

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Stein, Jürgen

Filtrationsverhalten grober Schutz- und Filterschichten

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/101941>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Stein, Jürgen (2014): Filtrationsverhalten grober Schutz- und Filterschichten. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Filter und hydraulische Transportvorgänge im Boden. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 37-42.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Filtrationsverhalten grober Schutz- und Filterschichten

Jürgen Stein, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Einführung

Der Vortrag gibt einen Überblick über großmaßstäbliche Modellversuche zur Untersuchung des Filtrationsverhaltens grober Schutz- und Filterschichten. Grobe Schutz- und Filterschichten werden im Dammbau und an den Bundeswasserstraßen zur Sicherung der Ufer eingesetzt. Eine Standardbauweise ist die Schüttung loser Wasserbausteine auf einem Kornfilter. Um eine langfristige Deckwerksstabilität zu gewährleisten, muss die Körnungslinie des Kornfilters auf die Größe der Deckwerkssteine gut abgestimmt sein. Das feinkörnigere Filtermaterial darf dabei nicht in die Poren der Deckschicht eindringen. Gleichzeitig muss der Filter den darunter anstehenden Boden zurückhalten.

Das Deckwerk erfährt infolge von Wellen und Wasserspiegelabsenk aus der Schifffahrt eine permanente zyklische hydrodynamische Belastung. Das durch den Filter und die Deckschicht strömende Wasser muss dabei möglichst schnell und widerstandslos abgeführt werden können. Bei einer hohen Einwirkungsintensität und einem hohen Strömungswiderstand entstehen entsprechend hohe hydraulische Gradienten und Strömungskräfte, die zu einem Materialtransport und einhergehenden Umlagerungen führen können. Bild 1 zeigt ein nicht filterstabiles Material, welches durch hohe hydraulische Einwirkungen bei einem Modellversuch in die Deckschicht aus Wasserbausteinen infiltriert ist.



Bild 1: Modellversuch mit infiltriertem Kornfilter in Wasserbausteine CP_{90/250}

Die maßgebenden Einwirkungen und Widerstände bei der Filtration des Filtermaterials in die Zwickel der Wasserbausteine sind im Detail weitestgehend unbekannt und werden bei diesem

an der BAW initiierten Forschungsvorhaben untersucht. Die Ergebnisse sollen zu einem besseren Verständnis des Erosionsprozesses grober Schutz- und Filterschichten beitragen. Mit Hilfe der Erkenntnisse sollen die wenigen aus der Literatur bekannten Filterregeln für sehr grobe Gesteinskörnungen erweitert oder ggf. neue Regeln formuliert werden. Das langfristige Ziel dieses Projekts ist die Optimierung der ingenieurtechnischen Bemessung der Deckwerke und damit eine Minimierung der Unterhaltungsaufwendungen.

Stand des Wissens

Die Filterbemessung für die Wasserstraßen erfolgt nach dem BAW Merkblatt MAK (2013). Die Nachweisverfahren und deren Anwendungsgrenzen sind im Merkblatt MMB (2013) beschrieben. Für gröbere Materialien wird hier der Nachweis nach Myogahara (1993) empfohlen. Er führte Experimente mit Filtermaterial bis $\varnothing = 40$ mm und Steinen von $\varnothing = 53$ mm durch.

Die aus der Literatur bekannten Untersuchungen beschränkten sich überwiegend auf feinere Böden wie Sand und Kies bei einseitiger Durchströmung normal zur Filterebene und bei Belastung durch relativ hohe Gradienten. Das Filtrationsverhalten grober Schutz- und Filterschichten unterscheidet sich jedoch deutlich vom Verhalten feiner, natürlicher Böden. Es ist noch weitestgehend unerforscht. Bei den bekannten Filterregeln für grobe Materialien werden überwiegend die Kornverteilungen geometrisch verglichen. Um Kontakterosion zu vermeiden muss dabei das Porengefüge des groben Erdstoffs kleiner sein als die Körner des Filtermaterials. Weiterhin dürfen die angreifenden Strömungskräfte, welche auf das Filtermaterial einwirken, nicht zu groß sein.

Versuchsaufbau und Untersuchungsmethode

Die Strömungsverhältnisse im Deckwerk werden mit Hilfe eines großmaßstäblichen Versuchskastens mit einer quadratischen Grundfläche von $1,5 \times 1,5$ m² und einer Höhe von 2,0 m simuliert. Der Kastenboden besteht aus einem durchlässigen, grobmaschigen Gitterrost und aufgelegtem Gewebe. Er hält das Filtermaterial zurück und bietet bei der Durchströmung einen möglichst geringen Strömungswiderstand. Gegen seitliche Zu- und Abflüsse sind die Wände wasserdicht ausgelegt. Zwei Wände sind aus transparentem Plexiglas gebaut, um die Bewegungen des Filtermaterials und Setzung der Deckschicht bei den Versuchen zu beobachten. Über zwei große Türen werden das Deckwerk und die Messtechnik eingebaut.

Die Strömungsbelastung wird durch vertikales auf und ab bewegen des Kastens in einem mit Wasser gefüllten zylindrischen Tauchbecken (s. Bild 2) erzeugt. Beim Absenken des Kastens wird das Deckwerk vertikal von unten nach oben durchströmt. Beim Ziehen des Kastens wird die Strömungsrichtung umgekehrt. Die Bewegung soll der hydraulischen Wellenbelastung aus

der Schifffahrt möglichst nahe kommen. Durch Variation von Eintauschgeschwindigkeit, Eintauchtiefe und Anzahl der Zyklen kann die Belastung systematisch verändert werden.

Für die erste Versuchsserie wurde ein Regeldeckwerk nach dem BAW Merkblatt MAR (2008) mit einem 30 cm hohen Einstufenfilter und darüber liegendem 40 cm dicke Deckschicht aus Wasserbausteinen CP_{90/250} untersucht. Die Körnungslinien der Materialien sind variierbar. Bild 2 zeigt den schematischen Aufbau des Probekastens und den getauchten Kasten im Versuchsbecken.

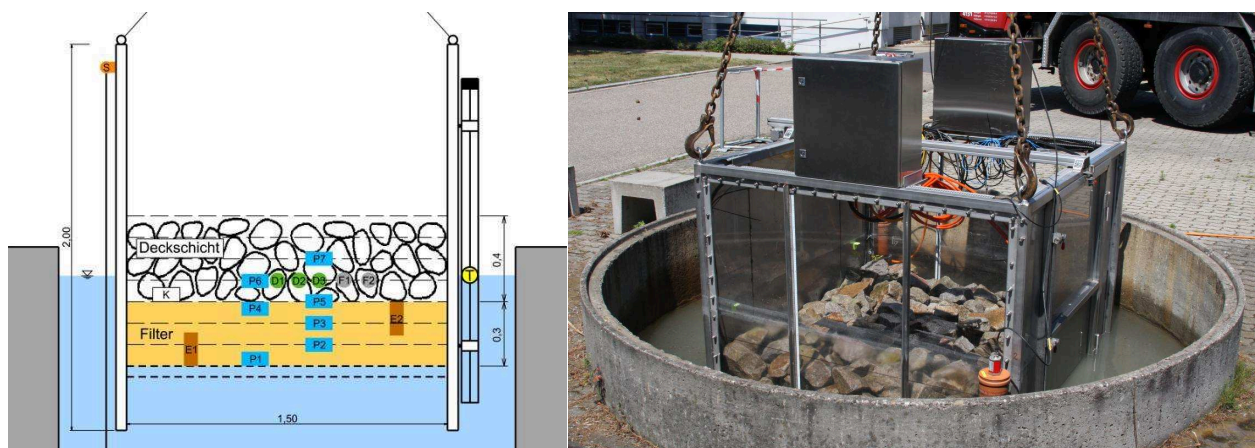


Bild 2: (li.) Skizze Versuchskasten mit Messgebern, (re.) Foto getauchter Versuchskasten

Messeinrichtung

Zur Auswahl der Messtechnik wurden Vorversuche zur Messung der Porenwasserdrücke und Strömungsgeschwindigkeiten und Visualisierung der Kornbewegungen durchgeführt und ein Messkonzept ausgearbeitet. Eine automatische Messdatenerfassung zeichnet alle Daten hochauflösend und zeitgleich auf. Mit optischen Methoden werden die Setzungen bzw. Umlagerungen im Deckwerk bestimmt. Im Einzelnen werden folgende Messmethoden eingesetzt (s. Bild 2):

- Ein Seilsensor (S) und Tauchpegel (T) zeichnen die Tauchgeschwindigkeit und Tauchtiefe auf
- Im Filter und in der Deckschicht sind in mehreren Ebenen Porenwasserdruckgeber (P1 bis P7) eingebaut, welche die Messung der Drücke und Berechnung der Gradienten innerhalb und oberhalb des Filters ermöglichen
- Erddruckkissen (E1 und E2) bestimmen die totalen Spannungen im Filter
- Die Strömungsgeschwindigkeiten in der Deckschicht werden von magnetisch induktiven Strömungsmessern (D1 bis D3) und Flügelradsensoren (F1 und F2) gemessen

- Es wird ein Endoskop (K) zur Beobachtung des Bewegungsbeginns von Filterkörnern an der Grenze Filter zu Wasserbausteinen eingesetzt
- Die Lagerungsdichte von Filter und Deckwerk wird durch Tauchwägungen bestimmt
- Durch die transparenten Wände werden die Umlagerungen im Deckwerk beobachtet
- Mit einem 3D-Scanners wird die Deckschicht zur Messung der Oberflächensetzungen flächenhaft aufgezeichnet
- Die Versuche werden mit einer Videokamera aufgezeichnet

Versuchsdurchführung

Im ersten Schritt wurde der Versuchsaufbau getestet und die Messgeber kalibriert. Die erste Versuchsserie wurde mit einem 70 cm dicken Deckwerk aus 40 cm Wasserbausteinen CP_{90/250} unterlagert von jeweils 3 unterschiedlichen 30 cm dicken Filterkörnungen (2/16mm, 16/32 mm und 2/63 mm) durchgeführt. Bei jeder Versuchsserie wurde der Versuchskasten 100-mal zyklisch getaucht. Nach festgelegten Intervallen werden die Änderungen der Lagerungsdichten, die Oberflächensetzungen und die Eindringung des Filters in die Deckschicht bestimmt. Beim Ausbau werden aus 3 Tiefenlagen Siebproben zur Bestimmung von Änderungen in der der Körnverteilung entnommen.

Erste Ergebnisse

Bei allen Versuchen konnte ein Filtertransport an der Grenze Wasserbausteine zu Filter und eine Setzung der Oberfläche der Deckschicht gemessen werden. In Bild 3 sind beispielhaft 3D Oberflächenscans mit den Versuchen mit Filtermaterial 16/32 mm dargestellt. Die mittlere Setzung über alle Steine betrug nach 70 Tauchzyklen ca. 6 cm.

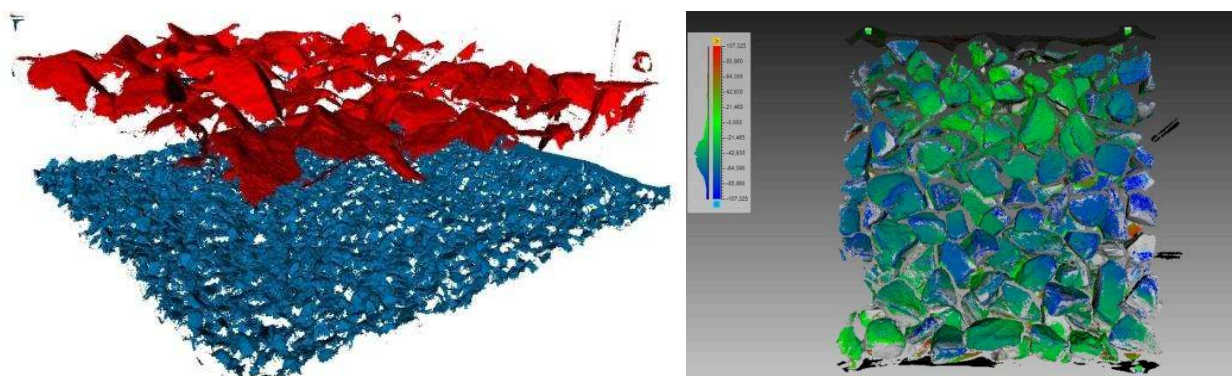


Bild 3: 3D-Scans, (li.) Deckschicht aus Wasserbausteinen (rot) mit Kornfilter (blau), (re.) Oberflächensetzungen der Deckschicht nach 70 Tauchzyklen

Das feine Filtermaterial (2/16 mm) drang am tiefsten in die Matrix der Wasserbausteine ein. Dabei sanken mit steigender Zyklenzahl die Wasserbausteine in die Filterschicht ein. Bild 4 zeigt beispielhaft die Differenz der Eindringtiefen von feinem und grobem Filtermaterial. Die aus den Porenwasserdruckmessungen errechneten Gradienten sind jeweils größer 1 und wachsen mit steigender Zyklenzahl an.



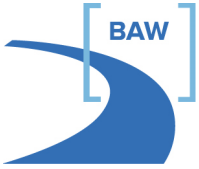
Bild 4: Vergleich Eindringtiefe des Filtermaterials, (li.) Filter 16/32 mm, (re.) Filter 2/16 mm

Ausblick

Eine abschließende Analyse aller Messergebnisse ist in Arbeit. Es werden weitere Versuche mit unterschiedlichen Materialien durchgeführt. Es ist geplant zur Verifizierung der Messergebnisse Naturmessungen an einer Kanalstrecke heranzuziehen. Weiterhin ist eine Machbarkeitsstudie für numerische Simulationen vorgesehen. Eine Recherche nach geeigneten Berechnungsverfahren hat ergeben, dass entsprechende Programme, welche die komplexen physikalischen Vorgänge berücksichtigen, noch in der Entwicklung sind. Im Allgemeinen sind dreidimensionale, instationäre Strömungsvorgänge mit den vorhandenen komplexen Randbedingungen sehr aufwändig und erfordern eine entsprechende Rechenleistung. Die Versuchsergebnisse werden zur Verifizierung herangezogen.

Literatur

- BAW, 2008: Merkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (MAR), Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- BAW, 1989: Merkblatt Anwendung von Kornfiltern an Bundeswasserstraßen (MAK, Ausgabe 1989), Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- BAW, 2013b: Merkblatt Materialtransport im Boden, Bundesanstalt für Wasserbau (MMB), Karlsruhe



Myogahara, Y., Morita, S., Kuroki, H., Sueoka, T.(1993): Piping stability in the filter of rockfill dams, in: Proceedings Filters in Geotechnical Engineering, Hrsg: Brauns, Heibaum, Schuler, Balkema, Rotterdam