



Technische  
Universität  
Braunschweig



Bundesministerium  
für Bildung  
und Forschung

NaWaM  
Nahtrifflige Wassermanagement



ReWaM

In\_Ströhmung

LWI

Leichtweiß-Institut für Wasserbau

Abteilung Wasserbau

Prof. Dr.-Ing. habil. Andreas Dittich



Foto: Branß

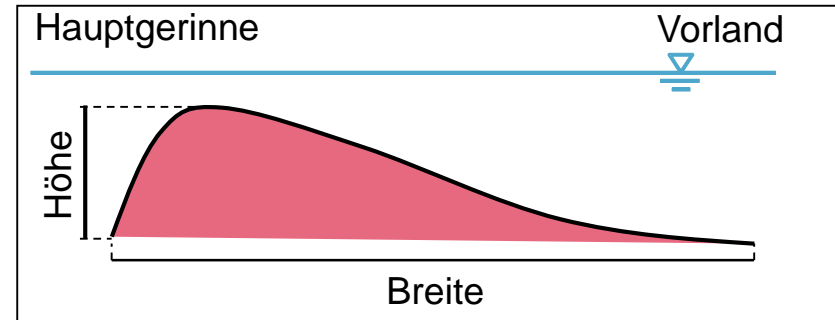
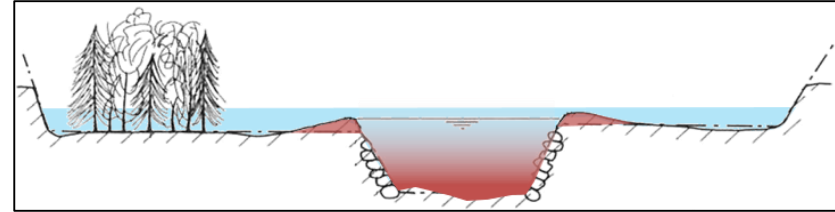
In\_Ströhmung Workshop, Leipzig 24.01.2018

# Entstehung und Bedeutung von Uferreihen

Till Branß & Andreas Dittich

# Was sind Uferreehen?

- wallartige Sedimentablagerungen
- weltweit zu finden
- entstehen wenn bei Hochwasser suspendiertes Sediment auf das Vorland transportiert wird
- teils mehrere Meter hoch (abhängig von Gewässergröße)
- höchste Erhebung auf dem Vorland
- meist von Bewuchs überdeckt
- an ausgebauten Flussläufen besonders ausgeprägt (fehlende Seitenerosion)



# Relevanz von Uferreihen I

- Historisch:
  - Ort früher menschlicher Siedlungen (Bsp. New Orleans)
  - Bevorzugter Bereich für Landwirtschaft
- späteres Ausufern des Gewässers
  - steigender Wasserstand im Hauptgerinne  
→ steigende Sohlenschubspannung  
→ Gefahr der Tiefenerosion
  - Verschlechterung der Quervernetzung von Aue und Flussschlauch
- Einfluss auf die Hydraulik bei Hochwasser
  - Reduzierung des Abflussquerschnitts (Gewässer mit schmalen Vorländern)
  - Beeinflussen die Wirksamkeit der Vorländer



By US Army Corps of Engineers [Public domain], via Wikimedia Commons

# Relevanz von Uferrehnen II

- Vermindern flächigen Sedimenttransport auf die Vorländer  
(Gewässer mit breiten Vorländern)



Elbe 2011, Artlenburger Deichverband

- Bereich hoher ökologischer Wertigkeit
  - Nähe zum Wasser & dichter Bewuchs
  - Rückzugsort bei niedrigen Hochwasserereignissen

**Uferrehnen sind ein wichtige morphologische Struktur mit Bedeutung für  
WRRL & HWRM-RL**

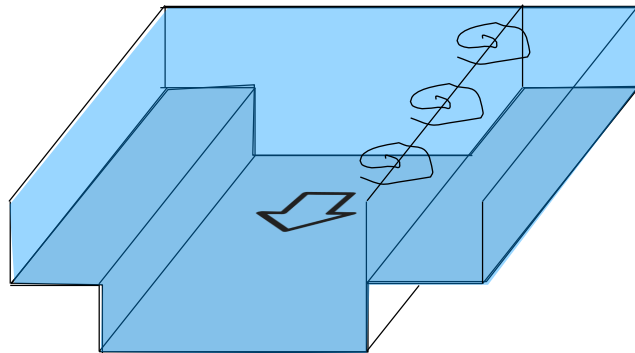
**Entstehung und beteiligte Parameter noch nicht vollständig bekannt**

# Entstehung von Rehen

Grundsätzlich werden in der Literatur **zwei Transportprozesse** diskutiert, die für die **Rehnenentstehung** verantwortlich gemacht werden.

## Turbulenzinduzierter Sedimenttransport

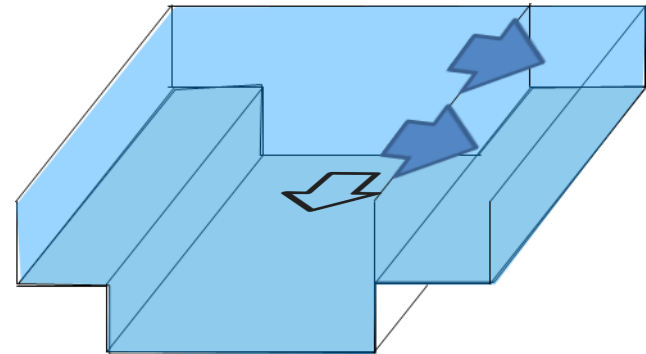
(ADAMS ET AL. 2004)



- identischer Wasserstand auf dem Vorland und im Hauptgerinne
- Ausbildung einer Scherschicht zwischen Hauptgerinne und Vorland
- suspendiertes Sediment gelangt durch Wirbelstrukturen auf das Vorland

## Advektiver Sedimenttransport

(FILGUEIRA-RIVERA ET AL. 2007)



- höherer Wasserstand im Hauptgerinne als auf dem Vorland
  - Wasser fließt auf das Vorland und transportiert Sediment mit

# Potentielle Einflussparameter auf die Rehenbildung

<b>Gewässergröße</b>	
<b>Art des Sedimenteintrags auf das Vorland</b>	- turbulenzinduziert - advektiv
<b>Sedimentdargebot im Hauptgerinne</b>	
<b>Anströmung des Ufers</b>	- Prallufer - Gleitufer - Kurvenradius
<b>Bettverlagerung</b>	- festgelegtes Hauptgerinne - unbefestigtes Hauptgerinne
<b>Vorlandbreite</b>	
<b>Relativer Wasserstand</b>	- Höhe des Hochwassers - Höhe des Vorlands
	- Höhe der Altrehne
<b>Häufigkeit und Dauer der Überflutung</b>	
<b>Einfluss von Vorlandbewuchs (Unterhaltungsstrategien)?</b>	
<b>Einfluss der Sohlenmorphologie ?</b>	

Welche Parameter sind Maßgeblich für die Entstehung von Uferrehnen?

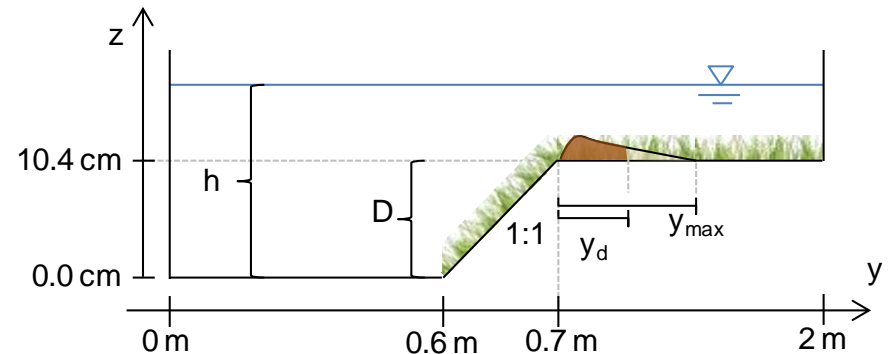
Welchen Einfluss besitzt Ufervegetation?

# Modellaufbau

- 30 m lange und 2 m breite, neigbare Rinne mit Geschiebekreislauf
- 20 m langes Modell eines halben Doppeltrapezgerinnes
- Vorland und Böschung sind mit Kunstrasen bedeckt

## Hydraulische Randbedingungen

- $u_V \leq u_{\text{krit}}$
- $u_H \geq 2-3 u_{\text{krit}}$  (Sediment in Suspension)
- Normalabfluss



## Sediment

### Polystyrolgranulat

(kürzere Versuchsdauer)

$$\begin{aligned}\rho &= 1058 \text{ kg/m}^3 \\ d &= 2 \text{ mm} \\ u_{\text{krit}} &= 9,5 \text{ cm/s}\end{aligned}$$



Foto: Branß



Foto: Branß

# Erste Versuche

- Erzeugung von Rehnen im Labor möglich?
- advektiver Sedimenttransport  
→ großflächigen Sedimentation
- **turbulenzinduzierter Transport**  
→ Entstehung einer Rehne
- **Wichtigste Einflussfaktoren:**  
→ Wasserstand  
→ Sedimentverfügbarkeit



Foto: Branß  
Versuch 1



Foto: Branß  
Versuch 3



Elbe 2011, Artlenburger Deichverband



Elbe 2011, Artlenburger Deichverband



# Verifizierung der Granulatversuche

- Versuche mit Sand:

$$\rho = 2650 \text{ kg/m}^3$$

$$d_{50} = 0,43 \text{ mm}$$

$$u_{\text{krit}} = 32 \text{ cm/s}$$



Foto: Branß

- Ausbildung einer definierten Rehnenform
- geringe Unterschiede durch größere Korngröße des Granulats

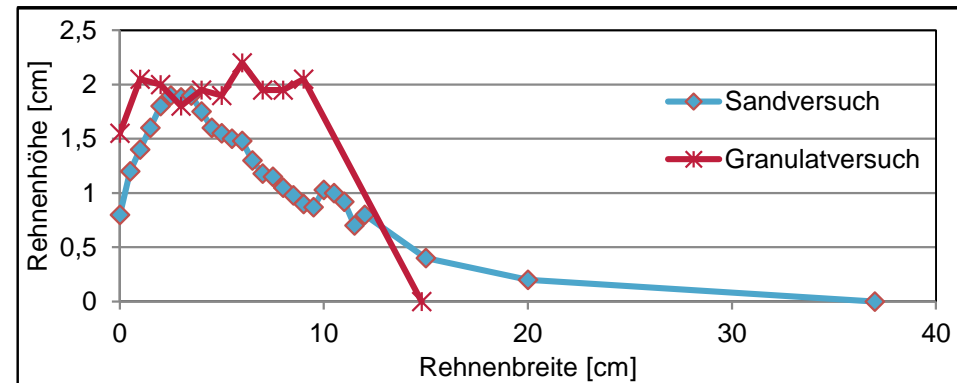
**vergleichbares  
Ablagerungsverhalten**



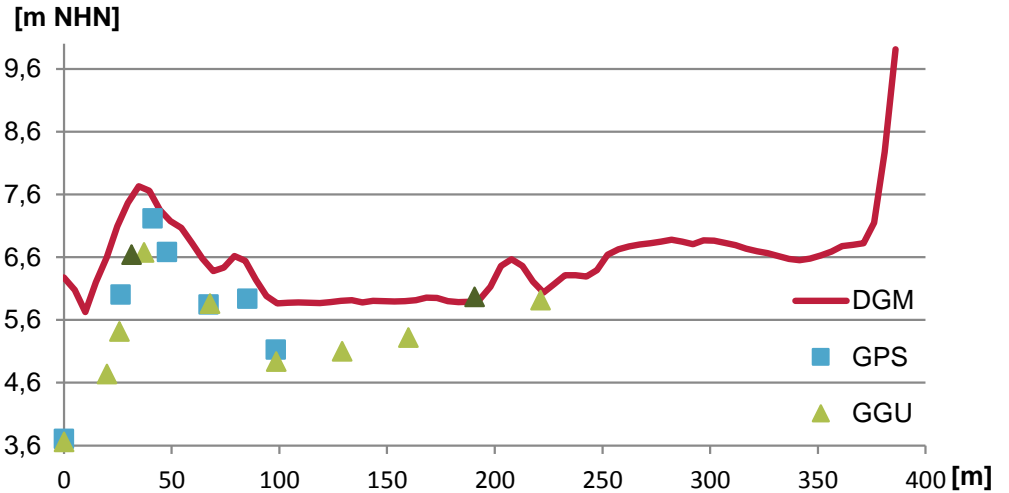
Foto: Branß



Foto: Branß

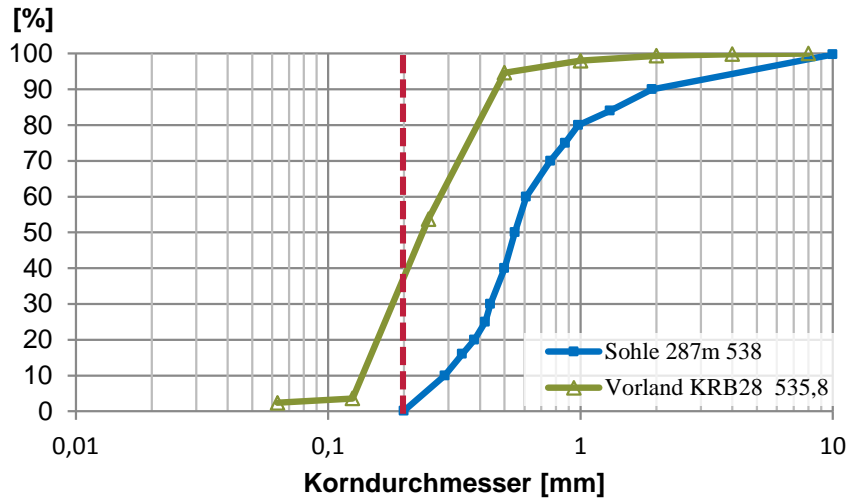


# Daten von der Elbe

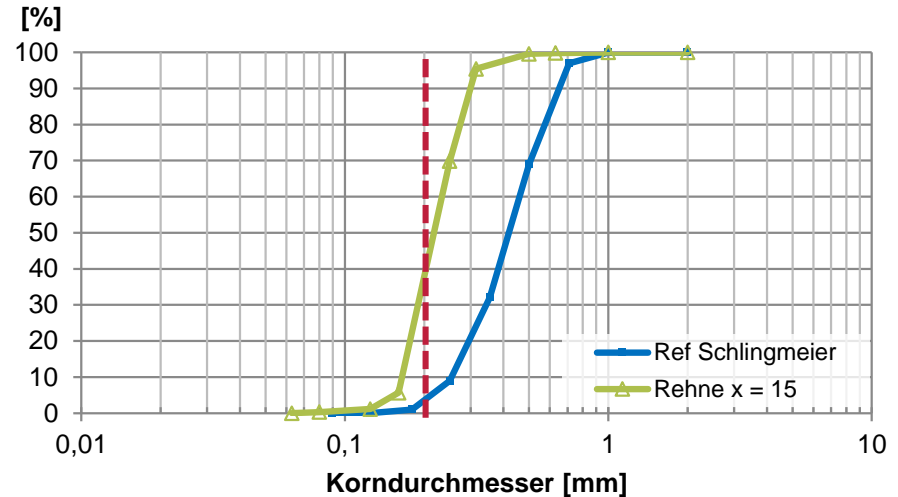


# Material der Rehne (Sieblinie)

Untersuchungen an der Elbe:



Sandversuche am LWI



- Rehenmaterial  $d_{50} > 0,2 \text{ mm}$  → Bettbildendes Sediment
- Bestätigt, dass Rehen aus bettbildendem Material gebildet werden, **d.h. das Material kommt aus der Flusssohle**
- Ähnlicher Sortierungsprozess an der Elbe und im Sandversuch

# Modellaufbau - Mittelbewuchs

## Bewuchsimitat

- Orientiert an der Porosität junger Weiden (Rauch, 2003; VanVelzen, 2003)
- Versetzte Zylinderanordnung

## Untersuchte Anordnungen

- kontinuierlicher Bewuchsstreifen
  - 2 Anordnungsichten:
    - $a_{x,y} = 4 \times 4 \text{ cm}$
    - $a_{x,y} = 2 \times 2 \text{ cm}$
- abschnittsweise Auslichtung (120 cm lange Pflanzengruppen)
  - mit Lücken von:  
**60 cm, 120 cm, 180 cm**

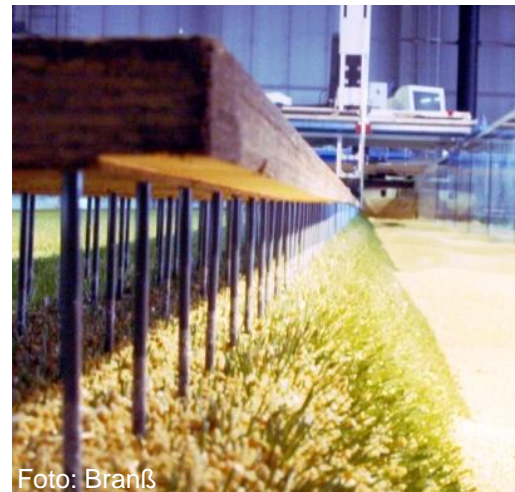
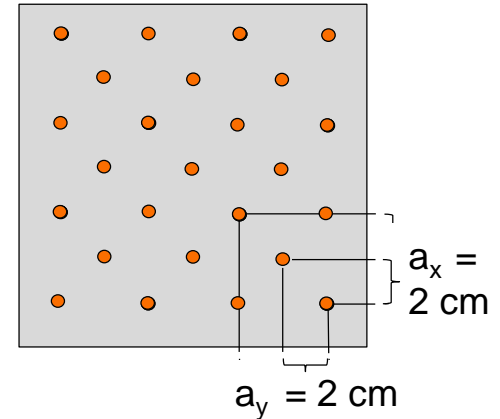


Foto: Branß

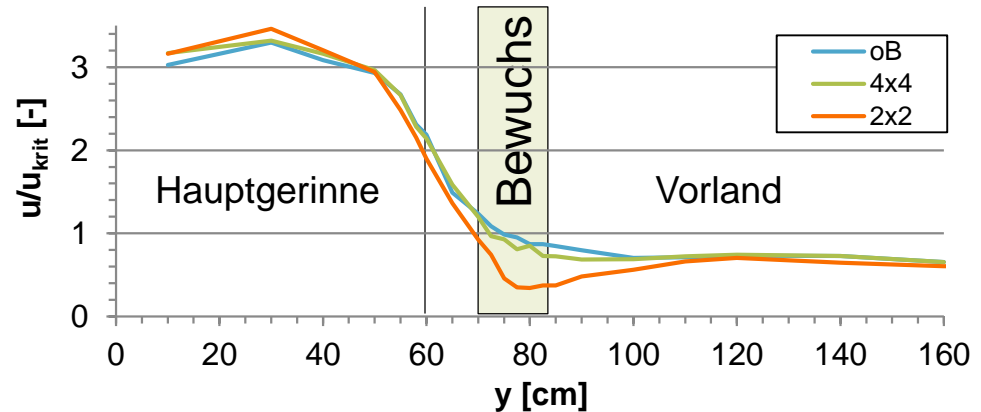


Foto: Branß

# Kontinuierlicher Mittelbewuchs - Hydraulik

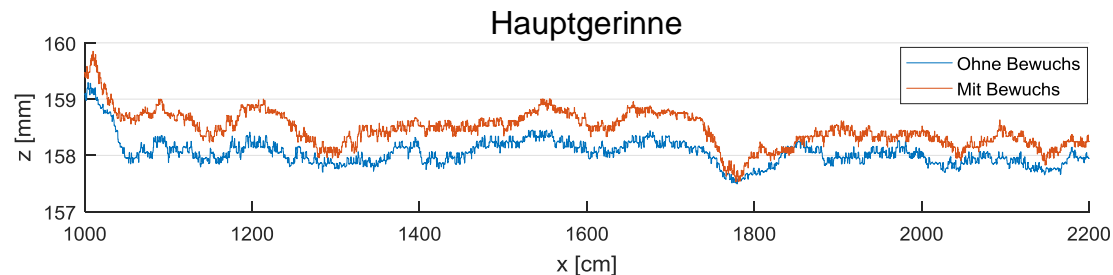
## Fließgeschwindigkeiten

- laterales, tiefengemitteltetes Geschwindigkeitsprofil
- maximale Differenzen im Bereich der Uferkante:
  - $4 \times 4 \rightarrow \approx -10 \%$
  - $2 \times 2 \rightarrow \approx -55 \%$

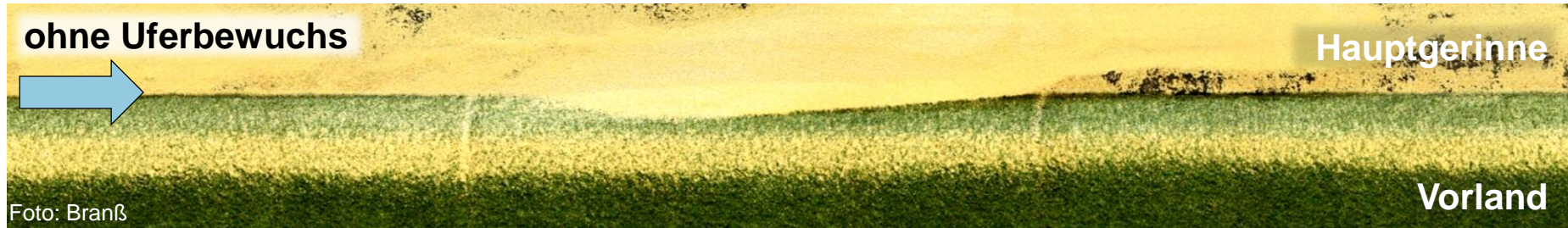


## Wasserstand

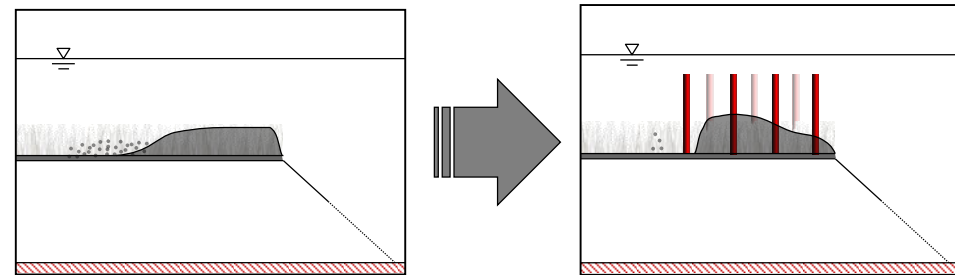
- bestimmt für dichten Bewuchs 2 x 2 (worst case)
- $\Delta z_m = 0,4 \text{ mm}$  (Messgenauigkeit)
- **keine signifikanten Auswirkungen auf den WSP**



# Kontinuierlicher Mittelbewuchs - Rehne



- größere Ablagerungshöhe
- Höchster Punkt der Rehne in Richtung des Vorlands verlagert

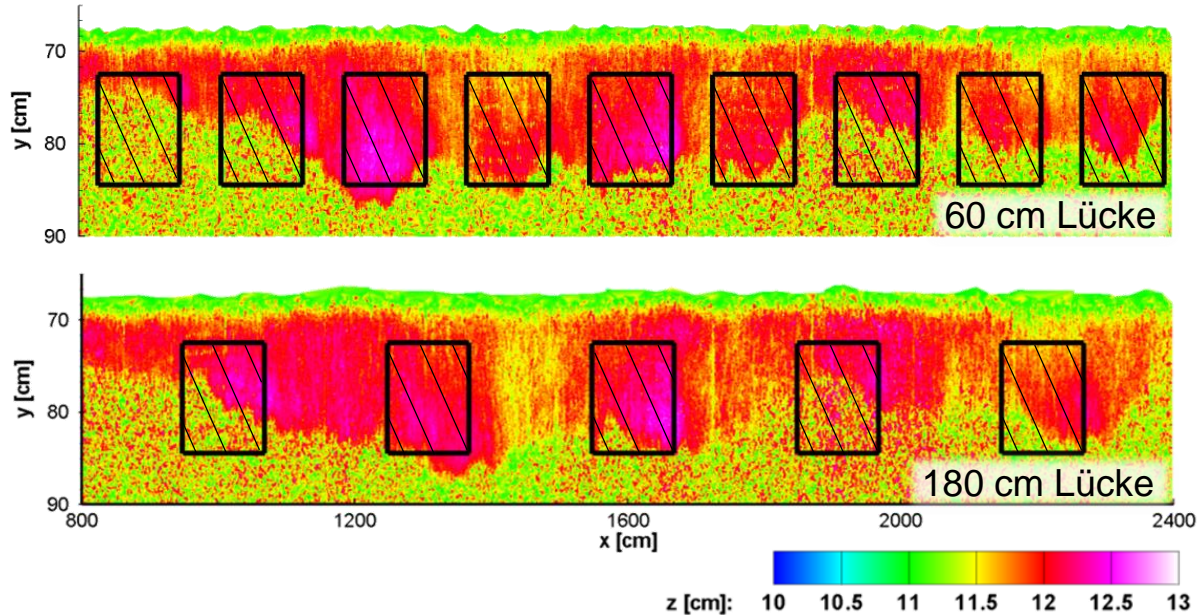


**Dichter Uferbewuchs führt zur verstärkten Rehnenbildung**

# Ausgelichteter Mittelbewuchs - Rehne

## 60 cm Lücke

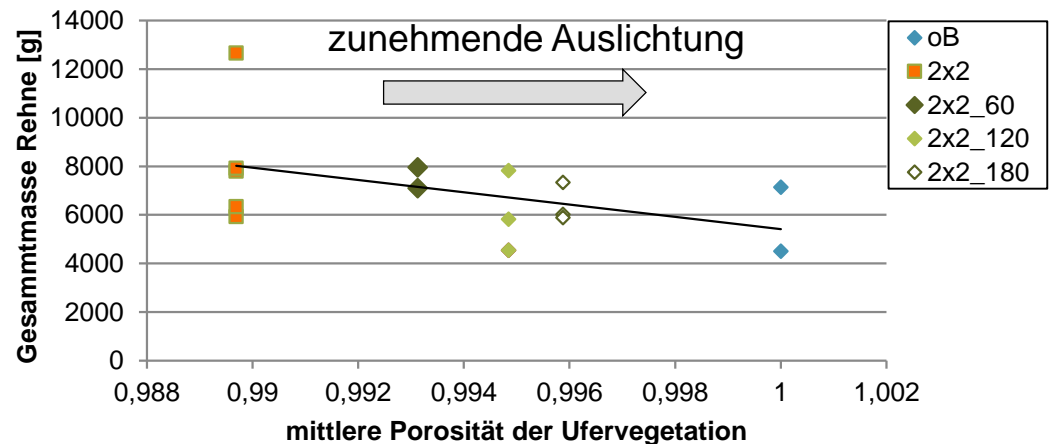
maximale Ablagerungen  
im Uferbewuchs



## 180 cm Lücke

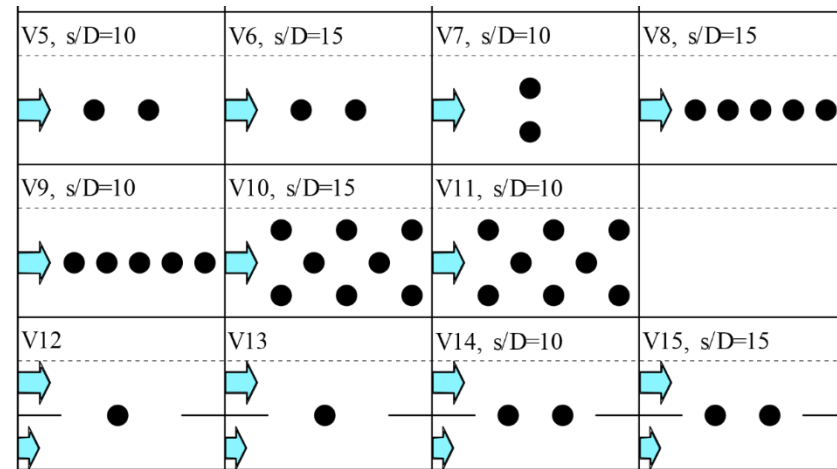
maximale Ablagerungen  
hinter dem Uferbewuchs

zunehmender Auslichtung  
→ abnehmende  
Rehnenmasse

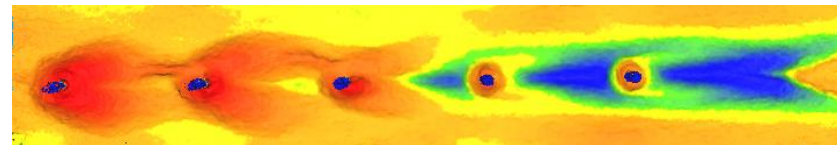


# Einfluss von Großbewuchs (Bäume)

- Kolkbildung um Einzelpfeiler ist bekannt
- Kolkbildung um Baumgruppen?
- **Verringerung der Rehenentstehung durch Kolkwirkung von Baumgruppen?**
- Vorversuche zur Kolkwirkung um Baumgruppen



$s/D = 15$





# Einfluss Baumbewuchs

- Simulation von Bäumen mit Holzstäben von 2 cm Durchmesser
- Untersuchung von Reihen und Versatzanordnung
- leicht verstärkte Ablagerungen im Vergleich zum Fall ohne Bewuchs
- Einfluss auf den Wasserstand vernachlässigbar
- lokale Kolkbildung um die Pfeiler gering



Foto: Branß



Foto: Branß



Foto: Branß

# Zusammenfassung

- Uferrehnen sind ein wichtiges morphologisches Element mit Bedeutung für WRRL & HWRM-RL
- Das Material der Rehne kommt aus der Flusssohle
- Wichtigste Einflussfaktoren auf die Entstehung sind:
  - Sedimentverfügbarkeit
  - Wasserstand
  - Höhe des Vorlands bzw. der Altrehne
- Uferbewuchs ist nicht der Haupteinflussfaktor
  - Dichter Uferbewuchs (z.B. Büsche) begünstigt die Anlagerung von Sedimenten
  - Bäume beeinflussen die Rehnenentstehung nicht signifikant
- Die Entstehung von Rehnen kann nicht vollständig verhindert werden
- **Rehnen möglichst belassen wenn sie die Hochwassersituation nicht beeinträchtigen (breite Vorlandflächen)**

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit



Foto: Branß



Technische  
Universität  
Braunschweig

## Entstehung und Bedeutung von Uferreihen

24.01.2018 | Prof. Dr-Ing. habil. Andreas Dittrich & Till Branß M.Sc. | Workshop In\_Strömung

