

Erzeugung von Rehen: Eine experimentelle Studie

Till Branß
Andreas Dittrich

Hochwasserereignisse führen u. a. zu erheblichen Sedimentablagerungen auf den Vorländern der Fließgewässer, häufig auch in Form von sog. Uferreihen. Durch die Ablagerungen wird der Hochwasserabflussquerschnitt dauerhaft reduziert und es kommt zu lokalen Wasserstandsanehebungen, die insbesondere bei extremen Hochwässern katastrophale Folgen haben können. Da die Prozesse der Rehenbildung bis heute nicht quantifiziert werden können und diese vornehmlich bei Hochwasserabflüssen stattfinden, ist es sinnvoll die Erforschung dieser Prozesse im Labor vorzunehmen. Hierzu wurden am LWI Laborversuche an einem typischen, halben Doppeltrapezgerinne mit ausgeprägtem Vorland durchgeführt.

Stichworte: Uferreihen, Sedimentablagerungen, gegliederte Gerinne

1 Einleitung

Eine Rehne ist ein uferbegleitender Wall aus Sedimenten und Uferbewuchs, der an nahezu allen Flüssen mit auenartigen Vorländern anzutreffen ist. Sie entstehen, wenn bei Hochwasser mitgeführtes Sediment in die angrenzenden Vorländer transportiert wird und dort in Bereichen mit niedrigen Fließgeschwindigkeiten sedimentiert.

1.1 Bedeutung der Rehen

Rehen sind vor allem an Gewässern zu beobachten, die in ihrem Verlauf festgelegt sind und deren Gewässerkorridor durch Deiche begrenzt ist. Entlang dieser Flussläufe findet nur noch eine geringe Seitenerosion statt, sodass die Sedimentationsprozesse auf dem Vorland überwiegen. Folglich wachsen die Rehen mit jedem Hochwasser an und beeinflussen somit zunehmend das Abflussgeschehen (*Hudson, 2005*). Durch die Rehen wird der Hochwasserabflussquerschnitt des Gewässerkorridors reduziert und die Quervernetzung zwischen dem Gerinne und den Vorländern durch ein späteres Ausuferndes des Gewässers verschlechtert (*Klasz et al., 2014; Rommel, 2013*).

Da mit steigender Rehenhöhe weniger Sediment in die Vorländer eingetragen wird, lagert sich auf den Vorländern weniger Sediment ab und der Fließquerschnitt verkleinert sich auf Dauer langsamer als ohne vorhandene Rehen. Zu-

sätzlich verhindern Rehen an durch Eisstau gefährdeten Gewässern den Eintrag von Eisschollen auf die Vorländer und schützen die vorhandenen Deiche.

1.2 Rehnengenese

Nach *Adams et al.* (2004) existieren grundsätzlich zwei unterschiedliche Transportprozesse, durch die Sediment aus dem Hauptgerinne auf das Vorland transportiert wird und die zu zwei unterschiedlichen morphologischen Phänomenen führen. Zum einen wird Sediment durch eine Scherströmung zwischen Hauptgerinne und Vorland, und der damit verbundenen turbulenten Diffusion, auf das Vorland transportiert (Uferrehne in Abbildung 1). Zum anderen kann ein advektiver Transport stattfinden, der aus den Wasserstandsunterschieden zwischen Hauptgerinne und Vorland resultiert (großflächige Ablagerungen in Abbildung 1). Das Hauptaugenmerk der vorliegenden Untersuchungen lag auf der Erzeugung von Rehen, die durch diffusiven Transport entstehen. In diesem Fall sind die im Bereich zwischen Hauptgerinne und Vorland auftretenden Strömungen von zentraler Bedeutung.

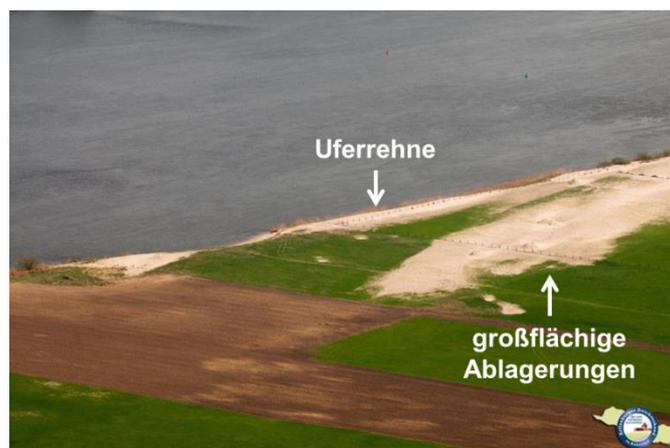


Abbildung 1: Sedimentablagerungen auf dem Vorland der unteren Mittelbe (Quelle: Artlenburger Deichverband)

Durch die Überflutung der Vorländer stellen sich in den Gerinneteilen unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten ein. In der Folge entsteht eine Scherschicht, die zur Bildung von Turbulenz- und Wirbelstrukturen führt und einen Massen- und Impulsaustausch zwischen den Gerinneteilen hervorruft (*Sellin*, 1964 und *Dittrich*, 1998). Die Stärke der Interaktion ist maßgeblich von dem Verhältnis zwischen den Fließgeschwindigkeiten auf dem Vorland (u_V) und im Hauptgerinne (u_H) abhängig. Dementsprechend haben, über die Änderung der Fließgeschwindigkeiten, sowohl das Sohlgefälle, das Verhältnis der Wasserstände auf dem Vorland und im Hauptgerinne, als auch die Vorlandrauheiten einen starken Einfluss auf die Intensität der Wirbel im Interaktionsbereich (*Fernades et al.*, 2012 und *Knight & Shiono*, 1990).

Sekundäre Strömungen, sowie von der Gewässersohle des Hauptgerinnes induzierte Turbulenzen, besitzen ebenfalls einen Einfluss auf die Wirbelstrukturen, sodass der Interaktionsbereich durch die Überlagerung verschiedener Wirbel geprägt ist (Czernuszenko *et al.*, 2007 und Nezu *et al.*, 1999).

Die an der Böschungskante zwischen Hauptgerinne und Vorland stark ausgeprägten turbulenten Strukturen führen zu einem turbulenzinduzierten Transport von im Hauptgerinne suspendiertem Sediment auf das Vorland. Diese Art des Sedimenttransports konnte u. a. von James (1985) beobachtet werden. Der Transport wird dabei zusätzlich von den im Gerinne vorherrschenden sekundären Strömungen beeinflusst. Die Sekundärströmungen unterstützen oder verhindern, je nach Wasserstand, den Sedimenttransport zwischen Hauptgerinne und Vorland. Nach Nezu *et al.* (1999) wird ab einem Tiefenverhältnis von $h_H/D \geq 1,6$ (mit: h_H = Wasserstand im Hauptgerinne, D = Vorlandhöhe) der Momenten- und Impulsaustausch zwischen Vorland und Hauptgerinne durch ein an Stärke zunehmendes Sekundärströmungspaar unterbunden.

1.3 Fazit

Aus den vorangegangenen Ausführungen wird deutlich, dass über die Hydraulik bereits zahlreiche Informationen vorliegen, die morphodynamischen Zusammenhänge aber noch weitgehend unbekannt sind. Aus diesem Grund wurden vor allem die Auswirkungen direkter Einflussparameter auf die Rehenbildung wie unterschiedliche Wasserstände, Sohlengefälle, Sohlenformen und Versuchsdauern im Laborexperiment untersucht. Der wichtige Einfluss der Ufervegetation auf die Rehenbildung war nicht Gegenstand dieser Untersuchungen. Auf diesen soll in zukünftigen Experimenten detaillierter eingegangen werden.

2 Versuchsaufbau und -programm

2.1 Hydraulisch / sedimentologische Randbedingungen

Für die Versuche war die Ausbildung eines Interaktionsbereichs zwischen Hauptgerinne und Vorland sicherzustellen, damit sich ein diffusiver Sedimenttransport auf das Vorland einstellen kann. Zum anderen wurde im Hauptgerinne eine ausreichende Sedimentmenge benötigt, die in suspendierter Form transportiert wird.

Für die Modelleinbauten wurde der Querschnitt eines geraden Flusslaufs mit einem halben Doppeltrapezgerinne zu Grunde gelegt, dessen Vorland mit Gras bewachsen ist (Abbildung 2). Die genauen Abmessungen sind in Branß (2015) zu finden.



Abbildung 2: Fertiggestellte Modelleinbauten

Die Versuche wurden mit verschiedenen Sedimentmengen durchgeführt, sodass sich neben der ebenen Sohle auch Transportkörper im Hauptgerinne ausbilden konnten. Zur Gewährleistung einer ausreichenden Sedimentsuspension im Hauptgerinne wurden die Fließgeschwindigkeiten auf $u_H/u_{krit} = 3-4$ (mit: u_H = Fließgeschwindigkeit im Hauptgerinne und u_{krit} = kritische Geschwindigkeit) eingestellt. Damit sich das aufgewirbelte Sediment ablagern konnte, mussten zusätzlich die Fließgeschwindigkeiten auf dem Vorland unter der kritischen Geschwindigkeit des Sediments liegen.

Als Sediment wurde ein Polystyrolgranulat mit einem Korndurchmesser von $d = 2,06 \text{ mm}$ und einer Dichte von $\rho_s = 1058 \text{ kg/m}^3$ gewählt. Sämtliche sedimentbezogenen Daten konnten dem Bericht *HSMD* (2012) entnommen werden.

2.2 Versuchsstand

Die Laborversuche wurden in der Wasserbauhalle des LWI in Braunschweig an einer neigbaren Geschieberinne durchgeführt. Die Rinne besitzt eine Gesamtlänge von 36,4 m, eine Breite von 2 m sowie eine Höhe von 0,8 m. Geschiebe und Sediment können über einen Sedimentkreislauf an den Anfang der Rinne zurückgeführt werden (Abbildung 3).

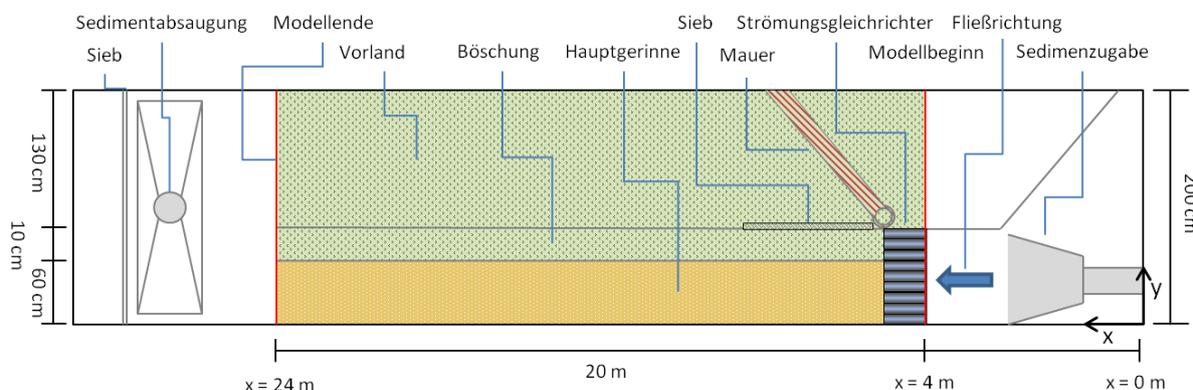


Abbildung 3: Schematische Übersicht der Modelleinbauten.

Für die Versuche wurde in der Rinne, auf 20 m Länge, ein halbes Doppeltrapezgerinne eingebaut. Das Vorland wurde 130 cm breit konstruiert. Die Böschung zum Hauptgerinne besaß eine Neigung von 1:1. Zur Simulation der grasartigen Vorlandrauheit wurden Böschung und Vorland mit einem 3 cm hohen Kunstrasen belegt. Die Gewässersohle wurde 60 cm breit aus Siebdruckplatten konstruiert und mit einer Einkorn-Schicht Kunststoffgranulat beklebt. Die Vorlandhöhe betrug 10,4 cm.

Zur Vermessung des Wasserspiegels und der Sedimentablagerungen wurden zwei Spitzentaster genutzt. Dafür wurde die Fließrichtung als x-Richtung definiert, die y-Richtung als horizontal, lateral zur Fließrichtung stehend und die z-Richtung als vertikale Komponente. In der gleichen Reihenfolge wurden die Geschwindigkeitskomponenten u , v und w definiert. Weitere Informationen zum Versuchsaufbau können der Arbeit von *Branß* (2015) entnommen werden.

2.3 Versuchsprogramm

Die für die Rehrenversuche benötigten Durchflüsse, Sohlengefälle und Wasserstände mussten in Vorversuchen ermittelt werden. Ein Sohlengefälle von 0,5 ‰ stellte sich als bester Kompromiss zwischen den geforderten unterkritischen Geschwindigkeiten auf dem Vorland und einer Suspension des Granulates im Hauptgerinne heraus.

Insgesamt wurden neun Rehrenversuche durchgeführt. Die nachfolgende Zusammenstellung und Aufbereitung der Versuchsergebnisse konzentriert sich auf Versuche mit und ohne Transportkörpern im Hauptgerinne. Das Verhältnis der Wasserstände für die Rehrenversuche ergab sich aus dem bereits erwähnten Kriterium von *Nezu et al.* (1999) und den Ergebnissen der Voruntersuchungen zu $Dr = h_V/h_H = 0,35$.

Der Versuchsaufbau jedes Versuchs war in zwei Bereiche eingeteilt. Bereich 1 erstreckte sich vom Modellbeginn bei $x = 4$ m bis $x = 17,3$ m und Bereich 2 reichte vom Ende des Bereichs 1 bis zum Ende des Modellaufbaus bei $x = 24$ m. Im Bereich 2 wurde die Uferkante, im Gegensatz zu Bereich 1, mit einer Reihe von zufällig angeordneten Steinen ($d \approx 2$ cm) besetzt, um die Auswirkung stark idealisierter Vegetation am Übergangsbereich zum Vorland abschätzen zu können.

Es wurden zwei Versuche (Versuche 1 und 2) ohne Transportkörper durchgeführt, die in den Versuchen 6 und 7 mit leicht veränderten Randbedingungen wiederholt wurden ($u_H/u_{krit} \approx 4$, $Dr = 0,35$, $Fr \approx 0,3$, $I_S = 0,5$ ‰, $\Delta t = 19$ h). Daneben fanden Versuche mit Transportkörpern im Hauptgerinne statt ($u_H/u_{krit} \approx 3$, $Dr = 0,35$, $Fr \approx 0,23$, $I_S = 0,5$ ‰, $\Delta t = 19$ h). Von diesen Versuchen wurde ein Versuch mit einem 1 cm niedrigeren Wasserstand durchgeführt (Versuch 4,

$Dr = 0,3$), ein Versuch mit doppelter Versuchsdauer (Versuch 9, $\Delta t = 38$ h) und ein Versuch (Versuch 5) mit einem niedrigeren Sohlengefälle von $I_s = 0,1$ ‰ ($u_H/u_{krit} \approx 2,2$, $Dr = 0,35$, $Fr \approx 0,2$, $\Delta t = 19$ h).

3 Ergebnisse

Im Experiment konnten durch diffusiven und advektiven Transport hervorgerufene Ablagerungen erzeugt werden. Advektive Transportvorgänge führten im Laborversuch, analog wie an der Elbe (Abbildung 2), zur Bildung von großflächigen Sedimentablagerungen auf dem Vorland, während diffusive Transportprozesse zur Ausbildung einer Rehne führten. Da, wie bereits erwähnt, der Schwerpunkt der Untersuchungen in der Analyse der diffusiven Transportprozesse lag, sind diese Gegenstand der nachfolgenden Ausführungen.

Die erzeugten Rehnen wiesen in allen Versuchen eine schmale bandartige Struktur und eine nahezu konstante Breite über die Länge des Modellaufbaus auf. In Richtung des Vorlands liefen die Rehnen diffus aus. Die Höhe der Rehnen erreichte maximal die Höhe des Kunstrasens. Kunststoffgranulat, das sich kurzfristig über die Höhe des Kunstrasens ablagerte, wurde durch die Strömung weitertransportiert obwohl auf dem Vorland im Mittel unterkritische Fließgeschwindigkeiten herrschten. Eine genaue Vermessung von Rehnenhöhe und –breite war somit nur bedingt möglich.

Die Versuche ohne Transportkörper (Versuch 6 und 7) wiesen im Versuchsbereich 1 im Mittel eine Rehne mit einer Breite von 6,5 cm auf. In Bereich 2 ergab sich eine mittlere Breite von $\Delta y = 5,7$ cm (Abbildung 4a). Die maximale Höhe der Rehne betrug ca. 2 cm (1 cm unter der Rasenhöhe).

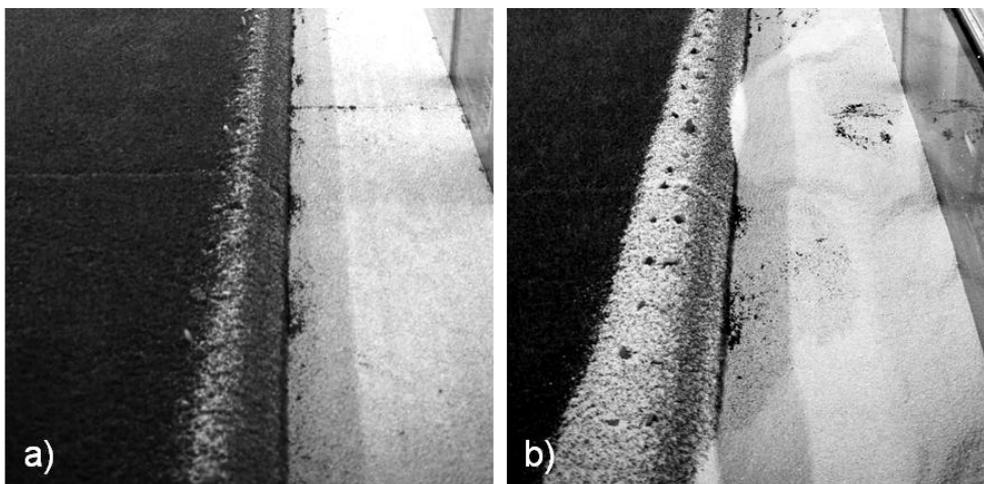


Abbildung 4: Im Laborversuch erzeugte Rehnen a) ohne Transportkörper im Hauptgerinne b) mit Transportkörpern

In den Versuchen 3 und 8, die mit Transportkörpern durchgeführt wurden, bildete sich eine signifikant breitere Rehne aus. Die Transportkörper wiesen eine durchschnittliche Höhe von 6 cm bei einem durchschnittlichen Abstand von 2 m auf. Im Bereich 1 zeigten die Rehnen im Mittel eine Breite von $\Delta y = 11,35$ cm. Die maximale Mächtigkeit wurde zu 2,2 cm bestimmt. In Bereich 2 wiesen die Rehnen, mit $\Delta y = 11,75$ cm im Mittel, eine ähnlich Breite wie in Bereich 1 auf (Abbildung 4b).

Die Absenkung des Wasserstands um 1 cm (Versuch 4) führte im Bereich 1 zur Halbierung der Rehnenbreite ($\Delta y = 5,9$ cm). Dies stimmt tendenziell mit den Beobachtungen von *Cazanacli & Smith* (1998) überein, die bei niedrigeren Wasserständen ebenfalls die Entstehung kleinerer Rehnen beschreiben und dies auf den kleineren Interaktionsbereich zwischen Hauptgerinne und Vorland zurückführen.

Die Verdopplung der Versuchszeit, von 19 h auf 38 h (Versuch 9), bewirkte eine Verbreiterung der Rehne um maximal 1 cm. Die Werte lagen damit in y-Richtung im Bereich der Messgenauigkeit.

Die Rehnenbildung war auch bei einem niedrigeren Sohlengefälle von $I_s = 0,1$ ‰ (Versuch 5) und den daraus resultierenden, niedrigeren Fließgeschwindigkeiten möglich. Mit einer mittleren Rehnenbreite von $\Delta y = 9,8$ cm in Bereich 1 und $\Delta y = 9,1$ cm in Bereich 2 entstanden breitere Rehnen als in den Versuchen 6 und 7, jedoch schmalere Rehnen als in den Versuchen 3 und 8.

Die Abschätzung der Auswirkungen von an der Uferkante angeordneten Steinen auf die Rehnengeometrie stellte sich als schwierig heraus, da diese in den meisten Versuchen vernachlässigbar gering waren. Lediglich Versuch 4 mit einem 1 cm niedrigeren Wasserstand führte im Bereich der Steinanordnung zur Verbreiterung der Rehne um 3,5 cm. Die signifikante Auswirkung der Steinanordnung ist in diesem Fall durch den niedrigeren Wasserstand bedingt.

4 Diskussion

4.1 Turbulenzstruktur

Während der Versuche war im Übergangsbereich zwischen Hauptgerinne und Vorland eine Vielzahl unterschiedlicher Strömungsstrukturen zu beobachten. Abbildung 5 zeigt eine schematische Darstellung der beobachteten Strukturen. Der unausgefüllte Pfeil deutet die Fließrichtung des Wassers an.

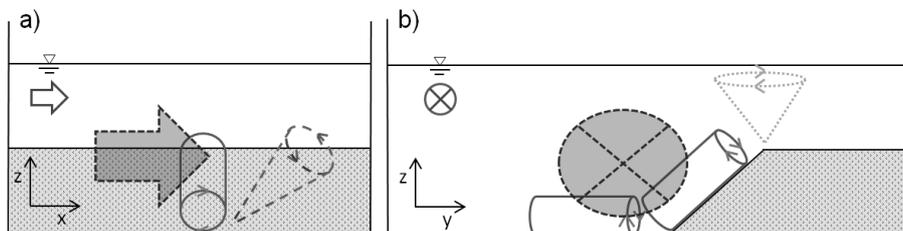


Abbildung 5: Schematische Darstellung der im Interaktionsbereich beobachteten Strömungsstrukturen a) Blick in y-Richtung b) Blick in x-Richtung

Im Bereich der oberen Böschungskante zeigten sich, sobald das Vorland überdeckt war, im gesamten Modell horizontale Verwirbelungen (gepunkteter Kreis in Abbildung 5b). Die Wirbel waren bei geringen Wasserständen auf dem Vorland am stärksten ausgeprägt. Durch die Rauheit der Gewässerberandungen wurden weitere Wirbelstrukturen induziert, deren laterale Achse parallel zu der jeweiligen Wandung lag (durchgezogene Zylinder in Abbildung 5a und b). Des Weiteren war in jedem Versuch eine markante longitudinale Turbulenz zu beobachten, die bestehende Wirbelstrukturen verstärkte und zu einem verstärkten Sedimenttransport auf das Vorland führte (gestrichelter, ausgefüllter Pfeil Abbildung 5a). Die Turbulenz trat periodisch am Böschungsfuß im Hauptgerinne auf und bildete aus den rauheitsinduzierten Wirbeln schräg nach vorne gerichtete Wirbelstrukturen (gestrichelte Trichterstruktur Abbildung 5a)

4.2 Rehnenbildung als Prozess der natürlichen Sukzession

In den Versuchen zeigte das verwendete Polystyrolgranulat eine Anfälligkeit für geringe Geschwindigkeitsschwankungen. In der Folge konnte in den Laborversuchen ein pulsartiger, durch die horizontalen Wirbelstrukturen induzierter Sedimenttransport auf dem Vorland beobachtet werden. Der Sedimenttransport fand statt, obwohl die mittlere Fließgeschwindigkeit auf dem Vorland unterhalb von u_{krit} lag.

Die Anfälligkeit des Polystyrolgranulats für Geschwindigkeitsfluktuationen kann mit der geringen Dichte, dem großen Korndurchmesser von $d_{50} \approx 2$ mm und der Kornform begründet werden.

Andererseits wird die Rehnenhöhe möglicherweise von Natur aus durch die Höhe der anstehenden Vegetation limitiert. Das jährliche Rehnenwachstum wird von *Klasz et al.* (2014) an der Donau in Österreich mit maximal 11 mm/Jahr und an der Elbe von *Rommel* (2013) mit durchschnittlich 6,4 mm/Jahr angegeben. Der Höhenzuwachs einer Rehne liegt demnach in der Regel im Bruchteil von Zentimetern und stellt einen mehrjährigen Prozess dar. Uferbewuchs, wie beispielsweise gemähter Rasen, Gras oder Schilf, weist dagegen mindestens Höhen

im Dezimeterbereich auf. Dementsprechend ist ein zyklischer, sukzessionsgesteuerter Prozess denkbar, der in Abbildung 6 schematisch dargestellt ist.

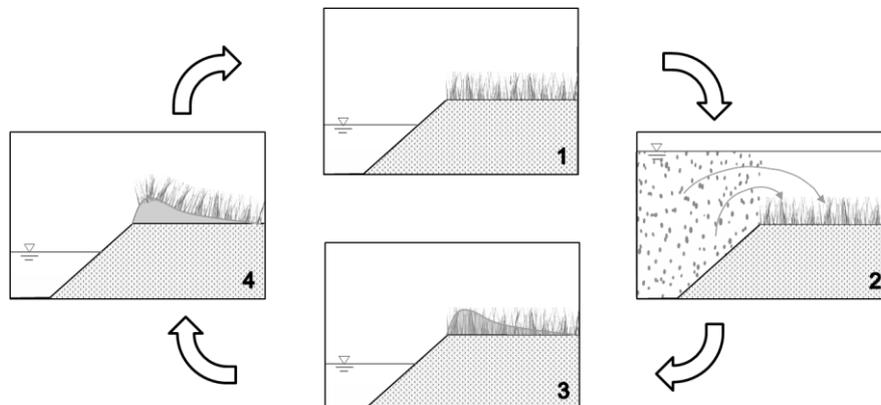


Abbildung 6: Sukzessionsgesteuerte Rehnengenese

Die Uferkante oder Altrehne eines Gewässers ist beispielsweise mit Gras bewachsen (1). Tritt ein Hochwasser auf, kommt es zum beschriebenen, diffusiven Transport von suspendiertem Sediment aus dem Hauptgerinne auf das Vorland (2). Unterstützt durch die strömungsberuhigende Wirkung des grasartigen Bewuchses, setzt sich das Sediment entlang der Uferkante ab und lagert sich bis zur Vegetationsoberkante an (3). Nach dem Hochwasser wächst auf den Sedimentablagerungen neues Gras. Das aufkommende Gras durchwurzelt die Ablagerungen und legt sie dadurch fest (4). Anschließend beginnt der Zyklus wieder von vorne.

5 Zusammenfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Rehnentstehung durch diffusive Transportprozesse von Sediment auf das Vorland untersucht. Im Laborversuch gelangen die Nachbildung der dafür nötigen Strömungsverhältnisse, sowie die erfolgreiche Nachbildung der zugehörigen Rehen. Die erhaltene Rehenmorphologie stimmt grundsätzlich gut mit den Informationen aus der Literatur überein.

Im Modell wurde die Bedeutung der unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Ausprägung der Rehen deutlich. Transportkörper und Wasserstand zeigten die stärksten Auswirkungen auf die Rehnenausbildung. Über die Fließgeschwindigkeiten hatte auch das Sohlgefälle einen geringen Einfluss auf die Ausbildung der Rehen. Die Versuchsdauer besaß dagegen nur einen untergeordneten Einfluss. Die Auswirkung von Ufervegetation auf die Rehnentstehung konnte in den Untersuchungen nicht erfasst werden. Dennoch legten die Versuche die Schlussfolgerung nahe, dass die Rehnentstehung möglicherweise neben der Strömung durch natürliche Sukzessionsprozesse bestimmt wird.

6 Literatur

- Adams, P.N.; Slingerland, R.L.; Smith, N.D. (2004): Variations in natural levee morphology in anastomosed channel flood plain complexes. *Geomorphology* 61.
- Branß, T. (2015): Experimentelle Untersuchungen zur Rehenbildung. TU Braunschweig Leichtweiß-Institut für Wasserbau, Abt. Wasserbau.
- Cazanacli, D.; Smith, N.D. (1998): A study of morphology and texture of natural levees - Cumberland Marshes, Saskatchewan, Canada. *Geomorphology* 25, 43-55.
- Czernuszenko, W.; Koziol, A.; Rowinski, P.M. (2007): Measurements of 3D Turbulence Structure in a Compound Channel. *Archives of Hydro-Engineering and Environmental Mechanics* Vol. 54, 55–73.
- Dittrich, A. (1998): Wechselwirkung Morphologie/Strömung naturnaher Fließgewässer. (Habil.) Mitteilungen des Institutes für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe Heft 198.
- Fernandes, J.N.; Leal, J.B.; Cardoso, A.H. (2012): Flow structure in a compound channel with smooth and rough floodplains. *European Water* 38, 3-12.
- HSMD (2012): „Nachbildung von Sieblinien aus künstlichen Sohlmaterialien in experimentellen Untersuchungen“, Hochschule Magdeburg Stendal Fachbereich Wasser- und Kreislaufwirtschaft.
- Hudson, P.F. (2005): Natural Levees. *Encyclopedia of Water Science*.
- James, C.S. (1985): Sediment transfer to overbank sections. *Journal of Hydraulic Research* Vol. 23 No. 5, 435-452.
- Klasz, G.; Reckendorfer, W.; Gabriel, H.; Baumgartner, C.; Schmalfluss, R.; Gutknecht, D. (2014): Natural levee formation along a large and regulated river: The Danube in the National Park Donau-Auen, Austria. *Geomorphology* 215, 20-33.
- Knight, D.W.; Shiono, K. (1990): Turbulence measurements in a shear layer region of a compound channel, *Journal of hydraulic Research* Vol. 28 No.2, 175-196.
- Nezu, I.; Onitsuka, K.; Iketani, K. (1999): Coherent horizontal vortices in compound open –channel flows. Department of Civil & Global Environment Engineering, Kyoto University, Japan.
- Rommel, J. (2013): Anthropogen beeinflusste Ufer- und Vorlandentwicklung an der unteren Mittelelbe. BAW Mitteilungen Nr. 97, 149-170.
- Sellin, R.H.J. (1964): A Laboratory investigation into the interaction between the flow in the channel of a river and that over its flood plain. *La Houille Blanche* No. 7,793-802.

Autoren:

Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Dittrich

M. Sc. Till Branß

Leichtweiß-Institut für Wasserbau
Technische Universität Braunschweig
Beethovenstr. 51a
38106 Braunschweig

Leichtweiß-Institut für Wasserbau
Technische Universität Braunschweig
Beethovenstr. 51a
38106 Braunschweig

E-Mail: a.dittrich@tu-braunschweig.de

E-Mail: t.branss@tu-braunschweig.de