestdicke
- Flächengewicht

Bemessung nach Bodentyp-Verfahren

- Einsatzzweck: Filter/Trennlage
- Bodentyp
- Lebensdauer
- Mindestdicke
- Durchschlagwiderstand
- Wasserdurchlässigkeit im bodenbesetzten Zustand
- Höchstzugfestigkeit