

HEERTEN, G., Naue-Fasertechnik GmbH & Co. KG, BRD

**PROBLEMORIENTIERTE FILTERBEMESSUNG FÜR GEOTEXTILIEN**  
**FUNCTIONAL DESIGN OF FILTERS USING GEOTEXTILES**  
**DIMENSIONNEMENT FONCTIONEL DE FILTRES UTILISANT DES GEOTEXTILES**

Öffnungsweite des Geotextils, Korndurchmesser, Ungleichförmigkeit und ggf. Lagerungsdichte des anstehenden Bodens zur Beurteilung der mechanischen Filterwirksamkeit (Sperrbedingung) und ein Vergleich der Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte von Boden und Geotextil (k-Wert-Vergleich) sind übliche Parameter bei der Filterbemessung von Geotextilien. In Anlehnung an die Empfehlungen des AK 14 DGEG werden Hinweise auf unterschiedliche Lastfälle und filtertechnische Problem Böden formuliert und Filterregeln vorgestellt. Für den Böschungsschutz werden Hinweise zur Struktur und Dicke von Geotextilien gegeben, um Bodenumlagerungen unter dem Geotextil in Böschungsfällrichtung zu verhindern.

Opening size of the geotextile, grain diameter, uniformity and sometimes degree of compaction of the existing soil for the assessment of the mechanical filter efficiency (soil tightness) and a comparison of the water permeability coefficients of the soil and geotextile (comparison of the k-value) represent common parameters for the filter design of geotextiles. Following the recommendations of WG 14 GSSMFE indications are given on different load conditions and filter technical problem soils as well as filter rules are presented. For embankment protection recommendations are formulated for structure and thickness of geotextiles to avoid migration of soil particles beneath the fabric down-slope.

**1. Einleitung**

Öffnungsweite des Geotextils, Korndurchmesser, Ungleichförmigkeit und ggf. Lagerungsdichte des anstehenden Bodens zur Beurteilung der mechanischen Filterwirksamkeit (Sperrbedingung) und ein Vergleich der Wasserdurchlässigkeitsbeiwerte von Boden und Geotextil (k-Wert-Vergleich) sind übliche Parameter bei der Filterbemessung von Geotextilien. Parallel zu Erfahrungen mit der Dimensionierung von Mineralkornfiltern mehrten sich die Einsichten, daß Porendurchmesser und Wasserdurchlässigkeitsbeiwert nicht in allen Fällen zu befriedigenden Filterbemessungen führen, sondern eine dritte Bemessungsgröße in Analogie zur Filtrationslänge für Mineralkornfilter mit der Angabe einer Mindestdicke herangezogen werden muß. Weiterhin können problemorientierte Analysen des anstehenden Bodens und der gegebenen Lastzustände wertvolle Hinweise für eine den Anforderungen entsprechende Auswahl eines Geotextil-Filters liefern. Der vorliegende Beitrag behandelt einige Aspekte zu den genannten Problemkreisen unter besonderer Berücksichtigung der Empfehlungen für die Anwendung von Kunststoffen im Erd- und Wasserbau des Arbeitskreises 14 der DEUTSCHEN GESELLSCHAFT FÜR ERD- UND GRUNDBAU (AK 14 DGEG).

**2. Filtertechnische Beurteilung von Böden**

Die Schweizer Norm SN 670125a "Filtermaterialien" für den Anwendungsbereich Sickerleitungen, Sickerschlitze, Mauerhinterfüllungen und Übergangsschichten enthält das als Abb. 1 wiedergegebene Diagramm zur filtertechnischen Beurteilung von Böden.

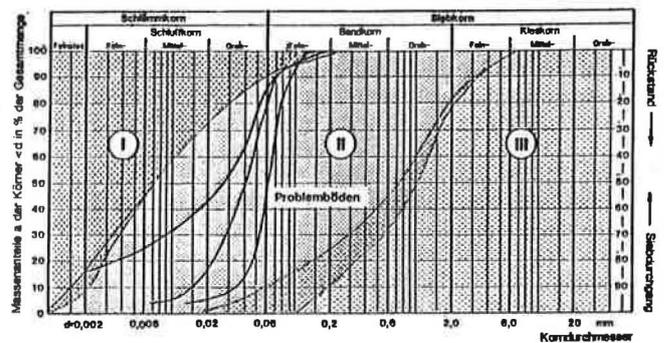


Abb. 1: Bodentypen für Entwässerungsanlagen (Dränanlagen) nach Schweizer Norm SN 670125a. Die im Bereich II eingetragenen Körnungslinien sind Beispiele für Problem Böden (5)

In der Zone I ist in der Regel durch die wirksame Kohäsion eine vergleichsweise offenere Filterdimensionierung

möglich, und die hydraulische Wirksamkeit des Filters tritt durch die geringe Durchlässigkeit der Böden der Zone I in den Hintergrund. Die Kohäsion muß aber unter Betriebsbedingungen der Entwässerungsanlage langfristig erhalten bleiben und ggf. sind konzentrierte Wasserausstritte an Schichtungen zu berücksichtigen.

Die Böden der Zone II und hier besonders Schluffe und Feinsande erfordern eine besonders sorgfältige Filterdimensionierung. Entsprechende Erfahrungen dokumentieren die in Zone II der Abb. 1 eingetragenen Kornverteilungskurven von Problemböden. Ausgrabungen zeigten bei diesen Böden eine erhöhte Verschlammungsneigung von Dränrohren (Bodenausspülungen in die Rohre ( 5)).

Ergänzend zu Abb. 1 enthalten die Empfehlungen des AK 14 DGEG folgende Kriterien, die auf filtertechnische Problemböden mit erhöhter Mobilität feiner Bodenpartikel (Neigung zu Ausspülungen, Bodenumlagerungen und Verschlammung) hinweisen:

1. Kornfraktionen < 0,06 mm (Schluffkorn) im Boden enthalten und weitergehend:  
Ungleichförmigkeit  $C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}} < 15$
2. Massenanteile des Bodens im Bereich  $0,02 \text{ mm} < d < 0,1 \text{ mm} > 50\%$
3. Plastizitätszahl  $I_p < 0,15$  (15%)

Hinweis:

Sofern die Plastizitätszahl z.B. im Vorentwurfsstadium nicht bekannt ist, kann hilfsweise das Ton-Schluff-Verhältnis herangezogen werden, um einen filtertechnischen Problemboden zu erkennen:

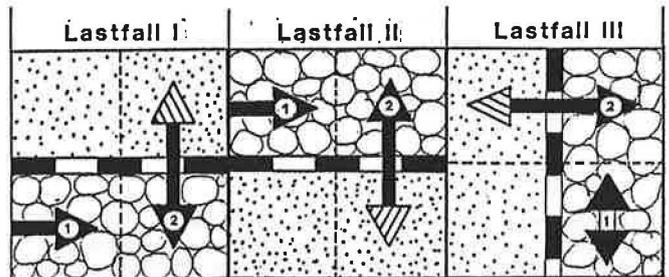
$$\frac{\text{Tonanteil } (\varnothing < 0,002 \text{ mm})}{\text{Schluffanteil } (\varnothing < 0,06 \text{ mm})} < 0,5$$

Die Böden der Zone III können nach SN 670125 a in der Regel ohne zusätzliche Filterlagen mit entsprechend dimensionierten Sickerrohren entwässert werden. Hierbei ist zu beachten, daß  $d_{85}$  des abzufilternden Bodens größer als die kleinste Öffnung im Dränrohr sein soll ( $d_{85} >$  kleinste Abmessung der Öffnungen im Filterrohr).

**3. Lastfälle für die hydraulische Beanspruchung eines Filters**

In den Empfehlungen des AK 14 DGEG werden drei häufig vorkommende Lastfälle für die hydraulische Beanspruchung von Geotextilien dargestellt. Es wird die Lage der Kontaktfläche und die Strömungsrichtung unterschieden (Abb. 2). Alle Kontaktflächen können auch geneigt sein, mit entsprechendem Einfluß auf die Wirkrichtung der Erdbeschleunigung. Die Erdbeschleunigung kann die Ausbildung eines Sekundärfilters entscheidend beeinflussen, da sich

stabilere Korn-Korn-Kontakte (Brückenbildungen) in Wirkrichtung der Erdbeschleunigung bilden. Wirkt die Strömungsbelastung gegen die Richtung der Erdbeschleunigung, kann es zu Instabilitäten kommen, wenn die Strömungsbelastung die Erdbeschleunigung gerade kompensiert.



(1) Strömungsbelastung parallel zum Geotextil  
(2) Strömungsbelastung senkrecht zum Geotextil

Abb. 2: Schematische Darstellung für hydraulische Filterbeanspruchungen

Strömungsbelastungen senkrecht zum Geotextil können bei Überschreitung kritischer Gradienten von  $i_{krit} = 0,6 \div 1,1$  Kontakt-erosionen auslösen, während Kontaktflächenerosionen bei Strömungsbelastung parallel zum Geotextil bereits bei kritischen Gradienten von  $i_{krit} = 0,05 \div 0,15$  auftreten können. Damit sind Parallelströmungen zum Geotextil für ein Boden-Filter-System erheblich kritischer als senkrecht zum Geotextil wirkende Strömungsbelastungen. Den grundsätzlich dargestellten Strömungsrichtungen können sich in der Praxis noch dynamische Komponenten überlagern.

In Abhängigkeit von Untergrund und Decklage kann die Dicke und Porenstruktur eines Geotextils von bestimmtem Einfluß auf die Stabilität der Grenzflächen sein. Mit zunehmender Beanspruchung wird eine größere Gesamtschichtdicke erforderlich. Mühring und Saathoff geben z.B. Hinweise zur labormäßigen Untersuchung der Grenzflächenstabilität bei Parallelströmung ( 7 ).

**4. Filterregeln**

**4.1 Mechanische Filterwirksamkeit (Sperrbedingung) nach AK 14 DGEG**

Bei der Formulierung von Filterregeln für die mechanische Filterwirksamkeit werden drei Körnungsbereiche (A,B,C) unterschieden.

Hinweis:

In den Empfehlungen des AK 14 DGEG nehmen die Filterregeln bezug auf die wirksame Öffnungsweite  $D_w - D_w$  wird nach der Naßsiebmethode des FRANZIUS-INSTITUTS ( 6 ) bestimmt. Diese Prüfmethode ist auch in der

Schweiz vorgeschrieben (SN 640550) jedoch wird die wirk-  
same Öffnungsweite mit  $O_w$  bezeichnet. Der ermittelte  
 $D_w$  bzw.  $O_w$ -Wert entspricht einem Korndurchmesser des  
Testbodens von dem 10% hindurchgespült und 90% zurückge-  
halten werden. Daher muß gemäß den Vorgaben für Symbole  
und Dimensionen dieser Konferenz  $D_w = O_w = O_{90}$  gesetzt  
werden. Es ist jedoch unbedingt zu beachten, daß das da-  
mit definierte  $O_{90}$  aus dem Naßsiebversuch des  
FRANZIUS-INSTITUTS nicht gleichgesetzt werden darf mit  
nach anderen Verfahren ermittelten  $O_{90}$ -Werten. Jeder  
 $O_{90}$ -Wert hat seine versuchsspezifische Definition. Die  
folgenden Filterregeln dürfen daher nur mit nach dem er-  
wähnten Naßsiebverfahren ermittelten  $O_{90}$ -Werten ange-  
wendet werden oder es muß eine  $O_{90}/O_{90}$ -Beziehung für  
unterschiedliche Prüfverfahren berücksichtigt werden.

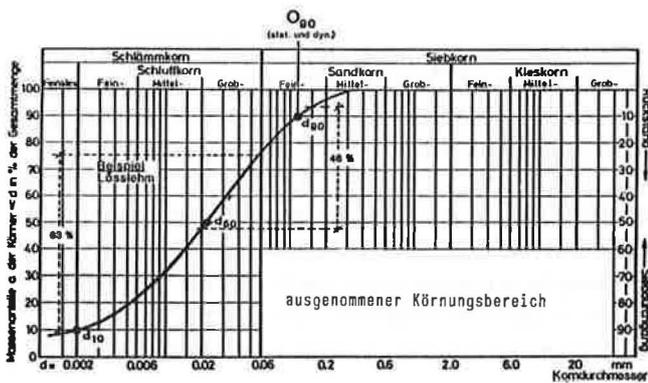


Abb. 3: Böden des Körnungsbereiches A mit einem Schlammkornanteil > 40%  
(feinkörnigen Böden nach DIN 18196) mit Beispiel Lößlehm

Filterregeln für die mechanische Filterstabilität des  
Geotextils im Körnungsbereich A

- a) statische Belastung  $O_{90} < 10 \cdot d_{50}$   
-für Problemböden gem. Abschnitt 2 zusätzlich  
 $O_{90} < d_{90}$   
-für Böden mit langfristig stabiler Kohäsion  
 $O_{90} < 2 \cdot d_{90}$
- b) dynamische Belastung  $O_{90} < d_{90}$

Hinweis:

Der Ansatz  $O_{90} < 2 \cdot d_{90}$  für eine offenere Filterdimen-  
sionierung bei statischer Belastung darf nur angewendet  
werden, wenn der abzufilternde Boden auch unter Bela-  
stung seine kohäsiven Eigenschaften uneingeschränkt be-

hält. Bei dynamischer Belastung wird zusätzlich empfohlen,  
 $O_{90} < 0,3 \text{ mm}$  zu wählen, um ein ausreichendes Rückhalte-  
vermögen gegenüber Feinkornanteilen zu gewährleisten.

Für das Beispiel "Lößlehm" (Problemboden nach Kriterium 3  
Ton/Schluffverhältnis) ergeben sich folgende maßgebenden  
Öffnungsweiten:

- a) statische Belastung  $O_{90} < 0,12 \text{ mm}$
- b) dynamische Belastung  $O_{90} < 0,12 \text{ mm}$

Beim labormäßigen Nachweis einer Plastizitätszahl

$I_p > 15\%$  könnte bei statischer Belastung  $O_{90} < 2 \cdot d_{90}$   
 $= 0,24 \text{ mm}$  ausgenutzt werden.

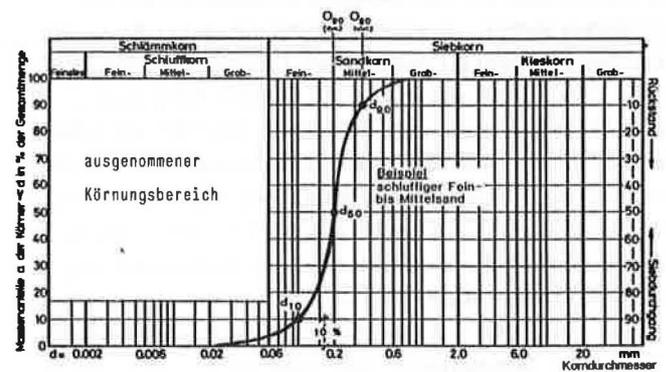


Abb. 4: Böden des Körnungsbereiches B mit einem Schlammkornanteil < 15%  
mit Beispiel "schluffiger Fein- bis Mittelsand"

Filterregeln für die mechanische Filterstabilität des  
Geotextils im Körnungsbereich B

- a) statische Belastung  
 $O_{90} < 5 \cdot d_{10} \sqrt{Cu}$  und  $O_{90} < 2 \cdot d_{90}$   
sowie  $O_{90} < d_{90}$  für Problemböden gemäß Abschn. 2
- b) dynamische Belastung  
 $O_{90} < 1,5 \cdot d_{10} \sqrt{Cu}$  und  $O_{90} < d_{50}$

Hinweis:

Bei dynamischer Belastung wird zusätzlich empfohlen,  
 $O_{90} < 0,5 \text{ mm}$  zu wählen, um ein ausreichendes Rückhalte-  
vermögen gegenüber Feinkornanteilen zu gewährleisten.

Für das Beispiel "schluffiger Fein- bis Mittelsand"  
(Problemboden nach Kriterium 1) ergeben sich folgende  
maßgebenden Öffnungsweiten:

- a) statische Belastung  $O_{90} < 0,34 \text{ mm}$
- b) dynamische Belastung  $O_{90} < 0,20 \text{ mm}$

Für einen Körnungsbereich C mit gemischtkörnigen Böden (Schlammkornanteil zwischen 15 und 40%) gelten die Filregeln des Körnungsbereiches B. Der AK 14 DGEG hat in seinen Empfehlungen aber zusätzliche Hinweise für die filtertechnische Beurteilung dieser Bodengruppe gegeben und auf die bekannten Vorteile der Anwendung von Verbundstoffen (Mehrschichtenfilter) hingewiesen, wenn es gilt eine hohe mechanische und hydraulische Filterwirksamkeit zu gewährleisten.

4.2 Hydraulische Filterwirksamkeit

Die Wasserdurchlässigkeit eines Geotextils senkrecht zur Filterebene muß nach Aufbau des Filters (Filtereinlaufzeit) in der Grenzschicht Geotextil/Boden gleich oder größer bleiben als die Wasserdurchlässigkeit des anstehenden Bodens, um eine möglichst drucklose Wasserabführung zu gewährleisten. In der Filtereinlaufzeit ergibt sich wie bei mineralischen Filtern zwangsläufig eine Abminderung der Durchlässigkeit des fabrikmäßigen Geotextils durch Bodenkontakt (Bodeneinlagerung (Tiefenfiltration, Clogging), Bodenlagerung (Kuchenfiltration, Blocking)). Zur Berücksichtigung dieses Einflusses erhalten Mineralfilter bei üblicher Filterbemessung eine "Durchlässigkeitsreserve" von 1 bis 2 Zehnerpotenzen. Ein entsprechendes Verhalten zeigen auch dicke Vlies- und Verbundstoffe, bei denen in der Regel die hydraulische Filterwirksamkeit als erfüllt angesehen werden kann, wenn die bei einer Auflast von 2 kN/m<sup>2</sup> gemessene Wasserdurchlässigkeit den Durchlässigkeitskoeffizienten des Bodens etwa um das 50fache übersteigt ( 3 ). Bei bestimmten Geotextiltypen (z.B. offene Gittergewebe) kann die Abminderung der Wasserdurchlässigkeit 3 bis 4 Zehnerpotenzen erreichen ( 3 ). Grundsätzlich ist die Abnahme der Wasserdurchlässigkeit abhängig von der Porenstruktur und Dicke des Geotextils sowie der Kornstruktur des umgebenden Bodens. Mit Rücksicht auf die hydraulische Filterstabilität sollten die Obergrenzen der Öffnungsweite, die bei Gewährleistung der mechanischen Filterstabilität zulässig sind, ausgenutzt werden - eine offene dicke Porenstruktur ist einer dichten dünnen im Hinblick auf die Filterwirksamkeit in der Regel überlegen.

5. Anforderungen an Geotextilien am Beispiel von Ufersicherungen

Zusätzlich zur normalen filtertechnischen Bemessung sowie den Anforderungen z.B. an die Durchschlag- oder Zugfestigkeit und Dehnung ist das Geotextil als Bestandteil eines Deckwerkes zur Ufersicherung so auszulegen, daß Bodenumlagerungen in Böschungfallrichtung unter dem Geotextil sicher verhindert werden. Einen typischen,

durch Bodenumlagerungen unter dem Geotextil verursachten Deckwerksschaden zeigt Abb. 5.

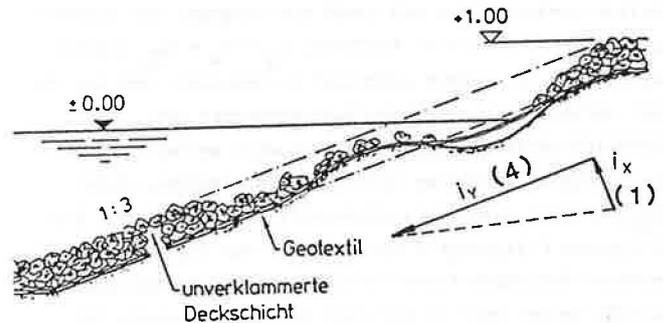


Abb. 5: Bodenumlagerungen unter dem Geotextil und wirksame hydraulische Gradienten nach Messungen am Hartel Kanal (1)

Naturmessungen am Hartel-Kanal in den Niederlanden haben gezeigt, daß die parallel in Böschungfallrichtung wirkenden hydraulischen Gradienten  $i_y$  3 bis 4 mal so groß sein können wie die senkrecht zur Böschung wirkenden Gradienten  $i_x$ . Weiterhin wurde gezeigt, daß eine Mineralfilterlage zwischen Decklage und Geotextil die in Böschungfallrichtung wirkenden Gradienten unter dem Geotextil deutlich vermindern kann mit entsprechender Reduzierung der Grundwasserströmungen zum Deckwerksfuß ( 1 ).

Im Deckwerksbau an deutschen Wasserstraßen werden zur Verhinderung von Bodenumlagerungen in Böschungfallrichtung seit über 10 Jahren dicke Verbundstoffe bestehend aus Filter- und grobfaserigen Stabilisierungsschichten direkt unter der Decklage mit Erfolg eingebaut.

Damit werden zwei unterschiedliche Lösungsansätze zur Verhinderung der Bodenumlagerung in Böschungfallrichtung angegeben:

- Reduzierung der wirksamen hydraulischen Gradienten durch Einbau einer Mineralfilterlage über dem Geotextil (Korngrößen und Dicke abgestimmt auf die Decklage mit flächiger, schwingungsfreier Belastung des Geotextils).
- Stabilisierung des Bodenhorizontes unter dem Geotextil durch grobfaserige Stabilisierungsschichten mit folgenden Anforderungen nach den Empfehlungen des AK 14 DGEG:

Tabelle 1: Anforderungen an Stabilisierungsschichten

	Körnungsbereich A	Körnungsbereich B
wirksame Öffnungsweite $O_{90}$	$0,3 \text{ mm} < O_{90} < 1,5 \text{ mm}$	$0,5 \text{ mm} < O_{90} < 2,0 \text{ mm}$
Dicke $T$ (bei $2 \text{ kN/m}^2$ )	$7,5 \text{ mm} < T < 15 \text{ mm}$	$7,5 \text{ mm} < T < 20 \text{ mm}$

Auf der Basis dieser unterschiedlichen Lösungsvorschläge können die in Abb. 6 dargestellten Anforderungen an Dicke und Schichtenaufbau von Geotextilien im Deckwerksbau zur Ufersicherung formuliert werden. Diese Anforderungen sind grundsätzlich zur normalen filtertechnischen Bemessung und anderen konstruktiv zu verlangenden Eigenschaften des Geotextils bei Böschungsneigungen

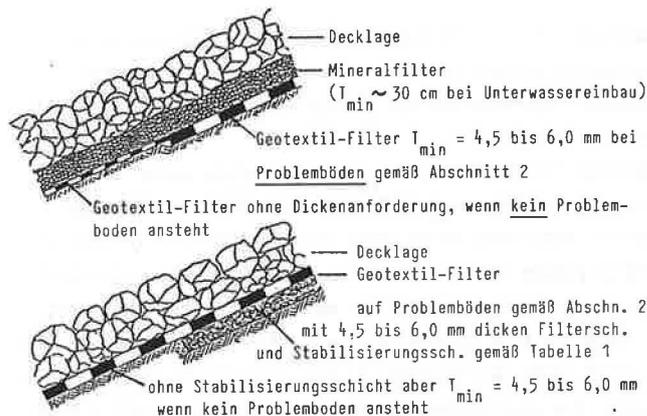
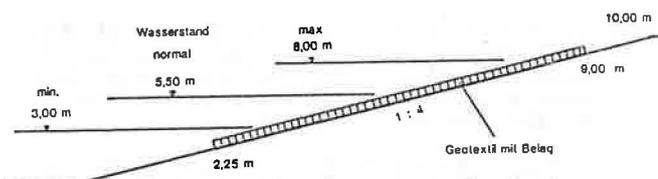


Abb. 6 Anforderungen an Dicke und Schichtenaufbau für Geotextilien in Deckwerken zur Ufersicherung mit Regelneigungen von 1:2,5 bis 1:5



techn. Daten der Lake Okeechobee Versuchsstrecke

Strömungsgeschwindigkeit - vernachlässigbar  
max. Wellenhöhe durch Bootsverkehr - 1,5 m

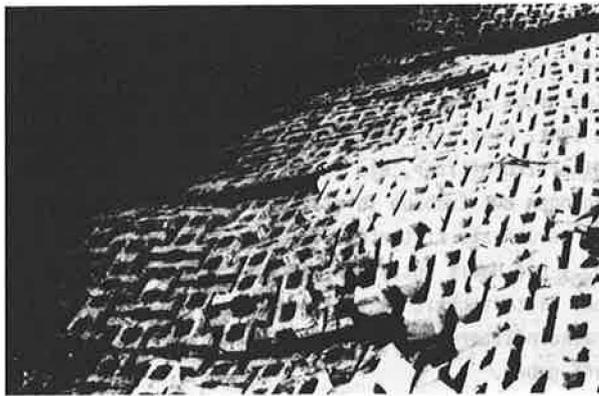
Querschnitt des Deckwerkes am Rim Canal Lake Okeechobee



A Terrafix-Deckwerksystem



B Armormat-Deckwerksystem



C Armorlock-Deckwerksystem

Abb. 7: Deckwerkprobestrecken am Rim Canal Lake Okeechobee, Florida/USA. Querschnitt und Zustand der drei Probestrecken ca. 6 Monate nach Einbau

zwischen 1:2,5 und 1:5 zu fordern. Bei flacheren Böschungen können die Anforderungen ggf. abgemindert werden, während sie bei steileren Böschungen verschärft werden müssen.

Welche fatalen Folgen Bodenumlagerungen unter dem Geotextil für Deckwerke haben können, dokumentiert Abb. 7. Diese Abbildung zeigt drei unterschiedliche in jeweils 60 m langen Versuchsstrecken eingebaute Betonsteindeckwerke auf Geotextil-Filter am Rim Canal des Lake Okeechobee in Florida/USA nur sechs Monate nach ihrem Einbau. Die Auswahl des Geotextils für die Filteraufgaben gegenüber dem anstehenden Sandboden (10% Grobschluff < 0,06 mm, 45% Feinsand < 0,2 mm, 25% Mittelsand < 0,6 mm sowie jeweils 10% Grobsand < 2,0 mm und Kies < 10 mm) wurde dem Anbieter bzw. Hersteller des Deckwerksystems überlassen. Für die Deckwerksysteme B und C kamen Gewebe zum Einsatz, die die Sperrbedingung gegenüber dem anstehenden Sandboden einwandfrei erfüllen, Bodenumlagerungen in Böschungsfällrichtung mit entsprechenden Zerstörungen des Deckwerkes aber nicht verhindern konnten. Dies gelang jedoch mit dem unter dem System A eingesetzten vernadelten Vliesstoff mit ca. 4,0 mm Dicke bei einem Flächengewicht von ca. 400 g/m<sup>2</sup>. Damit erfüllt und bestätigt das System A etwa die in Abb. 6 formulierten Anforderungen (Decklage direkt auf dem Geotextil, kein Problemboden nach den Kriterien des Abschnitts 2 --> 4,5 bis 6,0 mm dicke Vliesstoffe). Nach Meinung des Verfassers liegt der beim System A eingesetzte vernadelte Vliesstoff bereits an der untersten vertretbaren Grenze und konnte nur vor dem Hintergrund der 1:4 geneigten Böschung und der relativ schwachen Belastung durch Sportboote empfohlen werden.

#### Schlußbemerkung:

Es darf nicht verwundern, daß sich das komplexe Filterproblem nicht immer mit einfachen Faustformeln beherrschen läßt. Dies gilt im übertragenen Sinne gleichermaßen für Mineralkornfilter, die jedoch in der Regel durch die Bedingungen des Erdbaus in erheblich dickeren Lagen eingebaut werden als filtertechnisch notwendig ( $T_{\min} \sim 25 \cdot d_{50}$ ) und damit entsprechende Reserven beinhalten können. Filtertechnische Versager wird es sowohl bei Mineralkornfiltern wie auch bei Geotextilien auch in Zukunft geben.

In der Beurteilung und Konsequenz von Schadensfällen mit mineralischen Filtern und Geotextilien gibt es jedoch häufig Unterschiede:

Ein Versagen eines Mineralkornfilters wird niemals Zweifel an der grundsätzlichen Eignung eines richtig be-

messenen Kornfilters auslösen, während das Versagen eines Geotextils leicht zur allgemeinen Ablehnung der Geotextilien als relativ unbekannter, neuer Baustoff führen kann, obwohl letztlich auch nur ein Bemessungsfehler oder eine falsche Produktauswahl vorlag. Wichtig wäre in solchen Fällen die Einsicht, ein ungeeignetes Produkt gewählt zu haben oder unzureichend beraten worden zu sein, aber sicher zu sein, daß es Geotextilien gibt, die auch dieser Filteraufgabe gerecht geworden wären. Im Zweifelsfall sollte nie vergessen werden, daß der vernadelte Vliesstoff - einschichtig oder mehrschichtig - aufgrund seiner Dicke die größte Affinität zum Kornfilter aufweist und daß Mehrausgaben für einen höherwertigen Geotextil-Filter gegenüber eventuellen Folgekosten im Schadensfall in der Regel immer vertretbar sind.

#### Schrifttum:

- (1) Blaauw, H.-G., van der Knaap, F.C.M., de Groot, M.T. und Pilarczyk, K.W. "Design of Bank Protection of Inland Navigation-Fairways" Waterloopkundig Laboratorium Delft Hydraulics Laboratory, Publication No. 320, June 1984
- (2) de Graauw, A., van der Meulen, T. und van der Does de Bye, M. "Design Criteria for Granular-Filters", Waterloopkundig Laboratorium Delft Hydraulics Laboratory, Publication No. 287, Januar 1983
- (3) Heerten, G. und Wittmann, L. "Filtration Properties of Geotextile and Mineral Filters Related to River and Canal Bank Protection". Geotextiles and Geomembranes, Vol 2, No. 1, 1985, p. 47
- (4) Ingold, T.S. "A Theoretical and Laboratory Investigation of Alternating Flow Filtration Criteria for Woven Structures". Geotextiles and Geomembranes, Vol 2, No. 1, 1985, p. 31
- (5) Karge, H. und Collins, H.-J. "Eigenschaften von Kunststoffdränrohren nach mehrjährigem Einsatz im Boden", Wasser und Boden, 36. Jahrg., Nr. 10, Oktober 1984, S. 494
- (6) Kohlhasse, S. und Saathoff, F. "Zur Problematik der Bestimmung einer wirksamen Öffnungsweite", Technischer Bericht, Franzius-Institut für Wasserbau und Küsteningenieurwesen, 1985, unveröffentlicht
- (7) Mühring, W. und Saathoff, F. "Prüfung der Filtereigenschaften von Verbundstoffen". III. Internationale Geotextil Konferenz, Wien 1986
- (8) Zitscher, F.-F. "Empfehlungen für die Anwendung von Kunststoffen im Erd- und Wasserbau", Schriftenreihe des DEUTSCHEN VERBANDES FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU (DVWK), Bonn, 1986