

LIST H.J.

Bundesanstalt für Wasserbau, BRD

Gewebe und Vliesstoffe als Filter für den Verkehrswasserbau - Prüfung und Dimensionierung**Woven and non-woven fabric filters in waterway engineering - Tests and dimensioning**

SUMMARY: Filters are applied in waterway engineering to protect riverbanks and channel slopes against the effects of erosion. For this purpose, woven and nonwoven fabrics, if properly dimensioned, may well be superior to conventional grain-type filters, both technically and economically. In this context, more than 350 different fabric filters have been examined so far at the Bundesanstalt für Wasserbau (BAW). The results obtained thereby have promoted the development of test procedures and have helped to improve fabric filters for hydraulic structures. It should be mentioned here that a discussion of the basic research work underlying the test procedures described in the following would exceed the given framework of the theme under which this contribution was prepared. It can be said that, on the basis of site experience and of numerous laboratory measurements, it was succeeded at the BAW, to elaborate reference values, i.e. specifications, supposed to offer to manufacturers and users, a useful instrument for application in dimensioning fabric filters for waterway engineering, which has been adapted to the current status of technological development.

1. Voraussetzungen

Die Verwendung von Textilfiltern im Wasserbau erfordert die Kenntnis ihrer Wirksamkeit und die Definition und Bewertung der für verschiedene Anwendungsgebiete erforderlichen Eigenschaften. Die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) hat daher Prüfverfahren entwickelt und weiter ausgebaut, mit denen die Eignung der verschiedensten Filterstoffe für den Verkehrswasserbau unter naturähnlichen Belastungen einheitlich beurteilt werden kann.

Aufgrund von Baustellenerprobungen und Laborprüfungen von bisher mehr als 350 verschiedenen Filterstoffen konnten in der BAW Richtwerte erarbeitet werden, die zu einer Weiterentwicklung von Filtern für den Verkehrswasserbau führten. Die wissenschaftlichen Grundlagen der Prüfmethode und Richtwerte können in diesem Beitrag nicht erörtert werden, da sie den vorgegebenen Themenkreis überschreiten würden.

Die Dimensionierung von Textilfiltern als Bauteil durchlässiger Deckwerke erfordert die Berücksichtigung aller bei Einbau und Betrieb möglichen Beanspruchungsgrößen. Sie sind wesentlich abhängig von:

- Deckwerksart, Neigung der Böschung, statisches System der Decklage,
- Größe und Art der hydrodynamischen Belastung,
- Bodenart des Untergrundes und Grundwasserverhältnisse,
- Art der Bauausführung (z.B. im Trockenem oder unter Wasser).

Zur Erfassung dieser unterschiedlichen Beanspruchungsgrößen ist eine Klassifizierung der Ausführungsarten von Deckwerken erforderlich, deren zugehörige Filterschicht dann gezielt dimensioniert werden kann.

In der BAW werden die folgenden Identifikations- und Eignungsprüfungen durchgeführt:

2. Identifikationsprüfungen

- 2.1 Beschreibung von Gewebe bzw. Vliesstoff, Art der Ausrüstung oder Verfestigung, bei mehrschichtigen Filtern Beschreibung der Schichtenfolge und -verbindung.
- 2.2 Flächengewicht (nach DIN 53854)
- 2.3 Bestimmung der Schichtdicke (nach DIN 53855, Blatt 3)
- 2.4 Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit: In Anlehnung an die schnell verlaufende Wasserspiegeländerung im Deckwerksbereich wird die Wasserdurchlässigkeit bei abnehmender Druckhöhe ($\Delta h = 350$ mm) bestimmt.

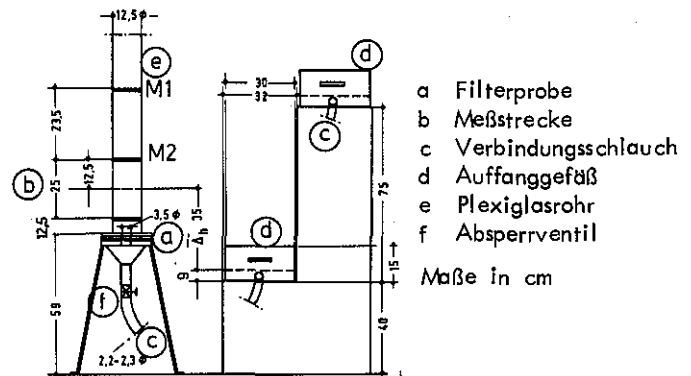


Bild 1: Gerät zur Prüfung der Wasserdurchlässigkeit

Die aus der Durchflußmenge, der durchflossenen Fläche und der Durchflußzeit berechneten Wasserdurchlässigkeiten von 3 Proben mit jeweils 5 Einzelmessungen werden gemittelt und in $\text{ml/s} \cdot \text{cm}^2$ angegeben. Da Textilfilter häufig aus

mehreren, unterschiedlichen Schichten bestehen, die sich in ihren Eigenschaften oft stark unterscheiden (z.B. Gewebe und Vliese), wird auf eine Umrechnung der Wasserdurchlässigkeit auf eine "Einheitsschichtdicke" verzichtet. Die Wasserdurchlässigkeit eines Textilfilters ist daher nicht mit dem k-Wert (Filtergeschwindigkeit beim Potentialgefälle $i = 1$, siehe DIN 4015) gleichzusetzen.

3. Eignungsprüfungen

3.1 Prüfung der Filterwirksamkeit

Die Eignung eines Textilfilters für den Wasserbau ist abhängig von seiner Eigenschaft, einen bestimmten Boden gegen hydrodynamische Belastungen langfristig so zu schützen, daß Erosionen und schädliche Bodenumlagerungen an der Grenzfläche Filter / Boden nicht entstehen (mechanische Filterwirksamkeit). Gleichzeitig muß die Wasserdurchlässigkeit des Filters größer als die des zu schützenden Bodens bleiben, d.h. der Filter darf sich langfristig nicht mit dem Boden zusetzen (hydraulische Filterwirksamkeit).

Um reproduzierbare und vergleichbare Prüfdaten zu erhalten, werden für die Prüfungen Bodentypen verwendet, die weitverbreitet vorkommen und deren Kornverteilungsbänder durch Interpolation mit vielen Bodenarten in Bezug zu setzen sind (Bild 2).

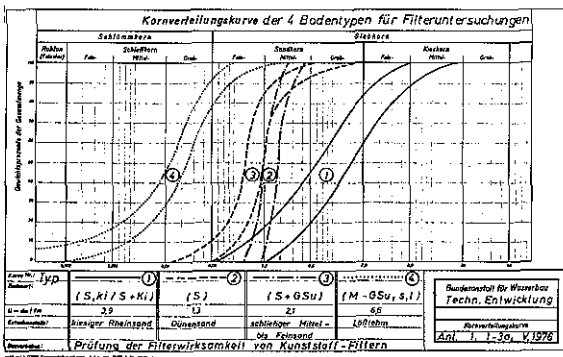


Bild 2: Kornverteilungskurven der Bodentypen 1 bis 4

Bei Böden, die wesentlich feinkörniger als Bodentyp 4 sind oder eine sehr flache Kornverteilungskurve haben, wird die Filterwirksamkeit mit diesen Böden geprüft.

3.11 Prüfung der Filterwirksamkeit für die Bodentypen 1 bis 3

Bei Böden mit relativ hoher Wasserdurchlässigkeit entsteht durch Verkehrsbelastung im wesentlichen eine wechselseitige Filter-Bodendurchströmung, die sich durch die im folgenden beschriebene Zwangsdurchströmung im Labor hinreichend simulieren läßt:

In den Prüfbehälter (Bild 3) wird der für die Prüfung vorgesehene Bodentyp (1500 g trockenes Material) eingefüllt und die Unterseite des Behälters mit der Filterprobe verschlossen.

Zur Druckentlastung bei der wechselseitigen Durchströmung von Bodenschicht und Filter ist der Deckel des Behälters mit einem Entlastungsröhrchen versehen.

In der Prüfvorrichtung werden die Prüfbehälter in wassergefüllte Behälter ca. 400 mm tief eingetaucht, wobei sie jeweils im Zyklus 30 Sekunden über Wasser bzw. im Wasser verbleiben. Durch Hubhöhe, Hubgeschwindigkeit und Tauchdauer wird die hydrodynamische Filterbelastung in Anlehnung an die in einem durchlässigen Uferdeckwerk bei Vorbeifahrt eines Schiffes entstehenden Durchströmungsvorgänge simuliert (Bild 3).

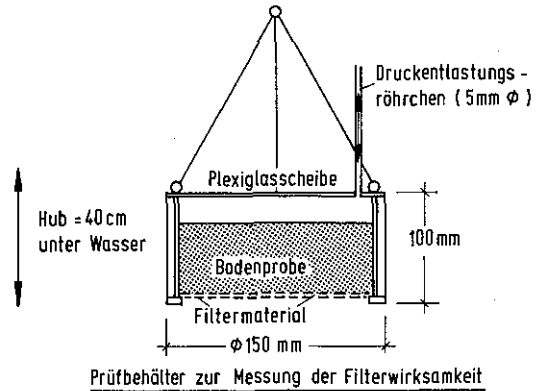


Bild 3: Prüfbehälter zur Messung der Filterwirksamkeit

3.111 Mechanische Filterwirksamkeit

Die wechselseitige Durchströmung von Filter und Prüfboden dauert 34 Stunden, entsprechend ca. 3500 Schiffsdurchfahrten.

Die nach 4, 9, 24, 29 und 34 Stunden durch den Filter hindurchgespülte Bodenmenge ("Bodendurchgang") wird bestimmt.

3.112 Hydraulische Filterwirksamkeit

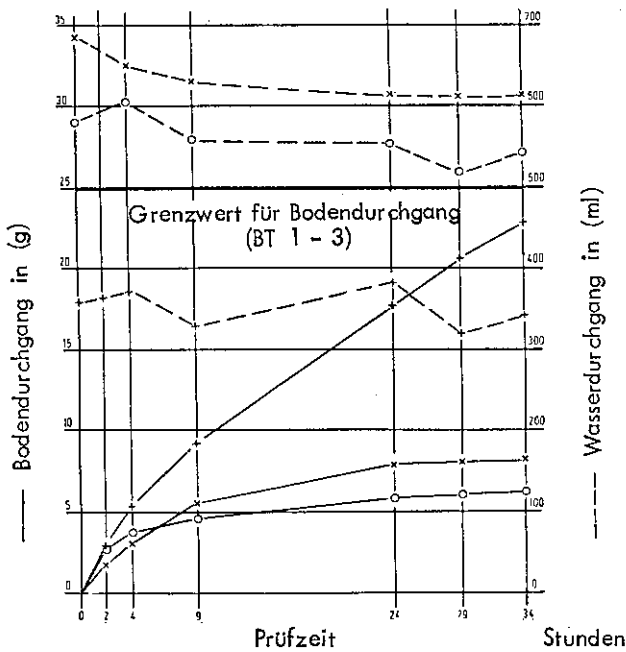
In den gleichen Prüfintervallen wird die Wassermenge gemessen, die während einer Hubphase aus dem Prüfbehälter ausfließt.

Nach Versuchsende (34 Stunden) wird die mit Boden angereicherte Filterprobe ausgebaut und die Wasserdurchlässigkeit nach 2.4 wiederholt.

Die aus 3 Proben gemittelte Menge des in den jeweiligen Prüfintervallen gemessenen Bodendurchganges und die in den Hubphasen ausgeflossene Wassermenge wird für jeden geprüften Bodentyp graphisch dargestellt (Bild 4).

Die geprüften Filter werden nach der Gesamtmenge des Bodendurchganges, der verbleibenden Wasserdurchlässigkeit und dem Verlauf der Durchgangskurven beurteilt.

Während der Versuchszeit soll sich das System Boden/Filter weitgehend stabilisieren, d.h. der Bodendurchgang soll unter 25 g liegen und in den letzten 10 Stunden der Prüfung 2,5 g nicht übersteigen; der Wasserdurchgang soll in dieser Zeit möglichst konstant bleiben und die ermittelte Wasserdurchlässigkeit muß ausreichend groß sein (siehe Mindestanforderungen 4).



Filterwirksamkeit nach dem Durchströmungsverfahren
 Bodentypen: 1 (x); 2 (0); 3 (+) .

Bild 4: Graphische Darstellung der Filterwirksamkeit (BT 1 - 3)

3.12 Prüfung der Filterwirksamkeit für sehr feinkörnige Böden

Bindige Böden (BT 4 und feinkörniger) lassen wechselseitige Durchströmung mit relativ hohen Fließgeschwindigkeiten nicht zu. Die erosiven Kräfte wirken hier als turbulente Druckpulsationen, die sich durch folgendes Verfahren angenähert simulieren lassen:

In den Prüfbehälter (Bild 3) wird die Filterprobe mit der Unterseite nach oben liegend eingebaut und hierauf ca. 2300 g getrockneter und homogenisierter Prüfboden eingefüllt.

3.121 Mechanische Filterwirksamkeit

Der Prüfbehälter wird in einem Wasserbehälter schwingungsfrei über einem Rotor so fixiert, daß sich die Filterprobe ca. 1 cm unter der Wasseroberfläche befindet. Der vierflügelige Rotor, der sich mit ca. 260 U/Min. dreht, bewirkt eine naturähnliche turbulente Anströmung der Filterprobe (Bild 5).

Nach Belastungsphasen von jeweils 30 Minuten Dauer wird der Bodendurchgang bestimmt. Die gesamte Belastungsdauer umfaßt 5 Phasen (= 150 Min.), wobei der gesamte Bodendurchgang 300 g nicht überschreiten soll. Die mechanische Filterstabilität ist erreicht, wenn der Bodendurchgang während der letzten Belastungsphase unter 20 g liegt.

3.122 Hydraulische Filterwirksamkeit

Sie wird entsprechend 2.4 und 3.112 gemessen.

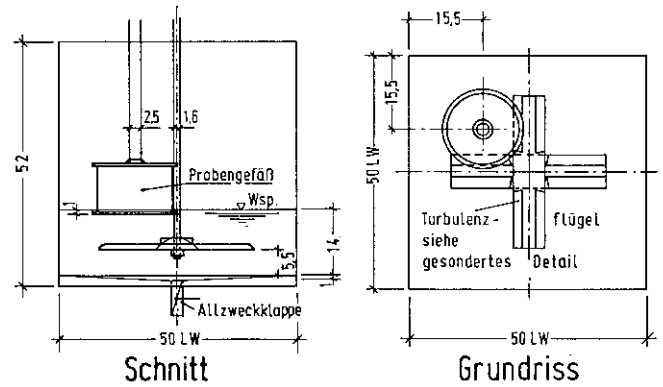


Bild 5: Prüfgerät zur Bestimmung der Filterwirksamkeit bei feinkörnigen Böden

Die Beurteilung der geprüften Filter erfolgt aufgrund der Bodendurchgangswerte, nach dem Verlauf der entsprechend Bild 4 dargestellten Filterwirksamkeitskurve und der verbleibenden Wasserdurchlässigkeit (siehe Mindestanforderungen).

3.2 Prüfung der Naß-Reißkraft

Bei Einbau- und Verkehrsbelastung werden Gewebe und Vliese Zugkräften ausgesetzt, die meist nicht linear wirken, sondern die sich über die Filterbahnen flächenmäßig verteilen. Obwohl Gewebe, Vliesstoffe und kombinierte Textilfilter auf Zugbelastungen grundsätzlich verschieden reagieren, wird die Prüfung der Reißkraft in der Bundesanstalt für Wasserbau nach dem Grab-Zugversuch - DIN 53858 - durchgeführt, da diese Prüfmethode den im Wasserbau auftretenden Zugkräften weitgehend entspricht und einheitliche und vertretbare Meßergebnisse ermöglicht.

Da für den Verkehrswasserbau eine hohe Zugfestigkeit bei möglichst geringer Dehnung anzustreben ist, werden aus den Kurven der Kraft- und Längenänderung in der Zeit neben der Reißkraft und der Reißdehnung auch die maximale Zugkraft bis 30% Dehnung bestimmt (Bild 6). Diese Kenngröße ist für die Beurteilung der Eignung ausschlaggebend.

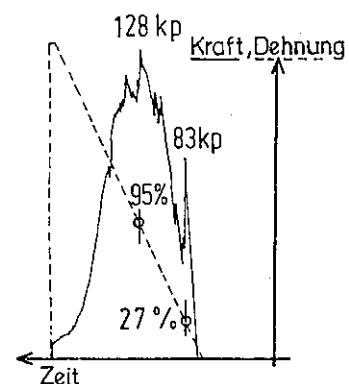


Bild 6: Reißkraft, Reißdehnung und maximale Zugkraft bis 30 % Dehnung

3.3 Prüfung der Durchschlagfestigkeit

Die Prüfung dient der Ermittlung der Durchschlagfestigkeit von Textilfiltern gegenüber Stoß und Schlag in Anlehnung an mögliche Baustellenbelastungen.

Zur Prüfung wird eine kreisrunde Probe mit einem Durchmesser von 100 cm zunächst 24 Stunden unter Wasser gelagert. Danach wird sie auf das ebene Sandbett gelegt und mit einem Auflagering (170 kg schwerer Betonring) beschwert. Jeweils in den Viertelkreispunkten eines Kreises von 40 cm Durchmesser und im Probenmittelpunkt erfolgen die Schläge (Bild 7).

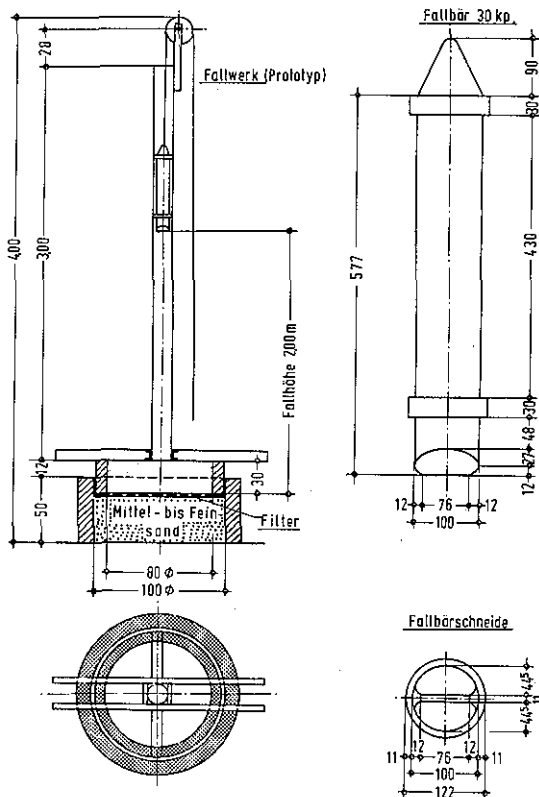


Bild 7: Gerät zur Prüfung der Durchschlagfestigkeit

Textilfilter sind durchschlagfest für die Verwendung im Wasserbau, wenn sie vom Fall eines 30 kg schweren Fallkörpers aus 2 m Höhe (60 da N·m) an 5 verschiedenen Punkten nicht durchgeschlagen werden.

3.4 Prüfung der Abriebfestigkeit

Die Abriebfestigkeit von Geweben und Vliesen für den Verkehrswasserbau wird mit einem Verfahren geprüft, bei dem die im Deckwerksbereich möglichen Scheuerbeanspruchungen simuliert werden. Als Maß für die Beurteilung der Abriebfestigkeit textiler Filter dient die Veränderung der Ausgangswerte von Naß-Reißkraft (3.2) und Wasserdurchlässigkeit (2.4).

Die Proben, 200 mm x 290 mm, werden auf Stahlplatten gleicher Abmessung geschraubt und 24 Stunden in Wasser gelagert. Das Abrieb-Prüfgerät (Bild 8) besteht aus einer mit 16 Umdrehungen/Minute drehenden Trommel mit 8 inneren Abriebflächen.

Die aufgespannten Proben werden in die Abriebfelder des Prüfgeräts eingesetzt. In die Trommel wird eine Mischung aus

2 kg	Basaltsplit	8/12 mm Durchmesser
1 kg	Basaltsplit	5/ 8 mm Durchmesser
1 kg	Basaltsplit	3/ 5 mm Durchmesser
und 8 l Wasser		

gefüllt und das Prüfgerät in Betrieb gesetzt. Nach 40 000 Umdrehungen wird die Abriebmischung ersetzt und weitere 40 000 Umdrehungen angeschlossen. Nach 80 000 Umdrehungen werden aus den Abriebproben, sofern sie nicht zerstört sind, je 3 Proben zur Prüfung der Wasserdurchlässigkeit und der Naß-Reißkraft entnommen.

Die Drehrichtung der Trommel wird nach jeweils 5 000 Umdrehungen umgekehrt, nach 40 000 Umdrehungen wird der Zyklus der Abriebbeanspruchung beendet.

Die Forderung an die Abriebfestigkeit von Geweben und Vliesen gilt als erfüllt, wenn die in den Mindestanforderungen festgelegten Grenzwerte eingehalten werden.

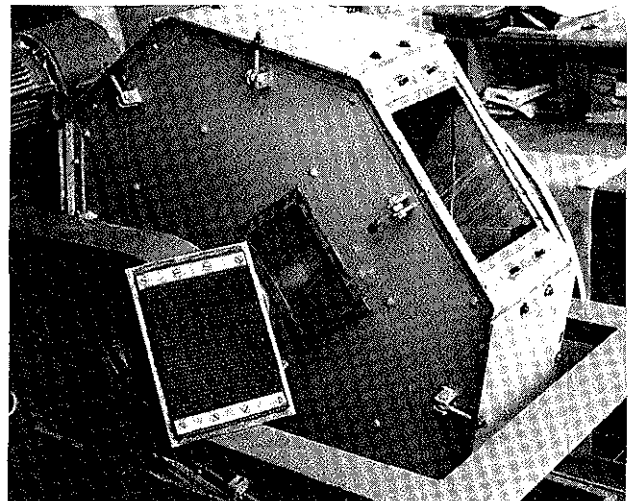


Bild 8: Gerät zur Prüfung der Abriebfestigkeit

3.5 Temperaturverhalten von Textilfiltern

Kunststoff-Filter, die mit heißen Vergußmassen in Berührung kommen können, dürfen ihre Eigenschaften durch eine kurzfristige Erhitzung von 5 Minuten Dauer auf 170°C nicht wesentlich verändern, d.h. die erforderliche Filterwirksamkeit und die Zugkraft müssen erhalten bleiben. Die Proben sind in Anzahl und Maßen entsprechend 2.4 und 3.2 zu entnehmen und vorzubereiten. Die angefeuchteten Proben werden 5 Minuten lang mit auf 170°C ($\pm 10^\circ\text{C}$) erhitzten Steinen belastet, wobei der auf die Proben wirkende Flächendruck 1650 Pa beträgt. An den Proben wird die Prüfung der Wasserdurchlässigkeit und der Naß-Reißkraft und -Dehnung vorgenommen.

Kunststoff-Filter gelten als beständig gegenüber kurzfristiger Erhitzung, wenn die Grenzwerte der Reißkraft nicht unterschritten werden und die Wasserdurchlässigkeit der erhitzten Probe nicht mehr als 25 % über der Wasserdurch-

lässigkeit der unbelasteten Probe liegt. Bei höherer Wasserdurchlässigkeit wird die Filterwirksamkeit gegenüber BT 3 bzw. BT 4 wiederholt.

3.6 Prüfung des relativen Reibungsbeiwertes

Der relative Reibungsbeiwert $\tan \varphi_r$ ergibt sich aus dem Quotienten von der in der Deckwerksebene wirkenden Scherkraft S zur senkrecht dazu wirkenden Druckkraft P :

$$\tan \varphi_r = \frac{S}{P}$$

Böschungsdeckwerke sind standsicher, wenn Eigengewicht und Belastungskräfte in den Untergrund abgetragen werden können. Ist eine Lastabtragung über Normalkräfte in der Deckwerksebene nicht gewährleistet, so muß eine ausreichende Schubkraftübertragung zwischen Deckwerk und Untergrund vorhanden sein. Dies muß auch möglich sein, wenn sich an der Grenzfläche zwischen Untergrund und Deckwerk eine wassergesättigte "Schmierschicht" gebildet hat, deren Scherfestigkeit sehr klein ist. Als unterste Deckwerksteile sind Textilfilter für die Schubkraftübertragung maßgebend, d.h. für die Standsicherheit des Deckwerks ist der relative Reibungsbeiwert zwischen Filter und Untergrund von Bedeutung. Durch eine entsprechende Rauigkeitsschicht an der Unterseite des Textilfilters kann der erforderliche relative Reibungsbeiwert den örtlichen Bodenverhältnissen angepaßt werden.

Bild 9 und Bild 10 erläutern das Prüfgerät.

Die Scherkraft S , die an der Prüfplatte, unter der die Filterprobe befestigt ist, exakt horizontal angreift, wird kontinuierlich mit 0,7 N/s erhöht, bis die Scherbewegung plötzlich in eine Gleitbewegung übergeht. Mit der durch Auswiegen bestimmten Scherkraft zum Zeitpunkt des Gleitbeginns wird der relative Reibungsbeiwert berechnet. An 3 Proben werden jeweils 3 Einzelprüfungen durchgeführt. Die Prüfwerte werden gemittelt und als Reibungswinkel angegeben.

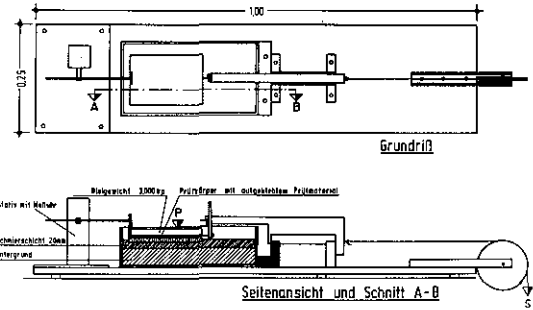
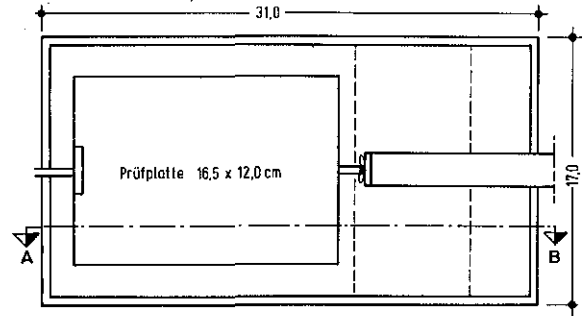


Bild 9: Prüfgerät zur Bestimmung des relativen Reibungsbeiwertes



P = Bleigewicht + Prüfplatte 3,265 kp
 A = Schmierschicht 20mm, Wassergehalt 30% } gültig für Bodentyp 4
 B = Unterbau, Wassergehalt 20%

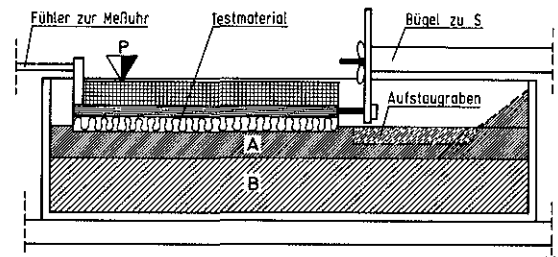


Bild 10: Detail des Prüfgeräts

4. Dimensionierung

DECKWERKSTEILE	
Decklage	
D1	Schüttsteine, lose
D2	Schüttsteine, verklammert
D3	Verbundsteine
D4	Beläge / Matten
Filter	
F1	Textilfilter
F2	Kornfilter, ungebunden
F3	Kornfilter, gebunden
Boden	
BT 1	Bodentyp 1
BT 2	Bodentyp 2
BT 3	Bodentyp 3
BT 4	Bodentyp 4
Statik (Lastabtragung)	
S 1	Stützung / Schub
S 2	Aufhängung

DECKWERKSTYPEN
1 - 60

DIMENSIONIERUNG VON TEXTILFILTERN FÜR DECKWERKSTYP NR. <input type="text"/>	MINDESTFORDERUNG
Art: Gitter / Gewebe / Vlies	
Dicke der Filterschicht	
Dicke der Rauigkeitsschicht	
hydraul. Filterwirksamkeit	
mechan. Filterwirksamkeit	
Zugfestigkeit: P_{max}/P_0 -30%	
Durchschlagfestigkeit	
Abriebfestigkeit	
rel. Reibungsbeiwert	
Stabilisierung d. Grenzschicht	
Schutz gegen mech. Angriff	
Temperaturbeständigkeit (bit. Verfuß)	

Von einer Gliederung möglicher Deckwerksteile ausgehend, ergeben sich durch Kombinationen 60 Deckwerkstypen (siehe Schema auf Seite 5). Für jede einzelne Kombination (Deckwerkstyp) können die maßgebenden Richtwerte für die erforderlichen Gewebe bzw. Vliesstoffe angegeben werden.

5. Mindestforderungen (Richtwerte)

Die für die jeweiligen Deckwerkstypen erforderlichen Richtwerte werden unter Berücksichtigung von Empfehlungen und Erprobungen auf Baustellen aufgestellt und beziehen sich auf die beschriebenen Prüfverfahren.

Hierbei werden allgemein folgende Forderungen und Richtwerte zugrundegelegt:

Bei der Verwendung von Textilfiltern im Verkehrswasserbau wird davon ausgegangen, daß sie in ihren gesamten Bestandteilen verrottungsfest, öl- und seewasserbeständig und umweltfreundlich sind. Sie sollen sich leicht verarbeiten lassen, und ihre erforderlichen Eigenschaften sollen - auch unter Wasser - langzeitbeständig sein.

- Verwendung von Gitter / Gewebe / Vlies auf Bodentyp (BT): 1 - 2 / 1 - 2 / 1 - 4 und feiner
- Dicke der Filterschicht: Auf BT 3 und feiner ≥ 5 mm
- Dicke der Rauigkeitsschicht: unbelastet ≥ 20 mm
- hydraulische Filterwirksamkeit: ca. 100-facher Wert des k-Wertes des anstehenden Untergrundes (z.B. bei BT 3 ≥ 1 cm/s, bei BT 4 $\geq 0,1$ cm/s)
- mechanische Filterwirksamkeit (Bodendurchgang):
bei BT 1 - 3 < 25 g / 34 h
bei BT 4 < 300 g / 150 min
und Stabilisierung innerhalb der Versuchsdauer
- Zugfestigkeit (nach DIN 53858):
 $P_{\max} \geq 100$ daN ; $P_{0-30\%} \geq 90$ daN
- Durchschlagfestigkeit: nach Einbaubelastung (60 mdaN)
- Abriebfestigkeit: nach Art der Decklage (ja/nein)
- relativer Reibungsbeiwert: nach Untergrund und Statik (40°)
- Stabilisierung der Grenzschicht: nach Art der Decklage, des Untergrundes und der Größe der hydraulischen Belastung (ja/nein)
- Schutz gegen mechanischen Angriff: nach Einbaubelastung und Beschaffenheit des Untergrundes (ja/nein)
- Temperaturbeständigkeit: bei Kontakt mit bit. Verguß (ja)

Bei der Bemessung der Mindestforderungen sind besondere Baustoffe, Bauverfahren und Baustellenverhältnisse zu berücksichtigen.

6. Schlussbetrachtung

Nach den in Abschnitt 5. genannten Richtwerten und Mindestforderungen wurden Filterstoffe hergestellt und angewandt, die sich bisher auf unterschiedlichen Böden und unter verschiedensten Deckwerkstypen bei starker Verkehrsbelastung als geeignete Bauteile erwiesen haben. Negative Erfahrungen sind nicht gemacht worden.

Die hier beschriebenen Prüfverfahren und Richtwerte für die Dimensionierung von Wasserbaufiltern erheben nicht den Anspruch auf Endgültigkeit. Vielmehr bedürfen sie der ständigen Anpassung an die technologische Weiterentwicklung des Deckwerkbaues und der Herstellung von Textilfiltern.