

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Beckers, Felix; Noack, Markus; Wieprecht, Silke; Haun, Stefan
Messtechnische Erfassung des Erosionsverhaltens von
kohäsiven Feinsedimenten

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/106548>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Beckers, Felix; Noack, Markus; Wieprecht, Silke; Haun, Stefan (2019): Messtechnische Erfassung des Erosionsverhaltens von kohäsiven Feinsedimenten. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): 21. Treffen junger WissenschaftlerInnen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 177-181.

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.



Messtechnische Erfassung des Erosionsverhaltens von kohäsiven Feinsedimenten

Felix Beckers, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung (IWS), Universität Stuttgart
Markus Noack, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung (IWS), Universität Stuttgart
Silke Wieprecht, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung (IWS), Universität Stuttgart
Stefan Haun, Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung (IWS), Universität Stuttgart

Hintergrund und Motivation

Die Erosionsstabilität von kohäsiven Feinsedimenten wird von komplexen Interaktionen zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Parametern dominiert (Grabowski et al. 2011). Aufgrund dieser Interaktionen kann während des Erosionsvorgangs nicht eindeutig zwischen Einzelkornerosion und Massenerosion unterschieden werden, wie dies bei nicht-kohäsivem Material möglich ist. Vielmehr wird das kohäsive Erosionsverhalten, basierend auf visuellen Beobachtungen, als stochastischer Prozess beschrieben, der räumlich und zeitlich stark variiert (Van Prooijen und Winterwerp 2010). Aus diesem Grund ist eine exakte messtechnische Erfassung des räumlich-zeitlichen Erosionsfortschritts kohäsiver Sedimente nicht trivial und erfordert die Entwicklung und den Einsatz neuer Messmethoden. Dies ist eine entscheidende Voraussetzung, um neue Erkenntnisse zum kohäsiven Erosionsverhalten, der kohäsiven Erosionsstabilität und den zugrundeliegenden und interagierenden Parametern zu erhalten.

Methoden und Messtechnik

Zur messtechnischen Erfassung des Erosionsverhaltens von kohäsiven Feinsedimenten wurde am Institut für Wasser- und Umweltsystemmodellierung (IWS) der Universität Stuttgart die photogrammetrische Methode PHOTOSSED (*PHOTOgrammetric Sediment Erosion Detection*) entwickelt und ausführlich kalibriert (Noack et al. 2018). PHOTOSSED ist an die SETEG-Rinne gekoppelt, einem *Strömungskanal zur Ermittlung der Tiefenabhängigen Erosionsstabilität von Gewässersedimenten*, welche seit mehr als 20 Jahren am IWS im Einsatz ist und stetig weiterentwickelt wird (Beckers et al. 2018; Noack et al. 2015; Kern et al. 1999). Das Grundprinzip der hydraulisch kalibrierten Erosionsrinne umfasst die Arretierung ungestörter Sedimentkerne an eine Öffnung in der Rinnensohle. Mit dem aktuellen Aufbau können Sedimentkerne mit einer Länge von bis zu 120 cm und einer variablen Breite bis maximal 14 cm untersucht werden. Mittels Hubspindel und Kolben wird das Sediment in den Sedimentkernen vertikal nach oben gefahren, sodass unterschiedliche Sedimentschichten einem Erosionsexperiment unterzogen werden können. Aus diesem Ansatz resultiert eine vertikale Information zur Erosionsstabilität der beprobten Sedimente.

Während eines Erosionsexperiments wird eine zu untersuchende Sedimentschicht ausgewählt und mittels Hubspindel in Position gebracht. Sobald diese erreicht ist, wird das überstehende Sediment sohlenbündig abgeschnitten und das Erosionsexperiment beginnt. Dabei wird die Sedimentschicht schrittweise ansteigender Sohlschubspannungen ausgesetzt und der jeweilige Erosionsfortschritt mittels PHOTOSSED messtechnisch detektiert. Dazu projiziert ein Halbleiterlaser ein pseudo-zufälliges Punktmuster, bestehend aus 24.000 Punkten, auf die Sedimentoberfläche. Eine extern angebrachte

Kamera, welche vertikal über der Sedimentoberfläche positionierte ist, zeichnet während des Experiments die Verschiebung des Punktmusters infolge von Erosion auf. Während des Postprocessings wird Farneback's Dense Optical Flow Algorithmus auf äquidistanten Frames der Videosequenz angewandt und der Erosionsfortschritt photogrammetrisch ermittelt (Noack et al. 2018). Die zeitliche ($f = 10 \text{ Hz}$) und räumliche Auflösung (Nachweisgrenze bei $dz = 0,1 \text{ mm}$ bezogen auf $A_{\min} = 10 \text{ mm}^2$) von PHOTOSSED ermöglicht es, den Erosionsprozess messtechnisch hochaufgelöst zu erfassen, um Einblicke in das Erosionsverhalten kohäsiver Feinsedimente zu erhalten. Bild 1 zeigt den Aufbau der gesamten Messtechnik von PHOTOSSED an der SETEG-Rinne in der Versuchsanstalt für Wasserbau am IWS.

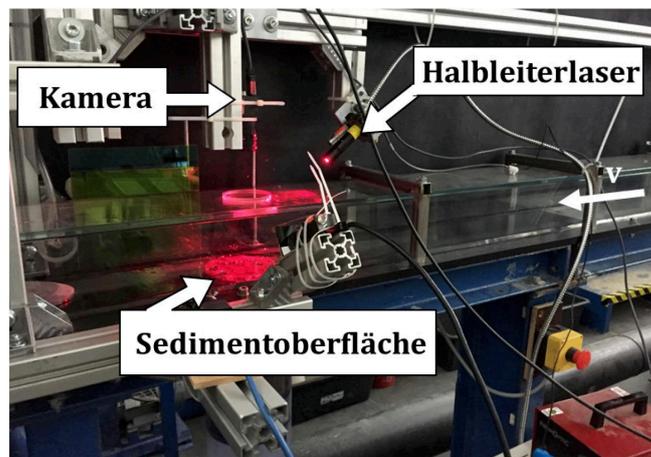


Bild 1: Messtechnische Anordnung von PHOTOSSED an der SETEG-Rinne. Ein Halbleiterlaser projiziert ein Punktmuster auf die Sedimentoberfläche, dessen Verschiebung mittels Kamera während des Erosionsexperiments erfasst wird.

Vorläufige Ergebnisse und Diskussion

Durch den photogrammetrischen Ansatz von PHOTOSSED ist es möglich, den Erosionsfortschritt zu verschiedenen Zeitpunkten auszuwerten und zu visualisieren. Bild 2 zeigt den fortschreitenden Erosionsprozess anhand eines Erosionsexperiments, welches mit 6 konsekutiven Sohlschubspannungen durchgeführt wurde ($\tau_1 = 0,03 \text{ Pa}$, $\tau_2 = 0,08 \text{ Pa}$, $\tau_3 = 0,10 \text{ Pa}$, $\tau_4 = 0,14 \text{ Pa}$, $\tau_5 = 0,18 \text{ Pa}$ und $\tau_6 = 0,23 \text{ Pa}$). Die untersuchte Sedimentoberfläche wurde für je 600 s mit den unterschiedlichen Sohlschubspannungen beaufschlagt. Visualisiert ist die Eintiefung für eine ROI (Region of Interest) mit einer Abmessung von $A_{\text{ROI}} = 2642 \text{ mm}^2$ (580.800 Pixel) zum Zeitpunkt $t_1 = 600 \text{ s}$, $t_2 = 1200 \text{ s}$, $t_3 = 1800 \text{ s}$, $t_4 = 2400 \text{ s}$, $t_5 = 3000 \text{ s}$ und $t_6 = 3600 \text{ s}$.

Es ist zu erkennen, dass sowohl der Flächenanteil als auch die Größenordnung der Erosion über die Zeit räumlich variieren. Weiterhin bilden sich unterschiedliche Erosionscharakteristika aus und verschiedene Erosionsmodi sind erkennbar. Dabei ist eine Unterteilung in folgende Erosionsmodi möglich: (i) eine zufällige auftretende Flocken- oder Aggregatserosion, (ii) eine Ausbreitung bzw. das Fortschreiten vorhandener Erosionsbereiche, (iii) das Verschmelzen einzelner entkoppelter Erosionsbereiche und (iv) eine weitere Eintiefung bestehender Erosionsbereiche. Aufgrund der räumlich und zeitlich hochaufgelösten Messergebnisse von PHOTOSSED ist es möglich, die auftretenden Erosionsmodi während des kohäsiven Erosionsvorgangs nicht nur visuell, sondern auch quantitativ

auszuwerten. Bild 3 stellt den zeitlichen Verlauf des über die Fläche aggregierten Erosionsfortschritts anhand (a) des kumulierten Erosionsvolumens, (b) der kumulierten Erosionsfläche und (c) der Anzahl entkoppelter Erosionsbereiche dar. Die Auswertung erfolgte dabei für ein Zeitintervall von $dt = 100$ s zwischen zwei betrachteten Frames. Während den ersten beiden beaufschlagten Sohlschubspannungen (τ_1, τ_2) tritt überwiegend (i) Flockenerosion auf, weshalb die Anzahl entkoppelter Erosionsbereiche kontinuierlich ansteigt, das Erosionsvolumen und die Erosionsfläche jedoch nur einen geringen Anstieg verzeichnet. Während der dritten und vierten Sohlschubspannung (τ_3, τ_4) stellt sich ein nahezu horizontaler Verlauf für die Anzahl entkoppelter Erosionsbereiche sowie eine Zunahme des Erosionsvolumens und der Erosionsfläche ein. Dies ist darauf zurückzuführen, dass neben der (i) zufälligen Flockenerosion eine (ii) Ausbreitung bzw. das seitliche Fortschreiten vorhandener Erosionsbereiche stattfindet. Im Verlauf der beiden abschließenden Sohlschubspannungen (τ_5, τ_6) nimmt die Anzahl der entkoppelten Erosionsbereiche deutlich ab und das Erosionsvolumen und die Erosionsfläche deutlich zu. Ein Grund dafür ist, dass (iii) einzelne Erosionsbereiche verschmelzen und zu einer großflächigen Erosion zusammenwachsen und zusätzlich eine (iv) weitere Eintiefung bereits bestehender Erosionsbereiche auftritt.

Im Gegensatz zu bestehenden Methoden, welche überwiegend auf Messungen der Sedimentkonzentration beruhen und daher keine Aussage zur räumliche Verteilung der Erosion zulassen, ermöglicht der photogrammetrische Ansatz von PHOTOSSED neben einer zeitlichen auch eine räumliche Aussage zur Variabilität der kohäsiven Sedimenterosion. Insbesondere die Möglichkeit verschiedene Erosionsmodi und deren Übergänge während des Erosionsfortschritts zeitlich und räumlich messtechnisch zu erfassen, stellt eine wesentliche Stärke von PHOTOSSED dar.

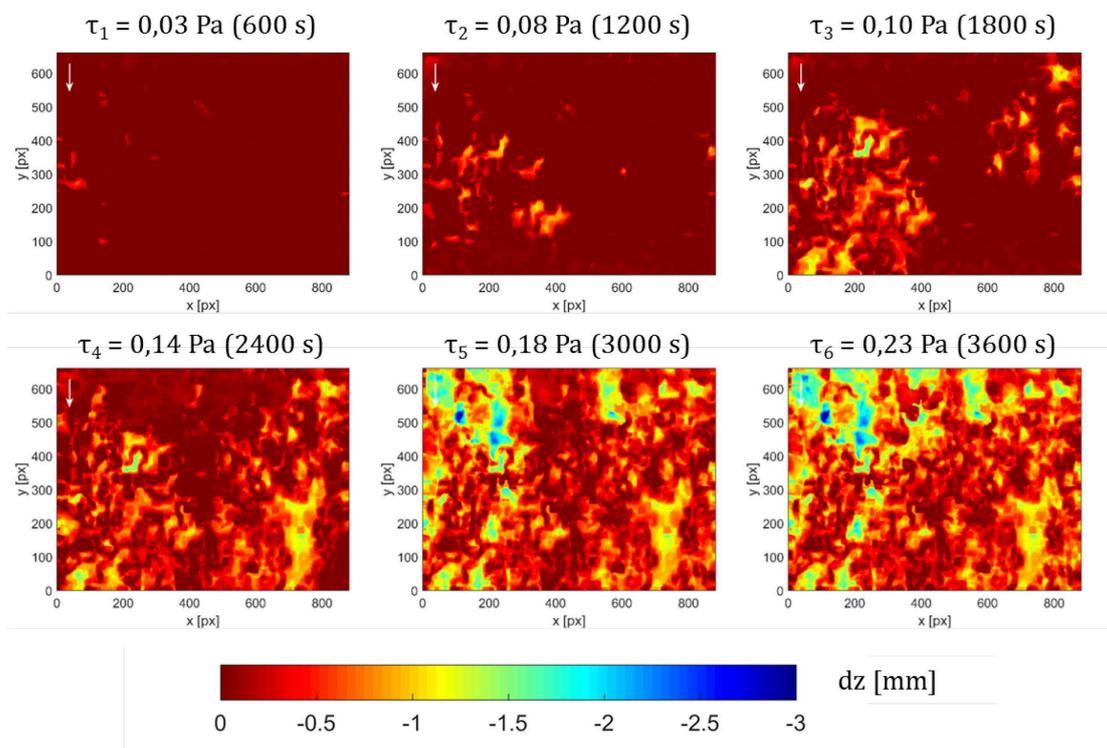


Bild 2: Fortschreitender Erosionsprozess einer Sedimentoberfläche infolge einer Beanspruchung mit sechs konsekutiven Sohlschubspannungen.

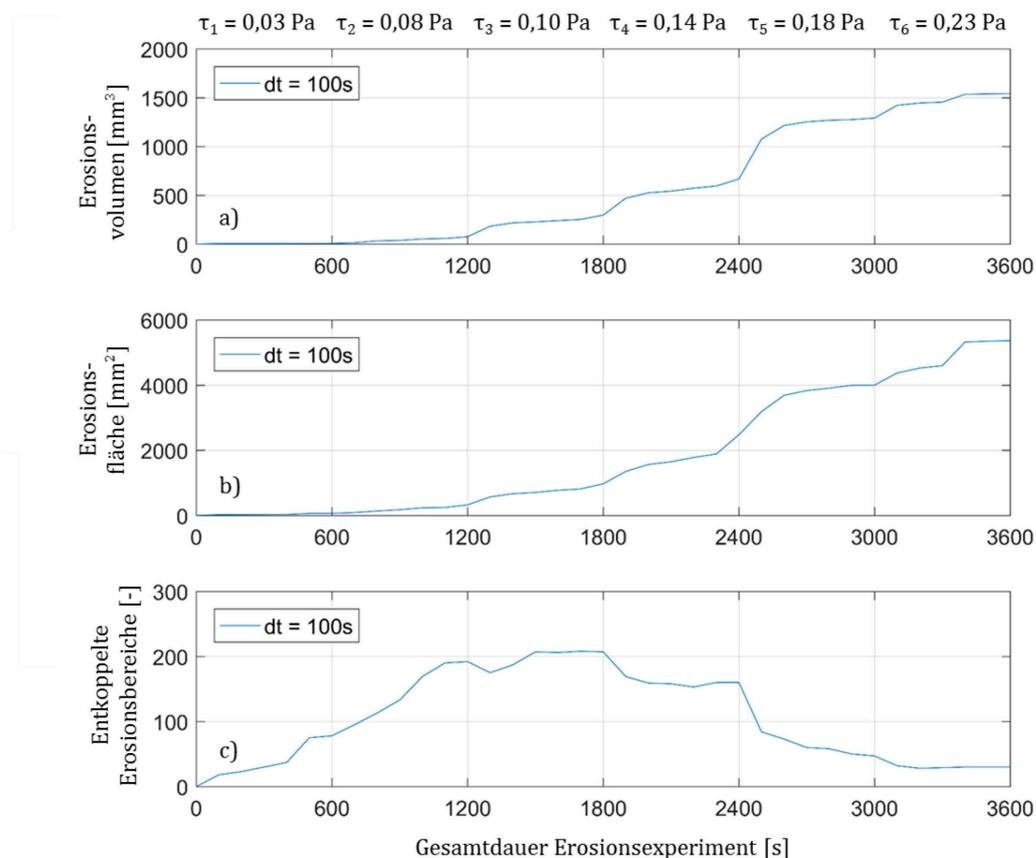


Bild 3: Zeitlicher Verlauf des Erosionsfortschritts unterteilt in (a) kumuliertes Erosionsvolumen, (b) kumulierte Erosionsfläche und (c) Anzahl entkoppelter Erosionsbereiche.

Zusammenfassung und Ausblick

Die neu entwickelte Methode PHOTOSSED ermöglicht eine sowohl zeitlich als auch räumlich hochaufgelöste Erfassung des Erosionsverhaltens von kohäsiven Feinsedimenten. Dadurch wird es möglich, einzelne Erosionsmodi messtechnisch zu detektieren und zu quantifizieren. Von besonderer Bedeutung ist hierbei die Erkenntnis, dass sich im Anschluss an eine (i) stochastisch auftretende Flockenerosion die (ii) Erosion in alle Raumrichtungen ausbreitet. Dieser Erosionsfortschritt führt schließlich zu einem (iii) flächigen Erosionsmuster, das schließlich zu Oberflächenversagen mit einer (iv) weitergehenden räumlichen Eintiefung führt.

Anhand dieser messtechnischen Möglichkeiten von PHOTOSSED, lassen sich neue Rückschlüsse zur Beschreibung des kohäsiven Erosionsverhaltens ziehen, um analytische Beziehungen zwischen physikalischen, chemischen und biologischen Parametern und der Erosionsstabilität von kohäsiven Feinsedimenten entwickeln zu können.

Danksagung

Diese Arbeit wurde im Rahmen des Projektes CHARM - CHALLENGES of Reservoir Management durchgeführt. Das Projekt wird im Netzwerk Wasserforschung Baden-Württemberg vom Ministerium für Wissenschaft, Forschung und Kunst des Landes Baden-Württemberg gefördert.

Literatur

- Beckers, F., Haun, S., Noack, M., 2018. Experimental investigation of reservoir sediments. E3S Web of Conferences 40, 03030. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20184003030>
- Grabowski, R.C., Droppo, I.G., Wharton, G., 2011. Erodibility of cohesive sediment: The importance of sediment properties. Earth-Science Reviews 105, 101–120. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2011.01.008>
- Kern, U., Haag, I., Schürlein, V., Holzwarth, M., Westrich, B., 1999. Ein Strömungskanal zur Ermittlung der tiefenabhängigen Erosionsstabilität von Gewässersedimenten: das SETEG-System. Wasserwirtschaft 89, 72–77.
- Noack, M., Gerbersdorf, S., Hillebrand, G., Wieprecht, S., 2015. Combining Field and Laboratory Measurements to Determine the Erosion Risk of Cohesive Sediments Best. Water 7, 5061–5077. <https://doi.org/10.3390/w7095061>
- Noack, M., Schmid, G., Beckers, F., Haun, S., Wieprecht, S., 2018. PHOTOSSED—PHOTOgrammetric Sediment Erosion Detection. Geosciences 8, 243. <https://doi.org/10.3390/geosciences8070243>
- Van Prooijen, B.C., Winterwerp, J.C., 2010. A stochastic formulation for erosion of cohesive sediments. Journal of Geophysical Research 115. <https://doi.org/10.1029/2008JC005189>