



Petra Fleischer, Bundesanstalt für Wasserbau

Technische Bewertung der technisch-biologischen Maßnahmen hinsichtlich der Gewährleistung des Uferschutzes

BAW/ BfG Kolloquium „Technisch-biologische Ufersicherungen an der Versuchsstrecke am Rhein – Chancen und Herausforderungen hinsichtlich Uferschutz und Ökologie

Worms, 18. und 19.06.2018



- Anforderungen
- Ausgewählte Ergebnisse aus technischer Sicht
- Fazit



Technisches Schüttsteindeckwerk



Rückbau von Ufersicherungen



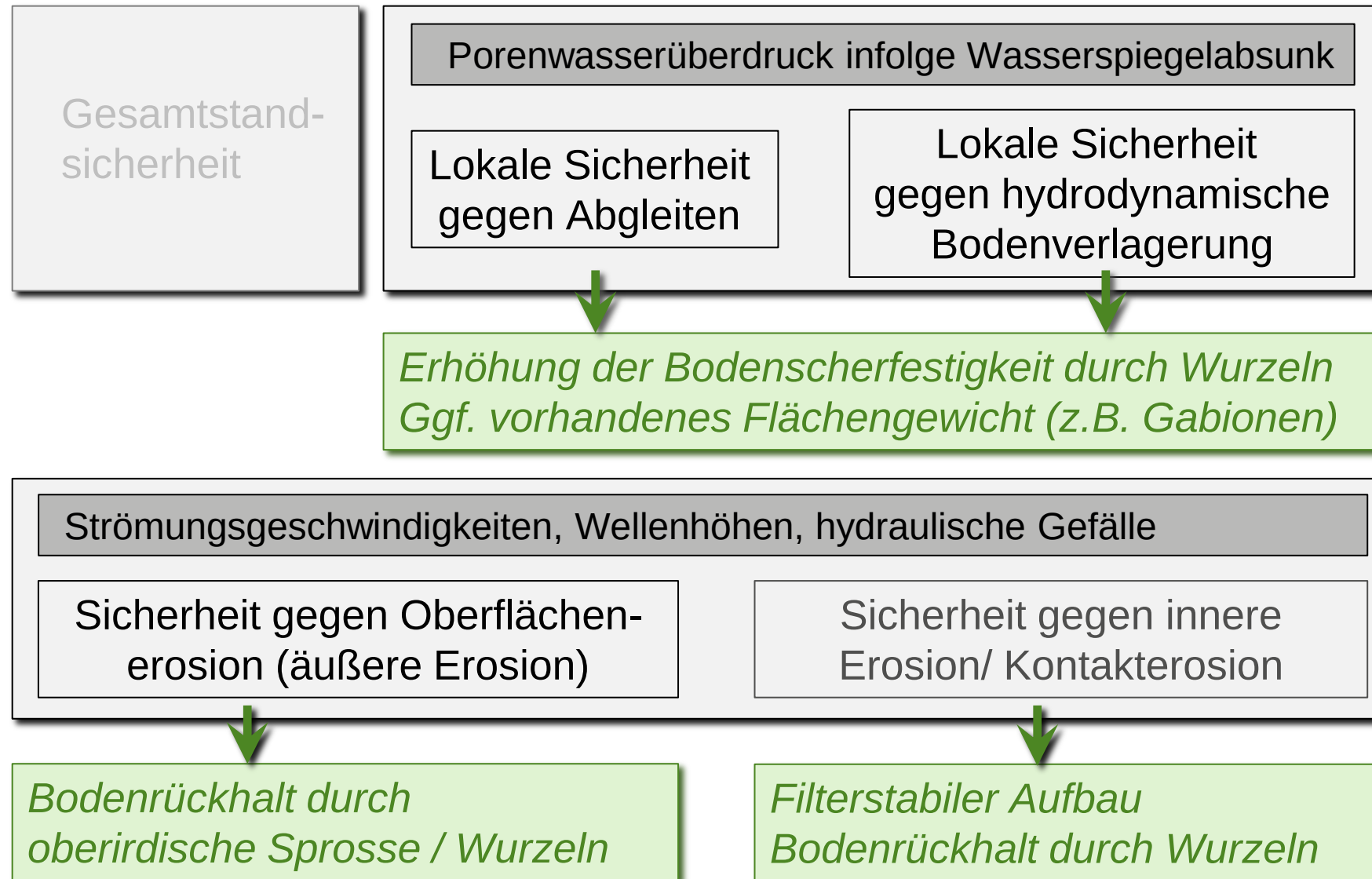
Technisches Schüttsteindeckwerk



Technisch-biologische Ufersicherungen

Mehr Naturnähe und stabile Ufer!

Anforderungen an Ufersicherungen mit Pflanzen



Kritischer Anfangszustand:

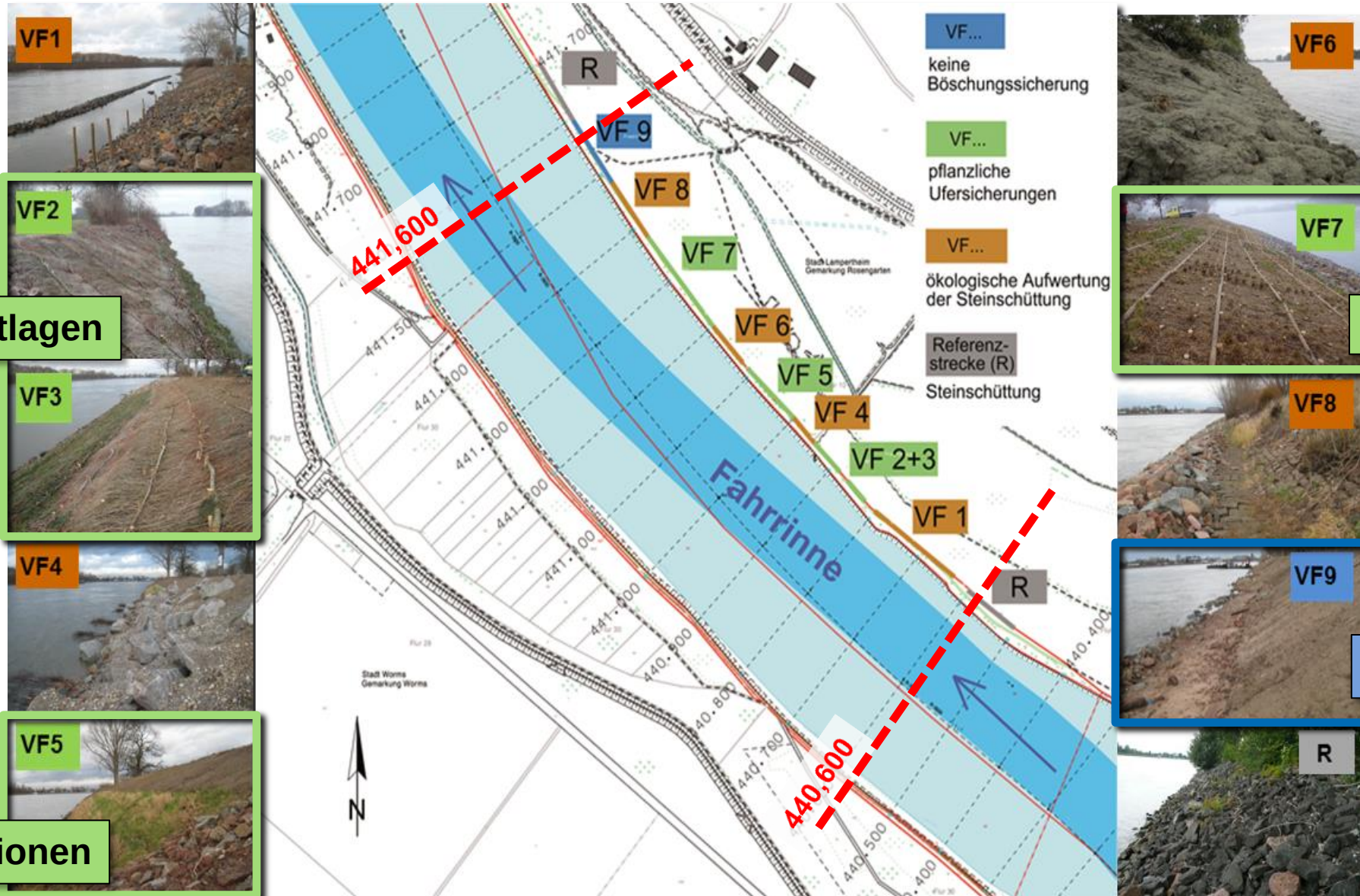
- Ohne Wurzeln und Sprosse
- Belastung sofort nach Einbau (Schiffahrt, Hochwasser, ...)
- Sofortiger Uferschutz erforderlich!

Langfristiger Uferschutz:

- Pflanzen als lebende, sich ständig verändernde Elemente

Naturversuch

4 VF: Ersatz der Steinschüttung durch alternative Ufersicherungen mit Pflanzen, 1 VF: ohne Schutz



VF = Versuchsfeld

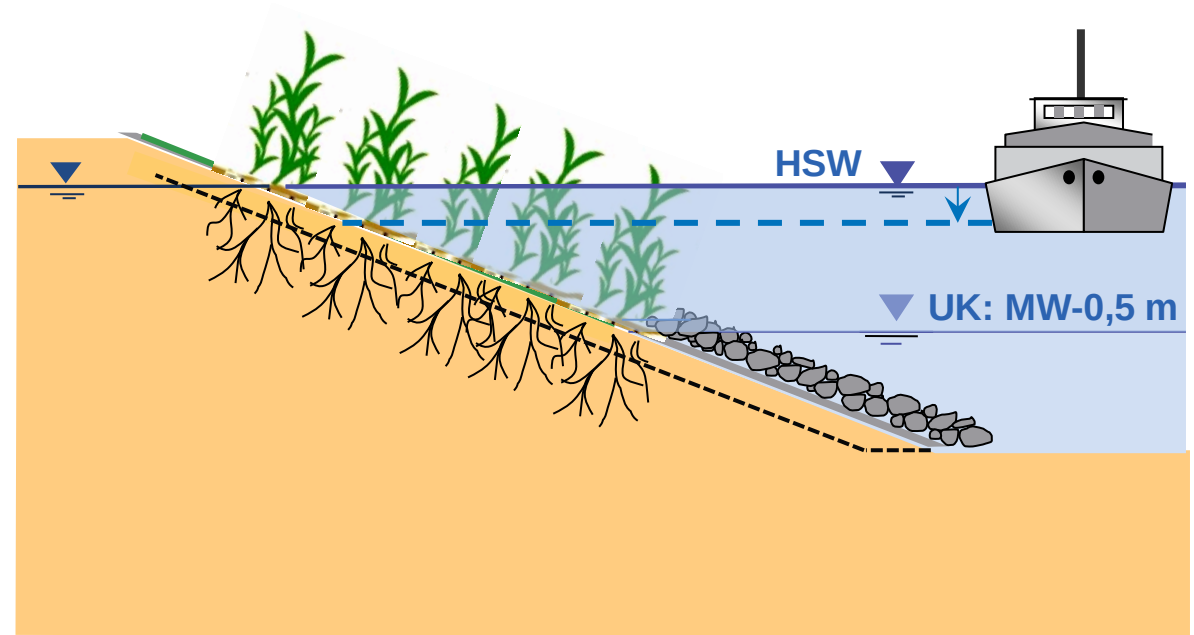
Weidenspreitlagen

Pflanzmatten

ohne Uferschutz

Röhrichtgabionen

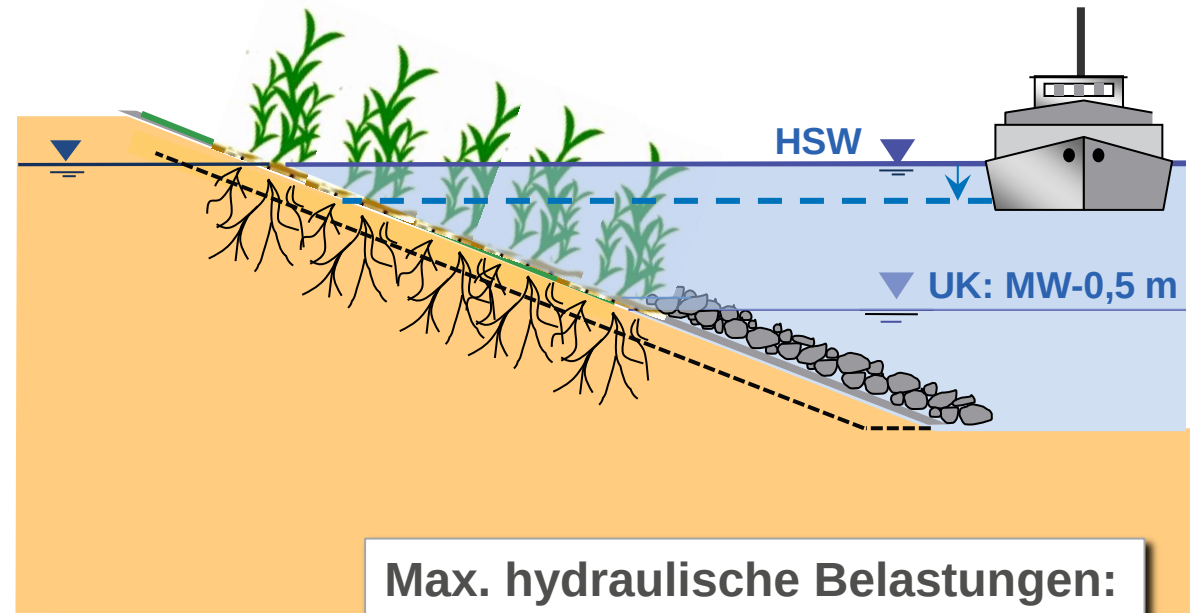
Versuchsfelder 2 und 3: Ersatz der Steinschüttung durch Weidenspreitlagen (quer und diagonal verlegt)



**Weiden müssen Uferschutz
gewährleisten!
(kein Flächengewicht)**



Versuchsfelder 2 und 3: Ersatz der Steinschüttung durch Weidenspreitlagen (quer und diagonal verlegt)



**Max. hydraulische Belastungen:
Berechnet nach GBB, 2010**

$$z_A = 0,7 \text{ m}$$

$$H_{u, \text{Heck}} = 0,8 \text{ m}$$

$$v_{\text{max}} = 2,2 \text{ m/s}$$

Flächengewicht erforderlich:
 $d_{\text{erf.}} = 28 \text{ cm}$ (PWÜ gemessen)

**Weiden müssen Uferschutz
gewährleisten!
(kein Flächengewicht)**



2.3.2012



Kritische Anfangszeit (mehrere Hochwasser)

- ▶ Infolge der ersten Hochwasser lokale Bodenerosion unter den Spreitlagen – *Keine flächendeckende Verlegung der Weidenäste erreicht! Kein filter- und erosionsstabiler Aufbau! Zusätzlich Begünstigung der Erosion durch hydrodynamische Bodenverlagerungen (Porenwasserüberdrücke)!*
- ▶ Einzelne Holzpflocke gelockert und heraus gezogen (nicht tief genug im Boden) – *Befestigungen nicht ausreichend!*
- ▶ Lokale Rutschungen (*Porenwasserüberdrücke*) – *Keine Auflast! Noch keine Wurzeln!*

Maßnahmen:

- Nachschlagen der Pflöcke
- Erneute Übererdung der Weidenäste

Versuchsfelder 2 und 3: Ersatz der Steinschüttung durch Weidenspreitlagen (quer und diagonal verlegt)



Auffällig: Bevorzugte Austriebe im Bereich der Querriegel



Gute Stabilisierung mit zunehmendem Wurzel- und Sprosswachstum



- Auch bei Überstau zunehmend stabiler durch ausgebildete Wurzeln und Sprosse
- Wasserwechselbereich um MW – weniger Triebe (am meisten belasteter Bereich)



Varianten: Radikaler flächiger (VF 2) und abschnittsweiser Rückschnitt (VF 3)



VF 3

Testen erster Unterhaltungsmaßnahmen
(Förderung Wurzelbildung und Flexibilität (Hochwasserabfluss))

VF 2

Zunächst guter
Wiederaustrieb

Abschnittsweiser
Rückschnitt (VF 3) 7.5.2015

Schwächung der Weiden durch langen Überstau
und nachfolgende NW-Periode mit großer Hitze

Anfang April 2015

Ende April 2015

Varianten: Radikaler flächiger (VF 2) und abschnittsweiser Rückschnitt (VF 3)

Versuchsfelder 2 und 3: Ersatz der Steinschüttung durch Weidenspreitlagen (quer und diagonal verlegt)

Großflächiger Rückschnitt (VF 2)

- Nur z.T. gute Regenerierung
- **Abschnittsweiser Rückschnitt (V 3)**
besser als großflächiger (VF 2)
(weniger Erosion durch Strömung)

Anfang Mai 2015

VF 2

2.7.2015

VF 2

10/11/2015 11:15
10.11.2015

Abgestorbene Weiden/ Bodenerosion
im mittleren Böschungsbereich

VF 2

19.7.2016

Zeitliche Entwicklung der Weidenspreitlagen



Vor der Baumaßnahme

Regelmäßig Panoramafotos vom gegenüberliegenden Ufer

Zeitliche Entwicklung der Weidenspreitlagen



Regelmäßig Panoramafotos vom gegenüberliegenden Ufer

Zeitliche Entwicklung der Weidenspreitlagen



Regelmäßig Panoramafotos vom gegenüberliegenden Ufer

Zeitliche Entwicklung der Weidenspreitlagen



Regelmäßig Panoramafotos vom gegenüberliegenden Ufer

Zeitliche Entwicklung der Weidenspreitlagen



Zeitliche Entwicklung der Weidenspreitlagen



Regelmäßig Panoramafotos vom gegenüberliegenden Ufer

Zeitliche Entwicklung der Weidenspreitlagen



Regelmäßig Panoramafotos vom gegenüberliegenden Ufer

Zeitliche Entwicklung der Weidenspreitlagen



Regelmäßig Panoramafotos vom gegenüberliegenden Ufer

Zeitliche Entwicklung der Weidenspreitlagen



Regelmäßig Panoramafotos vom gegenüberliegenden Ufer

Zeitliche Entwicklung der Weidenspreitlagen



Regelmäßig Panoramafotos vom gegenüberliegenden Ufer

Zeitliche Entwicklung der Weidenspreitlagen



Regelmäßig Panoramafotos vom gegenüberliegenden Ufer

Wurzelaufgrabungen 2012 und 2017
(In Zusammenarbeit
mit der Leibniz-Universität Hannover)

→ Extra Vortrag



Fazit aus technischer Sicht:

- Flächiges Anwachsen der Weiden wichtig für langfristigen Uferschutz
- Bodenkontakt wichtig – Querriegel und Pflöcke in engem Raster
- Nicht zu dünne Weidenäste – flächendeckende Verlegung
- Fichtenreisig nicht als Erosionsschutz geeignet
- Unterhaltung ist wichtig! Weidensprosse müssen biegsam bleiben – Hochwasserschutz!
- Prinzipiell gut für Binnenwasserstraßen geeignet!
- Empfohlene Anwendung an Böschungen mit 1:3 und flacher und wenn kein Flächengewicht erforderlich ist.

Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Versuchsstrecke

→ **Kennblatt „Weidenspreitlagen“ unter <http://ufersicherung.baw.de/de>**

Versuchsfeld 7: Ersatz der Steinschüttung durch vorkultivierte Pflanzmatten



Schlank-Segge,
Sumpf-Segge,
Sumpf-Schwertlilie,
Rohr-Glanzgras,
Rohrschwengel,
Weißes Straußgras,
Quecke, ...
(20 Pflanzen pro m²
vorgezogen auf
Kokosgewebe)

**Pflanzen müssen Uferschutz
gewährleisten!
(kein Flächengewicht)**

Testen verschiedener Filtermatten
(Kunststoffvlies, Kokosgewebe, Schafwollvlies)

Versuchsfeld 7: Ersatz der Steinschüttung durch vorkultivierte Pflanzmatten



Max. hydraulische Belastungen: Berechnet nach GBB, 2010

$$z_A = 0,4 \text{ m}$$

$$H_{u, \text{Heck}} = 0,6 \text{ m}$$

$$v_{\text{max}} = 1,6 \text{ m/s}$$

Flächengewicht erforderlich:

$$d_{\text{erf.}} = 10 \text{ cm}$$

Schlank-Segge,
Sumpf-Segge,
Sumpf-Schwertlilie,
Rohr-Glanzgras,
Rohrschwengel,
Weißes Straußgras,
Quecke, ...
(20 Pflanzen pro m²
vorgezogen auf
Kokosgewebe)

**Pflanzen müssen Uferschutz
gewährleisten!
(kein Flächengewicht)**

Testen verschiedener Filtermatten
(Kunststoffvlies, Kokosgewebe, Schafwollvlies)



Zustand nach 10-wöchigem Einstau 2013

Sehr kritisches Anfangsstadium
in häufig eingestauten Bereichen!

- ▶ Infolge der ersten Hochwasser bei Überstau (Auftrieb) und gleichzeitig Wellen und Strömungen:
 - Holzpflöcke/Querriegel gelockert und herausgezogen (*nicht tief genug im Boden*) – *Keine ausreichenden Befestigungen!*
 - *Kein flächiger Bodenkontakt erreichbar mit den überwiegend punktuellen Befestigungen!*
- ▶ *Bei Überstau Heben und Senken der Matten zwischen den Befestigungen. Kein Anwachsen möglich!*
- ▶ *Kokosgewebe schnell zerstört! Schafwollmatte schnell aufgelöst! Nur Kunststoffgeotextil stabil!*
- ▶ *Erosionsschutz nur noch durch Kunststoffgeotextil!*
- ▶ *Lokale Rutschungen – Keine Auflast!*

Maßnahmen:

- Zunächst Nachschlagen der Pflöcke
- Sanierung mit Wasserbausteinen!

Versuchsfeld 7: Ersatz der Steinschüttung durch vorkultivierte Pflanzmatten

8.9.2016



2013: Sanierung mit einer Steinlage im häufig eingestauten unteren Bereich

7/2014
(MW-50cm)



Wachstum aus alten Pflanzmatten durch stabile Lage unter der Wasserbausteinschicht

Versuchsfeld 7: Ersatz der Steinschüttung durch vorkultivierte Pflanzmatten

8.9.2016



2013: Sanierung mit einer Steinlage im häufig eingestauten unteren Bereich

7/2017
(MW-50cm)



Versuchsfeld 7: Ersatz der Steinschüttung durch vorkultivierte Pflanzmatten

8.9.2016

Gute Entwicklung im oberen, selten eingestauten Böschungsbereich



2013: Sanierung mit einer Steinlage im häufig eingestauten unteren Bereich

7/2017
(MW-50cm)



**Anwendungsgrenzen für Pflanzmatten in dieser Form ermittelt!
Alternative Bauweise: Pflanzmatten mit einer Steinlage!**



Wurzelaufgrabungen 2017
(Masterarbeit Leibniz-Uni Hannover)

Einfluss Geotextil?

→ Extra Vortrag

Fazit aus technischer Sicht:

- Flächiges Anwachsen der vorkultivierten Pflanzen wichtig für langfristigen Uferschutz
- Hier getestete punktuelle Befestigungen in häufig und lange eingestauten Böschungsbereichen nicht geeignet (Stabilität durch Anwendung mit einer Steinlage)
- Kokosmatten und Schafwollvlies nicht geeignet, bauen sich zu schnell ab
- Temporäre, biologische abbaubare Filtermatten optimal - in der Entwicklung
- Prinzipiell für Binnenwasserstraßen geeignet!
- Empfohlene Anwendung nur in selten eingestauten Bereichen, an Böschungen mit 1:3 und flacher und wenn kein Flächengewicht erforderlich ist

Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Versuchsstrecke



Kennblatt „Vorkultivierte Pflanzmatten“ unter <http://ufersicherung.baw.de/de>

Versuchsfeld 7a: Ersatz der Steinschüttung durch Kokosgewebe über Nassansaat (Gräser und Kräuter)



Nur im seltener eingestauten
oberen Böschungsbereich
(oberhalb M + 1,70 m)

Nur punktuelle
Befestigungen!
Keine Querriegel!

Mit Kokosmatte kein
filterstabiler Aufbau!



Problem Anfangsstadium!

Bei Überstau (Auftrieb) und gleichzeitigen schiffsinduzierten Belastungen

- **Oberflächennahes Abgleiten**
- **Hydrodynamische Bodenverlagerungen**
- **Erosion (Bodenaustrag)**

Ursachen:

- Kokosgewebe sehr grobmaschig, nicht filterstabil
- Ausschließlich punktuelle Befestigungen, keine Querriegel
- Noch keine Wurzeln
- Kein Flächengewicht

Nach 1. Hochwasser 2011/12 (kurz nach Einbau!)

Versuchsfeld 7a: Ersatz der Steinschüttung durch Kokosgewebe über Nassansaat



Großflächige Sanierungen mit zusätzlichen Befestigungen im April 2012



**Weitgehend stabil,
da seltener eingestaut!
Relativ gute Pflanzenentwicklung!
Aber weiterhin lokale Schadstellen!**



Kokosgewebe über Nassansaat technisch nicht im **X**
Einflussbereich von Wellen und Strömungen geeignet!



Hochwasser Juli 2016
(Wasserstand ca. 2 m über MW)



Sanierung mit Wasserbausteinen (einlagig)
Anfang 2017 - nach Zunahme der Schäden

Versuchsfeld 5a: Ersatz der Steinschüttung durch vorkultivierte Röhrichtgabionen



**Kombinierte Bauweise
aus biologischen und
technischen Komponenten
(Flächengewicht)**



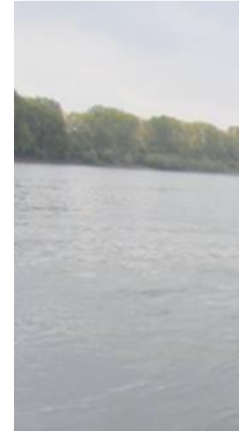
**Gute Stabilität von Anfang an
durch Eigengewicht!**

**Keine zusätzlichen
Befestigungen erforderlich!**

Versuchsfeld 5a: Ersatz der Steinschüttung durch vorkultivierte Röhrichtgabionen



**Kombinierte Bauweise
aus biologischen und
technischen Komponenten
(Flächengewicht)**



**Max. hydraulische Belastungen:
Berechnet nach GBB, 2010**

$$z_A = 0,6 \text{ m}$$

$$H_{u, \text{Heck}} = 0,9 \text{ m}$$

$$v_{\text{max}} = 2,0 \text{ m/s}$$

Flächengewicht erforderlich
 $d_{\text{erf.}} = 30 \text{ cm}$ (Neigung 1 : 2,5)



**Gute Stabilität von Anfang an
durch Eigengewicht!**

**Keine zusätzlichen
Befestigungen erforderlich!**



Anfangsstadium:
Zunächst sehr gute Entwicklung!



2012: Erste Schädigungen nach mehreren
Überstauereignissen
Anfänglich Erholung der Pflanzen



Anfangsstadium:
Zunächst sehr gute Entwicklung!



Weitere massive Schädigungen durch
Hochwasser 2013 (10 Wochen Einstau)
Nur noch bestimmte Pflanzenarten stabil!

**Nur bestimmte Arten
(Großseggen: Schlank-
Segge) ausreichend stabil
und überstauungsresistent!**

8.9.2016

2016



- Ausfall der meisten Pflanzenarten (z.B. Rohrglanzgras)
- Zerstörung Kokosgewebe
- Zunehmender Austrag von Boden
- Schottersteine rutschen hangabwärts

Versuchsfeld 5a: Ersatz der Steinschüttung durch vorkultivierte Röhrichtgabionen

Nur bestimmte Arten
(Großseggen: Schlank-
Segge) ausreichend stabil
und überstauungsresistent!

8.9.2016

2016



Sanierung!



26.10.2016

Versuchsfeld 5a: Ersatz der Steinschüttung durch vorkultivierte Röhrichtgabionen

Nur bestimmte Arten
(Großseggen: Schlank-
Segge) ausreichend stabil
und überstauungsresistent!

8.9.2016

2016



Sanierung!



Geeignete Pflanzenarten für Rhein im Naturversuch ermittelt!

Fazit aus technischer Sicht:

- Gute Stabilität durch Flächengewicht! Weniger kritisches Anfangsstadium!
 - Langfristige Stabilität der Gabionen abhängig von Pflanzenvitalität - Geeignete Auswahl hinsichtlich Überstau und hydraulischer Belastung!
 - Prinzipiell für Binnenwasserstraßen geeignet!
 - Empfohlene Anwendung an Böschungen mit 1:3 und flacher
 - Mehr Anwendungsmöglichkeiten an Wasserstraßen mit geringen Wasserspiegelschwankungen und geringen schiffsinduzierten Belastungen (mehr Pflanzenarten geeignet)
- Erfolgreiches Beispiel: UHW, km 35,7 (Ketzin)

Erfahrungen und Erkenntnisse aus der Versuchsstrecke



**Kennblatt „Vegetationsgabionen“
unter <http://uferschutz.baw.de/de>**



Versuchsfeld 5b: Ersatz der Steinschüttung durch Steinmatratzen (zum Teil mit Pflanzmatten)



Steinmatratzen

Gute Stabilität von Anfang an
durch Eigengewicht und filterstabile
Verlegung!

Keine zusätzlichen
Befestigungen erforderlich!

Versuchsfeld 5b: Ersatz der Steinschüttung durch Steinmatratzen (zum Teil mit Pflanzmatten)



Steinmatratzen

Gute Stabilität von Anfang an
durch Eigengewicht und filterstabile
Verlegung!

Keine zusätzlichen
Befestigungen erforderlich!

Vorkultivierte Pflanzmatten
auf Steinmatratzen
nicht erfolgreich! X

(Problematik wie bei
Pflanzmatten auf Boden)
Entfernung August 2013



Zwei Reihen Weiden-Setzstangen zwischen
Böschungsoberkante und Betriebsweg



Max. hydraulische Belastungen: Berechnet nach GBB, 2010

$$z_A = 0,2 \text{ m}$$

$$H_{u, \text{Heck}} = 0,3 \text{ m (gemessen } 0,13 \text{ m)}$$

$$v_{\text{max}} = 1,3 \text{ m/s}$$

Kein Flächengewicht erforderlich

$$d_{\text{erf.}} = 0 \text{ cm}$$



Oberflächenerosion?

$$D_{50, \text{Boden}} \approx 0,2 \dots 0,6 \text{ mm}$$

$$D_{50, \text{erford.}} = 50 \text{ mm (GBBSof+)}$$

$$D_{50, \text{Boden}} \ll D_{50, \text{erford.}}$$



Erosion zu erwarten!

Versuchsfeld 9: Rückbau der Steinschüttung, Verzicht auf Böschungssicherung

14.12.2011



Erstes Hochwasser
unmittelbar nach Einbau



Zeitliche Entwicklung





Ende 2012

Zeitliche Entwicklung



15.7.2013

Zeitliche Entwicklung



15.7.2013



07/2013

2016: Sicherung des Kilometerschildes durch
Wasserbausteine

Zunehmende Erosion, Freispülen der wasserseitigen
Setzstangen, zum Teil bis zur Unterkante



Wurzelaufgrabungen in
Zusammenarbeit mit der
FH Erfurt

23.4.2015



Studenten der FH Erfurt

Kein Schutz des Betriebsweges durch Wurzeln der 2011 eingebauten Weidensetzstangen!

Fazit aus technischer Sicht:

- Erosion findet statt - wie erwartet! Wird weiter fortschreiten!
- Steine im Untergrund begrenzen Erosion
- Ohne Uferschutz kein stabiles Ufer! (VF 9 geringste Belastung)
- Weidensetzstangen begrenzen zunehmende Erosion nicht! Keine geeignete Maßnahme zum Schutz des Betriebsweges
- Zunehmend flache Böschungen freuen Erholungssuchende und Angler





Steinschüttung übernimmt weiterhin Uferschutzfunktion

Verschiedene Maßnahmen zur ökologische Aufwertungen

✓ Uferschutz gegeben

✓ Maßnahme stabil

✓ Uferschutz gegeben

✗ Maßnahme nicht stabil

- ▶ Technisch-biologische Ufersicherungen an Wasserstraßen prinzipiell anwendbar
- ▶ Nicht alle Maßnahmen überall – Anwendungsgrenzen im Naturversuch unter extremen Bedingungen ermittelt
- ▶ Anfangszustand – kritischer Zustand (keine Wurzeln) – Gutes Anwachsen der Pflanzen maßgebend für langfristigen Uferschutz!
- ▶ Richtige Pflanzen, ausreichende Befestigungen! Gewährleistung Bodenkontakt! Ggf. temporär zusätzliche Maßnahmen erforderlich!
- ▶ Uferschutzmaßnahmen mit technischen Bestandteilen robuster, rein pflanzliche Maßnahmen empfindlicher (besonders im Anfangszustand) und weniger belastbar
- ▶ Abschlussbericht mit allen Ergebnisse Ende 2018
- ▶ Monitoring wird weiter geführt (in größeren Zeitabständen)

Mehr Informationen unter <http://ufersicherung.baw.de/de>



Alle nicht gekennzeichneten Fotos: © BAW

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Bundesanstalt für Wasserbau
76187 Karlsruhe

www.baw.de

Bundesanstalt für Gewässerkunde
56068 Koblenz

www.bafg.de