



**Einbau und Entwicklung von Spreitlagen und  
Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024**

**BAW-Nr. B3952.04.04.70021**

**BfG-Nr. 1677**

**März 2026**

## **Einbau und Entwicklung von Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024**

Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr (BMV)

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. B3952.04.04.70021  
BfG-Nr. 1677

Aufgestellt von: Bundesanstalt für Wasserbau  
Abteilung: Ökologie  
Referat: Vegetationskunde, Landschaftspflege  
Bearbeitung: Katja Behrendt

Bundesanstalt für Gewässerkunde  
Abteilung: Geotechnik  
Referat: Erbau und Uferschutz  
Bearbeitung: Volker Schlüter

Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oberrhein  
Außenbezirk Worms  
Bearbeitung: Frank Römer

Koblenz, Karlsruhe und Mannheim, 25.03.2026

Der Bericht darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung von BfG, BAW und dem WSA Oberrhein.

## **Zusammenfassung**

An der Versuchsstrecke am Rhein bei Worms wurde im April 2024 im Versuchsfeld 2 oberhalb Mittelwasser eine neue Ufersicherung eingebaut. Sie bestand im unteren Bereich aus einer Weidenspreitlage und im oberen Bereich aus einer Schafschurwollmatte mit integrierter lagestabiler Saateinlage. Der Rhein führte im Frühjahr 2024 vergleichsweise viel Wasser. Dies hatte zur Folge, dass kurz nach Fertigstellung die gesamte Böschung eingestaut war. Insbesondere der untere Böschungsbereich mit frisch verlegter Weidenspreitlage lag acht Wochen durchgängig unterhalb des Wasserspiegels, sodass die Weiden überwiegend abstarben und ein nachträgliches Austreiben nicht mehr zu erwarten war. In der weiteren Beobachtung konnte bestätigt werden, dass ein längerer Einstau der Spreitlage während der kritischen Anfangsphase zu deren Totalausfall führen kann.

Durch den Einstau hat sich die im oberen Bereich verlegte Wollsaatmatte vollständig aufgelöst, sodass auch in diesem Bereich kein Böschungsschutz durch eine aufgehende Saat gewährleistet werden konnte. Bereits während des Einbaus wurde zudem festgestellt, dass eine Befestigung der verwendeten Saatmatte mit Pflöcken und Querriegeln nicht geeignet ist. Die Matte war bereits nach Fertigstellung an vielen Stellen schadhaft.

Da die eingebauten Maßnahmen den Uferschutz nicht gewährleisteten, wurde 2025 eine neue Ufersicherung errichtet. Nachfolgend sind Einbau und Entwicklung der Ufersicherungsmaßnahmen von 2024 dokumentiert.

<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Konstruktion	2
2.1	Randbedingungen	2
2.2	Planung	2
2.3	Verwendete Materialien	4
2.4	Baugrund	5
2.5	Einbau	5
3	Beobachtungen und Ergebnisse	8
3.1	Saatmatte	9
3.2	Abbaubares Geotextil	9
3.3	Weidenspreitlage	10
3.4	Befestigung der Querriegel	12
4	Diskussion	12
4.1	Saatmatte	12
4.2	Spreitlage	13
5	Schlussfolgerungen	16
5.1	Saatmatte	16
5.2	Spreitlage	17
6	Fazit und Ausblick	17
7	Literaturverzeichnis	19

<b>Abbildungsverzeichnis</b>	<b>Seite</b>
Abbildung 1: Anordnung der verschiedenen Versuchsfeldvarianten (VFv) innerhalb des Versuchsfeldes 2 mit Angabe der Wasserstände Mittelwasser (MW), mittleres Hochwasser (MHW) und dem höchsten Schifffahrtswasserstand (HSW).	1
Abbildung 2: Einbindegräben im VFv2.3.u am 15.04.2024 (Wasserstand: MW -7cm); links: angelegte Gräben; Mitte: unterer Graben; rechts: oberer Graben (Fotos: BAW).	3
Abbildung 3: Körnungslinien der Proben aus den Versuchsfeldern mit Angabe der Bodenklassifikation nach DIN 18196 und der Bodenarten nach DIN EN ISO 14688-1.	5
Abbildung 4: Ganglinie des Rheins auf Höhe des Versuchsfelds 2; ermittelt mittels FLYS (BfG 2020) aus den Wasserstandsdaten des Pegel Worms (WSV 2024a, 2024b).	6
Abbildung 5: Ausgetriebene Weidenäste nach 4-wöchiger Lagerung auf der Baustelle am 15.04.2024 (Fotos: BAW).	7
Abbildung 6: Weidenspreitlage am 17.04.2024, unten rechts: flächig verlegte Spreitlage aus Purpurweide; sonst: Spreitlage aus Korbweiden aus zu dünnen Ästen mit erheblichen Fehlstellen, die zum Größenvergleich abgebildete 2-Euro-Münze besitzt einen Durchmesser von 25,75 mm (Fotos: BAW).	7
Abbildung 7: Beim Einbau beschädigte Saatmatte am 17.04.2024 (Fotos: BAW).	8
Abbildung 8: Woll-Saatmatte und abbaubares Geotextil nach Hochwasser; links: 21.05.2024; rechts: 13.06.2024 (Fotos: ABz Worms/Oppenheim).	8
Abbildung 9: Bodenumlagerungen unter dem abbaubaren Geotextil wurden nur teilweise durch die Querriegel aufgehalten. Oben rechts: Austrag von Sand am Befestigungspflock; unten rechts: Während das Geotextil den Boden weitgehend zurückgehalten hat, ist im benachbarten Feld eine 50 cm mächtige Sandschicht erodiert. Unten rechts: Aufnahme vom 22.08.2024 sonst vom 16.07.2024 (Fotos: BAW).	10
Abbildung 10: Weidenspreitlage am 22.08.2024; im Hintergrund des rechten Abbildung sind die Weiden des Versuchsfelds 3 abgebildet (Fotos: BAW).	11
Abbildung 11: Links: Ausspülen des Bodens unter den Weidenästen am 16.07.2024. Mitte: freiliegende Äste mit Trieben am 22.08.2024. Rechts: überwiegend abgestorbene und einzelne vitale Äste der Spreitlage am 22.08.2024 (Fotos: BAW).	11
Abbildung 12: Befestigung der Querriegel beim Einbau, links: mit Draht, Mitte: mit Spax-Schrauben, rechts: Beide Varianten am 22.08.2024 (Fotos: BAW).	11

Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024 ▪ März 2026

Abbildung 13:	Auf natürliche Weise aufgekommene Weiden im Versuchsfeld 7 (Rhein-km 441,205 bis km 441,366) bei einem Wasserstand von 70 cm unter Mittelwasser am 14.11.2024 (Fotos: BAW).	13
Abbildung 14:	Ganglinien des Rheins von März bis September der Jahre 2011 bis 2024 auf Höhe des Versuchsfelds 2; ermittelt mittels FLYS (BfG 2020) aus den Wasserstandsdaten des Pegels Worms (WSV 2024a, 2024b) mit Angabe des mittleren Wasserstandes (MW), der Mittelwerte und des Interquartilsbereichs für die einzelnen Tage.	14
Abbildung 15:	Ganglinien des Rheins von Mai und Juni der Jahre 2011 bis 2024 auf Höhe des Versuchsfelds 2; ermittelt mittels FLYS (BfG 2020) aus den Wasserstandsdaten des Pegel Worms (WSV 2024a, 2024b) mit Angabe des mittleren Wasserstands (MW), der Mittelwerte und des Interquartilsbereichs für die einzelnen Tage.	15

**Tabellenverzeichnis**

**Seite**

Tabelle 1:	Charakteristische Wasserstände am Versuchsfeld 2 Rhein-km 440,82 in NHN(2016), berechnet mit der Flusshydrologischen Software (FLYS) der BfG (2020, aufgerufen am 28.05.2024) anhand der charakteristischen Wasserstände am Pegel Worms (WSV 2024b).	2
------------	--	---

## Abkürzungsverzeichnis

ABz	Außenbezirk
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
DIN	Deutsches Institut für Normung
EN	Europäische Norm
FLYS	Flusshydrologische Software
FuE	Forschung und Entwicklung
HSW	höchster Schifffahrtswasserstand
ISO	International Organization for Standardization
m ü. NHN	Meter über Normalhöhennull 2016
MHW	mittleres Hochwasser
MW	Mittelwasser
PLA	Poly lactide
SE	enggestufte Sande
SI	intermittierend gestufte Sande
SoMW	Sommermittelwasser
SU, SU*	Sand-Schluff-Gemische
TBU	technisch-biologische Ufersicherung
UG	Untersuchungsgebiet
VFv	Versuchsfeldvariante
WSA	Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt

## 1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Seit 2010 untersuchen die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und das Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oberrhein (WSA) mit dem Außenbezirk (ABz) Worms technisch-biologische Ufersicherungen (TBU) in einer Versuchsstrecke am Oberrhein. Sie liegt am rechten Ufer in der Gemeinde Lampertheim bei Rhein-km 440,600 bis km 441,600, wenige Kilometer oberhalb Worms. In der Versuchsstrecke werden verschiedene Ufersicherungsmaßnahmen untersucht, um deren Eignungsgrenzen und ökologischen Wirkungen zu bestimmen. Die bisherigen Ergebnisse haben BAW; BfG und WSA Oberrhein (2020) in einem gemeinsamen Bericht veröffentlicht.

Aus diesem Bericht ist ersichtlich, dass die 2009 im Versuchsfeld 2 eingebaute Weidenspreitlage die Uferschutzfunktion nicht mehr gewährleisten konnte. Daher wurde das Versuchsfeld im April 2024 saniert. Dabei sollten Weidenspreitlagen unter abgeänderten Einbaubedingungen (räumliche Beschränkung auf den unteren Böschungsbereich) erneut zum Einsatz kommen. Im oberen Böschungsbereich wurde eine Schafschurwollmatte mit integrierter lagestabiler Saateinlage eingebaut. Abbildung 1 zeigt den Versuchsfeldaufbau mit vier leicht voneinander abweichenden Varianten pro Bauweise.

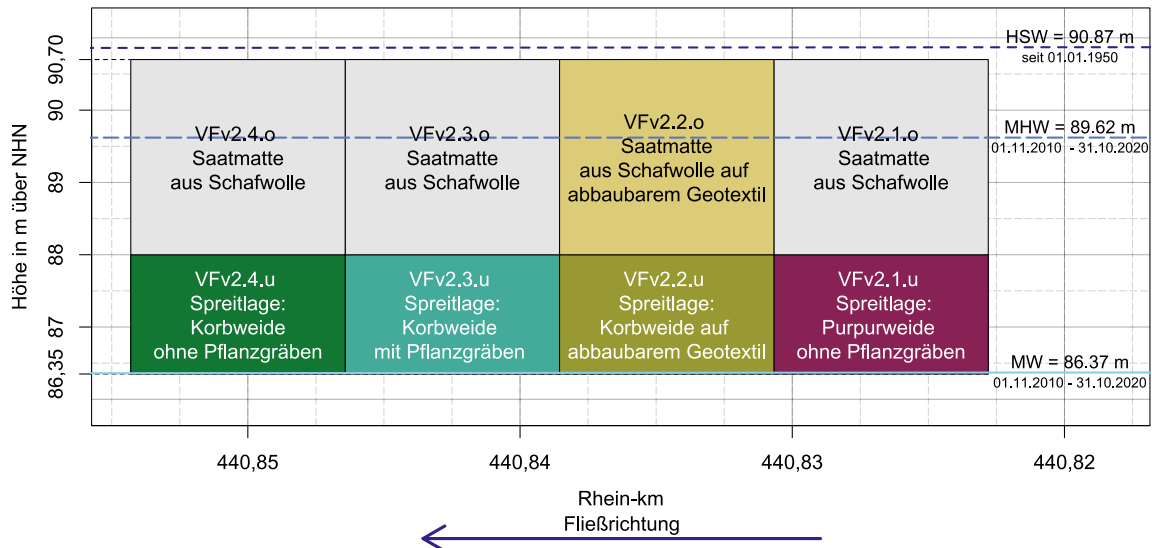


Abbildung 1: Anordnung der verschiedenen Versuchsfeldvarianten (VFv) innerhalb des Versuchsfeldes 2 mit Angabe der Wasserstände Mittelwasser (MW), mittleres Hochwasser (MHW) und dem höchsten Schifffahrtswasserstand (HSW).

Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024 ▪ März 2026

*Tabelle 1: Charakteristische Wasserstände am Versuchsfeld 2 Rhein-km 440,82 in NHN (2016), berechnet mit der Flusshydrologischen Software (FLYS) der BfG (2020, aufgerufen am 28.05.2024) anhand der charakteristischen Wasserstände am Pegel Worms (WSV 2024b).*

Bezeichnung	Abk.	Wasserstand	Zeitbezug
niedrigstes Niedrigwasser	NNW	84,45 m ü. NHN	20.10.2018
mittleres Niedrigwasser	MNW	84,84 m ü. NHN	01.11.2010–31.10.2020
gleichwertiger Abfluss	GIW	85,03 m ü. NHN	seit 01.01.2023
Sommermittelwasser*	SoMW	86,27 m ü. NHN	2013–2023
Mittelwasser	MW	86,37 m ü. NHN	01.11.2010–31.10.2020
Ausbauzentralwasserstand	AZW	86,38 m ü. NHN	1966–2000
Hochwassermarke I	M_I	88,88 m ü. NHN	seit 01.01.2004
mittleres Hochwasser	MHW	89,62 m ü. NHN	01.11.2010–31.10.2020
höchster Schifffahrtswasserstand	HSW	90,87 m ü. NHN	seit 01.01.1950
höchstes Hochwasser	HHW	92,56 m ü. NHN	29.12.1882

\* gemäß DIN 4049: 01. Mai bis 31. Oktober

## 2 Konstruktion

### 2.1 Randbedingungen

Das Versuchsfeld 2 befindet sich zwischen Rhein-km 440,822 und Rhein-km 440,854. Es ist somit 32 m lang. Die Böschungsoberkannte liegt bei 90,7 m ü. NHN. Die charakteristischen Wasserstände am Versuchsfeld 2 sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

### 2.2 Planung

Die Böschung wurde horizontal in zwei Bereiche geteilt. Im unteren Bereich von 86,3 m ü. NHN bis 88,0 m ü. NHN wurden Weidenspreitlagen in verschiedenen Einbauvarianten errichtet. Oberhalb wurde bis zur Böschungsoberkannte eine Saatmatte verlegt. Vertikal wurde das Ufer in jeweils knapp 8 m breite Abschnitte unterteilt. Die Anordnung der Versuchsfeldvarianten (VFv) in der Böschung ist in Abbildung 1 dargestellt und lässt sich wie folgt beschreiben:

Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024 ▪ März 2026



Abbildung 2: Einbindegräben im VFv2.3.u am 15.04.2024 (Wasserstand: MW -7cm); links: angelegte Gräben; Mitte: unterer Graben; rechts: oberer Graben (Fotos: BAW).

In der Versuchsfeldvariante VFv2.4.u wurde eine Weidenspreitlage aus Korbweiden (*Salix viminalis*) errichtet. Dabei wurden die Weidenäste auf die profilierte Böschung gelegt, ohne die basalen Enden in einen vorher ausgehobenen Pflanzgraben einzubinden. In den anderen drei unteren VFv wurde jeweils ein Parameter verändert, um dessen Auswirkung auf die Entwicklung der Weiden zu untersuchen.

VFv2.1.u:

In VFv2.1.u wurden anstelle von Korbweiden Purpurweiden (*Salix purpurea*) verwendet.

VFv2.2.u:

In VFv2.2.u wurden die Astlagen auf einem abbaubaren Geotextil verlegt.

VFv2.3.u:

In dieser Versuchsfeldvariante wurden die basalen Enden der Weidenäste in einen 50 cm tiefen, eigens angelegten Graben eingebunden (vgl. Abbildung 2s). Diese Ausführung entspricht der bisher von BAW und BfG empfohlenen Konstruktion einer Weidenspreitlage (vgl. Kennblatt Weidenspreitlage (BAW, BfG 2018)).

Alle Spreitlagen wurden mit horizontalen Querhölzern und Pflöcken aus nicht austriebsfähigem Material und Drahtverspannung flächig fest auf dem Boden verankert. Untereinander hatten die Pflöcke in Längs- und in Querrichtung jeweils einen Abstand von 50 cm. Nur in VFv2.1.u wurden anstelle des Drahtes testweise Spax-Schrauben verwendet.

In den oberen vier Versuchsfeldvarianten wurde eine Saatmatte aus Schafwolle verlegt. Diese wurde in den Feldern VFv2.1.o, VFv2.3.o und VFv2.4.o direkt auf dem anstehenden Boden ausgerollt. In VFv2.2.o wurde sie hingegen auf ein zuvor ausgelegtes abbaubares Geotextil aufgebracht. Die Saatmatte wurde ebenfalls mit Querriegeln und Pflöcken befestigt. Auch hier betrug der Abstand der Querriegel und Befestigungspflöcke untereinander jeweils 50 cm.

Zwischen den unteren und den oberen Versuchsfeldvarianten wurde horizontal eine Totholzfaschine eingebaut.

## 2.3 Verwendete Materialien

### Weiden:

Für die Spreitlagen wurden die beiden Strauchweidenarten Korb-Weide (*Salix viminalis*) und Purpur-Weide (*Salix purpurea*) verwendet. Gebietseigenes Weidenmaterial der genannten Zielarten konnte nicht in ausreichender Menge und Qualität gewonnen werden. Daher wurde das Astmaterial von einer Weidenplantage in Freising bezogen.

### abbaubares Geotextil:

Das abbaubare Geotextil trägt die Bezeichnung „Brinat-900“, besteht aus Fasern aus Polylactiden (PLA), Flachs und Hanf und wurde von der Firma „BNP Brinkmann“ hergestellt. Es wurde im FuE-Projekt B3952.04.04.70011, "Entwicklung definiert abbaubarer Vliese" als sog. optimierter Geotextilprototyp entwickelt. Hierfür wurden Mindestanforderungen definiert, die das Geotextil auch drei Jahre nach Einbau noch einhalten muss. Brinat-900 erreichte allerdings bereits 2023; bei Herstellung die erforderliche Zugfestigkeit nicht (Fleischer et al. 2022; Fraunhofer UMSICHT et al. 2024). Vor dem Einbau durchgeführte Labortests zeigten zudem, dass die vorhandene Zugfestigkeit teils nur noch 40 % der erforderlichen Zugfestigkeit betrug.

### Saatmatte:

Verwendet wurde die Saatmatte WollTerra Typ SM/W der Firma Bestmann Green Systems (BGS Ingenieurbiologie und -ökologie GmbH). Die Matte besteht zu 100 % aus einheimischer Schafschurwolle. Das Saatgut wird zwischen einzelnen Wollschichten eingearbeitet und ist dadurch lagestabil (BGS 2016, 2020).

Die Saatmatte wurde ausgewählt, da sie vollständig biologisch abbaubar ist. Laut Hersteller handelt es sich um ein Ersatzprodukt für andere Matten, die Kunststoff oder Jute enthalten (BGS 2016). Technische Angaben zur Zugfestigkeit oder zur zulässigen Strömungsbelastung werden in der Produktspezifikation nicht gemacht.

Es sollte eine auf den Standort abgestimmte Saatmischung verwendet werden. Ausgeschrieben wurde Regiosaatgut für den „Oberrheingraben“ oder hilfsweise für das Untersuchungsgebiet UG9 „Oberrheingraben mit Saarpfälzer Bergland“. Gewünscht wurde eine artenreiche Gebrauchsmischung mit unterschiedlichen Wurzelhorizonten für ausdauernde Pflanzengesellschaften mit bodenverfestigenden Eigenschaften.

### Querriegel und Pflöcke:

Als Querriegel und Pflöcke wurden nichtaustriebfähige Stämme oder Äste aus Nadelholz verwendet. Die Pflöcke waren angespitzt, der Schaft selbst war unbearbeitet, sodass größtenteils noch die Rinde vorhanden war. Die Pflöcke waren 80 cm bis 100 cm lang und hatten einen Durchmesser von 8 cm bis 10 cm.

### Totholzfmaschine

Die Totholzfmaschine wurde fertig gebunden aus heimischem Astschnitt auf die Baustelle geliefert.

Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024 ▪ März 2026

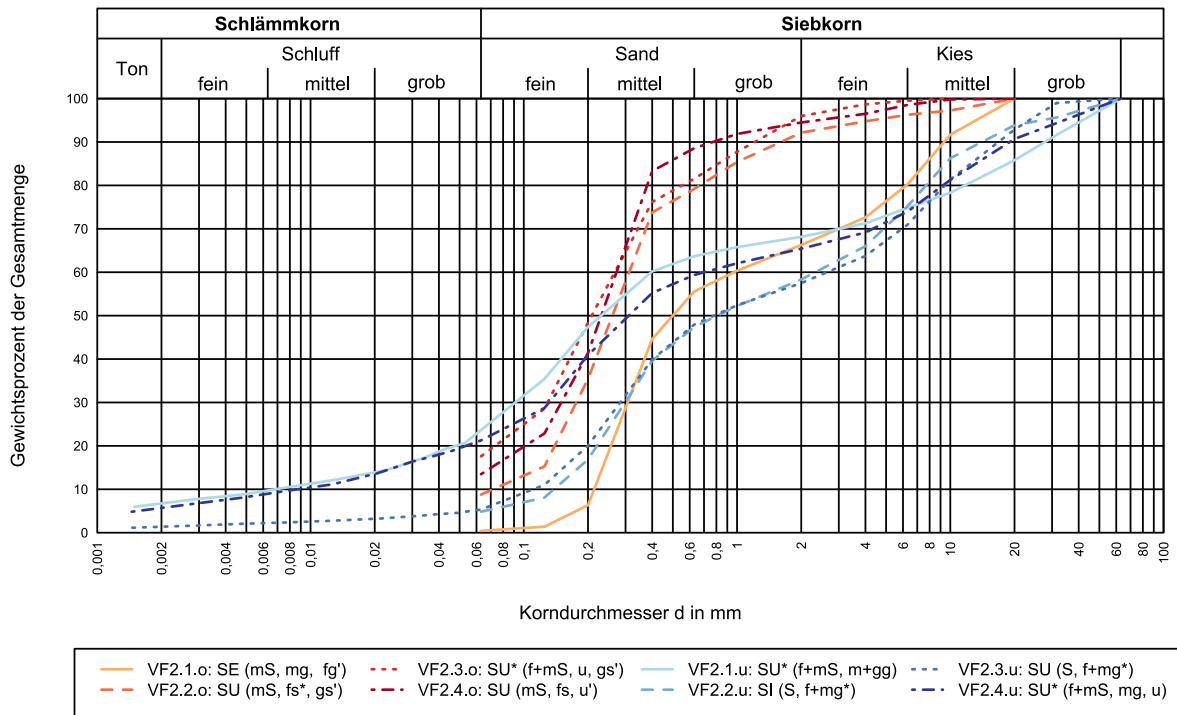


Abbildung 3: Körnungslinien der Proben aus den Versuchsfeldern mit Angabe der Bodenklassifikation nach DIN 18196 und der Bodenarten nach DIN EN ISO 14688-1.

## 2.4 Baugrund

Zur Dokumentation des Baugrundes wurde in jedem der 8 VFv eine Bodenprobe entnommen. Im geotechnischen Labor der BAW wurde für jede Probe die Kornverteilung bestimmt. Die Ergebnisse sind in Abbildung 3 dargestellt.

Angetroffen wurden hauptsächlich Fein- und Mittelsande. Diese sind gemäß DIN 18196 je nach Feinkornanteil als Sand-Schluff-Gemische (SU, SU\*) oder als grobkörnige Sande zu klassifizieren. Letztere sind entweder enggestufte Sande (SE) oder intermittierend gestufte Sande (SI).

In drei der vier oberen VFv liegt der Kiesanteil unter 10 %. Die anderen Proben waren mit einem Kiesanteil zwischen 31,9 % und 42 % stark kiesig.

## 2.5 Einbau

Das erste Halbjahr des Jahres 2024 war von höheren Wasserständen geprägt (Abbildung 4). Dies führte dazu, dass die Ufersicherung nicht wie geplant eingebaut werden konnte und die Baustelle zwei Mal pausieren musste. Dadurch gliederte sich der Einbau in drei Abschnitte:

Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024 ▪ März 2026

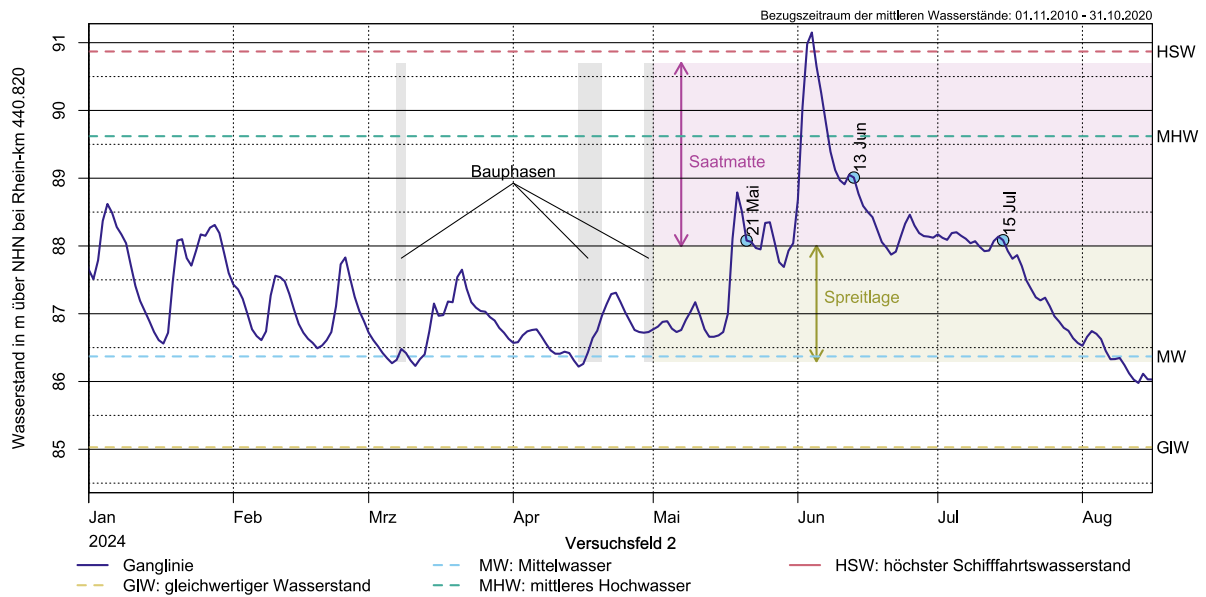


Abbildung 4: Ganglinie des Rheins auf Höhe des Versuchsfelds 2; ermittelt mittels FLYS (BfG 2020) aus den Wasserstandsdaten des Pegel Worms (WSV 2024a, 2024b).

- 07. & 08.03.2024: Vorbereitung der Böschung: Entfernung vorhandener Weidenstümpfe, Profilieren der Böschung.
- 18.03.2024: Lieferung der Weidenäste und Lagerung auf der Baustelle
- 15.-19.04.2024: Einbau der Spreitlage und der Saatmatte. Fertigstellung von VFv2.1.u. Anschließend Unterbrechung wegen höheren Wasserständen
- 29. & 30.04.2024: Fertigstellung der VFv incl. Erneuerung der Bodenüberdeckung in VFv2.1.u und Ausbesserung der Saatmatte

Durch die wasserstandsbedingten Verzögerungen lagerten die Weidenäste bereits 4 Wochen auf der Baustelle bevor sie eingebaut wurden. Die Entwicklung der Weidentriebe hatte somit bereits eingesetzt und die Äste wiesen teilweise Feinwurzeln und erste Triebe auf (Abbildung 5).

Während der Bauausführung stellte sich heraus, dass die Baufirma nicht genügend Astmaterial der Korbweide geliefert hatte. Während die Versuchsfeldvariante VFv2.1.u mit Purpur-Weidenmaterial bis zum 19.4.2024 fertiggestellt werden konnte (Abbildung 6, unten rechts), wiesen die Weidenspreitlagen in den anderen VFv anfangs erhebliche Fehlstellen auf. Die erforderliche vollständige Abdeckung des Bodens war nicht gegeben. Zudem waren die Äste deutlich dünner als vorgegeben (Abbildung 6). Insgesamt waren die Vorgaben des in Kapitel 2 genannten Kennblattes für Weidenspreitlagen (BAW und BfG 2018) in drei von vier Teilbereichen nicht umgesetzt. Daher mussten Korb-Weiden aus Freising nachgeliefert werden, die am 29. und 30.04.2024 eingebaut wurden. Der späte Erntezeitpunkt führte auch hier dazu, dass die Äste bei Lieferung bereits ausgetrieben waren.

Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024 ▪ März 2026



Abbildung 5: Ausgetriebene Weidenäste nach vierwöchiger Lagerung auf der Baustelle am 15.04.2024 (Fotos: BAW).



Abbildung 6: Weidenspreitlage am 17.04.2024, unten rechts: flächig verlegte Spreitlage aus Purpurweide; sonst: Spreitlage aus Korbweiden aus zu dünnen Ästen mit erheblichen Fehlstellen, die zum Größenvergleich abgebildete 2-Euro-Münze besitzt einen Durchmesser von 25,75 mm (Fotos: BAW).

Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024 ▪ März 2026



Abbildung 7: Beim Einbau beschädigte Saatmatte am 17.04.2024 (Fotos: BAW).



Abbildung 8: Woll-Saatmatte und abbaubares Geotextil nach Hochwasser; links: 21.05.2024; rechts: 13.06.2024 (Fotos: ABz Worms/Oppenheim).

Bei der Verlegung der Saatmatten stellte sich heraus, dass das Produkt nur eine geringe Zugfestigkeit besitzt. Es lässt sich daher nur schwer zerstörungsfrei einbauen. Insbesondere beim Einbringen der Befestigungspflöcke wurde die Saatmatte stark beschädigt (Abbildung 7). Teilweise verhakte sich die Matte an den rauen Pflöcken, sodass sie beim Einbringen der Pflöcke einriss. Eine weitere Schädigung der Saatmatte ist durch bloßes Begehen möglich. Durch die vorgeschriebene Bewässerung (BGS 2020) wurde die Matte ebenfalls geschädigt. Bereits während des Einbaus waren Nacharbeiten erforderlich. Die Ausbesserung der Saatmatte erfolgte ebenfalls am 29. und 30.04.2024.

### 3 Beobachtungen und Ergebnisse

Die Entwicklung der Ufersicherungen in den einzelnen Versuchsfeldern wurde durch Begehungen qualitativ dokumentiert.

Die ersten 16 Tage nach Einbau lag der Wasserstand am Versuchsfeld im Mittel bei 86,83 m ü. NHN. Anschließend stieg der Wasserstand an, sodass die Weidenspreitlage die

folgenden 8 Wochen vollständig unter Wasser war. Der Scheitel der ersten Hochwasserwelle lag am 19.05.2024 bei 88,79 m ü. NHN. Dadurch wurden die unteren 79 cm der Saatmatte ebenfalls eingestaut. Danach folgte eine zweite Hochwasserwelle mit einem Scheitel bei 91,15 m ü. NHN am 04.06.2024, bei der die gesamte Böschung eingestaut wurde (Abbildung 4).

### 3.1 Saatmatte

Bereits nach dem ersten Hochwasser zeigten sich an der Saatmatte erhebliche Schäden. In den Bereichen, die vom Hochwasser eingestaut waren, löste sich das Produkt vollständig auf (vgl. Abbildung 8 links). Das abbaubare Geotextil der VFv2.2.o konnte hingegen noch vorgefunden werden (vgl. Vordergrund Abbildung 8, links).

In der zweiten Hochwasserwelle setzten sich die Schäden im vollständig eingestauten oberen Böschungsbereich fort. Auch hier löste sich die Wollsaatmatte komplett auf (Abbildung 8, rechts). In allen oberen Versuchsfeldvarianten ohne Geotextil waren 40 cm – 50 cm des Bodens erodiert. Die unmittelbar im Anschluss an die Bauphase aufgetretenen Einstauereignisse führten somit zum Ausfall der Sicherungsbauweise, weshalb die Wollsaatmatte für die Begrünung hochwassergefährdeter Uferböschungen nicht zu empfehlen ist.

### 3.2 Abbaubares Geotextil

In der Versuchsfeldvariante VFv2.2.o wurde die Böschung zusätzlich durch das abbaubare Geotextil gesichert. Das Textil war auch nach der Hochwasserwelle intakt und der Bodenabtrag im Vergleich zu den benachbarten Feldern deutlich geringer (Abbildung 8, rechts und Abbildung 9, unten links).

Dennoch haben auch hier die hydrodynamischen Belastungen beim Hochwasser zu Bodenumlagerungen unter dem Textil geführt. Derartige Prozesse wurden bereits in früheren Untersuchungen beobachtet. Sie sollen durch die Querriegel begrenzt werden (BAW; BfG und WSA Mannheim 2013).

Die Auswertung ergab, dass die Querriegel in einigen Bereichen die Bodenumlagerung begrenzten. Sichtbar wird dies an deutlichen Aufwallungen oberhalb der Querriegel (Abbildung 9, unten links). In anderen Bereichen konnten die Querriegel die Verlagerungen jedoch nicht vollständig verhindern (Abbildung 9, oben rechts). Dort lagen die Querriegel im Juli nicht mehr auf dem Boden auf. Offensichtlich kam es zu einem Bodenverlust unter dem Geotextil. Es ist anzunehmen, dass der Boden durch die Löcher im Geotextil ausgetreten ist, die durch das Verpflocken entstanden sind (Abbildung 9, oben, rechts). Sowohl die raue Oberfläche der Pflöcke als auch die geringe Zugfestigkeit des Geotextils dürften dazu geführt haben, dass größere Öffnungen entstanden sind. Durch die Verwendung von Pflöcken mit glatter Oberfläche und eines festeren Geotextils, aber auch durch eine Vergrößerung des uferparallelen Pflockabstandes sollte der Bodenaustrag durch die Löcher verringert werden können. Auch bei optimierter Bauweise besteht jedoch weiterhin das Risiko, dass Boden durch den Spalt zwischen Pflöck und Geotextil ausgetragen wird.

Somit stellt die Befestigung der Querriegel mit Hilfe von Holzpflocken eine Schwachstelle der Konstruktion dar. Daher empfiehlt es sich bei Bauweisen unter Verwendung von Geotextilien andere

Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024 ▪ März 2026

Möglichkeiten der Sicherung zu prüfen. Denkbar ist beispielsweise das Abdecken des Textils durch eine Lage Wasserbausteine.

### 3.3 Weidenspreitlage

Während der kritischen Anfangsphase war die Weidenspreitlage vom 18. Mai bis zum 15. Juli 8 Wochen lang vollständig unter Wasser. Danach ging der Wasserstand langsam zurück, sodass das untere Ende bis zum 10. August noch weitere 3 Wochen eingestaut war. Die lange Hochwasserphase führte dazu, dass die Äste der Weidenspreitlage nur vereinzelt und nur auf dem oberen Meter Triebe entwickelten. Die unteren  $\frac{3}{4}$  wurden von einer relativ mächtigen Sandschicht aus dem Erosionsprozess der oberen Böschungsbereiche bedeckt (Abbildung 10).



Abbildung 9: Bodenumlagerungen unter dem abbaubaren Geotextil wurden nur teilweise durch die Querrigel aufgehalten. Oben rechts: Austrag von Sand am Befestigungspflock; unten rechts: Während das Geotextil den Boden weitgehend zurückgehalten hat, ist im benachbarten Feld eine 50 cm mächtige Sandschicht erodiert. Unten rechts: Aufnahme vom 22.08.2024 sonst vom 16.07.2024 (Fotos: BAW).

Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024 ▪ März 2026



Abbildung 10: Weidenspreitlage am 22.08.2024; im Hintergrund des rechten Abbildung sind die Weiden des Versuchsfelds 3 abgebildet (Fotos: BAW).



Abbildung 11: Links: Ausspülen des Bodens unter den Weidenästen am 16.07.2024. Mitte: freiliegende Äste mit Trieben am 22.08.2024. Rechts: überwiegend abgestorbene und einzelne vitale Äste der Spreitlage am 22.08.2024 (Fotos: BAW).



Abbildung 12: Befestigung der Querriegel beim Einbau, links: mit Draht, Mitte: mit Spax-Schrauben, rechts: Beide Varianten am 22.08.2024 (Fotos: BAW).

Die Äste im oberen Viertel lagen hingegen frei und bereichsweise bis zu 30 cm hohl, da auch hier Boden erodiert wurde (Abbildung 11, links und Mitte). Durch den fehlenden Bodenkontakt, starben die wenigen jungen Wurzeln ab. Eine Verankerung mit dem Boden konnte nicht stattfinden. In der Folge vertrockneten große Bereiche der Astlagen. Eine Ufersicherungsfunktion konnte nicht mehr gewährleistet werden. Eine Verfüllung der Hohlräume mit Bodenmaterial wurde aufgrund der überwiegend abgestorbenen Weiden als nicht zielführend erachtet. Der Einbau der Weidenspreitlage war in diesem Jahr somit nicht erfolgreich.

### **3.4 Befestigung der Querriegel**

Spreitlage und Saatmatte wurden mit Querriegeln, Pflöcken und Drahtverspannungen flächig fest auf dem Boden verankert (Abbildung 12, links). Probeweise wurden, auf Vorschlag der einbauenden Firma, in der VFv 2.1.u Spax-Schrauben anstelle des Drahtes verwendet (Abbildung 12, Mitte). Diese seien haltbarer als eine Drahtverbindung.

Dabei stellte sich heraus, dass der wesentliche Vorteil der Schrauben darin besteht, dass die Schraubenverbindung erheblich schneller hergestellt werden kann. Zudem ist eine geringere Sorgfalt bei der Herstellung erforderlich. Allerdings lässt sich die Drahtverbindung einfacher wieder lösen, wenn z. B. nachträglich zusätzliche Weidenäste eingebaut werden sollen. Auffällig war, dass beim Einbau eine beträchtliche Anzahl an Schrauben zwischen die Weidenäste fielen und somit in die Umwelt gelangten. Dies war insbesondere dann der Fall, wenn Schraubenverbindungen wieder gelöst werden mussten.

Bei der Begehung im August wurde festgestellt, dass beide Verbindungsarten bis zu diesem Zeitpunkt ihren Zweck erfüllten.

Langfristig ist zu erwarten, dass mit der Zeit Pfähle und Querriegel verrotten, sodass sowohl Drähte als auch Schrauben in die Umwelt gelangen. Alte Schrauben stellen bekanntlich ein erhebliches Verletzungsrisiko dar. Aufgrund der genannten Beobachtungen ist diese Verbindungsmethode nicht zu empfehlen.

## **4 Diskussion**

Die Ergebnisse zeigen, dass die 2024 im Versuchsfeld 2 errichteten technisch-biologischen Ufersicherungen den Uferschutz nicht wie gewünscht gewährleisten können. Es ist daher zu klären, welche wesentlichen Gründe für das Versagen der gewählten Bauweisen verantwortlich sind.

### **4.1 Saatmatte**

Die Saatmatte soll im Wesentlichen zwei Funktionen erfüllen, sie soll 1) für eine zügige Begrünung der Böschung sorgen. Gleichzeitig soll sie 2) das Ufer im Hochwasserfall gegen Erosion schützen. Die Beobachtungen haben gezeigt, dass die gewählte Saatmatte WollTerra Typ SM/W der Firma Bestmann Green Systems spezielle Anforderungen an den Einbau, insb. die Art der Befestigung stellt, da das Produkt weder zug- noch reißfest ist. Weiterhin können die auf die Böschung einwirkenden Kräfte, wie bspw. starker Niederschlag, Hochwasser, schiffsinduzierte Belastung aber auch Tritt die Matte sehr schnell beschädigen bzw. auflösen. Ein Aufgehen der Saat und die

flächige Böschungsbegrünung zum Schutz vor Erosion ist dann nicht mehr möglich und die Uferschutzfunktion nicht gewährleistet. Auf hochwassergefährdeten Böschungen ist der Einsatz dieses Produkttyps somit nicht zu empfehlen.

Zukünftig soll daher untersucht werden, welche Produkte und Methoden geeignet sind, um einen gras- und krautreichen Bewuchs auch auf hochwassergefährdeten Böschungen, zum Schutz vor Erosion, zu entwickeln.

## 4.2 Spreitlage

Da die Spreitlage im Jahr 2024 von Mitte Mai bis Mitte Juli über Wochen eingestaut war, konnten die verlegten Äste kaum Wurzeln und Triebe bilden. Das untere Ende der Spreitlage wurde auf Höhe des Mittelwassers eingebaut (Abbildung 1). Der Spreitlagenbereich erstreckt sich insgesamt über 1,70 m Böschungshöhe (von 86,3 m ü. NHN bis 88,0 m ü. NHN) und bildet grob das potenziell gut besiedelbare Höhenband von Weidengebüsch und Weidenwald am Rhein ab. Weiden sind an die temporären Überflutungen angepasst und können am Wuchsplatz Überflutungen von 80 – 160 Tagen überdauern (Späth 1988, 2002). Der untere Einbaubereich entspricht den Empfehlungen des Kennblattes von BAW und BfG (2018).

Dass dieser Bereich für den Weidenwuchs geeignet ist, zeigen natürlicherweise aufgekommene Weiden in benachbarten Böschungsbereichen (vgl. Abbildung 13) und die Erfahrungen mit der 2009 angelegten Weidenspreitlage im Versuchsfeld 3 (Abbildung 10), in der sich die Weiden in gleicher Höhenzone auf der Böschung über die Jahre gut entwickelt haben. Allerdings bedeutet dies nicht, dass die Ansiedelung in jedem Jahr möglich ist. Bereits bei den ersten Versuchen im Jahr 2012 wurde festgestellt, dass sich im unteren Bereich bis 86,88 m ü. NHN nur sehr wenige Triebe gebildet haben. Grund waren die Wasserstände im Frühjahr 2012 (BAW; BfG und WSA Mannheim 2013). Auch 2021 führte der mehrmonatige Einstau einer neu angelegten Weidenspreitlage im Versuchsfeld 6 dazu, dass sich im unteren Bereich bis rund 1,3 m über Mittelwasser nahezu keine Triebe bildeten (Fraunhofer UMSICHT et al. 2024). In den beiden Jahren lag die untere Grenze, ab der der Einbau erfolgreich war, somit deutlich über dem langjährigen Mittelwasser.



Abbildung 13: Auf natürliche Weise aufgekommene Weiden im Versuchsfeld 7 (Rhein-km 441,205 bis km 441,366) bei einem Wasserstand von 70 cm unter Mittelwasser am 14.11.2024 (Fotos: BAW).

Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024 ▪ März 2026

In Abbildung 14 sind jeweils die Ganglinien der Jahre 2011 bis 2024 von März bis September dargestellt. Abbildung 15 zeigt zudem den Ausschnitt von Mai bis Juni. Auf den ersten Blick zeigt sich, dass die Wasserstände von Jahr zu Jahr stark schwanken. Hochwasserwellen können zu jeder Zeit auftreten, wobei diese im März und April augenscheinlich geringer ausfallen, als die im Mai und Juni.

In Abbildung 14 sind zudem als statistische Größen der Tagesmittelwert der Jahre 2011 bis 2024 sowie der Interquartilsbereich abgebildet. Dies ist jener Bereich um den Mittelwert, in dem 50 % aller Messwerte liegen.

In den Monaten März und April liegt das Tagesmittel unter dem Mittelwasserstand. Im Mai und Juni liegt es darüber. Die Ganglinie des Jahres 2024 liegt durchgehend oberhalb des Tagesmittels und größtenteils oberhalb des Quartilsbereiches. Somit liegen mindestens 75 % aller Frühjahrs-ganglinien unter der von 2024. Gleichzeitig ähnelt die Ganglinie von 2024 stark der Ganglinie von 2013. Es handelt sich somit um ein seltenes, jedoch nicht unbedingt außergewöhnliches Ereignis.

Die Ganglinie von 2024 erklärt zwar, weshalb die Weidenspreitlage nicht angewachsen ist, sie lässt aber noch keine Rückschlüsse zu, unter welchen Randbedingungen ein Anwachsen möglich ist. Einen größeren Informationsgehalt besitzt hingegen die Ganglinie des Jahres 2012.

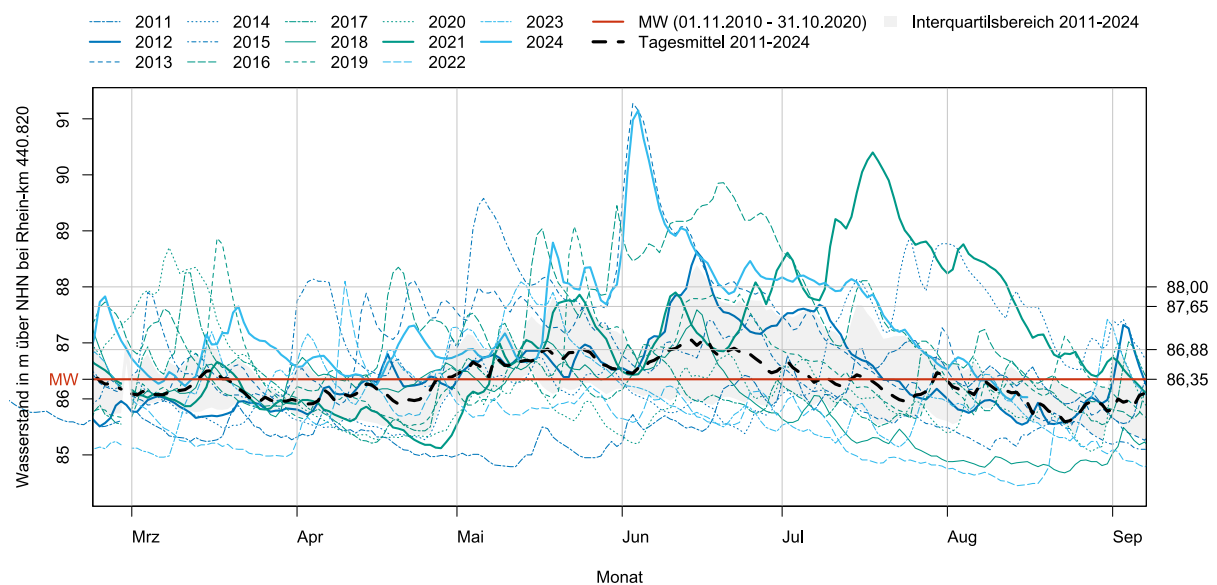


Abbildung 14: Ganglinien des Rheins von März bis September der Jahre 2011 bis 2024 auf Höhe des Versuchsfelds 2; ermittelt mittels FLYS (BfG 2020) aus den Wasserstandsdaten des Pegels Worms (WSV 2024a, 2024b) mit Angabe des mittleren Wasserstandes (MW), der Mittelwerte und des Interquartilsbereichs für die einzelnen Tage.

Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024 ▪ März 2026

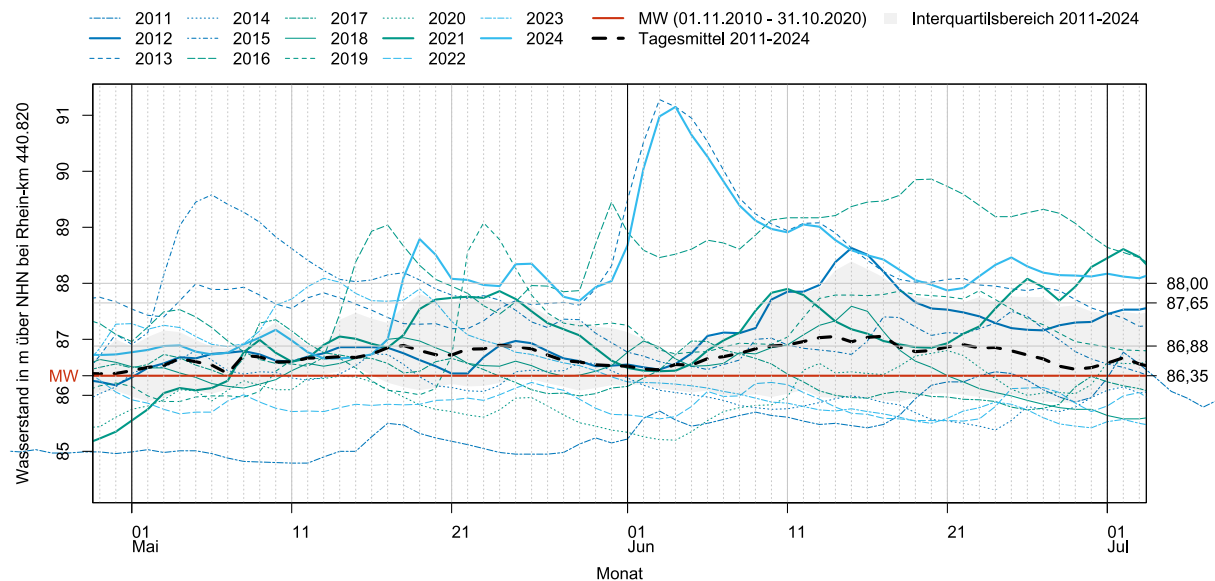


Abbildung 15: Ganglinien des Rheins von Mai und Juni der Jahre 2011 bis 2024 auf Höhe des Versuchsfelds 2; ermittelt mittels FLYS (BfG 2020) aus den Wasserstandsdaten des Pegel Worms (WSV 2024a, 2024b) mit Angabe des mittleren Wasserstands (MW), der Mittelwerte und des Interquartilsbereichs für die einzelnen Tage.

2012 lag der Wasserstand von März bis Mai nahe am Durchschnitt. In den Monaten März und April lag er meist unter Mittelwasser. Im Mai stieg der Wasserstand und erreichte mit einer Höhe von 86,9 m ü. NHN die untere Zone, ab der die damalige Spreitlage gut gedieh (BAW; BfG und WSA Mannheim 2013). Anschließend fiel der Wasserstand wieder und lag 11 Tage unterhalb des Maimaximums. Danach trat ein Sommerhochwasser mit einem Scheitel bei 88,63 m ü. NHN auf.

Dies lässt vermuten, dass 2012 die höchsten Maiwasserstände entscheidend für die Entwicklung der Spreitlage waren. Ende April waren die Triebe nur wenige Zentimeter hoch (BAW; BfG und WSA Mannheim 2013). Sie wurden dadurch früh überstaut. Bereits Anfang Juni wurde festgestellt, dass unterhalb der maximalen Maiwasserstände kaum noch Triebe vorhanden waren, während oberhalb Triebhöhen von 1,30 m gemessen wurden (BAW; BfG und WSA Mannheim 2013). Letztere waren daher in der anschließenden Hochwasserwelle im ungünstigsten Fall nur 3,5 Tage überstaut. Die Spitzen der Triebe an höheren Standorten reichten hingegen die ganze Zeit über das Wasser hinaus. Diese hohen Wasserstände hatten deshalb keinen Einfluss auf die Entwicklung der Spreitlage.

Eine ähnliche Beobachtung ließ sich 2021 machen. Die in dem Jahr im Versuchsfeld 6 eingebaute Spreitlage wies bis ungefähr 1,3 m über Mittelwasser erhebliche Ausfälle auf (Fraunhofer UMSICHT et al. 2024). Dies entspricht einem Wasserstand am Versuchsfeld 2 von ca. 86,65 m ü. NHN.

Aus Abbildung 15 ist ersichtlich, dass 2021 die Wasserstände im Mai diese Grenze zwischen Wuchsausfall und Wuchs erreichten. Anschließend gingen sie wieder zurück. Der maximale Maiwasserstand wurde erst wieder nach 17 Tagen überschritten. Nach erneutem Rückgang wurde er

zudem 11 Tage später wieder erreicht. Es folgte ein Sommerhochwasser von Ende Juni bis Mitte August (Abbildung 14).

Somit war die Situation 2012 mit der von 2021 vergleichbar. In beiden Jahren führten die maximalen Maiwasserstände dazu, dass die unterhalb liegenden Triebe, die noch nicht über den Wasserstand hinausragen konnten, geschädigt wurden. Sie konnten sich danach nicht wieder erholen. Die anschließenden Zeiträume mit niedrigeren Wasserständen von 17 Tagen und von 11 Tagen reichten hierfür nicht aus. Das später folgende Sommerhochwasser hatte hingegen keinen erkennbaren Einfluss auf die intakten Teile der Spreitlage.

Auch der Wasserstandsverlauf von 2024 passt in diese Systematik. Der maximale Maiwasserstand wurde in diesem Jahr nach 13 Tagen wieder überschritten (Abbildung 14). Da im Mai die gesamte Spreitlage eingestaut war, führte dies zum beobachteten Totalausfall.

In den drei betrachteten Jahren hatten somit die Maiwasserstände den entscheidenden Einfluss auf die Entwicklungschancen, insbesondere der tiefer gelegenen Weiden mit noch unzureichender Triebblänge der jungen Sprosse. Zwar zeigen vereinzelt Sprosse in der Spreitlage (Abbildung 11, rechts), dass auch ein nachträglicher Austrieb möglich ist, dies setzt jedoch voraus, dass der Wasserstand nach dem maximalen Maiwasserstand lange genug unter diesen fällt. Wie lang solch eine Erholungsphase sein muss, ist bisher nicht bekannt. In den betrachteten Jahren reichte die Zeitspanne bis zu den nächsten höheren Wasserständen augenscheinlich nicht aus.

Zwischen 2011 und 2024 betrug in 40 % aller Jahre die Zeitdauer bis zum erneuten Überschreiten des maximalen Maiwasserstandes weniger als 18 Tage. Somit werden die Erfolgsaussichten auf eine optimale Entwicklung der Weidenspreitlage (und somit eine funktionierende Ufersicherung) in der genannten Böschungshöhenlage am Oberrhein in 40 % aller Jahre maßgeblich durch die Maiwasserstände beeinflusst. Günstigere Frühjahreswasserstände, wie sie in den übrigen Jahren dokumentiert werden konnten, erhöhen die Erfolgsaussichten einer funktionierenden Weidenspreitlage hingegen entsprechend.

## **5 Schlussfolgerungen**

### **5.1 Saatmatte**

Der Versuch hat gezeigt, dass die verwendete Saatmatte für die hier vorgesehene Böschungssicherungsfunktion nicht geeignet ist. Der Produkttyp ist insgesamt zu instabil und empfindlich gegenüber äußeren Einflussgrößen, wie Witterung, Tritt, hydraulische Belastung, etc. bei Einstau löst sich die Saatmatte weitestgehend auf. Auch die Befestigung der Saatmatte mittels Querriegeln und Pflöcken stellte sich als ungeeignet heraus, da zu viele Schäden an der Matte selbst verursacht wurden. Es sollen zukünftig weitere Produkte und Befestigungsmöglichkeiten getestet werden. Die Produktalternativen müssen den Erosionsschutz während der kritischen Anfangsphase gewährleisten und eine zügige Begrünung der Böschung bewirken.

## 5.2 Spreitlage

Weidenspreitlagen können am Rhein grundsätzlich im Bereich um Mittelwasser eingebaut werden. Dabei sind die Wasserstände, die während der kritischen Anfangszeit der Weidenentwicklung, insbesondere in den Monaten April und Mai auftreten, von entscheidender Bedeutung für die vitale Entwicklung der Spreitlage zu einer funktionierenden TBU. In diesen Monaten sind die Triebe erst wenige Zentimeter hoch und dadurch relativ schnell überstaut. In den betrachteten Jahren entwickelte sich die Spreitlage in dem Böschungsbereich, der im Mai nicht oder nur wenige Tage eingestaut war.

Die Wasserstände des Rheins weisen bei Worms eine hohe Schwankungsbreite auf. Dem entsprechend variieren auch die Frühjahrswasserstände der verschiedenen Jahre erheblich und sind nicht vorhersehbar. Es besteht somit immer ein gewisses Risiko, dass sich die Spreitlage ganz oder teilweise nicht wie gewünscht entwickelt. Dabei können in einzelnen Jahren, wie z. B. in 2024, die Bedingungen so ungünstig sein, dass die Weidenspreitlage auf gesamter Höhe nicht anwächst. Beim Bau einer Spreitlage sollte daher mit eingeplant werden, dass Ausbesserungen von Fehlstellen oder schlimmstenfalls der vollständige Ersatz der Weidenspreitlage im Folgejahr notwendig werden könnten.

Dennoch sollte eine Weidenspreitlage vorzugsweise im Bereich um Mittelwasser eingebaut werden, da dieser dem natürlichen Wuchsort der verwendeten Weiden entspricht und die Wasserversorgung insbesondere in trockenen Jahren und bei niedrigen Wasserständen gewährleistet werden kann.

Generell kann das Ausfallrisiko im Mai durch eine Verlegung der Spreitlage während der Vegetationsruhe reduziert werden. Das Triebwachstum beginnt dann mit Beginn der Vegetationsphase und nicht erst mit dem Verlegen der Äste. Dadurch sind die Triebe im Mai länger und werden deshalb nicht so leicht überstaut. Wird eine Spreitlage während des kritischen Anfangszustandes im Mai geschädigt, ist es grundsätzlich möglich, dass der geschädigte Bereich sich später regeneriert.

Wurzelaufgrabungen haben gezeigt, dass die dicken Äste einer Spreitlage eine deutlich höhere Wurzelmasse bilden als die dünneren (BAW; BfG und WSA Oberrhein 2020). Untersuchungen der BAW in einem Testbecken und in Pflanzkästen zeigten zudem, dass dünne Äste deutlich häufiger absterben als dicke. Die Verwendung von möglichst dicken Ästen dürfte daher die Chancen erhöhen, dass sich geschädigte Spreitlagen später regenerieren.

## 6 Fazit und Ausblick

Aufgrund der hohen Wasserstände im Frühjahr 2024 war die in diesem Jahr durchgeführte Sanierung des Versuchsfeldes 2 nicht erfolgreich. Im Freilandversuch konnten verschiedene Fragestellungen identifiziert werden, die Anlass für weiterführende Untersuchungen geben:

Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024 ▪ März 2026

- Wie kann eine erosionssichere Befestigung von Pflanzmatten und Geotextilien gewährleistet werden?
- Welche pflanzlichen Bauweisen mit Zielbewuchs „Gräser/Kräuter“ eignen sich gezielt für eine flächige Sicherung von Uferböschungen unter den Belastungen des Rheins bzw. vergleichbaren Belastungen?
- Wie lässt sich der Bau von Weidenspreitlagen künftig weiter optimieren?

Diesen Fragestellungen wird in einem weiteren Freilandversuch durch den Neuaufbau von Versuchsfeld 2 ab dem Frühjahr 2025 nachgegangen.

## 7 Literaturverzeichnis

BAW; BfG (2018): Technisch-biologische Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen. Weidenspreitlagen. Kennblatt. Karlsruhe, Koblenz: Bundesanstalt für Wasserbau; Bundesanstalt für Gewässerkunde. Online verfügbar unter [https://izw.baw.de/publikationen/alu/0/KB\\_Weidenspreitlagen\\_FEB-2018\\_\(V2\)\\_DT\\_a.pdf](https://izw.baw.de/publikationen/alu/0/KB_Weidenspreitlagen_FEB-2018_(V2)_DT_a.pdf), zuletzt geprüft am 25.03.2026.

BAW; BfG; WSA Mannheim (2013): Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer. Zweiter Zwischenbericht. Erste Monitoringergebnisse 2012. Karlsruhe, Koblenz, Mannheim: Bundesanstalt für Wasserbau; Bundesanstalt für Gewässerkunde; Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim. Online verfügbar unter <https://ufersicherung-baw-bfg.baw.de/binnenbereich/de/publikationen/berichte>, zuletzt geprüft am 25.03.2026.

BAW; BfG; WSA Oberrhein (2020): Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen Rhein-km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer. Abschlussbericht der Monitoringphase 2012 bis 2017. Karlsruhe, Koblenz, Mannheim: Bundesanstalt für Wasserbau; Bundesanstalt für Gewässerkunde; Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oberrhein. Online verfügbar unter [https://izw.baw.de/publikationen/alu/0/Abschlussbericht\\_Versuchsstrecke\\_Rhein\\_31-08-2020.pdf](https://izw.baw.de/publikationen/alu/0/Abschlussbericht_Versuchsstrecke_Rhein_31-08-2020.pdf), zuletzt geprüft am 25.03.2026.

BfG (2020): Flusshydrologischer Software (FLYS). Version flys-3.2.3. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde.

BGS (2016): Saatmatte Wolle – WollTerra. Bestmann Green Systems. Heikendorf. Online verfügbar unter <https://www.bestmann-green-systems.de/produktgruppen/WollTerra/saatmatte-wolle>, zuletzt geprüft am 25.03.2026.

BGS (2020): WollTerra Saatmatte Typ SM-W. Leistungsverzeichnis/Spezifikation. Bestmann Green Systems. Tangstedt. Online verfügbar unter [https://www.bestmann-green-systems.de/files/Leistungsverzeichnisse-BGS/WollTerra/WollTerra\\_Saatmatte\\_SM-W.pdf](https://www.bestmann-green-systems.de/files/Leistungsverzeichnisse-BGS/WollTerra/WollTerra_Saatmatte_SM-W.pdf), zuletzt geprüft am 25.03.2026.

DIN 4049-1:1992-12: Hydrologie; Grundbegriffe.

DIN EN ISO 14688-1:2020-11: Geotechnische Erkundung und Untersuchung — Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Boden — Teil 1: Benennung und Beschreibung (ISO 14688-1:2017); Deutsche Fassung EN ISO 14688-1:2018.

DIN 18196:2023-02: Erd- und Grundbau - Bodenklassifikation für bautechnische Zwecke.

Fleischer, Petra; Borelbach, Pia; Duhme, Mona; Schlüter, Volker (2022): Entwicklung eines biologisch abbaubaren Geotextilfilters für umweltfreundliche Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen. In: *Korrespondenz Wasserwirtschaft* 15 (3), 163–169. Online verfügbar unter <https://izw.baw.de/publikationen/alu/0/Fachbeitrag-Wasserbau-und-Wasserkraft-Fleischer.pdf>, zuletzt geprüft am 25.03.2026.

Spreitlagen und Saatmatten in der Versuchsstrecke am Rhein, 2024 ▪ März 2026

Fraunhofer UMSICHT; BAW; BNP Brinkmann; Indorama Ventures; FKUR Kunststoff (2024): Schlussbericht zum Verbundvorhaben Sequenziell biologisch abbaubare Geotextilien für technisch-biologische Uferbefestigungen an Binnenwasserstraßen (Bioshoreline\_II). Online verfügbar unter <https://www.fnr.de/fileadmin/projektdatenbank/2220NR012A.pdf>, zuletzt geprüft am 25.03.2026.

Späth, V. (1988): Zur Hochwassertoleranz von Auenwaldbäumen. In: *Natur und Landschaft* 63, S. 312–315.

Späth, V. (2002): Hochwassertoleranz von Waldbäumen in der Rheinaue. In: *AFZ - Der Wald* 15, S. 807–810.

WSV (2024a): WISKI. Wasserwirtschaftliches Informationssystem Kisters. Wasserstanddaten des Pegel Worms. Hg. v. WSV. Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Bonn.

WSV (2024b): Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice (ELWIS). Wasserstände & Vorhersagen an schifffahrtsrelevanten Pegeln. Pegel Worms. Hg. v. Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Mainz. Online verfügbar unter <https://www.elwis.de/DE/dynamisch/Wasserstaende/Pegeleinzeln:WORMS>, zuletzt aktualisiert am 01.06.2024.