



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

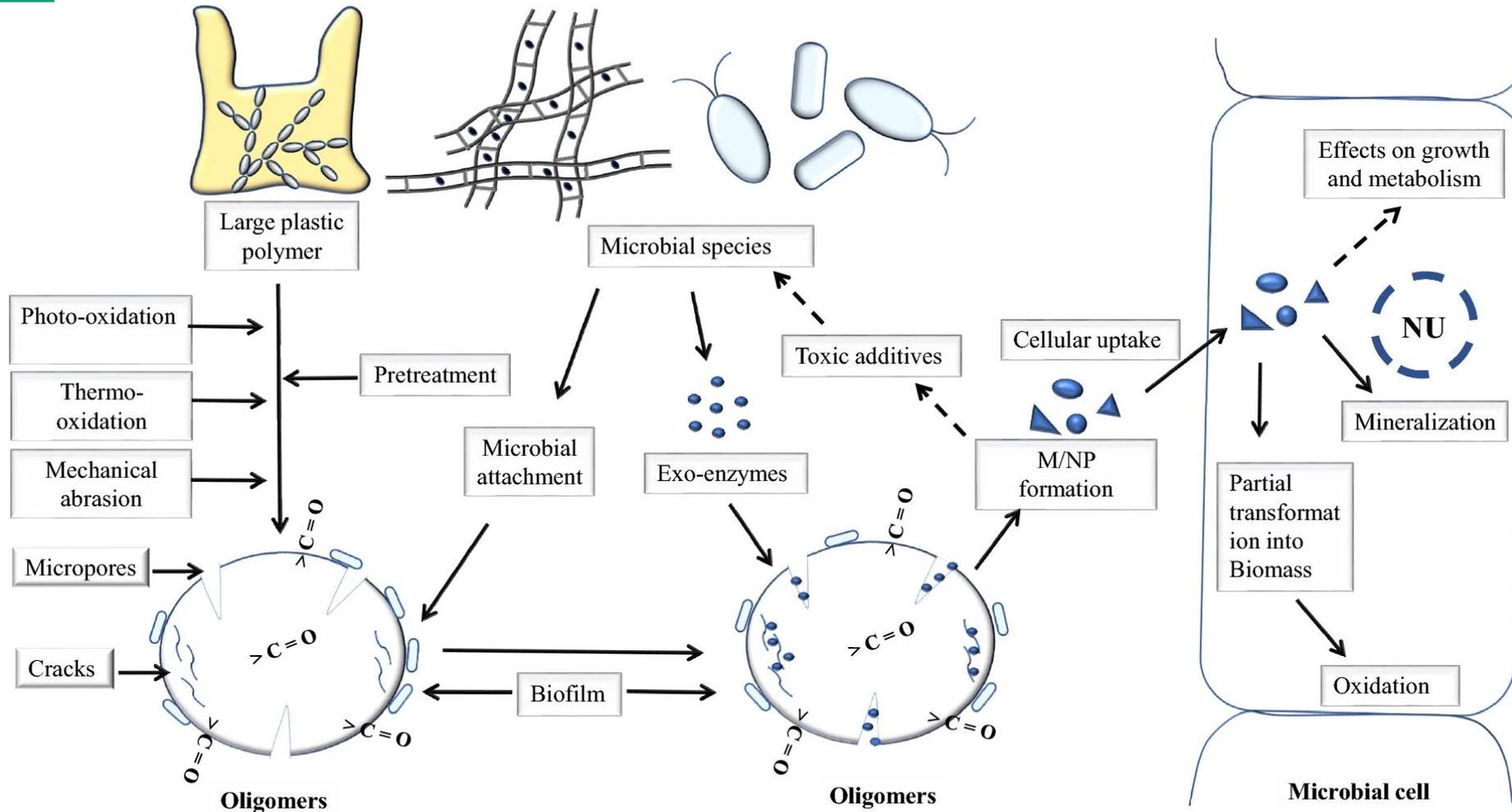


Aufbau Geotextil

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

Entwicklung Geotextil

Biologischer Abbau von Kunststoffen

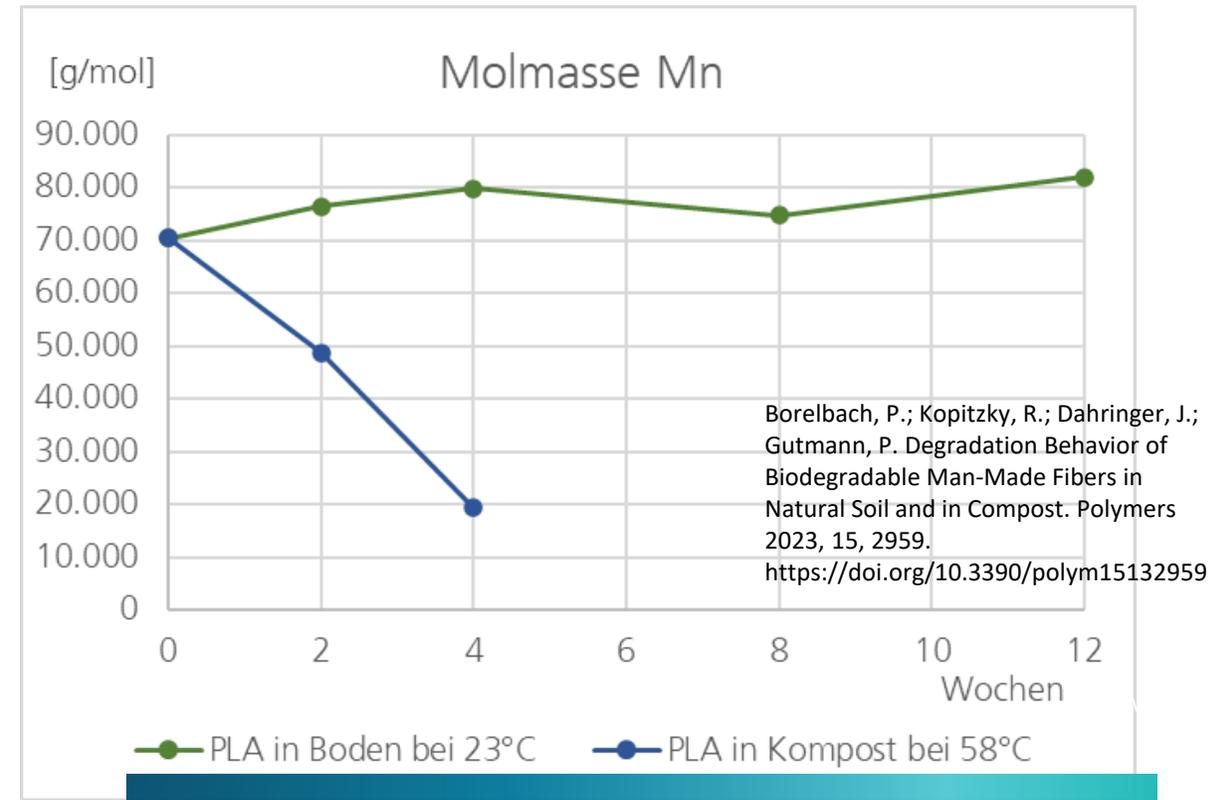


Maity, S., Banerjee, S., Biswas, C., Guchhait, R., Chatterjee, A., & Pramanick, K. (2021). Functional interplay between plastic polymers and microbes: a comprehensive review. *Biodegradation*, 32. <https://doi.org/10.1007/s10532-021-09954-x>

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.

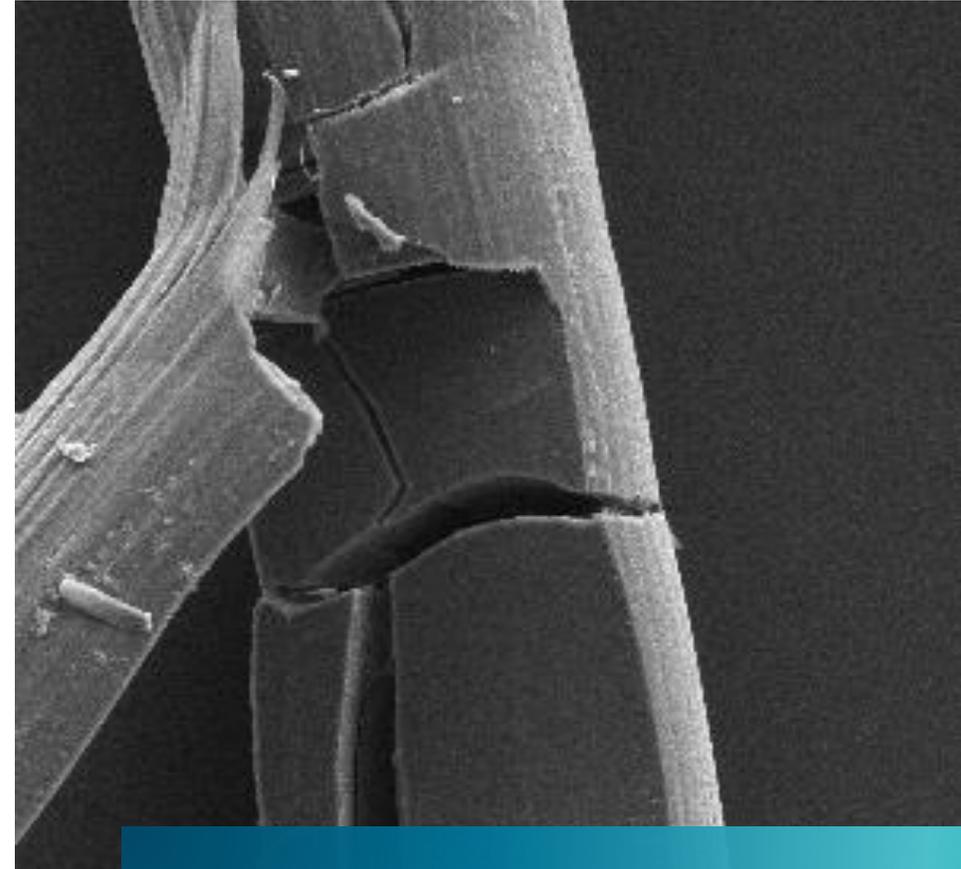
Entwicklung Geotextil

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

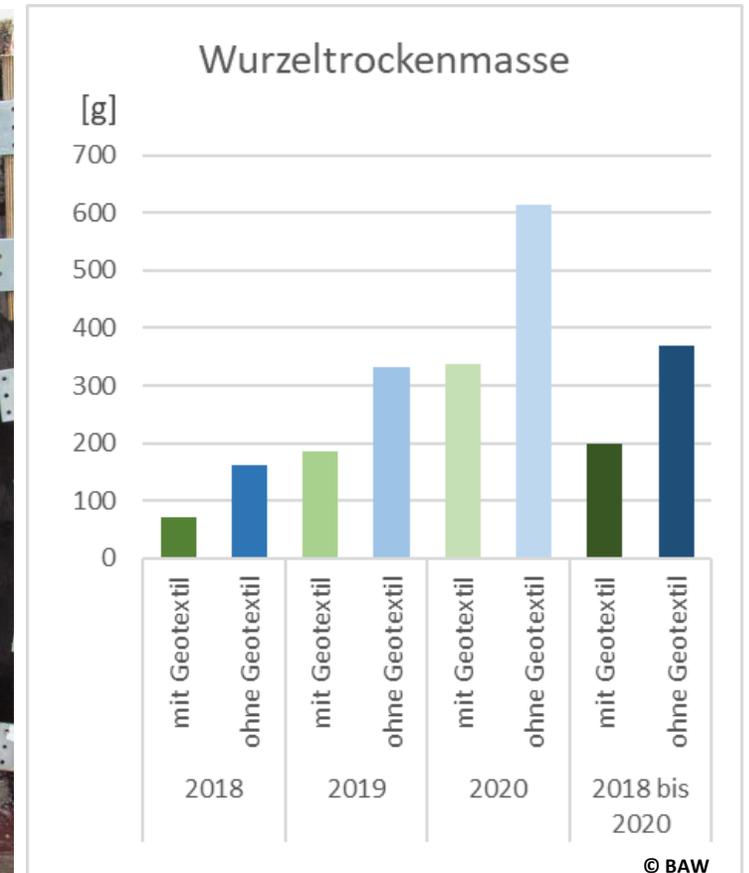
Jeweils 3 Kästen mit und 3 Kästen ohne Geotextilvlies wurden mit Weidenspreitlage getestet.

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

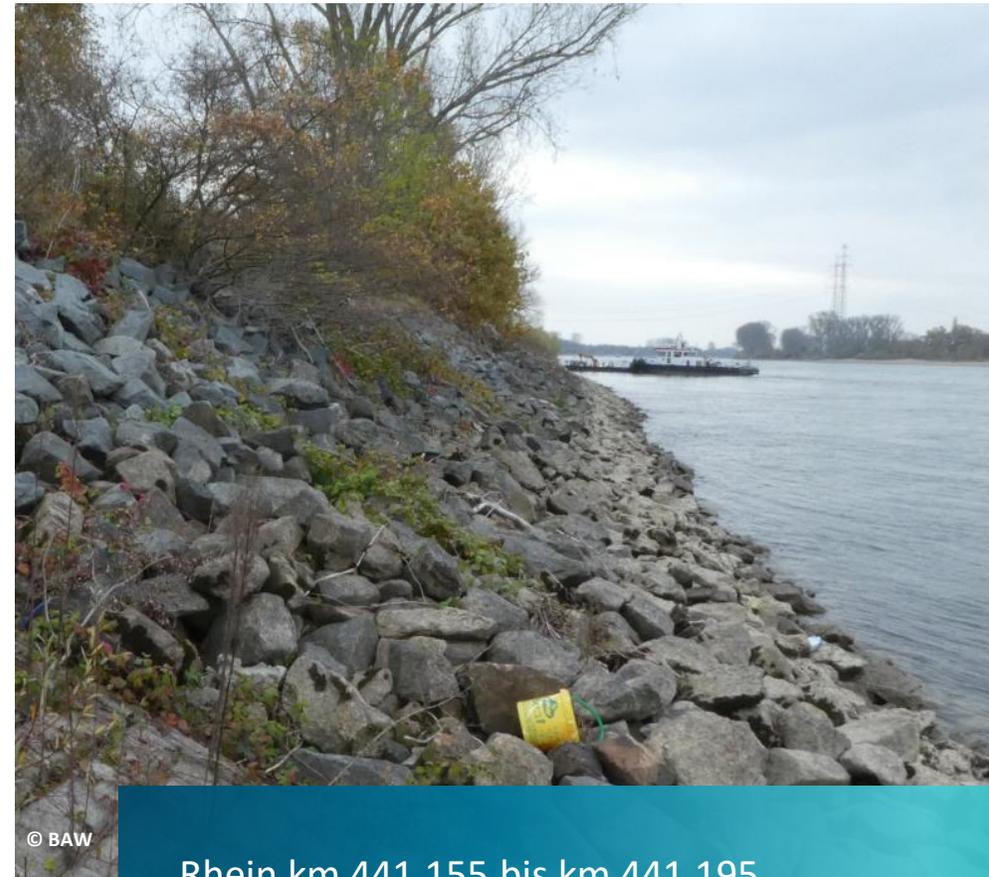
Freilandtest mit Steinmatratzen (BAW)

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)

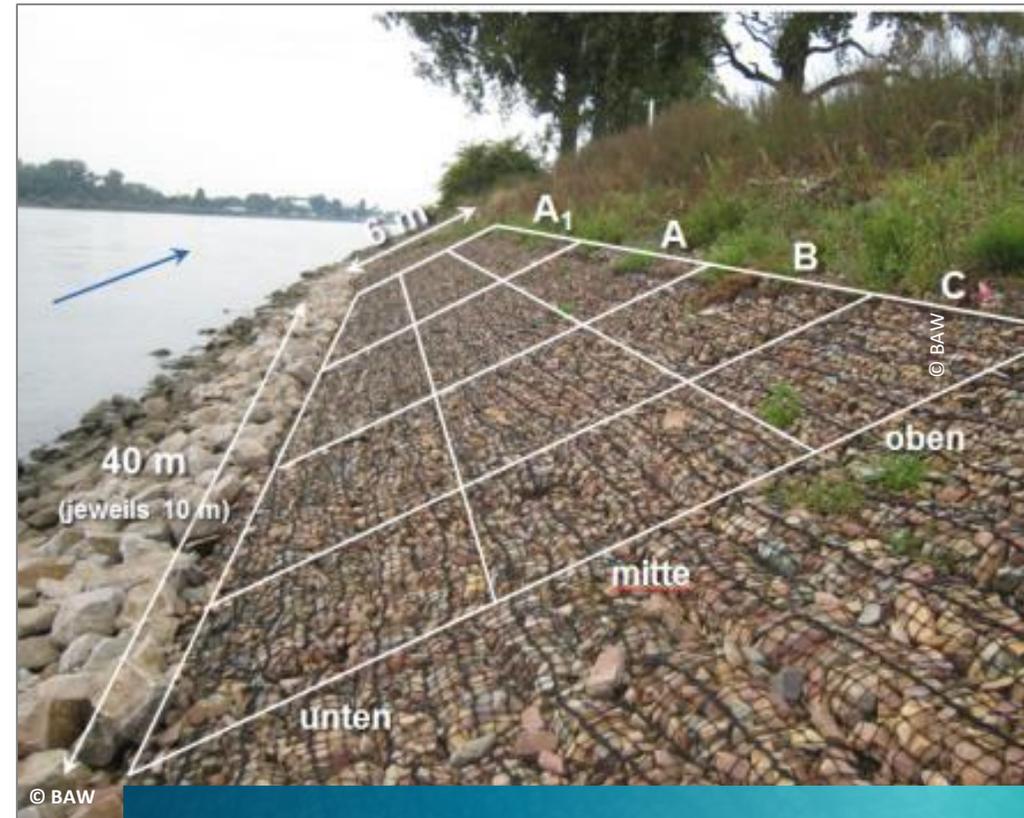


- Herstellung eines Planums mit Böschungsneigung 1:3
- Verlegung der Geotextilien auf dem Planum oberhalb Mittelwasser
- Verlegung der Steinmatratzen auf den Geotextilien

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



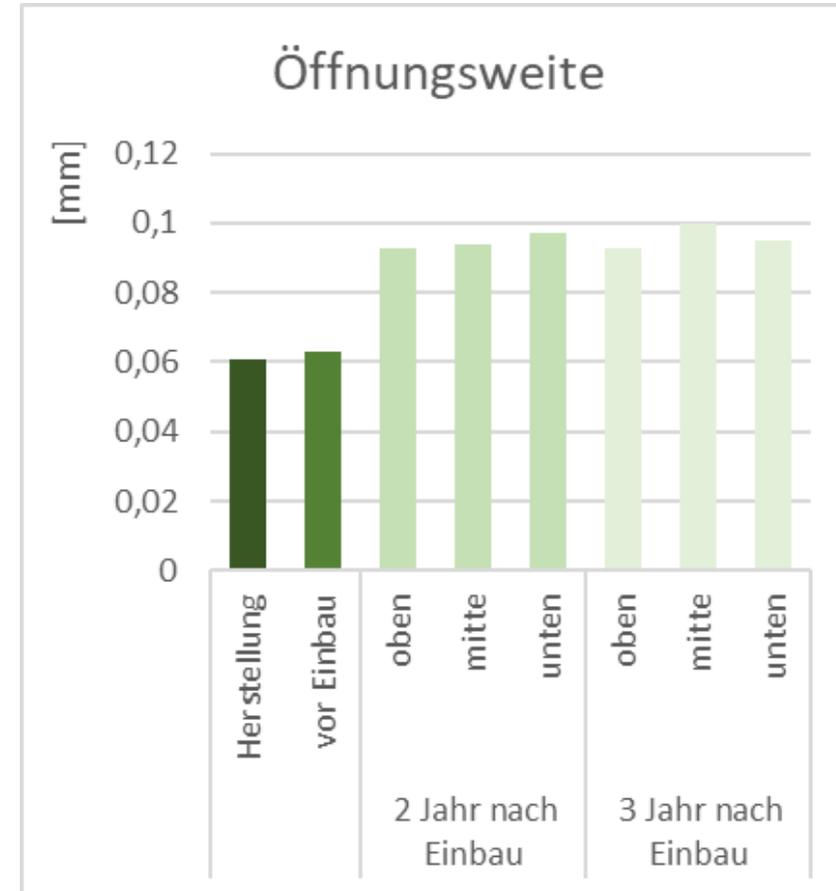
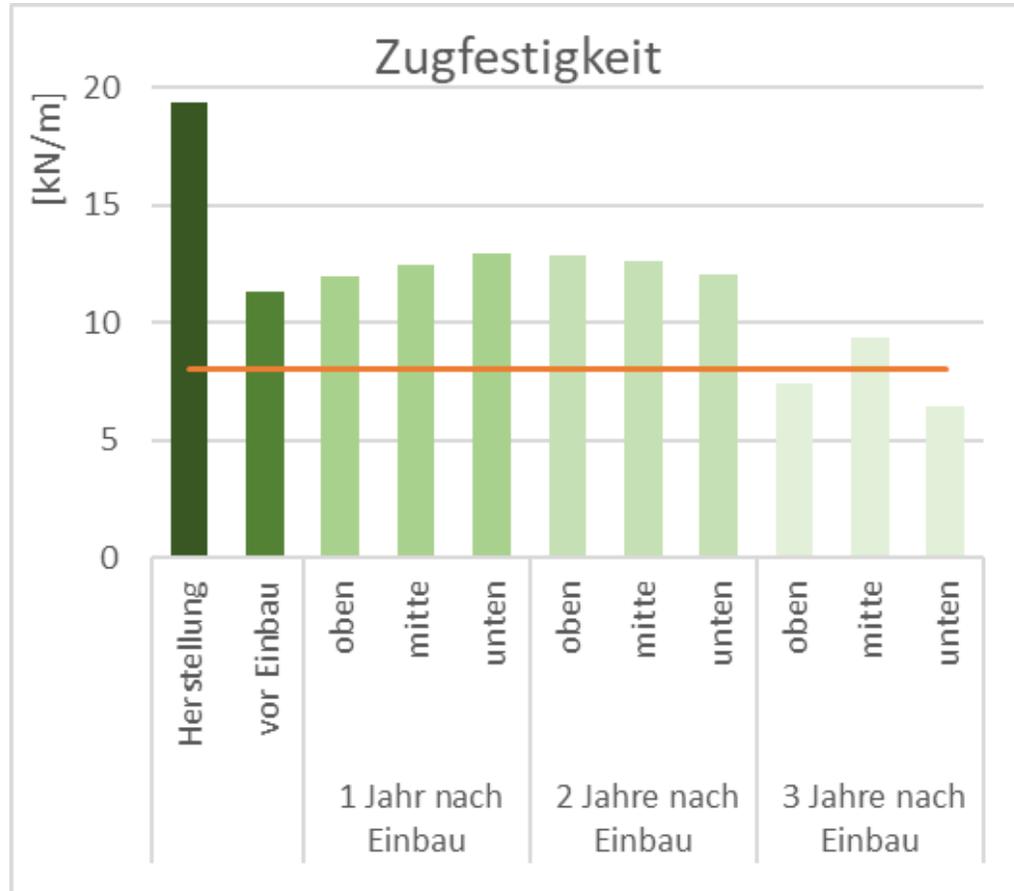
Rhein km 441,155 bis km 441,195

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

Versuchsstrecke am Rhein

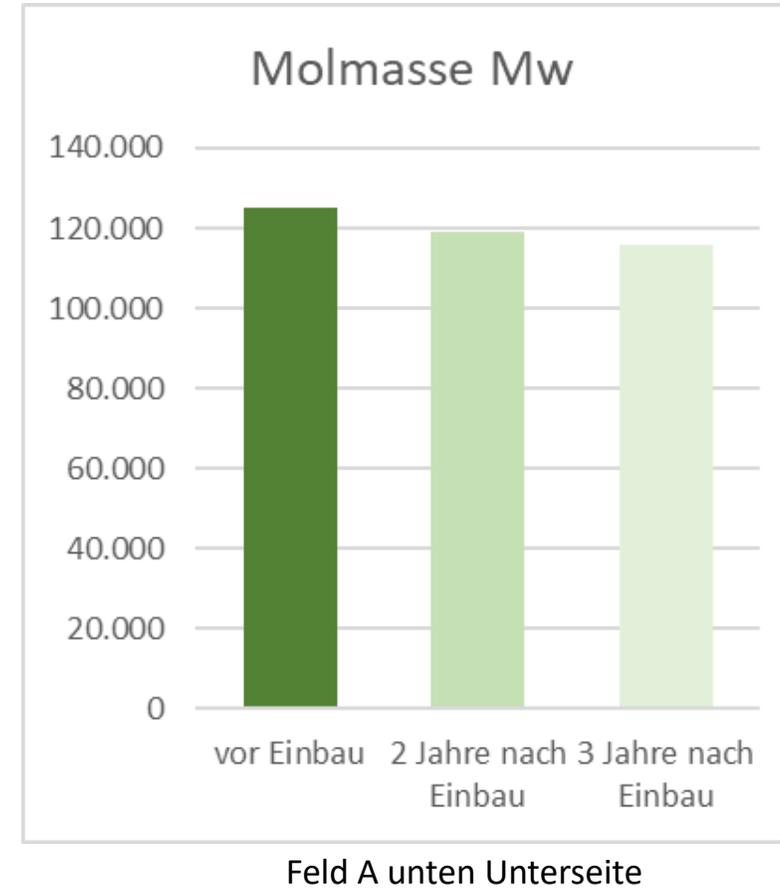
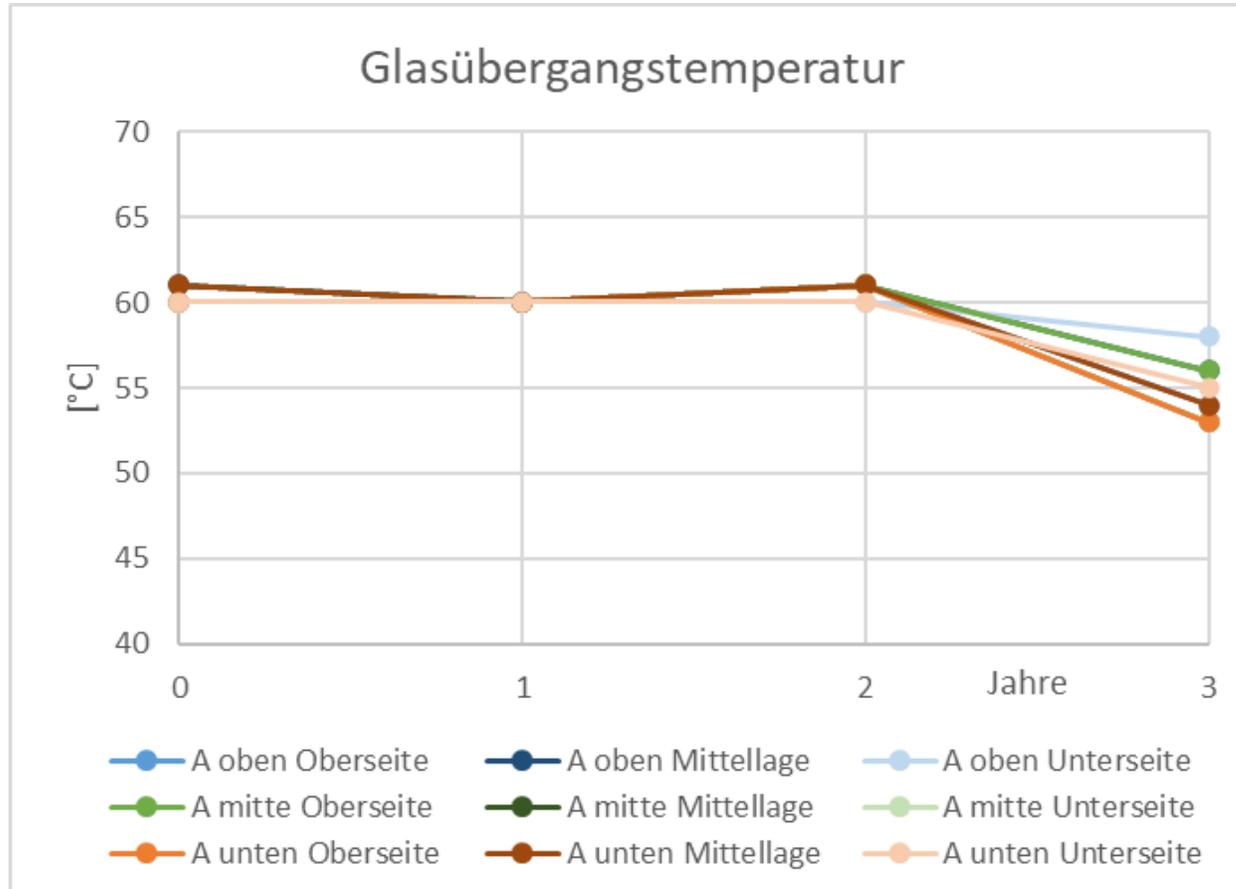
Freilandtest mit Steinmatratzen (BAW)

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

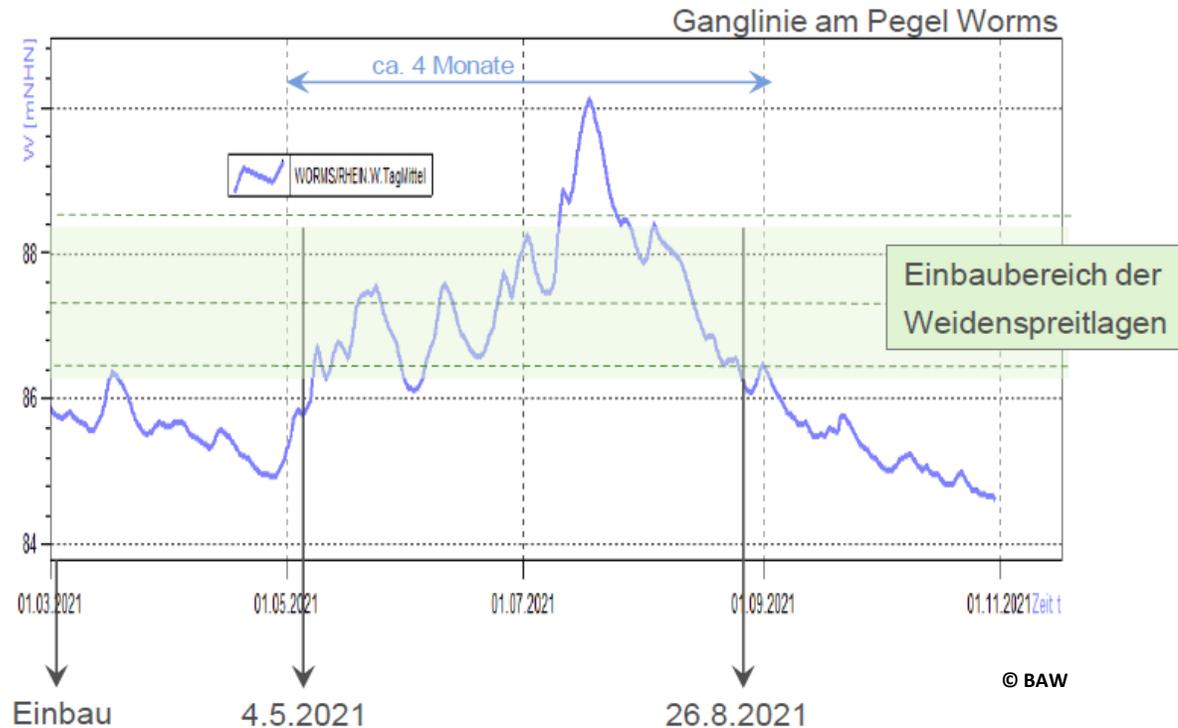


Etwa 6 Monate nach Einbau:

- 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

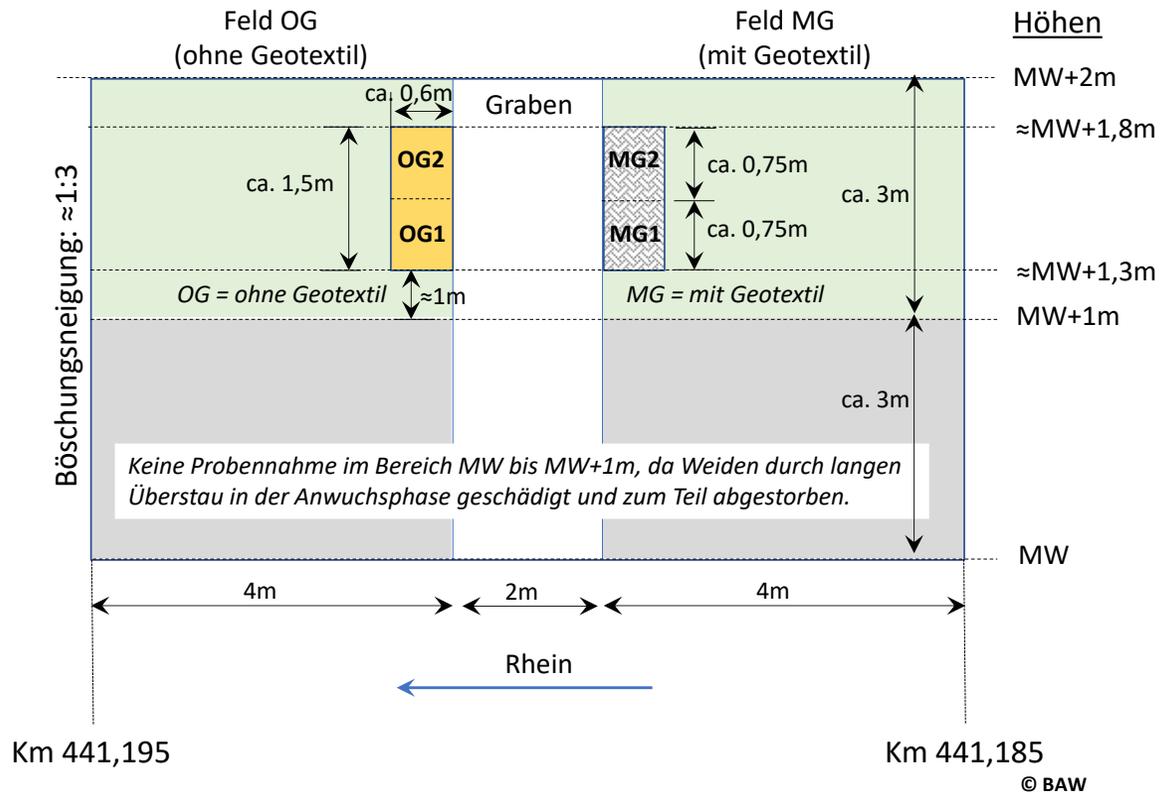


Weidenspreitlage am Rhein

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)

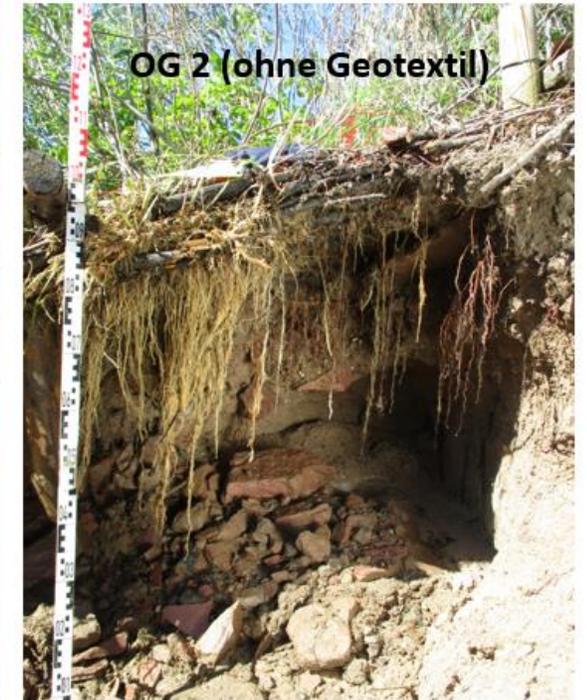


September 2023: Wurzel ausgrabungen

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

Versuchsstrecke am Rhein

Freilandtest mit Weidenspreitlage (BAW)

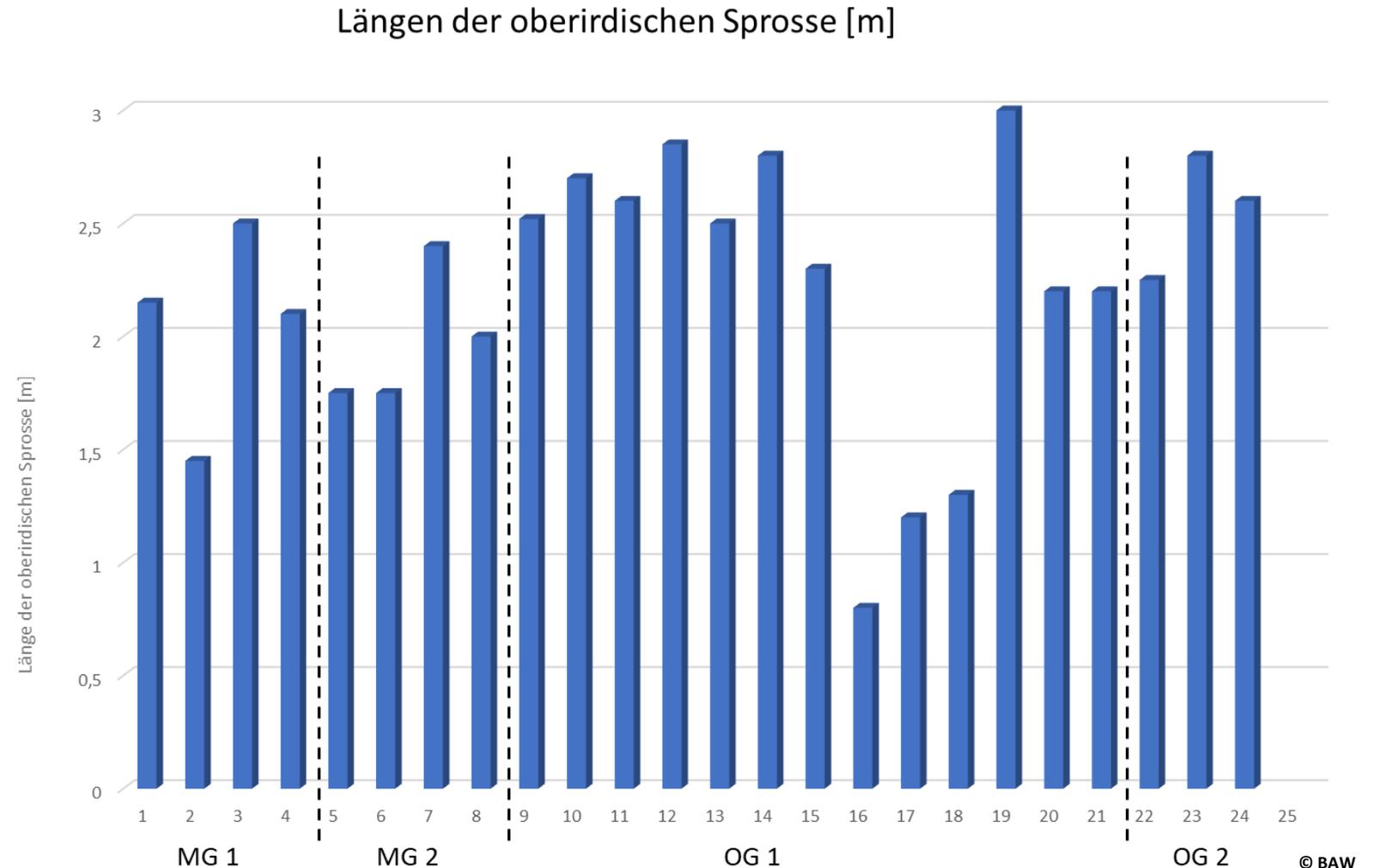


Sichtbar weniger Wurzelbildung mit Geotextil im Vergleich zu ohne Geotextil sowohl im unteren (links) als auch im oberen (rechts) Böschungsbereich

Versuchsstrecke am Rhein

Freilandtest mit Weidenspreitlage (BAW)

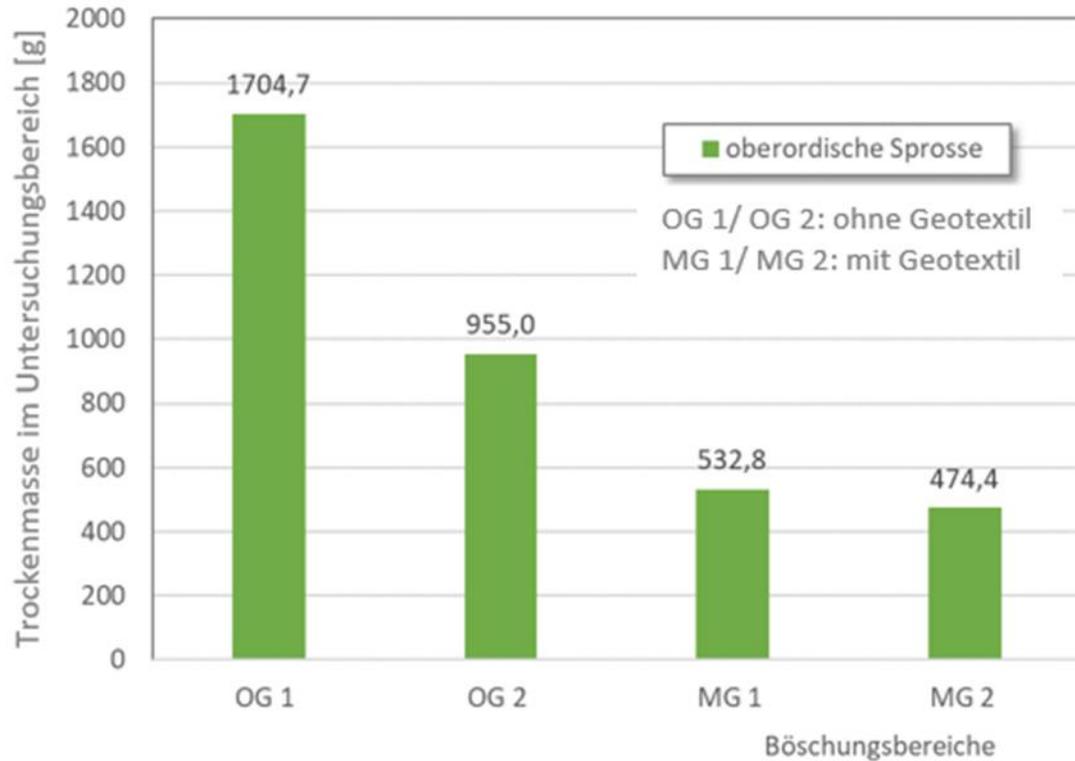
- Nur qualitative Bewertung möglich
 - Große Ungenauigkeiten
 - Wurzeln z.T. abgerissen, weggespült
 - Betrachtetes Bodenvolumen nicht genau gleich
 - Weidenspreitlage ist nicht homogen
- Insgesamt breite Streuung
- Etwas geringere Längen mit Geotextil



Versuchsstrecke am Rhein

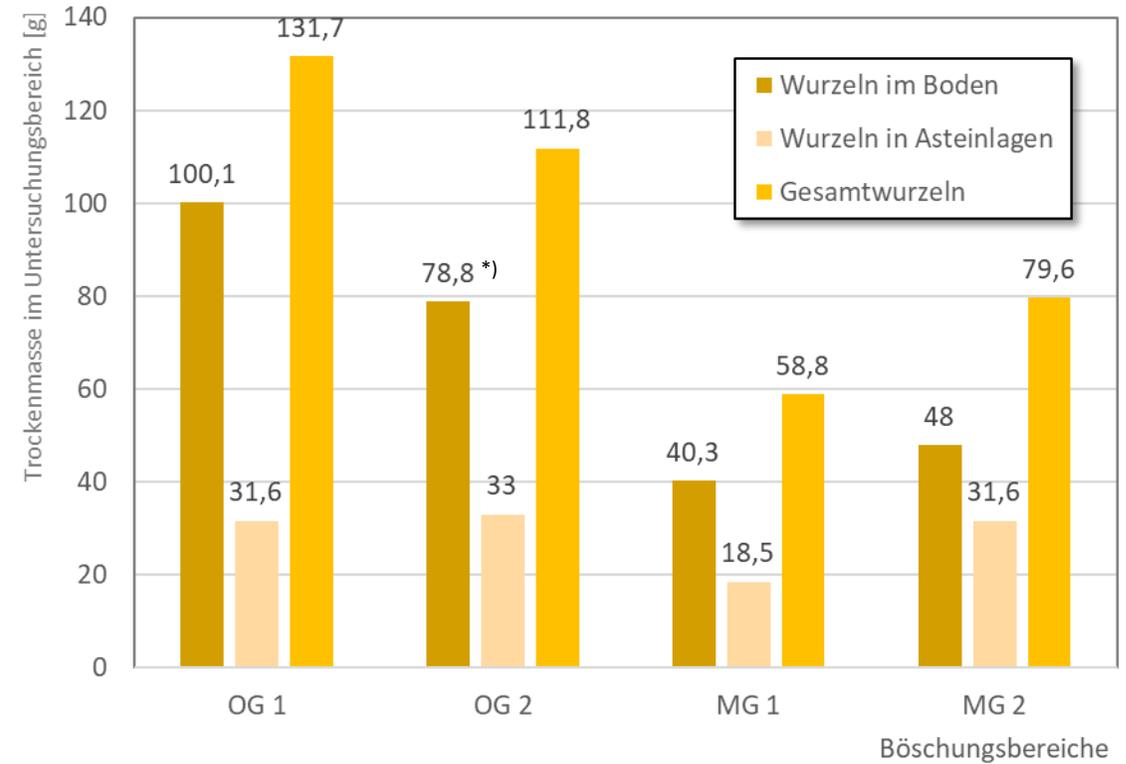
Freilandtest mit Weidenspreitlage (BAW)

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

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

Osterfelder Str. 3

46047 Oberhausen

www.umsicht.fraunhofer.de