



EVANTI II

Pia Borelbach | BAW Kolloquium | 15. Mai 2024

---

Abbaubare Geotextilvliese  
als temporäre Filter in TBU

# Naturnahe Ufersicherungen

## Aufgabenstellung

### Kritischer Anfangszustand

- Hydraulische Belastung sofort nach Einbau (Schifffahrt, ggf. Hochwasser)
  - Wurzeln und Sprosse für den Uferschutz müssen sich erst entwickeln
- ➔ Temporäre Befestigungen und Maßnahmen erforderlich (Filterstabilität, Erosionsstabilität, ...)



### Weidenspreitlage

In der ersten Zeit nach dem Einbau bieten Pflanzen noch kein Schutz vor hydraulischen Belastungen.

# Naturnahe Ufersicherungen

## Kooperationsprojekt Bioshoreline

### Ziel

- Entwicklung eines vollständig biologisch abbaubaren Geotextils aus nachwachsenden Rohstoffen

### Laufzeit

- 2016 – 2024

### Partner

- Bundesanstalt für Wasserbau
- Indorama Ventures Fibers Germany GmbH (ehem. Trevira GmbH)
- BNP Brinkmann GmbH & Co. KG
- FKUR Kunststoff GmbH

Gefördert durch:



Bundesministerium  
für Ernährung  
und Landwirtschaft

aufgrund eines Beschlusses  
des Deutschen Bundestages

# Naturnahe Ufersicherungen

## Anforderungen der BAW

- Anforderungen sind bis 3 Jahre nach Einbau zu gewährleisten
- Gute Durchwurzelbarkeit
- Vollständiger biologischer Abbau des Geotextils

Nr.	Eigenschaften	Mindestanforderung	Bemerkungen
1	Zugfestigkeit $T_{max}$ (quer und längs) (DIN EN ISO 10319, 2015) (Weiterreißfestigkeit)  Mindestflexibilität, um sich Untergrundverformungen anpassen zu können (TLG, 2008)	$\geq 8 \text{ kN/m}$	Verlegen, Überschütten, Befahren Befestigung mit Holzpflocken Pumpeffekte bei fehlender flächiger Auflast Bei Anwendung als Ummantelung innerhalb Gabionen hydraulische Belastung durch Wellen und Strömung
2	Durchdrückwiderstand Stempeldurchdrückkraft $F_P$ (DIN ISO 12236, 2006)	$\geq 1,5 \text{ kN}$ (GRK3) <small>GRK = Geotextilrobustheitsklasse</small>	Befahren Auflast durch Gabionen oder Steinmattentzen
3	Flächenbezogene Masse $M_A$ (DIN EN ISO 9864, 2005)	$\geq 400 \text{ g/m}^2$	Robustheit, Festigkeit, Stabilität (Erfahrungen mit Kunststoffgeotext.)
4	Durchlässigkeit $k_{10}^*$ (DIN EN ISO 11058, 2010)	$\geq 8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	Ausreichende Durchlässigkeit (Vermeidung Wasserüberdruck unter dem Geotextil)
5	Filterstabilität (RPG, 1994) Öffnungsweite (DIN EN ISO 12956, 2010) Bodendurchgang (DIN EN ISO 10772, 2012) Durchlässigkeit $k_{10}^*$ (DIN EN ISO 11058, 2010)	$0,09 \pm 0,01 \text{ mm}$ .... $\geq 8 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$	Bodentypverfahren der BAW (BT 4, Turbulenzversuch) BT 1 (bodenbesetztes Geotextil)
6	Schichtdicke (DIN EN ISO 9863-1, 2014)	keine	Als Indexparameter

# Naturnahe Ufersicherungen

Vorherige Erfahrungen der BAW



- Gute Durchwurzelbarkeit
- Gute Festigkeiten und Filterstabilität
- Dauerhafter Verbleib im Boden



- Gute Durchwurzelbarkeit
- Keine ausreichenden Festigkeiten
- Keine Filterstabilität
- Zu schneller Abbau



- Gute Durchwurzelbarkeit
- Keine ausreichenden Festigkeiten
- Keine Filterstabilität
- Zu schneller Abbau

# Entwicklung Geotextil

## Konzept und Materialauswahl

---

### Konzept

- Kombination von schnell abbaubaren Naturfasern und langsam abbaubaren Polymerfasern
- Dreilagiger Aufbau: mittlere Schicht nur Polymerfasern, äußere Schichten 60 % Polymer- und 40 % Naturfasern

### Materialien

- Naturfaser: Sisal
  - Hoher Ligninanteil
  - Gute Beständigkeit
- Polymerfasern: Polymilchsäure (PLA)
  - Vollständig biobasiert
  - Gute Verspinnbarkeit
  - Verschiedene Fasertypen verfügbar
  - Langsamer Abbau im Boden



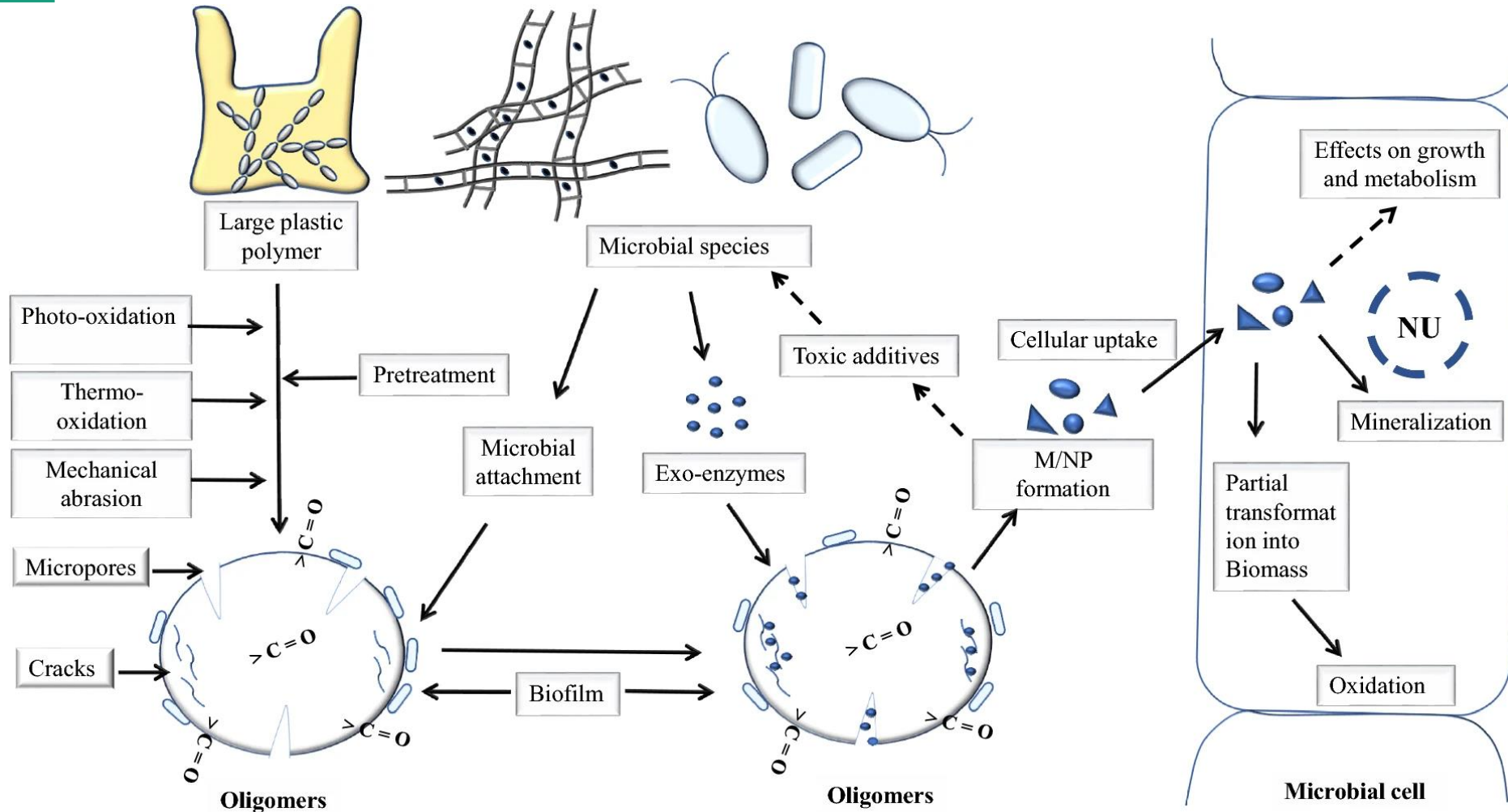
### Aufbau Geotextil

---

Die mittlere Schicht soll die langfristige Stabilität gewährleisten, während die äußeren Schichten die Durchwurzelung erleichtern sollen.

# Entwicklung Geotextil

## Biologischer Abbau von Kunststoffen

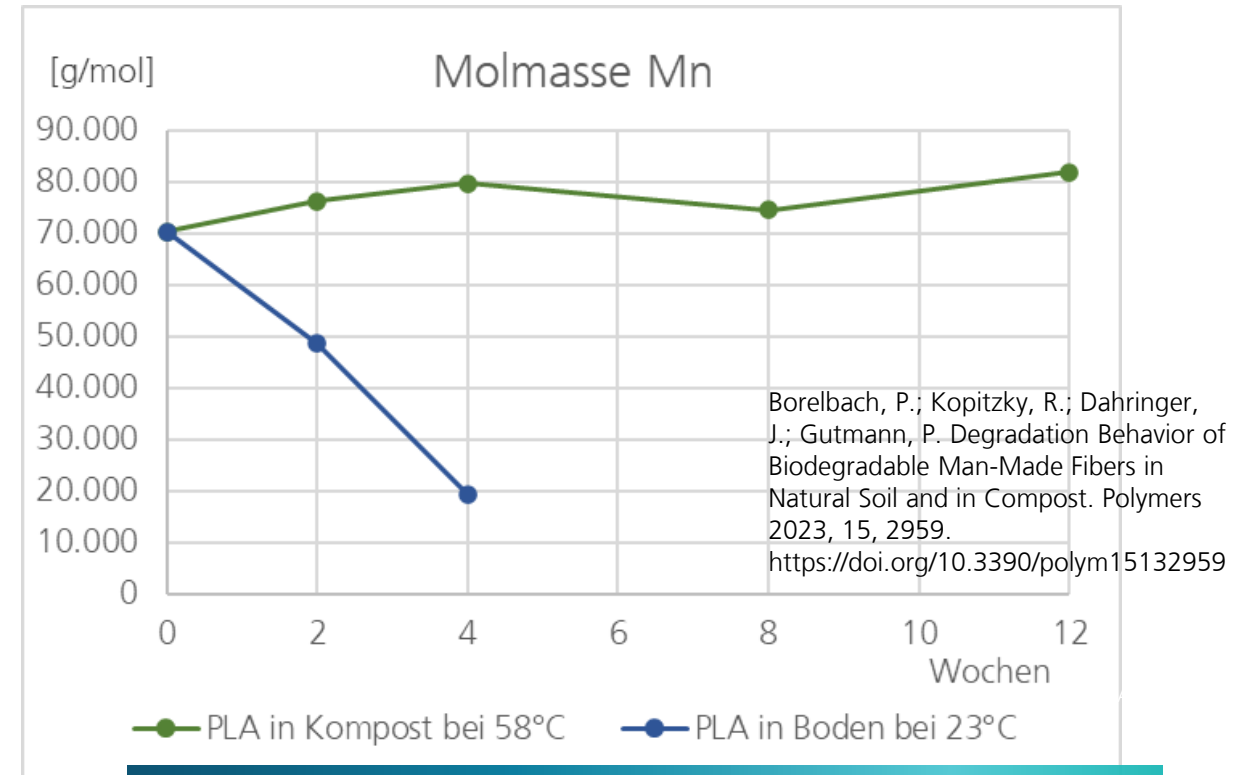


Maity, S., Banerjee, S., Biswas, C., Guchhait, R., Chatterjee, A., & Pramanick, K. (2021). Functional interplay between plastic polymers and microbes: a comprehensive review. *Biodegradation*, 32. <https://doi.org/10.1007/s10532-021-09954-x>

# Entwicklung Geotextil

## Biologischer Abbau von Polymilchsäure im Boden

- Abbau stark abhängig von Temperatur, Feuchtigkeit, Mikrobiom, verfügbarer Oberfläche
- Glasübergangstemperatur PLA bei ca. 60°C
- Schneller Abbau in industriellen Kompostieranlagen, langsamer in der Umwelt
- Keine spezialisierten Mikroorganismen für PLA-Abbau in der Natur vorhanden, aber welche, die auch PLA abbauen können
- Molmasseabbau durch chemische und enzymatische Hydrolyse (Exoenzyme: Hydrolasen) des Polyesters PLA



### Abbau der Molmassen von PLA-Fasern

Innerhalb von 12 Wochen kein Abbau der Molmassen in Boden bei 23°C. Unter industriellen Kompostbedingungen deutlicher Abbau nach 4 Wochen.

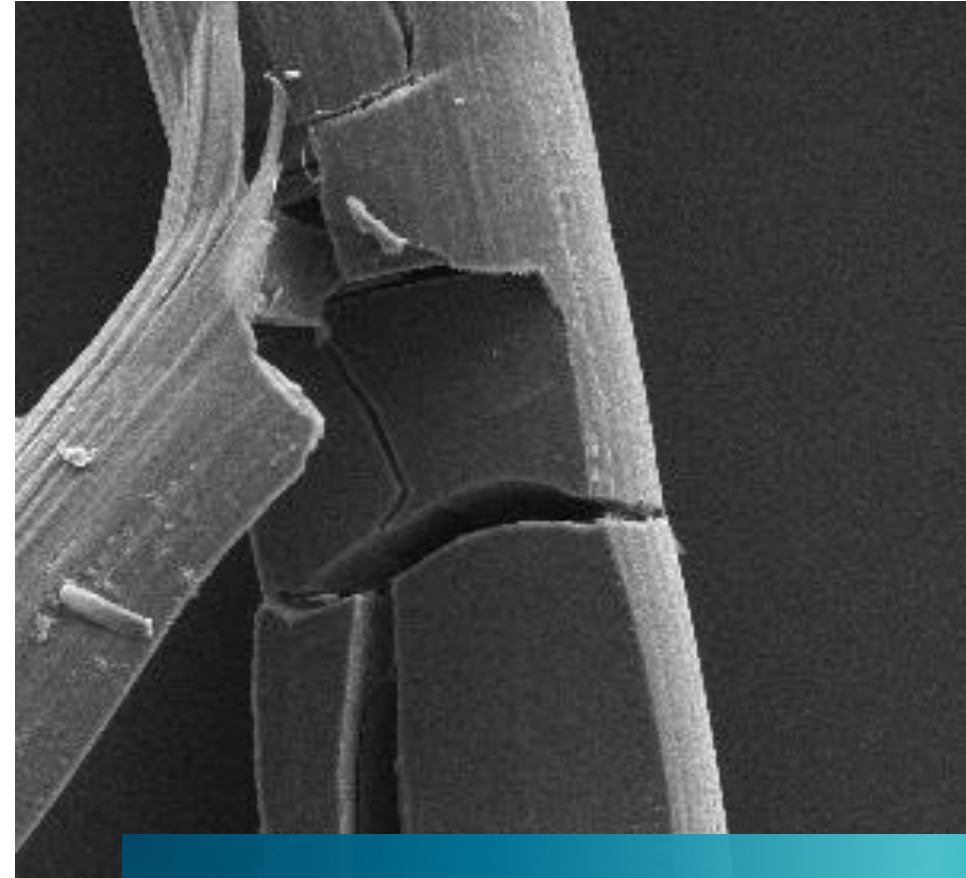
# Entwicklung Geotextil

## Biologischer Abbau von Polymilchsäure im Boden

- Rissbildung durch Hydrolyse
- Mikroplastik als Übergangsphase
- PLA-Abbau in Organismen unschädlich
- Keine experimentellen Daten zu Langzeitabbau von PLA in Boden verfügbar
- Extrapolation aus kinetischer Berechnung chemische Hydrolyse von PLA zu Milchsäure: 23 Jahre bei 20°C in wässriger Umgebung

(Tsuji, H.; Ikarashi, K., In vitro hydrolysis of poly(L-lactide) crystalline residues as extended-chain crystallites. Part I: long-term hydrolysis in phosphate-buffered solution at 37 degrees C, *Biomaterials* 2004, 25, 5449–5455, doi: 10.1016/j.biomaterials.2003.12.053; Tsuji, H.; Ikarashi, K., In vitro hydrolysis of poly(L-lactide) crystalline residues as extended-chain crystallites: II. Effects of hydrolysis temperature, *Biomacromolecules* 2004, 5, 1021–1028, doi: 10.1021/bm034523l)

➔ Langfristig wird sich PLA auch bei gemäßigten Bedingungen im Boden abbauen.



### Hydrolyse von PLA-Fasern

Risse durch vermutlich durch chemische Hydrolyse nach 39 Wochen Lagerung in Bausand bei 40°C.

# Entwicklung Geotextil

## Herstellung Geotextil (BNP Brinkmann)

- Herstellung von vier Varianten des Geotextils mit Sisalfasern und verschiedenen PLA-Fasern und unterschiedlicher starker Vernadelung
- Erreichung der technischen Eigenschaften



### Prototypen des Geotextils

Es wurden zwischen 2017 und 2019 vier Varianten des Geotextils aus Naturfasern und verschiedenen PLA-Fasern mit unterschiedlich starker Vernadelung hergestellt.

# Entwicklung Geotextil

## Durchwurzelungsversuche (BAW)

### Ziele

- Ermittlung der generellen Durchwurzelbarkeit der Geotextilprototypen
- Einfluss des Geotextils auf Wurzelbildung

### Durchführung

- Tests mit Weidenspreitlage in Bewuchskästen bei der BAW
- Insgesamt drei Versuchsreihen in den Jahren 2018 – 2020
- Ausbau jeweils nach einer Vegetationsperiode



### Durchwurzelungsversuche

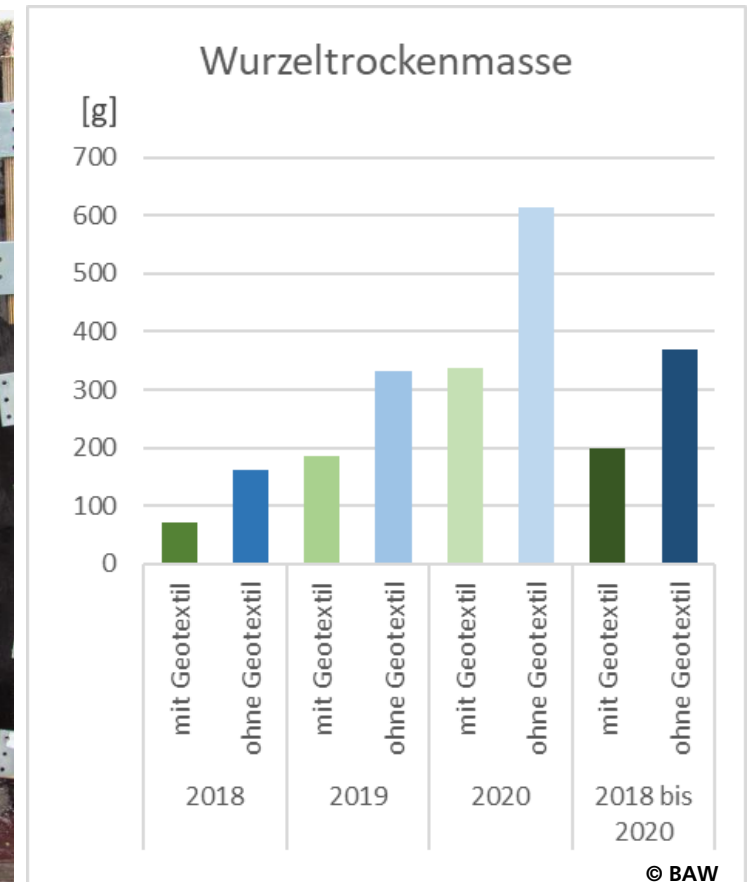
Jeweils 3 Kästen mit und 3 Kästen ohne Geotextilvlies wurden mit Weidenspreitlage getestet.

# Entwicklung Geotextil

## Durchwurzelungsversuche (BAW)

### Ergebnisse

- Die getesteten Geotextilien sind grundsätzlich durchwurzelbar.
- Etwas geringere Wurzelmasse „mit Geotextil“ im Vergleich zu „ohne Geotextil“
- Wurzelbildung mit Geotextil für Anwendungszweck ausreichend



# Versuchsstrecke am Rhein

Freilandtest mit Steinmatratzen (BAW)

## Ziele

- Überprüfung, ob die geforderten technischen Eigenschaften nach 3 Jahren noch vorhanden sind.
- Untersuchung des zeitabhängigen Abbaus des Geotextils unter Wasserstraßenbedingungen

## Durchführung

- Start: Januar 2020
- 3 verschiedene Geotextilien



© BAW

## Rhein km 441,155 bis km 441,195

Seit 2020 werden die Geotextilvliese an der Versuchsstrecke am Rhein getestet.

# Versuchsstrecke am Rhein

## Freilandtest mit Steinmatratzen (BAW)

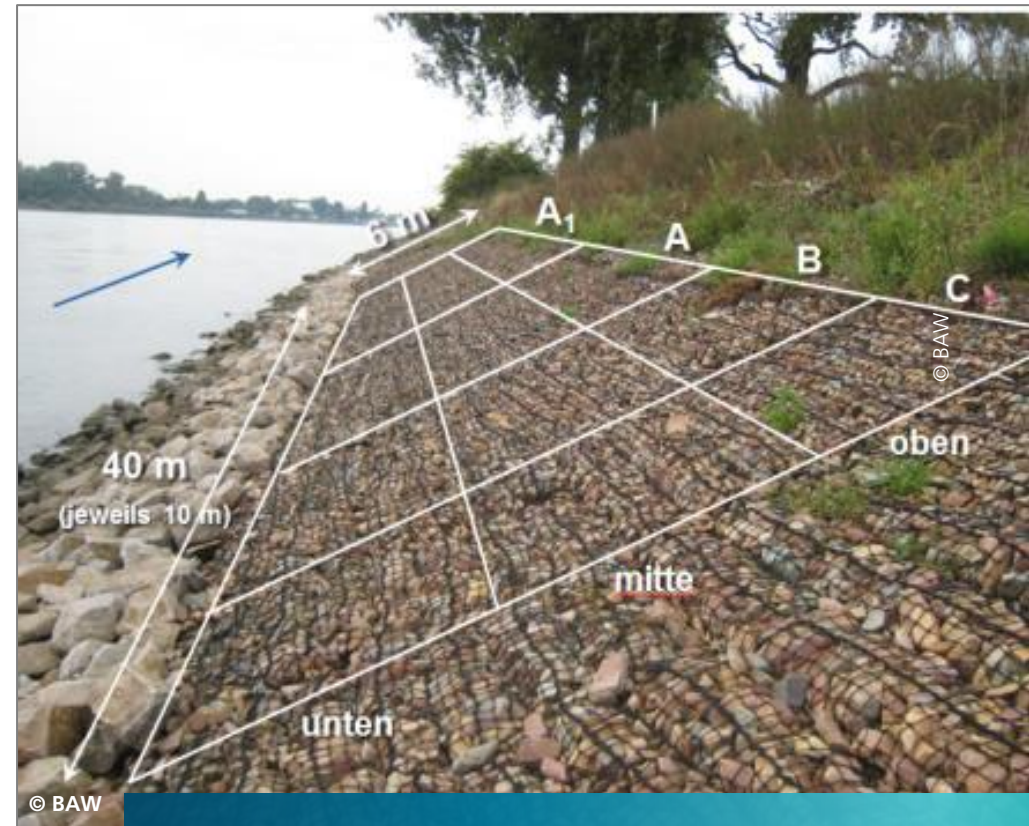


- Herstellung eines Planums mit Böschungsneigung 1:3
- Verlegung der Geotextilien auf dem Planum oberhalb Mittelwasser
- Verlegung der Steinmatratzen auf den Geotextilien

# Versuchsstrecke am Rhein

## Freilandtest mit Steinmatratzen (BAW)

- Jeweils unterschiedliche Geotextilien in Felder A (A1), B und C.
- Probenentnahme jeweils aus den unterschiedlich eingestauten Bereichen unten, mitte und oben
- Mechanische (BAW) und polymerchemische (UMSICHT) Untersuchungen der Probe
- Probeentnahme 2021, 2022, 2023
- Nach Projektende weitere Probeentnahmen nach 5 und 10 Jahren für Langzeituntersuchung



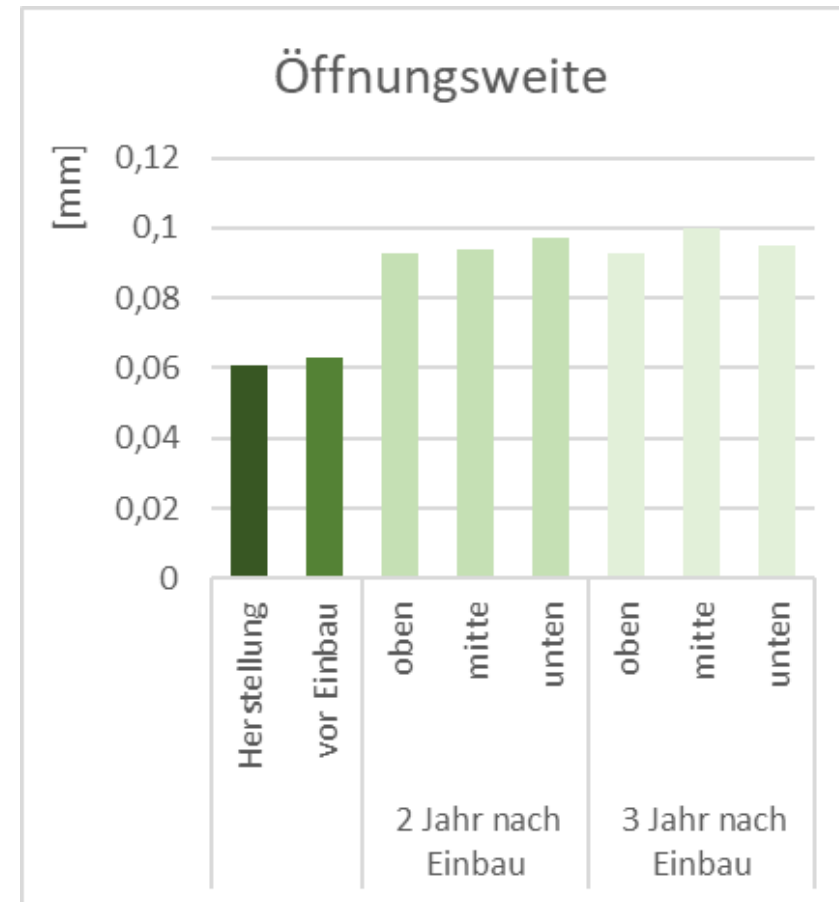
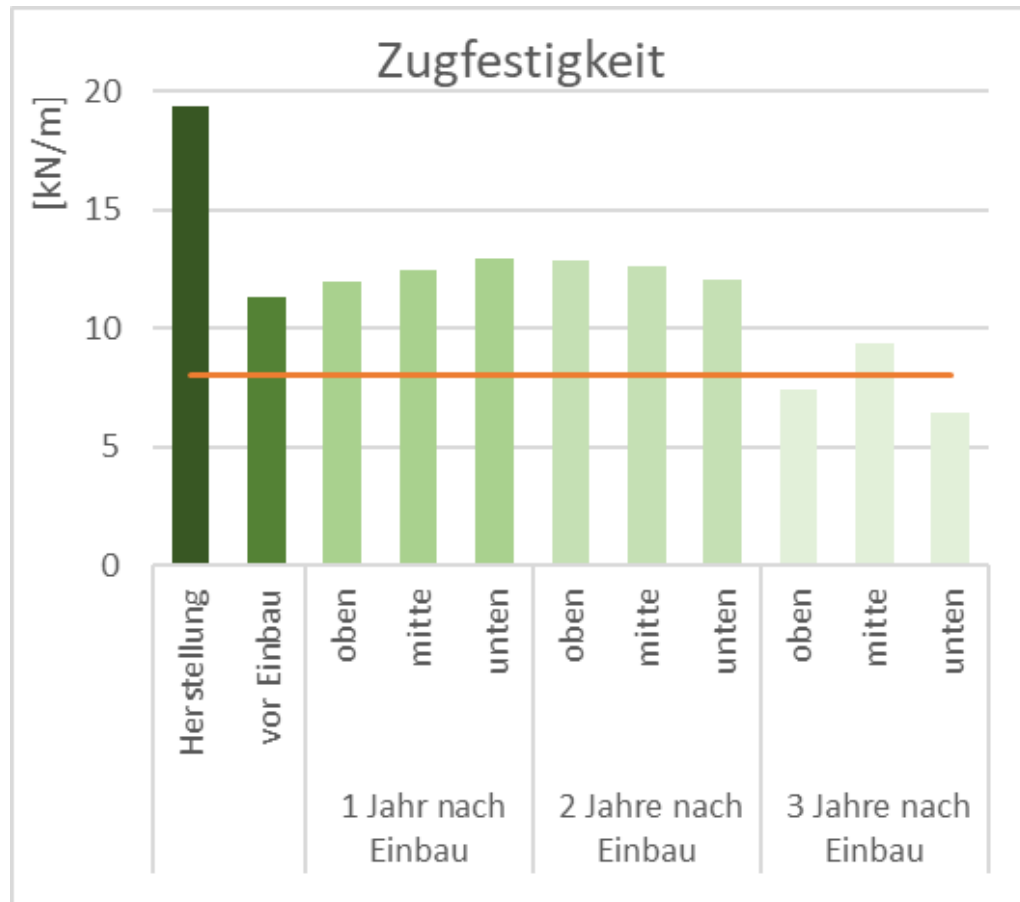
### Rhein km 441,155 bis km 441,195

Seit 2020 werden die Geotextilvliese an der Versuchsstrecke am Rhein getestet.

# Versuchsstrecke am Rhein

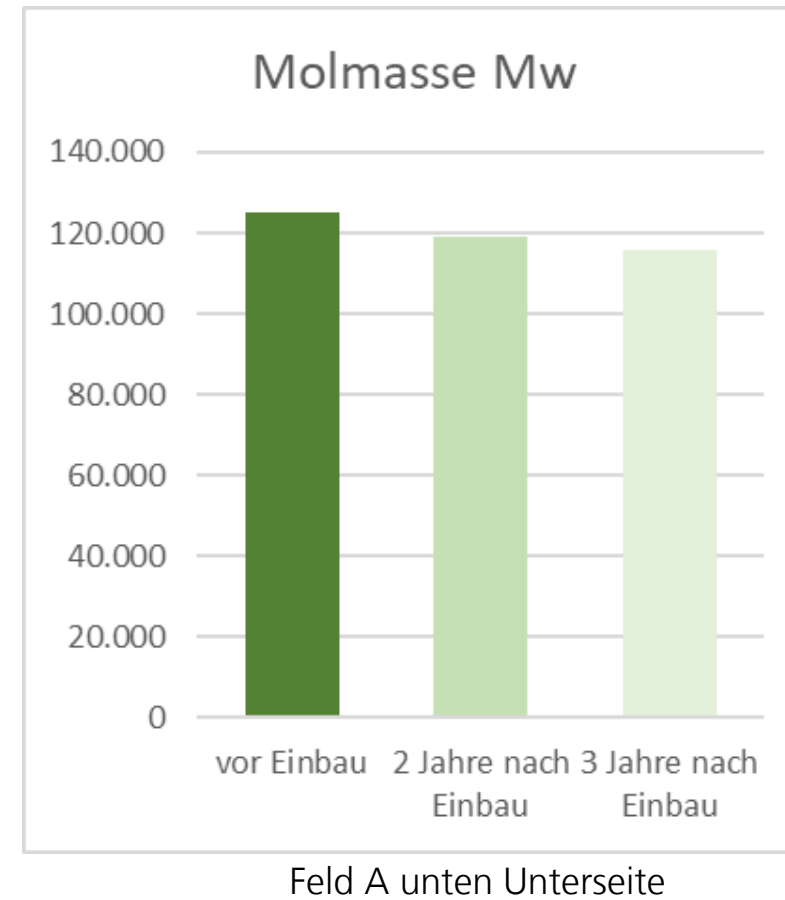
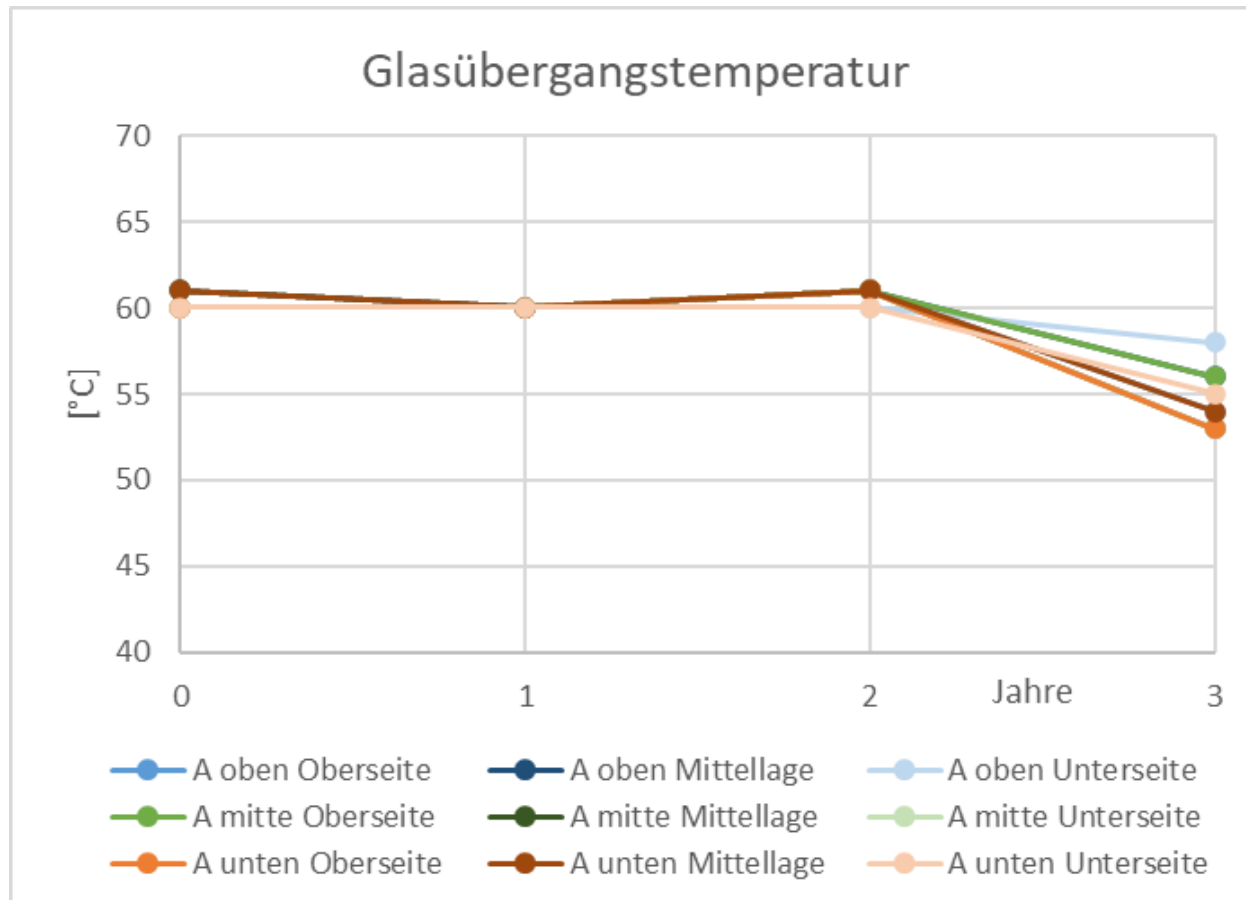
## Freilandtest mit Steinmatratzen (BAW)

Ergebnisse der Proben aus Feld A bzw. A1



# Versuchsstrecke am Rhein

Freilandtest mit Steinmatratzen (BAW)



# Versuchsstrecke am Rhein

Freilandtest mit Weidenspreitlage (BAW)



März 2021: Untersuchung des Einflusses des Geotextils auf Wurzel- und Sprossbildung unter Wasserstraßenbedingungen

- Entfernung von Steinmatratzen
- Installation von Weidenspreitlage mit und ohne Geotextil

# Versuchsstrecke am Rhein

Freilandtest mit Weidenspreitlage (BAW)



Etwa 2 Monate nach Einbau:

- Gute und gleichmäßige Entwicklung der Weiden
- Gleiche Entwicklung mit und ohne Geotextil

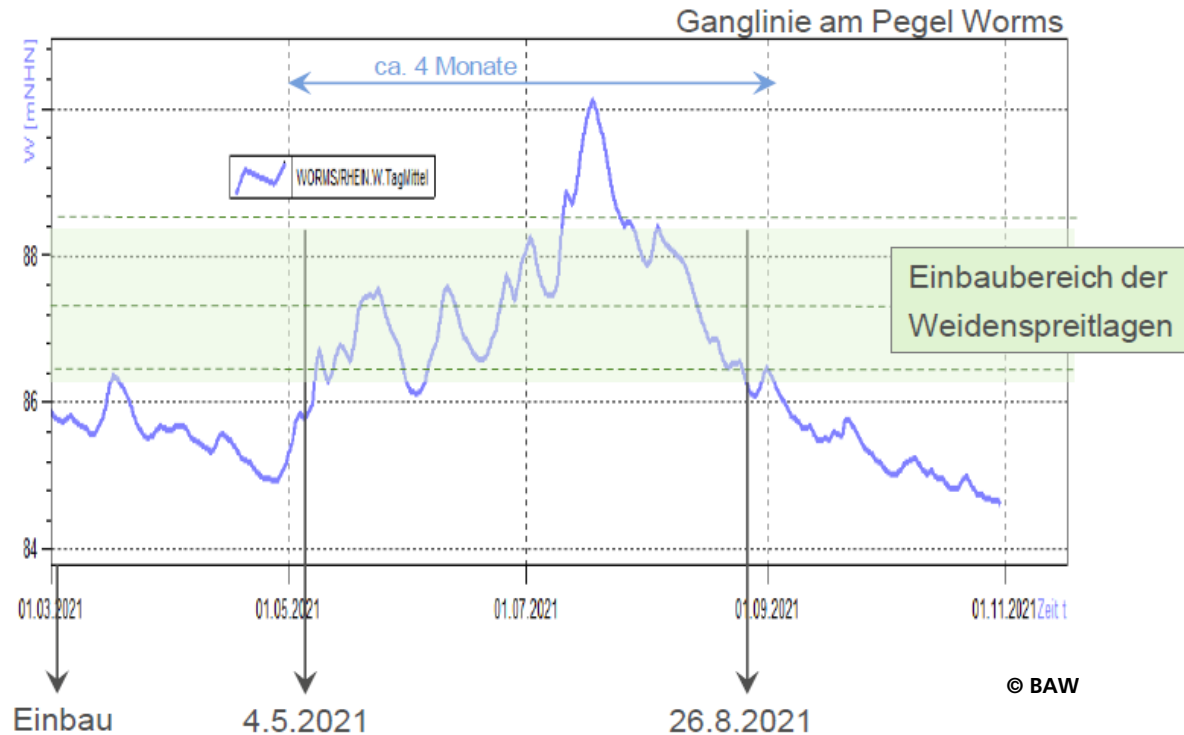


Etwa 6 Monate nach Einbau:

- Oberer Bereich gut entwickelt, unterer Bereich abgestorben
- Etwa gleiche Entwicklung mit und ohne Geotextil

# Versuchsstrecke am Rhein

Freilandtest mit Weidenspreitlage (BAW)



Langer kompletter Einstau der Weiden

- Unterer Bereich: fast 4 Monate eingestaut
- Oberer Bereich: 2 Monate späterer Einstau für ca. 1,5 Monate

# Versuchsstrecke am Rhein

## Freilandtest mit Weidenspreitlage (BAW)

- Bewuchs im unteren Bereich bleibt spärlich
- Kein optischer Unterschied zwischen Felder mit und ohne Geotextil

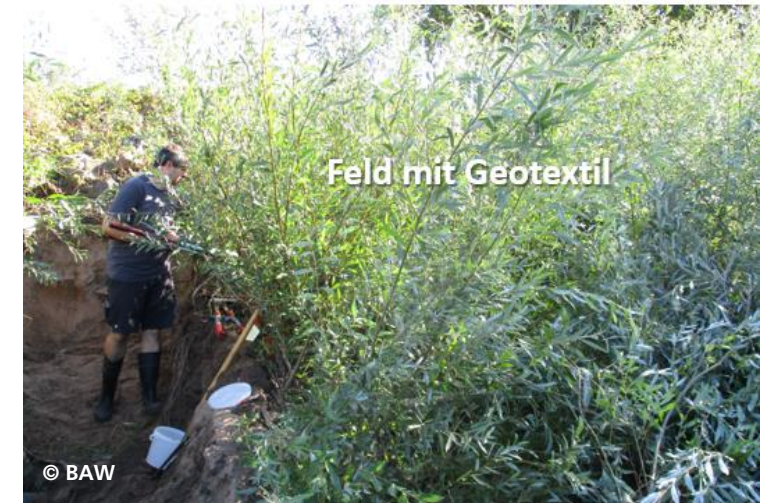
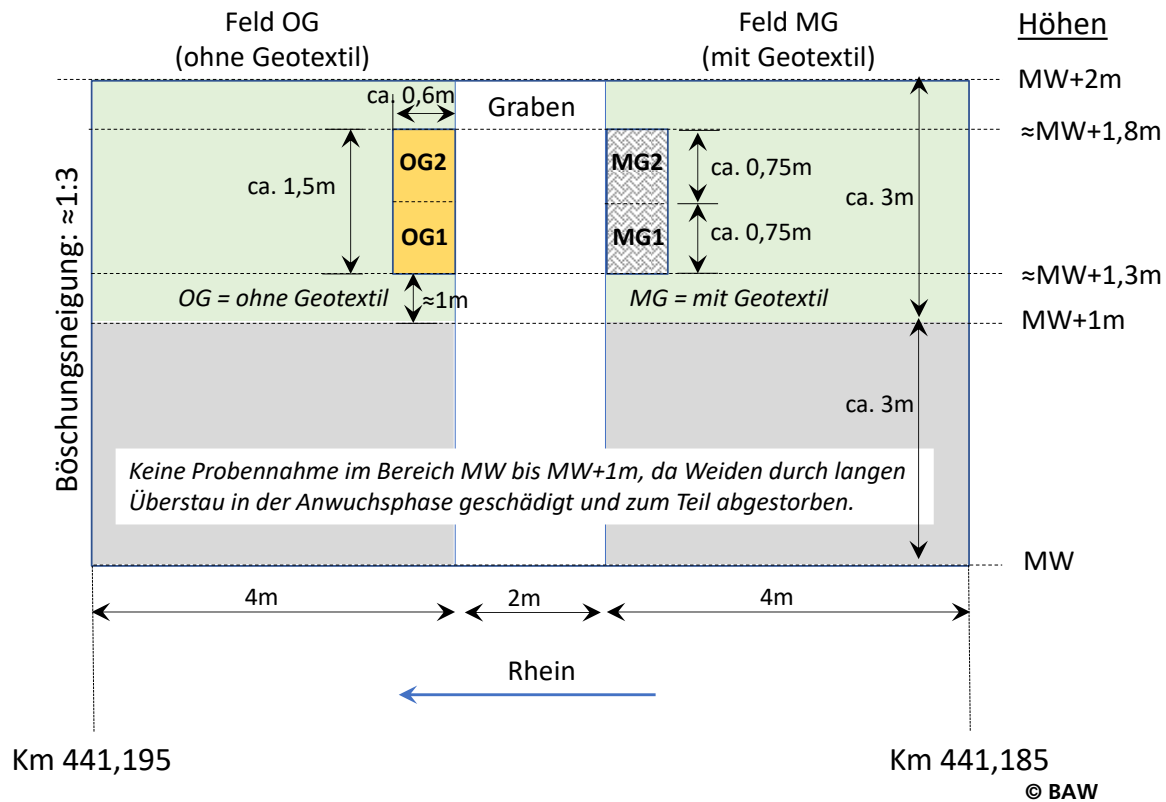


## Weidenspreitlage am Rhein

16 Monate nach Einbau sind die Weiden im oberen Bereich sowohl ohne als auch mit Geotextil gut entwickelt.

# Versuchsstrecke am Rhein

## Freilandtest mit Weidenspreitlage (BAW)

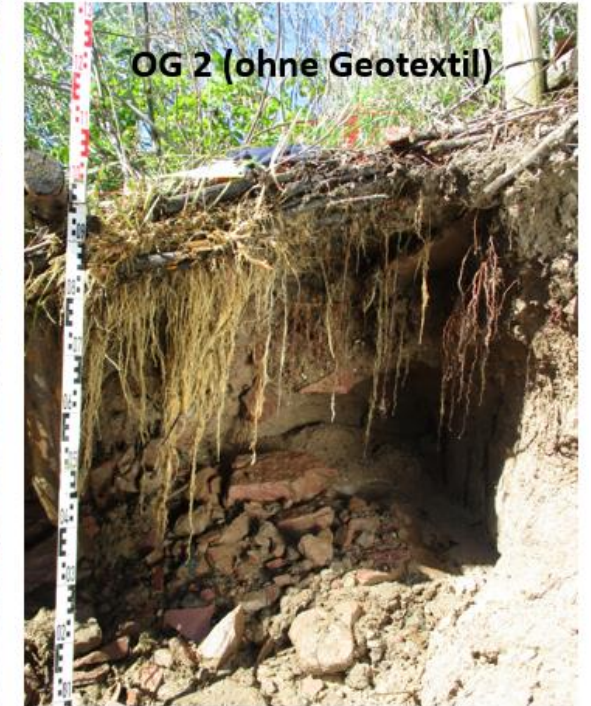


September 2023: Wurzel ausgrabungen

Vermessung der oberen Sprosse, Freispülen der Wurzeln, Bestimmung der Wurzel- und Sprossmassen

# Versuchsstrecke am Rhein

Freilandtest mit Weidenspreitlage (BAW)



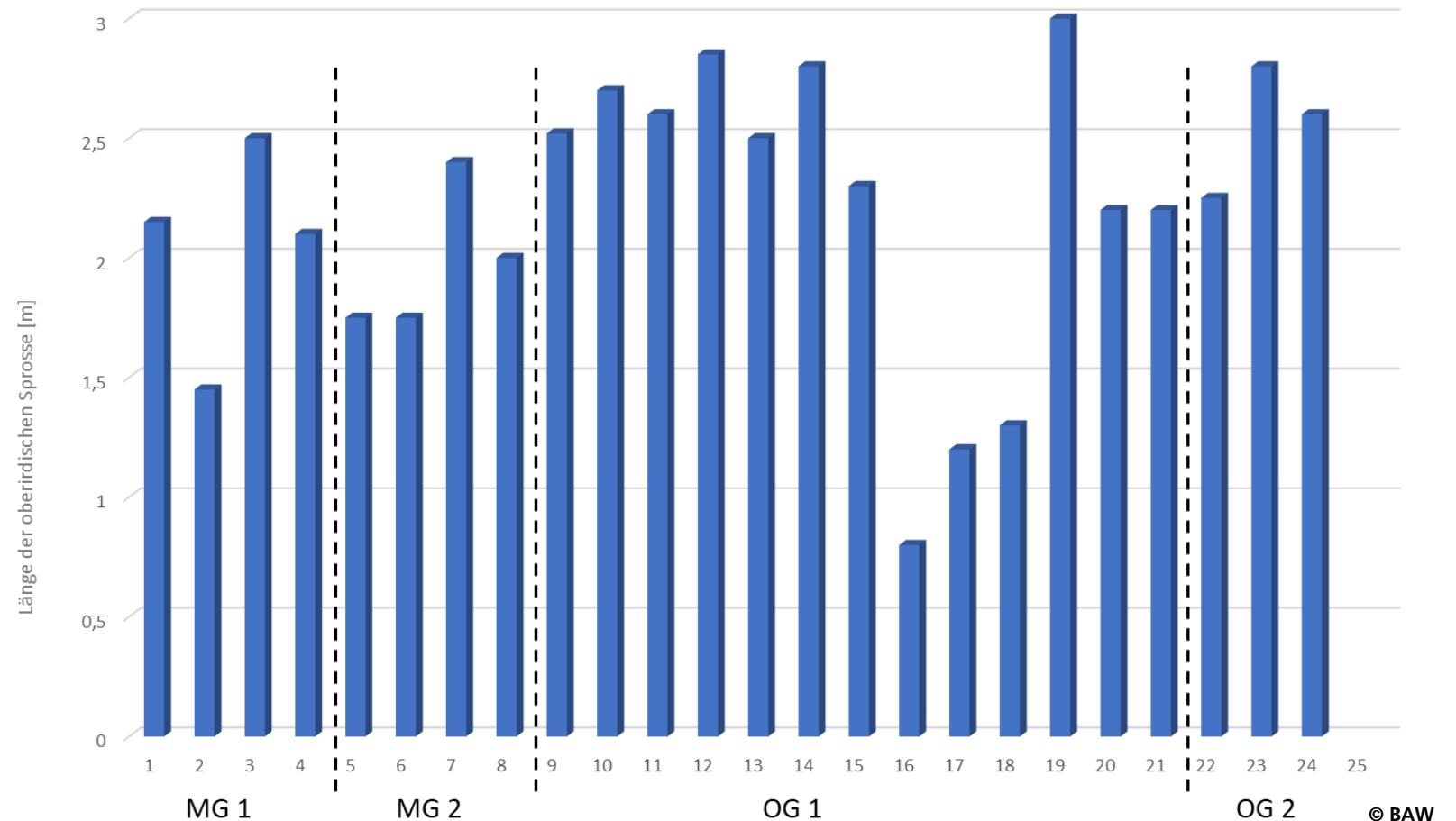
Sichtbar weniger Wurzelbildung mit Geotextil im Vergleich zu ohne Geotextil sowohl im unteren (links) als auch im oberen (rechts) Böschungsbereich

# Versuchsstrecke am Rhein

## Freilandtest mit Weidenspreitlage (BAW)

- Nur qualitative Bewertung möglich
  - Große Ungenauigkeiten
  - Wurzeln z.T. abgerissen, weggespült
  - Betrachtetes Bodenvolumen nicht genau gleich
  - Weidenspreitlage ist nicht homogen
- Insgesamt breite Streuung
- Etwas geringere Längen mit Geotextil

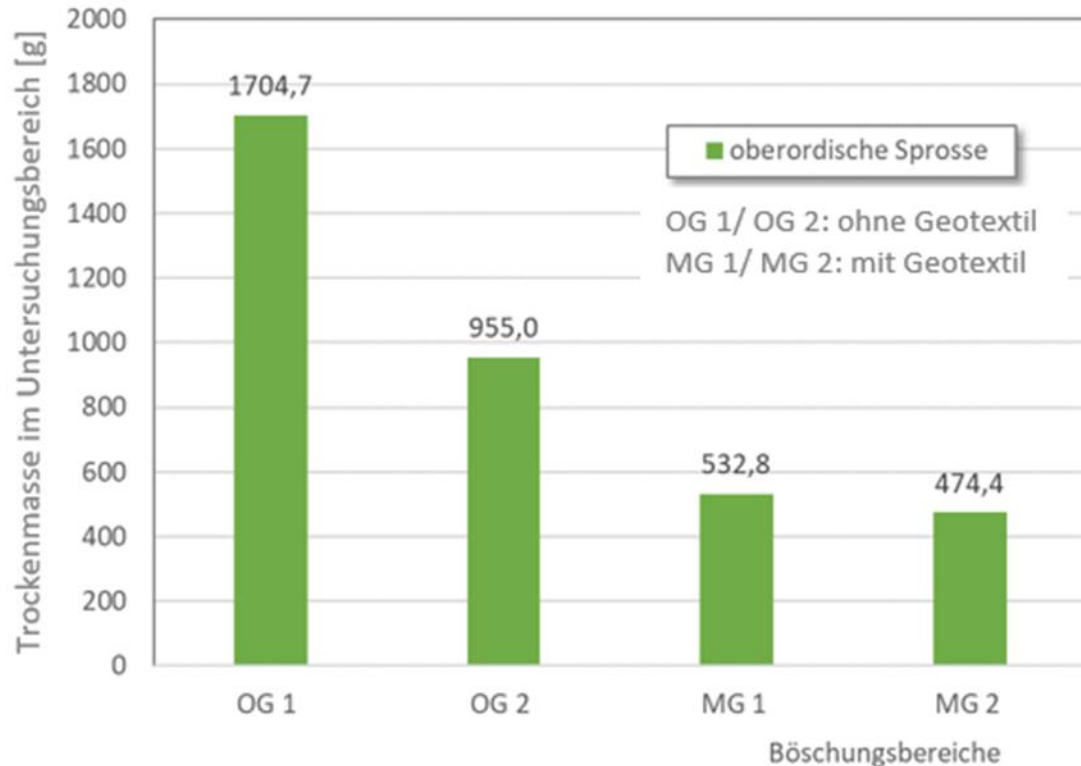
Längen der oberirdischen Sprosse [m]



# Versuchsstrecke am Rhein

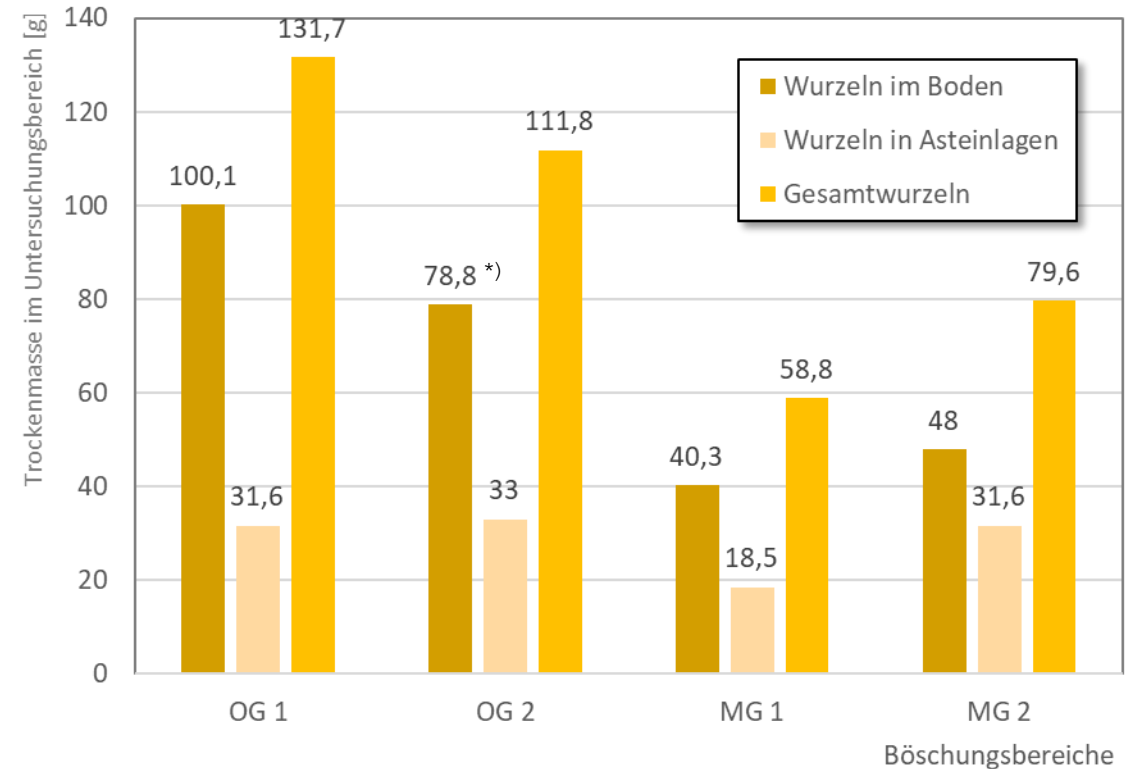
## Freilandtest mit Weidenspreitlage (BAW)

### Trockenmasse der oberirdischen Sprosse



© BAW

### Trockenmasse der Wurzeln in Boden und Asteinlagen



\* OG 2: Weidenwurzeln (42,7g) und Rohrglanzgraswurzeln (36,1 g)

© BAW

# Optimierung Geotextil

## Ziel und Konzept

---

### Ziel

- Bessere Durchwurzelbarkeit

### Konzept

- Einlagiger, statt dreilagiger Aufbau
- PLA als Polymerfaser
- Höherer Anteil an Naturfasern (50%)
- Zwei verschiedene Naturfasern
  - Flachs: feine Faser, verrottet innerhalb weniger Monate
  - Hanf : grobe Faser, verrottet langsamer

### Herstellung

- Anforderung an Zugfestigkeit nicht erfüllt
- Durchlässigkeit und Filterstabilität nach Lagerung grenzwertig



### Optimiertes Geotextil

---

Der optimierte Geotextil wird seit März 2023 unter Steinmatratzen und seit April 2024 unter Weidenspreitlage und Saatgutmatte am Rhein getestet.

# Fazit und Ausblick

- Geotextilien aus einer Mischung aus PLA- und Naturfasern für die Übergangsphase geeignet
- Anpassung zur Optimierung der mechanischen Eigenschaften und Durchwurzelbarkeit möglich
- Deutlich sichtbarer biologischer Abbau erst in den nächsten Jahren
- Praxistransfer: Bioshoreline Geotextil bei BNP Brinkmann auf Anfrage verfügbar  
(<https://bnp-brinkmann.de>)



# Kontakt

---

**Pia Borelbach**

**Zirkuläre und Biobasierte Kunststoffe**

**Tel. +49 208 8598-1265**

**[pia.borelbach@umsicht.fraunhofer.de](mailto:pia.borelbach@umsicht.fraunhofer.de)**

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits-  
und Energietechnik UMSICHT

Osterfelder Str. 3

46047 Oberhausen

[www.umsicht.fraunhofer.de](http://www.umsicht.fraunhofer.de)