Zeitschrift: Schweizer Ingenieur und Architekt
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 117 (1999)
Heft: 20

Artikel: Innovative geotextile Filtersysteme im Wasserbau
Autor: Oberreiter, Klaus / Lugmayr, Rainer
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-79733

Nutzungsbedingungen
Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation
L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use
The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 29.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Klaus Oberreiter und Rainer Lugmayr, Linz

Innovative geotextile Filtersysteme im Wasserbau

Der folgende Artikel beruht auf neuen Erkenntnissen, die aus der Auswertung der mehr als 30-jährigen ingenieurmässigen Erfahrung mit geotextilen Filtersystemen bei wechselseitiger Durchströmung gewonnen wurden. Diese Erkenntnisse führen zu einer neuen Betrachtungsweise geotextilen Filterverhaltens, was in weiterer Folge eine Innovation der geotextilen Filter bedeutet.

Wasser in Bewegung verfügt über beträchtliche Kraft, die imstande ist, feste Teile, die es auf seinem Weg antrifft, zu transportieren. Wenn flüssige Medien von aussen auf einen Boden einwirken und ihn erodieren, spricht man von externer Erosion. Abfliessendes Regenwasser, das einen Abhang ausschwemmt, ist eine Erscheinungsform. Ebenso die Einwirkung des Windes auf den Sand von Dünen.

Unter interner Bodenerosion versteht man hingegen die Destabilisierung der konstituierenden Bodenkörner durch innere Sickerwasserströmungen:

- entweder durch Fliessen von Grundwasser
- oder durch wechselseitige Fliessbewegungen, hervorgerufen durch Wellenschlag aufgrund von Seegang oder Schiffsverkehr.

Um gegen diese interne Erosion vorzugehen, müssen die Körner an der Bodenoberfläche mit einem Filtersystem stabilisiert werden.

Bemessung von Filtersystemen

Für das einwandfreie Funktionieren eines Filtersystems muss dieses zugleich zwei konträren Kriterien entsprechen:

- Erhalten und Stabilisieren des Korngerüsts
- Langfristig freies Durchströmen des Wassers

Erhalten und Stabilisieren des Korngerüsts

Um als Katalysator für die Bildung eines natürlichen Kornfilters zu wirken, sind folgende Bedingungen zu erfüllen:

- Die maximale Öffnungsweite muss kleiner sein als die Bodenteilchen des Korngerüsts
- Eine Mindestanzahl von Constrictions/Engstellen garantiert die Homogenität der Öffnungsweite
- Eine maximale Anzahl von Constrictions begünstigt die Stabilisierung des Korngerüsts an der Oberfläche
- Flexibilität begünstigt den Kontakt zwischen Filtersystem und Boden
- Eine maximale Dehnung vermeidet das Risiko des Grundbruchs
- Die maximale absorbierte Energie (Arbeitsvermögen) entspricht dem Anteil der Fallenergie des Schüttmaterials, der bei Verformung des Filters abgeleitet wird
- Widerstand gegen Durchstanzen: verhindert örtlich begrenzte Beschädigungen
- Widerstand gegen dynamische Perforation: reduziert die Risiken der Perforation
- Widerstandskraft gegen aggressive Umwelteinflüsse (UV, chemisch, biologisch): wirkt der Baufälligkeit der Konstruktion entgegen

Langfristig freies Durchströmen des Wassers

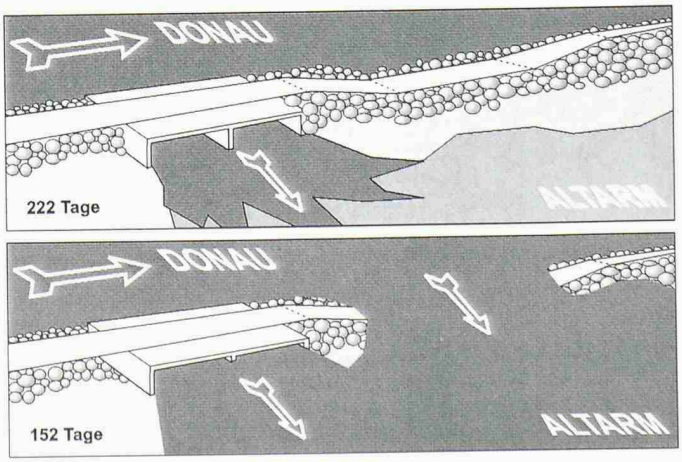
- Die Durchlässigkeit im eingebauten Zustand muss höher sein als die des Bodens
- Benetzungsfähigkeit: sofortiges Durchfeuchten beim Kontakt mit Wasser
- Die minimale Öffnungsweite: verhindert Kolmation durch feine Teilchen in Suspension
- Die Mindestanzahl von Constrictions sichert die Homogenität der Öffnungsweite zur Vermeidung von Kolmation (Clogging) durch feine Teilchen in Suspension
- Die maximale Anzahl von Constrictions verhindert die interne Kolmation (Clogging) auf Grund einer Destabilisierung des Korngerüsts
- Retention gegenüber feinen oder filtertechnisch schwierigen Böden: Auswertung des Langzeitverhaltens eines bereits bemessen Filtersystems mittels Permeameter-Versuchs mit dem zum Einsatz kommenden Boden.
- Geringe Empfindlichkeit gegenüber feinen Böden in Suspension

Nur ein globales Bemessungsverfahren erfasst alle eben angeführten Charakteristika. Die Einteilung in funktionelle, einbau- und lebensdauerspezifische Eigenschaften des Filtersystems ist dabei sehr hilfreich.

Obwohl diese Eigenschaften zu verschiedenen Zeiten im Laufe des Geotextileinsatzes auftreten, ist jede einzelne wichtig für die Gewährleistung der Filterfunktion während der gesamten Lebensdauer des Bauwerks.

Bemessungsgrundlagen geotextiler Filter

- Funktionelle Eigenschaften:
  Öffnungsweite
  Anzahl der Constrictions der Filterschicht
  Flexibilität
  Permeabilität
  Benetzungsfähigkeit
- Einbauspezifische Eigenschaften:
  Maximale Dehnung
  Absorbierbare Energie (oder Arbeitsvermögen)
  Widerstand gegen Durchstanzen
  Widerstand gegen dynamische Perforation
- Lebensdauerspezifische Eigenschaften:
  Sensibilität gegenüber feinen Böden in Suspension
  Rückhalt feiner oder filtertechnisch schwieriger Böden
  Widerstand gegen aggressive Umwelteinflüsse



1
Die Kombination von Durchlässen und Überstrombereichen sorgt für dynamische Fliessverhältnisse in den Auengewässern

2
Sicherung des Überstömbereichs gegen Erosion mit Filtermatten

3
Mechanische Widerstandsfähigkeit beim Einbau des Deckwerks ist ein entscheidendes Qualitätskriterium

Geotextile Öffnungsweite und massgebende Engstelle geotextiler Filter

Die Öffnungsweite O_{90} entspricht der Grösse des grössten Bodenteilchens, welches das Geotextil durchqueren kann, ohne auf dem von ihm gewählten Weg zurückgehalten zu werden.

Der geotextile Filter besitzt, bezogen auf eine bestimmte Oberfläche, eine Vielzahl möglicher Wege. Aufgrund der zufälligen Anordnung der Filamente, ist die Öffnungsweite nicht auf allen Wegen gleich. Folglich hat ein Filtersystem nicht eine einzige Öffnungsweite, sondern einen Streubereich an Öffnungsweiten.

Dieser Streubereich hängt von der Anzahl der auf jedem Weg angetroffenen Engstellen (Constrictions) ab. Gemäss dem Vorgehen zur funktionellen Bemessung (Design by Function) wirkt sich die Öffnungsweite auf zwei Kriterien aus:

- Rückhalt des zu filternden Korngerüsts: Das Filtersystem muss Öffnungsweiten aufweisen, die kleiner sind als die Bodenkörner des zurückzuhaltenden Korngerüsts. Retentionskriterium:
$O_{90} \leq A \cdot d_{Korngerüst}$

  Entsprechend der gewählten Bemessungsmethode ist der $d_{Korngerüst}$ zugeschriebene Wert variabel. A ist ein Ausgleichskoeffizient, der u.a. von der Kornverteilung des Bodens und dem hydraulischen Gradienten abhängt.

- Fehlender Rückhalt feiner Teilchen in Suspension: Feine Teilchen in Suspension sind im Prinzip bindige Teilchen, deren Grösse sich im Bereich von einigen Dutzend mm bewegt. Als wirksamer Wert wird hier vorgeschlagen: $50\ \mu m \leq O_0$

Die Anwender von Geotextilien, die Produkte gemäss den gängigen Bemessungsmethoden auswählen, haben nur zum Wert der Öffnungsweite O_{100} ($\approx O_{90}$) Zugang. Die Kenntnis der Homogenität des Produkts ist jedoch essentiell, um sich vor dem Risiko der Kolmation zu schützen und um eine sichere Bemessung durchzuführen. Durch die Betrachtung der Anzahl von Constrictions (wirksame Engstellen) ermöglicht das theoretische Modell von J.-P. Giroud den Zugang zu dieser Information. Die Anzahl der wirksamen Engstellen der Filterschicht ist der grundlegende Parameter für die Regelung der Homogenität der Öffnungsweiten eines Geotextils. Ein wirksames Filtersystem muss das Korngerüst des Bodens stabilisieren, was einen Rückhalt der Teilchen nahe zur Grenzschicht erfordert. Um diesen Oberflächenmechanismus zu begünstigen, darf die Filterschicht nicht mehr als 40 Constrictions aufweisen. Bei der Bemessung des Geotextilfilters liegt daher die Anzahl der Constrictions der Filterschicht entsprechend der Giroud-Theorie im Bereich:
$25 \leq m \leq 40$

Vom Geotextil absorbierte Energie oder Arbeitsvermögen

Die auftretende Energie beim Einbau von Kiesschüttungen und Blockwurf ist sehr gross. Sie wird in folgender Formel ausgedrückt:

$$E_{block} = M \cdot g \cdot h$$

E: Energie des Blocks [J]
M: Masse des Blocks [kg]
h: Fallhöhe [m]

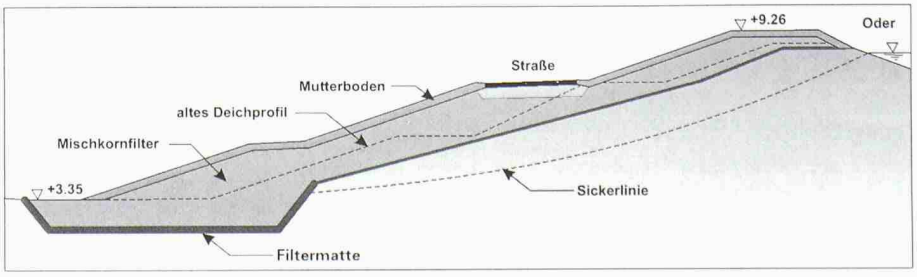
Beim Fall auf den Komplex Boden/Filtersystem werden durch die Energieableitung ein Abdruck im Boden und eine lokale Verformung des Geotextils bis 60% hervorgerufen. Die vom Geotextil absorbierte Energie wird ausgedrückt durch:

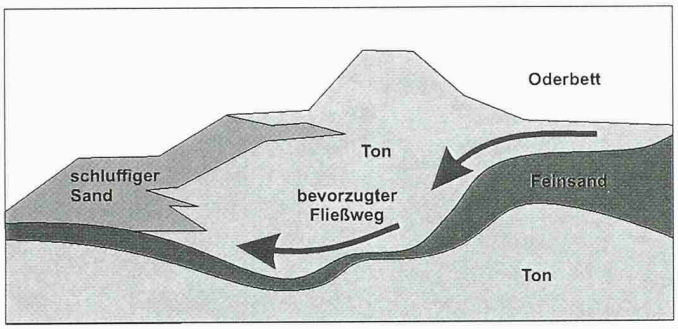
$$W/l = \tfrac{1}{2} \cdot T \cdot \varepsilon$$

unter der Annahme eines linearen Verlaufs der Kraft-Dehnungs-Kurve des Geotextils, wobei W das Verformungsvermögen [J], l die Längenänderung des eingebauten Geotextils [m], T die Zugkraft im Geotextil [kN/m] und ε die Geotextil-Dehnung [%] ist.

Das Geotextil wird um so mehr gedehnt, je grösser die Eindringtiefe des Blockwurfs in den Boden ist. Bei Geotextilien mit steiler Kraft-Dehnungs-Kurve besteht hier das Risiko einer nicht gewünschten Hohlraumbildung zwischen Geotextil und Untergrund.

4
Schematischer Querschnitt des verstärkten Oder-Deiches bei Neuranft





5
Schematisches Bodenprofil der Feinsandlinse

Das Zwei-Schichten-Filtersystem

Geotextilien haben in Bauwerken verschiedenste Funktionen zu erfüllen. In diesem Zusammenhang hat sich herausgestellt, dass die Retention kleiner Bodenteilchen einerseits und der Widerstand gegen die auftretende Energie beim Einbau von groben Kiesschüttungen oder Blockwurf andererseits durch ein Geotextil mit beidseitig identischen Eigenschaften nicht befriedigend gelöst werden kann.

Es gibt speziell entwickelte Filtersysteme, um eine bestmögliche Filterleistung unter Blockwurf bei Ufer- und Küstenschutz zu erzielen.

Dieses innovative Filtersystem besteht aus Geotextilien mit zwei unterschiedlichen Schichten, von denen jede eine ganz bestimmte Funktion erfüllt:

- Eine Schicht mit Filterfunktion, deren Parameter optimiert sind, um langfristig eine sichere Bodenretention zu bieten. Diese Filterschicht ist grau und muss in direktem Kontakt mit dem zu filterndem Boden sein.
- Eine blaue Schutzschicht gegen hohe Einbaubeanspruchung infolge Blockwurf, deren Funktion darin besteht, die Filterschicht vor mechanischen Beschädigung zu schützen.

6
Verlegung der Filtermatte und Einbau des Mischkornfilters

Basierend auf den funktionellen, einbauspezifischen sowie langzeitspezifischen Eigenschaften wurde das geotextile Zwei-Schichten-System entwickelt. Weiters wurde am theoretischen Modell nach Giroud [1] und durch Versuchssimulationen der geotextile Filter optimiert. Die wesentlichen Eigenschaften dieser funktionellen Filterschicht sind:

- Toleranz gegenüber heterogenen Böden
- Wirksam anwendbar auf die Mehrzahl der Böden
- Erhöhte Sicherheit für die Bauwerke gegen Versagen infolge interner Erosion

Projektberichte

Erosionssicherung eines Überströmbereichs im Nationalpark Donauauen

Zur Erosionssicherung eines hydraulisch hoch beanspruchten Überstrombereichs im Nationalpark Donauauen wurde die neuartige zweischichtige Filtermatte mit optimierten Filtereigenschaften erfolgreich eingesetzt.

Der neu errichtete Nationalpark Donauauen bei Hainburg östlich von Wien drohte durch die Abschottung durch den Treppelweg zu verlanden. Um eine natürliche Vernetzung der Gewässer in der Au mit der Donau wiederherzustellen, wurden eine Reihe von Durchlässen errichtet, die die Au an rund 220 Tagen im Jahr mit Wasser aus der Donau versorgen sollen.

Im Weiteren wurde der Treppelweg an mehreren Stellen abgesenkt, um bei Hochwasser eine Überströmung und dadurch echte Fliessdynamik in den Augewässern zu ermöglichen.

Um die Funktion dieser sogenannten Überströmbereiche dauerhaft sicherzustellen, war ein wirksamer Erosionsschutz erforderlich.

Bei den Überströmbereichen in der Nähe der Ortschaft Haslau wurde dieser Erosionsschutz durch einen Steinsatz sichergestellt. Ausschlaggebend für den Einsatz eines geotextilen Filters war neben den optimalen Filtereigenschaften auch die hohe mechanische Beständigkeit beim Einbau des Blockwurfs.

Verstärkung eines Hochwasserschutzdeiches mit geotextilen Filtermatten

Das Jahrhunderthochwasser an der Oder im Sommer 1997 machte die Sanierung der zum Teil jahrhundertealten Deiche erforderlich. Im Wesentlichen bestand diese Verstärkung aus einer Erhöhung der Dammkrone sowie einer Dammverbreiterung an der Luftseite.

Diese Massnahmen sollten die Sickerwege verlängern und die Standsicherheit des Deiches gegen hydraulischen Grundbruch erhöhen.

Im Bereich der Ortschaft Neuranft war eine zusätzliche erschwerende Situation anzutreffen. Aus dem Bodenprofil war ersichtlich, dass unterhalb des Deiches zwischen den dichten Ton-und Schlufflagen eine dünne Feinsandlinse eingelagert ist. Im Falle eines Hochwassers stellt diese Lage einen bevorzugten Fliessweg dar, der an der Luftseite des Deiches die Gefahr eines hydraulischen Grundbruches unverhältnismässig erhöht.

Am luftseitigen Böschungsfuss mussten deshalb besondere Massnahmen getroffen werden. Neben der Auflast durch die Dammverbreiterung war vor allem eine dauerhaft wirksame Filterlage erforderlich.

Aufgrund dieser kritischen Situation wurde auf die Einhaltung der Filterkriterien besonderer Wert gelegt.

Adresse der Verfasser:
Klaus Oberreiter, Dipl.-Ing., *Rainer Lugmayr*, Dipl.-Ing., Polyfelt GmbH, Schachermayerstrasse 18, A-4021 Linz

Literatur

[1]
Giroud J-P., Delmas Ph., Artieres O.: Theoretical Basis for the Development of a Two-Layer Geotextile Filter, 6th Int. Conference on Geosynthetics, Atlanta, USA, 1998

[2]
SAGEOS: méthode de dimensionnement non publiée, Saint-Hyacinthe, Quebec, Canada, 1997

[3]
Giroud J-P.: Granular filters and Geotextile filters, Geofilter´96, Lafleur J. and Rollin A.L., Editors, Canada, 1996

[4]
Lugmayr R., Artieres O., Murray H.: Innovative Filtersysteme für Wasserbauwerke, K-Geo 1999, Deutschland