

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Lichtneger, Petr; Mayer, Tobias; Holzinger, Jacob; Habersack, Helmut; Hauer, Christoph**

## **Hydrodynamische Modellversuche zur Versandungsproblematik in Fließgewässern der Böhmisches Masse**

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

**Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/103404>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Lichtneger, Petr; Mayer, Tobias; Holzinger, Jacob; Habersack, Helmut; Hauer, Christoph (2015): Hydrodynamische Modellversuche zur Versandungsproblematik in Fließgewässern der Böhmisches Masse. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Messen und Überwachen im Wasserbau und am Gewässer. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 53. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 455-468.

### **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.



# **Hydrodynamische Modellversuche zur Versandungsproblematik in Fließgewässern der Böhmisches Masse**

Petr Lichtneger  
Tobias Mayer  
Jacob Holzinger  
Helmut Habersack  
Christoph Hauer

Im Oberösterreichischen Mühlviertel bzw. Teilen des Bayerischen Waldes wird ein langfristiger Prozess einer zunehmenden „Versandung“ (Grobsand und Feinkies 1 mm – 10 mm) der Flüsse beobachtet. Das Flusssystem der Böhmisches Masse wird somit nachhaltig degradiert, da die Hohlräume im Flussbett fehlen und die größeren Steine überdeckt werden. Die Auswirkungen betreffen Makrozoobenthos, Laichhabitats oder Flussperlmuschel (Abbildung: Schematische Darstellung der Überdeckung eines Kieslaichplatzes durch verstärkten Eintrag von Grobsand bzw. Feinkies). Zur Unterstützung eines großflächigen Monitorings wurden einerseits hydrodynamisch-numerische Untersuchungen durchgeführt, mit dem Ziel, den Versandungsprozess zu veranschaulichen und zu klären, welche weitere hydraulischen Auswirkungen die Versandung mit sich bringt (z.B. Hochwasserschutz) und mit welchen Maßnahmen eine nachhaltige Verbesserung zu erzielen wäre. Um die Grundlagen des Sedimenttransport unter diesen speziellen Verhältnissen besser zu verstehen wurde in der hydraulischen Versuchsrinne des IWHW daher ein Schnittmodell der rauen Sohle im Maßstab 1:1 nachgebaut und der Versandungsprozess mit den in Natur ermittelten Kornfraktionen simuliert. Im Zuge der Versuche wurden die Geschwindigkeitsprofile mittels Mikroflügel über die raue sowie versandete Sohle und die morphologischen Veränderungen des Modellflussbetts mit einem Laserprofilscanner zeitaufgelöst aufgenommen. Im Paper werden die Modellversuche, angewandten Messverfahren und erzielte Messergebnisse präsentiert und die resultierenden Überlegungen zur Maßnahmen, die zur Verbesserung oder Wiederherstellung des optimalen Zustands der Flusssohle führen könnten, dargelegt.

Stichworte: Hydrodynamische Modelluntersuchung, Morphologie, Versandung, Laichplätze, Böhmisches Masse

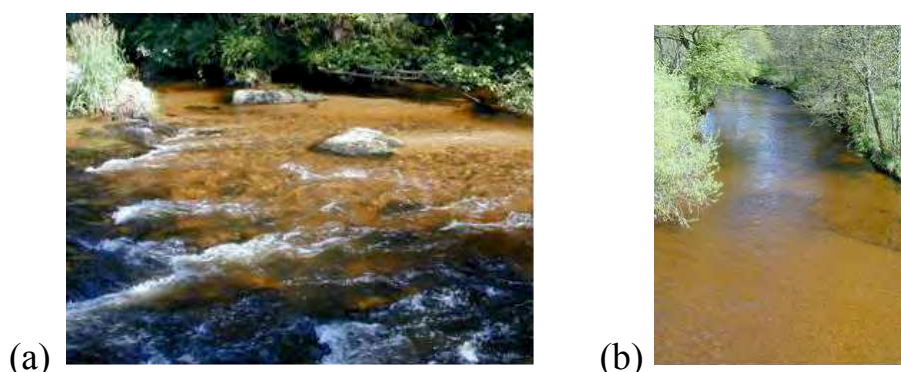
## **1 Einleitung**

Das nördlich der Donau gelegene Mühlviertel bzw. auch weite Teile des Bayerischen Waldes zeigen auf Grund der geomorphologischen Rahmenbedingungen

(Kristallin der Böhmisches Masse) einige flussmorphologische Besonderheiten bzw. spezielle Probleme im Vergleich zu alpinen Fließgewässern. Weite Strecken der Flüsse entsprechen dem so genannten „Flachbettflusstyp“ ohne nennenswerte Strukturierung im Längsverlauf (z.B. Furt-Kolk Sequenzen) bzw. besitzen keine Kiesbankstrukturen entlang der Ufer (Hauer *et al.*, 2013a). Der typische Aufbau der Deckschicht der Flusssohle erfolgt durch Kornverteilungen des Meso- ( $d_m = 6 \text{ cm} - 20 \text{ cm}$ ) aber auch des Makrolithals ( $d_m = 20 \text{ cm} - 40 \text{ cm}$ ) mit nur geringem Rundungsgrad der Sedimente. Die tlw. geringe bordvolle Abflusskapazität ermöglicht selbst bei außergewöhnlichen Hochwasserereignissen (z.B. HQ<sub>100</sub>) in vielen Fließgewässerstrecken kaum ein Aufreißen der Deckschicht durch zu geringe Sohlschubspannungen auf Grund von Austauschprozessen (Energieverlusten) mit dem überfluteten Vorland. Weiters ist geeigneter Laichkies ( $d_m = 2 \text{ cm} - 5 \text{ cm}$ ) limitiert und großteils in der Unterschicht nicht für die Reproduktion von Salmoniden (*Salmo trutta*, *Thymallus thymallus*) verfügbar (Hauer *et al.*, 2011).



**Abbildung 1:** Versandeter Bereich an der Großen Mühl (Oberösterreich); deutlich ist der Verschluss des Lückenraums durch die Sandfraktionen zu erkennen bzw. der geringe Rundungsgrad des Deckschichtmaterials in der Mesolithal-Kornfraktion.



**Abbildung 2:** Vergleich zweier unterschiedlicher Probestellen zur Erhebung der MZB-Biomasse bzw. Abundanz an der Aist (a) morphologische Referenz, (b) versandeter Abschnitt (Fotos zur Verfügung gestellt von Dr. Graf).

Spezifische Probleme in Zusammenhang mit dem Feststoffhaushalt entstehen in der Region Mühlviertel / Bayerischer Wald vor allem durch den zunehmenden Eintrag von „Granitgrus“ (Grobsand und Feinkies) aus den Zubringerbächen in die Fließgewässersysteme von z.B. Großer Mühl, Aist und Naarn. Durch das Verschließen des Schotterlückenraums (Kolmation) kommt es zu einer kontinuierlichen und nachhaltigen (in jenen Bereichen die stabil bleiben bei außergewöhnlichen HW-Ereignissen) Degradation der Gewässersohle und der damit verbundenen Lebensraumeigenschaften (Abbildung 1). Beispielsweise konnte an der Aist (Oberösterreich) in vergleichenden Untersuchungen festgehalten werden, dass in versandeten Bereichen (vollständig von Granitgrus bedeckt) eine Reduktion der Benthos-Biomasse von  $> 80\%$  im Vergleich zu morphologischen Referenzstellen nachzuweisen war (Abbildung 2) (Leitner *et al.*, 2015). Neben den ökologischen Problemstellungen gibt es auch schutzwasserwirtschaftliche Fragestellungen, die sich vor allem in den Übergangsbereichen vom Hochland zu den flachen Bereichen des Machlands bzw. Ottensheimer Beckens (Oberösterreich) ergeben. Durch Verringerung der notwendigen Abfuhrkapazität des Fließgewässers durch Anlandungen (reduzierte Transportkapazitäten durch geringes Gefälle) besteht in diesen Bereichen ein zusätzliches Gefährdungs- und Schadenspotenzial im Falle von Hochwasserereignissen.

In einigen dieser Übergangsbereiche (vom Hochland hin zu den Überflutungsflächen der Donau) kommt zu starken Verlandungstendenzen. Durch die infolge von Anlandungen bedingte Verringerung der Abfuhrkapazität / Gerinne-Querschnittes besteht an manchen Standorten zwar keine unmittelbare Gefährdung von Infrastruktureinrichtungen, jedoch sind in einer gesamtwirtschaftlichen Betrachtung die Materialräumungen in sehr kurzen Zeitabständen als nicht nachhaltig anzusehen. Generell muss abgelagertes Material (Sand- und Feinkiesfraktionen) in weiten Teilen des Mühlviertels geräumt werden, um den entsprechenden Abflussquerschnitt freizuhalten. Aus diesem Aspekt leitet sich die Notwendigkeit ab, das Geschiebe flussauf zurückzuhalten bzw. die Möglichkeiten zu diskutieren, das Geschiebe gezielt zu entnehmen. Jedoch war zum bisherigen Zeitpunkt noch zu wenig Wissen über die Geschiebequellen und den Grund für die zunehmende Versandung der Fließgewässer in den letzten Jahren vorhanden und Grundlagenforschungen für ein zukünftiges Management wurden als notwendig erachtet. Vor allem in einer überregionalen und grenzüberschreitenden Betrachtung.

Ziel des vorliegenden Fachbeitrags ist es auf Grund eines physikalischen Modellversuchs grundlegende Erkenntnisse über das Sedimenttransportverhaltens (Grobsand / Feinkies) in den Fließgewässern der Böhmisches Masse zu erhalten. Die Versuchsergebnisse sollen in ein zukünftiges Management einfließen um einerseits die Aussagekraft von numerischen Sedimenttransportmodellierungen in

der Region zu überprüfen (z.B. Annahmen zum Bewegungsbeginn des Korns) bzw. andererseits sollen auch die Rahmenbedingungen und Grenzen einer eigen-dynamischen Sanierung von versandeten Abschnitten aufgezeigt werden.

## Modellversuch

### 1.1 Modellaufbau

Für die Untersuchung des Sedimenttransportverhaltens bzw. Versandungsprozesses wurde in der hydraulischen Versuchsrinne am IWHW (Breite = 300 mm) ein Schnittmodell der rauen Sohle im Maßstab 1:1 aufgebaut. Das Modell wurde in drei Bereiche mit unterschiedlicher Rauigkeit aufgeteilt: Bereich „A“ mit mittlerer Korngröße  $d_m = 140$  mm, Bereich „B“ mit  $d_m = 70$  mm und Bereich „C“ mit  $d_m = 30$  mm, und mit einem glatten Vorlauf- und Nachlaufbereich. Der Versuchsaufbau wird im Längenschnitt in der Abbildung 4 dargestellt. Die hydraulische Versuchsrinne wurde am zentralen Wasserkreislauf des Wasserbau-labors angeschlossen und außer der Durchfluss- und Wasserstands- Regelung ermöglicht sie auch die Einstellung des Sohlgefälles in Fließrichtung.

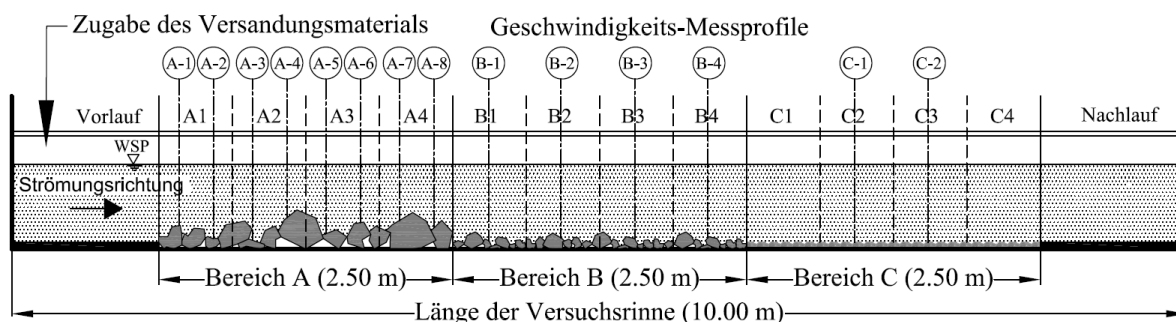


Abbildung 3: Versuchsaufbau.

### 1.2 Versuchsreihen und Versuchsablauf

Anhand von volumetrischen Proben (mehr als 600) an Fließgewässern im ober-österreichischen Mühlviertel und Korngrößenanalysen wurden als Versandungsmaterial zwei Korngrößenfraktionen (2 mm / 4 mm) gewählt und dementsprechend zwei Versuchsreihen mit jeweils drei Wiederholungen durchgeführt. Eine Übersicht über die Versuchsreihen gibt die Tabelle 1 wieder. Sie unterscheiden sich praktisch nur in der Größe der Schubspannung, die mit dem gleichen Fließquerschnitt, bzw. hydraulischen Radius  $R_h$  proportional nur zum Gefälle  $I$  ist:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R_h \cdot I, \quad (1)$$

wo  $\rho \cdot g \cdot R_h = \text{konstant}$ . Dadurch konnten ähnliche hydraulische Bedingungen mit nahezu gleicher Froude-Zahl  $Fr^*$  für das Geschiebekorn simuliert werden.

**Tabelle 1** Spezifikationen durchgeführter Versuchsreihen

Versuchsreihe	VR-I	VR-II
Korngröße des Sediments	$d_s = 2 \text{ mm}$ (Grobsand)	$d_s = 4 \text{ mm}$ (Feinkies)
Durchfluss	$Q = 0,045 \text{ m}^3/\text{s}$	$Q = 0,055 \text{ m}^3/\text{s}$
Spezifischer Durchfluss ( $q = Q/B$ )	$q = 0,150 \text{ m}^2/\text{s}$	$q = 0,183 \text{ m}^2/\text{s}$
Sohlgefälle	$I = 0,3 \%$	$I = 0,5 \%$
Wassertiefe	$H = 0,3 \text{ m}$	$H = 0,3 \text{ m}$
Wandschubspannung (1)	$\tau \cong 3 \text{ N/m}^2$	$\tau \cong 5 \text{ N/m}^2$
Froude-Zahl des Sedimentkorns	$Fr^* = 0,30$	$Fr^* = 0,28$

Während eines Modellversuchs wurde das Versandungsmaterial (Grobsand und Feinkies) im Vorlaufbereich auf die Sohle kontinuierlich zugegeben (ca. 40 kg / Stunde), so dass die gewählten Kornfraktionen gleichmäßig mit der Strömung weg transportiert wurden. Die sog. Versandungsfront passierte die ganze Versuchsstrecke (Bereiche A bis C) und die Hohlräume sowie flachere Bereiche wurden dabei mit Grobsand und Feinkies bedeckt (versandet). Um die Geschwindigkeit der Versandungsfront feststellen zu können, wurden die Bereiche A, B und C jeweils in vier kleinere Abschnitte unterteilt, und es wurde beobachtet, in welchen Zeitintervallen die wandernde Versandungsfront diese Unterbereiche (A1 bis C4, s. Abbildung 3) passiert.

Anschließend wurde die Sedimentzugabe eingestellt. Die nun vom Sediment ungesättigte Strömung hat die lose Sedimentschicht bis zu einem Gleichgewichtszustand (sog. Endzustand) wieder abgetragen. In jedem Versuch konnten also drei stabilisierte Zustände beobachtet und messtechnisch aufgenommen werden, s. Tabelle 2. Zusätzlich wurde die Strömung über eine eingebaute glatte Sohle als Referenzzustand eingenommen.

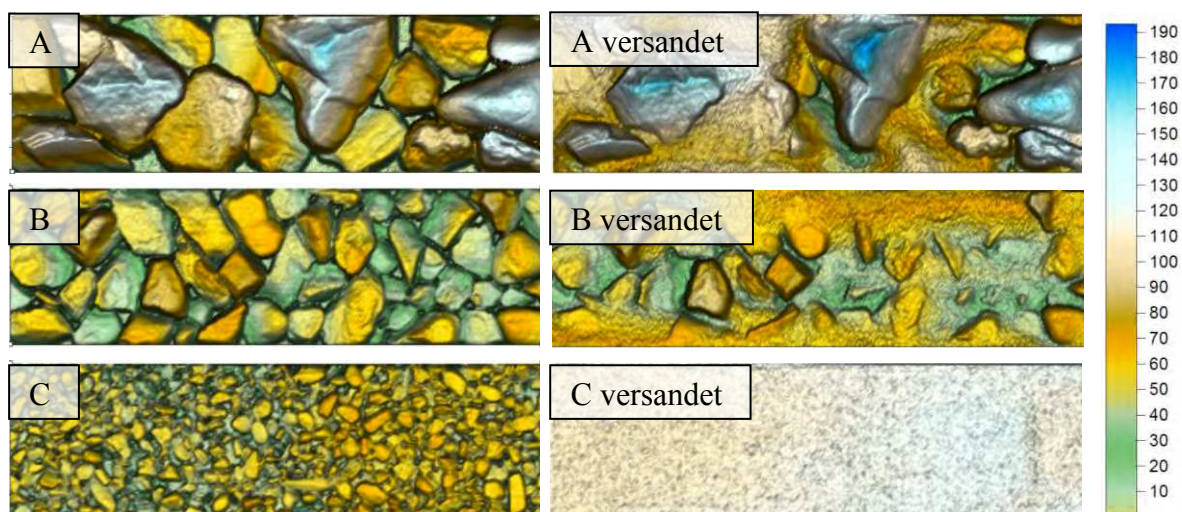
**Tabelle 2** Definition der Gleichgewichtszustände während des Versuchsablaufs

Gleichgewichtszustand	Beschreibung
Raue Sohle	Raue Sohle ohne Sedimentschicht und ohne Sedimentzugabe, jeweils am Anfang des Versuchs
Versandete Sohle	Sohle bedeckt mit einer stabilisierter Sedimentschicht, gleichbleibende Sedimentzugabe
Endzustand	Endzustand nach Einstellung der Sedimentzugabe, die Sedimentschicht größtenteils abgetragen und stabilisiert
Referenz	Glatte Sohle

### 1.3 Angewandte Messtechnik und Messprozedur

In der Längsachse der Versuchsrinne wurden insgesamt 14 Profile zur Messung der Geschwindigkeit definiert. Mit Rücksicht auf die sohlmorphologische Variabilität wurden im Bereich A insgesamt acht (A-1 bis A-8), im Bereich B vier (B-1 bis B-4) und im Bereich C zwei (C-1 und C-2) Messsenkrechten vorgesehen, s. Abbildung 3. In jedem Messprofil wurden typischerweise 7 örtliche Geschwindigkeiten in der Hauptfließrichtung aufgenommen, um die Geschwindigkeitsverteilung über die gesamte Wassertiefe zu bestimmen. Weil das Fließgeschwindigkeitsprofils mehrfach über Sohle mit qualitativ derselben Rauigkeit erfasst wurde, war es möglich die Variabilität des Geschwindigkeitsprofils anhand der somit realisierten Stichprobe  $X$  quantitativ durch ein Variationskoeffizient  $VK$  zu bewerten:  $VK(X) = \text{Standardabweichung}(X) / \text{Mittelwert}(X)$ .

Für die Messung der örtlichen Geschwindigkeit wurde ein hydrometrischer Messflügel ZS 18 (in einer „Stab“-Ausführung) der Fa. Höntzsch verwendet. Die Messdaten aus dem Messflügel wurden direkt über ein Datenerfassungssystem ausgelesen, um die einzelnen Pulse des 4-schaufeligen Flügelrads auswerten zu können (4 Geschwindigkeitswerte pro Umdrehung). Die Messdauer in einem Punkt war 60 s und es wurde der Mittelwert  $V_m$  und die Turbulenzintensität  $Tu = V_{\text{std}} / V_m \cdot 100 \%$  ausgewertet, wo  $V_{\text{std}}$  die Standardabweichung der Geschwindigkeit darstellt. Der systematische Fehler, der durch die an Fließgeschwindigkeit abhängiger Flügelrad-Umdrehungsgeschwindigkeit entsteht, war bei der statistischen Auswertung zu berücksichtigen.



**Abbildung 4:** Visualisierung der Laser-Scan-Daten im Längenschnitt von 1 m im Modellbereich A, B und C. Die Farbskala stellt die absolute Sohlenhöhe über Referenz. Sohlaufnahme der rauen (links) und versandeten (rechts) Sohle.

Zur Aufnahme der Sohlmorphologie, bzw. des digitalen Terrain-Modells (DTM), wurde ein Laser-Profil-Sensor (LPS) der Fa. Leuze verwendet. Dieses

basiert auf dem Triangulationsmessprinzip. Für eine Sohlaufnahme wurde die Versuchsrinne jedes Mal vom Wasser langsam entleert und mit dem LPS entlang der Rinne mehrfach vermessen. Die Verschiebung in der Längsrichtung (x) wurde mittels Reibrad mit inkrementalem Drehgeber mit Auflösung 0,5 mm aufgenommen. Die Rohdaten, die einzelne Messprofile (y,z) mit Auflösung  $\ll 1$  mm, wurden ggf. gemittelt und interpoliert und auf einen regelmäßigen Gitter (x,y,z) mit definierten Abständen übertragen. Mit dieser Methode konnten präzise 3D-Sohlaufnahmen realisiert werden, wie bspw. in der Abbildung 4 dargestellt.

## 2 Ergebnisse

In der Abbildung 5 wird die Sohlmorphologie durch Verteilung der Sohlhöhen dargestellt, die mit dem Laserscann erfasst wurden. In den Diagrammen sind beide Versuchsreihen (VR-I und VR-II) nach der Versandung und in dem Endzustand sowie die raue Sohle vor dem Versandungsversuch abgebildet. Während des Versandungsprozesses wird die Sohle mit dem Sedimentmaterial überdeckt; die Verteilungskurven verschieben sich zu größeren Z-Werten. Nach Einstellung der Sedimentzugabe und Erreichung des Endzustands wurde entsprechend ein Teil der Anlandung wieder abgetragen. In allen Bereichen blieben allerdings die tiefsten Stellen ( $\Delta Z = \text{ca. } 30 \text{ mm}$ ) dauerhaft mit dem feinen Sediment befüllt. Es ist ersichtlich, dass die dickste Schicht den Sohlbereich C betrifft, also genau den, wo die Laichplätze insbesondere relevant wären. Im Bereich mit Grobsteinsohle (Bereich A) sind die Folgen der Versandung hingegen nicht so gravierend und es bilden sich nur lokale Ablagerungen bis  $Z = 100 \text{ mm}$ .

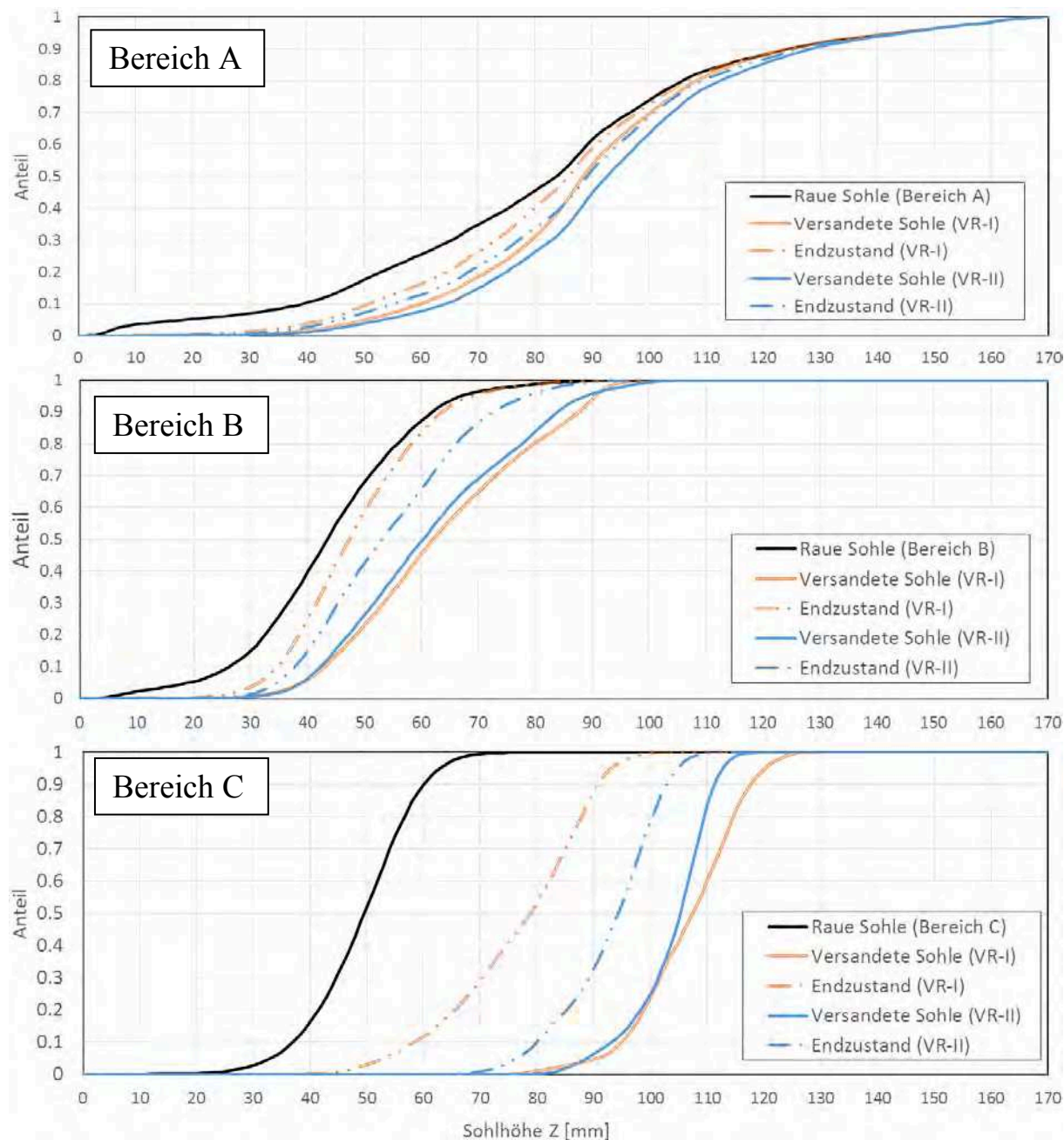
**Tabelle 3** Festgestellte Volumen des Sediments ( $\text{l/m}^2$ ) in Abhängigkeit von der Rauigkeit (Bereich A, B und C) und Versuchsreihe, bzw. Korngröße ( $d_s$ ).

Rauigkeit (Sohlbereich)	Versandete Sohle [ $\text{l/m}^2$ ]		Endzustand [ $\text{l/m}^2$ ]		Differenz [%]	
	VR-I	VR-II	VR-I	VR-II	VR-I	VR-II
A	9.6	13.2	5.5	9.0	-43	-32
B	19.8	18.2	4.7	10.5	-76	-42
C	57.5	54.7	27.5	43.8	-52	-20

Die Sediment-Volumina, bzw. die Ablagerungen für die versandete Sohle und den Endzustand werden in Tabelle 3 zusammengefasst. Die kleinsten Ablagerungen finden in dem Bereich A statt, demgegenüber der Sohlbereich C wird mit vergleichsweise zu Bereich A ca. 5-fach so hoch belastet. Die Sohle im Bereich B



wird zwar wesentlich versandet, hat dennoch sehr gute Fähigkeit der Rekonvaleszenz, so dass der Endzustand praktisch dem des Sohlbereichs A gleicht.



**Abbildung 5:** Kumulative Verteilung der Z-Ordinate des jeweiligen Sohlbereichs der rauhen Sohle, versandeten Sohle und des Endzustands (definiert in Tabelle 2).

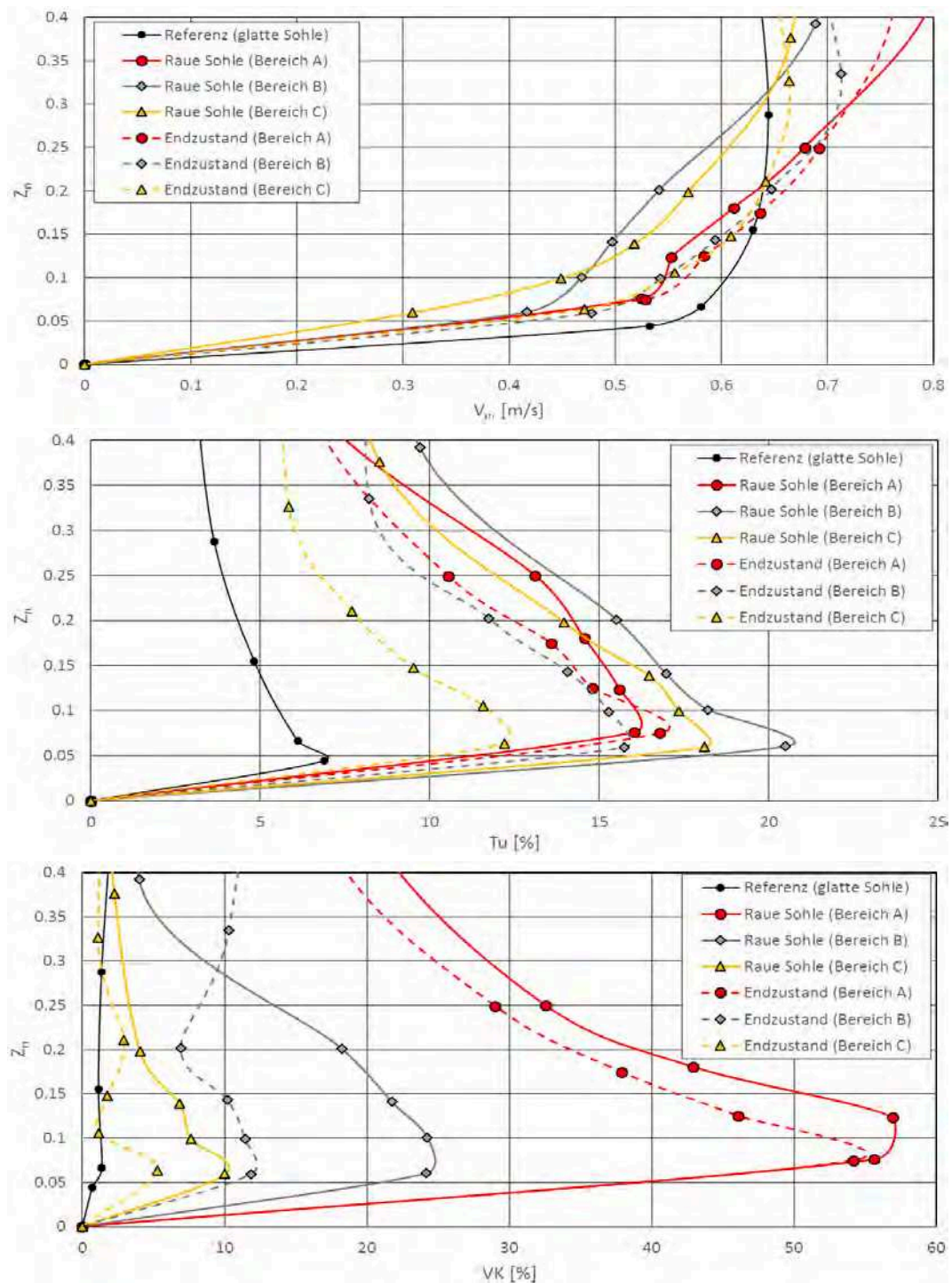
Die Dynamik des Versandungsprozesses wurde anhand Schubgeschwindigkeit der Versandungsfront bewertet, s. Tabelle 4. Die Versandung in dem Bereich A mit der größten Rauigkeit verbreitet sich am schnellsten, im Bereich C am langsamsten. Hingegen die Schubgeschwindigkeit einer kleinen Versandungsfront an einer glatten Sohle war die am größten.

**Tabelle 4** Schubgeschwindigkeit der Versandungsfront in Metern pro Stunde, bzw. pro Tag in Abhängigkeit von der Rauigkeit (Bereich A, B, C und glatte Sohle).

Rauigkeit (Sohlbereich)	VR-I ( $d_s = 2 \text{ mm}$ )	VR-II ( $d_s = 4 \text{ mm}$ )
A	3.24 m/h (78 m/d)	5.49 m/h (132 m/d)
B	2.27 m/h (55 m/d)	3.13 m/h (75 m/d)
C	1.05 m/h (25 m/d)	1.32 m/h (32 m/d)
glatte Sohle	7.5 m/h (180 m/d)	13.7 m/h (329 m/d)

Die Schubgeschwindigkeit des Sedimentkorns soll der Schubspannung, bzw. dem Geschwindigkeitsgradient an der Sohle proportional stehen. In der Abbildung 6 wird das mittlere Geschwindigkeitsprofil über die raue Sohle (ohne Sediment) und über die Sohle im Endzustand (versandet und wieder abgetragen, s. Tabelle 2) für alle betrachteten Bereiche dargestellt (nur VR-I). Es ist ersichtlich, dass im Referenzfall (glatte Sohle) das wenn auch mit einfacher Flügelmessung ermittelte Geschwindigkeitsprofil den größten Gradient aufweist. Den zweitgrößten Gradient wurde interessanterweise im Bereich A (Grobstein-Sohle) ermittelt, der kleinste wiederum im Bereich C. Hier ist es zu betonen, dass insbesondere im Bereich A die Messprofile mit unterschiedlicher Sohlebene aufgenommen wurden - jeweils nach dem, wo der Flügel-Messstab die Sohle, bzw. den Stein erreicht hatte. In den Diagrammen ist die normalisierte Profilhöhe  $Z_n$  dargestellt, wo  $Z_n = 0$  der Sohle, bzw. der Anschlagstelle, und  $Z_n = 1$  dem Wasserspiegel entspricht.

Des Weiteren werden in der Abbildung 6 die Turbulenzintensität der örtlichen Geschwindigkeiten ( $Tu$  [%]) und die positionsabhängige Variabilität des Geschwindigkeitsprofils (Variationskoeffizient  $VK$  [%]) wiedergegeben. Im Vergleich zur Referenz (glatte Sohle) wurde in allen rauen Sohlbereichen deutlich höhere Turbulenzintensität ermittelt (15 – 20 %), diese fiel nach der Versandung und Erreichung des Endzustands adäquat ab. Da der Bereich B dem A folgte, wäre hierdurch die höchste Turbulenz im Bereich B zu klären. Die Turbulenzintensität über glatte Sohle beträgt bis zu 7 %. Die relativen Differenzen zwischen den Sohlbereichen waren jedoch nicht so signifikant, wie die Differenzen beim Variationskoeffizient, siehe Abbildung 6 ( $VK$ ). Im Bereich A wurde (logischerweise) eine sehr hohe Variation in dem Geschwindigkeitsprofil bis zu  $VK_{\max} = \text{ca. } 55 \%$  nachgewiesen, im Bereich B  $VK_{\max} = \text{ca. } 23$ , bzw. 12 %, und im Bereich C  $VK_{\max} = \text{ca. } 10$ , bzw. 5 % (raue Sohle, bzw. Endzustand). Über die glatte Sohle wurden  $VK$ -Werte von nur ca. 1 % festgestellt.



**Abbildung 6:** Mittleres Geschwindigkeitsprofil ( $V_m$ ) mit entsprechender Verteilung der Turbulenzintensität ( $Tu$ ) und des Variationskoeffizienten ( $VK$ ), (Versuchsreihe VR-I).

### 3 Diskussion

Aus gewässerökologischer Sicht führen Veränderungen und Störungen des Sedimenthaushalts bzw. des longitudinalen Feststofftransports aus den Einzugsgebieten kontinuierlich und mitunter nachhaltig zu einer Veränderung (meist Degradierung) des Schotterkörpers und der Habitate im Kieslückenraum (Interstitial). Eine etwaige Degradierung kann auf zwei Arten erfolgen: Zum einen durch Geschiebedefizit in Wechselwirkung mit den natürlich auftretenden Hochwässern eine zunehmende Vergröberung der Sohle (Sohlauszehrung) im Zuge des selektiven Transports zu erwarten, welche über die Jahre gesehen zu einer starken Abpflasterung der Oberfläche des Schotterkörpers (ausgeprägte Deckschichtbildung) führt.

Zum anderen kann verstärkter Eintrag von Feinsedimenten (Sanden, Ton/Schluff-Kornfraktionen) auf Grund erosiver Landnutzung (z.B. Maiskulturen) wie etwa intensivierter Landwirtschaft in den Einzugsgebieten zu einer weiteren Beeinträchtigung der Lebensraumeigenschaften des Kieslückenraums führen (Pulg *et al.*, 2011, Sutherland *et al.*, 2000, Opperman *et al.*, 2005). Besonders die Feinbestandteile des Bodens ( $< 2$  mm), inklusive Humus, Nähr- und Schadstoffen, werden durch niederschlagsabhängige Erosionsprozesse vielfach in die Flüsse verfrachtet. Aus diesem Grund kann dort die Bodenerosion zu erheblichen Veränderungen von Flora und Fauna führen (Hiller 2007). Beispielsweise wurde in Deutschland für derzeit ca. 14 % der ackerbaulich genutzten Fläche ein mittleren langjährigen Bodenabtrag von mehr als drei Tonnen je Hektar und Jahr infolge einer niederschlagsbedingten Erosion auf errechnet (UBA 2011).

Im Falle der untersuchten Fließgewässer der Böhmisches Masse sind die Rahmenbedingungen teils ähnlich, aber in vielen Teilen auch differenziert zur „klassischen“ Feinsedimentproblematik zu betrachten. Deutliche Unterschiede bestehen hinsichtlich der Korngrößen der Feinsedimente. Werden in der Literatur Feinsedimente meist mit Korndurchmessern  $< 2$  mm ausgewiesen, so liegen jene Fraktionen, welche in den Gewässern der Böhmisches Masse ökologische und schutzwassertechnische Probleme verursachen, in den Bereichen  $d_s = 1$  mm – 10 mm. Dies bedingt auch, dass erosive Niederschläge (z.B. Zunahme durch Globale Erwärmung) zwar den Sedimenteintrag begünstigen, aber auf Grund der Form des Transports als Geschiebe eine (periodische) hydraulische Verbindung zum Vorfluter mit einem  $\tau > \tau_{cr}$  bestehen muss. Feinsedimente der Ton, Schlufffraktionen können in Form von Schwebstoffen auch über Fließwege mit sehr geringem Gefälle in die Fließgewässer gelangen. Im Allgemeinen ist die Anreicherung und der Abtransport von Feinanteilen in der Gewässersohle jedoch als ein

natürlicher Prozess anzusehen, welcher auch an Laichplätzen in unbeeinflussten Einzugsgebieten dokumentiert wurde (Hauer *et al.*, 2013b). Entscheidend ist die Möglichkeit zur Neu- und Umbildung der Gewässersohle bei Hochwässern.

Hier lieferten die Ergebnisse des durchgeführten physikalischen Versuchs wichtige Erkenntnisse. Es konnte gezeigt werden, dass eine Verringerung bzw. Stopp des Materialeintrags zu einer deutlichen Verbesserung der Lebensraumeigenschaften (Heterogenität) der Gewässersohle führt (Tabelle 3). Dies ist sicherlich bedingt durch die nicht kohäsiven Eigenschaften des verwendeten Granitgruses (Korngrößen 1 mm – 10 mm). Für ein zukünftiges Management sind diese Aussagen wichtig, da hier die Möglichkeit einer eigendynamischen Verbesserung /Sanierung durch Maßnahmen im Einzugsgebiet (Reduktion des Materialeintrags durch z.B. Landnutzungsänderungen) in Aussicht gestellt wird.

Es wurde ein Zusammenhang zwischen der Sohlrauigkeit und der longitudinalen Geschwindigkeit des Sedimentprozesses nachgewiesen, d.h. eine raue Sohle mit mittlerer Korngröße größer als ca. 100 mm beschleunigt den Sedimenttransport wesentlich. Eine derartige granulometrische Verbesserung der Sohle in stark versandeten Gewässern (mit Feinkornmaterial  $d_s = 1 - 10$  mm; im Versuch  $d_s = 2$  und 4 mm getestet) würde entsprechend unseren Untersuchungen eine Rekoneszenz im Hinblick auf das Habitat wie Laichplätze usw. erwirken. Eine in-situ Validierung des Ergebnisses wäre jedoch erforderlich.

#### **4 Schlussfolgerung und Ausblick**

Die hydrodynamische Untersuchung des Versandungsprozesses hat im Wesentlichen eine interessante Kenntnis verdeutlicht: Eine „raue“ oder „grobe“ Sohle (im unseren Fall der Bereich A und ggf. auch B) beschleunigt oder sogar erst ermöglicht den Sediment (Ab-) Transport. Der Prozess wird offensichtlich durch die morphologische Variabilität und somit die Varianz des Strömungsfelds in der Sohlebene ermöglicht. Dadurch entstehen lokale Turbulenzgebiete mit im Mittel niedrigen Geschwindigkeiten neben Gebieten mit hohen Geschwindigkeitsgradienten. In dem Sinne eine raum- und zeit-aufgelöste Betrachtung der rauen Sohle kann künftig neue Informationen bringen, die beispielsweise für die numerische Modellierung der Sedimentprozesse oder Beantwortung der Fragen über Skalierbarkeit, bzw. richtige Übertragung der Modell-Ergebnisse in Natur von großer Bedeutung wären.

## 5 Literatur

- Hauer, C., Unfer, G., Tritthart, M., Habersack, H. (2011) Effects of stream channel morphology, transport processes and effective discharge on salmonid spawning habitats. *Earth Surface Processes and Landforms* 36: 672-685.
- Hauer, C; Unfer, G; Holzmann, H; Schmutz, S; Habersack, H (2013a): The impact of discharge change on physical instream habitats and its response to river morphology. *CLIMATIC CHANGE*. 2013; 116(3-4): 827-850.
- Hauer, Ch; Unfer, G; Habersack, H; Pulg, U; Schnell, J (2013b): Bedeutung von Flussmorphologie und Sedimenttransport in Bezug auf die Qualität und Nachhaltigkeit von Kieslaichplätzen. *KW-Korrespondenz Wasserwirtschaft*, 4/13, 189-197; ISSN 1865-9926
- Heine, K. (2002): Wenn die roten Rosen wieder blühen – oder die Abhandlung über die Biologie der Pflanzen. Neuer Verlag der Kunst am Stück, München 2002
- Hiller, D.A. (2007) „Bodenerosion durch Wasser - Ursachen, Bedeutung und Umgang in der landwirtschaftlichen Praxis von NRW“, herausgegeben durch die Landwirtschaftskammer Nordrhein-Westfalen.
- Meier, A. (2000): Die verrückte Datei im Zeichen der Zeit – wollen die Leute diese Hinweise nicht verstehen. Aufbau Verlag, Berlin 2000
- Leitner, P., Hauer, C., Ofenböck, T., Pletterbauer, F., Schmidt-Kloiber, A. (2015): Fine sediment deposition affects biodiversity and density of benthic macroinvertebrates: 1: A case study in the freshwater pearl mussel river Waldaist (Upper Austria). *Limnologia*, accepted paper. doi:10.1016/j.limno.2014.12.003.
- Opperman, J.J., Lohse, K.A., Brooks, C., Kelly, M.N., Merenlender, A.M. (2005) Influence of land use on fine sediment in salmonid spawning gravels within the Russian Rivers Basin, California. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 62: 2740-2751.
- Pulg, U., Barlaup, B.T., Sternecker, K., Trepl, L., Unfer, G. (2011) Restoration of Spawning Habitats of Brown Trout (*Salmo trutta*) in a Regulated Chalk Stream. *River Research and Application*. , published online DOI: 10.1002/rra.1594
- Sutherland, A.B., Meyer, J.I., Gardiner, E.P. (2002) Effects of land cover on sediment regime and fish assemblage structure in four southern Appalachian streams. *Freshwater Biology* 47: 1791-1805.
- UBA (2011) Daten zur Umwelt Ausgabe 2011, deutsches Umweltbundesamt.

Autoren:

Dr. Petr Lichtneger, Tobias Mayer, Jacob Holzinger, Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr. Helmut Habersack und Priv.-Doz. Dipl.-Ing. Dr.nat.techn. Christoph Hauer

Universität für Bodenkultur Wien (BOKU)

Institut für Wasserwirtschaft, Hydrologie und Konstruktiven Wasserbau (IWHW)

Muthgasse 18

A - 1190 Wien

Tel.: +43 1 47654 5507

E-Mail: petr.lichtneger@boku.ac.at

Fax: +43 1 47654 5549