

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Ettmer, Bernd; Hentschel, Bernd; Eng, Stefan Orlik M.

Geschiebetransport im gegenständlichen Modell: Neue Ansätze zur naturähnlichen Abbildung komplexer morphodynamischer Prozesse

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/105281>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Ettmer, Bernd; Hentschel, Bernd; Eng, Stefan Orlik M. (2017): Geschiebetransport im gegenständlichen Modell: Neue Ansätze zur naturähnlichen Abbildung komplexer morphodynamischer Prozesse. In: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Wasserbauliche Herausforderungen an den Binnenschiffahrtsstraßen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau. S. 73-78.

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.



Geschiebetransport im gegenständlichen Modell: Neue Ansätze zur natur-ähnlichen Abbildung komplexer morphodynamischer Prozesse

Prof. Dr.-Ing. Bernd Ettmer, Hochschule Magdeburg-Stendal

Dipl.-Ing. Bernd Hentschel, Bundesanstalt für Wasserbau

Stefan Orlik M. Eng., Hochschule Magdeburg

Einleitung

Hydraulisch-sedimentologische Prozesse in Fließgewässern sind nach wie vor nur mit erheblichen Unsicherheiten zu quantifizieren. Um die maßgeblichen hydraulisch-sedimentologischen Prozesse in der Natur nachvollziehen zu können, wird im Wasserbau häufig ein physikalisches Modell verwendet. Die komplexe Interaktion zwischen Strömung und Sediment wird im physikalischen Modell in einem verkleinerten Maßstab abgebildet und erfordert somit auch eine Skalierung des Sohlenmaterials. Liegt das Sohlenmaterial in der Natur zudem in Form einer weitgestuften Sieblinie vor und enthält es maßgebliche Feinanteile, ist eine rein geometrische Skalierung des Sohlenmaterials im Allgemeinen nicht möglich. Stattdessen wird auf Kunststoffgranulat als Ersatzmaterial für die bewegliche Sohle im Modell zurückgegriffen. Wesentliche Fragestellungen zur Auswahl der Kunststoffgranulate sowie zur Anwendbarkeit von Übertragungskriterien zwischen Natur und Modell sind nicht abschließend geklärt und erfordern zahlreiche Vorversuche und umfangreiche Erfahrung, u.a. Yalin (1971), Dorer (1984), Hughes (1993), Ettmer (2006), Hentschel (2007).

Um die Fragen der Ähnlichkeit morphologischer Prozesse zwischen Natur und Modell eingehender verstehen zu können, wurde zwischen der Hochschule Magdeburg-Stendal und der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe (BAW) eine Kooperationsvereinbarung geschlossen, um grundsätzliche Fragen zur Übertragung von Sohlenmaterialien aus der Natur in Sohlenmaterialien für experimentelle Laborversuche zu untersuchen. Die experimentellen Laborversuche umfassten umfangreiche Untersuchungen zur Nachbildung von Sieblinien aus Kunststoffgranulaten. Dabei wurde der Einfluss des Korndurchmessers, der Dichte, der Kornform, der Ungleichförmigkeit der Sieblinie sowie ein mögliches Verklumpungs- und Entmischungsverhalten verschiedener Kunststoffgranulate untersucht. Ziel der Untersuchungen war es, den Einfluss der einzelnen Parameter auf grundlegende hydraulisch-sedimentologische Prozesse zu identifizieren. Zudem wurden verschiedene Kunststoffgranulatmischungen für die Verwendung als Modellsediment in physikalischen Modellen untersucht. Um einen qualifizierten Vergleich zur Natur herzustellen, wurden Vergleichsuntersuchungen mit Sandmischungen durchgeführt.

Es werden nachfolgend erste Ergebnisse dieser Untersuchungen für den Geschiebetransport präsentiert. Grundsätzlich wurde so vorgegangen, dass in einer hydraulischen Rinne mit Geschiebekreislauf zunächst Referenzversuche mit Sand durchgeführt wurden, um mit einem geeigneten Kunststoffgranulat die in den Sandversuchen beobachteten morphodynamischen Prozesse und Sohlenformen, ausgehend von Ähnlichkeitstheoretischen Ansätzen, nachzubilden.

Auswahl geeigneter Modellsedimente

Die Auswahl geeigneter Modellsedimente erfolgte nach zwei Ähnlichkeitskriterien.

1. Ähnlichkeitskriterium

$$D^* \text{- Kriterium: } D_r^* = \frac{D_N^*}{D_M^*} = \frac{\left(\frac{\rho'_N \cdot g}{\nu^2}\right)^{1/3} \cdot d_N}{\left(\frac{\rho'_M \cdot g}{\nu^2}\right)^{1/3} \cdot d_M} = \frac{\rho'_N{}^{1/3} \cdot d_N}{\rho'_M{}^{1/3} \cdot d_M} = \rho_r'^{1/3} \cdot d_r = 1 \quad (\text{Gl. 1})$$

mit

- D^* = sedimentologischer Korndurchmesser [-],
- ρ' = relative Dichte des Sedimentkorns [-],
- g = Erdbeschleunigung in m/s^2 ,
- ν = kinematische Viskosität des Fluids m^2/s ,
- d = Korndurchmesser in m ,
- Index r = Relation zwischen Natur und Modell,
- Index N = Naturwert (hier: Referenzversuch mit Sand),
- Index M = Modellwert (hier: Versuch mit Kunststoffgranulat)

Nach Gl. 1 weisen ein Sand und ein Kunststoffgranulat einen identischen sedimentologischen Korndurchmesser auf, wenn das Verhältnis der Korndurchmesser $d_N/d_M = d_r$ dem Verhältnis der spezifischen Dichten $\rho_r'^{1/3}$ entspricht.

Als zweites Ähnlichkeitskriterium wurde die kornbezogene Widerstandszahl X_g angewandt, Ettmer (2006), vgl. Gl. 2. Mit dem X_g -Kriterium wurde die Relation der Fließgeschwindigkeiten v_r zwischen den Sandversuchen (Naturwert) und den Versuchen mit Kunststoffgranulat (Modellwert) abgeleitet.

2. Ähnlichkeitskriterium

$$X_g \text{-Kriterium: } X_{g,r} = \frac{X_{g,N}}{X_{g,M}} = \frac{\left(\frac{\rho'_N \cdot g \cdot d_N^2}{\nu_N \cdot \nu}\right)}{\left(\frac{\rho'_M \cdot g \cdot d_M^2}{\nu_M \cdot \nu}\right)} = \frac{\rho'_N \cdot d_N^2 \cdot \nu_N^{-1}}{\rho'_M \cdot d_M^2 \cdot \nu_M^{-1}} = \rho_r' \cdot d_r^2 \cdot \nu_r^{-1} = 1 \quad (\text{Gl. 2})$$

Aus dem zweiten Auswahlkriterium wurde über die Relation $\nu_r = \rho_r' \cdot d_r^2 = \nu_N/\nu_M$ die maßgebliche mittlere Fließgeschwindigkeit für die experimentellen Untersuchungen abgeleitet.

Für die experimentellen Untersuchungen wurden 1 Sand und 6 Kunststoffgranulate ausgewählt, vgl. Tabelle 1. Ausgehend davon, dass mit dem sedimentologischen Durchmesser D^* alle wesentlichen Materialkenngrößen in einer Kennzahl erfasst sind, wurde eine Sandsieblinie für charakteristische Korndurchmesser in den sedimentologischen Durchmesser D^* umgerechnet. Eine hierzu passende Sieblinie aus Kunststoffgranulaten wurde für die D^* -Werte der Sandsieblinie mit $D^*_{\text{Sand}} = D^*_{\text{Kunststoffgranulat}}$ zusammengemischt. Da Kunststoffgranulate zumeist als Einkornmaterialien vorliegen, erfolgte die Zusammenstellung der Sieblinie aus Kunststoffgranulaten mit entsprechenden Einzelkornfraktionen,

(vgl. Bild 1). Fotografien des verwendeten Modellsandes und der Kunststoffgranulate sind in Bild 2 und Bild 3 dargestellt.

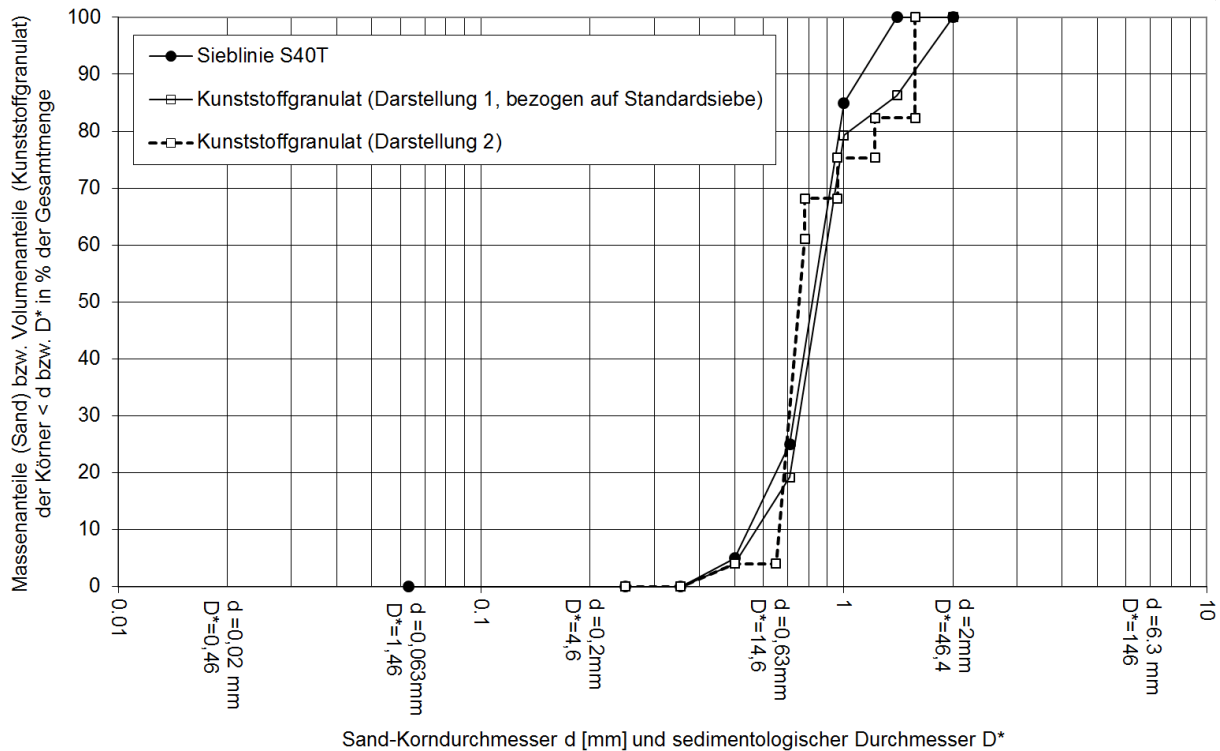


Bild 1: Beispiele für Sieblinien des verwendeten Modellsandes sowie der Kunststoffgranulate.

Tabelle 1: Kennzahlen der verwendeten Sande und Kunststoffgranulate.

Bezeichnung	d_{50} [mm]	Siebli- nie [mm]	U d_{60}/d_{10}	Dichte [kg/m ³]	Kornform	D^*_{50} (3)	D*-Sieblinie
Sand S30T	0,43	0,2-0,8	1,84	2650	gerundet	rd.10	rd. 5-19
Sand S40T (1)	0,82	0,4-1,4	1,60	2650	gerundet	rd. 19	rd. 9-33
Polystyrol weiß	0,75	0,60- 0,90	rd. 1.2	1035	Kugel	rd. 6	rd. 4-7
Polystyrol gelb(2)	2,06	1,56- 2,87	1,19	1058	Zylinder	rd. 15	rd. 12-22
Granulat blau	2,5	Einkorn	1	1050	Quader	rd. 18	rd. 18
Granulat schwarz	2,3	Einkorn	1	1120	Ellipse	rd. 22	rd. 22
Novodur gelb	3,5	Einkorn	1	1070	Quader	rd. 28	rd. 28
Acetalharz	2,6	Einkorn	1	1365	Ellipse	rd. 36	rd. 36

(1) gewaschener und gesiebter Sand der Fa. Schlingmeier, Braunschweig, Angaben aus Datenblatt zum Sand

(2) Das Kunststoffgranulat Polystyrol wurde von der Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe zur Verfügung gestellt. Es entstammt dem Odermodell

(3) Die kinematische Viskosität wurde mit $\nu = 1,14 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ angesetzt.



Bild 2: Sand S40T, $D^*_{50} = \text{rd. } 19$, $d_{50} = 0,82 \text{ mm}$



Bild 3: Polystyrol weiß, $D^* = \text{rd. } 6$ (oben links), Polystyrol gelb, $D^*_{50} = \text{rd. } 15$ (oben mitte), Granulat blau, $D^* = \text{rd. } 18$ (oben rechts), Granulat schwarz, $D^* = \text{rd. } 22$ (unten links), Novodur gelb, $D^* = \text{rd. } 28$ (unten Mitte), Acetalharz, $D^* = \text{rd. } 36$ (unten rechts).

Ergebnisse

Die experimentellen Untersuchungen zeigten, dass eine grundsätzliche Nachbildung der Sandsieblinie durch Kunststoffgranulate erfolgen konnte. Hierzu wurden die Einzelfractionen der Kunststoffgranulate nach der oben beschriebenen Vorgehensweise gemischt. In einer hydraulischen Versuchsrinne mit Geschiebekreislauf wurden stationäre experimentelle Untersuchungen zum Geschiebetransport durchgeführt, (vgl. Bild 4).



Bild 4: Hydraulische Versuchsrinne mit Kunststoffgranulat-Einzelfraktionen (links) und eingemischten Einzelfraktionen (rechts).

In den experimentellen Untersuchungen zeigte sich, dass die Mischung der verschiedenen Kunststoffgranulate als sohlennahes Geschiebe transportiert wurde und Transportkörper im Wesentlichen in Form von Dünen vorlagen. Die Einzelfraktionen mischten sich an der Dünenfront in den Transportkörper ein. Grundsätzlich erfolgte eine gut verteilte Einmischung der Einzelfraktionen in den Transportkörper, (vgl. Bild 5):



Bild 5: Transportkörper aus einer Kunststoffgranulatsieblinie.

Die experimentellen Untersuchungen zeigten zudem, dass mit der Kunststoffgranulatmischung eine grundsätzlich ähnliche Transportkörpergeometrie und ein grundsätzlich ähnlicher Geschiebetransport erzielt werden konnte wie im Referenzversuch mit Laborsand, (vgl. Bild 6).

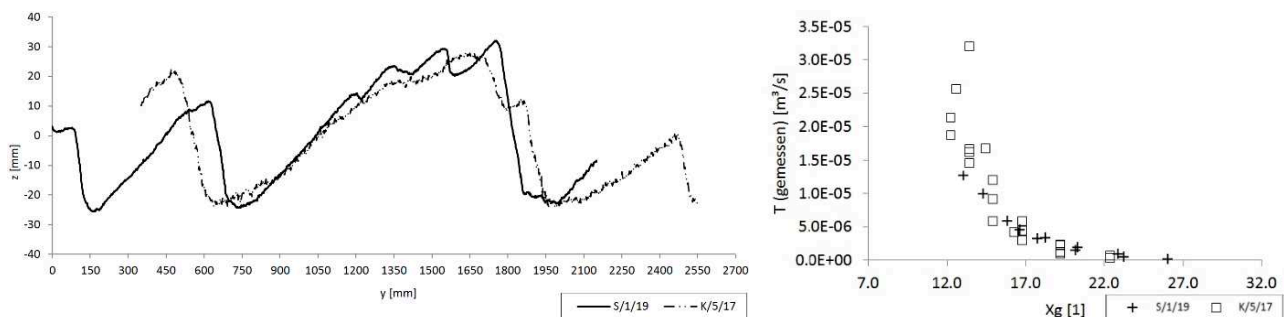


Bild 6: Sand und Kunststoffgranulatmischung, Längsschnitt durch mehrere Transportkörper, (links) und Geschiebetransportmessung (rechts).

Kurzzusammenfassung

Die experimentellen Untersuchungen zur Nachbildung von Sandsieblinien aus Kunststoffgranulaten haben gezeigt, dass grundsätzlich ähnliche geometrische Sohlenformen erzielt werden konnten, wenn die dimensionslosen Kennzahlen D^* und X_g für den Sandversuch als Referenzversuch und den Kunststoffgranulatversuch konstant gehalten wurden. Ergebnisse zum Geschiebetransport zeigten, dass die Ähnlichkeit der zeitlich abhängigen Prozesse sehr gut erfasst werden konnte. Weitere Ergebnisse werden in fortführenden Veröffentlichungen präsentiert.

Literatur

- Dorer, H., (1984): „Ähnlichkeit bei flussbaulichen Modellen“, Mitteilungsblatt der Bundesanstalt für Wasserbau, Nr. 54, Karlsruhe, Februar 1984, ISSN 0572-5801.
- Ettmer, B., (2006): "Untersuchungen zu Kolkvorgängen hinter dem unterströmten Schütz", Mitteilungen Heft 155/2006, Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Technische Universität Braunschweig, ISSN 0343-1223.
- Hentschel, B., (2007), "Hydraulische Flussmodelle mit beweglicher Sohle", Mitteilungsblatt Heft 90 "Wasserbauliches Versuchswesen", Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe.
- Hughes, S. A., (1993): "Physical models and laboratory techniques in coastal engineering", World Scientific Publishing, ISBN 978-981-02-1541-5.
- Yalin, M.S., (1971): "Theory of hydraulic models", Macmillan Civil Engineering Hydraulics, London and Basing-stoke.