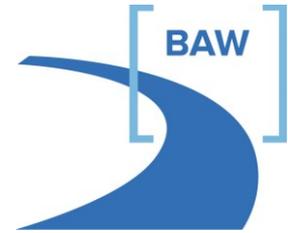




**WASSER- UND  
SCHIFFFAHRTSAMT  
Mannheim**



**BUNDESANSTALT  
FÜR GEWÄSSERKUNDE  
Koblenz**



**BUNDESANSTALT  
FÜR WASSERBAU  
Karlsruhe**



**Einrichtung einer Versuchsstrecke mit  
technisch-biologischen Ufersicherungen  
Rhein km 440,6 bis km 441,6,  
rechtes Ufer**

**Zweiter Zwischenbericht  
Erste Monitoringergebnisse 2012  
20.06.2013**



## Zusammenfassung

In der Nähe von Worms wurden am rechten Ufer des Rheins (km 440,600 bis km 441,600) von September bis Dezember 2011 verschiedene technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen eingebaut, um diese langfristig in einem Naturversuch unter Wasserstraßenbedingungen zu testen. Träger der Maßnahme ist das WSA Mannheim. In 4 Versuchsfeldern wurden unterschiedliche technisch-biologische Maßnahmen nach Rückbau der Steinschüttung oberhalb etwa AZW eingebaut, in weiteren 4 Versuchsfeldern erfolgten Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung der vorhandenen Steinschüttung sowie der Ufer und in einem Versuchsfeld blieb das Ufer nach Rückbau der Steinschüttung weitgehend ungesichert. Im ersten Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA, 2012) wurden detailliert die Ufersicherungsmaßnahmen und die Einbauerfahrungen beschrieben sowie das umfangreiche Monitoringprogramm erläutert. Ziel des langfristigen Monitorings, das vom Unterhaltungsbereich des WSA begleitet wird, ist die Beurteilung der Maßnahmen hinsichtlich

- der technischen Wirksamkeit zur Gewährleistung der Uferstabilität unter den vorherrschenden hydraulischen Belastungen,
- der ökologischen Wirksamkeit und
- des erforderlichen Unterhaltungsaufwandes.

Der vorliegende zweite Zwischenbericht dokumentiert und bewertet neben den Herstellungskosten die Entwicklung der verschiedenen Ufersicherungsmaßnahmen in der kritischen Anfangsphase im ersten Jahr nach Fertigstellung bis Oktober 2012. Für jedes Versuchsfeld sind im vorliegenden Bericht die Ergebnisse der im Rahmen des Monitorings durchgeführten Untersuchungen und die ggf. zusätzlich erforderlich gewordenen Maßnahmen sowie eine Bewertung hinsichtlich Uferschutz und Ökologie dargestellt.

Die neuen Ufersicherungsmaßnahmen, die 2011 unter optimalen hydrologischen und meteorologischen Randbedingungen eingebaut werden konnten, mussten sich im ersten Jahr unter teilweise ungünstigen Bedingungen bewähren. Dazu zählten mehrere Hochwasser, die zwar noch unterhalb eines 2-jährlichen Hochwasserereignisses lagen, aber die Ufersicherungsmaßnahmen bereits unmittelbar nach Bauabschluss bis maximal ca. 1 m unter Böschungsoberkante einstauten, starker Frost ohne schützende Schneedecke und teilweise lang anhaltende Niedrigwasserstände. In den Sommermonaten war der untere Böschungsbereich von AZW - 0,5 m bis AZW + 1,0 m ohne Unterbrechung 6 Wochen überflutet. Der bei höheren Wasserständen jeweils überstaute Bereich wurde durch Auftrieb, hydraulische Einwirkungen infolge Schifffahrt und natürlicher Strömung belastet.

Die zum Uferschutz eingebrachten Pflanzen befanden sich im Untersuchungszeitraum in der kritischen Anfangsphase, in der sie erst ausreichend Wurzeln bilden mussten, um stabil mit dem Untergrund verankert zu sein. In Abhängigkeit vom konstruktiven Aufbau und der Vitali-

tät der Pflanzen beim Einbau reagierten die Uferschutzmaßnahmen in dieser Zeit unterschiedlich empfindlich auf die hydraulischen Belastungen. Bis zum Ende des Untersuchungszeitraumes konnten sich die Maßnahmen überwiegend gut entwickeln und den Uferschutz ausreichend gewährleisten – allerdings waren dafür in einigen Versuchsfeldern Nachbesserungsarbeiten (z. B. Erneuerung der planmäßigen Befestigungen und nachträgliche Ansaaten) und zum Teil auch bereits Sanierungsmaßnahmen (z. B. Überschüttung des unteren Böschungsbereiches mit Wasserbausteinen) erforderlich, die im Zuge der Unterhaltung vom WSA durchgeführt wurden. Einzelne Maßnahmen, wie z. B. in die Steinschüttung gesetzte Röhrichtbulte, konnten den hydraulischen Belastungen nicht standhalten.

Generell zeigte sich, dass die Uferschutzmaßnahmen, die durch zusätzliche technische Bestandteile selbst ein signifikantes Eigengewicht unter Auftrieb besitzen, wie die Röhrichtgabionen und Steinmatratzen, von Anfang an ohne zusätzliche Befestigungen weitestgehend stabil auf der Böschung lagen. Rein pflanzliche Maßnahmen, wie die Weidenspreitlagen und die vorgezogenen Pflanzmatten, mussten dagegen mit Pflöcken, Querriegeln, Drahtverspannungen und z.T. Wasserbausteinen fixiert werden. Besonders bei den Pflanzmatten, die im Vergleich zu den Spreitlagen keine Steifigkeit besitzen, war es schwierig, einen für das Anwachsen erforderlichen flächigen Kontakt zum Untergrund herzustellen. Waren die Pflöcke und Querriegel aufgrund der Steinreste im Untergrund nicht tief genug im Boden verankert, wurden sie bei Überstau unter Auftrieb herausgezogen und mussten ersetzt werden. In Abhängigkeit der Bauweisen fanden begrenzt Bodenumlagerungen und Erosionen statt.

Das Versuchsfeld 9 hat im Vergleich zu den mit den verschiedenen technisch-biologischen Maßnahmen gesicherten Versuchsfeldern gezeigt, dass ohne Uferschutz im Böschungsbereich oberhalb AZW bei den gegebenen hydraulischen Belastungen – wie erwartet – Erosionen und Böschungsruhrungen in größerem Umfang auftreten. Ob das Hinterland durch den Einsatz pflanzlicher Bauweisen an der Böschungsoberkante ausreichend geschützt werden kann, müssen die weiteren Untersuchungen zeigen.

Aus ökologischer Sicht ist generell festzustellen, dass mit den verschiedenen technisch-biologischen Ufersicherungen und den Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung der Steinschüttung eine naturnähere Vegetationsentwicklung und eine Strukturbereicherung im Uferbereich eingeleitet werden konnte.

Hinsichtlich der Fauna wurden 2012 zunächst die fischökologischen Untersuchungen durchgeführt, da die Auswirkungen der Bautätigkeit in den einzelnen Versuchsfeldern noch zu groß waren, um Aussagen über die Wirkung auf die terrestrische Fauna zuzulassen. Dabei zeigte sich, dass verschiedene im aquatischen Bereich eingebrachte Totholzstrukturen erste positive Auswirkungen auf die Fischfauna ermöglichten.

Eine zusammenfassende Bewertung aller Ufersicherungsmaßnahmen zum jetzigen Zeitpunkt ist in Kapitel 6 dargestellt. Daraus wird ersichtlich, dass der Großteil der durchgeführten Maßnahmen bislang die erwünschten Wirkungen erzielt hat. Daneben wurden aber auch erste Erkenntnisse gewonnen, auf welche Randbedingungen zu achten ist bzw. welche Maßnahmen unter den Randbedingungen der Versuchsstrecke nur bedingt oder nicht geeignet sind. Eine endgültige Beurteilung der Uferschutzmaßnahmen ist erst nach mehreren Vegetationsperioden, frühestens 2016, möglich.

Das Monitoring wird in ähnlicher Form weiter geführt. Der nächste Teilbericht, erweitert um die Ergebnisse des Monitorings der terrestrischen Fauna, wird sich auf die Untersuchungen im Jahr 2013 fokussieren.



<b>Inhaltsverzeichnis</b>		<b>Seite</b>
1.	Veranlassung	3
2.	Untersuchungsgebiet	5
2.1	Übersicht Versuchsfelder	5
2.2	Wetterdaten	8
2.2.1	Temperatur	9
2.2.2	Niederschlag	11
2.2.3	Tages- / Sonnenscheindauer	13
2.2.4	Zusammenfassung und Bewertung	16
2.3	Rheinwasserstände	17
3.	Monitoring	25
3.1	Übersicht und Ziele	25
3.2	Uferinspektionen	28
3.3	Ufervermessung	31
3.4	Messung der hydraulischen Uferbelastung	33
3.4.1	Messaufgabe und Messgeräte	33
3.4.2	Ergebnisse	35
3.4.2.1	Querprofile und Fließgeschwindigkeiten	35
3.4.2.2	Flottenstruktur	39
3.4.2.3	Schiffsgeschwindigkeiten	40
3.4.2.4	Uferabstände und Wellenhöhen	41
3.5	Messungen von Porenwasserdrücken im Boden	45
3.5.1	Messaufgabe und Messgeräte	45
3.5.2	Messungen	52
3.5.3	Ergebnisse	54
3.5.4	Fazit und Ausblick	70
3.6	Vegetation	71
3.7	Fauna	75
3.8	Fotodokumentation	77
4.	Erste Monitoringergebnisse	79
4.1	Grundsätzliche Feststellungen	79
4.1.1	Uferstabilität und Vegetation	79
4.1.2	Fauna	81

4.2	Versuchsfeld 1: Steinschüttung mit Weidensetzstangen, Lebendfaschinen, Buschlagen, Heckenlagen, Steinwall zur Reduzierung schiffsinduzierter Belastung, Totholzstämmen mit Wurzeltellern (Rhein-km 440,630 bis 440,800 – 170 m VF-Länge)	85
4.2.1	Kurzbeschreibung Versuchsfeld	85
4.2.2	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation	86
4.2.3	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie	90
4.2.3.1	Vegetation	90
4.2.3.2	Fauna	92
4.2.4	Bisherige Einschätzung	93
4.3	Versuchsfeld 2: Weidenspreitlagen diagonal zur Fließrichtung (Rhein-km 440,820 bis 440,860 – 40 m VF-Länge)	94
4.3.1	Kurzbeschreibung Versuchsfeld	94
4.3.2	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation	95
4.3.3	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie	103
4.3.3.1	Vegetation	103
4.3.3.2	Fauna	103
4.3.4	Bisherige Einschätzung	104
4.4	Versuchsfeld 3: Weidenspreitlagen quer zur Fließrichtung (Rhein-km 440,880 bis 440,950 – 70 m VF-Länge)	105
4.4.1	Kurzbeschreibung Versuchsfeld	105
4.4.2	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation	106
4.4.3	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie	114
4.4.3.1	Vegetation	114
4.4.3.2	Fauna	114
4.4.4	Bisherige Einschätzung	114
4.5	Versuchsfeld 4: Steinschüttung mit Kiesfüllung, Einzelsteingruppen, Totholzfaschinenbündel (Rhein-km 440,950 bis 441,000 – 50 m VF-Länge)	116
4.5.1	Kurzbeschreibung Versuchsfeld	116
4.5.2	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation	116
4.5.3	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie	120
4.5.3.1	Vegetation	120
4.5.3.2	Fauna	120
4.5.4	Bisherige Einschätzung	122
4.6	Versuchsfeld 5: Entfernung der Steinschüttung, Einbau von Röhrichtgabionen, Steinmatratzen, Pflanzmatten und Heckenlagen (Rhein-km 441,000 bis 441,110 – 110 m VF-Länge)	123
4.6.1	Kurzbeschreibung Versuchsfeld	123

4.6.2	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation	124
4.6.2.1	Versuchsfeld 5a	127
4.6.2.2	Versuchsfeld 5b	134
4.6.2.3	Heckenlage entlang der Böschungsoberkante VF 5a und 5b	136
4.6.3	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie	136
4.6.3.1	Vegetation	136
4.6.3.2	Fauna	137
4.6.4	Bisherige Einschätzung	137
4.7	Versuchsfeld 6: Steinschüttung mit Oberboden-Alginatgemisch-Füllung, Nassansaat, Einzelpflanzen (Rhein-km 441,125 bis 441,200 – 75 m VF-Länge)	139
4.7.1	Kurzbeschreibung Versuchsfeld	139
4.7.2	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation	140
4.7.3	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie	144
4.7.3.1	Vegetation	144
4.7.3.2	Fauna	144
4.7.4	Bisherige Einschätzung	145
4.8	Versuchsfeld 7: Entfernung der Steinschüttung, Einbau verschiedener Filtermatten (Schafwollvlies, Kokosmatte, Geotextil) und Pflanzmatten, Totholzfashinen, Vegetationswalzen, Nassansaat (Rhein-km 441,200 bis 441,375 – 175 m VF-Länge)	146
4.8.1	Kurzbeschreibung Versuchsfeld	146
4.8.2	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation	148
4.8.2.1	Versuchsfeld 7a, Juni-Kartierung	159
	Böschungabschnitte unterhalb Totholzfashine (unterhalb ca. AZW + 1,70 m)	161
	Böschungabschnitte oberhalb Totholzfashine (oberhalb ca. AZW + 1,7 m)	162
4.8.2.2	Versuchsfeld 7b - Pflanzmatten (Mattentyp rot/orange) auf Kunststoffvlies bzw. Kokosgewebe im Vergleich zu VF 7c – Pflanzmatten (Mattentyp rot/orange) auf Schafwollvlies bzw. Kokosgewebe; Vegetationswalzen – Juni-Kartierung	163
4.8.2.3	Versuchsfeld 7a, Oktober-Kartierung	166
	Böschungabschnitte unterhalb Totholzfashine (unterhalb ca. AZW + 1,7 m)	167
	Böschungabschnitte oberhalb Totholzfashine (oberhalb ca. AZW + 1,7 m)	168
4.8.2.4	Versuchsfeld 7b - Pflanzmatten (Mattentyp rot/orange) auf Kunststoffvlies bzw. Kokosgewebe im Vergleich zu VF7c – Pflanzmatten (Mattentyp rot/ orange) auf Schafwollvlies bzw. Kokosgewebe; Vegetationswalzen – Oktober-Kartierung	174
4.8.3	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie	178
4.8.3.1	Vegetation	178
4.8.3.2	Fauna	178
4.8.4	Bisherige Einschätzung	178

4.9	Versuchsfeld 8: Steinschüttung und Pflaster mit Röhrichtbewuchs, Erhöhung des vorhandenen Steinwalls (Rhein-km 441,375 bis 441,475 – 100 m VF-Länge)	181
4.9.1	Kurzbeschreibung Versuchsfeld	181
4.9.2	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation	181
4.9.3	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie	187
4.9.3.1	Vegetation	187
4.9.3.2	Fauna	187
4.9.4	Bisherige Einschätzung	187
4.10	Versuchsfeld 9: Entfernung der Steinschüttung, Zulassen freier Erosion und Sukzession, Ausfachungsbühne, Setzstangen (Rhein-Km 441,475 bis 441,600 – 125 m VF-Länge)	188
4.10.1	Kurzbeschreibung Versuchsfeld	188
4.10.2	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation	190
4.10.3	Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie	198
4.10.3.1	Vegetation	198
4.10.3.2	Fauna	198
4.10.4	Bisherige Einschätzung	199
5.	Kosten	201
5.1	Grundsätzliche Feststellungen	201
5.2	Darstellung der Kosten pro Versuchsfeld	201
6.	Bisherige Gesamteinschätzung der einzelnen Bauweisen	205
6.1	Allgemeine Feststellungen	205
6.2	Beurteilung der Einzelmaßnahmen	207
6.2.1	Maßnahmen „Ersatz der technischen Ufersicherung durch technisch-biologische Bauweisen“	209
6.2.2	Maßnahmen „Ökologische Aufwertung der technischen Ufersicherung“	217
6.2.3	Maßnahme „Rückbau der technischen Ufersicherung, kein Uferschutz oberhalb von AZW, begrenztes Zulassen freier Dynamik“	224
6.3	Zusammenfassende Beurteilung des fischbiologischen Monitorings 2012	225
7.	Ausblick	227
8.	Literaturverzeichnis	229

## Bildverzeichnis

## Seite

Bild 2.1-1:	Lage der einzelnen Versuchsfelder und der Referenzstrecken	6
Bild 2.1-2:	Beispielhaftes Querprofil (2009) mit typischen Wasserständen und Baugrundsichtung (BAW, BfG, WSA-MA, 2010)	8
Bild 2.2-1:	Ganglinien von täglichen Maxima, Mittelwerten und Minima der Temperatur an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum 1.9.2011 - 31.10.2012	10
Bild 2.2-2:	Ganglinie der täglichen Niederschlagsmenge an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum 1.9.2011 - 31.10.2012; Hinweis: [mm] = [l/m <sup>2</sup> ]	12
Bild 2.2-3:	Histogramm der monatlichen Niederschlagsmengen an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum September 2011 - Oktober 2012; Hinweis: [mm] = [l/m <sup>2</sup> ]	13
Bild 2.2-4:	Ganglinien von Tagesdauer (Zeit zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang) und täglicher Sonnenscheindauer (Sonneneinstrahlung > 120 W/m <sup>2</sup> ) an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum 1.9.2011 - 31.10.2012	14
Bild 2.2-5:	Tägliches Verhältnis von Sonnenscheindauer/Tagesdauer an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum 1.9.2011 – 31.10.2012	15
Bild 2.2-6:	Klimadiagramm nach Walter u. Lieth (1967) für Niederschlag (Monatssumme) und Temperatur (Monatsmittel); Trockenperioden in den mit ↓ gekennzeichneten Monaten	16
Bild 2.3-1:	Ganglinie der Tagesmittelwerte der Wasserstände am Pegel Worms für den Zeitraum 1.9.2011 bis 31.10.2012 (427 Tage) mit den vier wesentlichen Wasserständen GIW, AZW, Marke I und Marke II	19
Bild 2.3-2:	Verteilung der Häufigkeit (♦) der Wasserstände am Pegel Worms im Zeitraum 1.9.2011 bis 31.10.2012 (427 Tage) zw. NN + 84,40 m und NN + 88,90 m in 25 cm Bereichen	22
Bild 3.2-1:	Übersichtsfoto VF 1 im März und August 2012	29
Bild 3.2-2:	Beispiel für den „Erfassungsbogen zur Uferinspektion“ für das Versuchsfeld 1; oben: Tabelle; unten: Lageplan mit festgelegtem Standpunkt für ein Übersichtsfoto (roter Punkt + Pfeil)	30
Bild 3.4-1:	Pegelganglinie des Pegels Worms (Pegelnullpunkt 84,16 m) während der Beobachtungszeit	33
Bild 3.4-2:	Gemessene Geschwindigkeiten der natürlichen Strömung im Querprofil bei km 440,550 (Referenzmessung außerhalb der Versuchsstrecke)	36
Bild 3.4-3:	Gemessene Geschwindigkeiten der natürlichen Strömung im Querprofil bei km 440,650 (Versuchsfeld 1)	36
Bild 3.4-4:	Gemessene Geschwindigkeiten der natürlichen Strömung im Querprofil bei km 440,920 (Versuchsfeld 3)	37

Bild 3.4-5:	Gemessene Geschwindigkeiten der natürlichen Strömung im Querprofil bei km 441,550 (Versuchsfeld 9, Messung am Ende der Versuchsstrecke)	37
Bild 3.4-6:	Gemessene Geschwindigkeiten der natürlichen Strömung in Fließrichtung	38
Bild 3.4-7:	Verteilung der Schiffslängen aller Schiffe	40
Bild 3.4-8:	Verteilung der gemessenen Schiffsgeschwindigkeiten über Grund bei km 440,920	40
Bild 3.4-9:	Definition der Wellenhöhen	42
Bild 3.5-1:	Prinzip des Porenwasserüberdrucks im Boden (grün hinterlegte Parabel) bei Passage eines Schiffs mit dem Absunk $z_a$	46
Bild 3.5-2:	Anordnung der Messpunkte zur Porenwasserdruckmessung in Versuchsfeld 3	48
Bild 3.5-3:	Querprofil in der Messlinie bei Rh-km 440,900 im Versuchsfeld 3 mit Positionen aller Messpunkte; rechts: Detail zu den Tiefen der einzelnen Drucksonden unter der Böschungsoberfläche	49
Bild 3.5-4:	Detail aus Bild 3.5-3 mit Bemaßung aller Drucksonden und relativer Lage zu-einander	49
Bild 3.5-5:	Verwendete Drucksonde PAA-36 X W der Firma Keller	51
Bild 3.5-6:	Verläufe der Wasserspiegellage über AZW (blaue Kurve und rechte Skala) und der Wasserdrücke unter der Böschungsoberfläche für die Druckdosen DS2 - DS5 am Messpunkt MP1a bei der Messkampagne Januar 2012 <i>Abkürzungen: DS – Drucksonde, PW – Porenwasserdruck</i>	55
Bild 3.5-7:	Verläufe der Wasserspiegellage über AZW (blaue Kurve und rechte Skala) und der Wasserdrücke unter der Böschungsoberfläche für die Druckdosen DS2 – DS5 am Messpunkt MP1a bei der Messkampagne Juni 2012 <i>Abkürzungen: DS – Drucksonde, PW – Porenwasserdruck</i>	56
Bild 3.5-8:	Verläufe der Wasserspiegellage über AZW (blaue Kurve und rechte Skala) und der Wasserdrücke unter der Böschungsfläche für die Druckdosen DS2 – DS5 am Messpunkt MP1a bei der Messkampagne Oktober 2012 <i>Abkürzungen: DS – Drucksonde, PW – Porenwasserdruck</i>	57
Bild 3.5-9:	Beispiel für die Verläufe der Wasserspiegellage über AZW (blaue Kurve und rechte Skala) und der Porenwasserüberdrücke unter der Böschungsoberfläche für das Schiff Nr. 6 der Messkampagne Januar 2012; beispielhaft markiert sind die Ablesepunkte, wie sie in die folgenden Tab. 3.5-4 bis Tab. 3.5-6 eingehen	59
Bild 3.5-10:	Ablesung zusammengehörender Porenwasserüberdrücke in verschiedenen Tiefen, hier für die Druckdosen DS 2 - DS 5	59
Bild 3.5-11:	Werte für <b>max. Absunk am Bug vs. Absunkgeschwindigkeit</b> für alle Güterschiffe aller drei Messkampagnen 2012; markante Schiffe sind hervorgehoben; außerdem ist die Durchlässigkeit des anstehenden Bodens eingetragen	63

Bild 3.5-12:	Werte für <b>max. Absunk am Bug vs. max. Porenwasserüberdruck</b> für alle <b>Güterschiffe</b> aller drei Messkampagnen 2012; markante Schiffe sind hervorgehoben	63
Bild 3.5-13:	Werte für <b>max. Absunk am Bug vs. Absunkgeschwindigkeit</b> für alle Schiffe (Güterschiffe u. MS Worms) aller drei Messkampagnen 2012; die Durchlässigkeit des anstehenden Bodens ist eingetragen	64
Bild 3.5-14:	Werte für <b>max. Absunk am Bug vs. max. Porenwasserüberdruck</b> für alle Schiffe (Güterschiffe u. MS Worms) aller drei Messkampagnen 2012	64
Bild 3.5-15:	Verläufe der <b>maximalen Porenwasserüberdrücke</b> über die Tiefe unter der Böschungsoberfläche für die auswertbaren Schiffe der Messkampagne <b>Januar 2012</b>	67
Bild 3.5-16:	Verläufe der <b>maximalen Porenwasserüberdrücke</b> über die Tiefe unter der Böschungsoberfläche für die auswertbaren Schiffe der Messkampagne <b>Juni 2012</b>	67
Bild 3.5-17:	Verläufe der <b>maximalen Porenwasserüberdrücke</b> über die Tiefe unter der Böschungsoberfläche für die auswertbaren <u>Güterschiffe</u> der Messkampagne <b>Oktober 2012</b>	68
Bild 3.5-18:	Verläufe der <b>maximalen Porenwasserüberdrücke</b> über die Tiefe unter der Böschungsoberfläche für die auswertbaren Fahrten der <u>MS Worms</u> der Messkampagne <b>Oktober 2012</b>	68
Bild 3.5-19:	Verläufe der <b>maximalen Porenwasserüberdrücke</b> über die Tiefe unter der Böschungsoberfläche für alle auswertbaren Fahrten (Güterschiffe und MS Worms) aller drei Messkampagnen <b>Januar, Juni und Oktober 2012</b> im Vergleich	69
Bild 3.7-1:	Elektrobefischung der Versuchsstrecke: Boot und Equipment (links), und Befischung VF1 (rechts)	76
Bild 4.2-1:	Pflanzgräben vor Einbau der Pflanzen (9.11.2011)	85
Bild 4.2-2:	Übersicht Versuchsfeld 1 (BAW, BfG, WSA-MA, 2012)	86
Bild 4.2-3:	Entwicklung der Pflanzgräben bis zum Juni 2012	88
Bild 4.2-4:	Pflanzgraben mit einzelnen abgestorbenen Heckenpflanzen (5.6.2012)	88
Bild 4.2-5:	Erste Pflanzen der Röhrlichtzone siedeln sich im Schutz des Steinwalls an (14.9.2012)	91
Bild 4.2-6:	Ablagerung einer dünnen Schlammschicht auf den Wasserbausteinen und Wurzeltellern im Schutz des Steinwalls	91
Bild 4.2-7:	Gebänderte Prachtlibelle (♂) auf dem Wurzelteller eines Totholzstammes	91
Bild 4.3-1:	Versuchsfeld 2 nach Einbau (14.12.2011)	94
Bild 4.3-2:	Übersicht Versuchsfeld 2 (BAW, BfG, WSA-MA, 2012)	95
Bild 4.3-3:	Weidenäste mit stellenweise fehlendem Bodenkontakt	96
Bild 4.3-4:	Gelockerte Pflöcke im Überstaubereich der mit Reisig abgedeckten Weidenspreitlage	96

Bild 4.3-5:	Kornverteilungen des oberflächennah im VF 2 unter den Spreitlagen anstehenden Bodens	97
Bild 4.3-6:	Erste Triebentwicklung überwiegend im Bereich der diagonal angeordneten Riegelhölzer (16.4.2012)	99
Bild 4.3-7:	Triebentwicklung im Bereich zwischen den Riegelhölzern (Ende April 2012)	99
Bild 4.3-8:	Vereinfachte Skizze (Draufsicht) von VF 2 mit den einzelnen Böschungszonen (BZ) und den darin ermittelten Deckungsgraden (D) und Längen (L) der Weidentriebe	100
Bild 4.3-9:	Geringe Triebentwicklung im Bereich unterhalb AZW + 0,5m aufgrund höherer Wasserstände (5.6.2012)	101
Bild 4.3-10:	Gelbe Blattverfärbungen an den Triebansätzen mancher Weiden (5.6.2012)	101
Bild 4.3-11:	Geringe Triebentwicklung im Bereich unterhalb AZW + 0,5m aufgrund höherer Wasserstände (5.6.2012)	101
Bild 4.3-12:	Weidenschaumzikade an jungem Weidentrieb	101
Bild 4.4-1:	Versuchsfeld 3 nach Einbau (14.12.2011)	105
Bild 4.4-2:	Übersicht Versuchsfeld 3 (BAW, BfG, WSA-MA, 2012)	106
Bild 4.4-3:	Kornverteilungen des oberflächennah im VF 3 unter den Spreitlagen anstehenden Bodens	107
Bild 4.4-4:	Erste Triebentwicklung überwiegend im Bereich der uferparallel aufgebrachten Riegelhölzer (16.4.2012; Blick nach oberstrom)	109
Bild 4.4-5:	Entwicklung der Weiden Ende Mai 2012 (Blick nach unterstrom)	109
Bild 4.4-6:	Vereinfachte Skizze (Draufsicht) von VF 3 mit den einzelnen Böschungszonen (BZ) und den darin ermittelten Deckungsgraden (D) und Längen (L) der Weidentriebe.	110
Bild 4.4-7:	Entwicklung der Weiden-spreitlage (Aufnahme vom 10.7.12)	111
Bild 4.4-8:	Junge, von Pappel-Seide umwickelte Weidentriebe	111
Bild 4.4-9:	Freigelegte Weidenwurzeln im VF 3 (20.11.2012)	112
Bild 4.5-1:	Übersicht Versuchsfeld 4	116
Bild 4.5-2:	Beginnende Flachuferbildung im Bereich der Reisigfaschinen (22.3.12)	118
Bild 4.5-3:	Substratvielfalt im Böschungsbereich (22.3.12)	118
Bild 4.5-4:	Vegetationsentwicklung im oberen Böschungsbereich (24.5.12)	119
Bild 4.5-5:	Beginnende Pflanzenentwicklung im Strömungsschatten größerer Steine (5.6.12)	119
Bild 4.5-6:	Wasserbedeckung der Faschine beim Befischungstermin am 25.09.2012	121
Bild 4.5-7:	Artenvielfalt beim Befischen einer Reisigfaschine (u. a. Flussbarsch, Rotaug, Hasel)	121
Bild 4.6-1:	Übersicht Versuchsfeld 5	124
Bild 4.6-2:	Blick vom Wasser aus auf VF 5a (rechts) und auf VF 5b (links) (15.12.2011)	125

Bild 4.6-3:	VF 5a: Wasserstand vom 8.1.12, Erosionslinie siehe roter Pfeil (22.2.2012)	125
Bild 4.6-4:	Querschnittsskizze VF 5a (modifiziert nach (Gondek & Koß, 2013)): Röhrichtgabionen der Pflanzzone 1 mit saniertem unteren Bereich (1 ½ Gabionenreihen mit Wasserbausteinen überdeckt).	127
Bild 4.6-5:	Röhrichtgabionen: Winteraspekt (Mitte März 2012)	128
Bild 4.6-6:	Röhrichtgabionen: Beginnende Vegetationsentwicklung (Ende April 2012)	128
Bild 4.6-7:	Wasserseitige Pflanzzone 1 mit üppigem Bewuchs – optisch gut abgrenzbar von Pflanzzone 2 (06.06.12; Blick stromauf)	129
Bild 4.6-8:	Pflanzzone 1 mit großen Fehlstellen pflanzlichen Bewuchses nach den hohen Juni/Juli-Wasserständen (Ende Juli 2012, nach 6-wöchigem Überstau; Blick stromab)	129
Bild 4.6-9:	VF 5a: Steinmatratzen mit Spontanvegetation – unterer Bereich durch HW freigespült, oberer Bereich übererdet (5.6.12)	133
Bild 4.6-10:	Pflanzmatten in VF 5b mit fast vollständig ausgefallenem Bewuchs und großen Materialschäden (Ende April 2012)	135
Bild 4.7-1:	Übersicht Versuchsfeld 6	139
Bild 4.7-2:	Flächig gekeimtes Saatgut oberhalb des nachträglich mit Kies verfüllten unteren Böschungsbereiches (15.12.11)	140
Bild 4.7-3:	Junge Grasschicht auf verbliebenem Alginat, auch im Lückensystem der Steinschüttung (22.3.12)	142
Bild 4.7-4:	Austreibende Sumpf-Schwertlilie (22.3.12)	142
Bild 4.7-5:	Keimlinge auf Oberboden-Alginat (10.10.12)	143
Bild 4.8-1:	Übersicht Versuchsfeld 7 unmittelbar nach Einbau	147
Bild 4.8-2:	Kornverteilungskurven im oberflächennahen Boden im VF 7a1 und 7a2	152
Bild 4.8-3:	Kornverteilungskurven im oberflächennahen Boden im VF 7b und 7c	153
Bild 4.8-4:	Aufgetriebene Totholzfmaschine in VF 7a1 (Dez. 2011)	154
Bild 4.8-5:	Röhrichtwalze mit gerissenem Schafwollvlies und offen liegendem Pflanzbult (22.2.12)	154
Bild 4.8-6:	Gerissene Pflanzmatten und Schafwollvliese mit Bodenaustragsstellen (22.2.12)	154
Bild 4.8-7:	Sanierung von VF 7a1/7a2 (7.4.12)	155
Bild 4.8-8:	Verpflockung des neu überspannten Kokosvlieses in VF 7a1/7a2 (7.4.2012)	155
Bild 4.8-9:	Stark geschädigte Mattenbereiche und aufgetriebene Pflöcke und Riegelhölzer in VF 7a1 im Bereich um AZW bis AZW +1 m (30.5.12)	156
Bild 4.8-10:	Nach den hohen Wasserständen (6 Wochen Dauereinstau) aufgetretene Schäden – in VF 7a1/7a2 bis zur Höhe der Totholzfmaschinen (ca. AZW + 1,7m). Die Schäden in VF 7a1 (Schafwolle) sind dabei erheblicher als in 7a2 (Kunststoffvlies) (Juli 2012; Blick nach stromab).	157

Bild 4.8-11:	Sanierung von VF 7 mit Wasserbausteinen. In VF7 a1 reicht die Sanierung weiter die Böschung hinauf als in VF 7a2 (Juli 2012; Blick nach stromauf)	158
Bild 4.8-12:	Systemskizze VF 7a (Details zu den unterschiedlichen Mattentypen sind BAW, BfG, WSA-MA (2012) zu entnehmen).	160
Bild 4.8-13:	Vier optisch ausgeprägte Vegetationszonen (VZ) in VF 7a. Lage der Totholzfaschine bei AZW +1,70 m zwischen VZ1 und VZ 2. Sichtbare Querriegel aus Sanierungsmaßnahme zwischen VZ 2 und VZ 3.	160
Bild 4.8-14:	Systemskizze VF 7b und 7c (Details zu den unterschiedlichen Mattentypen sind BAW, BfG, WSA-MA, 2012 zu entnehmen).	164
Bild 4.8-15:	Unterteilung des VF 7b und 7c nach technischem Aufbau, nach dem sich die Vegetationskartierung im Juni 2012 richtete	164
Bild 4.8-16:	Entwicklung des VF (14.9.12)	166
Bild 4.8-17:	Blühender Blutweiderich (14.9.12)	166
Bild 4.8-18:	Kanadagänse in VF 7c (10.7.12)	167
Bild 4.8-19:	Pappeljungwuchs – markierte Stellen (20.9.12)	167
Bild 4.8-20:	Optisch differenzierbare Vegetationszonen (VZ) im Herbst, analog zu Bild 4.8-10 (hier Blickrichtung stromab, VZ 1 bereits saniert)	169
Bild 4.8-21:	Wühltätigkeit einer Maus unter zerfressener Kokosmatte in VF 7a1 (10.10.12).	169
Bild 4.9-1:	Übersicht Versuchsfeld 8	181
Bild 4.9-2:	Initiale der Röhricht- und Hochstaudenentwicklung vor Erhöhung des Steinwalls (9.7.2009; Wasserstand: NN + 86,81 m, ca. 45 cm über AZW)	183
Bild 4.9-3:	Blühende, gut entwickelte Röhrichtzone mit feuchten Hochstauden im flachen Bereich hinter dem Steinwall (5.6.2012).	184
Bild 4.9-4:	Blick stromab, 12.07.2012	184
Bild 4.9-5:	Schlammablagerung (Pfeil) hinter Steinwall (Ende Juli 2012)	184
Bild 4.9-6:	Röhricht-/Hochstaudenzone hinter Steinwall mit dominierendem Rohr-Glanzgras (10.10.2012)	185
Bild 4.9-7:	Blühender Sumpf-Ziest (10.10.2012)	185
Bild 4.10-1:	Böschungsoberfläche unmittelbar nach Rückbau der Steinschüttung (Blickrichtung stromab) - 13.9.2011	188
Bild 4.10-2:	Zwei Reihen Setzstangen zwischen Betriebsweg und Böschungsschulter (Blickrichtung stromauf) - 22.2.2012	188
Bild 4.10-3:	Ausfachungsbühne. Frontalansicht (22.2.12)	189
Bild 4.10-4:	Ausfachungsbühne und Weidensetzstangen (Markierung) (14.12.11)	189
Bild 4.10-5:	Übersicht Versuchsfeld 9	189
Bild 4.10-6:	Uferböschung am 14.12.2011	191
Bild 4.10-7:	Uferböschung am 18.01.2012	191
Bild 4.10-8:	Uferböschung am 22.02.2012	191
Bild 4.10-9:	Uferböschung am 16.04.2012	191

Bild 4.10-10:	Erosionsbereich kurz vor der Ausfachungsbuhne (06.06.2012)	192
Bild 4.10-11:	Austreibende Weidensetzstange auf Böschungsschulter (16.4.12)	193
Bild 4.10-12:	Spontanbewuchs in der mittleren und oberen Böschungszone (6.6.12)	194
Bild 4.10-13:	Dominierendes Vorkommen von Acker-Winde in der oberen Böschungszone (10.7.12)	194
Bild 4.10-14:	Freistellen der Weidensetzstangen per Freischneider (10.7.12)	194
Bild 4.10-15:	Wasserstand am 10.7.12 bei AZW +1,04 m	194
Bild 4.10-16:	Weidensetzstangen im Bereich der Ausfachungsbuhne (7.6.12)	195
Bild 4.10-17:	Zustand des VF im Okt. 2012. Der relativ dichte Bewuchs in der oberen BZ bietet Schutz vor weiterer Erosion im Übergangsbereich zu den Setzstangen.	196
Bild 4.10-18:	Mit Pappel-Seide befallene Weidensetzstange (14.9.12)	197
Bild 4.10-19:	Von Pappel-Seide umwickelter Trieb einer Weidensetzstange (14.9.12)	197
Bild 4.10-20:	VF 9 am Befischungstermin 31.05.2012 (Wasserstand: AZW + 14 cm)	198
Bild 6.3-1:	Individuenanteile der Leitarten, typspezifischen Arten und Begleitarten nach WRRL (Korte, Hugo, 2006) sowie der Neozoen in den Versuchsfeldern 2012.	225

## Tabellenverzeichnis

## Seite

Tab. 2.1-1:	Übersicht der neu eingebauten Ufersicherungsmaßnahmen (VF = Versuchsfeld)	7
Tab. 2.2-1:	<b>Statistische Kennzahlen der Tageswerte der Temperatur</b> an der Wetterstation der FH Worms für die Untersuchungsperiode Sept. 11 - Okt. 12, die einzelnen Monate sowie Sommer- und Winterhalbjahr	10
Tab. 2.2-2:	<b>Statistische Kennzahlen der Tageswerte des Niederschlags</b> an der Wetterstation der FH Worms für die Untersuchungsperiode Sept. 11 - Okt. 12, die einzelnen Monate sowie Sommer- und Winterhalbjahr	12
Tab. 2.2-3:	<b>Statistische Kennzahlen der täglichen Sonnenscheindauer</b> (Sonneneinstrahlung > 120 W/m <sup>2</sup> ) an der Wetterstation der FH Worms für die Untersuchungsperiode Sept. 11 - Okt. 12, einzelne Monate sowie Sommer- und Winterhalbjahr	14
Tab. 2.3-1:	Wesentliche charakteristische Wasserstände am Pegel Worms nach (ELWIS, 2012; LUBW, 2007)	17
Tab. 2.3-2:	Maßgebende Wasserstände im Bereich der Versuchsstrecke	18
Tab. 2.3-3:	Zusammenstellung der Unter- und Überschreitungen für vier wesentliche charakteristische Wasserstände am Pegel Worms für den Zeitraum <b>1.9.2011 bis 31.10.2012 (427 Tage)</b>	21

Tab. 2.3-4:	Zusammenstellung der Unter- und Überschreitungen von AZW im Bereich AZW – 0,5 m bis AZW + 1,7 m am Pegel Worms für den Zeitraum <b>1.9.2011 bis 31.10.2012 (427 Tage)</b>	21
Tab. 3.1-1:	Übersicht Monitoring-Aktivitäten (12/2011 bis 10/2012) ( <i>Begehungen des WSA ohne notwendige Dokumentation sind in der Tabelle nicht aufgeführt.</i> )	27
Tab. 3.3-1:	Übersicht Querprofile (siehe Anlage 1)	32
Tab. 3.4-1:	Extremwerte der gemessenen Fließgeschwindigkeiten in jedem Versuchsfeld	39
Tab. 3.4-2:	Statistische Kennzahlen der Schiffsabmessungen und Schiffsgeschwindigkeiten; Variablen soweit möglich nach GBB (BAW, 2004) <i>Erläuterung: Die Breite von 22,8 m ergab sich bei einem Koppverband, bestehend aus einem GMS und einem Leichter.</i>	41
Tab. 3.4-3:	Statistische Kennzahlen der Uferabstände und der Wellenhöhen bei km 440,650; Variablen soweit möglich nach GBB (BAW, 2004)	43
Tab. 3.4-4:	Statistische Kennzahlen der Uferabstände und der Wellenhöhen bei km 440,920; Variablen soweit möglich nach GBB (BAW, 2004)	44
Tab. 3.4-5:	Statistische Kennzahlen der Uferabstände und der Wellenhöhen bei km 441,550; Variablen soweit möglich nach GBB (BAW, 2004)	44
Tab. 3.5-1:	Zusammenstellung von Bezeichnung, SOLL-Tiefe und IST-Tiefe der 19 eingebauten Drucksonden (18 x im Boden, 1 x Atmosphäre)	50
Tab. 3.5-2:	Wesentliche Kennzahlen der 3 Messkampagnen aus 2012 im Vergleich	52
Tab. 3.5-3:	Wasserstände am Pegel Worms und am Messort bei Rh-km 440,900 für die 3 Messkampagnen im Jahr 2012 <i>Symbole: PNP – Pegelnullpunkt, WSt – Wasserstand</i>	53
Tab. 3.5-4:	Ergebnisse der Messkampagne <b>Januar 2012</b> mit den Werten für die Wasserdrücke WD, die Absinkzeit $\Delta t$ , den Absink $z_a$ , den maximalen Porenwasserüberdruck PWÜD (= $\ddot{U}$ bei DS5) und die Bemessungswellenhöhe $H_{Bem}$ <i>Hinweis: weitere Erläuterungen im Text</i>	60
Tab. 3.5-5:	Ergebnisse der Messkampagne <b>Juni 2012</b> mit den Werten für die Wasserdrücke WD, die Absinkzeit $\Delta t$ , den Absink $z_a$ , den maximalen Porenwasserüberdruck PWÜD (= $\ddot{U}$ bei DS5) und die Bemessungswellenhöhe $H_{Bem}$ <i>Hinweis: weitere Erläuterungen im Text</i>	60
Tab. 3.5-6:	Ergebnisse der Messkampagne <b>Oktober 2012</b> getrennt für Güterschiffe ( <i>oben</i> ) und die MS Worms ( <i>unten</i> ) mit den Werten für die Wasserdrücke WD, die Absinkzeit $\Delta t$ , den Absink $z_a$ , den maximalen Porenwasserüberdruck PWÜD (= $\ddot{U}$ bei DS5) und die Bemessungswellenhöhe $H_{Bem}$	61

Tab. 3.5-7:	Schiffspassagen mit den maximalen Absunkwerten und den maximalen Porenwasserüberdrücken <i>Hinweis: Bei den Messkampagnen Januar und Oktober 2012 treten diese Werte bei verschiedenen Schiffen (Güterschiffe bzw. MS Worms) auf.</i>	69
Tab. 3.6-1:	International verwendete Aufnahmen-Skalen bei der Methode nach BRAUN-BLANQUET.	73
Tab. 3.6-2:	Übersicht über die in den einzelnen Versuchsfeldern durchgeführten Vegetationsuntersuchungen	74
Tab. 3.8-1:	Liste aller Panorama-Fotos zwischen April 2010 und Oktober 2012	78
Tab. 4.1-1:	Fischfauna der Versuchs- und Referenzstrecke aus den Jahren 2010 (vor Umbau) und 2012. Referenz und Gildenzugehörigkeit nach WRRL (Korte & Hugo, 2006), Gefährdungsstatus Rote Liste Hessen (Adam et al., 1996)	82
Tab. 4.2-1:	Entwicklung der einzelnen Bauweisen in Versuchsfeld 1 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung	89
Tab. 4.2-2:	Daten zur Befischung von VF 1, der Referenzstrecke (km 441,600-441,900) und der Gesamtstrecke (Referenz- und Versuchsstrecke, gesamt: Km 440,630 bis 441,900) aus den Jahren 2010 und 2012; Leitarten, typspezifische Arten und Begleitarten der Referenzzönosen der WRRL nach Korte, Hugo (2006)	92
Tab. 4.3-1:	Entwicklung der Weidenspreitlagen in Versuchsfeld 2 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung	98
Tab. 4.4-1:	Entwicklung der Weidenspreitlagen in Versuchsfeld 3 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung	108
Tab. 4.5-1:	Entwicklung der einzelnen Bauweisen in Versuchsfeld 4 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung	117
Tab. 4.5-2:	Daten zur Befischung von VF 4, der Referenzstrecke (km 441,600-441,900) und der Gesamtstrecke (Referenz- und Versuchsstrecke, gesamt: Km 440,630 bis 441,900) aus den Jahren 2010 und 2012; Leitarten, typspezifische Arten und Begleitarten der Referenzzönosen der WRRL nach Korte, Hugo (2006)	121
Tab. 4.6-1:	Entwicklung der einzelnen Bauweisen in Versuchsfeld 5a und b und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung	126
Tab. 4.6-2:	Durchschnittliche prozentuale Gesamtdeckung des Bewuchses in den einzelnen Pflanzzonen der Röhrlichtgabionen, differenziert nach den prozentualen Deckungsanteilen der vorkultivierten (v) Haupt- und Beiarten und der Spontanvegetation für die Sommer- und Herbstkartierung.	132
Tab. 4.7-1:	Entwicklung der einzelnen Bauweisen in VF 6 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung	141
Tab. 4.8-1:	Entwicklung der einzelnen Bauweisen in Versuchsfeld 7 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung	149

Tab. 4.8-2:	Übersicht über den Aufbau der folgenden Kapitel	159
Tab. 4.8-3:	Durchschnittliche prozentuale Gesamtdeckung des Bewuchses in den Versuchsfeldabschnitten 7a1 und 7a2, differenziert nach den prozentualen Deckungsanteilen der vorkultivierten (v) Haupt- und Beiarten, der Spontanvegetation und der Wintergetreide- sowie Landschaftsrasensaat für die Juni- und Oktoberkartierung.	171
Tab. 4.8-4:	Durchschnittliche prozentuale Gesamtdeckung des Bewuchses in den Versuchsfeldabschnitten 7b und 7c, differenziert nach den prozentualen Deckungsanteilen der vorkultivierten (v) Haupt- und Beiarten, der Spontanvegetation und der Wintergetreide- sowie Landschaftsrasensaat für die Juni- und Oktoberkartierung.	176
Tab. 4.9-1:	Entwicklung der einzelnen Bauweisen in Versuchsfeld 8 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung	182
Tab. 4.10-1:	Entwicklung der einzelnen Bauweisen in Versuchsfeld 9 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung	192
Tab. 4.10-2:	Daten zur Befischung von VF 9, der Referenzstrecke (km 441,600-441,900) und der Gesamtstrecke (Referenz- und Versuchsstrecke, gesamt: Km 440,630 bis 441,900) aus den Jahren 2010 und 2012; Leitarten, typspezifische Arten und Begleitarten der Referenzzönosen der WRRL nach Korte, Hugo (2006)	199
Tab. 5.2-1:	Darstellung der Herstellungskosten pro Versuchsfeld (VF = Versuchsfeld)	202
Tab. 6.2-1:	Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Versuchsfeldern	208

## Anlagenverzeichnis

Anlage 1:	Lageplan der Versuchsfelder (fertiger Bestand) und Querprofile
Anlage 2:	Erfassungsbögen für die Uferinspektionen
Anlage 3:	Querprofileinmaße
Anlage 4:	Panoramaaufnahmen der Versuchsfelder
Anlage 5:	Artenliste Vegetation
Anlage 6:	Übersicht Monitoringaktivitäten von 2012 bis 2016
Anlage 7:	Registrierte Daten der Porenwasserdruckmessungen

### **An der Erstellung des Berichtes Beteiligte:**

DOYCHEV, Svetlana	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Referat Natur- untersuchungen, Wechselwirkung Schiff-Wasserstraße
EISENMANN, Jeannine	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Referat Erdbau und Uferschutz
FLEISCHER, Petra	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Referat Erdbau und Uferschutz ( <i>Federführung</i> )
HANNIG, Marc	Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim, Sachbereich 3
HERZ, Hans-Werner	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Landschaftspflege, Vegetationskunde
DR. KLEINWÄCHTER, Meike	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Tierökologie
LIEBENSTEIN, Hubert	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Landschaftspflege, Vegetationskunde
SCHILLING, Katja	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Landschaftspflege, Vegetationskunde
DR. SOYEAX, Renald	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Referat Erdbau und Uferschutz
DR. SUNDERMEIER, Andreas	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Landschaftspflege, Vegetationskunde
WIELAND, Steffen	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Tierökologie

Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen

- Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer -  
2. Zwischenbericht: Erste Monitoringergebnisse  
BfG-Nr.: 1677 BAW-Nr.: 2.04.10151.00



bfg



## 1. Veranlassung

Im Rahmen des seit 2004 laufenden gemeinsamen Forschungs- und Entwicklungsvorhabens der BAW und BfG „Untersuchungen zu alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen“ wird am Rhein in der Nähe von Worms ein Naturversuch durchgeführt. Träger der Maßnahme ist das WSA Mannheim. Auf der Gemarkung Lampertheim werden am rechten Rheinufer in einem Abschnitt von 1 km Länge (km 440,600 bis km 441,600) neun unterschiedliche technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen unter Wasserstraßenbedingungen getestet. In fünf Abschnitten wurde die alte technische Ufersicherung, eine Steinschüttung, etwa oberhalb AZW vollständig entfernt und durch alternative pflanzliche Maßnahmen ersetzt, in einem Abschnitt blieb das Ufer weitestgehend ungesichert. In vier Abschnitten wurden unterschiedliche Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung der bestehenden Steinschüttung durchgeführt. Im Ergebnis des Naturversuchs an dieser hoch frequentierten Wasserstraße werden wichtige Erkenntnisse zur Anwendung alternativer technisch-biologischer Ufersicherungen am Rhein, aber auch an anderen Wasserstraßenabschnitten erwartet.

Grundlage der Baumaßnahmen ist das Gutachten der BAW und BfG vom 07.05.2010 (BAW, BfG, 2010), in dem die im Vorfeld ermittelten Randbedingungen in diesem Rheinabschnitt dokumentiert und Vorschläge für die unterschiedlichen neuen Uferbauweisen unterbreitet werden. Eine Beschreibung der in den Versuchsfelder 1 bis 9 von September bis Dezember 2011 eingebauten neuen Ufersicherungsmaßnahmen sowie die detaillierte Erläuterung des Monitoringprogramm für die Jahre 2012 bis 2016 sind in einem ersten Zwischenbericht zur Versuchsstrecke vom 25.01.2012 dokumentiert, erstellt von BAW, BfG und WSA Mannheim (BAW, BfG, WSA-MA, 2012). Der vorliegende 2. Zwischenbericht beinhaltet eine Auswertung der Einbauerfahrungen und Dokumentation der Baukosten sowie die Ergebnisse der ersten Monitoringphase, die auch die kritische Anfangsphase beinhaltet, bis Oktober 2012.

Am 20. September 2012 wurde die Versuchsstrecke unter großer Beteiligung von Verantwortlichen, Fachpublikum und Gästen eingeweiht. Schautafeln nach WSV-Corporate Design erläutern vor Ort die Bauweisen. Bereits in mehreren Kolloquien und Vortagsveranstaltungen wurde die Versuchsstrecke thematisiert. Es fanden Besichtigungen und Erläuterungen vor Ort statt. Die bisher durchgeführte umfangreiche Öffentlichkeitsarbeit trägt dem hohen Informationsbedarf Rechnung, der sich in zahlreichen Anfragen Dritter (Fachinstitute, Behörden, Verbände) zeigt. Mit Fach- und Hochschulen wurden Untersuchungen im Rahmen von Bachelor- oder Masterarbeit durchgeführt.

Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen

- Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer -  
2. Zwischenbericht: Erste Monitoringergebnisse  
BfG-Nr.: 1677 BAW-Nr.: 2.04.10151.00



bfg



## 2. Untersuchungsgebiet

Die 1 km lange Versuchsstrecke liegt in der Nähe von Worms am rechten Rheinufer zwischen Rhein-km 440,600 und km 441,600. Die Versuchsstrecke beginnt ca. 200 m stromab der Einmündung des Lampertheimer Altrheins in den Rhein und ist Teil des Landschaftsschutzgebietes „Rheinheinisches Rheingebiet“. Die Lage der Versuchsstrecke wurde u. a. wegen der zu erwartenden hohen schiffahrtsbedingten hydraulischen Belastung und den großen Wasserspiegelschwankungen ausgewählt.

Die Angaben zum Untersuchungsgebiet beinhalten eine kurze Darstellung der Versuchsstrecke, d. h. eine Übersicht über die Versuchsfelder und die betrachteten Referenzbereiche (Kap. 2.1). In den Kapiteln 2.2 und 2.3 werden die Wetterdaten und Wasserstände für den Betrachtungszeitraum beschrieben und ausgewertet und für das nachfolgende Monitoring bereitgestellt. Da diese Daten für ein großräumigeres Gebiet (Wetterdaten) gelten bzw. die Wasserstände am Pegel Worms, also außerhalb der eigentlichen Versuchsstrecke aufgezeichnet wurden, werden sie dem Monitoring der eigentlichen Versuchsstrecke vorangestellt.

### 2.1 Übersicht Versuchsfelder

Bild 2.1-1 zeigt die Versuchsstrecke im Grundriss mit der Lage der einzelnen Versuchsfelder und der beiden 100 m langen Referenzstrecken (für die ökologische Beurteilung der Vegetation) im ober- und unterstromigen Anschluss an die Versuchsstrecke. Die Referenzstrecke für die Fauna erstreckt sich auf einer Länge von 300 m flussabwärts der Versuchsstrecke.

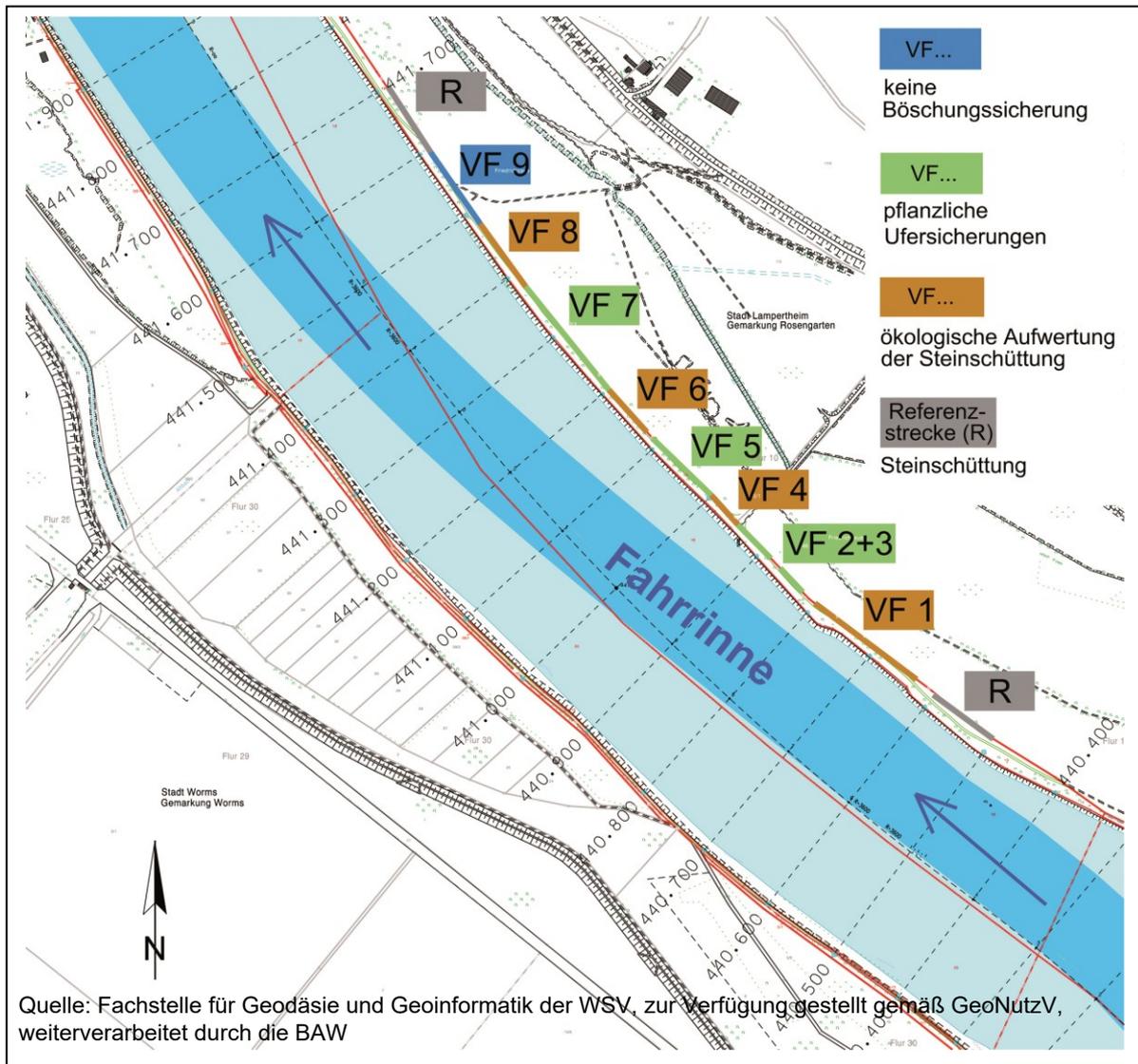


Bild 2.1-1: Lage der einzelnen Versuchsfelder und der Referenzstrecken

Eine Übersicht der in den einzelnen Versuchsfeldern eingebauten Ufersicherungsmaßnahmen geben Tab. 2.1-1 und Anlage 1. Darin ist außerdem vermerkt, ob die eingebauten Pflanzen eine Uferschutzfunktion besitzen oder nur der ökologischen Aufwertung der vorhandenen Steinschüttung dienen. Diese Unterscheidung ist für die weiteren Untersuchungen und Auswertungen von entscheidender Bedeutung.

Tab. 2.1-1: Übersicht der neu eingebauten Ufersicherungsmaßnahmen (VF = Versuchsfeld)

VF	km	Technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen	Langfristige Funktion der eingebauten Pflanzen	Foto nach Einbau
1	440,630 bis 440,800	Vorhandene Steinschüttung mit Weidensetzstangen, Lebendfaschinen, Busch- und Heckenlagen; vorgelagerter Steinwall mit Flachwasserzone, Totholzstämmen mit Wurzelteller	Ökologische Aufwertung der Steinschüttung, keine Uferschutzfunktion	
2	440,820 bis 440,860	Entfernung der Steinschüttung; Weidenspreitlagen, diagonal zur Fließrichtung verlegt, befestigt mit Querriegeln, Holzpflocken, Drahtverspannungen	Alleinige Uferschutzfunktion	
3	440,880 bis 440,950	Entfernung der Steinschüttung; Weidenspreitlagen, quer zur Fließrichtung verlegt, befestigt mit Querriegeln, Holzpflocken, Drahtverspannungen	Alleinige Uferschutzfunktion	
4	440,950 bis 441,000	Vorhandene Steinschüttung mit Kiesfüllung, Einzelsteingruppen, Totholzfaschinenbündel	Ökologische Aufwertung der Steinschüttung, keine Uferschutzfunktion	
5	441,000 bis 441,110	Entfernung der Steinschüttung; Einbau von Röhrichtgabionen und Steinmatratzen auf Kornfilter, vorgezogenen Pflanzmatten auf Steinmatratzen, Heckenlagen	Uferschutzfunktion im Zusammenwirken mit Steinmatratzen und Gabionen	
6	441,125 bis 441,200	Vorhandene Steinschüttung mit Oberboden-Alginatgemisch-Füllung, Nassansaat, Einzelpflanzen	Ökologische Aufwertung der Steinschüttung, keine Uferschutzfunktion	
7	441,200 bis 441,375	Entfernung der Steinschüttung; Einbau von vorgezogenen Pflanzmatten auf verschiedenen Filtermatten (Schafwollvlies, Geotextil, Kokosmatte), Totholzfaschinen, Vegetationswalzen, Kokosgewebe über Nassansaat, befestigt mit Querriegeln, Holzpflocken, Drahtverspannungen	Uferschutzfunktion im Zusammenwirken mit Filtermatten	
8	441,375 bis 441,475	Vorhandene Steinschüttung und Pflaster mit Röhrichtbewuchs; Erhöhung des vorhandenen Steinwalls	Keine Pflanzen eingebaut	
9	441,475 bis 441,600	Entfernung der Steinschüttung; keine neue Ufersicherung im Böschungsbereich; Zulassen von begrenzter Erosion und Sukzession, Setzstangen zum Schutz des Betriebsweges; Ausfachungsbühne	Begrenzung der Erosionserscheinungen zum Betriebsweg	

Bild 2.1-2 zeigt beispielhaft ein Querprofil bei km 441,250, aufgenommen im Vorfeld der Baumaßnahmen 2009, aus dem die Lage der Geländeoberkante im Verhältnis zu typischen Wasserständen (siehe Kap. 2.3) ersichtlich und die Baugrundsichtung dargestellt ist. Das Querprofil liegt etwa mittig in der Versuchsstrecke, stromab fällt das Gelände etwas ab, die Geländeoberkante liegt am km 441,600 bei NN+89,5 m. Etwa ab Wasserständen in Höhe der Marke II (HSWII) wird die gesamte Böschung eingestaut und das angrenzende Gelände überflutet.

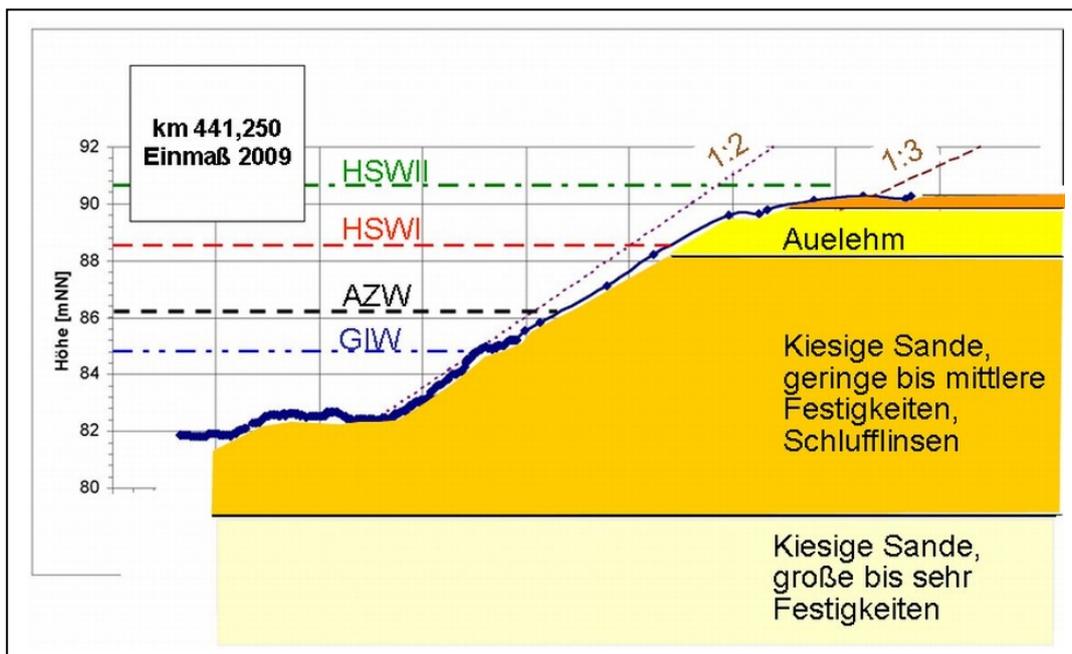


Bild 2.1-2: Beispielhaftes Querprofil (2009) mit typischen Wasserständen und Baugrundsichtung (BAW, BfG, WSA-MA, 2010)

## 2.2 Wetterdaten

Eine wichtige Grundlage für die Beurteilung und Bewertung des Erfolgs der alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen, besonders der pflanzlichen Komponenten, aber auch zur Beurteilung der Fauna sind Wetterdaten wie Temperatur, Niederschlag und Tagesdauer bzw. Sonnenscheindauer. Von einer ca. 2 km Luftlinie von der Versuchsstrecke entfernten Wetterstation der FH Worms, Fachbereich Informatik, die seit 2007 kontinuierlich 28 Messwerte aufzeichnet, standen dafür folgende Werte zur Verfügung:

Temperatur [°C]	Tageswerte (Minimum/ Mittelwert/ Maximum der Stundenwerte)
Niederschlag [mm]	Tageswerte (Summe bis Tagesende) und Monatswerte (Summe aller Tage im Monat) ( <i>Hinweis: Schnee wird nicht erfasst!</i> )
Sonnenaufgang/ -untergang	Uhrzeiten und Tagesstunden

UV-Index [-]	Tageswerte (Mittelwert/ Maximum der Stundenwerte); UV-Stundenwerte (Summe der Stunden mit UV-Index > 0,5 und > 1,0 entspr. Möglichkeit zur Definition der Sonnenscheindauer)
Sonneneinstrahlung [W/m <sup>2</sup> ]	Tageswerte (Minimum/ Mittelwert/ Maximum der Stundenwerte) Sonnenstunden (Summe der Stunden mit Werte > 120 W/m <sup>2</sup> )

Für den Zeitraum 1. September 2011 - 31. Oktober 2012 wurden diese und weitere Werte (Luftfeuchtigkeit, Luftdruck, u. a.) der BAW am 19. November 2012 übergeben. In der gesamten Zeit von 14 Monaten gab es nur an zwei Tagen, dem 12. u. 13. September 2012, Messlücken infolge von Stromausfall. In einem Supplement zu diesem Bericht (BAW, 2013) sind Hintergründe, Messgrößen aller Wetterdaten und deren statistische Auswertungen ausführlich dokumentiert. Hier wird nur die Auswertung der wichtigsten Parameter – Temperatur (s. Kap. 2.2.1), Niederschlag (s. Kap. 2.2.2), und Tages-/Sonnenscheindauer (s. Kap. 2.2.3) – in folgender Form dargestellt:

- Ganglinien für die gesamte Untersuchungsperiode und
- wesentliche statistische Kennwerte (Minimum, Mittelwert, Maximum sowie ggf. Median und Standardabweichung) für die gesamte Untersuchungsperiode, für die einzelnen Monate und für das phänologisch festgelegte Sommer- und Winterhalbjahr.

Aus den Messwerten für Temperatur und Niederschlag wird abschließend noch ein Klimadiagramm nach Walter und Lieth (1967) erstellt (s. Kap. 2.2.4), das aus der Gegenüberstellung von Niederschlags- und Temperaturwerten Trockenperioden ausweist.

## 2.2.1 Temperatur

Aus der Ganglinie (Bild 2.2-1) sind folgende Trends und markante Temperaturphasen zu erkennen:

- Die mittleren Temperaturen während der Bauphase zwischen September und Mitte November 2011 sind beständig von ca. 20 °C auf ca. 5 °C gesunken.
- Mitte November 2011 bis Mitte Januar 2012 blieb dieser mittlere Wert etwa erhalten.
- Dann sank die Temperatur auf Tiefstwerte um - 10 °C im Februar 2012. Die erste Februarhälfte (31.1. - 13.2.2012) war eine zwei Wochen andauernde Kälteperiode mit Temperaturen ausschließlich unter 0 °C.
- Ab Mitte Februar bis Juni stiegen die Temperaturen beständig auf ca. 22,5 °C an.
- Die höchsten Temperaturen (bzgl. Tagesmaxima) von über 35 °C traten Juli/August 2012 auf. Längere Phasen, an denen die maximalen Tagestemperatur über 30 °C erreicht haben, gab es Ende Juni 2012 (4 Tage) und am Beginn der zweiten Augusthälfte (4 Tage) auf.
- Ab Mitte August sanken die Durchschnittstemperaturen wieder langsam auf ca. 5 °C Ende Oktober 2012.

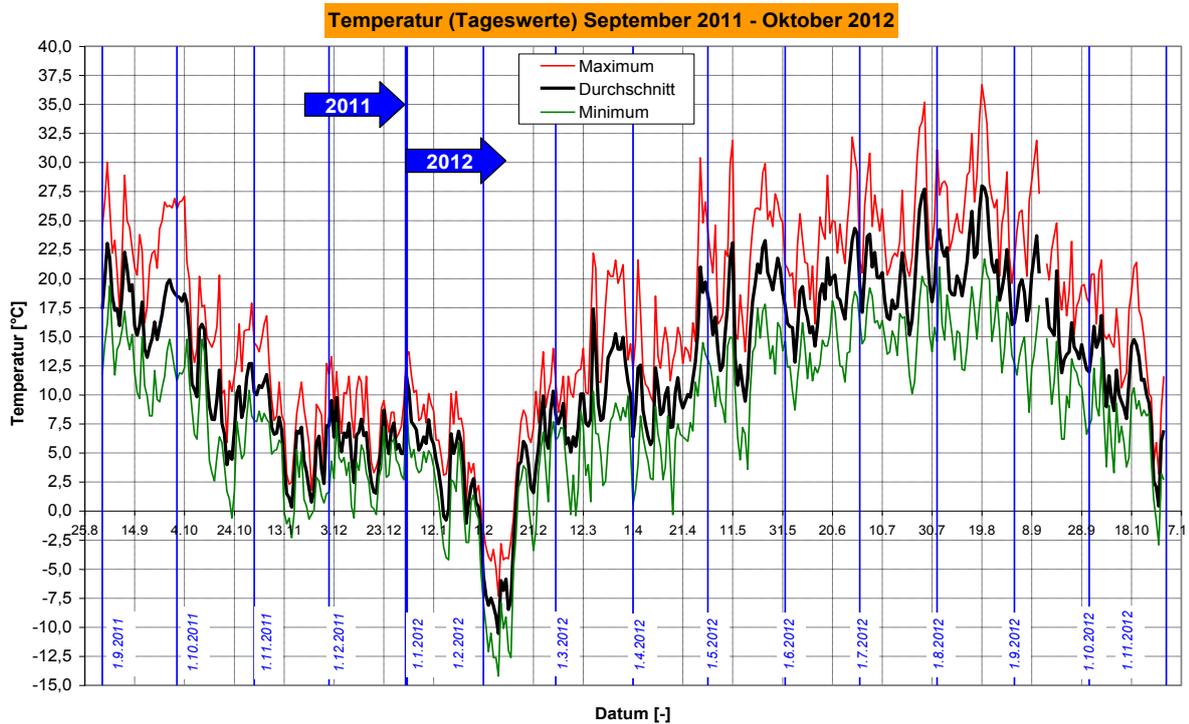


Bild 2.2-1: Ganglinien von täglichen Maxima, Mittelwerten und Minima der Temperatur an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum 1.9.2011 - 31.10.2012

Tab. 2.2-1: **Statistische Kennzahlen der Tageswerte der Temperatur** an der Wetterstation der FH Worms für die Untersuchungsperiode Sept. 11 - Okt. 12, die einzelnen Monate sowie Sommer- und Winterhalbjahr

Tageswerte				
Temperatur [°C]	Monats....			
	...Maximum	...Mittel	...Minimum	
Sep 11	30,00	17,75	8,20	
Okt 11	27,10	11,39	-0,60	
Nov 11	16,80	5,97	-2,30	
Dez 11	13,30	5,84	-0,60	
Jan 12	13,70	4,32	-5,20	
Feb 12	14,00	-0,27	-14,20	
Mrz 12	22,20	10,06	-0,40	
Apr 12	30,40	10,60	-0,30	
Mai 12	31,90	17,24	3,60	
Jun 12	32,20	18,27	8,70	
Jul 12	35,20	20,20	10,10	
Aug 12	36,70	21,78	11,90	
Sep 12	31,90	16,46	6,20	
Okt 12	21,60	10,37	-2,90	
Untersuchungs- Periode	Min		-14,20	
	Mittel		12,14	
	Max	36,70		
	Median	16,70	12,19	8,20
	Standardabw	8,56	7,37	6,57

phänologisches Winterhalbjahr (16. Oktober - 4. April)		
Maximum	Mittel	Minimum
22,20	5,68	-14,20

phänologisches Sommerhalbjahr (5. April - 15. Oktober)		
Maximum	Mittel	Minimum
36,70	17,19	-0,30

Die wichtigsten statistischen Kennzahlen der Temperaturen für die gesamte Untersuchungsperiode September 2011 bis Oktober 2012 lauten (vgl. Tab. 2.2-1):

Minimum	- 14,20 °C	am 7. Februar 2012
Mittelwert	12,14 °C	mit Standardabweichung 7,37 °C
Maximum	36,70 °C	am 19. August 2012

Unter Berücksichtigung der phänologischen Jahresteilung (s. Tab. 2.2-1 rechts) liegt die mittlere Temperatur im Winterhalbjahr bei 5,7 °C, im Sommerhalbjahr bei 17,2 °C. Der Abstand zwischen Minimum und Maximum beträgt in beiden Halbjahren ca. 36 °C. Sind für vertiefte Fragestellungen außerdem die Temperaturwechsel zw. Tagesminimum und -maximum wichtig, die als Bandbreiten zusätzlich ausgewertet wurden, so wird auf (BAW, 2013) verwiesen.

### 2.2.2 Niederschlag

Für die Niederschläge stellt die Summation aller Niederschläge über einen Tag den Tageswert dar; es gibt also keine täglichen Minima und Maxima (s. Bild 2.2-2). Die Monatswerte sind die Summe aller Tageswerte bis Monatsende (Bild 2.2-3).

Aus der Ganglinie der Niederschläge (Bild 2.2-2) ist zu erkennen, dass während der Bauphase im September und Oktober 2011 zunächst mäßiger Niederschlag fiel, gefolgt von einer längeren, sehr regenarmen Zeit zwischen Mitte Oktober bis Ende November. Der Dezember 2012 war niederschlagsreich. Die Monate Januar bis April 2012 waren eher trocken. Juni bis August traten wieder mehr Niederschläge auf. Die erste sehr trockene Septemberhälfte ging einer Phase mit mäßigen Niederschlägen voran. Dieses Gesamtbild wird durch die Auftragung der Monatswerte unterstrichen (Bild 2.2-3).

Besonders Starkregenereignisse können sich negativ auf ungeschützte Böschungsbereiche und die Entwicklung pflanzlicher Ufersicherungsmaßnahmen, insbesondere während der kritischen Anwachsphase, auswirken. Der Deutsche Wetterdienst (DWD, 2012) legt Starkregen bei Regenmengen  $\geq 25$  mm / 1 h oder 35 mm / 6 h fest, für die eine Unwetterwarnung herausgegeben wird. Schon ab Regenmengen  $\geq 10$  mm / 1 h oder 20 mm / 1 h gilt eine markante Wetterwarnung. Nur an Tagen mit sehr hohen Tageswerten, die in der Nähe der 6 Std.-Werte liegen, ist die Wahrscheinlichkeit gegeben, dass heftigere Regenfälle aufgetreten sind. Dies war nur an zwei Tagen in der Untersuchungsperiode – am 4.12.2011 (kurz vor Abschluss der Bauphase) mit 36,07 mm und am 16.8.2012 (8 Monate nach Bauabschluss) mit 37,59 mm – zutreffend.

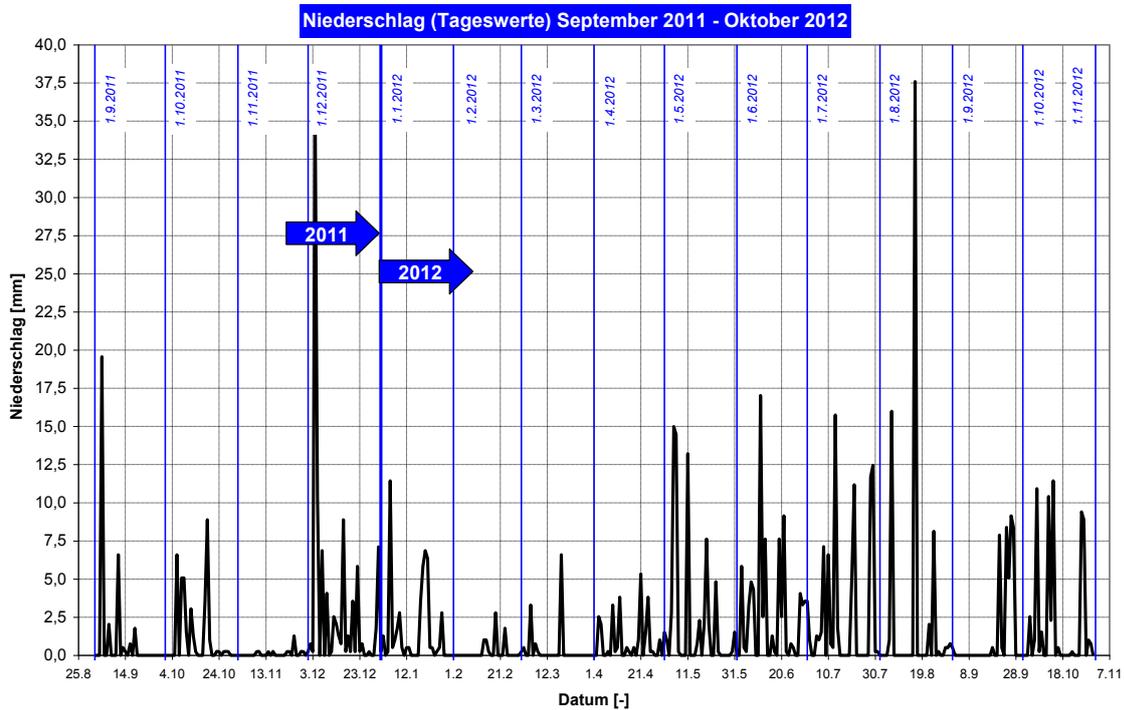


Bild 2.2-2: Ganglinie der täglichen Niederschlagsmenge an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum 1.9.2011 - 31.10.2012; Hinweis: [mm] = [l/m<sup>2</sup>]

Tab. 2.2-2: **Statistische Kennzahlen der Tageswerte des Niederschlags** an der Wetterstation der FH Worms für die Untersuchungsperiode Sept. 11 - Okt. 12, die einzelnen Monate sowie Sommer- und Winterhalbjahr

Tageswerte			
Niederschlag [mm]	Monats....		
	...Maximum	...Mittel	...Minimum
Sep 11	19,56	1,05	0,00
Okt 11	8,89	1,21	0,00
Nov 11	1,27	0,11	0,00
Dez 11	36,07	3,10	0,00
Jan 12	11,43	1,55	0,00
Feb 12	2,79	0,24	0,00
Mrz 12	6,60	0,38	0,00
Apr 12	5,33	0,91	0,00
Mai 12	14,99	2,25	0,00
Jun 12	17,02	2,65	0,00
Jul 12	15,75	2,65	0,00
Aug 12	37,59	2,16	0,00
Sep 12	9,14	1,35	0,00
Okt 12	11,43	1,97	0,00

phänologisches Winterhalbjahr (16. Oktober - 4. April)			
Maximum	Mittel	Minimum	
36,07	1,08	0,00	

phänologisches Sommerhalbjahr (5. April - 15. Oktober)			
Maximum	Mittel	Minimum	
37,59	2,09	0,00	

Untersuchungs- Periode	Min		0,00
	Mittel		1,54
	Max	37,59	
	Median		0,00
	Standardabw		3,91

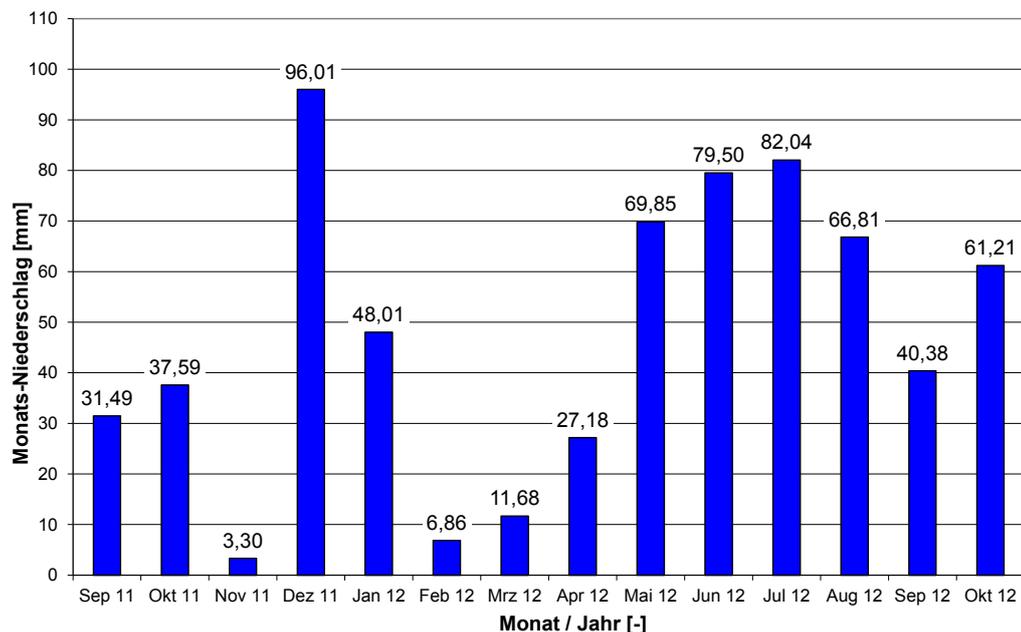


Bild 2.2-3: Histogramm der monatlichen Niederschlagsmengen an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum September 2011 - Oktober 2012; Hinweis: [mm] = [l/m<sup>2</sup>]

Die wichtigsten statistischen Kennzahlen der Niederschläge für die gesamte Untersuchungsperiode September 2011 bis Oktober 2012 lauten (vgl. Tab. 2.2-2):

Minimum	0,00 mm	
Mittelwert	1,54 mm	mit Standardabweichung 3,91 mm
Maximum	37,59 mm	am 16. August 2012

Für das Winterhalbjahr liegt der mittlere Niederschlag bei 1,1 mm, für das Sommerhalbjahr bei 2,1 mm. Die Maxima für Winter- und Sommerhalbjahr sind mit 36,1 mm und 37,6 mm nahe beieinander (s. Tab. 2.2-2 rechts).

### 2.2.3 Tages- / Sonnenscheindauer

Für die Beurteilung der Vegetationskomponenten der alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen ist die tägliche Sonnenscheindauer ein wichtiger Wert. Um diese zu ermitteln, werden die Tageszeiten bestimmt und aufsummiert, in denen die Energieeinstrahlung über 120 W/m<sup>2</sup> liegt. Die daraus ermittelte Ganglinie zeigt Bild 2.2-4; diese liegt natürlich immer unter der Ganglinie der totalen Tagesdauer (Zeiten zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang), deren Sinusform die Veränderung über ein Jahr widerspiegelt.

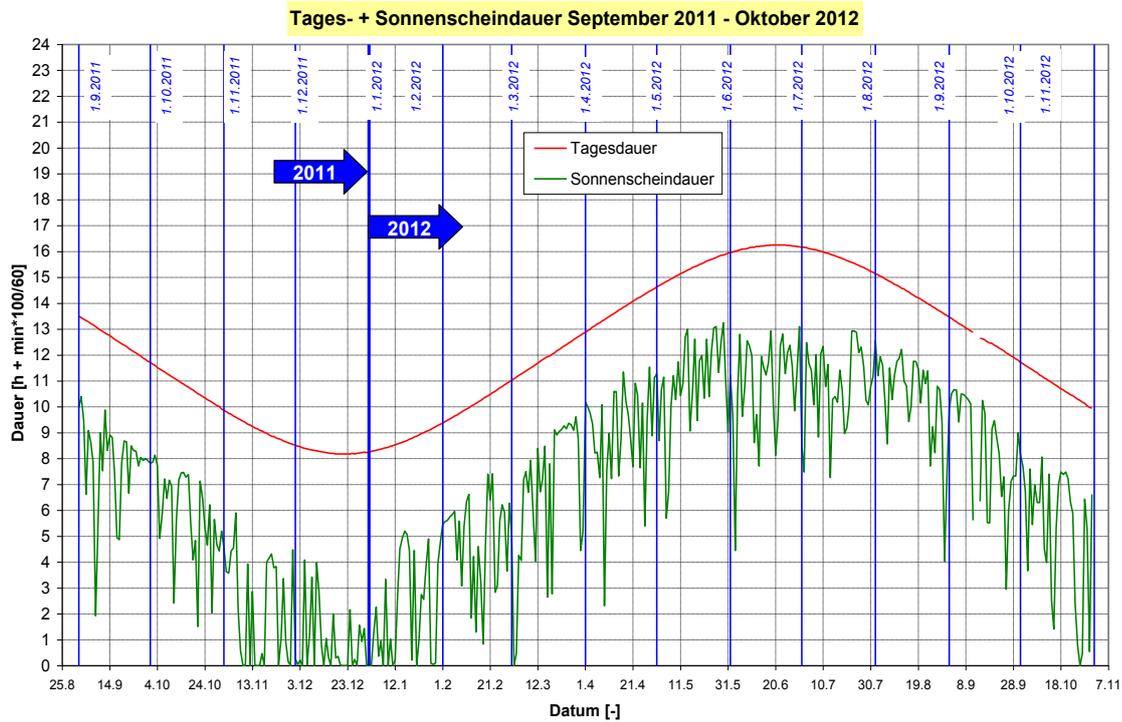


Bild 2.2-4: Ganglinien von Tagesdauer (Zeit zwischen Sonnenaufgang und Sonnenuntergang) und täglicher Sonnenscheindauer (Sonneneinstrahlung > 120 W/m<sup>2</sup>) an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum 1.9.2011 - 31.10.2012

Tab. 2.2-3: **Statistische Kennzahlen** der täglichen **Sonnenscheindauer** (Sonneneinstrahlung > 120 W/m<sup>2</sup>) an der Wetterstation der FH Worms für die Untersuchungsperiode Sept. 11 - Okt. 12, einzelne Monate sowie Sommer- und Winterhalbjahr

Tageswerte

Sonnenschein [h]	Monats....		
	...Maximum	...Mittel	...Minimum
Sep 11	10,40	7,85	1,93
Okt 11	8,13	5,89	1,52
Nov 11	5,90	2,22	0,00
Dez 11	4,08	0,88	0,00
Jan 12	5,20	2,10	0,00
Feb 12	7,42	4,86	0,83
Mrz 12	9,62	6,69	0,00
Apr 12	11,53	9,00	2,32
Mai 12	13,25	10,93	5,70
Jun 12	13,10	10,86	4,45
Jul 12	12,93	10,80	7,27
Aug 12	12,55	10,40	4,03
Sep 12	10,67	8,40	2,95
Okt 12	8,15	5,27	0,00

phänologisches **Winterhalbjahr**  
 (16. Oktober - 4. April)  
 Maximum Mittel Minimum  
 10,18 3,66 0,00

phänologisches **Sommerhalbjahr**  
 (5. April - 15. Oktober)  
 Maximum Mittel Minimum  
 13,25 9,76 1,42

Untersuchungs- Periode	Min		0,00
	Mittel		6,87
	Max	13,25	
	Median		7,40
	Standardabw		3,86

Die statistischen Grundkennzahlen der Sonnenscheindauer für die gesamte Untersuchungsperiode September 2011 bis Oktober 2012 lauten (vgl. Tab. 2.2-3):

Minimum	0,00 h	(entspr. völliger Wolkenbedeckung den ganzen Tag) mehrmals in den Monaten Nov. u. Dez. 2011 sowie Jan., März und Oktober 2012
Mittelwert	6,87 h	mit Standardabweichung 3,86 h
Maximum	13,25 h	am 29. Mai 2012

Nach der phänologischen Jahresteilung strahlt die Sonne im Winterhalbjahr im Mittel 3,7 h, im Sommerhalbjahr 9,8 h (s. Tab. 2.2-3 rechts).

Eine andere aussagekräftige Darstellung ist das tägliche Verhältnis von Sonnenscheindauer zu Tagesdauer (s. Bild 2.2-5), die aufzeigt, dass es – unabhängig von der Jahreszeit – zwar von Tag zu Tag große Schwankungen geben kann, dass aber tendenziell und erwartungsgemäß im Winterhalbjahr (Monate November 2011 bis Januar 2012) kürzere Sonnenscheindauern pro Tag auftreten.

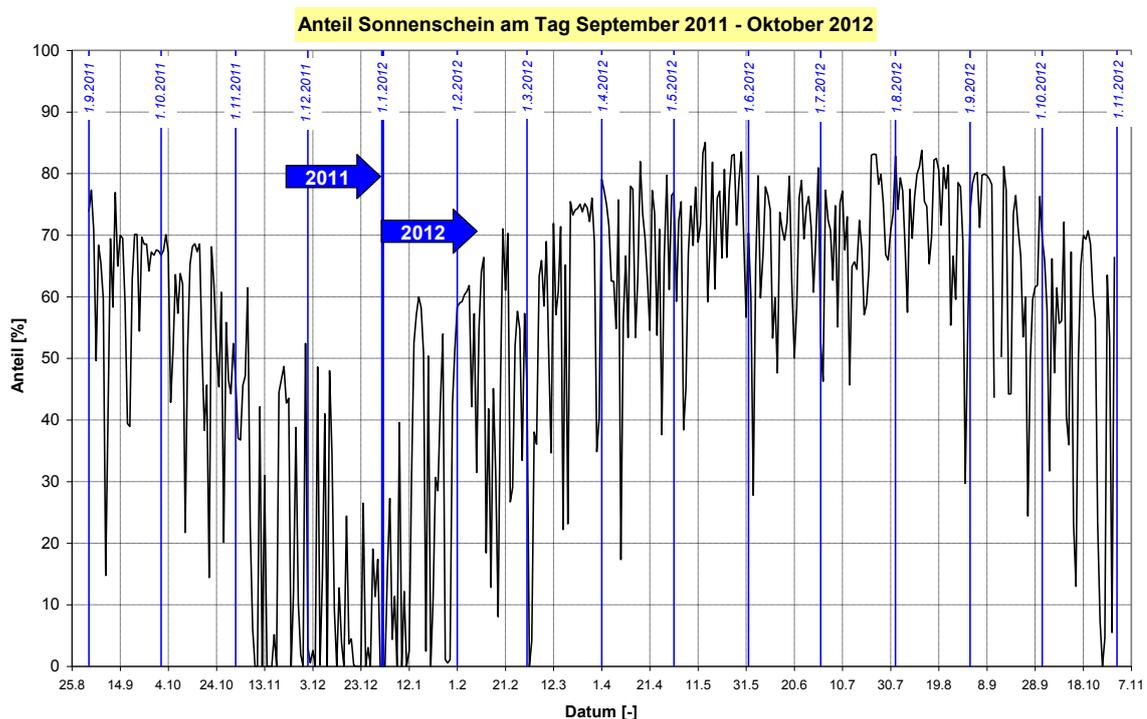


Bild 2.2-5: Tägliches Verhältnis von Sonnenscheindauer/Tagesdauer an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum 1.9.2011 – 31.10.2012

## 2.2.4 Zusammenfassung und Bewertung

Um Trocken- Feuchtperioden objektiv anhand der Klimadaten festzustellen, ist die Darstellung von Temperatur- und Niederschlagswerten in Klimadiagrammen nach Walter und Lieth (1967) üblich. Dabei werden die Ganglinien vom Niederschlag als Monatssummen und von Temperatur als Monatsmittel aufgetragen, wobei sich die Ordinaten wie 3 : 1 verhalten müssen. Liegt die Niederschlagskurve unter der Temperaturkurve, so findet eine Trockenperiode statt. Umgekehrt handelt es sich um eine Feuchtperiode.

Bild 2.2-6 zeigt die für die Versuchsstrecke vorliegenden Daten von Temperatur und Niederschlag, aufgetragen in Form des beschriebenen Klimadiagramms. Es ist zu erkennen, dass in die Monaten September und November 2011 die ersten zwei Trockenperioden fielen. Die nächste extreme Trockenphase trat im März 2012 auf, gefolgt von einer minimalen Trockenphase im April 2012. Im Monat September 2012 folgte wieder eine leichtere Trockenphase, was für diesen Spätsommermonat aber nicht ungewöhnlich ist.

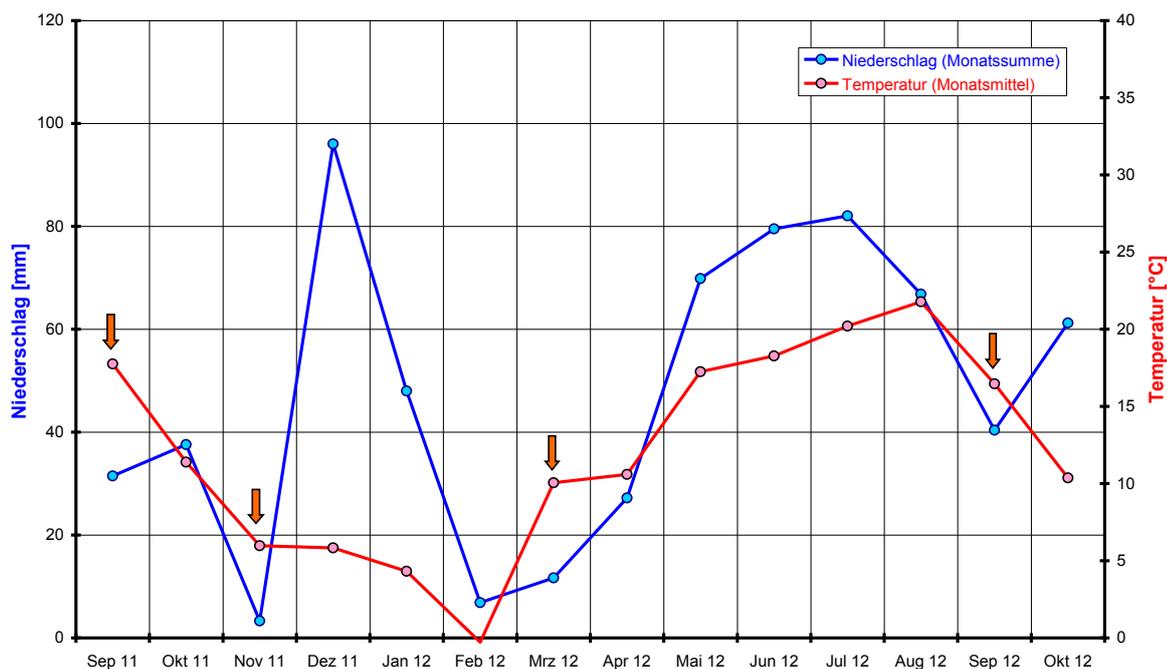


Bild 2.2-6: Klimadiagramm nach Walter u. Lieth (1967) für Niederschlag (Monatssumme) und Temperatur (Monatsmittel); Trockenperioden in den mit ↓ gekennzeichneten Monaten

Bauzeit: Die Bauzeit von September bis Dezember 2011 lag im Herbst, der relativ unauffällig ohne große Extreme verlief: stetig fallende Temperaturen, aber noch kaum Frost, keine großen Niederschläge. Lediglich eine Trockenperiode im November könnte sich negativ auf die gerade eingebauten Pflanzen ausgewirkt haben.

Zeit nach Fertigstellung – erste Vegetationsperiode: Nach den Hochwasserereignissen Anfang 2012 wurden die Pflanzen, die noch keine Wurzeln ausbilden konnten, durch eine zweiwöchige Kälteperiode mit Temperaturen bis  $-14^{\circ}\text{C}$  ohne schützende Schneedecke belastet. Im März und April folgten zudem zwei Trockenperioden. Die Monate Mai bis Juli kennzeichnen nach dem Klimadiagramm einen feuchten Sommer, der sich positiv auf das Pflanzenwachstum ausgewirkt hat.

### 2.3 Rheinwasserstände

Ca. 2 bis 3 km stromab der Versuchsstrecke befindet sich am gegenüberliegenden linken Rheinufer der vom WSA Mannheim betriebene Pegel Worms (Pegelnulldpunkt NN+84,16 m). Er liefert permanent Messwerte, die der Charakterisierung der Wasserstände an der Versuchsstrecke dienen können. Um diese Wasserstände grob einordnen zu können, sind in Tab. 2.3-1 wesentliche charakteristische Wasserstände aufgeführt.

Tab. 2.3-1: Wesentliche charakteristische Wasserstände am Pegel Worms nach (ELWIS, 2012; LUBW, 2007)

Kürzel	Kennwert	Pegelwert [cm]	Wasserspiegellage [NN+m]
M_II	Marke II = höchster schiffbarer Wasserstand HSW	650	90,66
M_I	Marke I	440	88,56
AZW	Ausbauzentralwasserstand <sup>1)</sup>	---	86,12
GIW	Gleichwertiger Wasserstand, hier GIW 2002	65	84,81

<sup>1)</sup> via Abflussmedianwerte der Jahresreihen 1966 – 2000

Die allgemeinen Stammdaten zum Pegel, alle charakteristischen Wasserstände und alle Tageswerte aus der Untersuchungsperiode sind in einem Supplement zu diesem Bericht (BAW, 2013) dokumentiert.

Um Wasserspiegelhöhen, gemessen am Pegel Worms, auf die oberstrom liegende Versuchsstrecke übertragen zu können, wurden Berechnungen mit einem HN-Modell im Referat W1 der BAW herangezogen. Danach beträgt der Unterschied des Wasserspiegels zwischen der Versuchsstrecke und dem Pegel Worms bei GIW, AZW und der Marke I am unterstromigen Ende der Versuchsstrecke (Rh-km 441,600) ca. + 20 cm und am oberstromigen Anfang der Versuchsstrecke (Rh-km 440,600) ca. + 30 cm. Mit zunehmendem Abfluss wird die Wasserspiegellage geringfügig steiler, die Wasserspiegeldifferenz ist bei Marke II (HSW II) entsprechend etwas größer. Tab. 2.3-2 gibt die einzelnen Wasserstände am Beginn und Ende und mittig in der Versuchsstrecke an. In den Darstellungen der folgenden Kapitel

werden vereinfacht immer die Wasserstände in der Mitte der Versuchsstrecke als Bezug für die gesamte Versuchsstrecke genommen, wenn keine anderen Angaben gemacht werden.

Als Hauptbezugsgröße für die Planung der alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen, besonders für die Ausdehnung der Maßnahmen auf der Böschung, wurde der AZW gewählt, der sich 14 cm unter dem Mittelwasserniveau MW befindet. Die Marke I liegt 2,44 m über dem AZW, die Marke II 4,54 m darüber. Das bedeutet, dass bei einer Böschungsneigung von 1:3 – umgerechnet auf die Böschungslänge – im Fall der Marke I ca. 7,50 m der Böschung, bei der Marke II ca. 13,50 m der Böschung – fast die gesamte Böschung – vom Wasser eingestaut wird.

Tab. 2.3-2: Maßgebende Wasserstände im Bereich der Versuchsstrecke

	<b>Beginn Versuchsstr.</b> (VF 1) km <b>440,600</b>	<b>Mitte Versuchsstr.</b> (VF 5) km 441,100	<b>Ende Versuchsstr.</b> (VF 9) km 441,600	<b>Pegel Worms</b> km 443,400
<b>GIW</b>	NN + 85,12 m	NN + 85,06 m	NN + 85,02 m	NN + 84,81 m
<b>AZW</b>	NN + 86,50 m	NN + 86,43 m	NN + 86,36 m	NN + 86,12 m
<b>M_I</b> (HSW I)	NN + 88,90 m	NN + 88,85 m	NN + 88,79 m	NN + 88,56 m
<b>M_II</b> (HSW II)	NN + 91,04 m	NN + 90,92 m	NN + 90,90 m	NN + 90,66 m
<b>GOK*</b>	~ NN + 90,00 m	~ NN + 91,00 m	~ NN + 89,50 m	

\* *Geländeoberkante des angrenzenden Geländes (Böschungsoberkante)*

Die Tagesmittelwerte der Wasserstände – umgerechnet auf Wasserspiegellage in m ü. NN – für den Zeitraum **1.9.2011 bis 31.10.2012 (427 Tage)** sind als Einzelwerte in (BAW, 2013) zusammengestellt, der Verlauf der Ganglinie ist in Bild 2.3-1 zu sehen.

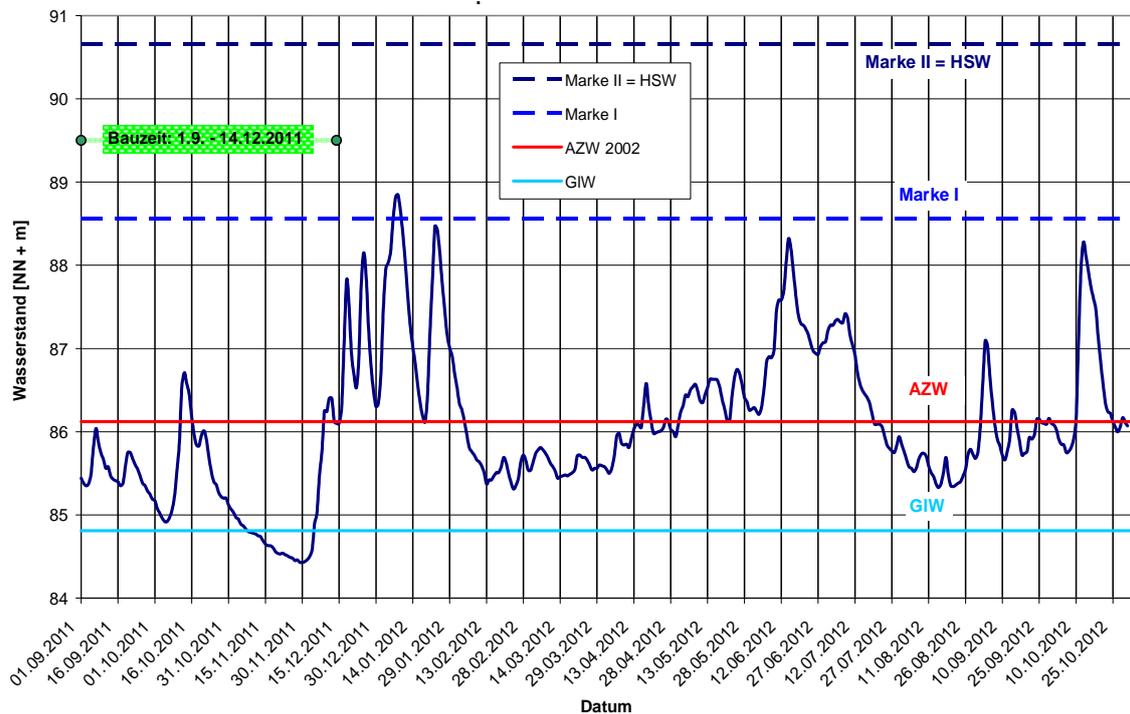


Bild 2.3-1: Ganglinie der Tagesmittelwerte der Wasserstände am Pegel Worms für den Zeitraum 1.9.2011 bis 31.10.2012 (427 Tage) mit den vier wesentlichen Wasserständen GIW, AZW, Marke I und Marke II

Die statistischen Grundkennzahlen im betrachteten Zeitraum lauten:

Minimum	84,43	[NN+m]
Mittelwert	86,09	[NN+m]
Maximum	88,85	[NN+m]
Median	85,95	[NN+m]
Standardabweichung	0,878	[NN+m]

Die Unter- und Überschreitungen aller vier wesentlichen charakteristischen Wasserstände nach Tab.2.3-1 sind in Tab. 2.3-3 zusammengestellt. Für einige ausgewählte Wasserstände bzgl. AZW sind die Werte in Tab. 2.3-4 aufgelistet. Diese Werte können für die Zustandsbewertung z. B. der Vegetation herangezogen werden.

Eine Auswertung der Wasserstände bezüglich AZW führt zu folgenden Aussagen:

1.9.11. - 9.12.11 (100 Tage)	überwiegend Wasserstände <b>unter AZW</b> , einmal für 5 Tage (12.-16.10.) von leicht erhöhtem Wasserstand unterbrochen; für die Dauer von knapp 1 Monat extremer Niedrigwasserstand unter GIW (8.11. - 5.12.11); Bauphase
10.12.11. - 3.2.12. (56 Tage)	4 x stark <b>zw. AZW und Marke I</b> schwankende Wasserstände, am 8.1.12 sogar ca. 30 cm über Marke I
4.2.12 - 16.4.12 (73 Tage)	Wasserstände <b>unter AZW</b> (max. - 81 cm am 24.2.)
17.4.12 - 3.6.12 (48 Tage)	Wasserstände <b>um AZW</b> schwankend (max. + 58 cm am 25.5.)
4.6.12 - 18.7.12 (45 Tage)	Wasserstände <b>über AZW</b> , einmal nur 24 cm unter Marke I (15.6.12)
19.7.12 - 10.10.12 (84 Tage)	Wasserstände <b>unter AZW</b> , (max. - 78 cm am 21.8.), einmal für 5 Tage (2. - 6.9.) von erhöhtem Wasserstand unterbrochen
11.10.12 - 23.10.12 (13 Tage)	Wasserstände <b>über AZW</b> , einmal nur 28 cm unter Marke I (13.10.12)
24.10.12 - 31.10.12 (8 Tage)	Wasserstände leicht <b>unter AZW</b>

Die Verteilung der Häufigkeiten der Wasserstände über die Höhe ist in Bild 2.3-2 dargestellt. Unterteilt in eine Schrittweite von 25 cm, traten die niedrigsten Wasserstände (bis ca. 30 cm unterhalb GIW) im betrachteten Zeitraum vom 1.9.2011 bis 31.10.2012 (427 Tage) an 20 Tagen auf. Die höchsten Wasserstände, die bei ca. 2,60 m über AZW, d. h. 90 cm unterhalb eines 2-jährlichen Hochwasserereignisses, gemessen wurden, traten nur an 2 Tagen auf. Eine Überflutung des angrenzenden Geländes erfolgte im Beobachtungszeitraum nicht.

Tab. 2.3-3: Zusammenstellung der Unter- und Überschreitungen für vier wesentliche charakteristische Wasserstände am Pegel Worms für den Zeitraum **1.9.2011 bis 31.10.2012 (427 Tage)**

GIW	AZW 02	Marke I	Marke II = HSW	
84,81	86,12	88,56	90,66	[NN+m]
27	258	424	427	an .... Tagen unterschritten oder erreicht
400	169	3	0	an .... Tagen überschritten

Tab. 2.3-4: Zusammenstellung der Unter- und Überschreitungen von AZW im Bereich AZW – 0,5 m bis AZW + 1,7 m am Pegel Worms für den Zeitraum **1.9.2011 bis 31.10.2012 (427 Tage)**

AZW - 0,5 m	AZW	AZW + 0,5 m	AZW + 1,0 m	AZW + 1,5 m	AZW + 1,7 m	
85,62	86,12	86,62	87,12	87,62	87,82	[NN+m]
134	258	332	369	399	404	an .... Tagen unterschritten oder erreicht
293	169	95	58	28	23	an .... Tagen überschritten

Wasserstände zwischen AZW und AZW - 1,00 m haben sich am häufigsten eingestellt: ohne Unterbrechung hintereinander jeweils an 63 Tagen, 65 Tagen, 63 Tagen und 31 Tagen, d. h. insgesamt mit Unterbrechungen an 222 Tagen, das entspricht ca. 52 % der Tage im Zeitraum von 427 Tagen. Wasserspiegellagen zwischen AZW - 1,00 m und AZW + 1,00 m herrschten an 326 Tagen (76%). Für die neuen Ufersicherungen bedeutet das, dass überwiegend mittlere und niedrige Wasserstände vorherrschten.

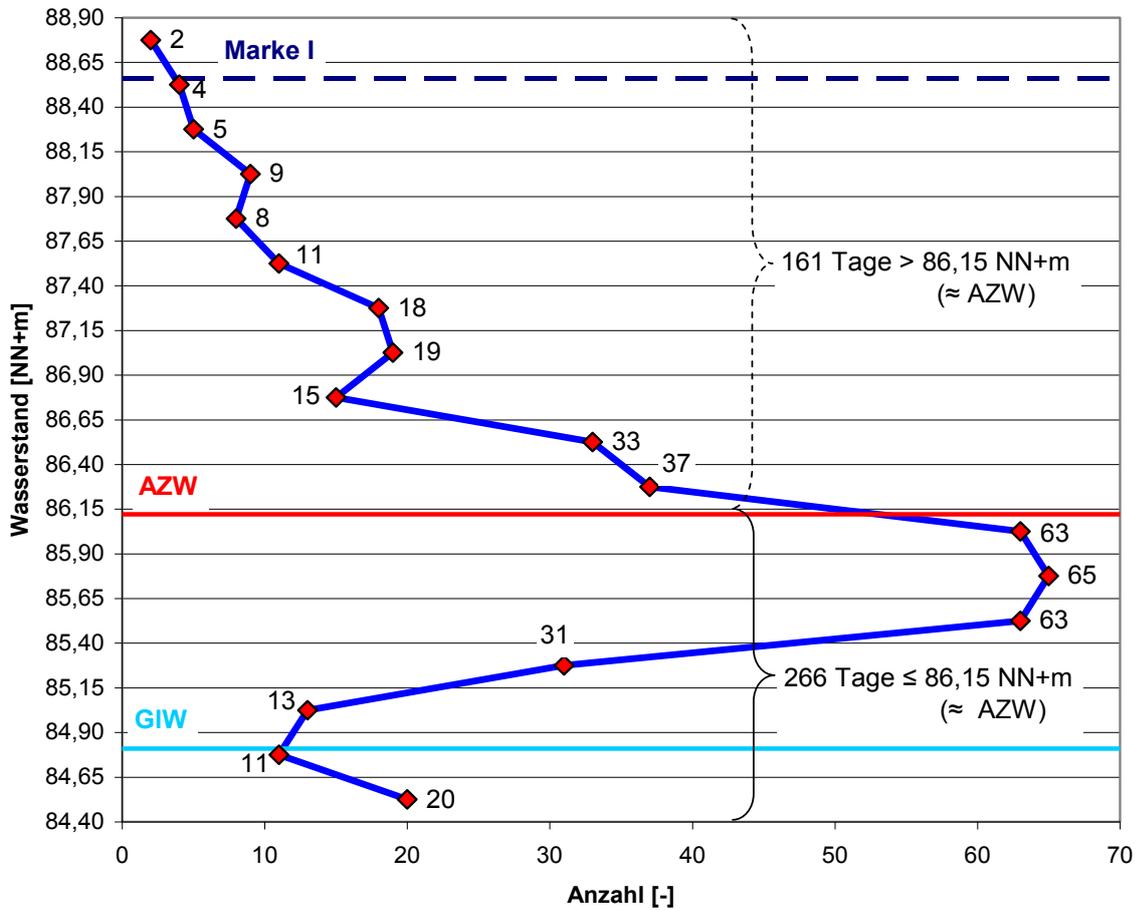


Bild 2.3-2: Verteilung der Häufigkeit (♦) der Wasserstände am Pegel Worms im Zeitraum 1.9.2011 bis 31.10.2012 (427 Tage) zw. NN + 84,40 m und NN + 88,90 m in 25 cm Bereichen

Für die Beurteilung der pflanzlichen Ufersicherungsarten ist zusätzlich eine getrennte Betrachtung der Bauzeit von September bis 18. Dezember 2012 und der Zeit danach bis Oktober 2012 sinnvoll:

**Bauzeit:** Hier herrschten über den gesamten Zeitraum Wasserstände unterhalb von AZW, nur an 5 Tagen im Oktober stieg der Wasserstand kurz bis auf maximal 60 cm über AZW. Das heißt, es herrschten ideale Bedingungen. Der Einbau konnte vollständig im Trockenen erfolgen.

**Zeit nach Fertigstellung – erste Vegetationsperiode:** Unmittelbar nach Fertigstellung traten im Januar und Februar mehrere Hochwasserereignisse mit den maximalen Wasserständen des Beobachtungszeitraumes auf (bis 2,60 m über AZW). Diese Wasserstände stellten eine sehr große Belastung für die kurz zuvor eingebauten Pflanzen, die noch keine Wurzeln in den Untergrund bilden konnten, dar, da sie längere Zeit überstaut und gleichzeitig durch natürliche Strömung und schiffsinduzierte hydraulische Einwirkungen belastet wurden. Von März

bis Mai 2012 konnten sich die Pflanzen bei Wasserständen um AZW etwas erholen. Belastet waren weiterhin die im Wellenaufschlag liegenden unteren Böschungsbereiche. Im Juni, Juli, September und auch Oktober traten erneut einzelne höhere Wasserstände bis maximal 2 m über AZW auf.

Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen

- Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer -  
2. Zwischenbericht: Erste Monitoringergebnisse  
BfG-Nr.: 1677 BAW-Nr.: 2.04.10151.00



bfg



### 3. Monitoring

#### 3.1 Übersicht und Ziele

Mit Fertigstellung der einzelnen Versuchsfelder im Dezember 2011 begann die Monitoringphase, die zunächst für 5 Jahre vorgesehen ist. Der vorliegende Bericht beinhaltet die Ergebnisse der ersten Vegetationsperiode bis Oktober 2012, die auch die kritische Anfangsphase ist, in der sich die Wurzeln der Pflanzen in den neuen Ufersicherungsmaßnahmen erst entwickeln. Die Uferstabilität muss deshalb zum Teil noch von den Befestigungen und anderen Hilfsmitteln gewährleistet werden.

Das Monitoringprogramm ist ausführlich im ersten Zwischenbericht zur Versuchsstrecke vom 25.01.2012 [3] dokumentiert. Grundsätzlich hat das Monitoring drei Zielstellungen:

1. Bewertung der technischen Wirksamkeit der neuen Ufersicherungsmaßnahmen hinsichtlich der Gewährleistung der Uferstabilität unter den vorherrschenden hydraulischen Belastungen
2. Bewertung der ökologischen Wirksamkeit der neuen Ufersicherungsmaßnahmen u. a. vor dem Hintergrund der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL)
3. Bewertung der Unterhaltungsaufwendungen (Pflege, Sanierung)

Da es sich um einen Naturversuch zum Testen verschiedener naturnaher Ufersicherungsbauweisen handelt, ist ein sehr intensives, über das normale Maß hinausgehendes Monitoring erforderlich. Es beinhaltet im Einzelnen folgende Aktivitäten:

- Wetteraufzeichnungen (Kap. 2.2)
- Aufzeichnung der Rheinwasserstände (Kap. 2.3)
- Uferinspektionen (Kap. 3.2)
- Ufervermessungen (Kap. 3.3)
- Messungen der hydraulischen Uferbelastung (Kap. 3.4)
- Messungen von Porenwasserdrücken im Boden (Kap. 3.5)
- Vegetationsaufnahmen (Kap. 3.6)
- Faunistische Untersuchungen (Kap. 3.7)
- Fotodokumentationen (Kap. 3.8)

Zur Bewertung der technischen Wirksamkeit der Maßnahmen muss der Zustand der pflanzlichen und technischen Komponenten im Rahmen der Uferinspektion regelmäßig und zusätzlich nach besonderen Ereignissen (z.B. Hochwasser) vor Ort begutachtet werden. Dabei ist zu unterscheiden, ob die Pflanzen in dem jeweiligen Versuchsfeld eine Uferschutzfunktion zu erfüllen haben, wie z.B. die Spreitlagen in den Versuchsfeldern 2 und 3, oder ob die Pflanzen lediglich der ökologischen Aufwertung der Steinschüttung, die den Uferschutz bildet, dienen

(siehe Tab. 2.1-1 im Kap. 2.1). Im ersten Fall ist eine besonders intensive Begutachtung erforderlich, wobei das Augenmerk speziell auf die Wurzel- und Sprossentwicklung der Pflanzen hinsichtlich Uferstabilität zu richten ist. Zusätzlich ist die Geometrie der Uferböschungen in zeitlichen Abständen zu erfassen und zu bewerten.

Insgesamt geht es in erster Linie um eine laufende Beurteilung der Ufersicherungsmaßnahmen hinsichtlich Standsicherheit und Erosionsstabilität. Als Bewertungsgrundlage werden zusätzlich die hydraulischen Belastungen infolge von Schifffahrt und Hochwasser bei unterschiedlichen Wasserständen und die Bodenreaktion in einzelnen Messkampagnen ermittelt. Zur Bewertung der ökologischen Wirksamkeit werden die Vegetation und ausgewählte Gruppen der Fauna in definierten Zeitabständen untersucht. Wetterdaten und Rheinwasserstände werden in Bezug zur Pflanzenentwicklung ausgewertet.

Zusätzlich werden alle Pflege-, Entwicklungs- und ggf. Sanierungsmaßnahmen im Rahmen des Monitorings erfasst.

Die Tabelle in der Anlage 6 gibt einen Überblick über die gesamten geplanten Monitoringmaßnahmen für den Zeitraum von 2012 bis 2016.

Die von Dezember 2011 bis Oktober 2012 insgesamt durchgeführten häufigen Monitoring-Aktivitäten sind in der Tab. 3.1-1 als Übersicht zusammengestellt. Es wird ein Verweis auf die einzelnen Kapitel gegeben, in denen Ziele und Inhalte der einzelnen Untersuchungen dargestellt werden.

Tab. 3.1-1: Übersicht Monitoring-Aktivitäten (12/2011 bis 10/2012)  
 (Begehungen des WSA ohne notwendige Dokumentation sind in der Tabelle nicht aufgeführt.)

Jahr	Monat	WSA	BAW + BfG	Externe	Aktivitäten	Kapitel	
2011	Dez.		14.12.		UI Abnahme nach Baufertigstellung	3.2	
			15.12.		UI Schiffsbereisung	3.2	
			19.12.		UI	3.2	
			21.12.		UI	3.2	
			28.12.		UI	3.2	
			29.12.		UI nach Hochwasser	3.2	
2012	Jan.	9.1.			UI nach Hochwasser	3.2	
			18.1.		UI+FD Panoramafotos	3.2, 3.8	
			24.1.		PWD	3.5	
			31.1.		UI	3.2	
	Feb.	16.2.			UI	3.2	
			22.2.		UI nach Hochwasser	3.2	
	März	15.3.			UI	3.2	
			2.3.		UI mit GIB	3.2	
			22.3.		UI	3.2	
			28.3.		UI Schwerpunkt VF 5+7	3.2	
	April		2.4.	2.4.	UI mit BoKu Wien	3.2	
				3.-5.4.	VA BoKu Wien	3.6	
			16.4.	16.4.	UV	3.3	
		26.4.			UI	3.2	
	Mai		30.4.	30.4.	UI mit BoKu Wien	3.2	
				1.-3.5.	VA BoKu Wien	3.6	
			11.05.		FU MZB-Monitoring	3.7	
		22.5.			UI	3.2	
			23.5.		FD Panoramafotos	3.8	
			24.5.		UI	3.2	
	Juni		31.5.		FU Elektro-Befischung	3.7	
		Juni		4.6.	4.6.	UI mit BoKu Wien	3.2
				4.-6.6.		VA	3.6
					5.-7.6.	VA BoKu Wien	3.6
					15.-17.6.	HB	3.4
		Juli		2.7.	2.7.	UI mit BoKu Wien	3.2
				3.-5.7.	VA BoKu Wien	3.6	
			4.7.		UI	3.2	
	5.7.				UI	3.2	
			10.7.		UI mit Firma Ökon	3.2	
			12.7.		UI Abnahme nach Fertigstellungspflege	3.2	
	Aug.		26.7.		UI+FD VF 2+3+5+7, Panoramafotos	3.2, 3.8	
			6.8.		UI mit BAW Wien	3.2	
			7.-9.8.	VA BoKu Wien	3.6		
		16.08.		UI BfG ref.übergreifend	3.2, 3.6		
Sept.		20.8.		UI	3.2		
		10.9.		UI mit BoKu Wien	3.2		
			11.-13.9.	VA BoKu Wien	3.6		
		14.9.		UI	3.2		
Okt.		25.9.		FU Elektro-Befischung	3.7		
		9.-11.10.		VA	3.6		
		22.10.		VA Studenten FH Erfurt	3.6		
		23.10.		VA Wurzelaufgrabung Uni Hannover	3.6		
		31.10.		FD Panoramafotos	3.8		

HB Messung der hydraulischen Belastung  
 FU Faunistische Untersuchung  
 FD Fotodokumentation  
 GIB Gesellschaft für Ingenieurbioogie

PWD Porenwasserdruckmessungen  
 UI Uferinspektion  
 UV Ufervermessung  
 VA Vegetationsaufnahme  
 VF Versuchsfeld

### 3.2 Uferinspektionen

Im Rahmen der Uferinspektion werden die einzelnen Versuchsfelder regelmäßig und nach besonderen Ereignissen, insbesondere nach Hochwasserereignissen, vor Ort inspiziert. Es erfolgt eine visuelle Begutachtung der pflanzlichen und technischen Bestandteile der verschiedenen Ufersicherungsmaßnahmen und deren Befestigungen vorrangig aus technischer Sicht hinsichtlich Gewährleistung der Uferschutzfunktion. Die pflanzlichen Bestandteile sind zusätzlich aus biologischer und ökologischer Sicht zu begutachten. Dabei sind der untere, mittlere und obere Böschungsbereich in Abhängigkeit von der Entfernung zum Wasserspiegel und dementsprechend unterschiedlicher Überstauhöhen und -zeiten und der daraus resultierenden unterschiedlichen hydraulischen Belastungen gesondert zu betrachten. Die Ergebnisse werden fotografisch dokumentiert.

Im Einzelnen geht es um folgende Fragestellungen:

- Welchen Zustand weisen die eingebauten Pflanzen auf? Wie ist die Spross- und Wurzelentwicklung? Haben sich spontan neue Pflanzen angesiedelt? Sind Pflanzen komplett abgestorben?
- Wie ist die Entwicklung im Vergleich zum Einbauzustand? Wie ist sie zu bewerten?
- Wie ist der Zustand der Befestigungen (z.B. Pflöcke, Querriegel und Drahtverspannungen) in den Versuchsfeldern (z. B. im Bereich der Weidenspreitlagen und Pflanzmatten)? Sind die Befestigungen stabil, haben sie sich gelockert oder sind sie ganz ausgefallen? Gibt es dabei Abhängigkeiten zur Höhenlage auf der Böschung?
- Wie ist der Zustand der vorgefertigten Elemente (z.B. Röhrichtgabionen und Pflanzmatten)?
- Ist die Lagestabilität der vorgefertigten Elementen auf der Böschung noch ausreichend gegeben oder haben Verlagerungen, Verschiebungen oder Verformungen stattgefunden?
- Gibt es Fehlstellen innerhalb der flächigen Sicherungsmaßnahmen?
- Sind bereits lokale oder großflächigere Ufererosionen aufgetreten?
- Hat es Böschungsrutschungen gegeben – lokal oder großflächig?
- Lassen sich sonstige Schäden feststellen?
- Ist Vandalismus feststellbar? Wenn ja, kann das Auswirkungen auf die Haltbarkeit der Maßnahme haben?

Der Zustand, dessen zeitliche Entwicklung, ggf. Schäden, werden dokumentiert. Die Uferstabilität wird bewertet. Schadensursachen werden im Zusammenhang mit den anderen Monitoringergebnissen, insbesondere den Wasserständen (Kap. 2.3), Wetterdaten (Kap. 2.2), hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt und Hochwasser (Kap. 3.4) und Porenwasserdrücken im Boden (Kap. 3.5), diskutiert. Festgestellte Böschungsveränderungen können durch die zusätzlich eingemessenen Querprofilen (Kap. 3.3, Anlage 3) quantifiziert werden.

Die Uferinspektionen, die 2012 in der kritischen Anfangsphase besonders häufig erforderlich waren, wurden sowohl vom Außenbezirk (Abz.) Worms des WSA Mannheim als auch von der BAW und der BfG durchgeführt. Dabei lag das Augenmerk der BAW und des Abz. Worms mehr auf den technischen, das der BfG mehr auf den biologischen und ökologischen Fragestellungen. Alle Termine und Beteiligten der Uferinspektionen sind in Tab. 3.1-1 in Kap. 3.1 aufgelistet.

Zur Dokumentation der Ergebnisse der Uferinspektionen wurde für jedes Versuchsfeld ein individueller „Erfassungsbogen zur Uferinspektion hinsichtlich der Böschungstabilität“ entwickelt. Gezielte Fragen z. B. zum Zustand der Ufersicherungsmaßnahme und zur Vegetationsentwicklung sowie teilweise Vorgabe von standardisierten Antworten ermöglichen unabhängig vom Bearbeiter vergleichbare Aussagen. Als Beispiel ist der Erfassungsbogen für Versuchsfeld 1 in Bild 3.2-2 dargestellt. Dieser und alle weiteren Erfassungsbögen sind in **Anlage 2** zu finden. Zur Vergleichbarkeit wurde ein Standort festgelegt, von dem aus bei jeder Begehung ein Übersichtsbild des jeweiligen Versuchsfeldes aufgenommen wurde (s. Bild 3.2-1). Der Abz. Worms hat anhand der Erfassungsbögen im Dezember 2011 die Versuchsstrecke in enger Folge (3 x) beurteilt, danach wie geplant im ca. monatlichen Rhythmus (siehe Tab. 3.1-1 im Kap. 3.1).

Die ausgefüllten Fragebögen werden hier nicht separat dokumentiert, die Ergebnisse aller Uferinspektionen sind in die Bewertungen der einzelnen Versuchsfelder im Kap. 4 eingeflossen.



Bild 3.2-1: Übersichtsfoto VF 1 im März und August 2012

Erfassungsbogen zur Uferinspektion hinsichtlich Böschungsstabilität				
Versuchsfeld 1 (Setzstangen, Busch-/Heckenlagen, Steinwall, Totholzstämme)				
Bearbeiter:	Wetter:			
Datum:	Lufttemperatur:			
Uhrzeit:	Pegel-Worms:			
Fotos: 1x Foto mit Gesamtübersicht Versuchsfeld (bitte immer gleicher Standpunkt, siehe Übersichtsskizze) + Detailfotos markanter Schäden/Beobachtungen				
Markierung Übersichtsskizze: Auffälligkeiten bitte dort (möglichst genau) einzeichnen!				Uhrzeit:
Zustand	trifft zu	trifft nicht zu	nicht erkennbar	ergänzende Angaben/sonstige Bemerkungen
Totholzstämme verlagert? (3 Stk.)				
Auffällige Steinverlagerung im Bereich der Pflanzgräben?				
Beschädigungen/Verluste der Pflanzelemente erkennbar?				Beschädigung <input type="checkbox"/> Verlust <input type="checkbox"/> Setzstangen: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Hecken-/Buschlagen: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> Lebendfaschinen: <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> (bitte Anzahl hinter Kreuz notieren!) auf Vandalismus zurückführbar? trifft zu? <input type="checkbox"/> trifft nicht zu? <input type="checkbox"/>
Bodenver-/umlagerung im Bereich der Gräben?				
Vegetationsentwicklung:				
Schreitet Pflanzenwuchs erkennbar voran (Triebe, Blätter grün, Wurzeln)?				
Entwicklungsunterschiede zwischen einzelnen Pflanzelementen erkennbar? (Bsp. Austrieb Buschlagen ja, Setzstangen nein)				
Sonstiges				
Auffällige Steinverlagerung auf Steinwall?				
Ein- und Ausströmöffnung offen?				
Wasser in Flachwasserzone vorhanden?				bis zu welcher Böschungshöhe (um AZW):
Treibgut in Flachwasserzone?				wenig mittel viel
Treibgut auf Versuch				
Faunistische Auffälligkeit/Tierbeobachtung?				
Erhöhte Besucherfrequenz/Vandalismus?				
weitere Bemerkungen				
Gesamtbewertung				



Bild 3.2-2: Beispiel für den „Erfassungsbogen zur Uferinspektion“ für das Versuchsfeld 1; oben: Tabelle; unten: Lageplan mit festgelegtem Standpunkt für ein Übersichtsfoto (roter Punkt + Pfeil)

### 3.3 Ufervermessung

Als Grundlage der Planungen für die Versuchsstrecke wurden 2009 vom WSA Mannheim Querprofile im Abstand von 25 m eingemessen. Diese sind in (BAW, BfG, 2010) dokumentiert.

Im August 2011 erfolgte durch die Fa. Intermetric - Gesellschaft für Ingenieurvermessung und raumbezogene Informationssysteme mbH Stuttgart im Auftrag des WSA Mannheim eine Vermessung des „Urgeländes“ unmittelbar vor Einbau der neuen Ufersicherungsmaßnahmen. Im November 2011 wurde ein DGN-Modell (3D) für den Zustand nach Bauende erstellt. Da diese Vermessungsdaten insbesondere Grundlage für die Abrechnung der Baufirma waren, wurden die Punktabstände relativ groß gewählt. Ein „Ausschneiden“ von Querprofilen für die Beurteilung der Böschungstabilität führte zu relativ großen Ungenauigkeiten. Begrenzte Bodenverlagerungen oder kleine Absätze in der Böschung konnten damit nicht erfasst werden.

Deshalb wurden 2012 von der BAW für das weitere Monitoring innerhalb der einzelnen Versuchsfelder 28 Querprofile festgelegt (siehe Anlage 1), die kontinuierlich während der gesamten Monitoringzeit jedes Jahr neu eingemessen werden. Diese Querprofile werden linienförmig in einem engen Punktraster eingemessen, um auch kleinere Veränderungen der Böschungsgeometrie infolge Erosion und Böschungsrutschungen zu erkennen und zu dokumentieren. Die Profile wurden innerhalb der Versuchsfelder so ausgewählt, dass Randeinflüsse vermieden werden und jede Art der Ufersicherungsmaßnahme mindestens mit einem Querprofil erfasst wird. Das heißt, in den Versuchsfeldern mit unterschiedlichen Bauweisen wie den VF 5 und 7 wurden entsprechend mehr Querprofile gelegt. Die Querprofile und ihre Lage in den einzelnen Versuchsfeldern zeigt Tab. 3.3-1. Die Kilometerzuordnung bezieht sich auf die Stationierung in der Rheinachse. Es wurde gleichzeitig vermerkt, ob die gewählten Querprofile mit den 25 m Profilen aus den Aufmaßen von 2009 übereinstimmen und ob ein Transekt erfasst wurde, das für die Vitalitätsuntersuchungen der Boku Wien festgelegt wurde (siehe Kap. 3.6).

Im April 2012 wurden diese Querprofile zum ersten Mal von der Fa. Intermetric - Gesellschaft für Ingenieurvermessung und raumbezogene Informationssysteme mbH Stuttgart eingemessen (Intermetric, 2012). Aufgenommen wurde die Geländeoberkante bzw. die Oberkante der Maßnahmen (z.B. der Röhrichtgabionen) luftseitig bis zum Betriebsweg und wasserseitig bis ca. 1 m unter AZW. Die Pflanzen selbst wurden nicht berücksichtigt, d.h. die Peilstange wurde von Hand am Boden zwischen den Pflanzen abgesetzt.

Zur Erfassung des Unterwasserbereichs wurden die ufernahen Ergebnisse der Echolotpeilungen des WSA Mannheim vom 31.08.2011 und 17.10.2012 ausgewertet. Weitere Echo-

lotpeilungen im Bereich der Versuchsstrecke erfolgten 2012 im Zusammenhang mit anderen Aufgabenstellungen der BAW, Abteilung Wasserbau.

Tab. 3.3-1: Übersicht Querprofile (siehe Anlage 1)

Versuchsfeld (VF)	Querprofil bei km (bezogen auf die Rheinachse)	Transekt für Vitalitätsunter- suchungen der Boku Wien
VF 1	440,672 <i>ca. 25 - Profil</i>	x
	440,690	x
	440,737	x
VF 2	440,845 <i>ca. 25 - Profil</i>	x
	440,850 <i>25 - Profil</i>	
VF 3	440,910	x
	440,925 <i>25 - Profil</i>	x
VF 4	440,960	
	440,975 <i>25 - Profil</i>	
VF 5a	441,025 <i>25 - Profil</i>	x
	441,050 <i>25 - Profil</i>	
VF 5b	441,075 <i>25 - Profil</i>	x
	441,100 <i>25 - Profil</i>	
VF 6	441,150 <i>25 - Profil</i>	x
	441,175 <i>25 - Profil</i>	
VF 7a1	441,225 <i>25 - Profil</i>	x
	441,240	
VF 7a2	441,260	
	441,275 <i>25 - Profil</i>	x
VF 7b	441,305 <i>ca. 25 - Profil</i>	x
	441,320 <i>ca. 25 - Profil</i>	
VF 7c	441,345 <i>ca. 25 - Profil</i>	
	441,355 <i>ca. 25 - Profil</i>	
VF 8	441,375 <i>25 - Profil</i>	
	441,420 <i>ca. 25 - Profil</i>	
VF 9	441,500 <i>25 - Profil</i>	
	441,550 <i>25 - Profil</i>	
	441,575 <i>25 - Profil</i>	

Für den vorliegenden Bericht wurden Querprofile entsprechend Tab. 3.3-1 auf folgender Datengrundlage grafisch in den Anlagen 3.1 bis 3.28 dargestellt:

- Querprofile oberhalb AZW – 1 m (Urgelände August 2011), ausgeschnitten aus DGN-Modell (3D)
- Querprofileinmaße oberhalb AZW – 1 m (April 2012)
- Querprofile unterhalb AZW – 1 m (Oktober 2012), Echolotpeilungen

Die Ergebnisse der einzelnen Querprofilaufnahmen sind überlagernd dargestellt, so dass ein Vergleich Urgelände (August 2011) und Zustand nach Einbau (April 2012) möglich ist. Da der Unterwasserbereich mit Steinschüttung nicht von Baumaßnahmen tangiert wurde, können die Echolotpeilungen von Oktober 2012 für den Vergleich im April 2012 mit herangezogen werden.

Der Zustand vom April 2012 ist gleichzeitig die Grundlage für den Nachweis von Veränderungen, die ggf. in den nächsten Jahren hinsichtlich der Böschungsgeometrie stattfinden.

### 3.4 Messung der hydraulischen Uferbelastung

#### 3.4.1 Messaufgabe und Messgeräte

Im Rahmen des Monitorings wurde vom 15. – 17. Juni 2012 eine dreitägige Messkampagne durchgeführt, bei der die schiffserzeugten Belastungen auf Ufer und Böschung bei Wasserständen über AZW gemessen wurden. Zu Beginn der Messungen lag der Pegel Worms unterhalb der Marke I. Der Scheiteldurchgang der Hochwasserwelle war am 15.06.2012, und im Verlauf der Beobachtungszeit sanken die Wasserstände kontinuierlich (Bild 3.4-1). Die neu eingebauten Ufersicherungen mit Pflanzen waren in diesem Zeitraum bis zu einer Höhe von ca. AZW + 2 m eingestaut und hier dementsprechend unmittelbar durch Absunk, Wellen und Strömung belastet. Der neue Steinwall im Versuchsfeld 1 war ca. 1,50 m überstaut.

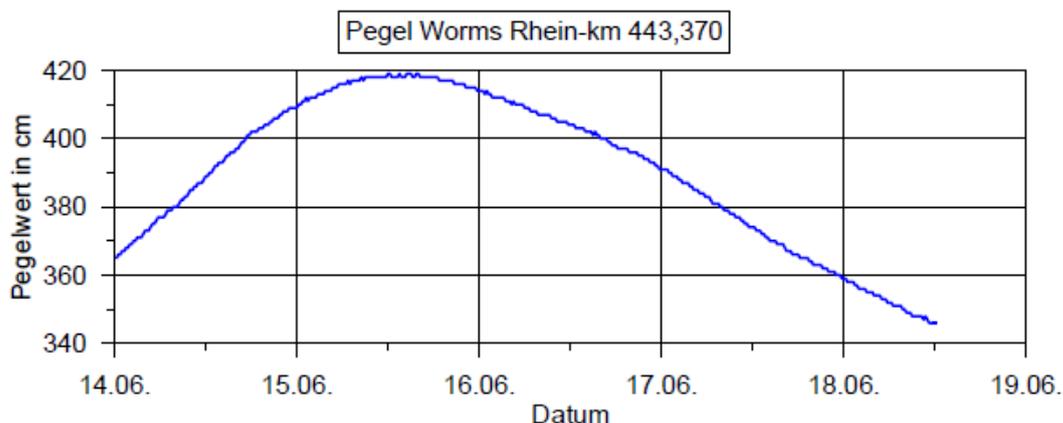


Bild 3.4-1: Pegelganglinie des Pegels Worms (Pegelnulldpunkt 84,16 m) während der Beobachtungszeit

Die tägliche Beobachtungszeit während der Messkampagne war von 7:00 Uhr bis 19:00 Uhr. Die Naturuntersuchung wurde im Auftrag der BAW vom Ingenieurbüro Schmid durchgeführt. Sie umfasste eine Verkehrsbeobachtung, bei der die technischen Daten der Schiffe sowie die Schiffsgeschwindigkeiten, die Passierabstände und die schiffserzeugten Wellenhöhen erfasst wurden.

Zur Messung schiffserzeugter Wellen wurden in Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Wasserbau folgende Querprofile festgelegt:

- km 440,550 (außerhalb Versuchsstrecke zum Vergleich)
- km 440,650 (Versuchsfeld 1, Messung landseitig des Steinwalls)
- km 440,920 (Versuchsfeld 3, Messung im Bereich der Spreitlagen)
- km 441,550 (Versuchsfeld 9, Messung am Ende der Versuchsstrecke)

Der Einbau der Messgeräte und die Verkehrsbeobachtungen erfolgten auf der rechten Uferseite. Die Erfassung der Schiffsparameter Schiffsname, Fahrtrichtung, Länge, Breite, Tiefgang, Passierabstand und Schiffsgeschwindigkeit über Grund erfolgte bei Querprofil km 441,0 aus einem LKW heraus, der am Ufer stand. Während einer Schiffspassage wurden alle erkennbaren Parameter notiert. Des Weiteren wurden die Schiffspassagen als digitalisierte Bildfolge aufgenommen, welche später zur Bestimmung der Schiffsgeschwindigkeiten verwendet wurden. Darüber hinaus wurde der Passierabstand mittels Entfernungslaser bestimmt. Im Folgenden werden die Messgeräte vorgestellt und ihr Einbau erläutert.

### **Digitales Radarerfassungssystem**

Zur Erfassung der Schiffsgeschwindigkeiten und der Passierabstände wurde eine hochauflösende Radaranlage der Marke Furuno Typ 1403 verwendet. Die Radaranlage wurde auf einem am rechten Ufer platzierten LKW installiert. Als Standpunkt für den LKW wurde km 441,0 gewählt, da von hier aus der gesamte Messbereich von km 440,6 bis km 441,6 erfasst werden konnte. Die einzelnen Aufnahmen wurden mit einer speziell entwickelten Software digitalisiert und mit einem entsprechend ausgerüsteten Rechner aufgezeichnet.

### **Drucksonden**

Die Erfassung der schiffserzeugten Wasserspiegelauslenkungen erfolgte in allen Querprofilen mit Druckmesssonden der Firma Driesen und Kern. Die Drucksonden wurden mit einer internen Stromversorgung und einem internen Datenlogger betrieben. Es wurden die Druckwerte (Absolutwerte), die Uhrzeit und die Umgebungstemperatur mit einer Frequenz von 4 Hz aufgezeichnet. Insgesamt waren pro Messprofil zwei hydraulische Drucksonden paarweise eingebaut, um eventuelle Messausfälle abzudecken. Da im Verlauf der Messungen mit fallenden Wasserständen zu rechnen war, wurden die Drucksonden in einer Tiefe von ca. 1 m eingebaut. Die Lagesicherung der Drucksonden wurde durch Bleigewichte und mehrere am Ufer befestigte Ketten sichergestellt.

### **Erfassung der Fließgeschwindigkeiten**

Zur Bestimmung der Fließgeschwindigkeiten wurde ein Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) der Firma RD Instruments eingesetzt. Dieser Gerätetyp wurde von der Bundesanstalt für Gewässerkunde auf seine Messgenauigkeit getestet und wird auch von verschiedenen amtlichen Stellen eingesetzt. Der ADCP wird an einer absenkbaren Halterung am

Messboot angebracht und misst in kurzen Zeitabständen ein lotrechtes Geschwindigkeitsprofil, die Geschwindigkeit des Bootes über Grund und die Wassertiefe.

Die ADCP-Messungen wurden als Querfahrten und als ufernahe Längsfahrten durchgeführt. Die Querfahrten erfolgten als Abflussmessung in den vier Querprofilen über die gesamte Gewässerbreite. Die ufernahen Längsmessungen wurden jeweils in einem Abstand zum rechten Ufer von 5 m, 10 m und 15 m durchgeführt.

## **3.4.2 Ergebnisse**

### **3.4.2.1 Querprofile und Fließgeschwindigkeiten**

Da die Versuchsstrecke in einem leichten Kurvenbereich liegt, verändert sich der Flussquerschnitt in Fließrichtung. In Bild 3.4-2 bis Bild 3.4-5 sind vier Querprofile sowie die dort mittels ADCP gemessenen Fließgeschwindigkeiten dargestellt. Die im Abstand von 100 m vorhandenen Profile bei km 440,550 (Bild 3.4-2) und 440,650 (Bild 3.4-3) haben eine ähnliche Form. In beiden Fällen ist die Wassertiefe in der rechten Profilhälfte mehr als doppelt so groß wie am linken. Deshalb sind auch die dort gemessenen Fließgeschwindigkeiten höher und erreichen Werte von ca. 1,8 m/s (Prallhangbereich). Im Querprofil bei Km 440,920 (Bild 3.4-4) ist auf der linken Flussseite bereits mehr Tiefe vorhanden als bei beiden Profilen davor, die gesamte Querschnittsfläche des Profils ist somit größer. Dies führt dazu, dass der Bereich des Querschnittes, in dem die Fließgeschwindigkeiten ihre Maximalwerte erreichen, sich näher zur Flussmitte verlagert. Die Maximalwerte bleiben bei ca. 1,8 m/s. Im Querprofil bei km 441,550 (Bild 3.4-5) ist die Wassertiefe auf der linken Seite bereits etwas größer als auf der rechten, jedoch sind die Geschwindigkeiten in der rechten Hälfte noch höher als in der linken (Übergang zum Gleithangbereich). Generell nehmen die Fließgeschwindigkeiten – wie die Grafiken verdeutlichen - zum Ufer hin ab.

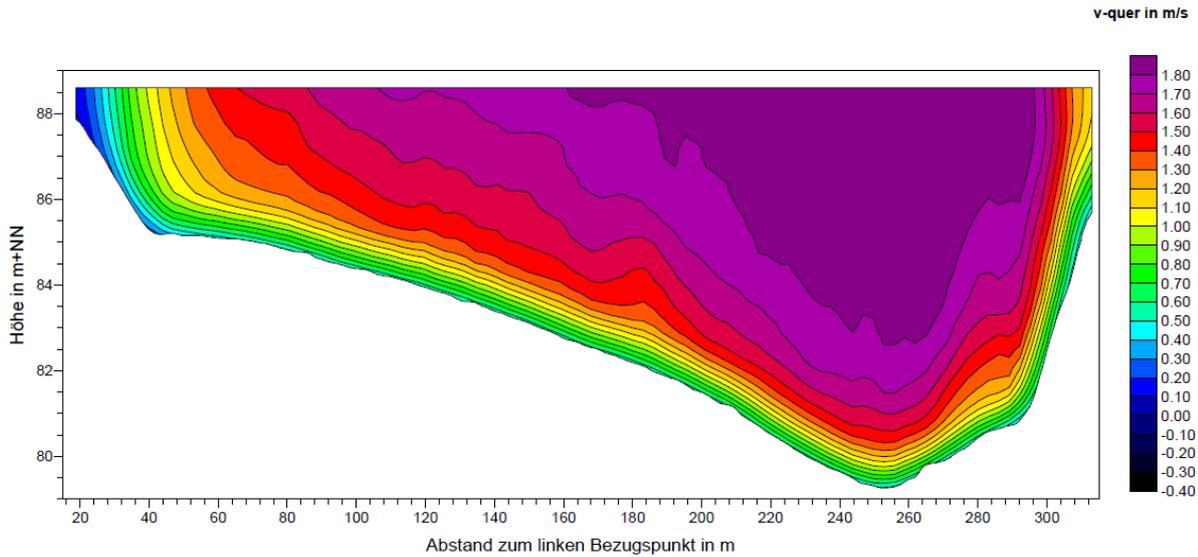


Bild 3.4-2: Gemessene Geschwindigkeiten der natürlichen Strömung im Querprofil bei km 440,550 (Referenzmessung außerhalb der Versuchsstrecke)

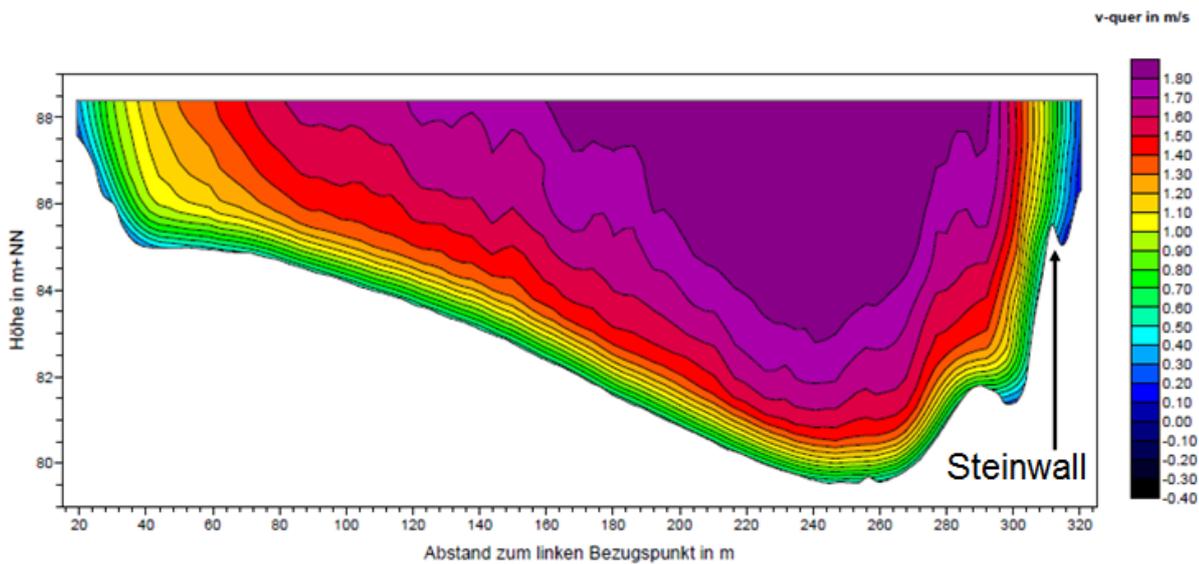


Bild 3.4-3: Gemessene Geschwindigkeiten der natürlichen Strömung im Querprofil bei km 440,650 (Versuchsfeld 1)

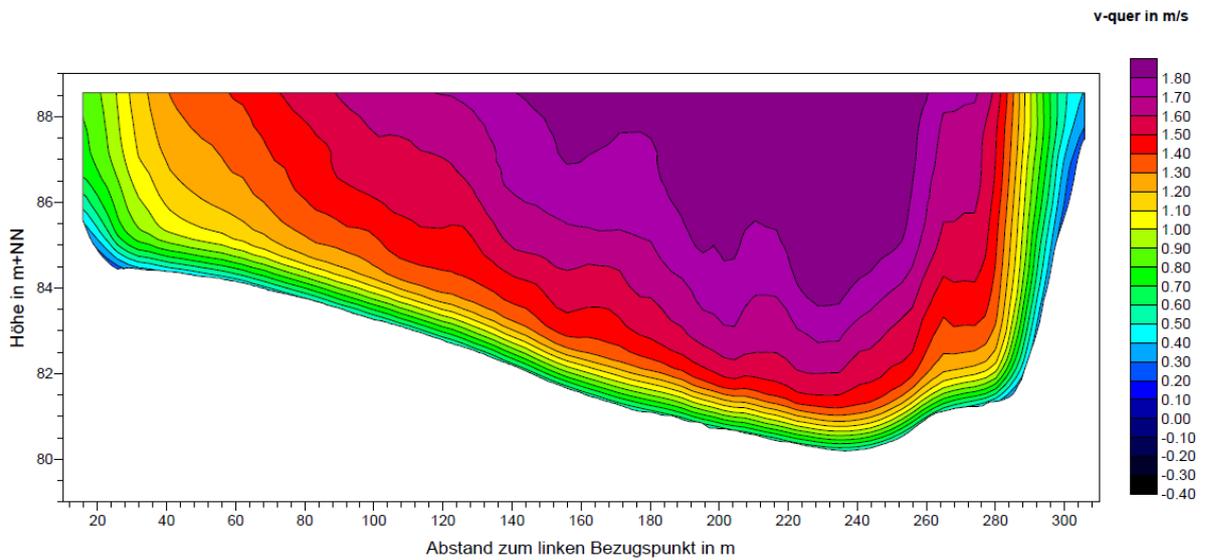


Bild 3.4-4: Gemessene Geschwindigkeiten der natürlichen Strömung im Querprofil bei km 440,920 (Versuchsfeld 3)

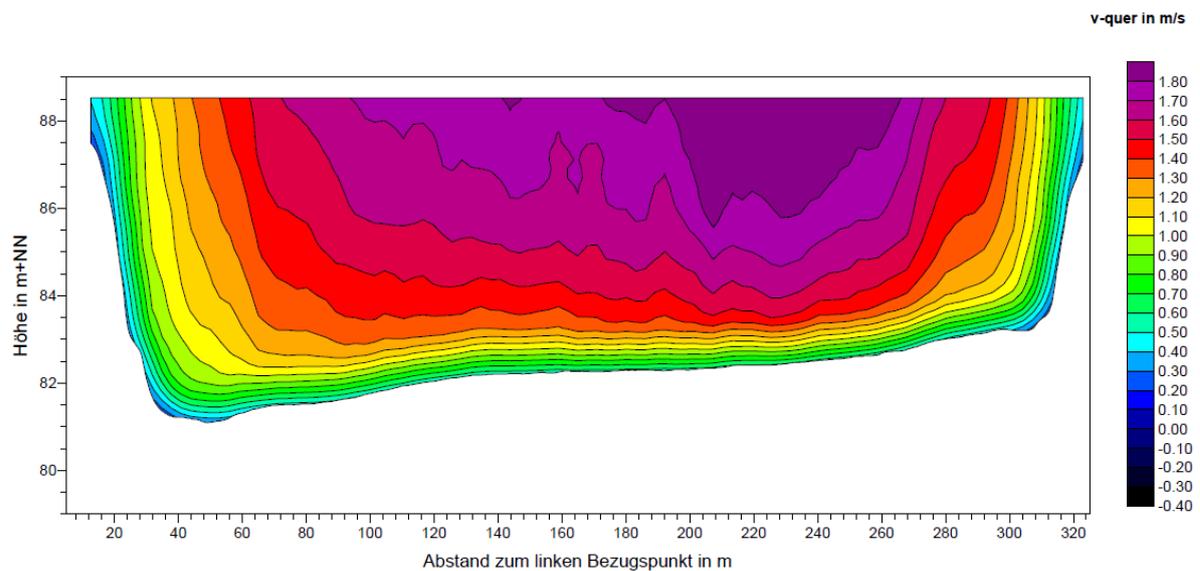


Bild 3.4-5: Gemessene Geschwindigkeiten der natürlichen Strömung im Querprofil bei km 441,550 (Versuchsfeld 9, Messung am Ende der Versuchsstrecke)

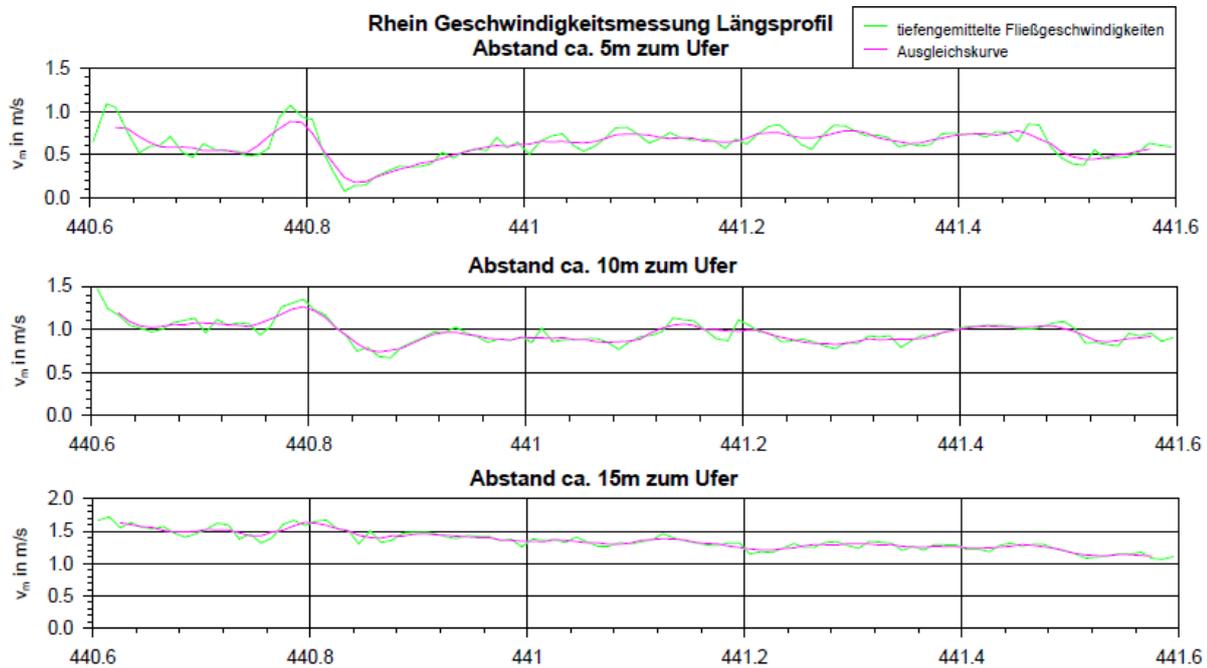


Bild 3.4-6: Gemessene Geschwindigkeiten der natürlichen Strömung in Fließrichtung

Das Bild 3.4-6 zeigt den Verlauf der gemessenen Geschwindigkeiten der natürlichen Strömung entlang des Ufers in 5 m, 10 m und 15 m Abstand zum Versuchsufer. Die Strömungsgeschwindigkeiten steigen mit dem Abstand vom Ufer und betragen bei 5 m Uferabstand im Mittel ca. 0,5 m/s, bei 10 m Uferabstand ca. 1 m/s und bei 15 m Uferabstand ca. 1,5 m/s. In jedem Profil ist der Geschwindigkeitsverlauf überwiegend gleichmäßig. Bei km 440,8 (unterstromiges Ende Versuchsfeld 1) ist jedoch auf einem kurzen Bereich ein Anstieg zu beobachten, der stromabwärts in ein Minimum übergeht. Da im Versuchsfeld 1 eine Einbuchtung des Ufers vorhanden ist, wurde im Rahmen der Baumaßnahmen hier in Verlängerung der Uferlinie ein Steinwall errichtet, der bei der Messkampagne 2012 ca. 1,50 m überstaut war. Der Anstieg in der Geschwindigkeit war sowohl bei der jetzigen Messkampagne als auch bei der Messkampagne im Februar 2011 zu beobachten, als der vorgelagerte Steinwall noch nicht vorhanden war. Eine mögliche Ursache für die Schwankung der gemessenen Geschwindigkeiten ist, dass nach dem Einbuchtungsbereich aufgrund des unregelmäßigen Uferverlaufs und hoher Strömungsgeschwindigkeiten am Beginn der Versuchsstrecke in Ufernähe ein Strömungsschatten entsteht. Am Ende der Einbuchtung verkleinert sich der Abflussquerschnitt am Ufer, wodurch die Strömung beschleunigt wird. Je nach Geschwindigkeitsbetrag kann es dann stromab der Einbuchtung zur Strömungsablösung oder zur Entstehung eines Strömungsschattens kommen, wodurch sich die Strömung wieder verlangsamt.

Tab. 3.4-1 fasst die minimalen und die maximalen Fließgeschwindigkeiten in jedem Versuchsfeld zusammen.

Tab. 3.4-1: Extremwerte der gemessenen Fließgeschwindigkeiten in jedem Versuchsfeld

	Fließgeschwindigkeit [m/s] Abstand 5 m zum Ufer		Fließgeschwindigkeit [m/s] Abstand 10 m zum Ufer	
	Min	Max	Min	Max
<b>VF-1</b>	0,47	1,07	0,93	1,35
<b>VF-2</b>	0,08	0,28	0,75	1
<b>VF-3</b>	0,36	0,53	0,79	1
<b>VF-4</b>	0,54	0,7	0,55	0,92
<b>VF-5</b>	0,5	0,82	0,77	1
<b>VF-6</b>	0,57	0,69	0,87	1,13
<b>VF-7</b>	0,57	0,85	0,78	1,05
<b>VF-8</b>	0,65	0,85	0,91	1,05
<b>VF-9</b>	0,37	0,64	0,81	1,1

### 3.4.2.2 Flottenstruktur

In 3 Tagen der Beobachtungszeit wurden 210 Schiffsbewegungen registriert. Die Passagen von Sportbooten wurden nicht ausgewertet. Insgesamt konnten 179 Wellenereignisse eindeutig den Schiffspassagen zugeordnet werden. Vor allem während des Scheiteldurchgangs der Hochwasserwelle am 15.06.2012 waren gehäuft keine schiffserzeugten Wellenereignisse zu erkennen. Mit den fallenden Wasserständen (und damit sich verkleinerndem Querschnittsverhältnis aus Flussquerschnitt und eingetauchtem Schiffsquerschnitt) am 16.06.2012 und 17.06.2012 waren die schiffserzeugten Wellenereignisse erwartungsgemäß wieder ausgeprägter.

Das Bild 3.4-7 zeigt die Häufigkeitsverteilung der Längen der beobachteten Güterschiffe. Den Großteil aller Schiffe machen die 103 Großmotorgüterschiffe (GMS) aus. Während der Messkampagne wurden außerdem 47 Europaschiffe (ES), 20 übergroße Großmotorgüterschiffe (ÜGMS) und 16 Verbände mit einem oder mehreren Leichtern (SV) registriert. Die restlichen Schiffe waren kleinere Transportschiffe der Klasse Gustav Königs (GK) und Fahrgastschiffe (FGS).

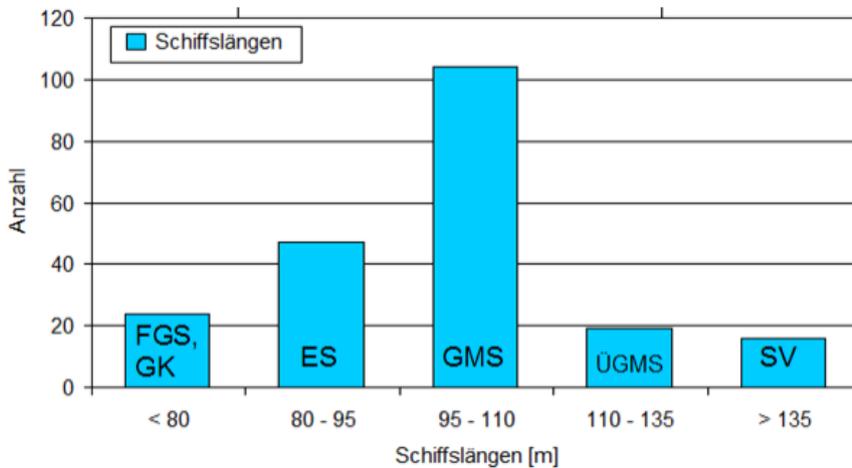


Bild 3.4-7: Verteilung der Schiffslängen aller Schiffe

### 3.4.2.3 Schiffsgeschwindigkeiten

Die Schiffsgeschwindigkeiten wurden bei km 440,920 (Versuchsfeld 3) gemessen. Die Häufigkeitsverteilung der gemessenen Schiffsgeschwindigkeiten ist im Bild 3.4-8 dargestellt. Die Auswertungen ergeben eine für die Schifffahrt charakteristische Verteilung. Die Talfahrer erreichen generell höhere Geschwindigkeiten über Grund. Sie fahren mit Geschwindigkeiten zwischen 14,4 km/h und 25,9 km/h, die meisten erreichten jedoch Geschwindigkeiten zwischen 18 km/h und 22 km/h. Der Mittelwert beträgt 20,3 km/h. Die gemessenen Geschwindigkeiten der Bergfahrer lagen zwischen 7 km/h und 13,3 km/h, die meisten fahren ca. 11 km/h. In Tab. 3.4-2 sind die Mittel- und Extremwerte der Schiffslängen, -breiten und -tiefgänge sowie der Schiffsgeschwindigkeiten zusammengefasst.

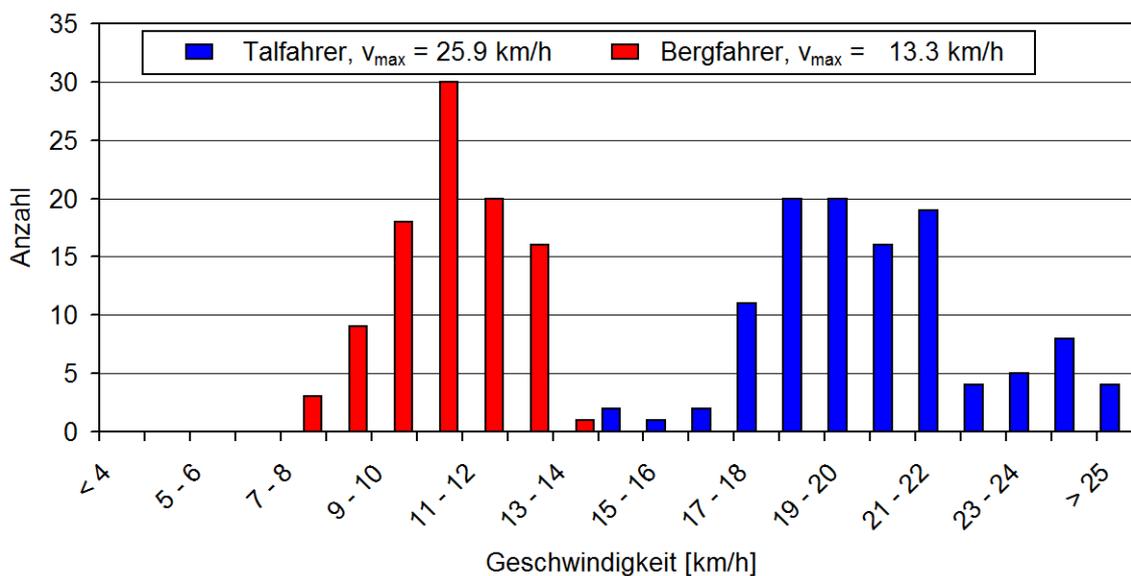


Bild 3.4-8: Verteilung der gemessenen Schiffsgeschwindigkeiten über Grund bei km 440,920

Tab. 3.4-2: Statistische Kennzahlen der Schiffsabmessungen und Schiffsgeschwindigkeiten; Variablen soweit möglich nach GBB (BAW, 2004)

*Erläuterung: Die Breite von 22,8 m ergab sich bei einem Koppverband, bestehend aus einem GMS und einem Leichter.*

					Fahrtrichtung		
					Berg	Tal	Berg + Tal
					Anzahl der Fahrzeuge		
					97	113	210
Schiffsabmessungen	Länge	L	[m]	Min	29	29	29
				Mittel	103	109,4	106,4
				Max	190	214,5	214,5
	Breite	B	[m]	Min	5,85	5,85	5,85
				Mittel	10,5	10,4	10,4
				Max	17,4	22,8	22,8
	Tiefgang	T	[m]	Min	0,5	0,4	0,4
				Mittel	2,4	2,1	2,3
				Max	3,5	3,5	3,5
Messwerte	Schiffsgeschwindigkeit	v <sub>s</sub>	[km/h]	Min	7	14,2	7
				Mittel	10,5	20,3	15,7
				Max	13,3	25,9	25,9

### 3.4.2.4 Uferabstände und Wellenhöhen

Die Uferabstände und Wellenhöhen wurden bei km 440,650 (Versuchsfeld 1), km 440,920 (Versuchsfeld 3) und km 441,550 (Versuchsfeld 9) gemessen. Als maßgebenden Abstand zum Ufer wurde der Abstand des Schiffsschwerpunktes zur rechten Uferlinie (Versuchsufer) angesetzt. Die Uferlinie wurde am 15.06.2012 eingemessen. Änderungen der Uferlinie wegen fallender Wasserstände wurden hierbei nicht berücksichtigt.

Bei der Auswertung der von Güterschiffen erzeugten Uferbelastungen sind insbesondere der Bugabsenk (schneller Wasserspiegelabsenk im Bugbereich) und die Heckwellenhöhe (nach GBB auch Bemessungswellenhöhe genannt) relevant (Bild 3.4-9). Der Bugabsenk ist wegen der Größe und der kurzen Absenkzeit in der Regel für die Reaktion des Porenwasserdrucks im Boden und damit für die Standsicherheit der Uferböschung relevant. Bei der Messkampagne wurden die Bugwellenhöhen erfasst, die sich aus dem Bugabsenk und dem Bugstau (meist nur wenige cm hoch) zusammensetzen. Die Heckwellenhöhe ist der vertikale Abstand zwischen der tiefsten Absenkung im Heckbereich und dem ersten Wellenberg nach dem Schiff. Sie kann zur Oberflächenerosion führen und dient dementsprechend der Bemessung der Lagestabilität von Einzelsteinen eines Deckwerks aus losen Wasserbausteinen.

Bei technisch-biologischen Ufersicherungen ist sie neben der Strömungsgeschwindigkeit eine wichtige Kenngröße zur Abschätzung der Erosionsstabilität der Bauweisen. Auch Sekundärwellen der Güterschiffe können in bestimmten Fällen die Stabilität der Ufersicherung beeinträchtigen. Dies ist insbesondere dann der Fall, wenn sich die am Bug und am Heck erzeugten Sekundärwellen überlagern.

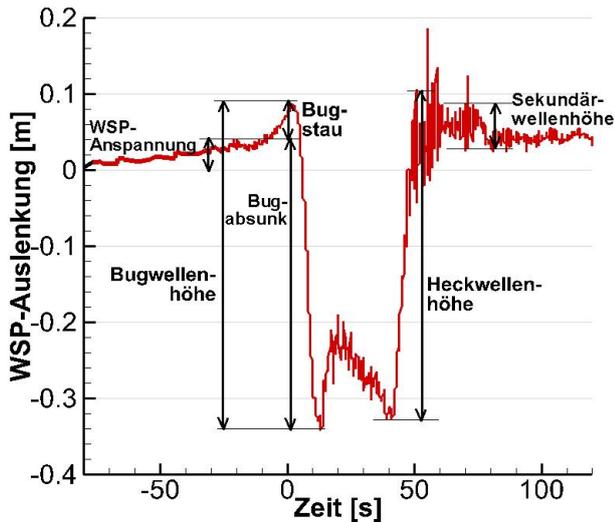


Bild 3.4-9: Definition der Wellenhöhen

### Uferabstände

Bei **km 440,650** (Versuchsfeld 1) liegt die Fahrrinne nah am rechten Ufer. Die gemessenen Abstände der Talfahrer zur Uferlinie betragen 60 m bis 125 m. Die hier auftretenden höheren Strömungsgeschwindigkeiten in der Nähe des rechten Ufers (Bild 3.4-4) begünstigen die Talfahrt. Die meisten Talfahrer fahren ca. 90 m von Uferlinie entfernt und die Bergfahrer zwischen 90 m und 150 m. Vereinzelt wurden auch Bergfahrer mit Entfernungen zwischen 170 m und 230 m beobachtet. Die Wassertiefe ist bei dieser Entfernung zwar wesentlich geringer als im rechten Bereich, die Fahrt war jedoch aufgrund der hohen Wasserstände während der Messkampagne möglich. Für die Bergfahrer war sie sogar günstig, da dort deutlich geringere Strömungsgeschwindigkeiten auftreten.

Tab. 3.4-3: Statistische Kennzahlen der Uferabstände und der Wellenhöhen bei km 440,650; Variablen soweit möglich nach GBB (BAW, 2004)

					Fahrtrichtung		
					Berg	Tal	Berg + Tal
Messwerte	Uferabstand	u	[m]	Min	84,9	60,6	60,6
				Mittel	120,6	87,6	103
				Max	<b>214,6</b>	<b>124,5</b>	<b>214,6</b>
	Bugwellenhöhe	H <sub>u,Bug</sub>	[m]	Min	0,02	0,01	0,01
				Mittel	0,06	0,06	0,06
				Max	<b>0,14</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>
	Heckwellenhöhe	H <sub>u,H</sub>	[m]	Min	0,02	0,01	0,01
				Mittel	0,05	0,06	0,06
				Max	<b>0,13</b>	<b>0,24</b>	<b>0,24</b>
	Sekundärwellenhöhe	H <sub>sek</sub>	[m]	Min	0	0	0
				Mittel	0,03	0,02	0,02
				Max	<b>0,1</b>	<b>0,14</b>	<b>0,14</b>

Ein ähnlicher Zustand herrscht auch bei **km 440,920** (Versuchsfeld 3). Dies liegt daran, dass sich die zwei Bereiche nicht signifikant in den Profilen und den Geschwindigkeiten der natürlichen Strömung unterscheiden (Bild 3.4-4 und Bild 3.4-5). Die Talfahrer fahren in einem Breitenkorridor von 66 m bis ca. 137 m. Der Mittelwert lag bei 94 m. Der größte Teil der Bergfahrer fuhr mit Uferabständen zwischen 82 m und 150 m. Auch hier waren vereinzelt Bergfahrer mit Uferabständen zwischen 180 m und 225 m zu beobachten.

Tab. 3.4-4: Statistische Kennzahlen der Uferabstände und der Wellenhöhen bei km 440,920; Variablen soweit möglich nach GBB (BAW, 2004)

					Fahrtrichtung		
					Berg	Tal	Berg + Tal
Messwerte	Uferabstand	u	[m]	Min	82,3	65,9	65,9
				Mittel	129,9	93,5	110,2
				<b>Max</b>	<b>224,9</b>	<b>137,4</b>	<b>224,9</b>
	Bugwellenhöhe	H <sub>u,Bug</sub>	[m]	Min	0,01	0,01	0,01
				Mittel	0,06	0,07	0,06
				<b>Max</b>	<b>0,12</b>	<b>0,22</b>	<b>0,22</b>
	Heckwellenhöhe	H <sub>u,H</sub>	[m]	Min	0,01	0	0
				Mittel	0,06	0,06	0,06
				<b>Max</b>	<b>0,11</b>	<b>0,28</b>	<b>0,28</b>
	Sekundärwellenhöhe	H <sub>sek</sub>	[m]	Min	0,01	0	0
				Mittel	0,05	0,03	0,04
				<b>Max</b>	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>	<b>0,16</b>

Tab. 3.4-5: Statistische Kennzahlen der Uferabstände und der Wellenhöhen bei km 441,550; Variablen soweit möglich nach GBB (BAW, 2004)

					Fahrtrichtung		
					Berg	Tal	Berg + Tal
Messwerte	Uferabstand	u	[m]	Min	137,8	133,1	133,1
				Mittel	210	167,3	187,1
				<b>Max</b>	<b>256,1</b>	<b>207,9</b>	<b>256,1</b>
	Bugwellenhöhe	H <sub>u,Bug</sub>	[m]	Min	0,01	0,01	0,01
				Mittel	0,05	0,04	0,05
				<b>Max</b>	<b>0,11</b>	<b>0,1</b>	<b>0,11</b>
	Heckwellenhöhe	H <sub>u,H</sub>	[m]	Min	0,01	0	0
				Mittel	0,05	0,04	0,05
				<b>Max</b>	<b>0,13</b>	<b>0,11</b>	<b>0,13</b>
	Sekundärwellenhöhe	H <sub>sek</sub>	[m]	Min	0,01	0	0
				Mittel	0,04	0,02	0,03
				<b>Max</b>	<b>0,11</b>	<b>0,09</b>	<b>0,11</b>

Bei **km 441,550** (Versuchsfeld 9) liegt die Fahrrinne wesentlich näher am linken Ufer (Bild 3.4-6). Die Schiffe fahren insgesamt weiter vom Versuchsufer entfernt als an den beiden anderen untersuchten Profilen. Die Uferabstände der Talfahrer betragen zwischen 133 m und 208 m, wobei der Mittelwert bei 170 m liegt. Mehr als 90% der Bergfahrer fahren mit einem Abstand von 138 m bis 256 m, wobei der häufigste Wert bei 210 m liegt. In Einzelfällen betrug der Uferabstand bis zu 256 m. In diesem Profil ist die günstigste Position für die Bergfahrer im linken Flussbereich, da dort die etwas größere Wassertiefe und geringere Strömungsgeschwindigkeiten vorhanden sind (Bild 3.4-6).

### Wellenhöhen

Mehr als 95% der gemessenen Wellenhöhen in den Profilen bei km 440,650 (Versuchsfeld 1) und 440,920 (Versuchsfeld 3) sind kleiner als 0,15 m. Maximal traten Wellenhöhen bis 0,28 m auf. Die größte im Profil 440,650 gemessene Bugwelle betrug 0,22 m, Heckwelle 0,24 m und Sekundärwelle 0,14 m. Im Profil 440,920 waren es entsprechend 0,23 m, 0,28 m und 0,16 m. Die kleinsten Wellenhöhen wurden bei km 441,550 gemessen. Die Bug-, Heck- und Sekundärwellenhöhen betragen dort weniger als 11 cm.

Die gemessenen Wellenhöhen sind insgesamt relativ klein. Bei der ersten Messkampagne 2009 vor Einrichtung der Versuchsstrecke wurden maximale Wellenhöhen von 81 cm gemessen (bei km 440,600). Allerdings lag der Wasserstand bei der damaligen Messung (NN + 86,25 m bis NN + 85,89 m) etwa 2,0 bis 2,5 m unter dem Wasserstand der Messung 2012. Das heißt, das Querschnittsverhältnis aus Flussquerschnitt zu eingetauchtem Schiffsquerschnitt war wesentlich kleiner, was bei ansonsten gleichen Randbedingungen zu einer höheren Uferbelastung führt. Außerdem fahren die Schiffe 2009 mit kleinerem Uferabstand (minimaler Uferabstand 48 m) als 2012 (minimaler Uferabstand: 60 m). Theoretisch hätten die Schiffe auch während der Messkampagne 2012 dichter am Ufer fahren können. Die maximal möglichen Belastungen wurden dementsprechend nicht erfasst.

## 3.5 Messungen von Porenwasserdrücken im Boden

### 3.5.1 Messaufgabe und Messgeräte

Der während einer Schiffspassage auftretende Wasserspiegelabsenkung führt im Uferbereich im anstehenden Boden in Abhängigkeit von dessen Durchlässigkeitsbeiwert zu Porenwasserüberdrücken (PWÜD), die mit steigender Absenkgröße und -geschwindigkeit zunehmen. Grund hierfür ist, dass sich mit zunehmender Tiefe im Boden die Druckänderungen im Gewässer nicht zeitgleich, sondern verzögert einstellen. Je tiefer der betrachtete Punkt im Boden liegt, umso weniger weicht der Druck zum Zeitpunkt  $t_a$  (unmittelbar nach dem Absenkereignis) vom Druck im Ausgangszustand bei  $t_0$  ab (s. Bild 3.5-1). Die Zunahme des PWÜD mit der Tiefe unter BOK gehorcht theoretisch einer Exponentialfunktion, s. GBB 2004

(BAW, 2004). Abhängig von der Zeit  $t$  nach dem Absenk bei  $t_a$  ( $t = t_a + \Delta t$ ) reduzieren sich die PWÜD-Werte wieder auf Null. Würde der Absenk nach der Schiffspassage nicht wieder ausgeglichen werden, würde sich so ein neuer hydrostatischer Zustand einstellen.

Infolge der Porenwasserüberdrücke werden die effektiven Spannungen im Boden und damit die Böschungsstandsicherheit herabgesetzt. Sie sind deshalb eine wichtige Größe zur Bemessung von technischen Deckwerken, aber auch zur Beurteilung der Wirksamkeit von Ufersicherungen mit Pflanzen.

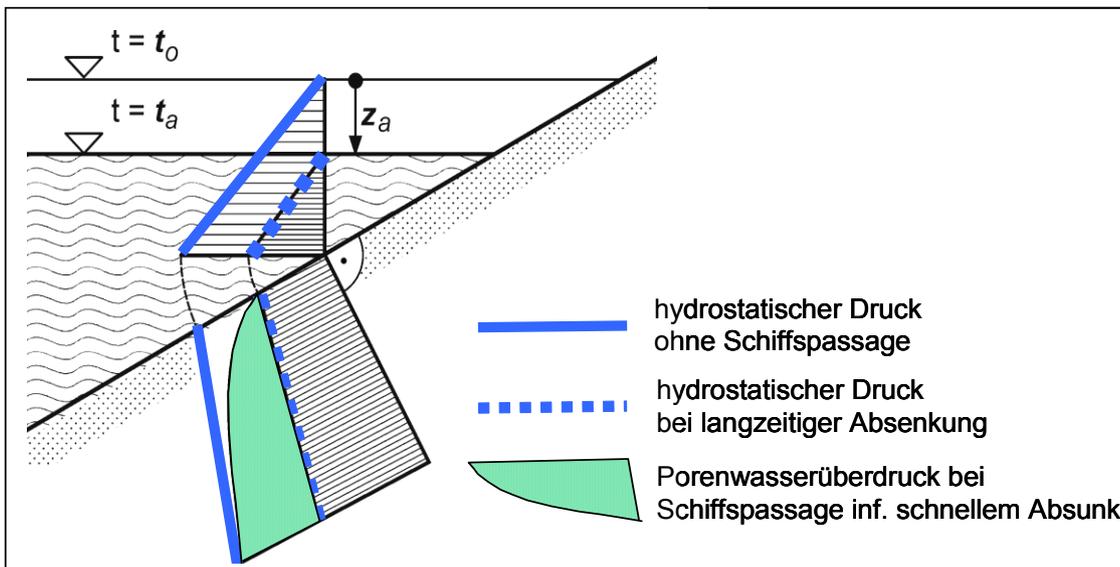


Bild 3.5-1: Prinzip des Porenwasserüberdrucks im Boden (grün hinterlegte Parabel) bei Passage eines Schiffs mit dem Absenk  $z_a$

Im Bereich der Versuchsstrecke wurden im Zuge der Baumaßnahmen im Versuchsfeld VF 3 (Weidenspreitlagen, quer verlegt) Porenwasserdruckgeber (= Drucksonden DS) in verschiedenen Tiefen unter der Böschungsoberfläche eingebaut. In der ersten Monitoringphase 2012 erfolgten 3 Messkampagnen an Tagen, an denen die Weidenspreitlagen zum Teil eingestaut waren und durch Absenkereignisse bei Schiffsvorbeifahrten belastet wurden. Gemessen wurde neben den Porenwasserdrücken auch der Wasserspiegelabsenk mit Drucksonden, die genau an der Böschungsoberfläche (Grenze Gewässer/Boden) eingebaut sind.

Die Messergebnisse liefern wichtige Hinweise darüber, ob und wie die Wurzeln der pflanzlichen Sicherungsmaßnahmen (hier Weiden) in verschiedenen Entwicklungsstadien den Porenwasserüberdruck (PWÜD) im Boden und damit die Böschungsstabilität beeinflussen. Die gemessenen Porenwasserdrücke (PWD) und die daraus berechneten Porenwasserüberdrücke sind außerdem Eingangsgrößen für Berechnungen und Beurteilungen zur Böschungsstandsicherheit bei Schiffsvorbeifahrt. Der Einbau der Weidenspreitlagen wurde im Versuchsfeld 3 am 27.11.2011 abgeschlossen.

- **Messprofile**

Unter den Weidenspreitlagen wurden im November 2011 im Versuchsfeld 3 bei km 440,900 insgesamt 17 Druckmessdosen in zwei Messprofilen MP1 und MP2 in maximal 6 verschiedenen Tiefen unterhalb der Böschungsoberfläche eingebaut. Der Lageplan von VF 3 (Bild 3.5-2) zeigt grob die Anordnung der Messgeräte. Im Querschnitt (Bild 3.5-3) sind die Positionen der Messpunkte und die geplanten SOLL-Tiefen der Drucksonden dargestellt; um die relativen Höhenlagen der Drucksonden zueinander zu erkennen, sind diese in einem Detailquerschnitt auf Bild 3.5-4 zu sehen. Im Messpunkt MP1 sind die Drucksonden paarweise eingebaut, um mögliche Messausfälle abzudecken (MP1a und MP1b). Die obersten Drucksonden liegen jeweils im Schnittpunkt der Böschungsoberfläche mit AZW (MP1a, MP1b) bzw. mit AZW + 1,10 m (MP2). Bei den ersten Messungen hat sich herausgestellt, dass im Messpunkt MP2 die oberste Drucksonde DS 11 nicht funktionsfähig war, sodass insgesamt nur 16 Drucksonden für die Messungen bereitstanden.

Zusätzlich wurden 2 Druckmessdosen an einem Messpunkt MP3 im Schüttsteinwerk in Höhe AZW - 0,52 m zur redundanten Messung der Wasserspiegelauslenkung, insbesondere des Wasserspiegelabsunks, bei Schiffsvorbeifahrt platziert.

Lage und Bezeichnung aller Drucksonden zeigt Tab. 3.5-1. Über die Druckmessdosen sollen die Porenwasserdrücke im Boden bei Schiffsvorbeifahrt gemessen werden, aus denen dann im Rahmen der Auswertung die Porenwasserüberdrücke berechnet werden können. Da beim Einbau der Drucksonden die geplanten SOLL-Tiefen handwerklich bedingt nicht exakt eingehalten werden konnten, sind diese und die tatsächlichen IST-Tiefen – ermittelt aus den PWD-Messungen relativ zur obersten Drucksonde – auf Tab. 3.5-1 aufgelistet.

Die Kabel der Drucksonden wurden über Leerrohre zur Böschungsoberkante und hier mit ihren digitalen Ausgängen in einen Sicherungskasten, der am Km-Schild befestigt ist, geführt. Bei der Durchführung der Messungen werden dort entsprechende Geräte zur Datenerfassung und -aufzeichnung angeschlossen.

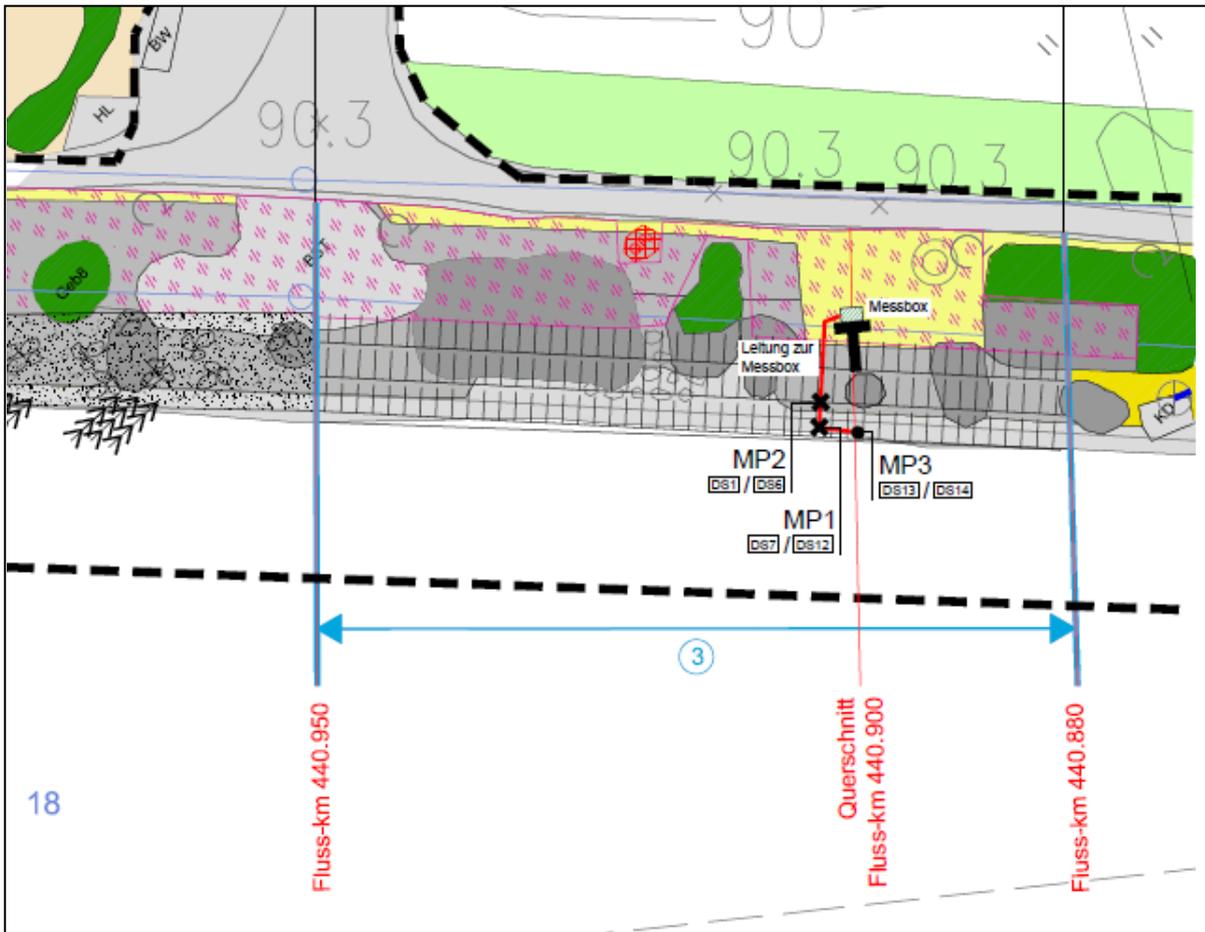


Bild 3.5-2: Anordnung der Messpunkte zur Porenwasserdruckmessung in Versuchsfeld 3

Querschnitt Versuchsfeld 3  
 Spreitlage mit Steinschüttung als Flußsicherung

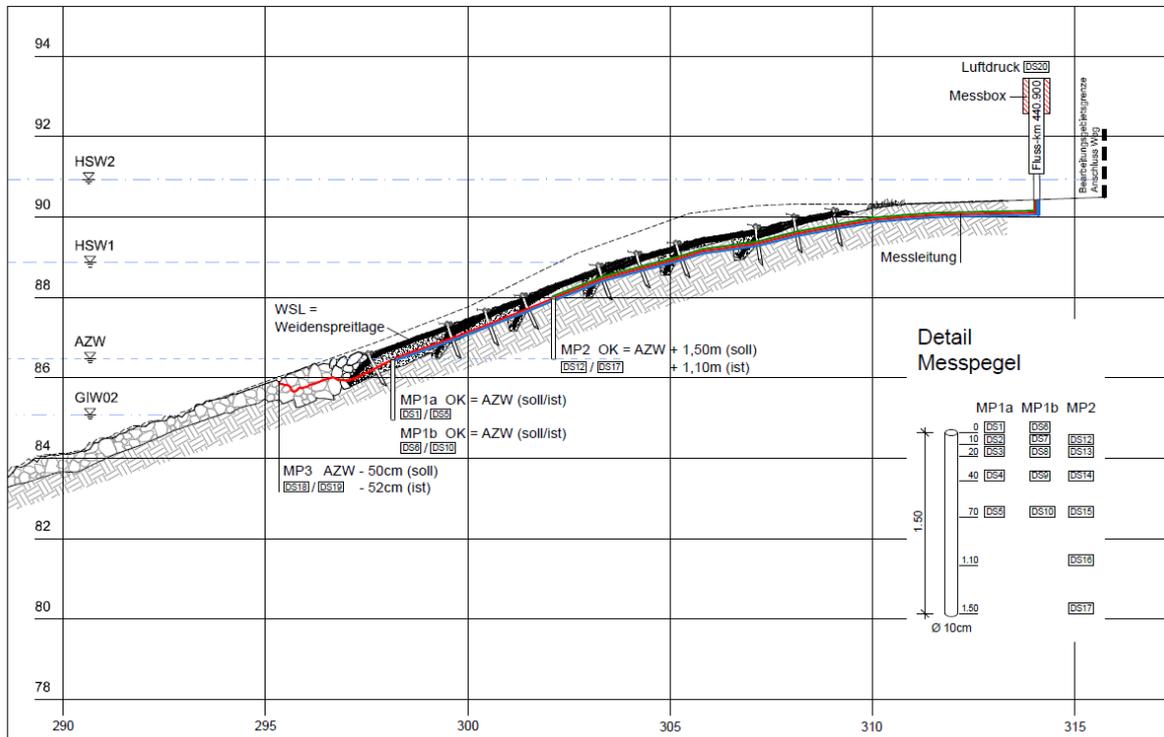


Bild 3.5-3: Querprofil in der Messlinie bei Rh-km 440,900 im Versuchsfeld 3 mit Positionen aller Messpunkte; rechts: Detail zu den Tiefen der einzelnen Drucksonden unter der Böschungsoberfläche

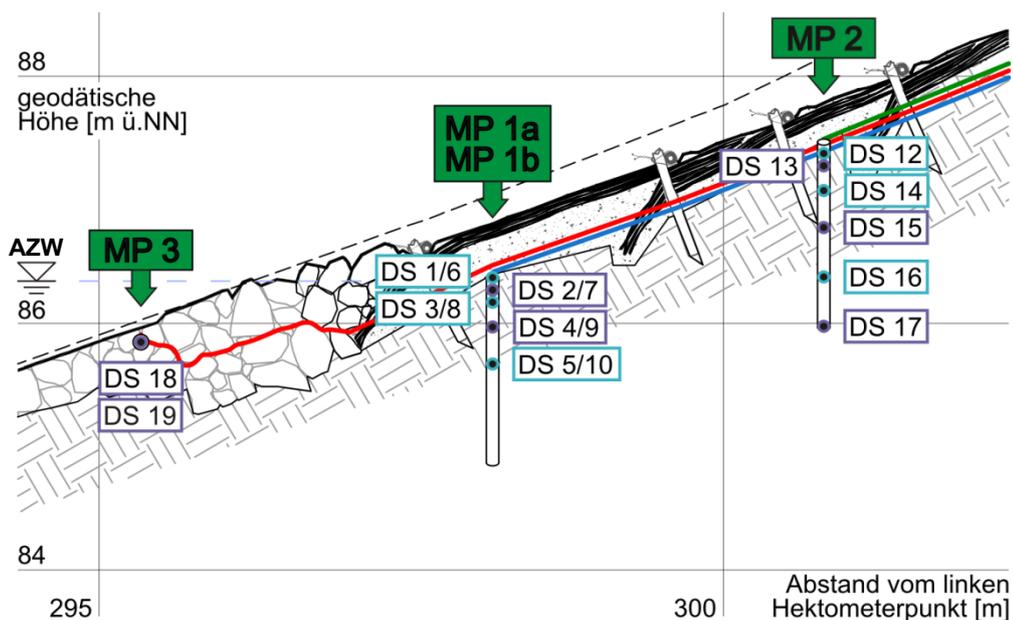


Bild 3.5-4: Detail aus Bild 3.5-3 mit Bemaßung aller Drucksonden und relativer Lage zueinander

Tab. 3.5-1: Zusammenstellung von Bezeichnung, SOLL-Tiefe und IST-Tiefe der 19 eingebauten Drucksonden (18 x im Boden, 1 x Atmosphäre)

Messprofil	Höhenlage (BOK)	Drucksonde Nr.	SOLL-Tiefe	IST-Tiefe <sup>2)</sup>
			unter der Böschung (BOK)	
[-]	[NN+m]	[-]	[m]	[cm]
MP1a	AZW	DS 1 <sup>1)</sup>	0,0	-
		DS 2	0,1	ca. 6
		DS 3	0,2	ca. 16
		DS 4	0,4	ca. 30
		DS 5	0,7	ca. 58
MP1b	AZW	DS 6 <sup>1)</sup>	0,0	-
		DS 7	0,1	ca. 3
		DS 8	0,2	ca. 12
		DS 9	0,4	ca. 31
		DS 10	0,7	ca. 57
MP2	AZW + 1,1 m	DS 12	0,1	-
		DS 13	0,2	ca. 21
		DS 14	0,4	ca. 40
		DS 15	0,7	ca. 70
		DS 16	1,1	ca. 105
MP3	AZW – 0,52 m	DS 17	1,5	ca. 141
		DS 18	0,0	-
am Km-Schild	-	DS 19	0,0	-
		DS 20 (Luftdruck)	-	-

**Hinweise:**

<sup>1)</sup> Drucksonde DS 1 und DS 6 wurden an der Böschungsoberfläche installiert, sie messen dementsprechend den statischen Wasserdruck wie die Drucksonden DS 18 und DS 19

<sup>2)</sup> Ermittlung der IST-Tiefe aus Differenz zw. betrachteter DS und DS auf Höhe Böschungsoberfläche

### • Drucksonden

Die Porenwasserdrücke im Untergrund und der Atmosphärendruck werden mit absoluten Drucksonden der Firma Keller aufgenommen. Wegen der zu erwartenden Wasserdrücke wurde das Modell PAA-36 X W (Bild 3.5-5) ausgewählt, dessen Standarddruckbereich bei 3 bar liegt. Die Genauigkeit beträgt lt. Herstellerkennblatt  $\pm 0,1\%$  vom Messbereich 3 bar, was  $\pm 3$  mbar entspricht. Gültig ist dieser Wert bei Ausnutzung des ganzen Messbereichs von 0 - 3 bar bei Temperaturunterschieden von  $0^\circ$  -  $50^\circ$  C. Bei dem hier beschriebenen Einsatz ist davon auszugehen, dass während der kurzen, ca. 2 - 4 h dauernden Messungen

- die Temperatur annähernd konstant ist,
- die generelle Wasserspiegeländerung nur gering ist und
- die Messunterschiede maximal in der Größenordnung der Absinkwerte von ca. 50 cm entspr. 0,05 bar liegen.

Damit ist eine deutlich höhere Genauigkeit wahrscheinlich.

Die 18 im Boden eingebauten Drucksonden und die eine Drucksonde für den Luftdruck werden bei jeder Messkampagne am Sicherungskasten mit den digitalen Ausgängen mittels eines externen Datenloggers mit einer Frequenz von 3 Hz ausgelesen, sodass pro Sekunde 3 x 19 Messwerte anfallen. Aufgenommen werden die Zeit und die Absolutwerte der Drücke; bei den folgenden Auswertungen und Darstellungen ist zu beachten, dass

$$1 \text{ mbar} = 1 \text{ cmWS}$$

gilt.



Bild 3.5-5: Verwendete Drucksonde PAA-36 X W der Firma Keller

### 3.5.2 Messungen

Damit alle Druckmessdosen auch bei Absunkereignissen unter dem Wasserspiegel liegen und Wasserdrücke aufnehmen können, sind mindestens Wasserstände von AZW + 1,5 m nötig. 2012 erfolgten 3 Messkampagnen im Januar, Juni und Oktober, auf die diese Bedingung zutraf. Wesentliche Kennzahlen der drei Messungen wie Datum, Wochen nach der Einbau Spreitlagen, Messdauer, Anzahl der Messwerte und Schiffe – getrennt nach registriert und auswertbar – sind in Tab. 3.5-2 zusammengestellt. Die Wasserstände an den Messtagen am Pegel Worms und am Messquerschnitt zeigt Tab. 3.5-3. Bei Rhein-km 440,900 liegen die Wasserstände in Bezug auf den kennzeichnenden Wasserstand der Marke I (= HSW I) von NN + 88,87 m (interpoliert nach Tab. 2.3-2 in Kap. 2.3) wie folgt:

Wasserstand bei der 1. Messung: NN + 88,74 m  $\hat{=}$  13 cm unter Marke I

Wasserstand bei der 2. Messung: NN + 87,89 m  $\hat{=}$  0,98 m unter Marke I

Wasserstand bei der 3. Messung: NN + 88,06 m  $\hat{=}$  0,81 m unter Marke I

Tab. 3.5-2: Wesentliche Kennzahlen der 3 Messkampagnen aus 2012 im Vergleich

Datum der Messung	Zeit nach Einbau der Spreitlagen	ca. Mess-Zeitraum (Dauer)	ca. Mess-werte total <sup>2)</sup>	Anzahl der Schiffe registriert/ <i>auswertbar</i>	Besonderheiten
[-]	[-]	[h:min]	[-]	[-]	[-]
24.01.2012	8 Wo.	11:30 – 14:30 (Dauer: 3 h)	1,42·10 <sup>6</sup>	24 / <b>13</b>	Schiffe 2+3 u. 4+5 entspr. 1 Ereignis <sup>1)</sup>
12.06.2012	28 Wo.	10:40 – 15:00 (Dauer: 4:20 h)	2,04·10 <sup>6</sup>	13 / <b>7</b>	
16.10.2012	46 Wo.	11:10 – 14:20 (Dauer: 3:10 h)	1,38·10 <sup>6</sup>	33 / <b>15</b>	Schiffe total
				22 / <b>6</b>	davon: Güterschiffe
				11 / <b>9</b>	davon: MS Worms

Hinweise: <sup>1)</sup> Schiffe 2+3 und 4+5 sind jeweils 1 Berg- und 1 Talfahrer, die sich so begegnen, dass Bugabsunk und Heckanstieg sich überlagern zu 1 besonders hohen Ereignis.

<sup>2)</sup> Von jeder der 19 Messdosen werden die 2 Messwerte Zeit und Druck erfasst.

Symbol: Wo – Wochen

Während aller drei Messkampagnen wurden zusätzlich Daten zu den passierenden Schiffen protokolliert: Uhrzeit der Passage, Entfernung des Schiffes vom Ufer (mittels Entfernungslaser) und technische Daten des Schiffes wie Länge L, Breite B, max. Tiefgang T und Eichmarke (visuell soweit lesbar). Außerdem wurde die Zeitdauer der Passage gestoppt, um damit über die Schiffslänge die Schiffsgeschwindigkeit abschätzen zu können. Die

plausibilisierten Daten dieser Aufzeichnungen mit Angabe von Minima und Maxima sind in **Anlage 7** zu finden.

Tab. 3.5-3: Wasserstände am Pegel Worms und am Messort bei Rh-km 440,900 für die 3 Messkampagnen im Jahr 2012  
 Symbole: PNP – Pegelnullpunkt, WSt – Wasserstand

Datum der Messung	Wasserstand am Pegel Worms		ca. Wasserstand am Messort, bezogen auf AZW am Pegel Worms	
	PNP = NN + 84,16 m WSt (AZW) ≈ 196 cm AZW ≈ NN + 86,12 m			
[-]	[cm]	[NN +...m]	[cm]	[NN +...m]
24.01.2012	427	88,43 <sup>1)</sup>	AZW + 262	88,74
12.06.2012	342	87,58 <sup>1)</sup>	AZW + 177	87,89
16.10.2012	359	87,75 <sup>1)</sup>	AZW + 194	88,06

Hinweise: - *Wasserspiegelanstieg vom Pegel Worms bis Rhein-km 440,900 (entspr. Mitte der Versuchsstrecke) ca. 31 cm*

<sup>1)</sup> *vgl. Suppl. 1: Wetterdaten und Rheinwasserstände 9/2011 - 10/2012 (BAW, 2013a)*

Da erste grobe Auswertungen schnell gezeigt haben, dass unter den Fahr- und Randbedingungen der 1. und 2. Messkampagne (hohe Wasserstände entspr. große Querschnittsverhältnisse) keine sehr großen Absunkwerte und damit Porenwasserüberdrücke im Boden auftreten, wurde bei der 3. Messkampagne im Oktober 2012 zusätzlich das Aufsichtsboot des Abz. Worms, die MS Worms mit den Abmessungen Länge / Breite/ Tiefgang = 20,19 m / 4,83 m / 1,10 m, eingesetzt. Dieses fuhr nach Absprache 9 mal so nah am Ufer und so schnell, dass auch größere Absunktiefen als in den Kampagnen davor erreicht werden konnten.

Im folgenden Kapitel 3.5.3 werden Vorgehensweise und Ergebnisse der Auswertungen erläutert.

### 3.5.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die Vorgehensweise und die Ergebnisse der Auswertungen der drei Messkampagnen im Januar, Juni und Oktober 2012 beschrieben und diskutiert.

Um den Auswerteaufwand zunächst einzugrenzen, wurden Vergleiche zwischen den Messpunkten MP1a, MP1b und MP2 angestellt. Die Vergleiche zwischen den redundant angeordneten Messpunkten MP1a und MP1b haben keine signifikanten Unterschiede der Druckwerte gezeigt. Es gab auch keinerlei Messausfälle an diesen beiden Messpunkten.

- **Wasserspiegellage und Wasserdrücke**

Als Gesamtüberblick sind zunächst für alle drei Messkampagnen Porenwasserdruckwerte und Wasserspiegellage auf Bild 3.5-6 bis Bild 3.5-8 gezeigt. Die dunkelblaue Linie stellt den Wasserspiegel über AZW dar und bezieht sich auf die rechte Skala. Die anderen vier Linien geben den Wasserdruck unter der Böschungsoberfläche (= Porenwasserdruck) für die Drucksonden DS 2 - DS 5 an, für die die linke Skala gilt. Auf der Abszisse ist der Messzeitraum zu erkennen. Am Verlauf des Wasserspiegels sieht man auch in diesem Maßstab schon in manchen Fällen deutlich, wann sich eine Schiffspassage ereignet hat. Einige dieser Ereignisse sind durch Pfeil kenntlich gemacht. Auf Bild 3.5-8, das die Messkampagnen vom Oktober 2012 zeigt, heben sich die Fahrten der MS Worms klar von allen Fahrten der Güterschiffe ab.

Unter den drei Bildern sind die Bereiche von technischen Daten und Fahrweisen der protokollierten Schiffe angeführt. Vergleiche mit Ergebnissen einer 8-tägigen Verkehrsbeobachtung im August 2009, dokumentiert in (BAW, BfG, 2010), zeigen, dass für die Güterschiffahrt (ohne Fahrten der MS Worms) die Messungen von 2012 bzgl. der Randbedingungen in den Größenordnungen von 2009, bezogen auf Rhein-km 440,900, liegen:

	2009	2012
Uferabstände:	61 m ... 190 m	47 m ... 200,4 m
Schiffsgeschwindigkeiten:	6,7 km/h ... 24,1 km/h	6,9 ..28,8, km/h

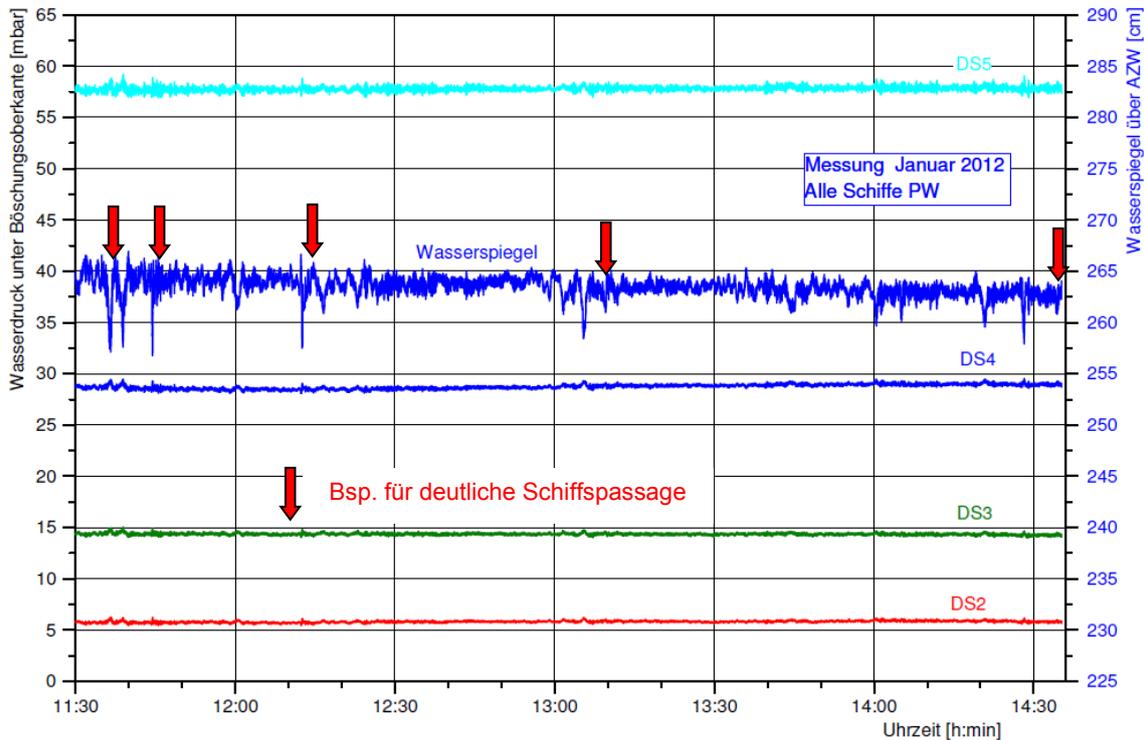


Bild 3.5-6: Verläufe der Wasserspiegellage über AZW (blaue Kurve und rechte Skala) und der Wasserdrücke unter der Böschungsoberfläche für die Druckdosen DS2 - DS5 am Messpunkt MP1a bei der Messkampagne Januar 2012  
 Abkürzungen: DS – Drucksonde, PW – Porenwasserdruck

Bei der 1. Messkampagne **Januar 2012** wurden während einer Zeit von 4 Std. 20 Min. 23 Schiffspassagen mit folgenden technischen Daten und Fahrweisen dokumentiert:

Richtung:	15 Bergfahrer / 8 Talfahrer	(Talfahrer passieren näher am Versuchsufer als Bergfahrer)
Uferabstände:	66 - 200,4 m	
Schiffslängen:	27,9 - 197 m	(die kleinste Länge gehört zu einem Messboot, große Längen gehören zu Schubverbänden)
Schiffsbreiten:	6,1 - 17,4 m	(die kleinste Breite gehört zu einem Messboot, Breiten über 11,45 m gehören zu Koppelverbänden)
(max.) Tiefgänge:	0,9 - 3,7 m	(der kleinste Tiefgang gehört zu einem Messboot)
Tonnagen:	969 - 3995 TT	(die kleine Tonnage gehört zu einem Schiff vom Typ Johann Welker, die großen Tonnagen gehören zu Schub- und Koppelverbänden)
Schiffsgeschwindigkeiten:	7,1 - 28,8 km/h	(ermittelt aus Passagezeit und Schiffslänge; große Geschwindigkeiten gehören zu Talfahrern)
keiten :		

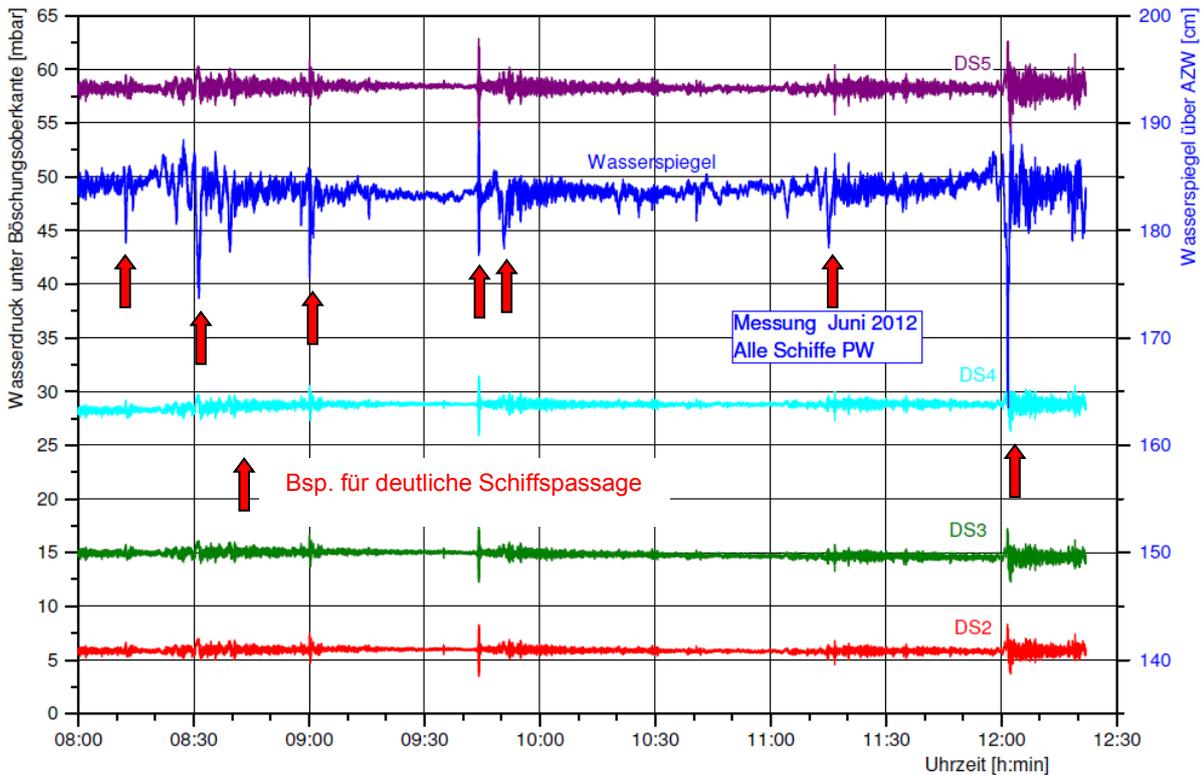


Bild 3.5-7: Verläufe der Wasserspiegellage über AZW (blaue Kurve und rechte Skala) und der Wasserdrücke unter der Böschungsoberfläche für die Druckdosen DS2 – DS5 am Messpunkt MP1a bei der Messkampagne Juni 2012  
Abkürzungen: DS – Drucksonde, PW – Porenwasserdruck

Bei der 2. Messkampagne **Juni 2012** wurden während einer Zeit von 4 Std. 20 Min. 25 Schiffspassagen mit folgenden technischen Daten und Fahrweisen dokumentiert:

Richtung:	13 Bergfahrer / 12 Talfahrer	(Talfahrer passieren näher am Versuchsufer als Bergfahrer)
Uferabstände:	47 - 183 m	
Schiffslängen:	21,5 - 190 m	(große Längen gehören zu Schubverbänden)
Schiffsbreiten:	4,5 - 15,0 m	(Breiten über 11,45 m gehören zu Koppelverbänden)
(max.) Tiefgänge:	nicht aufgezeichnet	
Tonnagen:	878 - 5024 TT	(die kleine Tonnage gehört zu einem Schiff vom Typ Johann Welker, die großen Tonnagen gehören zu Schub- und Koppelverbänden)
Schiffsgeschwindigkeiten:	6,9 – 27,1 km/h	(ermittelt aus Passagezeit und Schiffslänge; große Geschwindigkeiten gehören zu Talfahrern)

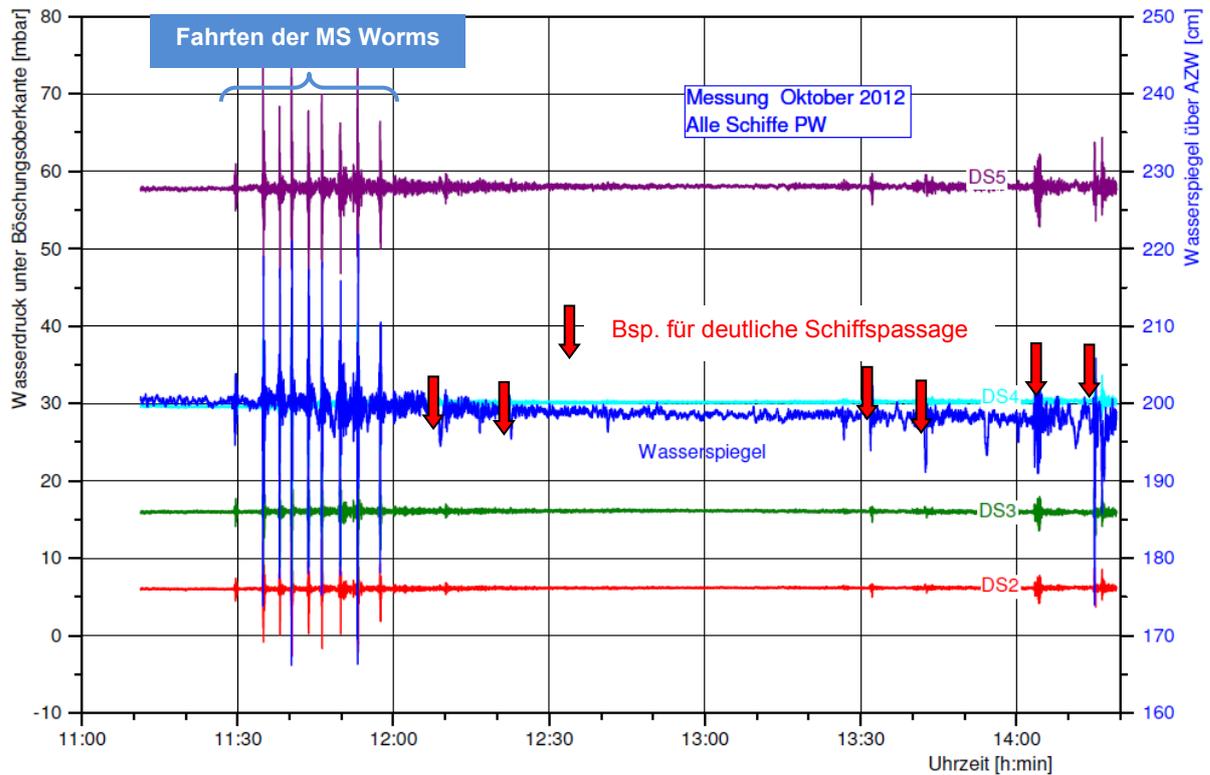


Bild 3.5-8: Verläufe der Wasserspiegellage über AZW (blaue Kurve und rechte Skala) und der Wasserdrücke unter der Böschungsfläche für die Druckdosen DS2 – DS5 am Messpunkt MP1a bei der Messkampagne Oktober 2012  
 Abkürzungen: DS – Drucksonde, PW – Porenwasserdruck

Bei der 3. Messkampagne **Oktober 2012** wurden während einer Zeit von 3 Std. 10 Min. 33 Schiffspassagen (davon 9 Fahrten der MS Worms) mit folgenden technischen Daten und Fahrweisen dokumentiert:

Richtung:	16 Bergfahrer / 17 Talfahrer	(Talfahrer passieren näher am Versuchsufer als Bergfahrer)
Uferabstände:	nicht aufgezeichnet	
Schiffslängen:	20 - 185 m	(die kleine Länge gehört zur MS Worms, große Längen gehören zu Schubverbänden)
Schiffsbreiten:	4,85 - 21,4 m	(die kleine Breite gehört zur MS Worms, Breiten über 11,45 m gehören zu Koppelverbänden)
(max.) Tiefgänge:	nicht aufgezeichnet	
Tonnagen:	nicht aufgezeichnet	
Schiffsgeschwindigkeiten:	5,1 - 24,5 km/h	(ermittelt aus Passagezeit und Schiffslänge; große Geschwindigkeiten gehören zu Talfahrern)

• **Auswertungen**

Die Darstellung und die weitere Auswertung der Zeitreihen erfolgten mit dem Programm DIADEM. Zur Ablesung der markanten Werte jeder Schiffspassage mussten diese einzeln betrachtet werden. Bild 3.5-9 zeigt als Beispiel die Auftragungen für das Schiff Nr. 6 der Messkampagne Januar 2012. In blau ist der Verlauf des Wasserspiegels mit der Bezugsordinate rechts zu erkennen. Die Porenwasserüberdrücke, die sich an den Drucksonden DS 2 - DS 5 als Differenz aus deren Wasserdruck und dem an Drucksonde DS 1 ergeben – wie in Kap. 3.5.1 geschildert und auf Bild 3.5-1 zu sehen – sind als vier farbige Kurven, deren Ordinate links angeordnet ist, dargestellt.

Generell erfolgt die Auswertung nach folgendem Schema:

- (1) Auf der Kurve des Wasserspiegelverlaufs über die Zeit (blau) wird dessen Absink am Bug mit den Punkten P1 und P2, sein Wiederanstieg am Heck mit den Punkten P3 und P4 festgelegt.
- (2) An allen vier Punkten P1 - P4 werden Zeitpunkt und Wasserdruck WD abgelesen.
- (3) Zeitnah zum Tiefstpunkt P2 des Absinks am Bug wird anhand der am tiefsten liegenden Druckdose DS5 der Scheitelwert  $\ddot{U}$  der zugehörigen PWÜD-Kurve festgelegt, weil er dort am besten zu erkennen ist. Aus allen vier farbigen Kurven sind die zu  $\ddot{U}$  gehörenden PWÜD zu entnehmen (s. Detail auf Bild 3.5-10), die in die Auftragungen der PWÜD-Verteilungen in den Bildern Bild 3.5-15 bis Bild 3.5-19 einfließen. Für deren Berechnung gilt folgende Gleichung:

$$PW\ddot{U}D (DS_i) = WD (DS_i) - WD (DS_1) - \gamma_w \cdot t_{uB\ddot{o}}$$

mit  $\gamma_w$  Wichte des Wassers [kN/m<sup>3</sup>]

$t_{uB\ddot{o}}$  Tiefe der Drucksonde i unter der Böschung [m]

Für die Bewertung der Zusammenhänge zwischen Absink, Absinkgeschwindigkeit und Porenwasserüberdruck (Bild 3.5-11 bis Bild 3.5-14) wird immer auf den Wert  $\ddot{U}$  zurückgegriffen, weil er zahlenmäßig der größte ist.

- (4) Die weiteren Werte werden daraus rechnerisch ermittelt:

Absink  $z_a = WD(P1) - WD (P2)$

Absinkzeit  $\Delta t = t(P2) - t(P1)$

Absinkgeschwindigkeit  $v_{za} = z_a / \Delta t$

Wiederanstieg  $H_{Bem} = WD(P4) - WD (P3)$

(= Bemessungswellenhöhe)

Alle Zahlen, die aus den Schritten (1) - (4) folgen, sind in Tab. 3.5-4 bis Tab. 3.5-6 zusammengefasst.

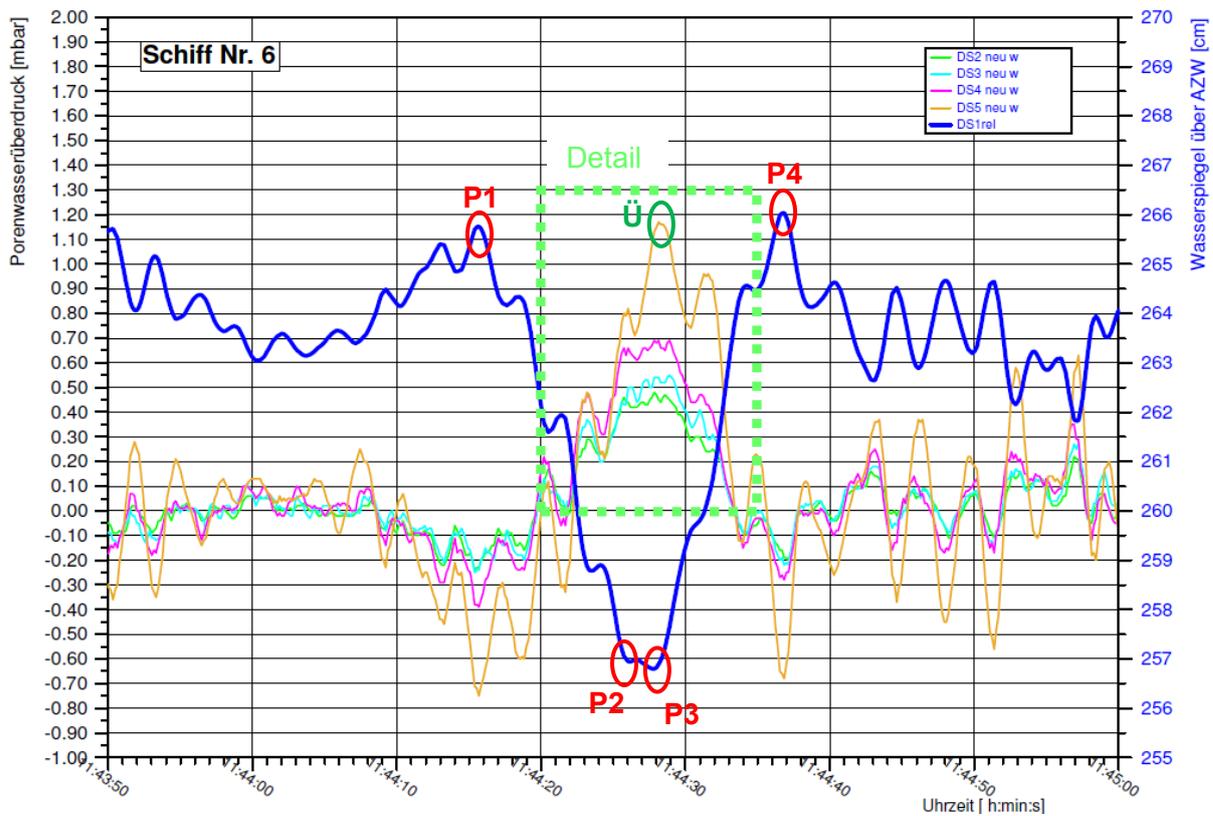


Bild 3.5-9: Beispiel für die Verläufe der Wasserspiegellage über AZW (blaue Kurve und rechte Skala) und der Porenwasserüberdrücke unter der Böschungsoberfläche für das Schiff Nr. 6 der Messkampagne Januar 2012; beispielhaft markiert sind die Ablesepunkte, wie sie in die folgenden Tab. 3.5-4 bis Tab. 3.5-6 eingehen

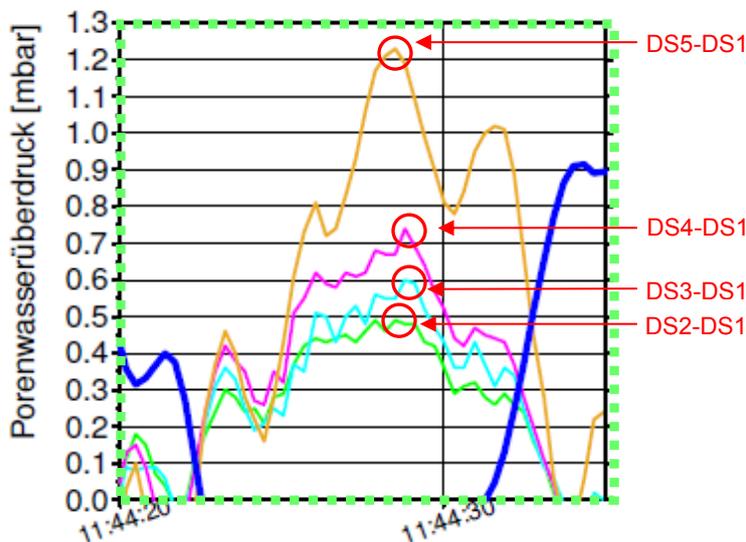


Bild 3.5-10: Ablesung zu zusammengehörender Porenwasserüberdrücke in verschiedenen Tiefen, hier für die Druckdosen DS 2 - DS 5

Tab. 3.5-4: Ergebnisse der Messkampagne **Januar 2012** mit den Werten für die Wasserdrücke WD, die Absinkzeit  $\Delta t$ , den Absink  $z_a$ , den maximalen Porenwasserüberdruck PWÜD (=  $\ddot{U}$  bei DS5) und die Bemessungswellenhöhe  $H_{Bem}$   
*Hinweis: weitere Erläuterungen im Text*

Messung Januar 2012

Schiff Nr. <sup>1)</sup>	Bugbereich								Heckbereich				
	Scheitel der Bugwelle		Tiefstpkt. d. Absunks		Absink			$\ddot{U}$	P3		P4		P4 - P3
	P1 Zeit [h:min:s,0] WD [cm]	P2 Zeit [h:min:s,0] WD [cm]	P2 - P1 $\Delta t$ [s,0]	P1 - P2 $z_a, Bug$ [cm] $v_{za, Bug}$ [cm/s]	PWÜD [cm]	Zeit [h:min:s,0] WD [cm]	Zeit [h:min:s,0] WD [cm]		H <sub>Bem</sub> [cm]				
2 + 3 <sup>2)</sup>	11:35:58,5	264,7	11:36:25,9	257,5	27,4	7,1	0,26	0,9	11:36:36,9	257,1	11:36:57,3	265,2	8,1
4 + 5 <sup>2)</sup>	11:38:36,1	263,0	11:38:55,2	257,6	19,1	5,4	0,28	1,5	11:38:55,2	257,6	11:39:01,0	262,7	5,1
6	11:44:15,8	265,8	11:44:26,0	256,9	10,2	8,9	0,87	1,2	11:44:28,0	256,8	11:44:36,9	266,0	9,2
7	11:59:46,2	264,8	12:00:19,6	261,3	33,4	3,5	0,10	0,5	12:00:46,0	261,8	12:01:08,2	264,9	3,1
8	12:12:20,7	266,6	12:12:33,1	257,5	12,4	9,1	0,73	1,1	12:12:35,9	257,7	12:12:43,0	263,7	6,0
12	13:00:56,0	264,7	13:01:38,0	260,8	42,0	3,9	0,09	0,4	13:01:38,0	260,8	13:01:59,6	263,0	2,2
13	13:04:52,5	264,4	13:05:25,5	258,4	33,0	6,0	0,18	0,6	13:05:40,5	259,2	13:05:54,8	262,5	3,3
14	13:08:59,5	264,0	13:09:34,5	261,0	35,0	3,0	0,09	0,5	13:09:34,5	261,0	13:09:47,3	264,8	3,8
19	13:59:53,0	263,0	14:00:21,5	259,9	28,5	3,1	0,11	0,8	14:00:27,5	259,8	14:00:50,5	263,4	3,6
20	14:04:50,5	264,0	14:05:08,5	260,2	18,0	3,8	0,21	0,4	14:05:12,1	260,4	14:05:24,5	263,7	3,3
21	14:20:18,6	261,8	14:20:36,2	260,0	17,6	1,8	0,10	0,6	14:20:52,8	259,6	14:21:25,0	263,5	3,9
23	14:27:47,4	264,3	14:28:06,1	259,0	18,7	5,3	0,28	0,7	14:28:10,7	258,5	14:28:26,8	263,9	5,4
24	14:34:02,3	263,1	14:34:15,1	260,9	12,8	2,2	0,17	0,3	14:34:25,7	261,0	14:34:40,6	263,7	2,7

Hinweise:

- <sup>1)</sup> Von 24 erkennbaren Schiffseignissen waren nur die aufgeführten 13 auswertbar.
- <sup>2)</sup> Überlagerung einer Schiffsbegegnung aus Berg- und Talfahrt

Tab. 3.5-5: Ergebnisse der Messkampagne **Juni 2012** mit den Werten für die Wasserdrücke WD, die Absinkzeit  $\Delta t$ , den Absink  $z_a$ , den maximalen Porenwasserüberdruck PWÜD (=  $\ddot{U}$  bei DS5) und die Bemessungswellenhöhe  $H_{Bem}$   
*Hinweis: weitere Erläuterungen im Text*

Messung Juni 2012

Schiff Nr. <sup>1)</sup>	Bugbereich								Heckbereich				
	Scheitel der Bugwelle		Tiefstpkt. d. Absunks		Absink			$\ddot{U}$	P3		P4		P4 - P3
	P1 Zeit [h:min:s,0] WD [cm]	P2 Zeit [h:min:s,0] WD [cm]	P2 - P1 $\Delta t$ [s,0]	P1 - P2 $z_a, Bug$ [cm] $v_{za, Bug}$ [cm/s]	PWÜD [cm]	Zeit [h:min:s,0] WD [cm]	Zeit [h:min:s,0] WD [cm]		H <sub>Bem</sub> [cm]				
1	08:11:58,0	185,7	08:12:17,3	179,1	19,3	6,6	0,34	1,2	08:12:23,0	179,1	08:12:41,6	185,0	5,9
4	08:30:25,0	186,5	08:31:07,0	174,6	42,0	11,9	0,28	1,9	08:31:23,0	174,4	08:31:51,0	182,1	7,7
6	08:59:52,9	185,8	09:00:07,1	175,6	14,2	10,2	0,72	2,4	09:00:07,1	175,6	09:00:21,3	185,6	10,0
7	09:15:15,0	184,0	09:15:31,0	181,2	16,0	2,8	0,17	0,7	09:15:35,0	181,0	09:15:43,0	183,0	2,0
10	11:03:27,0	184,2	11:04:19,0	181,1	52,0	3,1	0,06	0,6	11:04:19,0	181,1	11:05:23,0	184,9	3,8
11	11:14:36,0	185,8	11:15:02,0	178,4	26,0	7,4	0,28	1,3	11:15:06,0	178,4	11:16:27,0	185,6	7,2
13	12:01:13,7	180,7	12:01:33,6	165,0	19,9	15,7	0,79	4,1	12:01:41,9	163,6	12:05:52,1	176,7	13,1

Hinweis:

- <sup>1)</sup> Von 13 erkennbaren Schiffseignissen waren nur die aufgeführten 7 auswertbar.

Tab. 3.5-6: Ergebnisse der Messkampagne **Oktober 2012** getrennt für Güterschiffe (*oben*) und die MS Worms (*unten*) mit den Werten für die Wasserdrücke WD, die Absinkzeit  $\Delta t$ , den Absunk  $z_a$ , den maximalen Porenwasserüberdruck PWÜD (=  $\ddot{U}$  bei DS5) und die Bemessungswellenhöhe  $H_{bem}$   
*Hinweis: weitere Erläuterungen im Text*

**Messung Oktober 2012 (Güterschiffe)**

Schiff Nr. <sup>1)</sup>	Bugbereich								Heckbereich				
	Scheitel der Bugwelle		Tiefstpkt. d. Absunks		Absunk			$\ddot{U}$	P3		P4		P4 - P3
	P1 Zeit	WD	P2 Zeit	WD	P2 - P1 $\Delta t$	P1 - P2 $z_a, Bug$	$v_{za, Bug}$		Zeit	WD	Zeit	WD	
[h:min:s,0]	[cm]	[h:min:s,0]	[cm]	[s,0]	[cm]	[cm/s]	[cm]	[h:min:s,0]	[cm]	[h:min:s,0]	[cm]	[cm]	
1a	12:22:20,7	201,0	12:22:38,5	195,8	17,9	5,2	0,29	0,9	12:22:43,2	195,4	12:22:53,8	198,2	2,8
2a	13:26:31,6	199,4	13:26:42,4	195,9	10,8	3,4	0,32	0,5	13:26:48,4	195,3	13:26:57,6	199,0	3,7
3a	13:31:43,4	199,2	13:31:52,9	194,6	9,5	4,5	0,48	1,1	13:31:56,4	194,0	13:32:03,9	200,5	6,5
4a	13:42:17,7	198,3	13:42:27,0	191,1	9,3	7,2	0,77	1,5	13:42:30,5	191,6	13:42:46,4	199,6	8,0
5a	13:53:44,7	198,9	13:54:12,4	193,5	27,7	5,4	0,20	0,8	13:54:25,0	193,4	13:54:38,5	198,2	4,9
6a	14:14:54,8	199,6	14:15:02,4	174,0	7,6	25,6	3,37	5,7	14:15:02,4	174,0	14:15:14,5	204,5	30,6

**Hinweise:**

<sup>1)</sup> Von 22 dokumentierten Schiffereignissen (Güterschiffe) waren nur die aufgeführten 6 auswertbar (durchgehend nummeriert).

**Messung Oktober 2012 (MS Worms)**

Schiff Nr. <sup>1)</sup>	Bugbereich								Heckbereich				
	Scheitel der Bugwelle		Tiefstpkt. d. Absunks		Absunk			$\ddot{U}$	P3		P4		P4 - P3
	P1 Zeit	WD	P2 Zeit	WD	P2 - P1 $\Delta t$	P1 - P2 $z_a, Bug$	$v_{za, Bug}$		Zeit	WD	Zeit	WD	
[h:min:s,0]	[cm]	[h:min:s,0]	[cm]	[s,0]	[cm]	[cm/s]	[cm]	[h:min:s,0]	[cm]	[h:min:s,0]	[cm]	[cm]	
1	11:29:21,6	201,2	11:29:27,1	196,2	5,5	5,0	0,90	2,3	11:29:30,2	194,6	11:29:35,0	203,4	8,8
2	11:34:48,0	203,3	11:34:53,7	173,9	5,7	29,5	5,17	16,0	11:34:53,7	173,9	11:34:58,1	219,0	45,2
3	11:37:57,2	206,3	11:38:05,4	177,4	8,2	28,9	3,52	10,5	11:38:05,4	177,4	11:38:10,1	217,4	39,9
4	11:40:18,7	208,5	11:40:23,3	166,2	4,6	42,3	9,11	16,6	11:40:23,3	166,2	11:40:27,9	221,0	54,8
5	11:43:29,7	205,8	11:43:37,2	178,0	7,5	27,7	3,70	10,0	11:43:37,2	178,0	11:43:41,9	217,2	39,2
6	11:46:08,0	208,3	11:46:12,7	175,3	4,7	32,9	7,01	12,5	11:46:12,7	175,3	11:46:17,3	218,2	42,9
7	11:49:36,8	208,1	11:49:45,5	178,1	8,7	30,1	3,46	8,4	11:49:45,5	178,1	11:49:50,2	215,8	37,8
8	11:53:03,0	207,4	11:53:07,7	166,3	4,7	41,1	8,74	17,2	11:53:07,7	166,3	11:53:12,0	221,8	55,5
9	11:57:21,3	205,1	11:57:28,0	178,2	6,7	26,9	4,02	8,6	11:57:28,0	178,2	11:57:31,3	210,4	32,2

**Hinweis:**

<sup>1)</sup> Von 11 dokumentierten Schiffereignissen (Güterschiffe) waren nur die aufgeführten 9 auswertbar (durchgehend nummeriert).

Um einen einfachen und schnellen Überblick über alle Ergebnisse aus den Messkampagnen 2012 zu bekommen, werden zwei wesentliche Darstellungen von zusammenhängenden Größen gewählt: Absunk vs. Absunkgeschwindigkeit und Absunk vs. Porenwasserüberdruck.

• **Absunk am Bug vs. Absunkgeschwindigkeit**

Zum einen werden die Größen maximaler Absunk und Absunkgeschwindigkeit aufgetragen. Je größer der Absunk ist und je schneller er von statten geht, umso eher kann sich ein größerer Porenwasserüberdruck ausbilden. In Bild 3.5-11 sind diese beiden Werte für alle

Güterschiffe zu sehen. Der Absunk ist zum besseren Verständnis nach unten aufgetragen. Markante Schiffe mit den größten Messwerten sind hervorgehoben. Zur Orientierung ist außerdem die Durchlässigkeit des anstehenden Bodens eingetragen: Je mehr die Absunkgeschwindigkeit über der Durchlässigkeit des Bodens liegt, umso größer kann der Porenwasserüberdruck werden.

Es ist zu erkennen,

- dass mit steigendem Absunk auch die Absunkgeschwindigkeit (in einer gewissen Bandbreite, s. u.) zunimmt,
- dass alle auswertbaren Ereignisse Absunkgeschwindigkeiten größer als die Durchlässigkeit aufweisen, was bedeutet, dass in jedem Fall Porenwasserüberdrücke auftreten,
- dass mit zunehmender Größe der Werte auch deren Streuung wächst, was der Vielfalt der Schiffformen und Fahrbedingungen (Schiffsposition und -geschwindigkeit) sowie den Randbedingungen (Wasserstand, Geschwindigkeit der Grundströmung, Querschnittsverhältnis) geschuldet ist, und
- dass bei den protokollierten Güterschiffe mit den gefahrenen Uferabständen und Fahrgeschwindigkeiten nur ein maximaler Absunk von ca. 26 cm (zugehörige Absunkgeschwindigkeit 3,4 cm/s) auftrat; das zeigt, dass die im ersten Bericht (BAW, BfG, 2010) theoretisch berechneten höheren Größenordnungen in den 2012 durchgeführten drei Messkampagnen nicht registriert wurden, was daran liegt, dass für die Berechnungen übliche extreme Randbedingungen angenommen wurden (s. u. „Vergleich Messungen – Berechnungen“); Vergleiche mit einer 8-tägigen Verkehrsbeobachtung im August 2009, dokumentiert in (BAW, BfG, 2010), zeigen, dass dabei – bezogen auf Rhein-km 440,900 – für die Güterschiffahrt größere Bugwellenhöhen, die etwa dem Absunk am Bug entsprechen, von 46 cm gemessen wurden, was heißt, dass auch dabei nicht unter extremen Randbedingungen gefahren wurde.

Der letztgenannte Punkt führte zu der Überlegung, durch den Einsatz eines speziellen Schiffes eventuell höhere Belastungen zu erzeugen. Bei den Messungen im Oktober 2012 konnte dafür das Aufsichtsboot des Abz Worms, die MS Worms (L/B/T = 20,19 m / 4,83 m / 1,10 m) gewonnen werden. Es hat am 16.10.2012 nach Anweisungen 9 Fahrten zu Berg und zu Tal im Wechsel durchgeführt. Alle Fahrten waren ufernah und mit Geschwindigkeiten bis über 13 km/h (s. Anlage 7, Blatt 3).

Auf Bild 3.5-13 sind alle Ergebnisse von Güterschiffen und der MS Worms aufgetragen. Man erkennt, dass tatsächlich deutlich höhere Werte für Absunk und Absunkgeschwindigkeit erreicht wurden.

Die Tendenzen, wie zuvor erläutert, bleiben grundsätzlich erhalten, nur sind die absoluten Werte größer: Der Absunk liegt bei knapp 45 cm, die Absunkgeschwindigkeit bei ca. 9 cm/s.

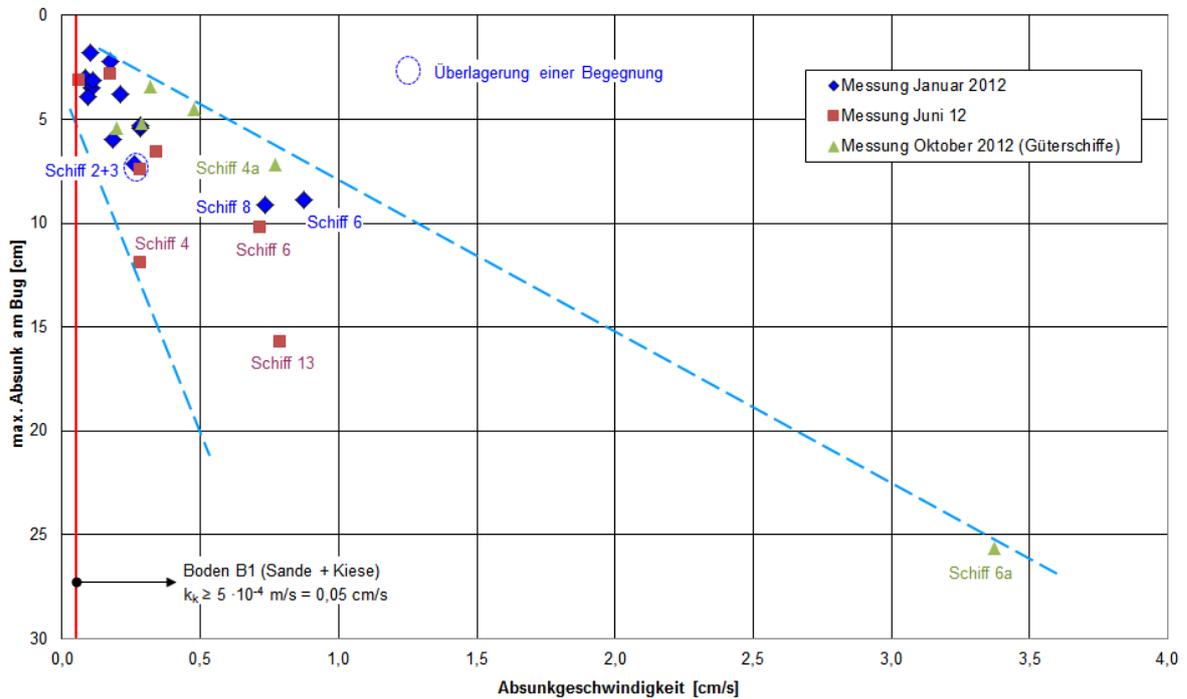


Bild 3.5-11: Werte für **max. Absink am Bug vs. Absunkgeschwindigkeit** für alle Güterschiffe aller drei Messkampagnen 2012; markante Schiffe sind hervorgehoben; außerdem ist die Durchlässigkeit des anstehenden Bodens eingetragen

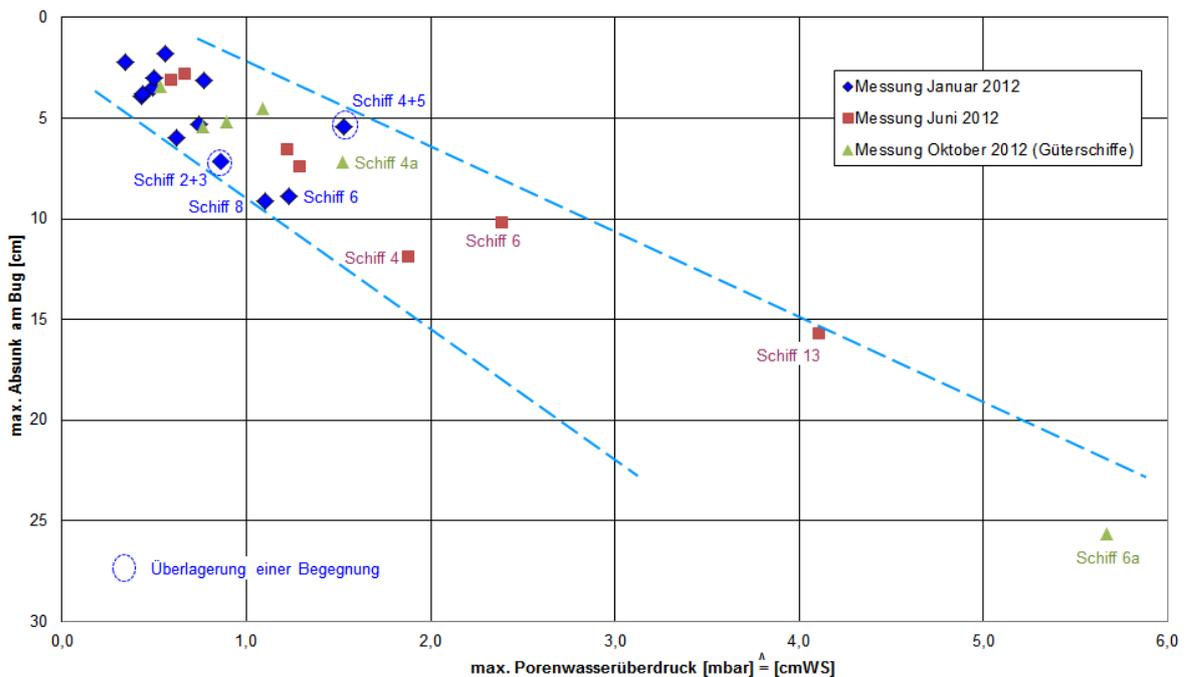


Bild 3.5-12: Werte für **max. Absink am Bug vs. max. Porenwasserüberdruck** für alle **Güterschiffe** aller drei Messkampagnen 2012; markante Schiffe sind hervorgehoben

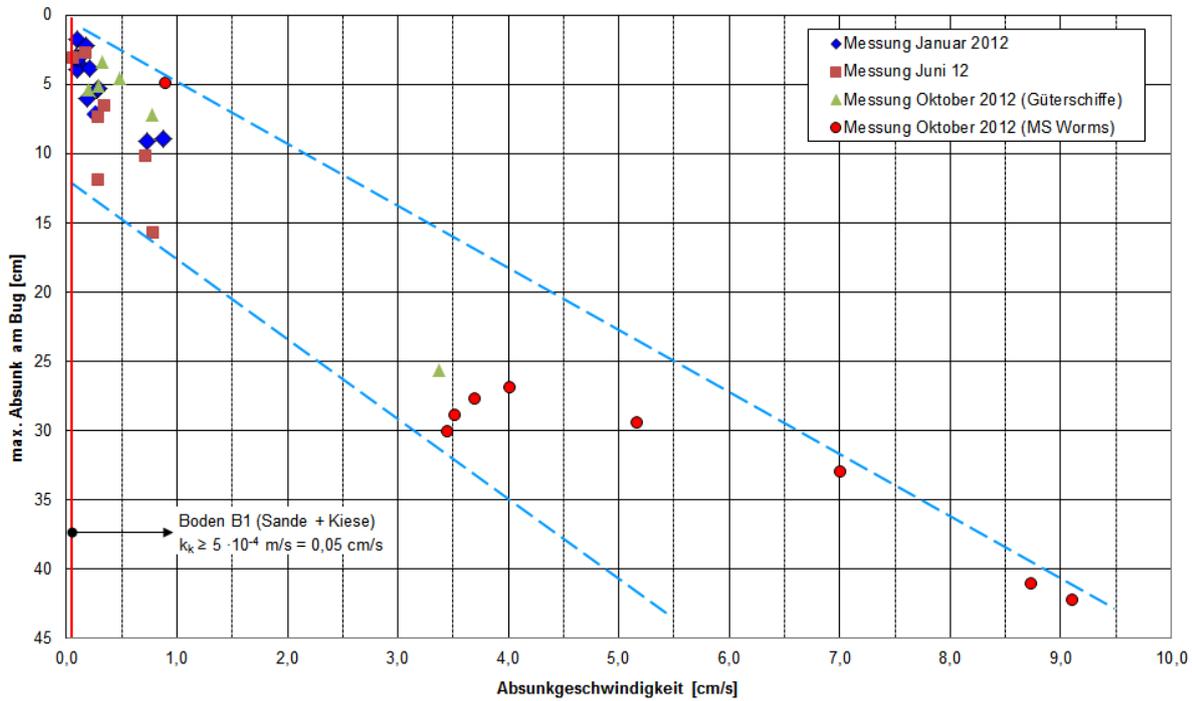


Bild 3.5-13: Werte für **max. Absink am Bug vs. Absinkgeschwindigkeit** für alle Schiffe (Güterschiffe u. MS Worms) aller drei Messkampagnen 2012; die Durchlässigkeit des anstehenden Bodens ist eingetragen

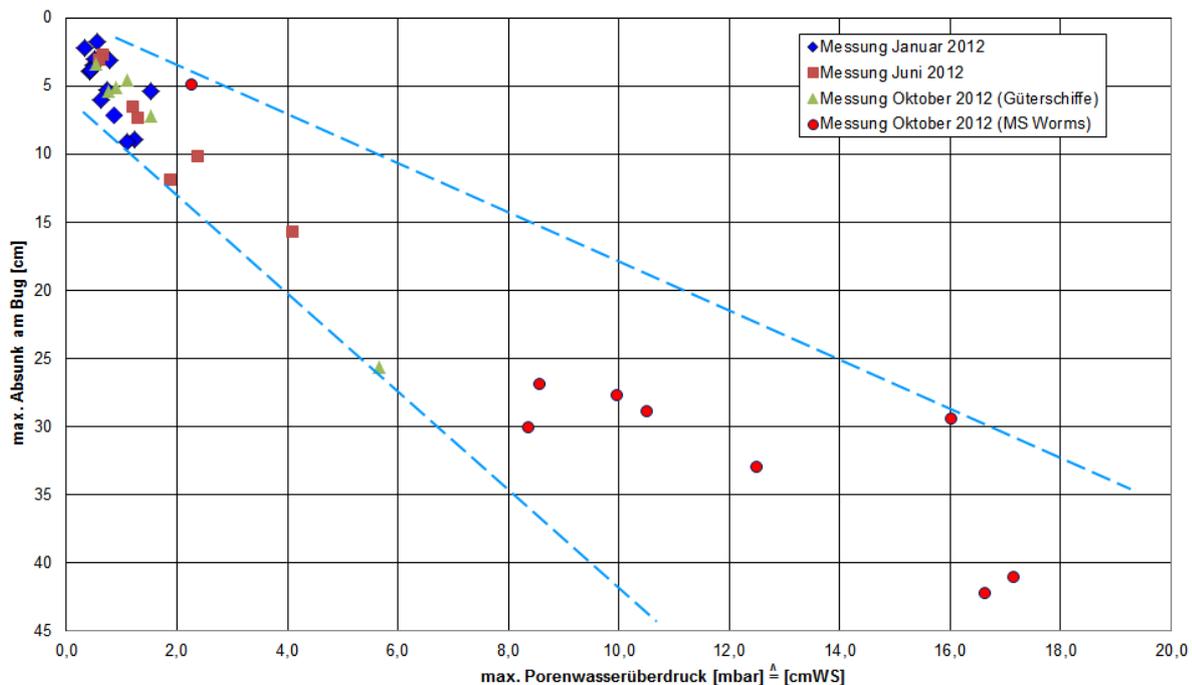


Bild 3.5-14: Werte für **max. Absink am Bug vs. max. Porenwasserüberdruck** für alle Schiffe (Güterschiffe u. MS Worms) aller drei Messkampagnen 2012

### • **Absunk vs. Porenwasserüberdruck**

Auf dem zweiten Diagramm werden die Größen maximaler **Absunk** und maximaler **Porenwasserüberdruck** (an der am tiefsten liegenden DS) betrachtet. Je schneller der Absunk stattfindet bzw. je größer die Absunkgeschwindigkeit ist, umso größer kann der Porenwasserüberdruck werden. Auf Bild 3.5-12 sind diese beiden Werte für alle Güterschiffe zu sehen; der Absunk ist wieder nach unten aufgetragen. Auch hier sind markante Schiffe mit den größten Messwerten hervorgehoben.

Es ist zu erkennen,

- dass erwartungsgemäß der Porenwasserüberdruck mit steigendem Absunk zunimmt,
- dass es sich bei dieser Zunahme um eine annähernd lineare Entwicklung handelt, was zeigt, dass die Durchwurzelung des Bodens zwischen Januar und Oktober 2012 noch nicht zu einer Vergrößerung der Durchlässigkeit des Bodens geführt hat,

*Hinweis: Es wird erwartet, dass bei stärkerer Durchwurzelung des Bodens dessen Durchlässigkeit zunimmt, wodurch es – bei sonst gleichen Randbedingungen – zu geringeren Porenwasserüberdrücken kommen würde.*

- dass die unterschiedlichen Messzeitpunkte innerhalb eines Jahres noch keinen Einfluss auf die Ergebnisse haben, was die zuvor gemachte Aussage bekräftigt, und
- dass bei den protokollierten Güterschiffen mit den gefahrenen Uferabständen und Fahrgeschwindigkeiten nur ein maximaler Porenwasserüberdruck von knapp 6 mbar [= cm WS] aufgezeichnet wurde.

Die Fahrten der MS Worms liefern auch hier deutlich vergrößerte Ergebnisse, die auf Bild 3.5-14 für Güterschiffe und die MS Worms aufgetragen sind. Die Tendenzen, wie zuvor erläutert, bleiben auch in diesem Fall grundsätzlich erhalten. Der Größtwert für den Porenwasserüberdruck liegt jetzt bei ca. 17 mbar, fast dem Dreifachen.

### • **Vergleich Messungen – Berechnungen**

Im Rahmen der Planungen für die Versuchsstrecke wurden neben langen Verkehrsbeobachtungen auch theoretische Berechnungen zur maximal möglichen Uferbelastung durchgeführt (BAW, BfG, 2010). Dazu wurde das Programm GBBSOft verwendet. Mit auf der sicheren Seite liegenden Annahmen wie

- ufernahe Position am äußersten Fahrrinnenrand,
- Ausnutzung der gesamten verfügbaren Antriebsleistung,
- Fahrt mit 97 % der kritischen Schiffsgeschwindigkeit

ergaben sich für den Absunk am Bug nach Anlage 10 in BAW, BfG (2010) z. B. bei Marke I – was etwa dem Wasserstand der 1. Messung im Januar 2012 entspricht – für Berg- und Tal-fahrt maximal

65 cm bei Rh-km 440,600

26 cm bei Rh-km 441,600

d. h. bei Rh-km 440,900 interpoliert ca. 53 cm. Bei den drei Messkampagnen 2012 wurden max. ca. 26 cm gemessen, also nur die Hälfte. Grund dafür sind die für die Berechnungen üblichen ungünstigen Annahmen, die von den wenigen beobachteten und auswertbaren Schiffen nicht erreicht wurden. Einzig die realen Uferabstände entsprachen etwa den für Berechnungen angenommenen Abständen.

#### • **Verläufe der maximalen Porenwasserüberdrücke**

Auf den folgenden 4 Diagrammen sind die Verläufe der maximalen Porenwasserüberdrücke im Boden unter der Böschungsoberfläche – unmittelbar nach Erreichen des Absunks im Bugbereich – über die IST-Tiefe für die auswertbaren Schiffe der drei Messkampagnen aufgetragen:

Januar 2012 → Bild 3.5-15

Juni 2012 → Bild 3.5-16

Oktober 2012 → getrennt nach Güterschiffen (Bild 3.5-17) und MS Worms (Bild 3.5-18)

Diese Kurven entsprechen dem grün hinterlegten Bereich auf Bild 3.5-1. Ab Bild 3.5-16 sind zum Vergleich die Ergebnisbereiche der vorangegangenen Messkampagnen markiert. Die maximalen Werte der Porenwasserüberdrücke sind als Wert  $\bar{U}$  auch in den Tab. 3.5-4 bis Tab. 3.5-6 zu finden. Prinzipiell entsprechen die Kurvenverläufe der theoretisch in Kap. 3.5.1, dort auf Bild 3.5-1 (grüne Parabel) erläuterten Form. Die Verläufe der Porenwasserüberdrücke aller auswertbaren Fahrten (Güterschiffe und MS Worms) aller drei Messkampagnen Januar, Juni und Oktober 2012 im Vergleich sind auf Bild 3.5-19 zu sehen. Dort sind die Verläufe als Gruppe den einzelnen Kampagnen farblich zugeordnet. Deutlich heben sich die Fahrten der MS Worms ab.

Um einen Überblick zu den Schiffspassagen zu gewinnen, bei denen je Messkampagne die maximalen Absunkwerte und die maximalen Porenwasserüberdrücke aufgetreten sind, sind die entsprechenden Werte in Tab. 3.5-7 zusammengestellt.

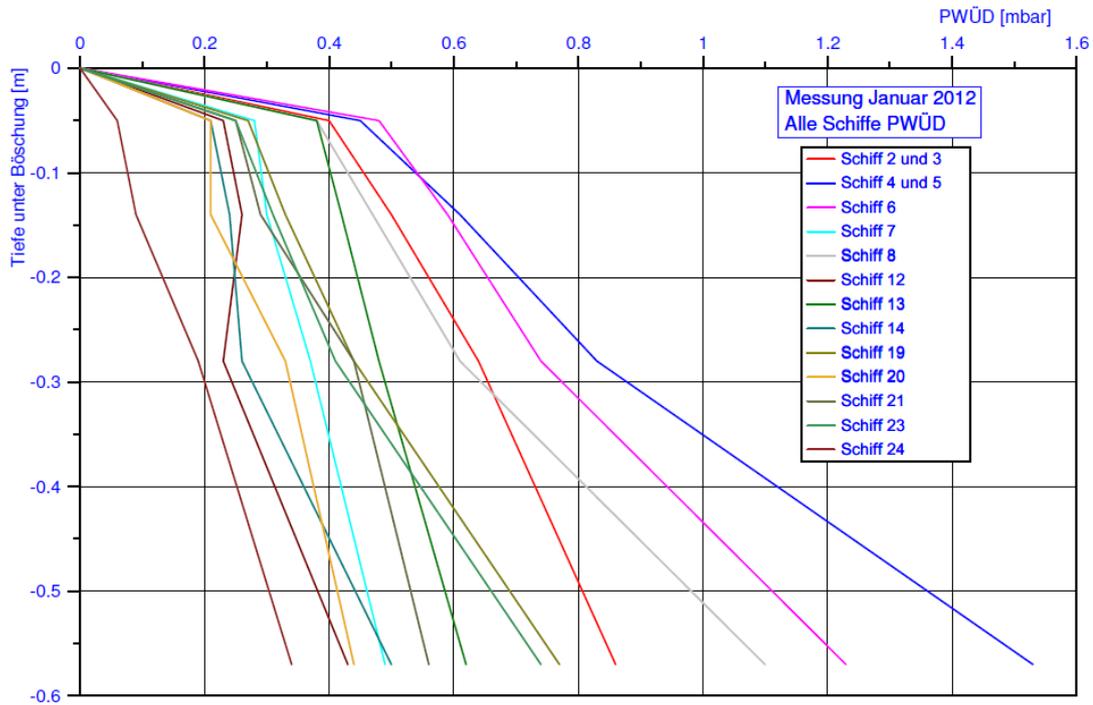


Bild 3.5-15: Verläufe der **maximalen Porenwasserüberdrücke** über die Tiefe unter der Böschungsoberfläche für die auswertbaren Schiffe der Messkampagne **Januar 2012**

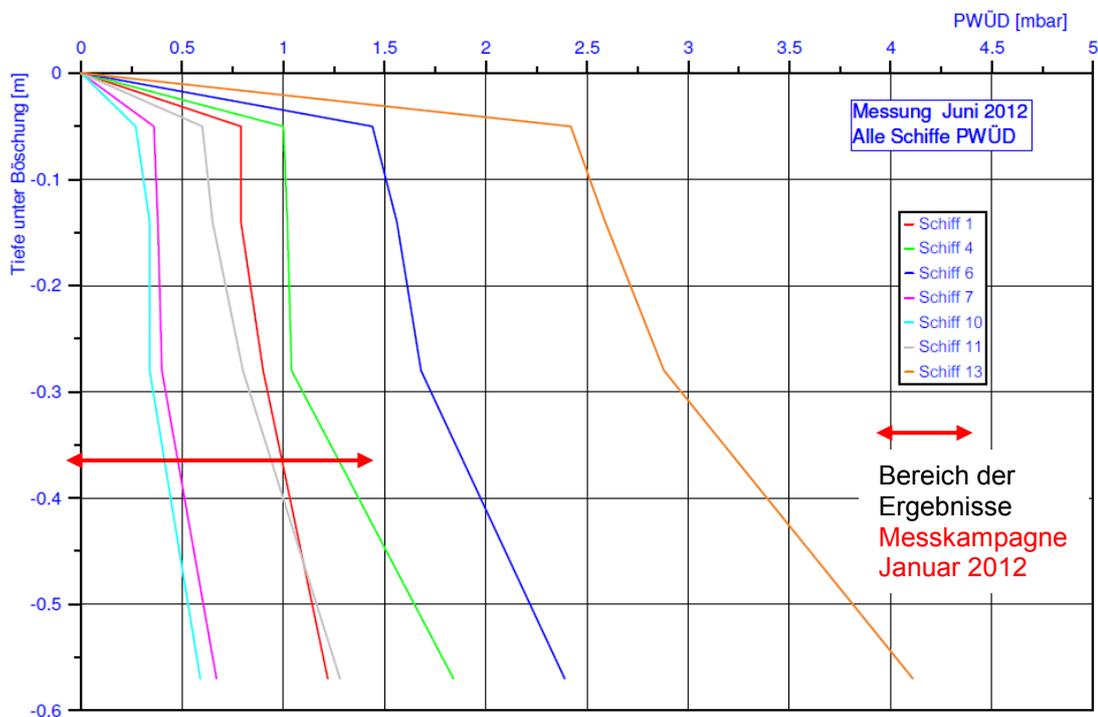


Bild 3.5-16: Verläufe der **maximalen Porenwasserüberdrücke** über die Tiefe unter der Böschungsoberfläche für die auswertbaren Schiffe der Messkampagne **Juni 2012**

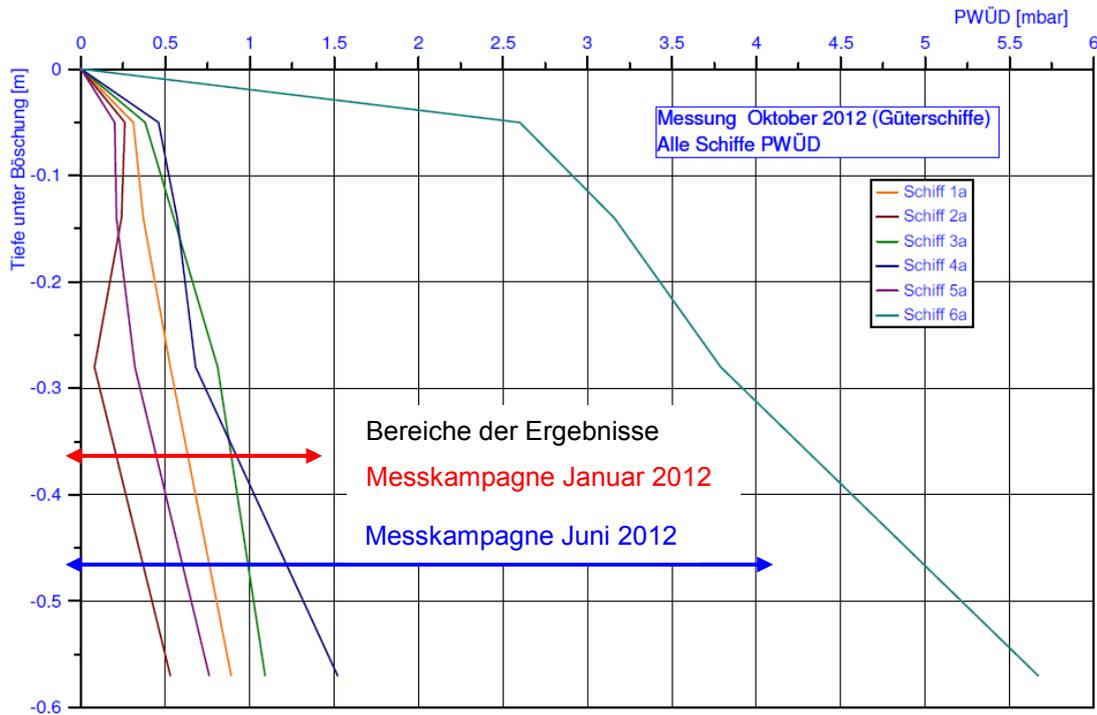


Bild 3.5-17: Verläufe der **maximalen Porenwasserüberdrücke** über die Tiefe unter der Böschungsoberfläche für die auswertbaren Güterschiffe der Messkampagne **Oktober 2012**

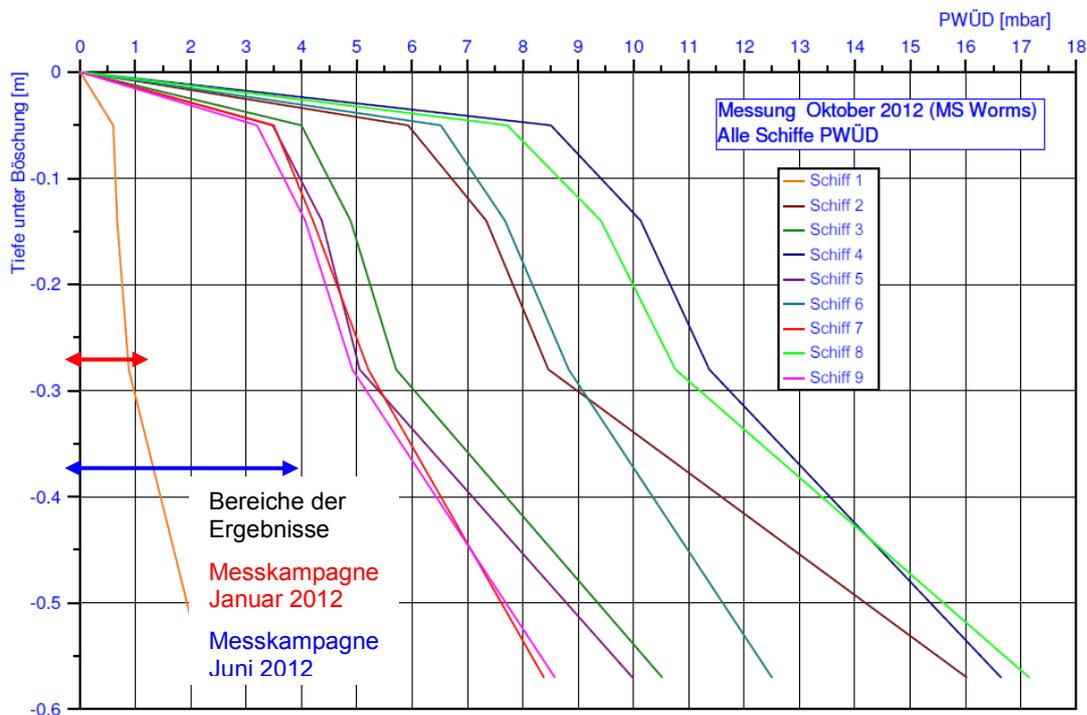


Bild 3.5-18: Verläufe der **maximalen Porenwasserüberdrücke** über die Tiefe unter der Böschungsoberfläche für die auswertbaren Fahrten der MS Worms der Messkampagne **Oktober 2012**

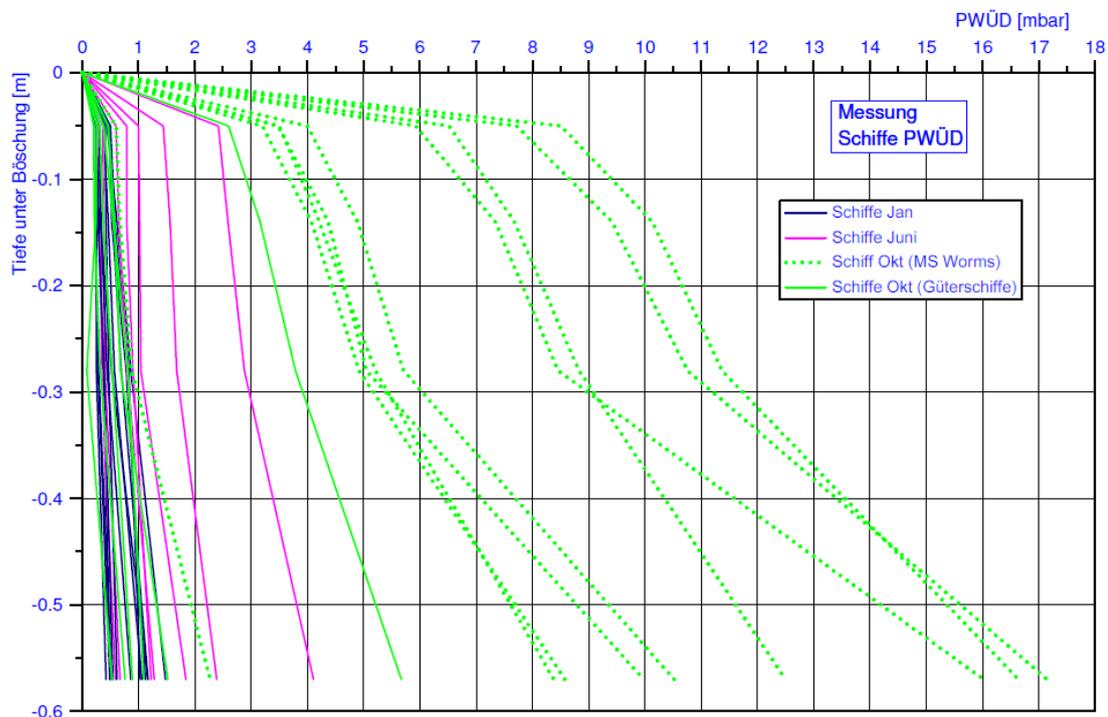


Bild 3.5-19: Verläufe der **maximalen Porenwasserüberdrücke** über die Tiefe unter der Böschungsoberfläche für alle auswertbaren Fahrten (Güterschiffe und MS Worms) aller drei Messkampagnen **Januar, Juni und Oktober 2012** im Vergleich

Tab. 3.5-7: Schiffspassagen mit den maximalen Absunkwerten und den maximalen Porenwasserüberdrücken

*Hinweis: Bei den Messkampagnen Januar und Oktober 2012 treten diese Werte bei verschiedenen Schiffen (Güterschiffe bzw. MS Worms) auf.*

Datum der Messung	Wasserspiegelabsunk	Schiff Nr.	max. Porenwasserüberdrücke bei MP1a in SOLL- / IST-Tiefe unter BOK [m]			
			DS2 0,10 / 0,06	DS3 0,20 / 0,16	DS4 0,40 / 0,30	DS5 (Ü) 0,70 / 0,58
[-]	[cm]	[-]	[mbar]	[mbar]	[mbar]	[mbar]
24.01.2012	9,1 <sup>1)</sup>	8	0,38	0,47	0,61	1,10
	5,4	4 + 5	0,45	0,61	0,83	1,53 <sup>2)</sup>
12.06.2012	15,7 <sup>1)</sup>	13	2,42	2,59	2,88	4,1 <sup>2)</sup>
16.10.2012	25,6 <sup>1)</sup>	6a (Güter)	2,60	3,16	3,79	5,67 <sup>2)</sup>
	42,3 <sup>1)</sup>	4 (MS WO)	8,51	10,13	11,37	16,64
	41,1	8 (MS WO)	7,72	9,41	10,76	17,15 <sup>2)</sup>

Hinweise:

<sup>1)</sup> maximaler Wasserspiegelabsunk bei P2

<sup>2)</sup> maximaler PWÜD-Wert Ü bei Druckdose DS5

### 3.5.4 Fazit und Ausblick

Nach den bisherigen Auswertungen der drei Messkampagnen 2012 lässt sich Folgendes sagen:

- Bei Schiffsvorbeifahrt treten im Bereich der Versuchsstrecke nachweislich Porenwasserüberdrücke im Boden auf.
- Die Größe der Porenwasserüberdrücke ist abhängig vom Absunk, der wiederum bestimmt wird von Fahrposition, Geschwindigkeit und Abmessungen des passierenden Schiffes bzw. Verbandes.
- Von den wenigen, während der Messkampagnen 2012 registrierten Schiffen wurden die möglichen Fahrbedingungen, z. B. hinsichtlich Uferabstand und Geschwindigkeit, nicht erreicht; langfristig sind größere Werte möglich.
- Die Porenwasserüberdrücke lassen sich gut ermitteln, auch wenn sie überwiegend sehr gering sind; dies liegt an der gewählten, hochempfindlichen Messausstattung.
- Für das Jahr 2012 ist noch kein Einfluss des Wurzelwachstums auf die Entstehung und Größe der Porenwasserüberdrücke zu erkennen.
- Für die Interpretation der Porenwasserüberdrücke ist die Dokumentation der technischen Daten und der Fahrweisen der passierenden Schiffe wichtig.

In den nächsten Jahren sind im Rahmen des Monitorings weitere Messungen geplant, einerseits separat bei besonderen Wasserständen, andererseits begleitend bei längeren Verkehrsbeobachtungen. Ggf. lassen sich dabei aufgrund der Erfahrungen der Messungen aus 2012 definierte Vorbeifahrten von größeren Schiffen als der MS Worms organisieren, um noch aussagekräftigere Ergebnisse zu erlangen. Auch wären Messungen bei niedrigeren Wasserständen, nur wenig über AZW, denkbar, um größere Absunkereignisse zu erhalten. Zu beachten ist dabei nur, dass die Drucksonden immer unter Wasser sind.

Fokus aller weiteren Messungen in den kommenden Jahren ist, ob und in welchem Maß sich Einflüsse der zunehmenden Durchwurzelung des Bodens auf die Ausbildung von Porenwasserüberdrücken bei Schiffspassagen einstellen.

Vertiefte Auswertungen der Ergebnisse der Kampagnen 2012 an den parallel liegenden Messpunkten MP1a und MP1b zueinander und der Messungen bei MP1a/1b im Vergleich zu denen bei MP 2 können weitere Erkenntnisse liefern. Z. B. sind voraussichtlich Aussagen zum unterschiedlichen Auf- und Abbau des Porenwasserüberdrucks mit der Zeit und abhängig von der Position in der Böschung bei einer Schiffspassage möglich. Als Resultat könnte sich ergeben, dass evtl. auf die Auswertung der hoch gelegenen Druckmessdosen beim Messpunkt MP2 verzichtet werden kann.

### 3.6 Vegetation

Das vegetationskundliche Monitoring, das von der BfG über einen Zeitraum von vorerst fünf Jahren nach Bauausführung in der Versuchsstrecke durchgeführt wird, ist notwendig, um die Wirksamkeit der pflanzlichen Bauweisen hinsichtlich Gewährleistung der Ufersicherung zu ermitteln, aber auch die damit verbundenen ökologischen Aufwertungen aus vegetationskundlicher Sicht zu dokumentieren und zu bewerten.

Um Aussagen über die Wirksamkeit der pflanzlichen Ufersicherungselemente und das pflanzliche Besiedlungspotenzial ableiten zu können, beinhaltet das durchzuführende Monitoring zwei Bestandserhebungen der Vegetation pro Jahr (Frühjahr/Herbst). Die Ergebnisse dieser Bestandserhebungen werden den Ergebnissen der vegetationskundlichen Ist-Zustandserhebung, die vor Beginn der Baumaßnahme im Frühjahr 2009 durchgeführt wurde, gegenübergestellt. Weitere Vergleichsbasis stellt eine insgesamt 200 m lange Referenzstrecke (jeweils 100 m unter- und oberstromig in Verlängerung der Versuchsstrecke) (vgl. Bild 2.1-1, Kap. 2.1) dar, die in diesem Monitoring ebenfalls seit 2009 vegetationskundlich untersucht wird.

In das Monitoring der BfG werden Ergebnisse der Vitalitätsuntersuchungen pflanzlicher Bauweisen der Universität für Bodenkultur Wien – Department für Bautechnik und Naturgefahren, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau – mit einbezogen, wozu der Bericht (Sokopp, 2013) noch in Arbeit ist. Diese Vitalitätsuntersuchungen wurden von der BAW im Rahmen einer Doktorarbeit beauftragt, um insbesondere Bauweisen unter Verwendung von Weiden (Weidenspreitlagen, -setzstangen, -steckhölzer) bezüglich der Wuchsleistung und Vitalität näher zu untersuchen. Darüber hinaus wurden Ende 2012 im Rahmen einer Masterarbeit an der Universität Hannover Untersuchungen zur Wurzelentwicklung im Bereich der Weidenspreitlagen im VF 3 durchgeführt, deren endgültige Ergebnisse allerdings erst in den nächsten Bericht einfließen können.

Weiterhin bildet das Monitoring eine Grundlage, um Aussagen über eine künftige Unterhaltung der pflanzlichen Bauweisen treffen zu können.

#### Erfassungsmethodik

Die vegetationskundlichen Begehungen 2012 fanden seitens der BfG vom 4.-6. Juni 2012 und vom 9.-11. Oktober 2012 statt. Da die Wachstumsbedingungen für die Vegetation an der Uferböschung sowohl durch Witterungseinflüsse als auch v. a. durch die schwankenden Wasserstände und die hydraulische Belastung geprägt sind, wurden sowohl die Böschungen für jedes Versuchsfeld als auch die Böschungen der Referenzflächen in überwiegend drei hangparallele Untersuchungsflächen aufgeteilt (Wasserwechselzone/unterer Bereich, AZW-0,5 m bis etwa AZW (+0,5 m), mittlerer Bereich AZW (+0,5 m) bis AZW + 1,70 m und oberer Böschungsbereich AZW + 1,70 m bis BOK).

Das Untersuchungsdesign unterscheidet sich für die einzelnen Versuchsfelder in Abhängigkeit von den jeweils zu untersuchenden Sicherungsbauweisen und Fragestellungen, die bezüglich der eingesetzten Bauweisen für das Projekt von Interesse sind. In den Versuchsfeldern 2, 3, 5 und 7, in denen die Pflanzen maßgeblich die Ufersicherung bilden, liegt der Fokus besonders auf der Vitalität und Entwicklung der Pflanzen hinsichtlich Uferstabilität. In den Feldern 1, 4 und 6, in denen die Pflanzen vorrangig zur ökologischen Aufwertung der bestehenden Steinschüttung dienen, liegt der Schwerpunkt in der Bewertung der ökologischen Wirksamkeit. In VF 9 wird die pflanzliche Sukzession auf den zurück gebauten Böschungsflächen dokumentiert, ebenso die Entwicklung der Weidensetzstangen, die im Bereich der Ausfachungsbühne bzw. an der Böschungsoberkante eingebaut wurden. In VF 8 wird ebenfalls die pflanzliche Sukzession im Schutz des erhöhten Steinwalls dokumentiert.

Die einzelnen Untersuchungen pro Versuchsfeld werden in Tab. 3.6-2 gelistet.

Vegetationskundliche Untersuchungen zur Beurteilung der Uferstabilität und ökologischer Aspekte beinhalten:

- Untersuchung der eingebauten Pflanzen auf ihre Vitalität und Wuchsleistung (auch Ausbreitungspotenzial) unter Berücksichtigung der Untersuchungen der BOKU Wien
- möglichst vollständige und flächendeckende Erfassung des Pflanzenarteninventars mit Mengenschätzung (Artmächtigkeit) der einzelnen Arten
- Wurzeluntersuchungen an ausgewählten Bauweisen im Rahmen einer Masterarbeit der Uni Hannover
- Aufnahme struktureller Parameter (z. B. Totholz-/Treibselansammlungen)

Einheitlich wurde für alle Versuchsfelder je hangparalleler Untersuchungsfläche eine Vegetationsaufnahme nach der Methode von Braun-Blanquet (BRAUN-BLANQUET, 1964) angefertigt. Dabei wurde das Pflanzenarteninventar jedes Böschungsbereiches flächendeckend und möglichst vollständig erfasst und die Artmächtigkeit oder Menge (Deckung oder Individuenzahl) der einzelnen Arten geschätzt (vgl. Tab. 3.6-1). Die Daten zu den einzelnen Versuchsfeldern wurden in eine vegetationskundliche Datenbank eingepflegt und werden dort künftig erweitert. Ein Auszug aus den Vegetationslisten liegt diesem Bericht exemplarisch für die Referenzstrecke (Oberstrom) und für VF 5 a und b in der Anlage 5 bei.

Tab. 3.6-1: International verwendete Aufnahmen-Skalen bei der Methode nach BRAUN-BLANQUET.

r:	1 Individuum in der Aufnahme­fläche
+	2-5 Individuen in der Aufnahme­fläche, Deckung < 5 %
1:	6-50 Individuen in der Aufnahme­fläche, Deckung < 5 %
2m:	> 50 Individuen in der Aufnahme­fläche, Deckung < 5 %
2a:	Individuenzahl beliebig, Deckung 5-15 %
2b:	Individuenzahl beliebig, Deckung 16-25 %
3:	Individuenzahl beliebig, Deckung 26-50 %
4:	Individuenzahl beliebig, Deckung 51-75 %
5:	Individuenzahl beliebig, Deckung 76-100 %

Als strukturelle Parameter wurden erhoben:

- Gesamtdeckung der Pflanzen
- Deckung und Höhe Strauchschicht
- Deckung und Höhe Krautschicht
- Deckung Treibsel/Totholz
- Deckung offener Boden/Steine

Vitalitätsuntersuchungen erfolgten rein visuell anhand des Erscheinungsbildes der Pflanzen, v. a. hinsichtlich Wuchskraft und von z. B. der frühzeitigen Laubverfärbung, Blattverlusten, Fraßmerkmalen, usw. in vier Stufen:

- gut
- mittel
- schlecht
- abgestorben

Die Vitalitätseinschätzung von Setzstangen, Faschinen sowie Hecken- und Buschlagen wurde zusätzlich durch Messung der Trieb­länge unterstützt. Da auch pflanzliche oder tierische Schädlinge die Vitalität von Pflanzen beeinträchtigen können, wurden auch diese Aspekte mit kontrolliert.

Tab. 3.6-2: Übersicht über die in den einzelnen Versuchsfeldern durchgeführten Vegetationsuntersuchungen

<b>VF 1</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vitalitätsuntersuchung der Weidensetzstangen (differenziert für Weidensetzstangen lang/kurz) und -faschinen im unteren Böschungsbereich und der Hecken- und Buschlagen im mittleren/oberen Böschungsbereich</li> <li>- Je eine Vegetationsaufnahme im unteren, mittleren und oberen Böschungsbereich jeweils getrennt für die Bereiche Pflanzgräben und Steinschüttung</li> </ul>
<b>VF 2/3</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Je eine Vegetationsaufnahme im untersten, unteren und mittleren und oberen Böschungsbereich</li> <li>- Schätzung Deckungsgrad der einzelnen Weidenarten</li> <li>- Gemittelte Länge der Weidentriebe, differenziert für die einzelnen Böschungsbereiche</li> <li>- Aufnahme von Vitalitätsparametern</li> <li>- ergänzende Detailuntersuchungen (mittels Transekten) zur Vitalität und Struktur, durchgeführt von der BOKU Wien</li> <li>- Wurzeluntersuchungen (VF 3)</li> <li>- Untersuchung der Gehölzentwicklung auf Böschungsschulter in VF 2 (Arten, Vitalität, Wachstum)</li> </ul>
<b>VF 4</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Je eine Vegetationsaufnahme im unteren/mittleren und oberen Böschungsbereich</li> </ul>
<b>VF 5</b>	<p><b>Gesamt:</b> Untersuchung der Gehölzentwicklung auf Böschungsschulter (Arten, Vitalität, Wachstum)</p> <p><b>VF 5a:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Je eine Vegetationsaufnahme in Pflanzzone 1 und 2 (Röhrichtgabionen); Aufnahme von Vitalitätsparametern, Schadstellen, Ausfall von Pflanzenarten</li> <li>- Je eine Vegetationsaufnahme (Spontanvegetation) auf Steinmatratzen ohne Übererdung (Freispülung) und mit Übererdung</li> </ul> <p><b>VF 5b:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Je eine Vegetationsaufnahme im unteren und mittleren Böschungsbereich auf Pflanzmatten</li> <li>- Je eine Vegetationsaufnahme (Spontanvegetation) auf Steinmatratzen ohne Übererdung (Freispülung) und mit Übererdung</li> </ul>
<b>VF 6</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Je eine Vegetationsaufnahme im unteren, mittleren und oberen Böschungsbereich</li> <li>- Kontrolle der eingebrachten Röhrichtbulve (Differenzierung nach Arten, Vitalität)</li> </ul>
<b>VF 7</b>	<p><b>VF 7a1:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- <u>Vegetationsmatten auf Schafwolle:</u> je eine Vegetationsaufnahme für Mattentyp blau (wasserseitige Zone), darüber für Mattentyp rot (20 m Länge) und Mattentyp orange (20 m Länge)</li> <li>- <u>Saat mit Kokosgewebeauflage:</u> Je eine Vegetationsaufnahme in Abhängigkeit der zum Zeitpunkt der Aufnahme ausgebildeten sichtbaren Zonierung (insg. 3 ausgebildete Zonen= 3 Vegetationsaufnahmen)</li> </ul> <p><b>VF 7a2:</b> <u>Vegetationsmatten auf Kunststoffvlies:</u> vgl. Aufnahmeschema VF 7a1</p> <p><b>VF 7b:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Aufnahme der Arten aus Röhrichtwalze</li> <li>- <u>Vegetationsmatten auf Kunststoffvlies:</u> je eine Vegetationsaufnahme im wasserseitigen Bereich (20 m Mattentyp rot unterteilt von 20 m Mattentyp orange)</li> <li>- <u>Vegetationsmatten auf Kokosgewebe:</u> eine Vegetationsaufnahme im mittleren/oberen Böschungsbereich (20 m Mattentyp rot unterteilt von 20 m Mattentyp orange)</li> </ul> <p><b>VF 7c:</b> <u>Vegetationsmatten auf Schafwolle:</u> vgl. Aufnahmeschema VF 7b</p>
<b>VF 8</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Je eine Vegetationsaufnahme im unteren, mittleren und oberen Böschungsbereich</li> </ul>
<b>VF 9</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vitalitätsuntersuchung der Weidensetzstangen im Bereich der Ausfachungsbühne und an der Böschungsoberkante</li> <li>- Je eine Vegetationsaufnahme im unteren, mittleren und oberen Böschungsbereich (dabei besondere Berücksichtigung eines sehr dynamischen Bereichs oberstromig der Ausfachungsbühne) sowie im Bereich der Setzstangen am Betriebsweg und im Bereich der Ausfachungsbühne selbst</li> </ul>

### 3.7 Fauna

Als Indikatoren zur Beurteilung der technisch-biologischen Ufersicherungen aus faunistischer Sicht wurden Vögel, Laufkäfer, Spinnen, Reptilien, Makrozoobenthos und Fische ausgewählt. Das Monitoring umfasst die Ist-Zustandserfassung vor Beginn der Baumaßnahmen (Prämonitoring) und Erfolgskontrollen nach Fertigstellung der Versuchsstrecke (Postmonitoring). Als Referenz wurde der stromab angrenzende Uferabschnitt mit einer Länge von 300 m ausgewählt. Die Erfassung des Ist-Zustandes wurde im Zeitraum von April bis Oktober 2010 durchgeführt. Um das Besiedlungspotential der terrestrischen Fauna zu ermitteln, wurden neben der Versuchs- und Referenzstrecke auch umliegende Biotope wie Röhrichte und Wiesenstandorte untersucht (ILN, 2011).

Das Postmonitoring wird sich auf die Versuchs- und Referenzstrecke beschränken. Mit Ausnahme der Fische beginnen die Erfolgskontrollen im Frühjahr 2013, wenn sich die Baustelleneinflüsse reduziert haben und die Vegetationsentwicklung in der Versuchsstrecke eingesetzt hat. Das Fischmonitoring begann bereits im Frühsommer 2012 und wird im Jahr 2013 fortgesetzt. Weitere Untersuchungen zur Fauna schließen sich in den Jahren 2014 und 2016 an, so dass Daten zur Besiedlung aus dem 2., 3. und 5. Jahr nach Fertigstellung der Versuchsstrecke vorliegen werden (Fische 1., 2., 3. und 5. Jahr). Für jede Tiergruppe wird ein Erfassungsdesign festgelegt und über die Jahre beibehalten werden, so dass die Vergleichbarkeit der Daten gewährleistet sein wird. Wenn möglich werden die Methoden und Erfassungszeiten der Erfolgskontrollen entsprechend denen der Ist-Zustandserfassung gewählt.

Zur Ermittlung der Fischgemeinschaften an der Versuchs- und Referenzstrecke wurden am 31.05.2012 (Pegel Worms = 210 cm) und am 25.09.2012 (Pegel Worms = 199 cm) Elektrobefischungen mit dem Boot (siehe Bild 3.7-1) durchgeführt. Dazu wurde die Uferlinie gegen die Strömung unter Anwendung der Random Point Abundance Sampling Methode abgefahren. Die Methode basiert auf einer zufälligen Auswahl zahlreicher Befischungspunkte, um die ungleichmäßig verteilten Jungfischschwärme repräsentativ erfassen zu können. Dabei steht jeder Befischungspunkt (Point) für ein einmaliges Eintauchen der Fangelektrode für ca. 10 Sekunden. Entlang der Referenz- und Versuchsstrecke wurden bei jeder Befischung insgesamt ca. 150 Points in einem Abstand von 0,5 bis 3,5 m zum Ufer befischt. Der Abstand zwischen den Points betrug 5 - 10 m. Die Anzahl der Points pro Versuchsfeld variierte je nach dessen Länge zwischen 12 und 42, in der 300 m langen Referenzstrecke wurden 76 Befischungspunkte gesetzt.

Die betäubten Fische wurden mit einem Anodenkescher ( $d = 15 \text{ cm}$ ) abgefischt und für jeden einzelnen Point separat unmittelbar nach dem Fang Art bestimmt, Längen vermessen und dann schonend wieder zurückgesetzt. Fische, die vor Ort nicht bestimmt werden konnten, wurden in 4%iger Formalinlösung fixiert und dann im Labor bestimmt. Weiterhin wurden für jeden Befischungspunkt folgende Parameter erfasst:

- Entfernung vom Ufer (0,5-3,5 m)
- Tiefe (0,2-2 m)
- Dominante Substratart (Sand, Kies, Blockstein, Totholz)
- Vorhandensein von Makrophyten (Wasserpflanzen)
- Sonderstrukturen (Rampen, Treppen, Anleger, etc.)

Die Arten- und Individuenzahl der Versuchsstrecke werden mit denen der Ist-Zustandserfassung abgeglichen (siehe Kapitel 4.1.2) und sowohl Versuchsfeld bezogen als auch anhand der verfügbaren Strukturen ausgewertet (siehe Kapitel 4)



Bild 3.7-1: Elektrofischung der Versuchsstrecke: Boot und Equipment (links), und Befischung VF1 (rechts)

### 3.8 Fotodokumentation

Zur Dokumentation der Ergebnisse der Uferinspektionen (Kap. 3.2), der Vegetationsaufnahmen (Kap. 3.6) und der faunistischen Untersuchungen (Kap. 3.7) wurde eine Vielzahl von Fotos angefertigt, die teilweise in den laufenden Text dieses Berichtes integriert wurden. Aus geotechnischer Sicht wird damit der Zustand der verschiedenen Ufersicherungsarten zu bestimmten Zeitpunkten nach Bauabschluss und deren Entwicklung dokumentiert. Stabile, sich gut entwickelnde Uferbereiche werden genauso gezeigt wie Schäden, Befestigungsprobleme, Erosionserscheinungen o. ä. Aus ökologischer Sicht dokumentieren sie den Zustand und die Entwicklung der Vegetation.

Zusätzlich werden seit April 2010, ca. eine Vegetationsperiode vor Baubeginn im September 2011, Panorama-Fotos vom gegenüberliegenden linken Ufer in regelmäßigen und sinnvollen Zeitabständen (z. B. nach Hochwasserereignissen) aufgenommen. Direkt neben den linksrheinischen 10 Hektometerzeichen von Rh-km 440,600 bis Rh-km 441,600 wurden nachvollziehbare Standpunkte gewählt, von denen aus die hochauflösenden Fotos erstellt werden. Diese Aufnahmen werden anschließend in einer digitalen Nachbearbeitung aneinandergefügt, sodass entweder die Darstellung der gesamten 1 km langen Versuchsstrecke möglich ist oder aufgrund der hohen Auflösung auch der einzelnen Versuchsfelder und Details in ggf. größerem Maßstab.

Ziel dieser Panorama-Aufnahmen ist es, ausgehend vom Ausgangszustand und der Zeit der Baumaßnahme, nach Bauabschluss in der Monitoringphase die Entwicklung der unterschiedlichen Ufersicherungsarten in den einzelnen Versuchsfeldern übersichtlich und vergleichbar zu dokumentieren. Die Aufnahmen erfolgen bei niedrigen Wasserständen, um die Ufersicherungsmaßnahmen über die gesamte Böschung fotografisch erfassen zu können.

Die Aufnahmedaten aller zwischen April 2010 und Oktober 2012 erstellten Panorama-Fotos und ihre speziellen Aspekte sind in Tab. 3.8-1 aufgelistet. Für den vorliegenden Bericht über die erste Monitoringphase sind die 7 Aufnahmen vom 15.09.2012 (Baubeginn) bis zum 31.10.2012 für die Darstellung der zeitlichen Entwicklung der einzelnen Versuchsfelder 1 bis 9 in den Anlagen 4.1 bis 4.9 zusammengestellt. Die Fotos sind für alle Versuchsfelder etwa im gleichen Maßstab dargestellt, um Vergleiche innerhalb eines Versuchsfeldes, aber auch zwischen den einzelnen Feldern zu ermöglichen. Aufnahmedatum und die bei der Aufnahme vorherrschenden Wasserstände sind zusätzlich vermerkt.

Tab. 3.8-1: Liste aller Panorama-Fotos zwischen April 2010 und Oktober 2012

Datum	Aspekt	bzgl. Bau- maßnahme	Jahr
14.04.2010	Ausgangszustand weit vor der Baumaßnahme, Frühjahr	vor	2010
29.09.2010	Ausgangszustand weit vor der Baumaßnahme, Herbst		
03.03.2011	Ausgangszustand vor der Baumaßnahme, Frühjahr	während	2011
15.09.2011	Zustand direkt vor Baubeginn, Spätsommer		
24.10.2011	Zustand während der Baumaßnahme, Herbst		
30.11.2011	Zustand während der Baumaßnahme, Herbst		
18.01.2012	Zustand nach Bauende/ nach Hochwasser, Winter	nach	2012
23.05.2012	Zustand Frühjahr/Sommer		
26.07.2012	Zustand nach Hochwasser, Sommer		
31.10.2012	Zustand Herbst		

## 4. Erste Monitoringergebnisse

### 4.1 Grundsätzliche Feststellungen

#### 4.1.1 Uferstabilität und Vegetation

Die Einbauerfahrungen und ersten Monitoringergebnisse werden in den folgenden Kapiteln konkret für die unterschiedlichen Bauweisen der einzelnen Versuchsfelder dargestellt. Es gibt jedoch eine Reihe von grundsätzlichen Erfahrungen und Feststellungen, die für alle Bauweisen gelten und bei weiteren Anwendungen der Ufersicherungsmaßnahmen mit Pflanzen berücksichtigt werden müssen. Diese werden in diesem Kapitel vorangestellt.

#### **Pflanzmaterial:**

- Die Möglichkeiten zur Gewinnung von geeignetem Pflanzmaterial (z. B. Weidenäste, Röhrichtpflanzen usw.) vor Ort sollten frühzeitig abgeklärt werden. Dabei müssen die naturschutzfachlichen Vorgaben hinsichtlich der Zeiten, in denen die Pflanzen gewonnen werden können, beachtet werden. Die Flächen, auf denen Pflanzmaterial gewonnen werden kann, müssen ggf. in Abstimmung mit den zuständigen Naturschutzbehörden festgelegt werden.
- Material aus Anzuchtbetrieben muss frühzeitig beauftragt werden (Berücksichtigung der Anzucht- und Lieferzeiten); aufgrund der Erfahrungen in der Versuchsstrecke erscheinen frühzeitige und laufende Kontrolle durch den AG vor Ort oder im Anzuchtbetrieb (richtige Artenwahl, Einhaltung von Pflanzzonen, Anzuchterfolg) unbedingt erforderlich, um ein qualitätsgerechtes Produkt für den Einbau sicher zu stellen.
- Herkunftsnachweise müssen frühzeitig eingefordert und bei Lieferung geprüft werden.
- Die Richtigkeit und Qualität der gelieferten Pflanzen oder Pflanzelemente muss vor Einbau geprüft werden.
- Sofern ein zeitnaher Einbau nach der Gewinnung oder Lieferung von Pflanzen auf der Baustelle nicht möglich ist, müssen die Pflanzen entsprechend DIN 18916 fachgerecht zwischengelagert werden.
- Die Einbau-/Ausführungszeiten müssen so gewählt sein, dass der bestmögliche Anwuchserfolg gewährleistet ist, z. B. Ansaaten in der Vegetationszeit (Frühjahr/ggf. Herbst), Pflanzungen von Gehölzen und unbewurzelten, ausschlagfähigen Pflanzenteilen besser in der Zeit der Vegetationsruhe (Oktober/November bis März/April).

### **Einbau/Befestigung:**

- Generell ist beim Einbau von Pflanzen große Sorgfalt wichtig, da bei Beschädigungen von Pflanzen oder Pflanzenteilen der Anwuchserfolg ausbleiben kann.
- Pflanzen/-teile sind gut in das anstehende Substrat einzubinden oder einzuschlämmen, um ein Anwachsen der Pflanzen bzw. eine Wurzelentwicklung zu ermöglichen, einer Austrocknung vorzubeugen und eine ausreichende Verankerung zu gewährleisten (z. B. lückenloses Wiederandecken von Pflanzlöchern/ -gräben).
- Besonders wichtig ist eine ausreichende Befestigung der Pflanzen oder einzelnen Bauweisen auf der Böschung, da die Pflanzen erst nach einer ausreichenden Wurzelbildung (nach mehreren Monaten) selbst mit dem Untergrund verankert sein können. Die flächige Verlegung von Astmaterial (Weidenspreitlagen) oder auch Vegetationsmatten erfordern eine dichte Verpflockung in Verbindung mit Riegelhölzern und Drahtverspannungen und ggf. einzelnen Wasserbausteinen als zusätzliche Auflast, um die Bauweisen für einen schlüssigen und festen Bodenkontakt möglichst flächig an den Untergrund zu pressen. Dies ist insbesondere dann erforderlich, wenn in der Anfangszeit ein Überstau möglich ist, der die Maßnahmen zusätzlich durch Auftrieb belastet.
- Übergangsbereiche zwischen einzelnen Bauweisen sind fließend zu gestalten. Harte Übergänge und Versätze sowie unzureichend befestigte („flatternde“) Materialien sind zu vermeiden, um bevorzugte Strömungsangriffspunkte und eine gegenseitige nachteilige Beeinflussung verschiedener Bauweisen auszuschließen. Pflanzliche Bauweisen müssen ausreichend tief in Übergangsbereiche eingebunden werden.
- Um größere Zwischenräume zwischen einzelnen Materialien (z. B. Röhrichtgabionen), die ungeschützte Bereiche erzeugen, zu vermeiden, ist ein flächiger Verbund bzw. ein „Stoß an Stoß“-Legen oder eine erosionsstabile Verfüllung der Zwischenräume zu gewährleisten.
- Geforderte Pflanzzonen für bestimmte Pflanzenarten müssen eingehalten werden.
- Bei geplanten Böschungsabflachungen muss auf betroffene Bäume in Übergangsbereichen geachtet werden (mögliche Gefährdung der Standsicherheit).

### **Baubegleitung / Bauüberwachung:**

- Der Erfolg einer Maßnahme hängt in hohem Maße – neben einer fundierten Ausführungsplanung und Leistungsbeschreibung – von einer fachkundigen technischen und ökologischen Baubegleitung während der Bauausführung ab.
- Voraussetzung sind neben technischen Kenntnissen vor allem pflanzliche Fachkenntnisse und langjährige Erfahrung, damit die Pflanzen oder Pflanzelemente in richtiger Art und Weise und entsprechend vorgegebener Pflanzonen eingebaut werden können.
- Benachbarte wertvolle Biotope, Einzelbäume usw. dürfen nicht beeinträchtigt werden.
- Die Beobachtung der eingebauten Ufersicherungsmaßnahmen mit Pflanzen ist insbesondere nach Hochwässern oder extremen Witterungsbedingungen, z. B. Trockenheit, wichtiger Bestandteil der Nachsorge in der kritischen Anwuchsphase (Notwendigkeit von Bewässerungsgängen, Pflege und Sanierung).

#### **4.1.2 Fauna**

Bei den beiden Befischungen im Jahr 2012 wurden insgesamt 1537 Fische aus 7 Familien mit 17 Arten erfasst (Tab. 4.1-1). Im Vergleich zu den Ist-Zustandserfassungen 2010 sind 14 Arten identisch, Aland, Barbe und Sonnenbarsch neu, während Güster, Kaulbarsch, Nase und Schleie nicht mehr nachgewiesen werden konnten. Von der Referenzgemeinschaft zur Bewertung nach WRRL (Korte & Hugo, 2006) kommen alle 6 Leitarten und 5 der 6 typspezifische Arten im Untersuchungsgebiet vor, allerdings konnten sie z. T. nur mit wenigen Individuen und nicht in beiden Jahren nachgewiesen werden. Zudem wurden nur 4 von 25 Begleitarten erfasst. Bei der Gildenzugehörigkeit dominieren strömungsindifferente oder strömungsliebende (rheophile) Arten, die ihre Eier auf kiesigen bis steinigen oder pflanzlichen Untergründen ablegen und keine Nahrungspräferenzen aufweisen.

Sowohl die Referenzstrecke als auch die Versuchsstrecke wurden von Neozoen dominiert. Dies liegt insbesondere an der Schwarzmundgrundel, die sich in den letzten Jahren im Rhein etabliert hat (Borcherding et al. 2013) und auch in der Versuchsstrecke mit 70 % Individuenanteilen dominant auftrat (Tab. 4.1-1).

Tab. 4.1-1: Fischfauna der Versuchs- und Referenzstrecke aus den Jahren 2010 (vor Umbau) und 2012. Referenz und Gildenzugehörigkeit nach WRRL (Korte & Hugo, 2006), Gefährdungsstatus Rote Liste Hessen (Adam et al., 1996)

Fischart	Individuen		Dominanz (%)		Referenz	Habitat	Reproduktion	Trophie	Rote Liste
	2010	2012	2010	2012					
Aal <i>Anguilla anguilla</i>	4	17	0,9	1,1	typspezifisch	indifferent	marin	inverti-piscivor	V
Aland <i>Leuciscus idus</i>		4		0,3	Begleitart	rheophil	phyto-lithophil	omnivor	G
Barbe <i>Barbus barbus</i>		3		0,2	Leitart	rheophil	lithophil	invertivor	3
Barsch <i>Perca fluviatilis</i>	17	57	3,9	3,7	Leitart	indifferent	phyto-lithophil	inverti-piscivor	-
Brassen <i>Abramis brama</i>	7	1	1,6	0,1	Leitart	indifferent	phyto-lithophil	omnivor	-
Döbel <i>Leuciscus cephalus</i>	49	17	11,1	1,1	typspezifisch	rheophil	lithophil	omnivor	-
Dreistachliger Stichling <i>Gasterosteus aculeatus</i>	1	2	0,2	0,1	Begleitart	indifferent	phytophil	omnivor	-
Güster <i>Blicca bjoerkna</i>	2		0,5		typspezifisch	indifferent	phytophil	omnivor	-
Hasel <i>Leuciscus leuciscus</i>	10	35	2,3	2,3	typspezifisch	rheophil	lithophil	omnivor	-
Kaulbarsch <i>Gymnocephalus cernuus</i>	7		1,6		typspezifisch	indifferent	phyto-lithophil	invertivor	-
Kesslergrundel <i>Neogobius kessleri</i>	23	32	5,2	2,1	Neozoe	indifferent	speleophil	omnivor	-
Marmorierte Grundel <i>Proterorhinus marmoratus</i>	1	1	0,23	0,1	Neozoe	indifferent	speleophil	omnivor	-
Nase <i>Chondrosoma nasus</i>	2		0,5		Leitart	rheophil	lithophil	herbivor	2
Rapfen <i>Aspius aspius</i>	23	50	5,2	3,3	Neozoe	rheophil	lithophil	piscivor	-
Rotauge <i>Rutilus rutilus</i>	26	146	5,9	9,5	Leitart	indifferent	phyto-lithophil	omnivor	-

Schwarzmundgrundel <i>Noegobius melanostomus</i>	111	1074	25,2	69,9	Neozoe	indifferent	speleophil	omnivor	-
Schleie <i>Tinca tinca</i>	1		0,2		Begleitart	stagnophil	phytophil	omnivor	3
Sonnenbarsch <i>Lepomis gibbosus</i>		5		0,3	Neozoe	indifferent	phyto-lithophil	invertivor	-
Ukelei <i>Alburnus alburnus</i>	138	84	31,4	5,5	Leitart	indifferent	phyto-lithophil	omnivor	-
Wels <i>Silurus glanis</i>	15	6	3,4	0,4	Begleitart	indifferent	phytophil	piscivor	-
Zander <i>Sander lucioperca</i>	3	3	0,7	0,2	Neozoe	indifferent	phyto-lithophil	piscivor	-

Strömungs(Habitat)-Gilden

*rheophil*

*Die Art besiedelt fließende Lebensräume und tritt in Stillgewässern allenfalls in Ausnahmefällen auf.*

*indifferent (eurytop)*

*Die Art besiedelt sowohl fließende im o.g. Sinn als auch typische Stillgewässerlebensräume.*

*stagnophil (limnophil)*

*Die Art besiedelt Stillgewässer und tritt in fließenden Gewässern allenfalls in Ausnahmefällen auf oder ist dort auf Strukturen mit ausgeprägten Stillgewässerbedingungen (z.B. Altwasser) beschränkt.*

Reproduktions-Gilden

*lithophil*

*Die Eiablage erfolgt auf kiesigen bis steinigen Substraten.*

*phyto-lithophil*

*Die Eiablage kann auf kiesigen bis steinigen oder pflanzlichen (oder anderen festen) Untergründen erfolgen.*

*phytophil*

*Die Eiablage erfolgt an Pflanzenmaterial (Makrophyten, Baumwurzel, Äste usw.)*

*speleophil*

*Die Eier werden in Höhlen oder Aushöhlungen abgelegt; nur Groppe*

*marin*

*Die Eiablage erfolgt im Meer*

Trophie-Gilden

maßgebend ist die überwiegende Nahrung

*invertivor*

*Die überwiegende Nahrung besteht aus makroskopischen Wirbellosen.*

*piscivor*

*Die überwiegende Nahrung besteht aus Fischen, die Ernährung erfolgt räuberisch.*

*inverti-piscivor*

*Es existieren sowohl Populationen bzw. Populationsteile, die sich überwiegend invertivor ernähren, als auch solche, die sich überwiegend piscivor ernähren.*

*herbivor*

*Die überwiegende Nahrung besteht aus pflanzlichem Material; nur Nase*

*omnivor*

*Die Art weist keine definierbaren Nahrungspräferenzen auf (Nahrungsoportunisten) oder kann nicht eindeutig einer der anderen Gilden zugeordnet werden.*

Der Zeitpunkt der Befischung richtete sich nach den jahresperiodischen Entwicklungsmustern der Fische. Um möglichst viele Jungfische zu erfassen, werden die Befischungen i. d. R. nach der Laich- und Entwicklungszeit der meisten Arten und vor der Winterruhe durchgeführt. Erfahrungswerte zeigen, dass ein Termin im Frühsommer (Ende Mai bis Ende Juni) und ein Termin im September zu guten Fangergebnissen führen. Allerdings lagen die Wasserstände 2012 im betrachteten Rheinabschnitt während dieser Zeiträume um AZW, unterhalb dessen die Steinschüttung in den einzelnen Versuchsfeldern erhalten geblieben ist. Als neue Strukturen standen den Fischen nur das Totholz in VF1 und VF4 sowie das VF 9 ohne Sicherung zu Verfügung.

Eine differenzierte Betrachtung fokussiert daher auf diese Versuchsfelder (siehe Kapitel 4.2, 4.5 und 4.10).

## 4.2 Versuchsfeld 1: Steinschüttung mit Weidensetzstangen, Lebendfaschinen, Buschlagen, Heckenlagen, Steinwall zur Reduzierung schiffs-induzierter Belastung, Totholzstämmen mit Wurzeltellern (Rhein-km 440,630 bis 440,800 – 170 m VF-Länge)

### 4.2.1 Kurzbeschreibung Versuchsfeld

Im Versuchsfeld 1 blieb die vorhandene Steinschüttung (lose Wasserbausteine der Klasse LMB<sub>5/40</sub> (TLW, 2003) mit einer durchschnittlichen Dichte von 2,6 t/m<sup>3</sup>, Schichtdicke ca. 0,6 bis 0,8 m, ohne zusätzliche Filterschicht) als Ufersicherung erhalten. Zur ökologischen Aufwertung der Steinschüttung erfolgte eine Bepflanzung mit Weidensetzstangen, Lebendfaschinen, Hecken- und Buschlagen. Für deren Einbau wurden Gräben in Abständen von ca. 5 m in Böschungfallrichtung hergestellt (Bild 4.2-1) und nach Einbau der Pflanzen und Abdeckung mit Sand wieder mit Wasserbausteinen verfüllt. Dabei war darauf zu achten, dass im Endzustand wieder eine einheitliche Deckwerksoberfläche vorhanden ist.



Bild 4.2-1: Pflanzgräben vor Einbau der Pflanzen (9.11.2011)

Zur Verbesserung der Bedingungen für die aquatische Fauna wurde ein Steinwall (OK: AZW + 0,5 m) in Verlängerung der oberstrom und unterstrom des VF vorhandenen Uferlinie errichtet. Die Anlagen 3.1 bis 3.3 zeigen Querprofile bei km 440,672, km 440,690 und km 440,737, die vor Baubeginn im August 2011 und im April 2012 eingemessen wurden. Insbesondere sind Lage und Höhe des neu errichteten Steinwalls daraus ersichtlich. Schiffsinduzierte Belastungen wie Wellenschlag und Strömung können in diesem Bereich bei entsprechenden Rheinwasserständen reduziert werden. Drei dort eingebaute Totholzstämmen mit Wurzelteller sollen Makrozoobenthos und Fischen Lebensraum bieten.

Eine Übersicht zum Versuchsfeld zeigt Bild 4.2-2, weitere Einzelheiten enthält (BAW, BfG, WSA-MA, 2012).

**Versuchsfeld 1: Steinschüttung mit Weidensetzstangen, Lebendfaschinen, Busch- und Heckenlagen, Steinwall mit Flachwasserzone, Totholzstämmen mit Wurzelteller (Rhein-Km 440,630 bis 440,800)**

**Ufersicherung:**  
Steinschüttung bleibt erhalten  
Ökologische Aufwertung durch:

- Weidensetzstangen
- Lebendfaschinen (verschiedene Weidenarten)
- Heckenlagen (standortheimische Gehölze)
- Buschlagen (verschiedene Weidenarten)
- Steinwall
- Totholzstämmen mit Wurzelteller

**Ökologisches Ziel:**

- Erhöhung der Strukturvielfalt zur Förderung der Fauna und Flora
- Initiierung einer standortgerechten Gehölzvegetation
- Schaffung eines geschützten Flachwasserbereichs für die aquatische Fauna
- Förderung von Gehölz bewohnenden Tieren (z. B. Vögel und Insekten)



Bild 4.2-2: Übersicht Versuchsfeld 1 (BAW, BfG, WSA-MA, 2012)

#### 4.2.2 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation

Die eingebrachten Gehölze dienen in diesem Versuchsfeld der ökologischen Aufwertung der vorhandenen Steinschüttung, die die Uferschutzfunktion weiterhin erfüllt. Die Pflanzen haben keine Böschungssicherungsfunktion, können jedoch nach ausreichendem Wurzelwachstum die Steinschüttung zusätzlich stabilisieren. Die Böschungsstandsicherheit war dementsprechend nur kurzzeitig während der Herstellung der Gräben zum Einbau der Pflanzen lokal etwas herabgesetzt. Ein kritisches Anfangsstadium gibt es nur hinsichtlich des Anwachsens der Pflanzen, nicht aber hinsichtlich der Uferstandsicherheit.

Beim Einbau der Pflanzen (Setzstangen, Weidenfaschinen, Hecken-/Buschlagen) hat sich gezeigt, dass

- die Herstellung von Pflanzgräben in der Steinschüttung erforderlich ist, um Pflanzen ausreichend tief und ohne sie zu verletzen, in das anstehende Erdreich einbinden zu können; im Fall der Setzstangen mussten zusätzlich Pflanzlöcher vorgebohrt werden,
- das anschließende Wiederverfüllen der Pflanzgräben und -löcher mit Feinmaterial und das lückenlose Andecken mit Wasserbausteinen zur Herstellung einer einheitlichen Deckwerksoberfläche wichtig für die Wiederherstellung der Uferschutzfunktion

- der Steinschüttung ist, und
- trotz frühzeitiger Bestätigung des geforderten Herkunftsnachweises des Pflanzmaterials dennoch Materialengpässe auftraten, für die Ersatz (Herkunftsnachweis nur bedingt geeignet) in Kauf genommen werden musste.

Der Einbau der Totholzstämmen mit Wurzelteller stellte sich als unproblematisch heraus.

Nach dem Weihnachtshochwasser 2011 mit Wasserständen bis NN + 89,12 m in VF 1, d. h. bis ca. 3 m über AZW, sind in 6 von 17 Pflanzgräben erstmals Auswaschungen des mit den Pflanzen eingebrachten Feinmaterials und dadurch leichte Sackungen der wieder abgedeckten Wasserbausteine aufgetreten. In 3 von 17 Gräben wurden dabei die Heckenlagen freigespült, so dass diese wurzelnackt zwischen den Wasserbausteinen lagen (vgl. Tab. 4.2-1). Am 16.03.2012 wurden die wenigen ausgefallenen Einzelgehölze durch neue ersetzt und in den sechs betroffenen Gräben Wasserbausteine neu abgedeckt. Dabei wurden wieder eine einheitliche Oberfläche der Steinschüttung mit fließenden Übergängen zur Vermeidung bevorzugter Strömungsangriffspunkte und eine gute Verzahnung der Einzelsteine, die für die Lagestabilität der Steinschüttung erforderlich ist, hergestellt.

### ***Juni- und Oktober-Kartierung***

Die im Juni und Oktober 2012 durchgeführten vegetationskundlichen Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die eingebauten Pflanzelemente (Setzstangen, Weidenfaschinen, Hecken-/Buschlagen) überwiegend kräftig und vital entwickeln konnten (vgl. Bild 4.2-3). Die gepflanzten Arten der **Buschlagen und Weidenfaschinen** (Purpur-, Silber-, Korb-Weide) und der **Heckenlagen** (Gewöhnliche Esche, Schneeball, Hasel, Trauben-Kirsche und Feld-Ahorn) bildeten bis auf wenige Einzelverluste (1x Trauben-Kirsche, 3x Schneeball) (vgl. Bild 4.2-4) und Einzelsträucher mit schlechter Wuchsleistung und Vitalität (1x Schneeball, 2x Trauben-Kirsche, 3x Gewöhnliche Esche), junge Triebe von derzeit 0,5 - 1,5 m Länge mit gesundem Blattwerk aus. Sowohl zu Beginn des Blattwachstums aufgetretener Insektenfraß (Mai 2012) als auch mehrere Überstauereignisse aufgrund hoher Wasserstände (vgl. Bild 2.3-1) führten nicht zu Ausfällen einzelner Bauweisen. Die genannten Verluste traten ausschließlich bei den am 16.3.12 nachgepflanzten Sträuchern auf.

Eine Übersicht über die Entwicklung und die durchgeführten Maßnahmen im Versuchsfeld 1 gibt die Tab. 4.2-1.



Bild 4.2-3: Entwicklung der Pflanzgräben bis zum Juni 2012



Bild 4.2-4: Pflanzgraben mit einzelnen abgestorbenen Heckenpflanzen (5.6.2012)

Leichte Vitalitätsunterschiede ließen sich zunächst an den mit unterschiedlicher Einbindetiefe im Boden (Einbindetiefe nach (BAW, BfG, WSA-MA, 2012): 1,30 m bzw. 1,60 m) und gleichzeitig mit unterschiedlicher Länge oberhalb Oberkante Steinschüttung (0,2 - 0,4 m bzw. 1,3 m) eingebauten **Weidensetzstangen** erkennen. Ziel war ein Vergleich, wie Weidensetzstangen unterschiedliche Überstauhöhen und -dauern ertragen. Die 0,2 - 0,4 m über Oberkante Steinschüttung hinausragenden Setzstangen (nachfolgend „kurze“ Setzstangen genannt) wurden bei hohen Wasserständen länger und höher überstaut als die 1,3 m über Oberkante Steinschüttung hinausragenden Setzstangen (nachfolgend „lange“ Setzstangen genannt), was sich in einer verminderten Triebzahl, aber längeren Einzeltrieben zeigte. Nach der ersten Kartierung im Juni 2012 (bis dahin traten 4 x stark zwischen AZW und Marke I schwankende Wasserstände auf) wiesen die kurzen Weidensetzstangen somit im Schnitt 0,3 m längere Triebe (0,9 m zu 0,6 m) auf. Bei der Kartierung im Oktober 2012 erreichten sowohl die kurzen als auch die langen Setzstangen Triebhöhen von 0,8 - 2 m, so dass keine Unterschiede mehr feststellbar waren. Bei den Weidensetzstangen, bei denen es keinen einzigen Ausfall gab, handelt es sich um vitale Silber-Weiden.

Die **Weidenfaschinen**, die in die senkrecht zum Ufer angelegten Pflanzgräben überwiegend im mittleren und unterstromig auch im unteren Bereich der Böschung eingebracht wurden, entwickelten sich durchgehend vital. Im Herbst trat erstmals die Pappel-Seide auf, die sich um die jungen Weidentriebe wickelte und zu einer Schwächung, jedoch nicht zum Absterben einzelner Pflanzen führte. Die Pappel-Seide ist ein Schmarotzer und sitzt mit Saugorganen auf den Wirtspflanzen – überwiegend Weiden und Pappeln – fest (Philippi, 1996).

Neben Silber- und Korb-Weiden konnten im Herbst erstmals Fahl-Weiden, ein Bastard aus Bruch- und Silber-Weide, mit hoher Deckung bestimmt werden, die zusammen mit den

anderen Weidenarten, von denen sie sich schwer unterscheiden lässt, eingebracht wurde. Die Weidentriebe erreichten im Herbst Längen von 1 - 2,5 m.

Die Besiedlung mit **Spontanvegetation** ist insgesamt sowohl in den Pflanzgräben als auch den Steinschüttungsbereichen gering. Mehr Arten bei dennoch geringer Deckung konnten in der Steinschüttung nachgewiesen werden.

Tab. 4.2-1: Entwicklung der einzelnen Bauweisen in Versuchsfeld 1 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung

Ausführung Bauweise (Winter 2011/12)	Entwicklungszeitraum (Januar bis September)/erste Vegetationsperiode (März bis Oktober)			
	Beschreibung der Entwicklung (Datum= Zeitpunkt der Feststellung)		Zusätzliche Maßnahme (Datum= Zeitpunkt der Umsetzung)	
Herstellung von Pflanzgräben und Gräben für die Baumstämme mit Wurzelteller in der Steinschüttung → nach Einbau Wiederherstellung der Böschungsoberfläche				keine
Pflanzgräben unterschiedlich gestaltet: wahlweise mit Setzstangen, Lebendfaschinen, Busch- (in jedem 2. Feld), Heckenlagen	18.01.2012	in 6 von 17 Gräben: Nachsacken von Wasserbausteinen, Auswaschungen von Feinmaterial, in 3 von 17 Gräben: z. T. freiliegende Heckenlagen	16.03.2012	Nachpflanzen der wenigen ausgefallenen Heckenlagen, Andecken von Wasserbausteinen in Pflanzgräben, Herstellen einer einheitlichen Deckwerks Oberfläche
			30.03.2012	Bewässerung
	04.07.2012	z. T. Ausfälle bei den Heckenlagen; Bedrängung der Heckenlagen durch krautigen Spontanbewuchs	25.04.2012	Korrektur der Wasserbausteine in den Gräben
Erhöhung eines vorhandenen Steinwalls auf AZW+0,5 m mit ober- und unterstromiger Ein- und Auslauföffnung				keine
3 x Baumstämme mit Wurzelteller				keine

Im Bereich der Weidensetzstangen fehlten krautige Arten sowohl in den Pflanzgräben als auch in der Steinschüttung weitestgehend, während Artenzahl und Deckung in den trockneren, d. h. auch weniger häufig überstauten mittleren und oberen Böschungsbereichen (Hecken-/Buschlagen, Weidenfaschinen) zunahm. Der Spontanbewuchs setzt sich auf der gesamten Böschung überwiegend aus ruderalen, größtenteils Stickstoff liebenden Arten zusammen. Beispielhaft zu nennen sind: Brennessel, Zaunwinde, Kratzbeere, Kletten-Labkraut, Winden-Knöterich, Quecke, Spieß-Melde, Kälber-Kropf, Gewöhnlicher Holzzahn, Kompass-Lattich und Weißer Gänsefuß.

Anlage 4.1 zeigt in Panoramaaufnahmen vom gegenüberliegenden Ufer die zeitliche Entwicklung des Versuchsfeldes.

### **4.2.3 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie**

#### **4.2.3.1 Vegetation**

Im Vergleich zu den überwiegend vegetationslosen Böschungen der Referenzflächen stellt die vitale Entwicklung der eingebrachten standorttypischen Gehölze in VF 1 eine ökologische Aufwertung dar. Sowohl Gehölze der Weichholzaue (Weiden) als auch Gehölze der Hartholzaue (Schneeball, Trauben-Kirsche, Gewöhnliche Esche, Hasel und Feld-Ahorn) sorgen für eine erhöhte Lebensraumfunktion und für Strukturreichtum, so auch Totholz und Geschwemmsel (vgl. Bild 4.2-3), das nach höheren Wasserständen zwischen den einzelnen Pflanzgräben auf der Böschung zurückblieb.

Nach der ersten Vegetationsperiode wirkte sich der Steinwall bereits positiv aus. In dem wellenschlaggeschützten Bereich wiesen die Wasserbausteine einen schlammigen Überzug auf (vgl. Bild 4.2-6), der künftig die Ansiedelung von Pflanzen der Laichkraut- und Röhrichtzone fördern kann (vgl. Bild 4.2-5). Zwei Pflanzen der Laichkrautzone, Flutendes Laichkraut und Raus Hornblatt, konnten bereits zwischen den Totholzstämmen in dem vor Wellenschlag und Strömung geschützten Bereich erfasst werden. Die Totholzstämmen selbst waren von Schlamm überzogen und wiesen einzelne Exemplare von Binsen und Knotiger Braunwurz auf.

Die ermittelten Arten und Artenzahlen der durch natürliche Sukzession aufgekommenen Krautvegetation (Spontanbewuchs) belegen, dass die abgeschlossene Bautätigkeit noch einen großen Einfluss auf die Entwicklung der Strecke mit pflanzlichem Bewuchs ausübt. Derzeit siedeln überwiegend ruderalen und größtenteils stickstoffliebende Arten mit geringer Deckung im Böschungsbereich, wobei die Deckung und Artenzahl in den Steinschüttungsbereichen etwas höher als in den konkurrenzstarken Gehölzpflanzungen (Pflanzgräben) ausfällt. Vereinzelt konnten sich Arten der Röhrichtzone (Ufer-Wolfstrapp, Sumpf-Helmkraut, Knotige Braunwurz und Seggen) im Schutz des Steinwalls auf der Böschung ansiedeln, was

die Entwicklung eines naturnäheren Bewuchses des Ufers und somit die Erreichung des ökologischen Ziels für die Flora (vgl. Kap. 4.2.1) einleitet.



Bild 4.2-5: Erste Pflanzen der Röhrlichtzone siedeln sich im Schutz des Steinwalls an (14.9.2012)



Bild 4.2-6: Ablagerung einer dünnen Schlammschicht auf den Wasserbausteinen und Wurzeltellern im Schutz des Steinwalls



Bild 4.2-7: Gebänderte Prachtlibelle (♂) auf dem Wurzelteller eines Totholzstammes

Auf der unbepflanzten Planie im oberen Anschluss zur Böschung entwickelte sich in der ersten Vegetationsperiode eine dichte Krautschicht aus ruderalen Arten, von der einige Arten in die Böschung vordringen konnten. Vor allem der dichte Bewuchs am Übergang zu den Pflanzgräben steht in Konkurrenz zu den jungen gepflanzten Gehölzen, weshalb im August 2012 auf der Planie und der Böschungsoberkante gemäht wurde. Invasive neophytische Pflanzen wurden in diesem Versuchsfeld nicht beobachtet.

Die schmarotzend lebende Pappel-Seide (vgl. Bild 4.4-8, Kap. 4.4; Bild 4.10-18 und Bild 4.10-19, Kap. 4.10) könnte künftig die Vitalität der eingebrachten Pflanzen, insbesondere der

Weidensetzstangen und -faschinen, beeinträchtigen. Derzeit rankt sie bereits vereinzelt um junge Weidentriebe der Faschinen. Eine mögliche weitere Ausbreitung muss künftig beobachtet werden. Bei Vitalitätseinbußen der Gehölze müssen diesbezüglich Pflegemaßnahmen getroffen werden.

#### 4.2.3.2 Fauna

Der Steinwall wurde angelegt, um einen vor Wellenschlag geschützten Bereich für die aquatische Fauna zu schaffen. Davon profitieren insbesondere auch Jungfische, die bei den Befischungen 2012 mehrfach in größeren Schwärmen beobachtet werden konnten. Die Wurzelteller, die als Strukturelement eingebracht wurden, boten ihnen zusätzlich eine Versteckmöglichkeit.

Tab. 4.2-2: Daten zur Befischung von VF 1, der Referenzstrecke (km 441,600-441,900) und der Gesamtstrecke (Referenz- und Versuchsstrecke, gesamt: Km 440,630 bis 441,900) aus den Jahren 2010 und 2012; Leitarten, typspezifische Arten und Begleitarten der Referenzzönosen der WRRRL nach Korte, Hugo (2006)

	Individuen- zahl	Arten- zahl	Strecke (m)	Anzahl Points	Fische pro Point	Anteil (%)			
						Leitarten	Typ- spezif.	Begleit- arten	Neozoen
<b>2010</b>									
(VF1)*	20	7	170	43	0,5	60,0	5,0	0	35,0
Referenz	204	15	300	79	2,6	48,5	20,6	3,9	27,0
Gesamt	440	18	1270	314	1,4	31,6	9,5	3,8	46,2
<b>2012</b>									
VF1	179	12	170	42	4,3	25,1	2,8	1,1	70,9
Referenz	351	10	300	76	4,6	17,7	1,1	0,9	80,3
Gesamt	1537	17	1270	304	5,1	16,8	4,5	0,6	78,1

\*Streckenabschnitt vor Umbau zum VF

Bei den Befischungen 2012, die per Boot zwischen Steinwall und Ufer durchgeführt wurden (s. Kap. 3.7), konnten im Vergleich zu 2010, als dies noch der am stärksten wellenbelastete Uferabschnitt war, deutlich mehr Fische pro Point erfasst werden (Tab. 4.2-2). Allerdings trifft dies auf die gesamte Strecke zu, was vor allem auf die Schwarzmundgrundel zurückzuführen ist (vgl. Kap. 4.1.2). Die Steinschüttung bietet der neu eingewanderten Art gute Besiedlungsmöglichkeiten. Der Anteil an Neozoen liegt im VF 1 aber leicht unter Durchschnitt (Tab. 4.2-2). Insbesondere an den Wurzeltellern konnten auch Leitarten bzw. typspezifische Arten der WRRRL Referenzzönose (-Lebensgemeinschaft) (für diesen Rheinabschnitt erfasst werden, so dass sich die Artenzahl hier im Vergleich zu 2010 fast verdoppelt hat. Die Ablagerungen von Sedimenten sowie die Etablierung von Pflanzen der Röhrlichzonen könnten diesen Trend positiv verstärken.

#### 4.2.4 Bisherige Einschätzung

Versuchsfeld 1 hat sich im ersten Jahr unter den gegebenen hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt und mehreren Hochwassern nach Fertigstellung sehr gut entwickelt. Die Uferstandsicherheit ist durch die erhaltene Steinschüttung unabhängig von den Maßnahmen gegeben. Die eingebauten Pflanzen, auch die im unteren, durch mehrere Hochwasser wiederholt eingestauten Bereich weisen nach der ersten Vegetationsperiode eine gute Vitalität auf. Die Länge der Setzstangen über Geländeoberkante zeigt bisher kaum Einfluss auf die Entwicklung und Vitalität der Weiden. Erste Spontanvegetation hat sich angesiedelt und leitet weitere Sukzessionsfolgen ein.

Der festgestellte schädigende Einfluss der Pappel-Seide auf die jungen Weiden und die anderen Pflanzen muss weiterhin beobachtet werden.

Der Steinwall bietet bei Wasserständen unterhalb AZW + 0,5 m einen guten Schutz vor Wellen und hohen Strömungsgeschwindigkeiten. Substrat konnte sedimentieren, erste Pflanzen der Laichkraut- und Röhrlichtzone haben sich angesiedelt. Der vor Wellenschlag geschützte Bereich mit den Wurzeltellern als Strukturelemente wurde bereits im ersten Jahr sowohl von Jungfischschwärmen als auch von Leitarten bzw. typspezifischen Arten nach WRRL angenommen. Die weitere Erhöhung der Strukturvielfalt durch Ablagerungen von Sedimenten sowie der Etablierung von Pflanzen der Röhrlichtzonen könnten den positiven Trend für die Artenvielfalt verstärken. Die Untersuchungen zur Besiedlung der Wurzelteller durch das Makrozoobenthos werden die Kenntnisse aus Sicht der WRRL erweitern und die Eignung von Totholz als Nahrungshabitat für die Fische beleuchten.

### 4.3 Versuchsfeld 2: Weidenspreitlagen diagonal zur Fließrichtung (Rhein-km 440,820 bis 440,860 – 40 m VF-Länge)

#### 4.3.1 Kurzbeschreibung Versuchsfeld

Im Versuchsfeld 2 wurde die vorhandene Steinschüttung aus losen Wasserbausteinen von bis zur Böschungsoberkante entfernt, unterhalb AZW - 0,5 m blieb die Steinschüttung unverändert erhalten. Auf der 1:3 geneigten Böschung wurde ein Planum hergestellt und Spreitlagen aus verschiedenen Weidenarten **diagonal** im Winkel von 45° zur Böschungsfallrichtung inklinant zur Fließrichtung ohne zusätzlichen Filter eingebaut. Da die Weidenäste selbst kein nennenswertes Gewicht haben und sich Wurzeln für eine Verankerung mit dem Boden erst entwickeln müssen, waren ausreichende Fixierungen an der Böschungsoberfläche erforderlich. Die Befestigungen erfolgten mit Querriegeln aus austriebsfähiger Silberweide (deklinant zur Fließrichtung), nicht austriebsfähigen Pflöcken und Drahtverspannungen. Im unteren Böschungsbereich von AZW - 0,5 m bis AZW + 1,70 m wurden Purpur- und Silberweiden verlegt. Diese wurden hier zusätzlich mit Fichtenreisig und flächigem großmaschigem Maschendraht, wie er für Wildschutzzäune verwendet wird, geschützt (Bild 4.3-1). Im Bereich AZW + 1,70 m bis zur Böschungsoberkante wurden neben Purpur- und Silberweiden auch Korb-Weiden eingesetzt. Alle Weidenspreitlagen wurden mit einem Kies-Sand-Gemisch für besseren Bodenkontakt abgedeckt. Eine Übersicht gibt Bild 4.3-2, das weitere Einzelheiten enthält (BAW, BfG, WSA-MA, 2012).



Bild 4.3-1: Versuchsfeld 2 nach Einbau (14.12.2011)

Der Schutz vor Oberflächenerosion kann im Anfangsstadium durch eine flächendeckende Verlegung der Weidenäste gewährleistet werden. Insgesamt waren die Weidenäste, die vor

Ort gewonnen werden konnten, jedoch dünner als ausgeschrieben (Durchmesser 1 bis 3 cm statt 3 bis 5 cm), so dass beim Einbau keine vollständige Bedeckung des Bodens mit Spreitlagen möglich war. Das hat negative Auswirkungen auf die Erosions- und Filterstabilität der Bauweise im Anfangsstadium. Langfristig erfolgt ein Schutz vor Oberflächenerosion durch ein verzweigtes oberflächennahes Wurzelsystem und sich umlegende Weidensprosse. Der Schutz vor hydrodynamischen Bodenverlagerungen und Böschungsrutschungen kann im Anfangszustand nur durch eine gute flächige Fixierung mit ausreichend langen und dichten Pflöcken und ein möglichst flächiges Anpressen der Weidenäste an den Boden erreicht werden. Langfristig übernehmen die Wurzeln diese Funktion, und die Befestigungen verlieren an Bedeutung.

**Versuchsfeld 2: Entfernung der Steinschüttung, Weidenspreitlagen, diagonal zur Fließrichtung (Rhein-Km 440,820 bis 440,860)**

**Ufersicherung:**  
Entfernung der Steinschüttung, flächiger Einbau von Weidenspreitlagen diagonal zur Fließrichtung des Rheins, Heckenlage an Böschungsoberkante

**Ökologisches Ziel:**

- Erhöhung der Strukturvielfalt zur Förderung der Fauna und Flora
- Initiierung eines standortgerechten Gehölzbestandes
- Unterdrückung des Aufkommens von Neophyten
- Schaffung von Lebensraum für Gehölz bewohnende Tiere (z. B. Vögel und Insekten)



Bild 4.3-2: Übersicht Versuchsfeld 2 (BAW, BfG, WSA-MA, 2012)

#### 4.3.2 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation

Nach Rückbau der Steinschüttung sollen in diesem Versuchsfeld die lokale Uferstandsicherheit und die Erosionsstabilität durch die Weidenspreitlagen gewährleistet werden. Da sich aus den verlegten Weidenästen erst mit der Zeit Wurzeln und Sprosse entwickeln, mussten in der Anfangszeit die Hilfsmittel, die zur Befestigung der Weidenspreitlagen erforderlich waren – Querriegel, Pflöcke, Drahtverspannungen, Fichtenreisig und flächiger Maschendraht – auch teilweise Uferschutzfunktion übernehmen. Die Bauweise war dementsprechend in der Anfangsphase sensibel gegenüber Hochwasser und hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt.

Die im Dezember 2011 und Januar 2012 – unmittelbar nach Baufertigstellung – aufgetretenen hohen Wasserstände (Pegel Worms: Höchststand etwas über Marke I, entspricht

ca. 2,37 m über AZW in Mitte Versuchsstrecke) führten lokal zum Austrag von Bodenmaterial, das sich insbesondere über, aber auch zwischen und unterhalb der Spreitlagen befand. Begünstigt wurde dies dadurch, dass nur Weidenäste mit kleinen Astdurchmessern in der Umgebung zur Verfügung standen, die nicht flächendeckend verlegt werden konnten. Sowohl die schützende dünne Sand-/Kiesschicht auf den Spreitlagen als auch Feinmaterial unter den Astlagen wurden lokal erodiert. Außerdem fanden böschungsabwärts gerichtete Bodenumlagerungen unter den Weidenästen statt. Die Kornverteilungskurven der oberflächennah unter den Spreitlagen anstehenden Böden sind im Bild 4.3-5 dargestellt. Es handelt sich um schluffige, z. T. kiesige Sande, die bei den auftretenden Belastungen erosionsgefährdet sind.

Bodenerosion und -umlagerungen führten zu stellenweise fehlendem Bodenkontakt der Weidenäste (vgl. Bild 4.3-3). Lokale Vertiefungen bis ca. 30 cm wurden beobachtet.



Bild 4.3-3: Weidenäste mit stellenweise fehlendem Bodenkontakt



Bild 4.3-4: Gelockerte Pflöcke im Überstaubereich der mit Reisig abgedeckten Weidenspreitlage

Infolge von Auftrieb wurden einzelne Pflöcke und Riegelhölzer im Überstaubereich während der hohen Wasserstände gelockert bzw. herausgezogen (Bild 4.3-4). Aufgrund der im Untergrund noch vorhandenen Steinreste konnten die Pflöcke beim Einbau teilweise nicht bis in Solltiefe (0,8 bis 1,0 m) eingeschlagen werden und waren demzufolge weniger stabil als geplant. Außerdem kam es im überstauten Bereich zur teilweisen Reisigverlagerung unter dem Maschendraht, so dass auch das Fichtenreisig keinen ausreichenden Erosionsschutz bieten konnte. Eine akute Gefährdung der Böschungsstandsicherheit bestand nicht, für die langfristige Stabilität und weitere Entwicklung der Weidenspreitlagen waren jedoch einige Sanierungsmaßnahmen erforderlich.

Um dem fehlenden Bodenkontakt der Astlagen, der für ein Anwachsen notwendig ist, und einer Austrocknung des Lebendmaterials entgegenzuwirken, wurde Mitte März 2012 erneut Kiessand aufgebracht und mit Wasser eingeschlämmt. Bereits im Januar 2012 wurden die Pflöcke und Riegelhölzer nachgeschlagen und der Maschendraht in der unteren Böschungshälfte mit einzelnen Wasserbausteinen beschwert, um weitere Umlagerungen von Reisig zu begrenzen. Dadurch konnte eine Stabilisierung der Weidenspreitlagen erreicht werden, was die nach diesen Maßnahmen im April 2012 eingemessenen Querprofile (siehe Anlagen 3.4 und 3.5) zeigen. Die erfasste Böschungsoberkante unter den Spreitlagen zeigt nur noch geringe Unregelmäßigkeiten.

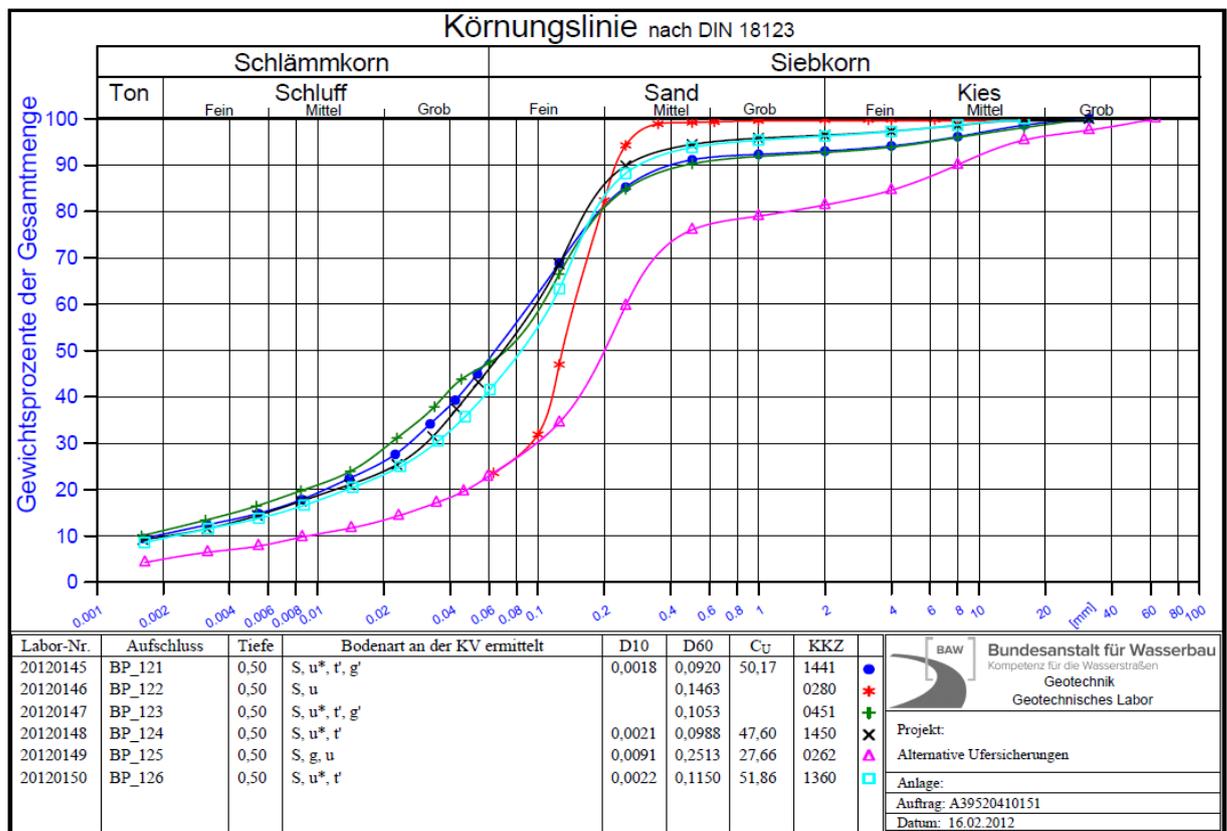


Bild 4.3-5: Kornverteilungen des oberflächennah im VF 2 unter den Spreitlagen anstehenden Bodens

Die Details der Pflanzenentwicklung und Nachbesserungsarbeiten sind Tab. 4.3-1 zu entnehmen.

Mitte März kamen bereits die ersten jungen Triebe der Astlagen zum Vorschein. Fotos vom 16.4.12 zeigen deutlich, dass sich die Triebe anfänglich überwiegend im Bereich der fest an den Boden gedrückten Riegelhölzer entwickelten, wo die Astlagen den intensivsten Bodenkontakt haben (vgl. Bild 4.3-6). Ende April entwickelten sich nach und nach auch Jungtriebe in den Bereichen zwischen den Riegelhölzern (vgl. Bild 4.3-7).

Tab. 4.3-1: Entwicklung der Weidenspreitlagen in Versuchsfeld 2 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung

Ausführung Bauweise (Winter 2011/12)	Entwicklungszeitraum (Januar bis September)/erste Vegetationsperiode (März bis Oktober)			
	Beschreibung der Entwicklung (Datum= Zeitpunkt der Feststellung)		Zusätzliche Maßnahme (Datum= Zeitpunkt der Umsetzung)	
Rückbau Steinschüttung				keine
Weidenspreitlagen (diagonal stromabsteigend) + Reisiglage + Maschendraht (unteres Drittel bis ca. AZW + 1,70 m)	18.01.2012	Bis zu den max. aufgetretenen Wasserständen einzelne Pflöcke und Riegelhölzer gelockert, herausgezogen, z. T. Reisigverlagerung und -austrag, begrenzte Erosion von Feinmaterial → lokal fehlender Bodenkontakt	19.01.2012	Nachträgliche zusätzliche Befestigung des Maschendrahtes mit einzelnen Wasserbausteinen; Nachschlagen der Pflöcke
			15.03.2012	Nachschlagen der Pflöcke, Aufbringen von Kiessand und Einschlämmen mit Wasser für besseren Bodenkontakt der Spreitlagen
			25.04.2012	Manuelle Entfernung überschüssigen Kiessandes
	24.05.2012	kräftige Vegetationsentwicklung → Triebblängen von 1,2 m		keine
	04.07.2012	→ Triebblängen von 2,0 m		keine
Heckenlage				keine
Nassansaat mit Landschaftsrasen (RSM 7.1.2) zwischen Weg und Böschungsoberkante	24.05.2012	flächiger Austrieb Nassansaat	vor 04.07.2012	flächige Mahd



Bild 4.3-6: Erste Triebentwicklung überwiegend im Bereich der diagonal angeordneten Riegelhölzer (16.4.2012)



Bild 4.3-7: Triebentwicklung im Bereich zwischen den Riegelhölzern (Ende April 2012)

Bis Ende Mai 2012 entwickelte sich die Spreitlage bei mittleren Wasserständen ( $\pm$  AZW) kräftig und fast flächendeckend mit mittleren Triblängen von 1,20 m.

### ***Juni-Kartierung***

Anfang Juni zeigten die Ergebnisse der Vegetationskartierung differenziert für die **obere** Böschungszone (oberhalb AZW +1,70 m) eine durchschnittliche Gesamtdeckung der Weiden von ca. 60% und für die **mittlere und untere** Böschungszone (unterhalb AZW + 1,70 m) eine Gesamtdeckung von durchschnittlich 80% (dichter Bewuchs zum Wasser hin) (vgl. Bild 4.3-8). Die **unterste** wasserseitige Böschungszone (AZW +/- 0,5 m) wies allerdings nur wenige Austriebe auf (vgl. Bild 4.3-8), was seit Beginn der Vegetationszeit auf die überwiegende Wasserbedeckung im Bereich um AZW bzw. AZW + 0,5 m (zwischen dem 17.4 – 3.6.12 an 48 Tagen um AZW schwankende Wasserstände) und dem dabei auftretenden ständigen Wellenschlag infolge Schiffsvorbeifahrt zurückzuführen ist.

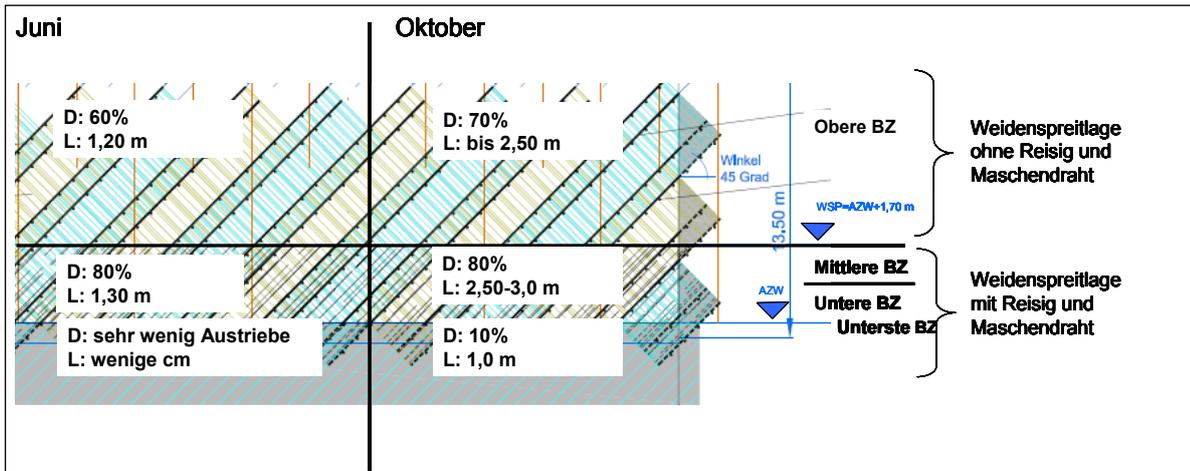


Bild 4.3-8: Vereinfachte Skizze (Draufsicht) von VF 2 mit den einzelnen Böschungszonen (BZ) und den darin ermittelten Deckungsgraden (D) und Längen (L) der Weidentriebe

Die Weiden im Bereich zwischen AZW + 0,5 m und ca. AZW + 1,7 m brachten, im Vergleich zu den Weiden der anderen Zonen, die längsten Triebe (bis 1,30 m) hervor (vgl. Bild 4.3-8). Die Austriebe der Purpur-Weide, die beim Einbau mengenmäßig überwog, dominierten im gesamten Böschungsquerschnitt (Deckung ca. 50 - 70 %) gegenüber den Trieben der Silber-Weide (Deckung ca. 5 - 15 %). Die in der oberen Böschungshälfte eingebrachten Äste der Korbweide waren bis zum Juni noch nicht ausgetrieben.

Die Weiden wiesen unabhängig von der Art zum Zeitpunkt der Kartierung Anfang Juni bereichsweise gelbe Blätter an den Triebansätzen auf, was vermutlich auf die Schattenwirkung des dichter werdenden Bewuchses oder Trockenheit zurückzuführen ist (vgl. Bild 4.3-10). Die gelben Blätter konnten überwiegend im mittleren Böschungsbereich beobachtet werden, wo nach vereinfachtem Baugrundschnitt (vgl. Bild 2.1.2 und Bild 6 in (BAW, BfG, 2010)) kiesige Sande anstehen, die das Wasser stärker ableiten als der im oberen Böschungsbe- reich anstehende Auenlehm.



Bild 4.3-9: Geringe Triebentwicklung im Bereich unterhalb AZW + 0,5m aufgrund höherer Wasserstände (5.6.2012)



Bild 4.3-10: Gelbe Blattverfärbungen an den Triebansätzen mancher Weiden (5.6.2012)

Bei der Kartierung im Juni 2012 konnten viele Pappelblattkäfer (vgl. Bild 4.3-11) und vereinzelt Imagines der Weidenschauzikaden (vgl. Bild 4.3-12) an den Weidenblättern beobachtet werden. Blätter mit auffälligen und nennenswerten Fraßlöchern wurden hingegen nicht festgestellt.



Bild 4.3-11: Geringe Triebentwicklung im Bereich unterhalb AZW + 0,5m aufgrund höherer Wasserstände (5.6.2012)



Bild 4.3-12: Weidenschauzikade an jungem Weidentrieb

Über den Sommer entwickelten sich die Weiden bei feuchten Witterungsverhältnissen (vgl. Bild 2.2-3 und Bild 2.2-6) flächendeckend gut. Erneute hohe Wasserstände im Juni, Juli und September (mit Höchstständen von ca. 2,10 m über AZW in Mitte Versuchsstrecke) erforderten aufgrund der inzwischen gut ausgebildeten Sprosse und Wurzeln keine weiteren Pflege- bzw. Sanierungsmaßnahmen. Boden wurde kaum noch erodiert.

## **Oktober-Kartierung**

Die Kartierung im Oktober 2012 zeigte, dass die während der hohen Wasserstände im Sommer längere Zeit ca. 1 m überstaute unterste Böschungszone (untere ca. 1,5 m der Spreitlage) Weiden geringerer Vitalität aufwies. In den Monaten Juni, Juli und August war dieser Bereich 6 Wochen ununterbrochen 1 m über AZW eingestaut (siehe Bild 2.3-1). Insgesamt wurde hier – wie bereits bei der Kartierung im Juni 2012 – ein nur geringer Deckungsgrad ermittelt. Die Gesamtdeckung der Weiden betrug nur ca. 10 %, während die Weiden in der darüberliegenden Zone (AZW + 0,5 m bis AZW + 1,70 m) ca. 80 % Deckung aufwiesen (vgl. Bild 4.3-8). Dieser Bereich stellte sich als wuchskräftigster Bereich heraus, was ebenfalls an den Triebblängen von ca. 2,5 bis 3 m im Vergleich zu 1 m Triebblänge in der untersten Böschungszone um AZW festzustellen war. Die obere Böschungszone (oberhalb AZW + 1,70 m) wies weiterhin einen flächendeckenden Weidenbewuchs mit ca. 70 % Deckung auf und bestätigte somit die Feststellung der Juni-Kartierung, dass die Böschungszone unterhalb AZW + 1,70 m die wuchskräftigste ist.

Über die gesamte Böschungshöhe dominierte nach wie vor die Purpur-Weide, gefolgt von Silber-Weide mit wesentlich geringeren Deckungswerten. Vereinzelt konnte jetzt erstmals auch die Korb-Weide ermittelt werden. Die Weidentriebe in der oberen Böschungszone wiesen Längen von bis 2,50 m auf (vgl. Bild 4.3-8). Die gelben Blattverfärbungen an den Triebansätzen vom Juni konnten im Herbst nicht mehr bestätigt werden.

Die flächendeckende Entwicklung der Weiden lässt nach der ersten Vegetationsperiode auf eine gute und ebenfalls flächige Durchwurzelung des Bodens schließen. Das bestätigen die Wurzelgrabungen, die im Bereich der Weidenspreitlagen des Versuchsfeldes 3 im Oktober 2012 durchgeführt wurden. Wurzellängen von bis zu 60 cm wurden ermittelt. Infolge der Wurzelbildung kann davon ausgegangen werden, dass sich oberflächennah bereits die Scherfestigkeit des Bodens erhöht hat. Außerdem hat sich im Bereich der verlegten Weidenäste eine wenige Zentimeter dicke Schicht aus feinen Wurzeln gebildet, die zunehmend einen besseren Schutz vor Oberflächenerosion bildet (siehe Kap. 4.4.2).

## **Entwicklung sonstigen Bewuchses (Spontanvegetation)**

Mit Beginn der Vegetationsperiode setzte zusätzlich eine spärliche Besiedlung mit Spontanvegetation ein. Zwischen den jungen Weidentrieben kamen vereinzelt ruderale und überwiegend stickstoffliebende Arten, wie Brennessel, Kletten-Labkraut, Hohlzahn, Beifuß, Vogelknöterich, Weißer Gänsefuß, Hopfen, Himbeere, Acker-Schachtelhalm und Windenknöterich mit einer Gesamtdeckung von ca. 2 % auf, wobei die Zone unterhalb AZW + 1,70 m artenreicher war. Die Deckung und Artenzusammensetzung der Krautschicht blieb bis zum Herbst 2012 in dieser Zone unverändert, während die Deckung der Krautschicht in der oberen Böschungszone bei trockeneren Verhältnissen mit ca. 20 % zunahm.

Zwischen den wenigen Weidentrieben im Bereich von AZW +/- 0,5 m konnten sich vereinzelt Pflanzen der Röhrichtzone, wie Fluss-Ampfer, Seggen, Schilf, Ufer-Wolfstrapp und Rohr-Glanzgras ansiedeln und die Artenvielfalt der Wasserwechselzone erhöhen.

Im Herbst traten erstmals einige Neophyten (Robinienjungwuchs und Goldrute) auf, die möglichst mit den Wurzeln entfernt wurden. Wie in VF 1 siedelten sich auch im VF 2 Windengewächse an. Vereinzelt haben sich Pappel-Seide, Winden-Knöterich und Zaun-Winde um die jungen Weidentriebe gewunden, eine Entwicklung, die weiter beobachtet werden muss, da sie ggf. zu Vitalitätseinbußen bzw. zum Absterben der Weidentriebe führen kann.

Die Fläche zwischen Böschungsoberkante und Betriebsweg war bis zum Herbst überwiegend flächig mit ruderalen Arten und Arten des Grünlandes (Knäuelgras, Lolch, Kriechendes Fingerkraut, Wiesen-Löwenzahn, Wiesen-Schafgarbe, u. a.) besiedelt, die aus der vorgenommenen Nassansaat stammen (vgl. Tab. 4.3-1). Die zweireihig gepflanzte Heckenlage aus Schneeball, Eingrifflichem Weißdorn, Blutrotem Hartriegel, Pfaffenhütchen und Hasel entwickelte sich gut und vital.

Anlage 4.2 zeigt in Panoramaaufnahmen vom gegenüberliegenden Ufer die zeitliche Entwicklung des Versuchsfeldes.

### **4.3.3 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie**

#### **4.3.3.1 Vegetation**

Der Ersatz der ursprünglichen Steinschüttung und die gute Entwicklung der Weidenspreitlage sind hinsichtlich der ökologischen Zielsetzung (vgl. Kap. 4.3.1) für die Vegetation bereits nach dem ersten Jahr als erfolgreich zu beurteilen. Es dominieren bislang Strauchweiden (Purpur-Weide), die von einem höheren Anteil von Baumweiden (Silber-Weiden) durchsetzt sind. Eine Krautschicht ist aufgrund der Schattenwirkung der Gehölze nur spärlich ausgeprägt. Die Gehölze schaffen Strukturreichtum im Uferbereich – dieser fehlte größtenteils auf der im Ausgangszustand pflanzlich wenig besiedelten Steinschüttung. Der Strukturreichtum wurde bisher durch Totholz- und Treibselablagerungen ergänzt, die nach Hochwasserereignissen im dichten Weidenbewuchs zurückgehalten wurden.

Die bereits begonnene Durchwurzelung des Bodens steigert die Durchlüftung des Bodens und somit die Funktionsfähigkeit des Systems Boden – Wasser – Pflanze – Luft.

#### **4.3.3.2 Fauna**

Bei den Befischungsterminen lagen die Wasserstände jeweils um AZW, so dass den Fischen wie im Jahr 2010 und in der Referenzstrecke nur Steinschüttung als Struktur zur Verfügung

stand. Es können daher noch keine fischökologischen Aussagen zu den Weidenspreitlagen getroffen werden.

#### 4.3.4 Bisherige Einschätzung

Das VF 2 hat sich im ersten Jahr nach Fertigstellung unter den gegebenen hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt und mehrerer, auch länger andauernder Hochwasser (max. bis ca. 2,50 m über AZW) insgesamt sehr gut entwickelt. Die Weiden konnten das Ufer mit zunehmendem Spross- und Wurzelwachstum immer besser vor Erosion und anderen Schäden schützen.

Nur in der kritischen Anfangszeit, in der die Weiden noch keine Wurzel- und Triebbildung aufwiesen und der Uferschutz deshalb maßgeblich auch von den Befestigungen abhing, traten lokal Schäden und begrenzte Bodenverlagerungen unter den Spreitlagen auf, die aber nicht standsicherheitsrelevant waren. Diese zeigten jedoch die Bedeutung einer flächendeckenden Verlegung und einer ausreichenden Befestigung der Weidenäste auf der Böschung. Die Pflöcke müssen so tief und in einem Raster eingebaut werden, dass sie allen Belastungen, auch bei Auftrieb durch Überstau und gleichzeitigem Welleneinfluss, standhalten. Das konnte hier u. a. aufgrund der noch im Untergrund vorhandenen Steine nicht überall erreicht werden. Mit zunehmender Ausbildung der Wurzeln und Sprosse verloren die Befestigungen zunehmend an Bedeutung. Die Gesamtstandsicherheit der Uferböschung war im ersten Jahr zu keinem Zeitpunkt gefährdet.

In der ersten Vegetationsperiode konnte als wuchskräftigster Bereich die Böschungszone von AZW + 0,5 m bis AZW + 1,70 m ermittelt werden. Hier hat sich offensichtlich die Reisigaufgabe positiv ausgewirkt. Außerdem befindet sich die Zone im für den Wasserhaushalt der Weiden günstigsten Bereich. Die obere Böschungszone weist bei trockneren Verhältnissen insgesamt eine etwas geringere, aber dennoch flächendeckende Gesamtdeckung mit vitalen Weidentrieben auf. Nur in der untersten Böschungszone (AZW +/- 0,5 m) haben sich die Astlagen aufgrund des ständigen Wellenauflaufes bei Mittelwasser und wiederholten Einstaus (maximal ca. 6 Wochen ohne Unterbrechung) im Vergleich zu den darüber liegenden Zonen insgesamt weniger gut entwickelt. Aus vegetationskundlicher Sicht verläuft die Gesamtentwicklung des Versuchsfeldes bisher sehr gut.

Aus faunistischer Sicht können aufgrund der Wasserstände während der Befischungstermine noch keine Aussagen zu den Weidenspreitlagen getroffen werden. Die Untersuchungen der terrestrischen Fauna (Vögel, Reptilien, Laufkäfer und Spinnen) werden Ergebnisse zum Besiedlungspotential der Weidenspreitlagen bringen (Beginn ab 2013).

#### 4.4 Versuchsfeld 3: Weidenspreitlagen quer zur Fließrichtung (Rhein-km 440,880 bis 440,950 – 70 m VF-Länge)

##### 4.4.1 Kurzbeschreibung Versuchsfeld

Im Versuchsfeld 3 wurde die vorhandene Steinschüttung aus losen Wasserbausteinen von AZW - 0,5 m bis zur Böschungsoberkante entfernt, unterhalb AZW - 0,5 m blieb die Steinschüttung unverändert erhalten. Auf der 1:3 geneigten Böschung wurde ein Planum hergestellt und Spreitlagen aus verschiedenen Weidenarten in Böschungsfallrichtung **quer** zur Fließrichtung ohne zusätzlichen Filter eingebaut (siehe Bild 4.4-1). Die verlegten Weidenarten entsprechen den Arten aus VF 2. In den wasserseitigen zwei Lagen wurden überwiegend Purpur-Weiden, mit zusätzlichen Ästen der Silber-Weide, eingebaut. Im darüberliegenden Bereich bis zur Böschungsoberkante wurden die Astlagen der beiden Arten durch Korb-Weidenmaterial ergänzt. Ansonsten ist der Aufbau identisch mit dem im VF 2 (siehe Kap. 4.3.1). Eine Übersicht gibt Bild 4.4-2, weitere Einzelheiten enthält (BAW, BfG, WSA-MA, 2012).



Bild 4.4-1: Versuchsfeld 3 nach Einbau (14.12.2011)

Der Schutz vor Oberflächenerosion kann im Anfangsstadium durch eine flächendeckende Verlegung der Weidenäste gewährleistet werden. Insgesamt waren die Weidenäste, die vor Ort gewonnen werden konnten, jedoch dünner als ausgeschrieben (Durchmesser 1 bis 3 cm statt 3 bis 5 cm), so dass beim Einbau keine vollständige Bedeckung des Bodens mit Spreitlagen möglich war. Das hat negative Auswirkungen auf die Erosions- und Filterstabilität der Bauweise im Anfangsstadium. Langfristig erfolgt ein Schutz vor Oberflächenerosion durch ein verzweigtes oberflächennahes Wurzelsystem und sich umlegende Weidensprosse. Der Schutz vor hydrodynamischen Bodenverlagerungen und Böschungsrutschungen kann im Anfangszustand nur durch eine gute flächige Fixierung mit ausreichend langen und dichten Pflöcken und ein möglichst flächiges Anpressen der Weidenäste an den Boden erreicht

werden. Langfristig übernehmen die Wurzeln diese Funktion und die Befestigungen verlieren an Bedeutung.

**Versuchsfeld 3: Entfernung der Steinschüttung, Weidenspreitlagen, quer zur Fließrichtung (Rhein-Km 440,880 bis 440,950)**

**Ufersicherung:**  
Entfernung der Steinschüttung, flächiger Einbau von Weidenspreitlagen quer zur Fließrichtung des Rheins

**Ökologisches Ziel:**

- Erhöhung der Strukturvielfalt zur Förderung der Fauna und Flora
- Initiierung eines standortgerechten Gehölzbestandes
- Unterdrückung des Aufkommens von Neophyten
- Schaffung von Lebensraum für Gehölz bewohnende Tiere (z. B. Vögel und Insekten)



Bild 4.4-2: Übersicht Versuchsfeld 3 (BAW, BfG, WSA-MA, 2012)

#### 4.4.2 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation

Wie im VF 2 sollen auch hier nach Rückbau der Steinschüttung die lokale Uferstandsicherheit und Erosionsstabilität durch die Weidenspreitlagen gewährleistet werden. Da sich aus den verlegten Weidenästen erst mit der Zeit Wurzeln und Sprosse entwickeln, mussten in der Anfangszeit die Hilfsmittel, die zur Befestigung der Weidenspreitlagen erforderlich waren – Querriegel, Pflöcke, Drahtverspannungen, Fichtenreisig und flächiger Maschendraht –, auch teilweise Uferschutzfunktion übernehmen. Die Bauweise war dementsprechend in der Anfangsphase sensibel gegenüber Hochwasser und hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt.

Die im Dezember und Januar 2012 aufgetretenen hohen Wasserstände (Pegel Worms: Höchststand etwas über Marke I, entspricht ca. 2,37 m über AZW in Mitte Versuchsstrecke) führten lokal zum Austrag von Bodenmaterial, das sich insbesondere über, aber auch zwischen und unterhalb der Spreitlagen befand. Begünstigt wurde dies dadurch, dass nur Weidenäste mit kleinen Astdurchmessern in der Umgebung zur Verfügung standen, die nicht flächendeckend verlegt werden konnten. Sowohl die schützende dünne Sand-/Kiesschicht auf den Spreitlagen als auch Feinmaterial unter den Astlagen wurden lokal erodiert. Außerdem fanden böschungsabwärts gerichtete Bodenumlagerungen unter den Weidenästen statt. Die Kornverteilungskurven der oberflächennah unter den Spreitlagen anstehenden Böden sind im Bild 4.4-3 dargestellt. Es handelt sich um schluffige, z. T. kiesige Sande, die bei den

auftretenden Belastungen erosionsgefährdet sind. Bodenerosion und -umlagerungen führten zu stellenweise fehlendem Bodenkontakt der Weidenäste. Lokale Vertiefungen bis ca. 30 cm wurden beobachtet.

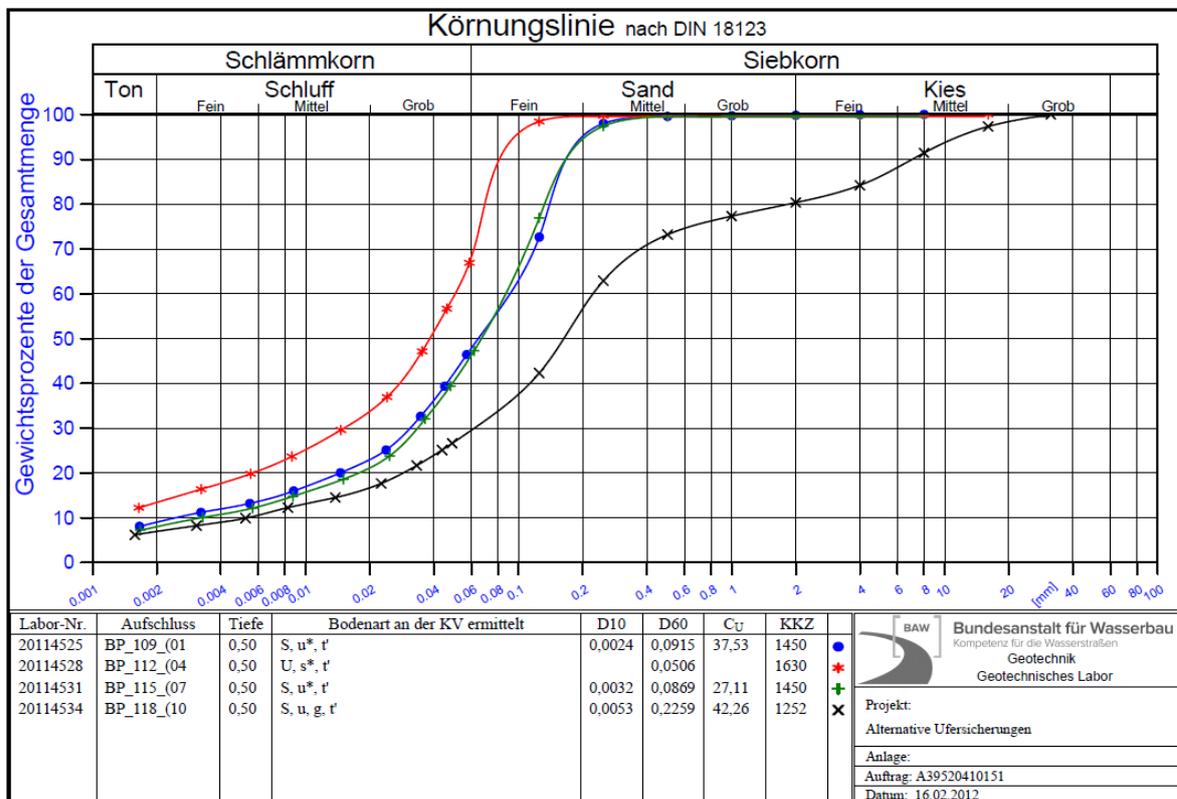


Bild 4.4-3: Kornverteilungen des oberflächennah im VF 3 unter den Spreitlagen anstehenden Bodens

Infolge des Auftriebs wurden einzelne Pflöcke und Riegelhölzer im Überstaubereich gelockert bzw. herausgezogen. Aufgrund der im Untergrund noch vorhandenen Steinreste konnten die Pflöcke beim Einbau teilweise nicht bis in Solltiefe (0,8 bis 1,0 m) eingeschlagen werden und waren demzufolge weniger stabil als geplant. Außerdem kam es im überstauten Bereich wie im VF 2 zur teilweisen Reisigverlagerung unter dem Maschendraht, so dass auch das Fichtenreisig keinen ausreichenden Erosionsschutz bieten konnte. Eine akute Gefährdung der Böschungsstandsicherheit bestand nicht, für die langfristige Stabilität und weitere Entwicklung der Weidenspreitlagen waren jedoch einige Sanierungsmaßnahmen erforderlich.

Um dem fehlenden Bodenkontakt der Astlagen, der für ein Anwachsen notwendig ist, und einer Austrocknung des Lebendmaterials entgegenzuwirken, wurde Mitte März 2012 erneut Kiessand aufgebracht und mit Wasser eingeschlämmt. Bereits im Januar 2012 wurden die Pflöcke und Riegelhölzer nachgeschlagen und der Maschendraht in der unteren Böschungshälfte mit einzelnen Wasserbausteinen beschwert, um weitere Umlagerungen von Reisig zu begrenzen. Dadurch konnte eine Stabilisierung der Weidenspreitlagen erreicht werden, was

die nach diesen Maßnahmen im April 2012 eingemessenen Querprofile (siehe Anlagen 3.6 und 3.7) zeigen. Die erfasste Böschungsoberfläche unter den Spreitlagen zeigt nur noch geringe Unregelmäßigkeiten.

Die Nachbesserungsarbeiten sind in Tab. 4.4-1 gelistet.

Tab. 4.4-1: Entwicklung der Weidenspreitlagen in Versuchsfeld 3 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung

Ausführung Bauweise (Winter 2012)	Entwicklungszeitraum (Januar bis September)/erste Vegetationsperiode (März bis Oktober)			
	Beschreibung der Entwicklung (Datum= Zeitpunkt der Feststellung)		Zusätzliche Maßnahme (Datum= Zeitpunkt der Umsetzung)	
Rückbau Steinschüttung				keine
Weidenspreitlagen (quer) + Reisiglage + Maschendraht (unteres Drittel bis ca. AZW + 1,70 m??)	18.01.2012	Bis zu den max. aufgetretenen Wasserständen einzelne Pflöcke und Riegelhölzer gelockert, herausgezogen, z. T. Reisigverlagerung und -austrag, begrenzte Erosion von Feinmaterial → lokal fehlender Bodenkontakt	19.01.2012	Nachträgliche zusätzliche Befestigung des Maschendrahtes mit einzelnen Wasserbausteinen; Nachschlagen der Pflöcke
			15.03.2012	Nachschlagen der Pflöcke, Aufbringen von Kies und Einschlämmen mit Wasser für besseren Bodenkontakt der Spreitlagen
			25.04.2012	Manuelle Entfernung überschüssigen Kieses
	04.07.2012	kräftige Vegetationsentwicklung → Triebblängen von 2,0 m		keine
Einbau Drucksonden für Monitoring				keine
Nassansaat mit Landschaftsrasen (RSM 7.1.2) zwischen Weg und Böschungsoberkante	24.05.2012	flächiger Austrieb Nassansaat	vor 04.07.2012	flächige Mahd

Die Entwicklung des Versuchsfeldes verlief zu Beginn der Vegetationsphase bis Ende Mai 2012 wie in VF 2. Auffällig war auch hier, dass sich die Triebe anfänglich überwiegend im Bereich der Riegelhölzer entwickelten, wo die Astlagen den intensivsten Bodenkontakt haben und so ein linienförmiges, parallel zum Wasser ausgerichtetes Wuchsbild entstand

(vgl. Bild 4.4-4), das sich erst ab Ende April / Anfang Mai flächig entwickelte (Bild 4.4-5). Die Weidentriebe erreichten auch hier Längen bis 1,20 m.



Bild 4.4-4: Erste Triebentwicklung überwiegend im Bereich der uferparallel aufgebraachten Riegelhölzer (16.4.2012; Blick nach oberstrom)



Bild 4.4-5: Entwicklung der Weiden Ende Mai 2012 (Blick nach unterstrom)

### ***Juni-Kartierung***

Zum Zeitpunkt der Juni-Kartierung lag der Wasserstand im VF 3 ca. 20 cm über AZW. Auch hier zeigten die Ergebnisse Unterschiede in der Gesamtdeckung und im Längenwachstum der Weidentriebe bezogen auf die unterschiedlichen Böschungszonen (vgl. Bild 4.4-6). Die **untere und mittlere** Böschungszone (unterhalb AZW + 1,70 m; mit Reisig und Maschendraht überdeckt) wies – im Gegensatz zu VF 2 – innerhalb des Versuchsfeldes Unterschiede in der Gesamtdeckung auf. In der oberstromigen Hälfte des VF betrug die Gesamtdeckung ca. 70 %, in der unterstromigen Hälfte des VF ca. 90 %. Im **untersten** Bereich (AZW +/- 0,5 m), der bei den überwiegend aufgetretenen mittleren Wasserständen (zwischen AZW und AZW + 0,5 m vom 17.4 - 3.6.12 an 48 Tagen) ständig im Einflussbereich der schiffserzeugten Wellen lag, war auch im VF 3 der Deckungsgrad deutlich geringer als in den höher gelegenen Böschungsabschnitten. Allerdings wiesen die Weiden einen etwas dichteren Austrieb auf (durchschnittliche Gesamtdeckung etwa 30%) als in VF 2. Aufgrund der hier parallel zur Uferlinie angeordneten Riegelhölzer erfolgten die Austriebe entlang des untersten Riegelholzes, so dass ein kontinuierlicher linienförmiger Bewuchs – auch in dieser untersten Zone – entstand. Die diagonal gerichteten Riegelhölzer im VF 2 reichen dagegen immer nur mit ihren Enden in den untersten Böschungsbereich, so dass sich der Bewuchs hier zunächst nur punktuell entwickelte.

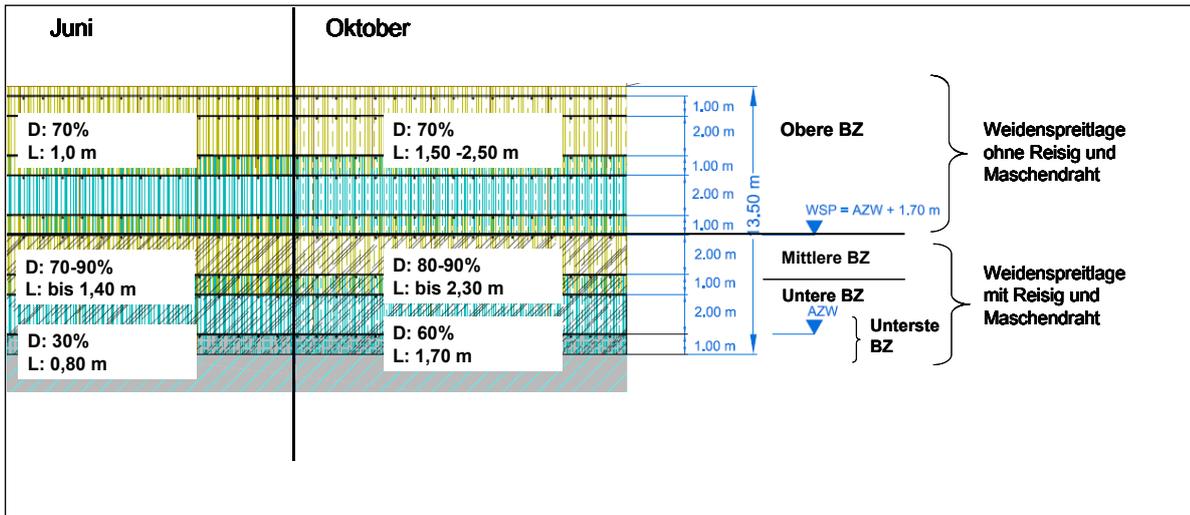


Bild 4.4-6: Vereinfachte Skizze (Draufsicht) von VF 3 mit den einzelnen Böschungszonen (BZ) und den darin ermittelten Deckungsgraden (D) und Längen (L) der Weidentriebe.

In der **oberen** Böschungszone (oberhalb AZW + 1,70 m) erreichten die Weidentriebe eine Gesamtdeckung von 70 %. Die wuchskräftigste Zone befindet sich in VF 3, ebenso wie in VF 2, somit im Bereich zwischen AZW + 0,5 m und AZW + 1,70 m (hier v. a. in der unterstromig gelegenen Böschungshälfte). TriebLängenunterschiede lassen sich analog zu den Ergebnissen der Deckungsgrade erkennen. In der untersten Zone (AZW +/- 0,5 m) erreichten die Weidentriebe Längen bis etwa 0,8 m, in der unteren und mittleren Böschungszone bis 1,40 m und in der oberen Böschungszone bis 1 m (vgl. Bild 4.4-6).

Die Austriebe der überwiegend eingebauten Purpur-Weide dominierten über die gesamte Böschungslänge (Deckung ca. 50 - 70 %). Triebe der Silber-Weide erreichten in der unteren und mittleren Böschungszone eine Gesamtdeckung von etwa 5 - 10 % und im oberen Böschungsbereich von < 5 %. Nur wenige Korb-Weidentriebe (1 - 5 %) konnten im unteren und mittleren Böschungsbereich ausgemacht werden.

Die gelbe Blattverfärbung der Triebansätze, die in VF 2 beobachtet wurde, war in VF 3 weniger intensiv. Auch hier traten Pappel-Blattkäfer auf, nennenswerte Fraßlöcher an den Blättern blieben auch in VF 3 aus.

Über den Sommer zeigten die Weiden bei feuchten Witterungsverhältnissen auf der gesamten Fläche eine gute Entwicklung. Anfang Juli waren die Weidentriebe bereits über manns-hoch (vgl. Bild 4.4-7). Auch in diesem VF mussten nach den hohen Wasserständen im Juni, Juli und September aufgrund des inzwischen flächig ausgebildeten Bewuchses keine weiteren Pflege- bzw. Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden (vgl. Tab. 4.4-1). Boden wurde kaum noch erodiert.



Bild 4.4-7: Entwicklung der Weidenspreitlage (Aufnahme vom 10.7.12)



Bild 4.4-8: Junge, von Pappel-Seide umwickelte Weidentriebe

### **Oktober-Kartierung**

Bei den Vegetationsuntersuchungen im Oktober 2012 lag der Wasserstand im Versuchsfeld ca. 20 cm unter AZW. Deshalb konnte auch der unterste Böschungsbereich bis zur Fußsicherung (Steinschüttung) vegetationskundlich aufgenommen werden. Die bei Wasserständen um AZW ständig im Welleneinflussbereich der Schiffe liegende und bei mittleren und hohen Wasserständen längere Zeit überstaute **unterste** Böschungszone (unter AZW + 0,5 m) wies – vergleichbar dem VF 2 – eine geringere Vitalität der Weiden auf als in den höher gelegenen Böschungsabschnitten. Die Gesamtdeckung betrug ca. 60 %, war damit aber deutlich höher als in VF 2 mit einer sehr geringen Gesamtdeckung von ca. 10 %). Großen Einfluss hatte dabei der 6 Wochen ununterbrochene Einstau bis 1 m über AZW in den Monaten Juni, Juli und August (siehe Bild 2.3-1).

Die Weiden in der darüberliegenden **unteren und mittleren** Böschungszone (von AZW + 0,5 m bis AZW + 1,70 m) wiesen hingegen Deckungen von 80 – 90 % auf. Dieser Bereich stellte sich auch im Herbst als wuchskräftigster Bereich heraus, was ebenfalls an den Trieb-längen von ca. 2,30 m im Vergleich zu 1,70 m in der untersten Zone festzustellen war.

Eine Zerteilung der Böschung hinsichtlich des Deckungsgrades konnte im Herbst, im Gegensatz zum Frühjahr, nicht mehr festgestellt werden. Die **obere** Böschungszone (oberhalb AZW + 1,7 m) wies weiterhin einen Deckungsgrad von ca. 70 % und Trieb-längen zwischen 1,50 m bis 2,50 m auf.

Insgesamt lässt sich feststellen, dass der Bereich von AZW + 0,5 m bis AZW + 1,70 m wie im VF 2 der wuchskräftigste ist.

Über die gesamte Böschungslänge dominierte nach wie vor die Purpur-Weide, gefolgt von Silber-Weide mit wesentlich geringeren Deckungswerten. Während die Silber-Weide in der unteren und mittleren Zone noch Deckungen von 5 - 10 % aufwies, konnten in der oberen Böschungszone nur noch Deckungen von <1 % festgestellt werden. Die Purpur-Weide ist derzeit am konkurrenzstärksten. Korb-Weidentriebe waren nur vereinzelt festzustellen.

Die flächendeckende Entwicklung der Weiden lässt nach der ersten Vegetationsperiode auf eine gute und ebenfalls flächige Durchwurzelung des Bodens schließen. Im November 2012 erfolgte im Rahmen einer Masterarbeit der Uni Hannover unter Beteiligung von BAW und BfG eine Aufgrabung der Weidenwurzeln am unterstromigen Ende von VF 3. Die Wurzeln wurden an zwei Stellen – im unteren Böschungsbereich (unmittelbar unterhalb AZW +1,70 m), in dem die Weidenspreitlagen mit Reisig und Maschendraht abgedeckt waren und im direkt angrenzenden oberen Böschungsbereich – auf einer Fläche von jeweils ca. 1,0 m x 0,5 m freigelegt. Auch wenn die detaillierte Auswertung (z. B. Vermessung und Wiegen der Wurzeln) zum Zeitpunkt der Berichtserstellung noch nicht abgeschlossen sind, kann qualitativ bereits festgestellt werden, dass sich nach einer Vegetationsperiode bereits ein relativ dichtes Wurzelwerk mit Längen bis ca. 60 cm entwickeln konnte (Bild 4.4-9). Aufgrund der Wurzelbildung kann davon ausgegangen werden, dass sich oberflächennah die Scherfestigkeit des Bodens bereits deutlich erhöht hat. Außerdem hat sich im Bereich der verlegten Weidenäste eine wenige Zentimeter dicke Schicht aus feinen „verflochtenen“ Wurzeln gebildet, die zunehmend einen besseren Schutz vor Oberflächenerosion bietet. Quantitative Aussagen sind erst nach Auswertung der Ausgrabungsergebnisse möglich.



Bild 4.4-9: Freigelegte Weidenwurzeln im VF 3 (20.11.2012)

## Entwicklung sonstigen Bewuchses (Spontanbewuchs)

Die Entwicklung des **krautigen Spontanbewuchses** verlief wie in VF 2. Ruderale und überwiegend stickstoffliebende Arten, wie u. a. Kratzbeere, Knoblauchsrauke, Hopfen, Winden-Knöterich, Gewöhnlicher Hohlzahn, Große Klette, Spieß-Melde, Weißer Gänsefuß, Zaun-Winde und Kompass-Lattich bildeten den ersten spärlichen Bewuchs (Deckung ca. 2 - 5 %) zwischen den Weidentrieben, wobei die unterste, wasserseitige Zone keine krautigen Arten aufwies. In der oberen Böschungszone traten einige Gräser mit höheren Deckungswerten hinzu, z. B. Quecke und Weidelgras.

Die krautige Vegetation entwickelte sich bis zum Oktober in der unteren und mittleren Böschungszone weiterhin spärlich bei vergleichbarer Artenkombination. In der oberen Böschungszone konnten im Herbst mehr krautige Arten bei gering angestiegener Deckung (5 %) ermittelt werden. Kratzbeere, Weidelgras, Große Klette, Acker-Kratzdistel und Gelber Wau dominierten. Viele Keimlinge etablierten sich weiterhin zwischen den Weidenästen. Einige Baumkeimlinge sind ebenfalls im VF aufgegangen, darunter die neophytische Robinie. Der Robinien-Jungwuchs wurde möglichst mit den Wurzeln entfernt, um einer weiteren Ausbreitung entgegen zu wirken.

Bereits im Frühjahr wurden viele Weidentriebe von der schmarotzenden **Pappel-Seide** umwickelt, ein Zustand, der sich zum Herbst hin weiter verschlimmerte. Bei der Kartierung im Oktober konnten zwei kleine Bereiche (ca. 3 x 3 m) ausgemacht werden, in denen die Weidentriebe durch den Pappel-Seidenbefall abgestorben waren.

In VF 3 haben sich im Gegensatz zum VF 2 keine Pflanzen der **Röhrichtzone** im Bereich um AZW spontan angesiedelt. Dies ist möglicherweise auf den im Vergleich zu VF 2 höheren Deckungsgrad der Weidentriebe zurückzuführen (stärkere Beschattung bzw. höherer Konkurrenzdruck).

Die **Fläche zwischen Böschungsoberkante und Betriebsweg** war bis zum Herbst fast vollständig mit ruderalen Arten, aber auch Arten des Grünlandes (Weidelgras, Quecke, Vogel-, Winden-Knöterich, Große Klette, Gänsefuß und Gewöhnlicher Hohlzahn) bewachsen.

Anlage 4.3 zeigt in Panoramaaufnahmen vom gegenüberliegenden Ufer die zeitliche Entwicklung des Versuchsfeldes.

### **4.4.3 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie**

#### **4.4.3.1 Vegetation**

Der Ersatz der ursprünglichen Steinschüttung und die gute Entwicklung der Weidenspreitlage sind hinsichtlich der ökologischen Zielsetzung (vgl. Kap. 4.4.1) für die Vegetation bereits nach dem ersten Jahr als erfolgreich zu beurteilen. Wie in VF 2 dominieren bislang Strauchweiden (Purpur-Weide), die von einem höheren Anteil von Baumweiden (Silber-Weiden) durchsetzt sind. Eine Krautschicht ist aufgrund der Schattenwirkung der Gehölze nur spärlich ausgeprägt. Die Gehölze schaffen Strukturreichtum im Uferbereich – dieser fehlte größtenteils auf der im Ausgangszustand pflanzlich wenig besiedelten Steinschüttung. Der Strukturreichtum wurde bisher durch Totholz- und Treibselablagerungen ergänzt, die nach Hochwasserereignissen im dichten Weidenbewuchs zurückgehalten wurden.

Die bereits begonnene Durchwurzlung des Bodens steigert die Durchlüftung des Bodens und somit die Funktionsfähigkeit des Systems Boden – Wasser – Pflanze – Luft.

#### **4.4.3.2 Fauna**

Bei den Befischungsterminen lagen die Wasserstände jeweils um AZW, so dass den Fischen wie im Jahr 2010 und in der Referenzfläche nur die Steinschüttung als Struktur zu Verfügung stand. Es können daher noch keine fischökologischen Aussagen zu den Wirkungen der Weidenspreitlagen getroffen werden.

#### **4.4.4 Bisherige Einschätzung**

Das VF 3 hat sich im ersten Jahr unter den gegebenen hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt und mehrerer, auch länger andauernder Hochwasser (max. bis ca. 2,50 m über AZW) nach Fertigstellung insgesamt sehr gut entwickelt. Die Weiden konnten das Ufer mit zunehmendem Spross- und Wurzelwachstum immer besser vor Erosion und anderen Schäden schützen. Ein relativ dichtes Wurzelwerk mit Wurzellängen bis 0,6 m konnte im Oktober 2012, d. h. ca. 1 Jahr nach Einbau der Weidenäste, durch Aufgrabung nachgewiesen werden.

Nur in der kritischen Anfangszeit, in der die Weiden noch keine Wurzel- und Triebbildung aufwiesen und der Uferschutz deshalb maßgebend auch von den Befestigungen abhing, traten lokal Schäden und begrenzte Bodenverlagerungen unter den Spreitlagen auf, die aber nicht standsicherheitsrelevant waren. Diese zeigten jedoch die Bedeutung einer flächendeckenden Verlegung und einer ausreichenden Befestigung der Weidenäste auf der Böschung. Die Pflöcke müssen so tief und in einem Raster eingebaut werden, dass sie allen

Belastungen, auch bei Auftrieb durch Überstau und gleichzeitigem Welleneinfluss standhalten. Das konnte hier u. a. aufgrund der noch im Untergrund vorhandenen Steine nicht überall erreicht werden. Mit zunehmender Ausbildung der Wurzeln und Sprosse verloren die Befestigungen zunehmend an Bedeutung. Die Gesamtstandsicherheit der Uferböschung war im ersten Jahr zu keinem Zeitpunkt gefährdet.

Als wuchskräftigster Bereich konnte, wie auch in VF 2, die untere und mittlere Böschungszone (von AZW + 0,5 m bis AZW + 1,70 m) ermittelt werden (vgl. Aussagen Kap. 4.3.4). Die künftige Entwicklung der Weidenspreitlagen muss wegen des schädigenden Einflusses, z. B. der Pappel-Seide, auf die Entwicklung der noch jungen Triebe weiter beobachtet werden, um ggf. rechtzeitig Pflegemaßnahmen durchführen zu können. Da die Weiden hier Uferschutzfunktion haben, muss jegliche Schwächung der Pflanzen verhindert werden.

In der ersten Vegetationsperiode haben sich die Astlagen in der untersten Böschungszone (AZW +/- 0,5 m) aufgrund des ständigen Wellenauflaufes bei Mittelwasser und wiederholten Einstaus (maximal ca. 6 Wochen ohne Unterbrechung) im Vergleich zu den darüberliegenden Zonen insgesamt schlechter entwickelt. Der Deckungsgrad blieb deutlich unter dem der darüberliegenden Böschungszonen, lag allerdings aufgrund der unterschiedlichen Anordnung der Riegelhölzer auf der Böschung im Vergleich zum VF 2 hier etwas höher. In diesem Versuchsfeld eignen sich somit die quer eingebauten Weidenspreitlagen und parallel zur Uferlinie verlaufenden Riegelhölzer in der untersten Zone besser als die diagonal eingebauten Spreitlagen in VF 2.

Aus faunistischer Sicht können, aufgrund der Wasserstände während der Befischungstermine, noch keine Aussagen zu den Weidenspreitlagen getroffen werden. Die Untersuchungen der terrestrischen Fauna (Vögel, Reptilien, Laufkäfer und Spinnen) ab 2013 werden Ergebnisse zum Besiedlungspotential der Weidenspreitlagen bringen.

## 4.5 Versuchsfeld 4: Steinschüttung mit Kiesfüllung, Einzelsteingruppen, Totholzfaschinenbündel (Rhein-km 440,950 bis 441,000 – 50 m VF-Länge)

### 4.5.1 Kurzbeschreibung Versuchsfeld

Im Versuchsfeld 4 blieb die vorhandene Steinschüttung (lose Wasserbausteine der Klasse LMB<sub>5/40</sub> (TLW, 2003) mit einer durchschnittlichen Dichte von 2,6 t/m<sup>3</sup>, Schichtdicke ca. 0,6 bis 0,8 m, ohne zusätzliche Filterschicht) als Ufersicherung erhalten. Zur Erhöhung der Strukturvielfalt wurde die Steinschüttung großflächig mit einer Kies-/Grobsandmischung überschüttet, wobei die Kiesschüttung nicht weiter verdichtet wurde. Zusätzlich wurden einzelne große Wasserbausteine mit Kantenlängen von etwa 1 m in unregelmäßigen Gruppen auf der Steinschüttung angeordnet. Auf eine Bepflanzung der Böschung wurde verzichtet.

Zur Verbesserung der Bedingungen für die aquatische Fauna wurden zusätzlich sechs 5 m lange Totholzfaschinenbündel im untersten Böschungsbereich zu etwa einem Drittel ihrer Gesamtlänge in die Steinschüttung eingebaut und mit Pflöcken befestigt. Die Faschinenbündel, die jeweils aus 5 Einzelfaschinen überwiegend aus Birkenreisig bestehen, reichen unmittelbar unterhalb von AZW nahezu waagrecht und deklinant (45°) zur Strömungsrichtung ins Wasser. Sie sollen zum Beispiel Fischen Schutz bieten.

Eine Übersicht zeigt Bild 4.5-1, weitere Einzelheiten enthält (BAW, BfG, WSA-MA, 2012)

#### **Ufersicherung:**

Steinschüttung bleibt erhalten

Ökologische Aufwertung durch Material- und Struktur-anreicherung:

- Kieseinbau
- Einzelsteingruppen
- ins Wasser reichende Totholzfaschinen

#### **Ökologisches Ziel:**

- Aufwertung von Standortbedingungen zur Förderung einer natürlichen Sukzession
- Schaffung von Lebensraumstrukturen für die aquatische und terrestrische Fauna



Bild 4.5-1: Übersicht Versuchsfeld 4

### 4.5.2 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation

In diesem Versuchsfeld wird die Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion und die Böschungsstandsicherheit nach wie vor durch die Steinschüttung gewährleistet. Die zusätzlich eingebauten Strukturen sollen einen Beitrag zur ökologischen Aufwertung des

Uferabschnittes leisten. Die Böschungsstandsicherheit war während der Bauaktivitäten lediglich kurzzeitig lokal durch den Einbau der Totfaschinenbündel beeinflusst. Ein kritisches Anfangsstadium nach Fertigstellung, wie beispielsweise in den Versuchsfeldern 2 und 3, gibt es hinsichtlich der Uferstandsicherheit hier nicht.

Die im Dezember 2011 und Januar 2012 – unmittelbar nach Baufertigstellung – aufgetretenen hohen Wasserstände (Höchststand NN + 89,1 m in VF 4  $\triangleq$  etwas über Marke I) führten im eingestauten Bereich lokal zur Erosion der feineren Kornfraktionen des Kies-Sand-Gemisches, die sich teilweise unterhalb AZW in der Steinschüttung zwischen den Reisigfaschinen wieder ablagerten und hier zur Ausbildung kleinerer Flachuferbereiche führten. Die Bündel aus Reisigfaschinen blieben bisher lagestabil und ohne Schäden bei Belastungen aus Wellen, Strömung und zeitweise längerem Überstau (Wasserstände im Untersuchungszeitraum an 161 Tagen über AZW) und Trockenfallen in der Böschung verankert. Über die längerfristige Haltbarkeit der Reisigbündel werden die nächsten Jahre Auskunft geben.

Pflege- bzw. Sanierungsmaßnahmen mussten in VF 4 nicht durchgeführt werden (vgl. Tab. 4.5-1).

Tab. 4.5-1: Entwicklung der einzelnen Bauweisen in Versuchsfeld 4 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung

Ausführung Bauweise (Winter 2011/12)	Entwicklungszeitraum (Januar bis September)/erste Vegetationsperiode (März bis Oktober)			
	Beschreibung der Entwicklung (Datum= Zeitpunkt der Feststellung)		Zusätzliche Maßnahme (Datum= Zeitpunkt der Umsetzung)	
Rückbau Steinschüttung				keine
Bündel aus Reisigfaschinen (unteres Drittel bis ca. AZW +0,50 m)	18.01.2012	Bis zu den max. aufgetretenen Wasserständen begrenzte Erosion von Feinmaterial und z. T. wieder als Ablagerung zwischen den Bündeln aus Reisigfaschinen		keine
	05.06.2012	Vegetationsaufnahme im Frühjahr zeigt spärlichen Spontanaufwuchs im Strömungsschatten zwischen den Steinblöcken		keine
	10.10.2012	Vegetationsaufnahme im Herbst zeigt vermehrt Spontanaufwuchs im mittleren und oberen Böschungsbereich und ist etwas artenreicher als im Frühjahr		keine

In den Anlagen 3.8 und 3.9. sind die bei km 440,960 und km 440,975 vor der Baumaßnahme und im April 2012 eingemessenen Querprofile dargestellt. Die großen Einzelsteine sind gut

sichtbar. Folgende Einmessungen in den nächsten Jahren können ggf. stattfindende Verlagerungen deutlich machen. Anlage 4.4 zeigt in Panoramaaufnahmen vom gegenüberliegenden Ufer die zeitliche Entwicklung des Versuchsfeldes.

Die Fotos vom 22.3.12 zeigen die Reisigfaschinen im unteren Böschungsbereich bei AZW - 0,5 m (vgl. Bild 4.5-2) bzw. die Steinschüttung und Steinblöcke mit sandiger Kieschüttung im mittleren bis oberen Böschungsbereich (vgl. Bild 4.5-3).



Bild 4.5-2: Beginnende Flachuferbildung im Bereich der Reisigfaschinen (22.3.12)



Bild 4.5-3: Substratvielfalt im Böschungsbereich (22.3.12)

Im Frühjahr 2012 entwickelte sich bei mittleren Wasserständen (AZW  $\pm$  0,5 m), insbesondere im Strömungsschatten der Steinblöcke, eine lückige Spontanvegetation überwiegend aus krautigen Pflanzenarten.

### ***Juni-Kartierung***

Bei der Vegetationskartierung am 5.6.2012 wurde die Böschung aufgrund zweier voneinander abgrenzbarer Zonen (überwiegend anhand des Deckungsgrades und des Substrates) aufgenommen, d. h. es wurde eine Vegetationsaufnahme in der unteren Böschungszone (unterhalb etwa AZW + 1,7 m) und eine in der darüber liegenden, oberen Böschungszone vorgenommen. Die Vegetation setzte sich in beiden Bereichen aus vereinzelt ruderalen und überwiegend stickstoffliebenden Arten, wie u. a. Brennnessel, Kletten-Labkraut, Weißer Gänsefuß, Gewöhnlicher Hohlzahn, Gewöhnlicher Beifuß, Vogel-Knöterich, Kompass-Lattich, Haselblatt-Brombeere, Kriech-Quecke, Hecken-Knöterich und Rispengräsern, zusammen. Viele Arten kurzlebiger und ausdauernder Unkrautfluren wie Schmalflügeliger Wanzensame, Huflattich, Gewöhnliches Leinkraut und Gelber Wau traten ebenfalls auf. Die Gesamtdeckung in der unteren Böschungshälfte betrug ca. 2%, in der oberen Böschungshälfte ca. 5%. Die Arten in der unteren Böschungshälfte blieben insgesamt mit

durchschnittlich ca. 0,2 m Höhe niedrigwüchsiger als im oberen Bereich mit durchschnittlich ca. 0,4 m Wuchshöhe (vgl. Bild 4.5-4 und Bild 4.5-5).



Bild 4.5-4: Vegetationsentwicklung im oberen Böschungsbereich (24.5.12)



Bild 4.5-5: Beginnende Pflanzenentwicklung im Strömungsschatten größerer Steine (5.6.12)

Hohe Wasserstände im Juni, Juli und September (Höchststand bei NN + 88,7 m in VF 4  $\triangleq$  etwa Marke I) erforderten ebenfalls keine Pflege- bzw. Sanierungsmaßnahmen.

### **Oktober-Kartierung**

Die Vegetationsuntersuchungen am 10.10.2012 zeigten, dass der im Sommer bei den hohen, lang andauernden Wasserständen ca. 6 Wochen ununterbrochen ungefähr 1 m eingestaute untere Böschungsbereich mit Bündeln aus Reisigfaschinen stabil gelagert war und keiner auffälligen Veränderung unterlag.

Die Gesamtdeckung der Krautschicht blieb bis zu diesem Zeitpunkt in der unteren Böschungshälfte bei 2%, wobei nur noch zwei Arten nachgewiesen werden konnten, nämlich Brennessel und Haselblatt-Brombeere. Die Deckung der Krautschicht bei den trockeneren Verhältnissen im oberen Böschungsbereich nahm mit ca. 15% im Vergleich zur Juni-Kartierung zu. Zusätzlich konnten weitere Arten wie Acker-Gänsedistel, Rote Borstenhirse, Wiesen-Labkraut, Acker-Winde, Hopfen, Wiesen-Löwenzahn und viele Keimlinge weiterer Arten erfasst werden.

Der im Frühjahr erstmals aufgetretene Neophyt Eschen-Ahorn (Jungwuchs) wurde im Juni weitestgehend mitsamt den Wurzeln entfernt. Bei den Herbstaufnahmen wurden weitere Individuen erfasst und ebenfalls entfernt.

### **4.5.3 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie**

#### **4.5.3.1 Vegetation**

Mit dem Aufbringen des sandig-kiesigen Substrates und der groben Steinblöcke wurden der Substrat- und Strukturreichtum im Vergleich zur ursprünglichen Steinschüttung erhöht. Es wurde eine pflanzliche Besiedlung eingeleitet, die in dieser ersten Vegetationsperiode noch stark vom Einfluss der Baumaßnahme und der Dynamik durch Hochwässer geprägt war. Die Vegetationsentwicklung fand hauptsächlich im Strömungsschatten der großen Steinblöcke statt und bestand aus überwiegend einjährigen, ruderalen und stickstoffliebenden Arten und Arten der Unkrautfluren. Insgesamt ist die Besiedlung mit Pflanzen erwartungsgemäß gering.

Im Bereich der Reisigfaschinen lagerte sich auf der Böschung erodiertes Substrat an, sodass sich dort ein Flachwasserbereich ausbilden konnte (vgl. Bild 4.5-2), der künftig auch förderlich für die Besiedlung mit Pflanzen der Röhrlichtzone sein kann. Pflanzen der Röhrlichtzone wurden bislang noch nicht festgestellt.

#### **4.5.3.2 Fauna**

Die Reisigfaschinen lagen bei den Befischungsterminen 2012 knapp unter Wasser (Bild 4.5-6) und standen somit den Fischen als Struktur zu Verfügung. Das Artenspektrum war an den Faschinen sehr divers (Bild 4.5-7), so dass trotz der geringen Pointanzahl aufgrund der kurzen Streckenlänge 65 % des Gesamtartenspektrums am VF 4 erfasst werden konnten (siehe Tab. 4.5-2). Mit 16,8 Fischen pro Point wurden hier die höchsten Individuenzahlen innerhalb eines Versuchsfeldes ermittelt (siehe Kap. 6.3) Im Vergleich zu den Wurzeltellern im VF 1 boten die Reisigbündel der Faschinen ein größeres „Lückensystem“, in dem insbesondere Jungfische Unterschlupf finden können. Gleichzeitig traten die geringsten Individuenanteile von Neozoen und damit auch der Schwarzmundgrundel auf (vgl. Kap. 4.1.2).



Bild 4.5-6: Wasserbedeckung der Faschine beim Befischungstermin am 25.09.2012



Bild 4.5-7: Artenvielfalt beim Befischen einer Reisigfaschine (u. a. Flussbarsch, Rotauge, Hasel)

Das Artenspektrum setzte sich zu fast 65 % aus wertgebenden Arten nach der WRRL (Tab. 4.5-2) zusammen. Im Gegensatz zur Referenzstrecke, an der mit 80 % die neu eingewanderten Arten dominierten, boten die Reisigfaschinen im VF 4 demnach den einheimischen Arten geeignete Strukturen.

Tab. 4.5-2: Daten zur Befischung von VF 4, der Referenzstrecke (km 441,600-441,900) und der Gesamtstrecke (Referenz- und Versuchsstrecke, gesamt: Km 440,630 bis 441,900) aus den Jahren 2010 und 2012; Leitarten, typspezifische Arten und Begleitarten der Referenzzönosen der WRRL nach Korte, Hugo (2006)

	Individuenzahl	Artenzahl	Strecke (m)	Anzahl Points	Fische pro Point	Anteil [%]			
						Leitarten	Typ-spezif.	Begleitarten	Neozoen
<b>2010</b>									
(VF4)*	12	5	50	12	1	46,8	21,5	1,3	30,4
Referenz	204	15	300	79	2,6	48,5	20,6	3,9	27,0
Gesamt	440	18	1270	314	1,4	31,6	9,5	3,8	46,2
<b>2012</b>									
VF4	202	11	50	12	16,8	46	17,8	1,5	34,7
Referenz	351	10	300	76	4,6	17,7	1,1	0,9	80,3
Gesamt	1537	17	1270	304	5,1	16,8	4,5	0,6	78,1

\* Streckenabschnitt vor Umbau zum VF

#### **4.5.4 Bisherige Einschätzung**

Die Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion und die Böschungsstandsicherheit sind weiterhin durch die Steinschüttung gewährleistet. Das Versuchsfeld entwickelt sich hinsichtlich des pflanzlichen Bewuchses wie erwartet. Derzeit zeigt die Artenkombination den noch nicht abgeschlossenen Einfluss der Bautätigkeit. Im Laufe der Zeit werden sich weitere Sukzessionsfolgen auf dem VF einstellen, wobei der Bewuchs immer lückig bleiben wird, so dass das VF auch künftig offene Flächen unterschiedlicher Substratklassen und somit eine hohe Strukturvielfalt bieten wird.

An den klein strukturierten Reisigbündeln der Faschinen konnte ein hoher Anteil einheimischer und nach WRRL wertgebender Fischarten angetroffen werden. Gleichzeitig war der Anteil an Neozoen im Vergleich zur Referenzstrecke deutlich geringer. Die Reisigfaschinen stellen aus Sicht der Fische demnach eine Struktur verbessernde Maßnahme dar.

Aussagen zur Besiedlung und ökologischen Bedeutung der unterschiedlichen vegetationsfreien Substrate für verschiedene Tiergruppen können erst nach den in den Folgejahren stattfindenden faunistischen Untersuchungen erfolgen.

## 4.6 Versuchsfeld 5: Entfernung der Steinschüttung, Einbau von Röhrichtgabionen, Steinmatratzen, Pflanzmatten und Heckenlagen (Rhein-km 441,000 bis 441,110 – 110 m VF-Länge)

### 4.6.1 Kurzbeschreibung Versuchsfeld

Im Versuchsfeld 5 wurde die Steinschüttung von AZW bis zur Böschungsoberkante vollständig entfernt, unterhalb AZW blieb die Steinschüttung unverändert erhalten. Das Gelände wurde auf eine Neigung von 1:2,5 profiliert, und verschiedene vorgefertigte Deckwerkselemente mit Pflanzen wurden eingebaut. Zur Gewährleistung der Filterstabilität wurde vorher auf der gesamten Böschung ein bemessener Kornfilter (Granitsplitt, Korngröße 1/25) in einer Schichtdicke von 30 cm aufgebracht. Es ist das Versuchsfeld mit der steilsten Böschungneigung.

Im oberstromigen Bereich des **VF 5a** (km 441,000 bis etwa km 441,050) wurden in der unteren Böschungshälfte von AZW - 0,5 m bis AZW + 1,70 m Röhrichtgabionen mit den Abmessungen 2 m x 1 m x 0,3 m lückenlos, versetzt in Reihen, auf der Böschung verlegt. Die Gabionen sind mit Wasserbausteinen der Klasse CP<sub>45/125</sub> und Boden gefüllt und mit Kokosgewebe und Draht ummantelt. Über eine Vegetationsperiode wurden sie zudem mit unterschiedlichen Arten für zwei Pflanzzonen vorkultiviert (vgl. BAW, BfG, WSA-MA, 2012). In Pflanzzone 1 (untere drei Gabionenreihen) wurden mit einem Anteil von 60-75% Großseggen (Schlank-/Ufer-Segge) und mit einem Anteil von 25-40% weitere Arten der Röhrichtzone vorgezogen. In Pflanzzone 2 (obere drei Gabionenreihen) kamen überwiegend Rohr-Schwinkel und Rohr-Glanzgras mit einem Anteil von 60-75% und ebenfalls Arten der Röhrichtzone und zusätzlich verschiedene Gräser mit einem Anteil von 25-40% zum Einsatz. Die zum Einbau angelieferten bepflanzten Röhrichtgabionen waren in einem sehr guten Zustand.

Oberhalb AZW + 1,70 m wurden Steinmatratzen mit den Abmessungen 2 m x 1 m (2 m) x 0,25 m, gefüllt mit Wasserbausteinen der Klasse CP<sub>45/125</sub>, ebenfalls lückenlos bis zur Böschungsoberkante (BOK) eingebaut. Zur Vermeidung von Vandalismus (Kunststoffnetzte lassen sich leicht zerschneiden) wurden diese mit Boden abgedeckt. Eine Bepflanzung erfolgte nicht. Aufgrund des Eigengewichtes der Deckwerkselemente konnte auf zusätzliche Befestigungen auf der Böschung verzichtet werden.

Im unterstromigen **VF 5b** (etwa km 441,050 bis km 441,100) wurden die oben beschriebenen Steinmatratzen auf der gesamten Böschung verlegt (von AZW - 0,5 m bis BOK), wobei in der unteren Böschungshälfte (unterhalb AZW + 1,70 m) vorgezogene Pflanzmatten aufgebracht und mit Kabelbindern und Holzlatten auf den Steinmatratzen befestigt wurden. Auch diese wurden, entsprechend der Artenzusammensetzung und Zonierung der Röhrichtgabionen, über eine Vegetationsperiode vorkultiviert (vgl. BAW, BfG, WSA-MA, 2012). Die vorgezogenen Pflanzmatten waren allerdings bei Lieferung in keinem sehr guten Zustand. Ein Teil

der Pflanzen war bereits beim Einbau ausgefallen, so dass die Startbedingungen hier nicht optimal waren. Die obere Böschungshälfte ist identisch mit dem Bereich des VF 5a.

Eine Übersicht zum Versuchsfeld gibt Bild 4.6-1, weitere Einzelheiten enthält (BAW, BfG, WSA-MA, 2012).

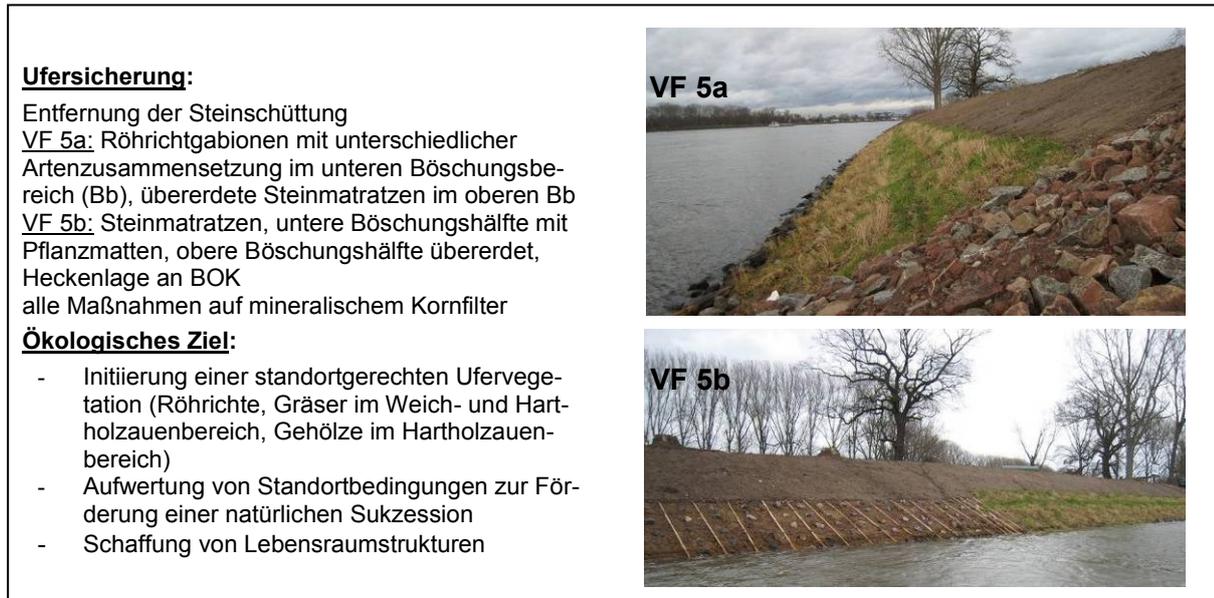


Bild 4.6-1: Übersicht Versuchsfeld 5

#### 4.6.2 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation

In diesem Versuchsfeld sollen die Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion und die Uferstandsicherheit nach Rückbau der Steinschüttung durch die vorgefertigten Deckwerkselemente gewährleistet werden. Durch die flächendeckende Belegung der Böschung mit Gabionen und Steinmatratzen, durch Einbindung der unteren Röhrichtgabionen und unteren Steinmatratzen in die Steinschüttung (Fußsicherung) sowie den filterstabilen Aufbau (Kiesfilter) kann bereits am Anfang die Erosionsstabilität gewährleistet werden. Aufgrund des Eigengewichtes der Deckwerkselemente (unter Auftrieb ca. 2 bis 3 kN/m<sup>2</sup>) liegen die Elemente ohne zusätzliche Befestigungen stabil auf der Böschung. Außerdem ist dadurch von Anfang an eine Stabilisierung hinsichtlich der Böschungsstandsicherheit gegeben. Ob diese ausreichend hängt von der Größe der hydraulischen Uferbelastungen infolge Schifffahrt (Absenk) ab. Langfristig kann sich die Standsicherheit durch zunehmendes Wurzelwachstum in den Untergrund weiter erhöhen. Im Gegensatz zu den Weidenspreitlagen ist der Anfangszustand hier als weniger kritisch einzuschätzen.

Das Winterhochwasser erreichte in VF 5 am 25.12.11 einen Wert von NN + 88,34 m (ca. 1,90 m über AZW, 2,70 m unter BOK) und am 08.01.12 den Höchststand von NN + 89,13 m

(ca. 2,70 m über AZW). Die Wasserstandslinie lag somit deutlich über Marke I (vgl. Tab. 2.3-2) und endete im Januar ca. 1 m unterhalb der Böschungsoberkante, die im Versuchsfeld bei etwa NN + 90,21 m liegt. Infolge des Abflusses bei Hochwasser wurde der auf den Steinmatratzen aufgebrachte Boden erwartungsgemäß erodiert. Bei niedrigeren Wasserständen war der aufgetretene höchste Wasserstand sehr gut am Übergang des erodierten zum liegengebliebenen Boden auf den Steinmatratzen zu erkennen (vgl. Bild 4.6-3).



Bild 4.6-2: Blick vom Wasser aus auf VF 5a (rechts) und auf VF 5b (links) (15.12.2011)



Bild 4.6-3: VF 5a: Wasserstand vom 8.1.12, Erosionslinie siehe roter Pfeil (22.2.2012)

Im Folgenden werden die Beobachtungen und Ergebnisse aus dem ersten Jahr nach Bauabschluss differenziert für die Versuchsfelder 5a (Kap. 4.6.2.1), 5b (Kap. 4.6.2.2) und für die Heckenlage entlang der Böschungsoberkante des gesamten VF 5 (Kap. 4.6.2.3) dargestellt. Tab. 4.6-1 gibt dazu eine Übersicht.

Die Vegetationstabelle zu VF 5a und b befindet sich in Anlage 5. Sie ist als Auszug aus der Gesamtartenliste für alle Versuchsfelder (BfG Datenbank) hier exemplarisch angehängt.

Tab. 4.6-1: Entwicklung der einzelnen Bauweisen in Versuchsfeld 5a und b und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung

VF	Ausführung Bauweise (Winter 2011/2012)	Entwicklungszeitraum (Januar bis September)/erste Vegetationsperiode (März bis Oktober)			
		Beschreibung der Entwicklung (Datum= Zeitpunkt der Feststellung)		Zusätzliche Maßnahme (Datum= Zeitpunkt der Umsetzung)	
a	mineralischer Kornfilter 1/25 mm (30 cm)				
	Röhrichtgabionen (unterteilt in 2 Pflanzzonen) in unterer Böschungshälfte	18.01.2012	Leichtes Abrutschen der Gabionen und Steinmatratzen nach erstem HW durch steile Böschungsneigung von 1:2,5 und ungenügendes Widerlager in Steinschüttung, Gabionen dadurch teilweise etwas zusammengedrückt, lokale Zwickelbildung an Gabionenecken, infolge Rutschung 10-20 cm Höhenversatz zwischen 1. und 2. Gabionenreihe; visuell gute Pflanzenvitalität	19.01.2012	Zur Stabilisierung der Lage der Gabionen auf der Böschung nachträgliches Überschütten der gesamten 1. und halben 2. Gabionenreihe mit Wasserbausteinen, so dass ein fester Fußwiderstand erzielt wurde, Verschluss der Zwickel (Zwischenräume) mit einzelnen Steinen (CP <sub>45/125</sub> )
		24.05.2012	kräftige Pflanzenentwicklung	13.03.2012	Bewässerung
	Steinmatratzen CP 45/125 in oberer Böschungshälfte + 10 cm Übererdung	18.01.2012	Übererdung bis zum max. aufgetretenen Wasserstand erodiert	10.11.2011	Vereinzelt aufgerissene Maschen am PPT-Netz manuell nachgebunden
		24.05.2012	Entwicklung von Spontانبewuchs		
b	mineralischer Kornfilter 1/25 mm (30 cm)				
	Pflanzmatten (unterteilt in 2 Pflanzzonen) + Holzplatten auf Steinmatratzen CP 45/125 in unterer Böschungshälfte	11.10.2011	Pflanzmatten der Pflanzzone 2 weisen bereits bei Lieferung z. T. sehr geringen Bewuchs auf (kein qualitätsgerechter Zustand), besonders Ausfälle von Rohr-Schwengel	02.11.2011	Lokales nachträgliches Beschweren der Matten mit einzelnen zusätzlichen Wasserbausteinen für stabilere Lage der Matten
		18.01.2012	Lokaler Austrag von Kokosmaterial aus den Matten, vereinzelt offene Fugen zwischen Pflanzmatten	18.01.2012	keine
		28.03.2012	Nahezu keine Pflanzenentwicklung zu verzeichnen		
	Steinmatratzen CP 45/125 in oberer Böschungshälfte + 10 cm Übererdung	18.01.2012	Weitere Übererdung bis zum noch höher aufgetretenen Wasserstand erodiert	10.11.2011	Vereinzelt aufgerissene Maschen am PPT-Netz manuell nachgebunden
a+b	Heckenlagen	24.05.2012	Austrieb der Heckenlagen, allerdings Bedrängung durch krautigen Spontانبewuchs	vor 04.07.2012	Entfernung des Spontانبewuchses um die Heckenlagen

#### 4.6.2.1 Versuchsfeld 5a

##### Röhrichtgabionen (Böschungsbereich unterhalb ca. AZW + 1,7m)

Nach ersten hohen Überflutungen durch das Winterhochwasser im Dezember und Januar 2011 (ca. 4 bis 6 Wochen nach Fertigstellung des Versuchsfeldes) und gleichzeitiger Wellenbelastung infolge Schifffahrt kam es zu einer Sackung der untersten Röhrichtgabionenreihe und zu leichten hangabwärts gerichteten Rutschungen der auf der mit 1:2,5 relativ steil geneigten Böschung befindlichen Röhrichtgabionen. Obwohl die Röhrichtgabionen beim Einbau planmäßig in die Steinschüttung eingebunden wurden, konnte vermutlich kein ausreichend festes Fußwiderlager erreicht werden. Zur Stabilisierung wurden die untersten eineinhalb Gabionenreihen – diese betreffen Pflanzzone 1 – im Anschluss an die unterhalb AZW verbliebene Steinschüttung nachträglich mit Wasserbausteinen abgedeckt (vgl. Bild 4.6-3). In den Anlagen 3.10 und 3.11 sind die bei km 441,025 und km 441,050 vor der Baumaßnahme und im April 2012 eingemessenen Querprofile dargestellt. Im Profil 441,050 ist die höher gezogene Steinschüttung gut zu erkennen. Dadurch konnte insgesamt ein bis jetzt stabiler Zustand der Röhrichtgabionen und Steinmatratzen auf der Böschung erreicht werden. Leider ist dadurch ein Teil der Pflanzen verloren gegangen, so dass die Kartierung der Pflanzzone 1 weitestgehend nur über die daran anschließenden eineinhalb Gabionenreihen ohne Steinschüttung erfolgen konnte.

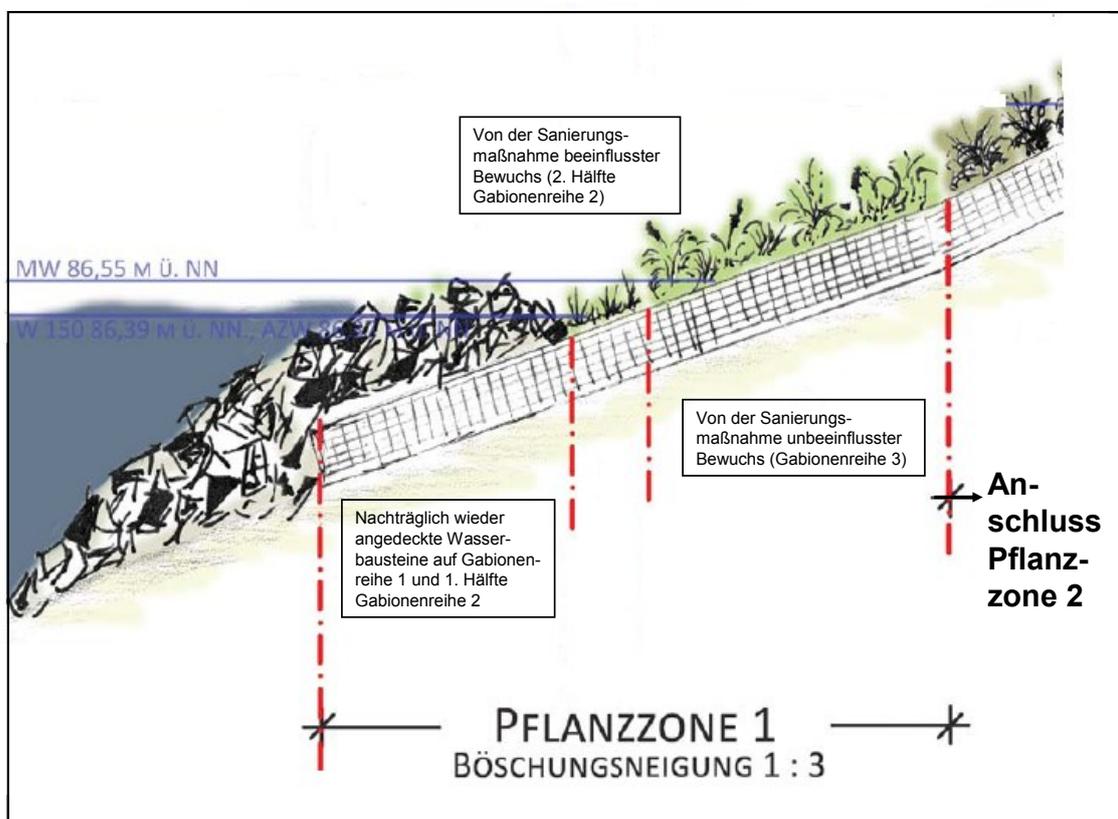


Bild 4.6-4: Querschnittsskizze VF 5a (modifiziert nach (Gondek & Koß, 2013)): Röhrichtgabionen der Pflanzzone 1 mit saniertem unteren Bereich (1 ½ Gabionenreihen mit Wasserbausteinen überdeckt).

Die Pflanzen der Röhrichtgabionen hatten den ersten Winter nach Einbau gut überstanden. Die dominant gepflanzten Arten Schlank- und Ufer-Segge (Pflanzzone 1) und Rohr-Glanzgras (Pflanzzone 2) starben zwar oberirdisch ab, überdauerten den Winter aber mit ihren unterirdischen Ausläufern. Der Rohr-Schwengel als weitere dominant gepflanzte Art der Pflanzzone 2 überwintert hingegen mit seinen grün bleibenden Horsten (vgl. Bild 4.6-5). Bis Ende April 2012 war die Vegetationsentwicklung der Röhrichtgabionen deutlich vorangeschritten (vgl. Bild 4.6-6). Pflanzzone 1 mit überwiegend Schlank- und Ufer-Segge hob sich bereits optisch gut von der darüber anschließenden Pflanzzone 2 mit überwiegend Rohr-Schwengel und Rohr-Glanzgras ab.



Bild 4.6-5: Röhrichtgabionen: Winteraspekt (Mitte März 2012)



Bild 4.6-6: Röhrichtgabionen: Beginnende Vegetationsentwicklung (Ende April 2012)

Grund dafür waren u. a. die günstigen Niederschlagsmengen in den Monaten April und Mai und die bis Anfang Juni günstigen Wasserstände (Bereich um AZW), so dass sich die Pflanzen unter optimalen Bedingungen gut und vital entwickeln konnten. Erst zum Zeitpunkt der Vegetationskartierung am 5.6.12 fingen die Wasserstände wieder an zu steigen (vgl. Bild 2.3-1).

In der Phase der Vegetationsentwicklung, insbesondere in den eher trockeneren Monaten März und April (vgl. Bild 2.2-3), standen der Pflanzzone 1 somit günstigere Wasserverhältnisse zur Verfügung als der in der Uferböschung höher liegenden Pflanzzone 2, weshalb Pflanzzone 1 zunächst eine insgesamt bessere Entwicklung vollzog.

## Juni-Kartierung

In **Pflanzzone 1** (von AZW - 0,5 m bis etwa AZW + 0,5 m) betrug die Gesamtdeckung pflanzlichen Bewuchses 80% (davon Schlank- und Ufer-Segge – dominant gepflanzt – mit ca. 50-70% Deckungsanteil, die Deckungsanteile der gepflanzten Beierarten betragen für die Arten Weißes Straußgras, Sumpf-Segge und Rohr-Glanzgras ca. 25-50%. Die Art Sumpfschwertlilie erreichte Deckungen von 5-15% (vgl. Tab. 4.6-2). Die hochwüchsigen Gräser erreichten zudem Höhen bis 80 cm. Gewöhnliche Teichsimse und Ufer-Wolfstrapp (gepflanzt) ergänzten die entstandene Röhricht-Zone (vgl. Bild 4.6-7).

Spontan haben sich neben den gepflanzten Arten in Pflanzzone 1 überwiegend ruderales und stickstoffliebende Arten, wie u. a. Kletten-Labkraut, Weißer Gänsefuß, Zaunwinde, Wiesen-Löwenzahn, Raue Gänsedistel, Gewöhnliche Kratzdistel, Ampfer-Knöterich und Winden-Knöterich mit Deckungen zwischen 5-15% angesiedelt (vgl. Tab. 4.6-2).



Bild 4.6-7: Wassereitige Pflanzzone 1 mit üppigem Bewuchs – optisch gut abgrenzbar von Pflanzzone 2 (06.06.12; Blick stromauf)



Bild 4.6-8: Pflanzzone 1 mit großen Fehlstellen pflanzlichen Bewuchses nach den hohen Juni/Juli-Wasserständen (Ende Juli 2012, nach 6-wöchigem Überstau; Blick stromab)

**Pflanzzone 2** (von etwa AZW + 0,5 m bis AZW + 1,70 m) entwickelte sich im genannten Zeitraum ebenfalls gut, erreichte aber mit 60% nur eine etwas geringere Gesamtdeckung als Pflanzzone 1. Die dominant gepflanzten Arten Rohr-Schwengel und Rohr-Glanzgras erreichten mit 5-15% bzw. 25-50% die höchsten Deckungen. Die Deckungsanteile der gepflanzten Beierarten Schlank-, Sumpf- und Ufer-Segge, Weißes Straußgras und Rasen-Schmiele betragen jeweils weniger als 5% (vgl. Tab. 4.6-2).

Die Spontanvegetation glich von ihrer Artenzusammensetzung der Pflanzzone 1, auch hier waren überwiegend vereinzelt ruderales und stickstoffliebende Arten eingewandert.

Auffällig war die augenscheinlich schlechtere Entwicklung des Rohr-Glanzgrases und der Seggen, die im mittleren Böschungsbereich – vermutlich aufgrund der schlechteren Wasserversorgung – überwiegend braune Blätter hervorbrachten. Die Entwicklung dieser Zone muss weiter beobachtet werden, um gesicherte Rückschlüsse auf die schlechtere Vitalität mancher Pflanzen ziehen zu können.

Die Wasserstände stiegen im Verlauf des Monats Juni und blieben bis Mitte Juli dauerhaft hoch (vgl. Bild 2.3-1), was dazu führte, dass Pflanzzone 1 ca. 6 Wochen lang ununterbrochen etwa 1 m über AZW überstaut war und sichtlich litt (vgl. Bild 4.6-8). Der Vergleich der Bild 4.6-7 und Bild 4.6-8 zeigt deutlich den Vitalitätsverlust in der betroffenen Pflanzzone.

### **Oktober-Kartierung**

Es folgten ab 19.7.12 – mit Ausnahme eines Zeitraums Anfang September – bis Anfang Oktober Niedrigwasserstände (Bild 2.3-1) bei dennoch feuchten Witterungsverhältnissen (Bild 2.2-3), so dass sich die Pflanzen in Pflanzzone 1 bis zur Vegetationskartierung im Oktober weitestgehend regenerieren konnten.

Die Kartierung am 10.10.12 zeigte, dass sich **Pflanzzone 1** nach den hohen Wasserständen im Juni/Juli und September insgesamt wieder gut erholt hatte. Die Pflanzen wiesen eine Gesamtdeckung von ca. 70% auf (vgl. Tab. 4.6-2). Seggen und Rohr-Glanzgras dominierten mit Deckungen zwischen 25-50%. Im Vergleich zur Juni-Kartierung erreichten die Seggen also einen geringeren Deckungsgrad. Weißes Straußgras und Sumpf-Schwertlilie traten als zweithäufigste Arten mit geringer Deckung (5-15%/<5%) hinzu.

Während im Juni insgesamt rund 40 Arten in Pflanzzone 1 nachgewiesen werden konnten, konnten im Oktober nur noch rund 30 Arten ermittelt werden, was damit zusammenhängt, dass v. a. die Ruderalzeiger die Überstauung nicht vertrugen und sich im Gegensatz zu den gepflanzten Arten nicht wieder erholen konnten, sondern ausfielen. Der Anteil nicht bewachsener Gabionenbereiche betrug verteilt auf die Aufnahme­fläche ca. 30%. Der Gesamteindruck der Röhrichtgabionen war zu diesem Zeitpunkt dennoch gut und es bestand kein Handlungsbedarf. Positiv zu werten war, dass sehr viele Keimlinge, insbesondere des Blut-Weiderichs, über die Fläche verteilt aufgingen, die künftig den derzeit noch lückigen Bewuchs ergänzen werden.

Auch im sanierten untersten Bereich von Pflanzzone 1 waren einige der gepflanzten Röhrichtarten auszumachen, die durch die Wasserbausteine hindurch wachsen konnten – überwiegend in den Bereichen, in denen die Wasserbausteine noch Lücken aufwiesen. Hier traten Seggen, Rohr-Glanzgras, Ufer-Wolfstrapp, Blut-Weiderich, Sumpf-Schwertlilie, Weißes Straußgras und Teich-Simse – Arten der Röhrichtzone – neben wenigen ruderalen Arten, mit ca. 10% Gesamtdeckung hervor.

**Pflanzzone 2** profitierte hingegen von den zeitweise hohen Wasserständen und erreichte im Oktober eine Gesamtdeckung von 80% (vgl. Tab. 4.6-2). Im Gegensatz zu den Juni-Aufnahmen war Pflanzzone 2 somit wuchskräftiger als Pflanzzone 1, was mit den längeren Überflutungen der Pflanzzone 1 zusammenhängt.

Von den dominant gepflanzten Arten Rohr-Schwingel und Rohr-Glanzgras erzielte letztere Art eine durchschnittliche Gesamtdeckung von 50-70%. Der Rohr-Schwingel erreichte eine Deckung von 25-50%. Bis auf wenige ausgefallene Pflanzbulte sind die Arten vital und haben sich im Vergleich zur Juni-Kartierung nach Vitalitätseinbußen wieder gut erholt.

Die Vitalität der Seggen war zum Zeitpunkt der Kartierung im Vergleich zur darunterliegenden Pflanzzone 1 weiterhin schlecht. In den überwiegend braunen Pflanzbulten mit durchschnittlicher Gesamtdeckung von < 5% konnten dennoch junge, frische Triebe im Inneren festgestellt werden. Die Entwicklung muss diesbezüglich weiter verfolgt werden. Die Deckungsanteile der gepflanzten Beirarten betragen weiterhin durchschnittlich ebenfalls < 5%.

Im Vergleich zur Juni-Aufnahme konnten geringere Deckungsgrade für die Spontanvegetation ermittelt werden. Nur noch vereinzelt traten Stickstoffzeiger, wie Gewöhnlicher Beifuß, Löwenzahn, Spieß-Melde, Vielsamiger Gänsefuß, Große Klette u. a., auf. Arten des Grünlandes, die die nächste Sukzessionsfolge einleiten, traten erstmals etwas häufiger hervor, z. B. Weidelgras, Spitzwegerich, Seifenkraut, Weiß-Klee, Wiesen-Labkraut.

Insgesamt entwickelten sich die Röhrlichtgabionen bis zum Herbst gut. Die jungen Pflanzen haben die schwankenden Wasserstände in den unterschiedlichen Pflanzzonen relativ gut ertragen. Vitalitätseinbußen nach längerem Überstau konnten bei wieder besseren Standortbedingungen weitestgehend ausgeglichen werden. Die Röhrlichtgabionen konnten den Uferschutz unter den gegebenen hydraulischen Belastungen aufgrund ihres kompakten, filterstabilen Aufbaus ausreichend gewährleisten.

Tab. 4.6-2: Durchschnittliche prozentuale Gesamtdeckung des Bewuchses in den einzelnen Pflanzzonen der Röhrichtgabionen, differenziert nach den prozentualen Deckungsanteilen der vorkultivierten (v) Haupt- und Beiarten und der Spontanvegetation für die Sommer- und Herbstkartierung.

	<b>Juni-Kartierung</b> (Ø Gesamtdeckung)	<b>Oktober-Kartierung</b> (Ø Gesamtdeckung)
<b>Pflanzzone 1</b>	<b>ca. 80%</b>	<b>ca. 70%</b> (10% im sanierten Bereich)
davon Deckungsanteil:	<i>(Angabe nach Klammer jeweils pro Art)</i>	
<b>Hauptarten (v)</b> Schlank-Segge Ufer-Segge	} 50-70%	25-50%
<b>Beiarten (v)</b> Weißes Straußgras Sumpf-Segge Rohr-Glanzgras Sumpf-Schwertlilie Teich-Simse Ufer-Wolfstrapp Blut-Weiderich		
<b>Spontanvegetation</b> Kletten-Labkraut Weißer-Gänsefuß Zaunwinde Wiesen-Löwenzahn Raue Gänse-distel Gewöhnliche Kratzdistel Ampfer-Knöterich Winden-Knöterich, u. a.	} zwischen 5-15%	<b>Spontanvegetation</b> Spieß-Melde Gewönl. Beifuß Zaunwinde Vielsamiger Gänsefuß Rohr-Schwingel Vogel-Knöterich Ampfer-Knöterich Winden-Knöterich; u.a. } zwischen 5-15%.
<b>Pflanzzone 2</b>	<b>ca. 60%</b>	<b>ca. 80%</b>
davon Deckungsanteil:	<i>(Angabe nach Klammer jeweils pro Art)</i>	
<b>Hauptarten (v)</b> Rohr-Glanzgras Rohr-Schwingel	25-50% (± vital) 5-15%	50-70% 25-50%
<b>Beiarten (v)</b> Schlank-/Sumpf-/Ufer-Segge Weißes Straußgras Rasenschmiele	< 5% (± vital) <5% <5%	< 5% (± vital) <5% <5%
<b>Spontanvegetation</b> Kompass-Lattich Weißer Gänsefuß Vielsamiger Gänsefuß Gewönl. Beifuß Gewönl. Hohlzahn Winden-Knöterich Vogel-Knöterich, u. a.	} zwischen 5-10%	<b>Spontanvegetation</b> Spitz-Wegerich Weidelgras Spieß-Melde Gewönl. Beifuß Weiß-Klee Rainfarn Hecken-Knöterich, u. a. } zwischen 5-15%.

## Steinmatratzen (Böschungsbereich oberhalb ca. AZW + 1,7m)

Im Frühjahr setzte bereits eine spärliche Besiedlung mit Spontanvegetation auf den freiliegenden und mit Boden überdeckten Steinmatratzen ein, wobei letzterer Bereich eine höhere Gesamtdeckung des Bewuchses aufwies (vgl. Bild 4.6-9).

### *Juni-Kartierung*

Die Vegetationserfassung der bereits im Januar durch Hochwasser freigespülten Bereiche der ca. 25 cm dicken Steinmatratzen zeigte Anfang Juni bereits einen artenreichen Spontanbewuchs, der etwa 10% Gesamtdeckung aufwies (vgl. Bild 4.6-9). Die krautigen Arten erreichten dort eine durchschnittliche Wuchshöhe von 20 cm und setzten sich überwiegend aus einjährigen Ackerwildkräutern, wie Klatsch-Mohn, Geruchlose Kamille, Gewöhnliche Vogelmiere und ruderalen, stickstoffliebenden Arten, u. a. Gewöhnlicher Beifuß, Weg-Rauke, Weißer Gänsefuß, Knoblauchsrauke, Vogel-Knöterich, Kompass-Lattich und Winden-Knöterich zusammen. Insgesamt konnten ca. 50 Arten erfasst werden.



Bild 4.6-9: VF 5a: Steinmatratzen mit Spontanvegetation – unterer Bereich durch HW freigespült, oberer Bereich übererdet (5.6.12)

Die noch übererdeten Steinmatratzen im oberen Bereich der Böschung wiesen eine wesentlich höhere Gesamtdeckung des Bewuchses von ca. 40% auf. Die Arten und Artenzahlen waren mit denen des darunterliegenden freigespülten Bereichs vergleichbar. Die Arten wiesen jedoch insgesamt höhere Deckungsgrade und ein kräftigeres Erscheinungsbild auf. Arten, wie u. a. Kompass-Lattich, Winden-Knöterich, Knoblauchsrauke, Gewöhnlicher Hohlzahn, Weißer Gänsefuß und Weg-Rauke brachten hier jeweils bis über 50 Individuen hervor. Es dominierte der niederliegende, einjährige Vogel-Knöterich, der als Nährstoff und Licht liebende Trittpflanze der Ruderalstandorte gilt (Düll, Kutzelnigg, 2011).

## **Oktober-Kartierung**

Vom Sommer zum Herbst änderte sich der Bewuchs hin zu spätblühenden Arten. Die durchschnittliche Gesamtdeckung im Oktober betrug im freigespülten Bereich bereits ca. 50%, wobei die Krautschicht Höhen bis 1,20 m erreichte. Dominant traten die Arten Gewöhnlicher Beifuß, Vogel-Knöterich, Brennnessel, Kompass-Lattich und Hecken-Knöterich auf, überwiegend Arten nährstoffreicher Stauden- und ausdauernder Unkrautfluren. Es konnten ca. 90 Arten erfasst werden. Die gute Besiedlung der Steinmatratzen kann ggf. darauf zurückgeführt werden, dass sich Bodenmaterial im Lückensystem der kleineren Steingrößen – auch nach der Erosion von weiter oben – halten konnte.

Die noch übererdeten Steinmatratzen wiesen dagegen eine Vegetationsdeckung von ca. 80% auf. Hier erreichte die Krautschicht Höhen bis 1,50 m. Aufgrund des dichteren Bewuchses und einer höheren Konkurrenzkraft der Arten konnten hier nur ca. 60 Arten ermittelt werden. Dominant traten die gleichen Arten wie im darunterliegenden freigespülten Bereich auf.

### **4.6.2.2 Versuchsfeld 5b**

#### **Steinmatratzen mit Pflanzmattenauflage (Böschungsbereich unterhalb ca. AZW + 1,7m)**

Die Pflanzmattenauflage auf den Steinmatratzen reicht von AZW - 0,5 m bis AZW + 1,70 m und unterteilte sich von der vorkultivierten Artenkombination ebenfalls in zwei unterschiedliche Pflanzzonen (Arten wie in VF 5a). Im ersten Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA, 2012) wurde beschrieben, dass die Pflanzmatten der Pflanzzone 2 bei Anlieferung bereits teilweise sehr geringen Bewuchs aufwiesen und besonders die dominant gepflanzten Arten Rohr-Schwingel und Rohr-Glanzgras schlecht entwickelt waren. Der Bewuchs der Pflanzzone 1 war auch nicht optimal, aber noch zufriedenstellend. Da kurzfristig kein Ersatz lieferbar war, mussten die Matten eingebaut werden. Die Ausgangsbedingungen für die Untersuchung dieser Uferschutzvariante waren dadurch leider nicht gut.

## **Juni-Kartierung**

Bereits im Frühjahr waren die Schäden an den Pflanzmatten nach mehreren Hochwassern und starkem Frost in den Wintermonaten erheblich (vgl. Bild 4.6-10). Das Kokosgewebe löste sich überwiegend auf und die Vegetationsentwicklung der vorkultivierten Pflanzen blieb weitestgehend aus. Bei der Juni-Kartierung waren bereits ca. 95% der gepflanzten Arten ausgefallen, eine Unterscheidung der zwei Pflanzzonen war nicht mehr möglich und sinnvoll. Die Gesamtdeckung des Bewuchses betrug nur etwa 10%. Neben vereinzelt Exemplaren des Rohr-Glanzgrases und Rohr-Schwingels traten nur wenige Arten spontan hinzu.

Die Variante ließ bereits im Frühjahr nicht erwarten, dass sich künftig noch eine flächige Entwicklung der Pflanzen einstellen wird.

### **Oktober-Kartierung**

Bei der Oktober-Kartierung wurde der Pflanzmattenbereich nicht mehr mit aufgenommen. Der Bewuchs war vollständig ausgefallen. Für den Ausfall aller vorgezogenen Pflanzen und die mangelhafte Entwicklung eines Spontanbewuchses sind möglicherweise folgende Gründe anzuführen:

- Die Pflanzen hatten z. T. bereits bei Lieferung eine schlechte Vitalität und dadurch sehr ungünstige Anfangsbedingungen für Winter- (Temperaturen bis ca. - 15 °C), Hochwasser- (langandauernder Überstau) und Trockenbedingungen (niedrige Wasserstände).
- Durch die punktuelle und z. T. linienförmige Fixierung der Pflanzmatten wurden diese nicht ausreichend flächig an den Untergrund gedrückt. Durch Pumpeffekte bei Überstau und gleichzeitiger Wellenbelastung kam es ständig zu einem „Aufblähen“ und Absenken der Pflanzmatten zwischen den Befestigungen. Ein kontinuierlicher Kontakt zum Untergrund, der für das Einwachsen der Wurzeln erforderlich ist, war nicht gegeben. Die Pflanzen wurden mechanisch beschädigt und konnten unter der Belastung nicht wurzeln.

Da eine positive Entwicklung der Pflanzmatten bereits jetzt ausgeschlossen werden kann, werden die Pflanzmatten entfernt. Danach ist eine bessere Spontanbesiedlung der reinen Steinmatratzen – wie in den oberen Böschungsbereichen – zu erwarten.



Bild 4.6-10: Pflanzmatten in VF 5b mit fast vollständig ausgefallenem Bewuchs und großen Materialschäden (Ende April 2012)

## **Steinmatratzen ohne Pflanzmattenauflage (Böschungsbereich oberhalb ca. AZW + 1,7m)**

Sowohl die freigespülten als auch noch übererdeten Steinmatratzen entwickelten sich wie in VF 5a beschrieben. Mehrere Jungpflanzen des neophytischen Eschen-Ahorns wurden entfernt.

### **4.6.2.3 Heckenlage entlang der Böschungsoberkante VF 5a und 5b**

Die gepflanzten Arten Blutroter Hartriegel, Pfaffenhütchen, Eingrifflicher Weißdorn, Gewöhnlicher Schneeball, Feld-Ahorn und Vogel-Kirsche entwickelten sich ohne Ausfälle über das gesamte Jahr gut und erreichten bis zum Herbst mit ihren Trieben bereits eine durchschnittliche Höhe von ca. 60 cm. Zwischen den Heckenlagen etablierte sich zudem eine Krautschicht mit einer Gesamtdeckung von 50%. Dabei bedecken junge Keimlinge 25-50% des Bodens.

In den Anlagen 3.12 und 3.13 sind die bei km 441,075 und km 441,100 im Versuchsfeld 5b vor der Baumaßnahme und im April 2012 eingemessenen Querprofile dargestellt. Der obere mit den Steinmatratzen gesicherte Böschungsbereich zeigt, wie auch im Versuchsfeld 5a, eine unregelmäßigere Oberfläche durch die teilweise noch vorhandene Übererdung.

Anlage 4.5 zeigt in Panoramaaufnahmen vom gegenüberliegenden Ufer die zeitliche Entwicklung des gesamten Versuchsfeldes 5a und 5b.

## **4.6.3 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie**

### **4.6.3.1 Vegetation**

Mit den nach unterschiedlichen Zonierungen bepflanzten Röhrichtgabionen (VF 5a) konnten eine weitgehend standortgerechte Ufervegetation etabliert und neue Lebensräume initiiert werden, die in der ursprünglichen Ufersicherung nicht vorhanden waren. Dieses gesetzte ökologische Ziel (vgl. Kap. 4.6.1) wird sich voraussichtlich langfristig erreichen lassen. Vor allem die Arten der Pflanzzone 1 brachten eine artenreiche und kräftig wüchsige Röhrichtzone mit feuchten Hochstauden hervor. Auffällig war der hohe Blütenreichtum im Spätsommer.

Der untere Böschungsbereich von VF 5b ist aus ökologischer Sicht aufgrund der fehlenden pflanzlichen Entwicklung, den zwischenzeitlich freiliegenden Netzstrukturen der Vegetationsmatten, den Holzplatten und Verdrahtungen als negativ einzustufen. Diese auf den Steinmatratzen aufliegenden Sicherungselemente werden deshalb entfernt, um auf den darunter liegenden Steinmatratzen eine spontane Pflanzenentwicklung zu ermöglichen – ähnlich den nachfolgend beschriebenen höher liegenden Uferabschnitten.

In den Steinmatratzenbereichen oberhalb etwa AZW + 1,70 m (VF 5a und b), die mit Oberboden abgedeckt bzw. durch Hochwasser teilweise wieder freigespült wurden, fand eine schnelle und bis zum Herbst großflächige Besiedlung mit einer krautigen Spontanvegetation statt. Insgesamt hat sich aufgrund der unterschiedlichen Substratbedeckung ein sehr arten- und strukturreicher Bewuchs entwickelt. Der Strukturreichtum und die Lebensraumfunktion des VF 5 wird zusätzlich durch den schmalen Heckenstreifen an der Böschungsoberkante erhöht, der künftig zudem eine ungestörte Entwicklung des Versuchsfeldes zulässt, da er ein direktes Betreten des VF verhindern wird.

#### **4.6.3.2 Fauna**

Bei den Befischungsterminen lagen die Wasserstände jeweils um AZW, so dass den Fischen wie im Jahr 2010 und in der Referenzstrecke nur Steinschüttung als Struktur zu Verfügung stand. Es können daher noch keine fischökologischen Aussagen zu den Röhrichtgabionen, Steinmatratzen und Pflanzmatten getroffen werden.

#### **4.6.4 Bisherige Einschätzung**

Sowohl die Röhrichtgabionen als auch die Steinmatratzen haben sich auf der steilen Böschung (1:2,5) im ersten Jahr nach Fertigstellung unter den gegebenen hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt und mehrerer Hochwasser hinsichtlich ihrer Uferschutzfunktion gut bewährt. Sie erwiesen sich als in sich sehr stabil. Aufgrund ihres Eigengewichtes konnte erfolgreich auf zusätzliche Befestigungen verzichtet werden. Röhrichtgabionen und Steinmatratzen lagen nach Verstärkung der Fußeinbindung in der unterhalb von AZW vorhandenen Steinschüttung flächendeckend stabil auf der Böschung. Filterstabilität, Erosionsschutz und Böschungsstandsicherheit konnten kontinuierlich – auch bei zeitweise schlechterer Pflanzenvitalität nach Überstau – gewährleistet werden.

Die Pflanzenvitalität der Röhrichtgabionen in VF 5a zeigte über das Jahr – in Abhängigkeit der Wasserstände – Schwankungen. Besonders in der unteren Pflanzzone 1 wirkte sich ein 6-wöchiger ununterbrochener Einstau bis 1 m über AZW negativ auf die Pflanzenvitalität aus. Es zeigte sich jedoch, dass sich die gepflanzten Arten nach den aufgetretenen Überstauungen schnell wieder erholten und zum Ende der Vegetationsperiode eine gute Vitalität und Durchwurzelung der Gabione aufwiesen.

Die Variante „Vorgezogene Pflanzmatte auf Steinmatratze“ im VF 5b (Böschungsbereich unterhalb AZW + 1,7m) kann bereits nach dem ersten Jahr als nicht erfolgreich bezeichnet werden. Die Steinmatratzen selbst gewährleisteten nach wie vor den Uferschutz. Die Begrünung der Steinmatratzen mit Pflanzmatten hat nicht funktioniert. Da die Pflanzmatten bereits bei Anlieferung und Einbau nicht in einem optimalen Zustand waren, wird es schwierig sein, die genauen Ursachen für den Misserfolg zu benennen. In jedem Fall wird sich auch der fehlende flächige Kontakt der Pflanzmatten zum Untergrund auf die Pflanzen- und

Wurzelentwicklung ausgewirkt haben. Die pflanzenlosen Vegetationsmatten, Holzlatten und Verdrahtungen werden entfernt, um eine günstigere spontane Pflanzenentwicklung direkt auf den Steinmatratzen zu ermöglichen.

Aus faunistischer Sicht können, aufgrund der Wasserstände während der Befischungstermine, noch keine Aussagen zu den Röhrichtgabionen, Steinmatratzen und Pflanzmatten getroffen werden. Die Untersuchungen der terrestrischen Fauna (Vögel, Reptilien, Laufkäfer und Spinnen) werden Ergebnisse zum Besiedlungspotenzial der verschiedenen Bauweisen bringen.

## 4.7 Versuchsfeld 6: Steinschüttung mit Oberboden-Alginatgemisch-Füllung, Nassansaat, Einzelpflanzen (Rhein-km 441,125 bis 441,200 – 75 m VF-Länge)

### 4.7.1 Kurzbeschreibung Versuchsfeld

Im Versuchsfeld 6 blieb die vorhandene Steinschüttung (lose Wasserbausteine der Klasse LMB<sub>5/40</sub> (TLW, 2003) mit einer durchschnittlichen Dichte von 2,6 t/m<sup>3</sup>, Schichtdicke ca. 0,6 bis 0,8 m, ohne zusätzliche Filterschicht) als Ufersicherung erhalten. Zur Förderung der pflanzlichen Entwicklung auf der Uferböschung wurde in die Hohlräume der Steinschüttung großflächig ein Oberboden-Alginatgemisch (250 l/m<sup>2</sup>) eingepumpt und mit einer Nassansaat (Anspritzbegrünung mit 30 g/m<sup>2</sup> Saatgut) versehen. Auf eine Bepflanzung der Böschung wurde verzichtet.

Zusätzlich wurden im Bereich zwischen AZW und AZW - 0,5 m einzelne Röhrichtbulbe (4 Stück pro m<sup>2</sup>, bestehend aus Einzelpflanzen verschiedener Röhrichtarten) direkt in die Steinschüttung eingebaut und zwischen Einzelsteinen befestigt.

Eine Übersicht zeigt Bild 4.7-1, weitere Einzelheiten enthält (BAW, BfG, WSA-MA, 2012).

<p><b><u>Ufersicherung:</u></b> Steinschüttung bleibt erhalten Ökologische Aufwertung durch:</p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Einpumpen einer Oberboden-Alginatmischung in die Hohlräume der Steinschüttung</li><li>- Nassansaat (standortheimische Gräser)</li><li>- Lokale Röhrichtballenpflanzung in Steinschüttung bei AZW</li></ul> <p><b><u>Ökologisches Ziel:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Initiierung einer standortgerechten Ufervegetation (Röhrichte, Gräser)</li><li>- Aufwertung von Standortbedingungen zur Förderung einer natürlichen Sukzession</li><li>- Förderung der Fauna und Flora</li></ul> <p>-</p> <p>-</p>	
--	--

Bild 4.7-1: Übersicht Versuchsfeld 6

## 4.7.2 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation

In diesem Versuchsfeld werden die Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion und die Böschungsstandsicherheit nach wie vor durch die Steinschüttung gewährleistet. Das Oberboden-Alginatgemisch mit Saatgut und die eingebauten Röhrichtbulte sind als Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung der Steinschüttung vorgesehen. Ein kritisches Anfangsstadium nach Fertigstellung gibt es hinsichtlich der Uferstandsicherheit hier nicht.

Das Oberboden-Alginatgemisch wurde Anfang Oktober 2011 auf bzw. in die vorhandene Steinschüttung gepumpt. Am 11.10.11 fand die Nassansaat mit standortheimischen Gräsern statt. Unmittelbar danach stieg der Wasserstand am 13.10.11 in VF 6 auf NN + 86,98 m, ca. 60 cm über AZW. Nach dem Rückgang des Wassers wurde erkennbar, dass das Oberboden-Alginatgemisch bis zum maximal aufgetretenen Wasserstand zum größten Teil aus der Böschung ausgewaschen worden war. Es war gegenüber den aufgetretenen hydraulischen Belastungen nicht ausreichend erosionsstabil. Um ein Nachrutschen des Alginats von weiter oberhalb der Böschung zu verhindern, wurde im Streifen des erodierten Alginats oberhalb der eingebauten Röhrichtbulte, in der unterstrom gelegenen Hälfte des Versuchsfeldes, Ende Oktober ein Kiesgemisch aufgebracht (vgl. Bild 4.7-2). In der oberstrom gelegenen Hälfte blieb der Zustand zu Vergleichszwecken unverändert. Die Röhrichtbulte wurden im Dezember zusätzlich besser befestigt und fixiert (vgl. Tab. 4.7-1).



Bild 4.7-2: Flächig gekeimtes Saatgut oberhalb des nachträglich mit Kies verfüllten unteren Böschungsbereiches (15.12.11)

Anfang November war ein erster grüner Flaum auf dem verbliebenen Alginat vom keimenden Saatgut zu erkennen. Anfang Dezember war das Versuchsfeld flächig mit einer jungen und empfindlichen Grasschicht bewachsen (vgl. Bild 4.7-2).

Tab. 4.7-1: Entwicklung der einzelnen Bauweisen in VF 6 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung

Ausführung Bauweise (Winter 2012)	Entwicklungszeitraum (Januar bis September)/erste Vegetationsperiode (März bis Oktober)			
	Beschreibung der Entwicklung (Datum= Zeitpunkt der Feststellung)		Zusätzliche Maßnahme (Datum= Zeitpunkt der Umsetzung)	
Oberbodenalginat gemischt + Zellulose + Stroh	13.10.2011	Auswaschung des Alginats bis zum maximal aufgetretenen Wasserstand	26.10.2011	Einbau Kies (0-63) im Streifen des erodierten Alginats (Länge 30 m) oberhalb der Röhrichtbulte in der unterstrom gelegenen Hälfte des VF
Nassansaat	18.01.2012	weitere Alginatausspülungen, auch Ausspülungen der feinen Kiesfraktionen (oberflächennah)		keine
Röhrichtbulte im unteren wasserseitigen Bereich + dünner Oberboden-Alginatüberzug			14.12.2011	erneute Fixierung der Röhrichtbulte

Es folgten die Hochwasser des Winters 2011/2012, wobei der Höchststand am 8.01.12 bei AZW + 2,73 m erreicht wurde (vgl. Bild 2.3-1). Die junge Grasschicht konnte den weiteren oberflächigen Abtrag des Oberboden-Alginatgemischs nicht verhindern, so dass der höchste Wasserstand als gerade Abtragsgrenze im Deckwerk sichtbar wurde (vgl. Bild 4.7-3). In den tiefer liegenden Steinschichtbereichen war jedoch nach wie vor Alginat vorhanden. Insbesondere die feinen Fraktionen des nachträglich im untersten Böschungsbereich aufgebrauchten Feinkieses wurden ebenfalls weitestgehend ausgetragen.

Die punktuell in einem Streifen zwischen AZW und AZW - 0,5 m eingebrachten Röhrichtbulte hatten sich überwiegend gelockert, konnten aber zu dem Zeitpunkt größtenteils noch nachgewiesen werden.

Bei einer Begehung Mitte März 2012 wurde festgestellt, dass sich der nicht erodierte oberste Böschungsbereich begrünte und auch auf dem im Lückensystem der Steinschüttung verbliebenen Alginat ein grüner Flaum zum Vorschein kam (vgl. Bild 4.7-3). Das Alginat war somit zwischen den Wasserbausteinen doch weitgehend erosionsstabil. Auch die Röhrichtbulte im Bereich um AZW entwickelten erste Austriebe (vgl. Bild 4.7-4).



Bild 4.7-3: Junge Grasschicht auf verbliebenem Alginat, auch im Lückensystem der Steinschüttung (22.3.12)



Bild 4.7-4: Austreibende Sumpfschwertilie (22.3.12)

### **Juni-Kartierung**

Bei der Junikartierung stand das Wasser so hoch, dass die Röhrichtbulte in der Zone um AZW nicht aufgenommen werden konnten. Es wurde die mittlere Böschungszone (Steinschüttung mit im Lückensystem verbliebenen Alginat) getrennt von der oberen Böschungszone mit noch vorhandener Oberboden-Alginatauflage vegetationskundlich erfasst.

In der mittleren Böschungszone (ca. von AZW + 1,0 m bis AZW + 2,2 m) wies der Bewuchs eine Gesamtdeckung von 10% auf. Die Krautschicht erreichte eine Höhe von durchschnittlich 40 cm, Arten der Strauchschicht fehlten. Dominant traten in diesem Bereich überwiegend Stickstoffzeiger und Arten kurzlebiger Unkrautfluren, wie Weißer Gänsefuß, Geruchlose Kamille, Raue Gänsedistel und Gewöhnliche Vogelmilch, mit Deckungen zwischen 5-15% auf. Als weitere stickstoffliebende Arten der Unkrautfluren traten mit einer hohen Stetigkeit u. a. Vogel-Knöterich, Schwarzer Nachtschatten, Kanadisches Berufkraut, Kletten-Labkraut, Hirtentäschel, Gewöhnlicher Hohlzahn, Wermut, Gewöhnliches Tellerkraut und Schmalblättriges Greiskraut (Neophyt) auf. Grünland-Arten, die aus der Nassansaat stammen konnten, wurden nur mit geringer Deckung und Individuenzahl vorgefunden. Das Saatgut wurde überwiegend ausgeschwemmt.

In der oberen Böschungszone (von ca. AZW + 2,2 m bis BOK) dominierte hingegen das Weidelgras, das aus der Nassansaat stammt, mit Deckungen zwischen 15-25% bei einer durchschnittlichen Gesamtdeckung von 30%. Daneben traten weitere Arten des Grünlandes – ebenfalls aus der Nassansaat stammend – wie Gewöhnliches Rispengras, Knauelgras, Wolliges Honiggras und Quecke mit <5% Deckung auf. Viele stickstoffliebende Arten der Unkrautfluren und auch viele annuelle Arten, wie Gewöhnliche Hühnerhirse, Klatsch- und Saat-Mohn siedelten ebenfalls in der Zone, die mit ca. 68 erfassten Arten sehr artenreich war.

### **Oktober-Kartierung**

Bis zur Oktoberkartierung stiegen die Wasserstände noch öfter über AZW und erreichten Mitte Juni, kurz nach der Junikartierung, in VF 6 einen Sommerhöchststand von NN + 88,59 m (ca. 2,20 m über AZW). Über einen Zeitraum von 6 Wochen waren der unterste Meter der Steinschüttung und damit auch die in Bulten gepflanzten Röhrichte vollständig eingestaut. Saatgut und Alginat wurden in den höheren Bereichen weiter ausgespült. Die mittlere Böschungszone wies nur noch wenig Bewuchs mit ca. 5% Gesamteckung auf und auch das Alginat im Lückensystem der Steinschüttung wurde weiter erodiert. Es konnten nur noch vereinzelte Arten der Unkrautfluren nachgewiesen werden.

In der oberen, bisher vom Hochwasser noch unbeeinflussten Böschungszone blieb die Gesamtdeckung bis zum Oktober bei ca. 30%. Auch im Herbst dominierten die Grünlandarten der Nassansaat, wobei Weidelgras überwiegend die lichte Grasdecke bildete. Daneben traten weiterhin Arten der Unkrautfluren und Kratzbeergestrüpp auf. Auffällig viele Keimlinge hatten sich auf den Alginat-Restflächen, auch in den Lücken der Wasserbausteine angesiedelt (vgl. Bild 4.7-5).



Bild 4.7-5: Keimlinge auf Oberboden-Alginat (10.10.12)

Von den angepflanzten Röhrichtbulten konnten am 10.10.12 nur noch vier verkümmerte Einzelexemplare im Bereich um AZW gefunden werden. Die Einzelpflanzen konnten den hohen Belastungen durch Wellenschlag bei mittleren Wasserständen, die bereits unmittelbar nach dem Einbau auftraten, nicht standhalten. Die Pflanzen hatten keine „Schonzeit“ ohne Belastungen zum festen Verankern der Wurzeln im Untergrund. Der 6-wöchige 1 m hohe Überstau im Sommer hat die Pflanzen zusätzlich geschädigt.

Ein Vergleich der 2011 vor Beginn der Baumaßnahme und im April 2012 aufgenommenen Querprofile bei km 441,150 (Anlage 3.14) und km 441,175 (Anlage 3.15) zeigt die Höhe der Alginatauflage auf der Steinschüttung. Besonders bei km 441,175 ist der Abtrag im unteren Böschungsbereich nach den ersten Hochwassern sichtbar.

Anlage 4.6 zeigt in Panoramaaufnahmen vom gegenüberliegenden Ufer die zeitliche Entwicklung des Versuchsfeldes.

### **4.7.3 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie**

#### **4.7.3.1 Vegetation**

Obwohl das Oberboden-Alginatgemisch in Kombination mit der Nassansaat nach den hohen Wasserständen oberflächennah erodiert wurde, konnte sich dennoch zunächst Alginatgemisch und viel Substrat im Lückensystem der Steinschüttung halten. Viele Arten etablierten sich darauf, so dass das Versuchsfeld einen hohen Artenreichtum aufwies – Arten, die jedoch nicht ausdauernd und noch stark vom Einfluss der Baustelle geprägt waren. Im Jahresverlauf nahmen die Arten durch weitere Erosion von Alginat bei Hochwasser ab. Nur am Übergang zur Böschungsplanie konnte sich auf der nicht erodierten Oberboden-Alginat-Schicht eine Grasnarbe aus der Nassansaat entwickeln. Sie setzt sich aus standorttypischen Grünlandarten, durchsetzt von spontan etablierter Krautvegetation, zusammen.

Das Einbringen von Röhrichtbulten in den stark belasteten Bereich um AZW zur Entwicklung einer Röhrichtzone hat keinen Erfolg gezeigt. Die Röhrichtbulte wurden im Laufe des Jahres vollständig ausgeschwemmt.

Das ökologische Ziel, eine standortgerechte Ufervegetation (Röhrichte, Grünlandarten aus Nassansaat) zu initiieren (vgl. Kap. 4.7.1), konnte nur ansatzweise in den höheren Böschungsabschnitten erreicht werden.

#### **4.7.3.2 Fauna**

Bei den Befischungsterminen lagen die Wasserstände jeweils um AZW, so dass den Fischen wie im Jahr 2010 und in der Referenzstrecke nur Steinschüttung als Struktur zu Verfügung stand. Es können daher noch keine fischökologischen Aussagen zu diesem mit Oberboden-Alginatgemisch angedeckten und wieder freigespülten VF getroffen werden.

#### 4.7.4 Bisherige Einschätzung

Die Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion und die Böschungsstandsicherheit sind weiterhin durch die Steinschüttung gewährleistet. Das Oberboden-Alginatgemisch in Kombination mit der Nassansaat wurde durch höhere Wasserstände oberflächennah erodiert. Im Lückensystem der Steinschüttung sind dennoch Alginatreste vorhanden, die künftig Substrat für Spontanvegetation bieten. In den nächsten Jahren muss das Versuchsfeld diesbezüglich weiter beobachtet werden.

Das Einbringen von einzelnen Röhrichtbulten in dem durch Wellen und Strömung bei AZW stark belasteten und mehrfach, zum Teil 6 Wochen lang ununterbrochen eingestauten Bereich hat keinen Erfolg gezeigt. Die Röhrichtbulte konnten dadurch nicht in den Untergrund wurzeln und wurden im Laufe des Jahres vollständig ausgeschwemmt.

Aus faunistischer Sicht können, aufgrund der Wasserstände während der Befischungstermine, noch keine Aussagen zur Verfüllung der Steinschüttung mit Oberboden-Alginatgemisch getroffen werden. Die Untersuchungen der terrestrischen Fauna (Vögel, Reptilien, Laufkäfer und Spinnen) werden Ergebnisse zum Besiedlungspotential der mit Alginat verfüllten Steinschüttung und der Nassansaat bringen.

## **4.8 Versuchsfeld 7: Entfernung der Steinschüttung, Einbau verschiedener Filtermatten (Schafwollvlies, Kokosmatte, Geotextil) und Pflanzmatten, Totholzfashinen, Vegetationswalzen, Nassansaat (Rhein-km 441,200 bis 441,375 – 175 m VF-Länge)**

### **4.8.1 Kurzbeschreibung Versuchsfeld**

Im Versuchsfeld 7 wurde die Steinschüttung von AZW -0,5 m bis zur Böschungsoberkante vollständig entfernt, unterhalb AZW -0,5 m blieb die Steinschüttung unverändert erhalten. Das Gelände wurde auf eine Neigung von 1:3 profiliert, und Pflanzmatten, kombiniert mit verschiedenen Geotextilmatten (Schafwollvlies, Kunststoffvlies, Kokosgewebe) als Filter, wurden eingebaut. In den Pflanzmatten waren im Vorfeld spezielle Artenkombinationen vorkultiviert worden. Für die verschiedenen Varianten wurde das Versuchsfeld in die drei Abschnitte 7a, 7b und 7c eingeteilt.

Im oberstromigen ersten Feld 7a sind im unteren Böschungsbereich (AZW - 0,5 m bis AZW + 1,70 m) Pflanzmatten auf einem Schafwollvlies (460 g/m<sup>2</sup>) (7a1) bzw. einem Kunststoffvlies (300 g/m<sup>2</sup>) (7a2) mit einer seitlichen Überlappung von 30 cm angeordnet. Die Pflanzmatten wurden am unteren Ende in die Steinschüttung unter Wasser eingebunden. Die Befestigung der Matten selbst erfolgte mit parallel zur Uferlinie angeordneten Querriegeln und Holzpflocken. Oberhalb AZW + 1,70 m wurde im gesamten Feld 7a auf dem Planum eine Nassansaat aus standortheimischen Gräsern und Kräutern (20 g/m<sup>2</sup>) durchgeführt und mit einem Kokosgewebe (1000 g/m<sup>2</sup>) abgedeckt. Das Kokosgewebe wurde nur punktuell mit Holzpflocken befestigt. Der Übergangsbereich bei AZW + 1,70 m wurde mit einer parallel zur Uferlinie verlaufenden Totholzfmaschine gesichert.

In den stromab folgenden Feldern 7b und 7c sind im unteren Böschungsbereich (AZW + 0,5 m bis AZW + 1,70 m) Pflanzmatten auf einem Kunststoffvlies (300 g/m<sup>2</sup>) (7b) bzw. Schafwollvlies (460 g/m<sup>2</sup>) (7c) eingebaut. Im darüber liegenden Böschungsbereich sind die Pflanzmatten auf einem Kokosgewebe (1000 g/m<sup>2</sup>) angeordnet. Die Befestigung der Pflanzmatten erfolgte auch hier mit parallel zur Uferlinie angeordneten Querriegeln und Holzpflocken.

Im Bereich zwischen AZW - 0,5 m und AZW + 0,5 m wurden in den Feldern 7b und 7c parallel zur Uferlinie mit Kies und einzelnen Röhrichtballen gefüllte Vegetationswalzen verlegt. Sie sind im Feld 7b mit Kokosgewebe und im Feld 7c mit Schafwollvlies und Kokosgewebe ummantelt und in der Steinschüttung verankert. Sie bilden hier gleichzeitig die Fußeinbindung für die Pflanzmatten.

Da die Pflanzmatten selbst sehr grobmaschig sind, waren zusätzlich Filtermatten erforderlich. Diese sollten gegenüber dem anstehenden Boden filterstabil sein, ausreichende

Festigkeit und Durchlässigkeit besitzen sowie durchwurzelbar und möglichst biologisch abbaubar sein, da sie hauptsächlich für den Anfangszustand erforderlich sind. Die optimale Filtermatte, die alle Forderungen erfüllt, konnte bisher noch nicht gefunden werden. Deshalb werden die drei Matten mit den jeweiligen Einschränkungen hier getestet: Das Kunststoffvlies, das nicht biologisch abbaubar ist, das Kokosgewebe, das nicht ausreichend filterstabil ist (eingebaut deshalb nur im seltener eingestauten oberen Böschungsbereich) und das Schafwollvlies, das sich – wie sich in der Versuchsstrecke zeigte – zu schnell biologisch abbaut.

Die Pflanzmatten wurden ohne Zonierung von der Firma Ökon Vegetationstechnik GmbH mit Schilf, Rohr-Glanzgras, Schlank-Segge und Artenmischungen der Röhrlichtzone vorkultiviert. Bereits beim Einbau waren sie insgesamt in einem schlechten Ausgangszustand. Die Matten mussten teilweise durch Matten aus dem Standardprogramm des Herstellers (folgend „Matentyp rot“ („Ersatz“) genannt) ersetzt werden. Diese enthielten jedoch Arten, die nur bedingt für die Standortverhältnisse an der Versuchsstrecke geeignet waren. Die Ausgangsbedingungen waren deshalb für dieses Versuchsfeld nicht gut.

Eine Übersicht zum Versuchsfeld 7 zeigt Bild 4.8-1, weitere Einzelheiten zum Versuchsfeld enthält (BAW, BfG, WSA-MA, 2012).

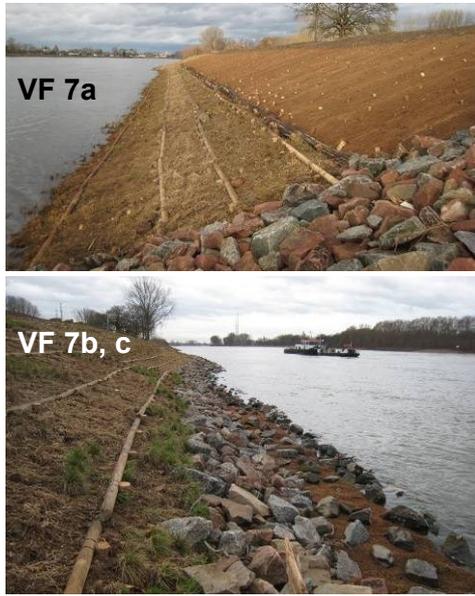
<p><b><u>Ufersicherung:</u></b> Entfernung der Steinschüttung <b><u>VF 7a:</u></b> (Schilf-)Röhrlichtmatten im unteren und mittleren Böschungsbereich auf Schafwollvlies (7a1) bzw. Geotextil (7a2), Totholzfaschinen im mittleren Böschungsbereich, Nassansaat abgedeckt mit Kokosgewebe im oberen Böschungsbereich <b><u>VF7b und 7c:</u></b> Vegetationswalzen bei AZW (Ummantelung aus Kokosgewebe (VF 7b) bzw. Schafwollvlies (VF 7c), Pflanzmatten bei AZW +0,5 m bis BOK im unteren Böschungsbereich auf Geotextil (VF 7b) bzw. Schafwollvlies (VF 7c), im oberen Bereich auf Kokosmatte (VF 7b und c)</p> <p><b><u>Ökologisches Ziel:</u></b></p> <ul style="list-style-type: none"><li>- Initiierung einer standortgerechten Ufervegetation (Röhrlichte, Gräser)</li><li>- Aufwertung von Standortbedingungen zur Förderung einer natürlichen Sukzession</li><li>- Schaffung von Lebensraumstrukturen</li><li>- Förderung der Fauna und Flora</li></ul>	
--	--

Bild 4.8-1: Übersicht Versuchsfeld 7 unmittelbar nach Einbau

## 4.8.2 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation

In diesem Versuchsfeld sollen die Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion und die Uferstandsicherheit nach Rückbau der Steinschüttung durch die vorkultivierten Pflanzmatten und in der Anfangszeit zusätzlich durch die verschiedenen Filtermatten gewährleistet werden. Nur im oberen Böschungsbereich der Felder 7a1 und 7a2 ist das Kokosgewebe auf Nassansaat die alleinige Sicherung. Im Gegensatz zu den Röhrichtgabionen und Steinmatratzen im VF 5 besitzen die Pflanzmatten und Filtermatten kein signifikantes Eigengewicht, d. h. sie sind nach dem Einbau bei hydraulischen Belastungen ohne zusätzliche Befestigungen auf der Böschung nicht lagestabil. Deshalb kommt den Befestigungen in diesem Versuchsfeld eine besondere Bedeutung zu – einerseits zur Fixierung der Matten auf der Böschung und andererseits zur Gewährleistung des Uferschutzes. Die Pflanzmatten müssen von Anfang an auch bei Überstau dauerhaft möglichst flächig an den Boden gepresst werden, um das für den langfristigen Uferschutz notwendige Anwachsen und Verwurzeln der Pflanzen im Untergrund zu ermöglichen. Der Anfangszustand, in dem noch keine Wurzeln vorhanden sind, ist deshalb hier besonders kritisch zu sehen. Zusätzlich negativ wirkte sich der teilweise schlechte Ausgangszustand der Pflanzmatten aus. Langfristig soll der Uferschutz hauptsächlich durch ein verzweigtes, ausreichend tief reichendes Wurzelsystem, aber auch durch die oberirdischen Pflanzenteile (Oberflächenerosion) erfolgen, so dass die Befestigungen mit der Zeit an Bedeutung verlieren.

Kurze Zeit nach Baufertigstellung traten bereits die ersten Hochwässer auf. Am 08.01.2012 lag der Wasserstand ca. 30 cm über der Marke I, d. h. etwa 1 m unterhalb der Böschungsoberkante. Das Wasser sank bis zum 19.01.2012 wieder auf AZW und stieg danach erneut bis zum 24.01.12 auf etwa die Höhe der Marke I (vgl. Bild 2.3-1). Der mehrfache hohe Überstau der Uferböschung führte zu verschiedenen Schäden in diesem Versuchsfeld, die angepasste Sanierungsmaßnahmen erforderten, die in Tab. 4.8-1 für die einzelnen Versuchsfeldabschnitte 7a1, 7a2, 7b und 7c differenziert beschrieben sind. Hauptmaßnahmen waren zusätzliche Ansaaten im gesamten VF 7 mit Wintergetreidesaat und Landschaftsrasen sowie das in den einzelnen Versuchsfeldern in unterschiedlichem Ausmaß durchgeführte Abdecken der unteren Böschungsbereiche mit Wasserbausteinen.

Tab. 4.8-1: Entwicklung der einzelnen Bauweisen in Versuchsfeld 7 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung

VF	Ausführung Bauweise (Winter 2012)	Entwicklungszeitraum (Januar bis September)/erste Vegetationsperiode (März bis Oktober)			
		Beschreibung der Entwicklung (Datum= Zeitpunkt der Feststellung)		Zusätzliche Maßnahme (Datum= Zeitpunkt der Umsetzung)	
7a	Schilf-Röhrichtmatten im unteren und mittleren Böschungsbereich auf Schafwollvlies (7a1) bzw. Kunststoffvlies (7a2); Totholzfaschinen im mittleren Böschungsbereich; Nassansaat abgedeckt mit Kokosgewebe im oberen Böschungsbereich	10/2011	Sehr schlechter Zustand der gelieferten Pflanzmatten, viele Pflanzen bereits bei Anlieferung ausgefallen; Einzelne Totholzfaschinen, Pflöcke und Riegelhölzer aufgetrieben, z.T. weggespült; Massive Hohlräume unter Kokosmatte (angeordnet über Nassansaat) – <i>Kokosmatte nicht filterstabil, hier keine Querriegel zur Befestigung</i> ; Lokal frei liegende und beschädigte Schafwollmattenbereiche	22.11.2011	Nachlieferung und Einbau von Matten aus dem Firmenbestand mit z. T. ungeeigneten Pflanzen; Zusätzliche Wintergetreideansaat zur schnellen und flächigen Begrünung
		19.01.2012		22.11.2011	
				20.01.2012	Ersatz der fehlenden Totholzfaschinen durch Riegelhölzer und Auffüllung der Faschinengräben mit Kies, zusätzliche Befestigung der verbliebenen Faschinen, Ersatz fehlender Riegelhölzer
				30.03.2012	Zusätzliche flächige Nassansaat mit Landschaftsrasen (RSM 7.1.2)
				17.-24.04.2012	Einbau von Oberboden und Rasensoden in erodierten Bereichen unter der Kokosmatte (oberhalb AZW+1,7m), Reparatur Kokosgewebe (700 g/m <sup>2</sup> ), neue Verpflockung
	24.05.2012	Spärlicher Aufwuchs der Nassansaat, dagegen kräftiger Aufwuchs von Wintergetreide aus Nachsaat, inhomogener und sehr spärlicher Bewuchs der Pflanzmatten; Pflanzmatten schwimmen im Wasserwechselbereich (AZW-0,5m bis AZW +0,5m) auf, da fehlende Pflöcke und Riegelhölzer (teilweise aufgetrieben)		keine	
	12.07.2012	weitere Schäden nach erneuten höheren Wasserständen sichtbar: Schafwollvlies weitestgehend aufgelöst, dadurch bereits lokal Austrag von Boden aus der Böschung, Pflöcke und Riegelhölzer erneut herausgezogen; Schutz durch Kunststoffvlies trotz weniger Schäden in 7a2 noch gegeben	Ende Juli 2012	Sanierung des unteren Bereichs mit Wasserbausteinen bis AZW+1,7m (Höhe Totholzfaschine) in 7a1 (Bereiche mit Schafwollvlies), bis etwa AZW+1m bei 7a2 (Kunststoffvlies); Kiesauffüllung der Totholzfaschinengräben	

VF	Ausführung Bauweise (Winter 2012)	Entwicklungszeitraum (Januar bis September)/erste Vegetationsperiode (März bis Oktober)			
		Beschreibung der Entwicklung (Datum= Zeitpunkt der Feststellung)		Zusätzliche Maßnahme (Datum= Zeitpunkt der Umsetzung)	
7b	Vegetationswalzen (aus Kies 8/32 mm) + Ummantelung mit Kokosgewebe + 10 Stk. Röhrichtbulte/m <sup>2</sup>			30.03.2012	Nassansaat mit Landschaftsrasen (RSM 7.1.2)
	Pflanzmatten im unteren Böschungsbereich auf Kunststoffvlies, im oberen Bereich auf Kokosmatte	12.12.2011	Sehr schlechter Zustand der gelieferten Pflanzmatten bereits beim Einbau, viele Pflanzen bereits bei Anlieferung ausgefallen, Auflösungserscheinungen der Mattengewebe	22.11.2011	Wintergetreideansaat zur schnellen und flächigen Begrünung
		19.01.2012	Lokal Hohlräume durch Bodenaustrag im Bereich der Kokosmatte unter den Pflanzmatten, lokal vollständiger Austrag des Kokosgewebes aus Pflanzmatten, Kunststoffvlies nur gering beschädigt in Randbereichen.	30.03.2012	Nachträgliche flächige Nassansaat mit Landschaftsrasen (RSM 7.1.2)
	17.-24.04.2012			Einbau von Oberboden und Rasensoden in erodierten Bereichen unter der Kokosmatte (oberhalb AZW+1,7m), Reparatur Kokosgewebe (700 g/m <sup>2</sup> ), neue Verpflockung	
		24.05.2012	Spärlicher Aufwuchs der Nassansaat, dagegen kräftiger Aufwuchs von Wintergetreide aus Nachsaat, inhomogener und sehr spärlicher Bewuchs der Pflanzmatten; Pflanzmatten schwimmen im Wasserwechselbereich (AZW-0,5m bis AZW +0,5m) auf, da fehlende Pflöcke und Riegelhölzer (teilweise aufgetrieben)		
		04.07.2012	Austreiben der Ansaat vom 30.03.2012		
		12.07.2012	Lokal Schäden im unteren Böschungsbereich bis zum max. aufgetretenen Wasserstand, insgesamt jedoch nicht so erheblich wie im Bereich 7c, besserer Schutz durch Geotextil	Ende Juli 2012	Sanierung des unteren Bereichs mit Wasserbausteinen bis etwa AZW+1m (Steine enden weniger hoch als im Bereich 7c)

VF	Ausführung Bauweise (Winter 2012)	Entwicklungszeitraum (Januar bis September)/erste Vegetationsperiode (März bis Oktober)			
		Beschreibung der Entwicklung (Datum= Zeitpunkt der Feststellung)		Zusätzliche Maßnahme (Datum= Zeitpunkt der Umsetzung)	
7c	Vegetationswalzen (s. o. + Ummante- lung aus Schafwoll- vlies 460 g und Kokosgewebe)	19.01.2012	Bereichsweise Auflösung der Vegetationswalze	22.11.2011	Wintergetreideansaat zur schnellen und flächigen Begrünung
	Pflanzmatten im unteren Bö- schungsbereich auf Schafwolle, im oberen Bereich auf Kokosmatte	12.12.2011	schlechter Ausgangs- zustand der Pflanzmatten bereits beim Einbau, Auflösungserscheinungen der Schafwollvliese im Wasserwechselbereich		
		19.01.2012	Örtlich Hohlräume durch Bodenaustrag im Bereich der Kokosmatte unter der Pflanzmatte, lokal voll- ständiger Austrag des Kokosgewebes aus Pflanzmatten, Schafwoll- vlies durch Auflösung stark beschädigt	30.03.2012	flächige Nassansaat mit Landschaftsrasen (RSM 7.1.2)
				17.- 24.04.2012	Lokaler Einbau von Oberboden und Ra- sensoden in erodierten Bereichen, Reparatur Kokosgewebe (700 g/m <sup>2</sup> ), neue Verpflo- ckung
		24.05.2012	Spärlicher Aufwuchs der Nassansaat, dagegen kräftiger Aufwuchs von Wintergetreide aus Nachsaat, inhomogener und sehr spärlicher Bewuchs der Pflanzmat- ten; Pflanzmatten schwimmen im Wasser- wechselbereich (AZW - 0,5m bis AZW+0,5m) auf, da fehlende Pflöcke und Riegelhölzer (teilweise aufgetrieben)		
		04.07.2012	Austreiben der Ansaat vom 30.03.2012	Ende Juli 2012	Sanierung des unteren Bereichs mit Wasser- bausteinen bis AZW+1,7m (Höhe Totholzfaschine)
	Nassansaat (RSM 7.1.1) zwischen Weg und BOK			vor 04.07.2012	Mahd

Insgesamt waren die Schäden in den einzelnen Versuchsfeldabschnitten nach den ersten Hochwässern erheblich, wobei sich sehr schnell Unterschiede in Abhängigkeit der eingesetzten Geotextilvliese und der Befestigungen zeigten.

Vor allem im Bereich der Kokosmatten über der Nassansaat im oberen Bereich der Versuchsfelder 7a1 und 7a2 traten im durch Hochwasser eingestauten Bereich sehr große Bodenumlagerungen (Rutschungen) und Erosionen durch die nicht filterstabile Kokosmatte statt. In den im April 2012 eingemessenen Querprofilen bei km 441,225 (Anlage 3.16) und bei km 441,240 (Anlage 3.17) im VF 7a1, bei km 441,260 (Anlage 3.18) und km 441,275

(Anlage 3.19) im VF 7a2 sind die Böschungsverformungen sehr deutlich zu erkennen. Das unmittelbar unter dem höchsten Wasserstand abgerutschte Material hat sich oberhalb der Totholzfaschine bei AZW + 1,70 m abgelagert. Die fest an der Böschungsoberfläche befestigte Faschine hat einen weiteren böschungsabwärts gerichteten Bodentransport weitestgehend verhindert. Die Kokosmatte überspannte dadurch bis etwa 50 cm tiefe Hohlräume.

Die Kornverteilungskurven der oberflächennah unter den Filtermatten anstehenden Böden sind in den Bild 4.8-2 (VF 7a1 und 7a2) und Bild 4.8-3 (VF 7b und 7c) dargestellt. Es handelt sich um schluffige, z. T. kiesige Sande und sandige Schluffe, die bei den auftretenden Belastungen erosionsgefährdet sind.

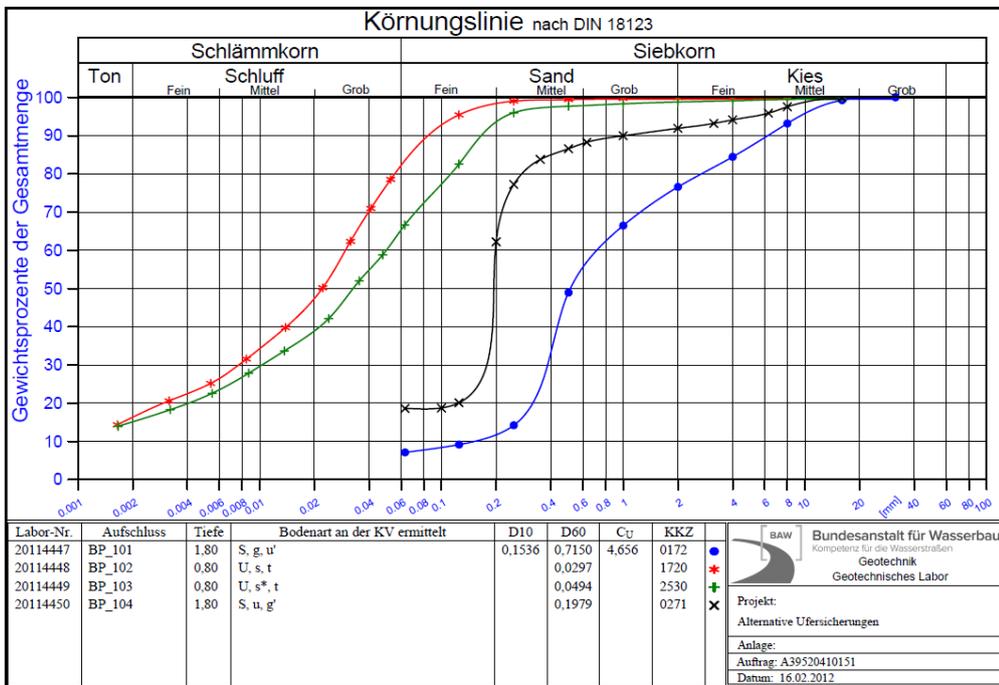


Bild 4.8-2: Kornverteilungskurven im oberflächennahen Boden im VF 7a1 und 7a2

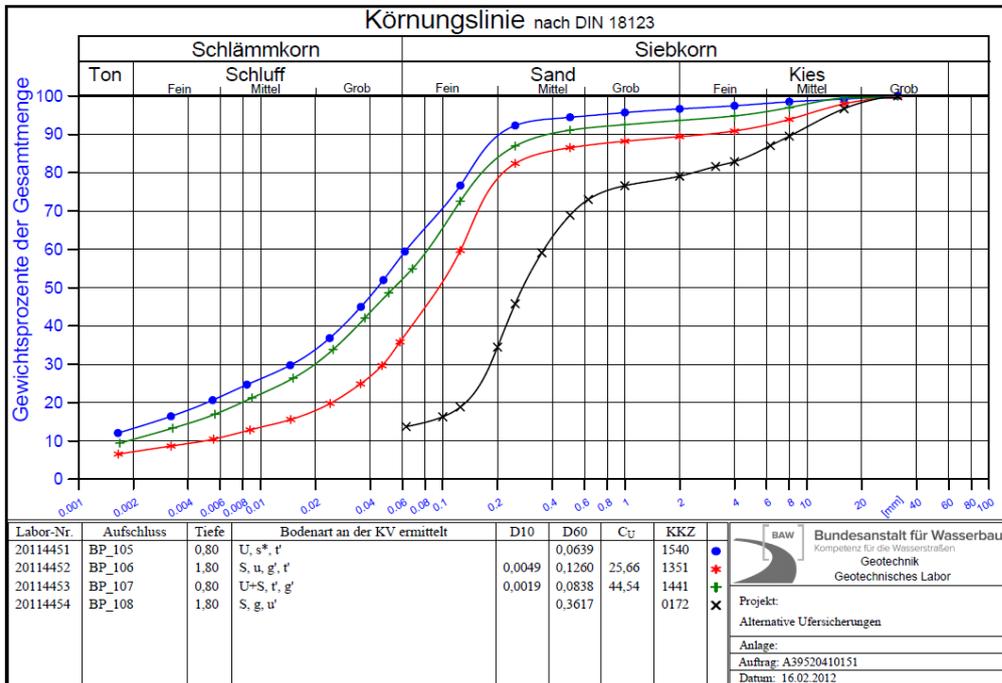


Bild 4.8-3: Kornverteilungskurven im oberflächennahen Boden im VF 7b und 7c

Auch unter den Kokosmatten mit darüberliegenden Pflanzmatten sind lokal Bodenverlagerungen aufgetreten, jedoch in weit geringerem Ausmaß, wie die Querprofile bei km 441,305 (Anlage 3.20) und km 441,320 (Anlage 3.21) im VF 7b und km 441,345 (Anlage 3.22) und km 441,355 (Anlage 3.23) im VF 7c zeigen. Eine Ursache sind die hier im Gegensatz zur Kokosmatte über Nassansaat zusätzlich etwa im Abstand von 1,50 m vorhandenen parallel zur Uferlinie gerichteten Querriegel zur Befestigung der Matten. Wenn diese gut am Untergrund befestigt sind, begrenzen sie die böschungsabwärts gerichteten Bodenumlagerungen zwischen den Riegelhölzern. Im oberen Böschungsbereich der VF 7a1 und 7a2 ist die Kokosmatte dagegen nur punktuell mit Holzpflocken befestigt, die Bodenumlagerungen unter der Matte nicht verhindern können.

In den am häufigsten eingestauten unteren Böschungsbereichen kam es, insbesondere in den Überlappungsbereichen, zum Verrutschen der Vegetations- und Filtermatten, so dass hier lokal teilweise ungeschützte Böschungsbereiche entstanden. Ursache waren hauptsächlich das Auftreiben und zum Teil Wegspülen der Befestigungen, d. h. einzelner Totholzfaschinen (in VF 7a1 und 7a2) sowie von Pflöcken und Riegelhölzern (vgl. Bild 4.8-4). Auch hier konnten die Pflöcke aufgrund alter Steinreste im Untergrund zum großen Teil vermutlich nicht auf Solltiefe eingebracht werden. Lokal freiliegende, bereits im Abbauprozess befindliche und dadurch stark beschädigte Schafwollvliese wurden festgestellt (in VF 7a1 und 7c, vgl. Bild 4.8-6), während die Kunststoffvliese weitestgehend unbeschädigt blieben. Die Schafwollvliese der Vegetationswalzen in VF 7c lösten sich aufgrund des fortgeschrittenen Abbauprozesses bereichsweise auf (Bild 4.8-5). Die Vegetationsmatten in allen Bereichen des VF 7 zeigten ebenfalls Schäden. So kam es lokal zum vollständigen Austrag des

Kokosgewebes und zum Auflösen der Netzstruktur, so dass die noch vorhandenen Pflanzbulte z.T. lose auf den Geotextilvliesen lagen.



Bild 4.8-4: Aufgetriebene Totholzfaschine in VF 7a1 (Dez. 2011)



Bild 4.8-5: Röhrichtwalze mit gerissenem Schafwollvlies und offen liegendem Pflanzbult (22.2.12)



Bild 4.8-6: Gerissene Pflanzmatten und Schafwollvliese mit Bodenaustragsstellen (22.2.12)

Aufgrund der Schäden und des Ausfalls der Pflanzen in den Vegetationsmatten war die Uferböschung zu diesem Zeitpunkt nicht mehr ausreichend vor erneuten hydraulischen Belastungen bei Überstau geschützt, so dass Sanierungsmaßnahmen erforderlich wurden.

Am 20.01.2012 wurden fehlende Riegelhölzer ersetzt und aufgetriebene Befestigungspflöcke nachgeschlagen, die teilweise leeren Faschinengräben in VF 7a1 und 7a2 wieder mit Kies aufgefüllt. Nach diesen ersten Sanierungsmaßnahmen blieben die Wasserstände von Anfang Februar bis Anfang Mai weitestgehend günstig (im Bereich von etwa AZW), so dass Ende März eine flächige Nassansaat mit Landschaftsrasen über die gesamte Versuchsfeldfläche erfolgen konnte. Die im Frühjahr keimende Saat sollte die Verluste des Pflanzmattenbewuchses ergänzen und einen flächendeckenden Wurzelfilz zur weiteren Verankerung der Böschung bilden. Mitte April wurden weiterhin Teilbereiche durch das Aufbringen und Verpflocken von Rasensoden saniert. Im oberen VF-Bereich 7a1 und 7a2 wurde das Kokosvlies in den Bereichen, in denen es Hohlräume überspannte, aufgeschnitten und diese mit Boden aufgefüllt (vgl. Bild 4.8-7). Danach wurde das Kokosvlies neu darüber verlegt und verpflockt (Bild 4.8-8).



Bild 4.8-7: Sanierung von VF 7a1/7a2 (7.4.12)



Bild 4.8-8: Verpflockung des neu überspannten Kokosvlieses in VF 7a1/7a2 (7.4.2012)

Von Anfang bis Ende Mai vorherrschende leicht erhöhte Wasserstände (ca. 0,5 m über AZW) (vgl. Bild 2.3-1) führten im eingestauten Bereich erneut zum Aufschwimmen von Pflöcken und Riegelhölzern. Die Pflanzmatten waren dadurch nicht mehr ausreichend befestigt, so dass sie sich zunehmend bewegten und z. T. aufschwammen. Der Bewuchs in den Pflanzmatten konnte sich somit nicht weiter entwickeln (Bild 4.8-9). Das Wintergetreide aus der Ansaat vom letzten Jahr wuchs im darüber liegenden Böschungsbereich hingegen kräftig auf und dominierte den Bewuchs des Versuchsfeldes.



Bild 4.8-9: Stark geschädigte Mattenbereiche und aufgetriebene Pflöcke und Riegelhölzer in VF 7a1 im Bereich um AZW bis AZW +1 m (30.5.12)

Die Anfang Juni steigenden Wasserstände mit Höchststand von NN + 88,61 m (gemessen etwa in der Mitte der Versuchsstrecke), d. h. ca. 20 cm unterhalb der Marke I, fielen erst am 18.7.12 wieder in den Bereich um AZW (vgl. Bild 2.3-1). Durch den langen, ca. 6-wöchigen Überstau von permanent 1 m, zeitweise auch höher, traten erneute Schäden auf (vgl. Bild 4.8-10). Vor allem das inzwischen weiter biologisch abgebaute Schafwollvlies in VF 7a1 und 7c wies im unteren Böschungsbereich zunehmend mehr Schäden auf, so dass bereits lokal ein Austrag von Boden aus der Böschung stattfand. Die Kunststoffvliesbereiche in VF 7a2 und 7b zeigten demgegenüber kaum Schäden.

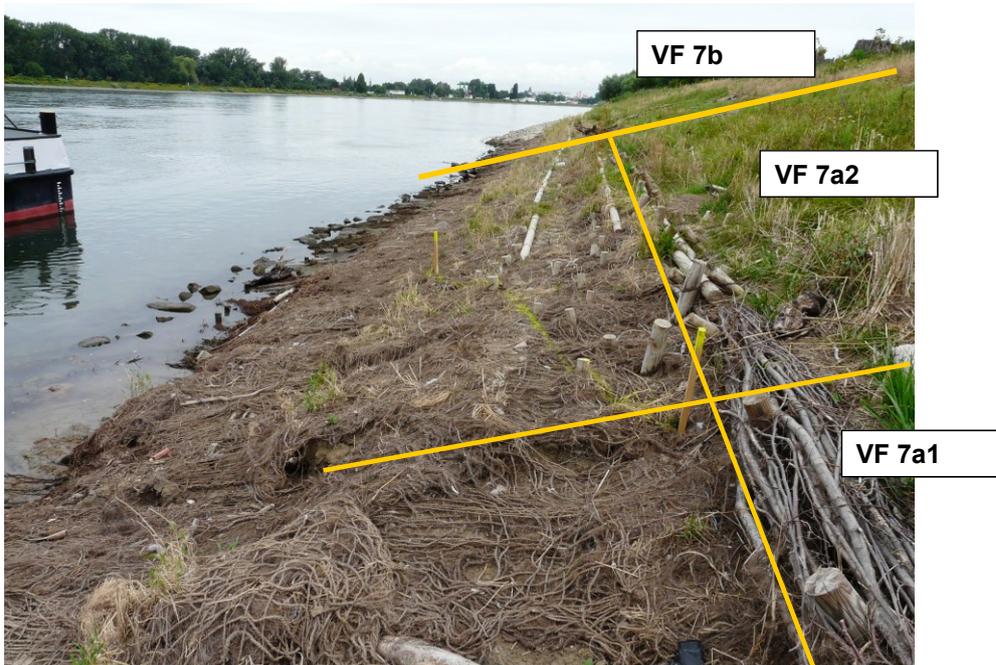


Bild 4.8-10: Nach den hohen Wasserständen (6 Wochen Dauereinstau) aufgetretene Schäden – in VF 7a1/7a2 bis zur Höhe der Totholzfashinen (ca. AZW + 1,7m). Die Schäden in VF 7a1 (Schafwolle) sind dabei erheblicher als in 7a2 (Kunststoffvlies) (Juli 2012; Blick nach stromab).

Als Sanierungsmaßnahme wurden zur Vermeidung weiterer Oberflächenerosion Ende Juli 2012 die unteren Böschungsbereiche mit einer Schicht aus Wasserbausteinen geschützt. In Versuchsfeld 7a1 und 7c (Schafwolle) wurden die Wasserbausteine bis auf Höhe der Totholzfashinen angedeckt. In VF 7a2 und 7b (Geotextil) war aufgrund der noch vorhandenen Schutzwirkung des Kunststoffvlieses nur eine Überschüttung des Bereiches bis ca. AZW + 1,20 m erforderlich (vgl. Bild 4.8-11).

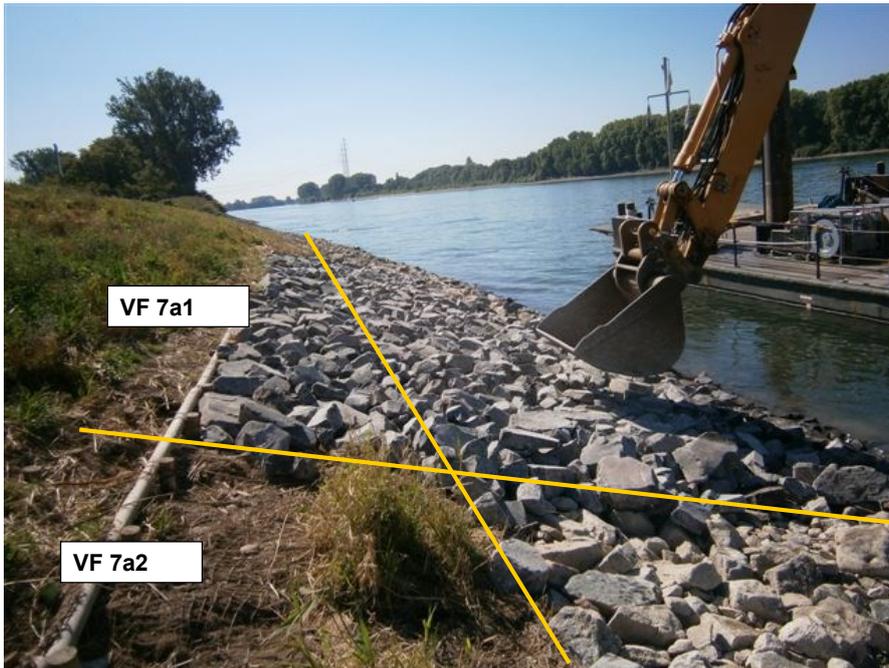


Bild 4.8-11: Sanierung von VF 7 mit Wasserbausteinen. In VF7 a1 reicht die Sanierung weiter die Böschung hinauf als in VF 7a2 (Juli 2012; Blick nach stromauf)

Anlage 4.7 zeigt in Panoramaaufnahmen vom gegenüberliegenden Ufer die zeitliche Entwicklung des Versuchsfeldes.

Bei den Vegetationsaufnahmen Anfang Juni konnten die noch nicht sanierten Bereiche mit kartiert werden. Da in VF 7 unterschiedliche Geotextilien und Pflanzmattenauflagen hinsichtlich ihrer Eignung und Entwicklung in den jeweiligen Böschungszonen, in denen sie eingesetzt wurden, untersucht werden sollen, werden die Ergebnisse der Vegetationskartierung im Folgenden differenziert für die einzelnen Varianten (VF 7a1, 7a2, 7b und 7c) dargestellt (vgl. Tab. 4.8-2). Die Ergebnisse werden insgesamt stark von den einzelnen Nachbesserungsarbeiten beeinflusst.

Tab. 4.8-2: Übersicht über den Aufbau der folgenden Kapitel

<b>Kap. 4.8.2.1</b>	<p>Versuchsfeld 7a, <b>Juni-Kartierung</b></p> <p>Böschungabschnitte <u>unterhalb</u> Totholzfaschine (unterhalb ca. AZW + 1,70 m); <i>Vergleich der Versuchsfelder VF 7a1 – Pflanzmatten auf Schafwollvlies und VF 7a2 – Pflanzmatten auf Kunststoffvlies</i></p> <p>Böschungabschnitte <u>oberhalb</u> Totholzfaschine (oberhalb ca. AZW +1,70 m); <i>Kokosmatte mit Nassansaat; verschiedene Nachbesserungsarbeiten</i></p>
<b>Kap. 4.8.2.2</b>	<p>Versuchsfeld 7b – Pflanzmatten auf Kunststoffvlies bzw. Kokosgewebe im Vergleich zu VF 7c – Pflanzmatten auf Schafwollvlies bzw. Kokosgewebe;  <b>Juni-Kartierung</b></p>
<b>Kap. 4.8.2.3</b>	<p>Versuchsfeld 7a, <b>Oktober-Kartierung</b></p> <p>Böschungabschnitte <u>unterhalb</u> Totholzfaschine (unterhalb ca. AZW +1,70 m); <i>Vergleich der Versuchsfelder VF 7a1 – Pflanzmatten auf Schafwollvlies und VF7a2 – Pflanzmatten auf Kunststoffvlies</i></p> <p>Böschungabschnitte <u>oberhalb</u> Totholzfaschine (oberhalb ca. AZW + 1,70 m); <i>Kokosmatte mit Nassansaat; verschiedene Nachbesserungsarbeiten</i></p>
<b>Kap. 4.8.2.4</b>	<p>Versuchsfeld 7b – Pflanzmatten auf Kunststoffvlies bzw. Kokosgewebe im Vergleich zu VF 7c – Pflanzmatten auf Schafwollvlies bzw. Kokosgewebe;  <b>Oktober-Kartierung</b></p>

#### 4.8.2.1 Versuchsfeld 7a, Juni-Kartierung

Zum Zeitpunkt der Juni-Kartierung (6.6.12) war der Wasserstand in VF 7 so hoch (ca. 72 cm über AZW), dass der Mattentyp blau (vgl. Bild 4.8-12) komplett unter Wasser stand und nicht kartiert werden konnte. Auf der restlichen Böschung hatten sich optisch vier gut voneinander abgrenzbare Vegetationszonen (VZ) entwickelt, die jeweils differenziert kartiert wurden. Die VZ 1-4 sind im Bild 4.8-13 dargestellt.

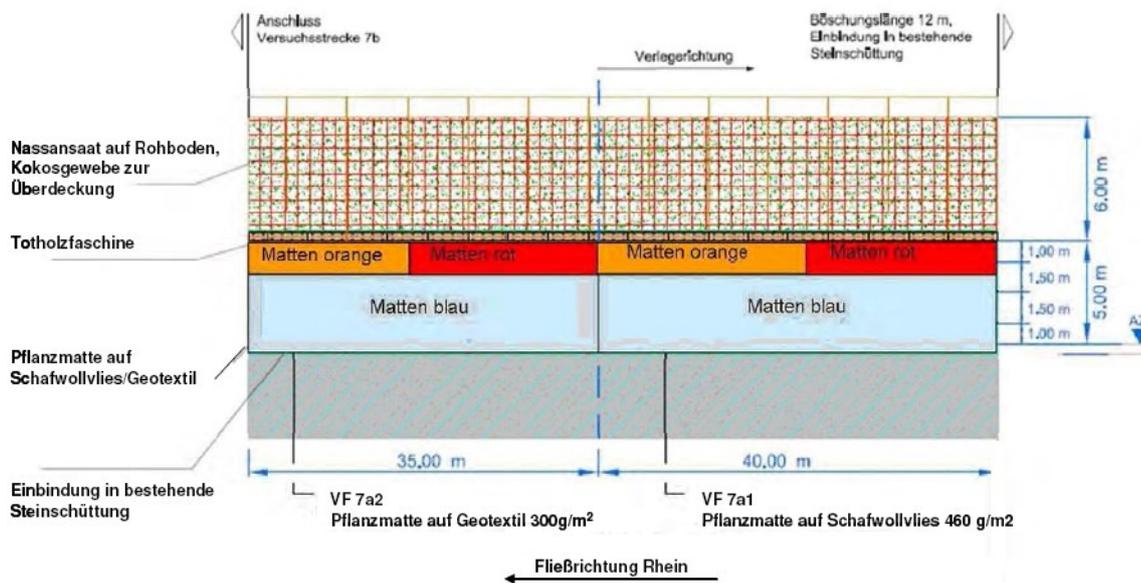


Bild 4.8-12: Systemskizze VF 7a (Details zu den unterschiedlichen Mattentypen sind BAW, BfG, WSA-MA (2012) zu entnehmen).

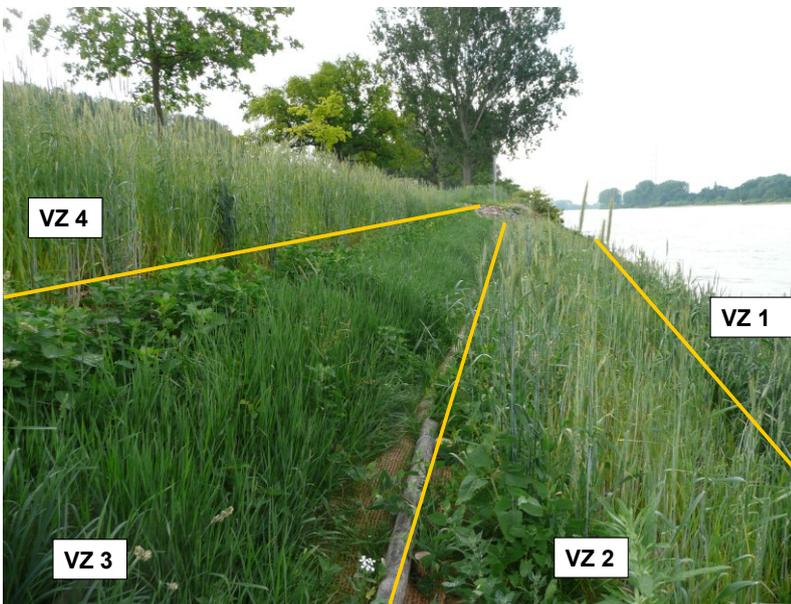


Bild 4.8-13: Vier optisch ausgeprägte Vegetationszonen (VZ) in VF 7a.  
 Lage der Totholzfaschine bei AZW +1,70 m zwischen VZ1 und VZ 2.  
 Sichtbare Querriegel aus Sanierungsmaßnahme zwischen VZ 2 und VZ 3.

## **Böschungsabschnitte unterhalb Totholzfaschine (unterhalb ca. AZW + 1,70 m)**

### ***Vergleich der Versuchsfelder VF 7a1 – Pflanzmatten (Mattentyp blau/rot/orange) auf Schafwollvlies und VF 7a2 – Pflanzmatten (Mattentyp blau/rot/orange) auf Kunststoffvlies***

Die erste Vegetationszone (VZ 1) bildet die Mattentypen rot und orange auf Schafwollvlies (VF 7a1) unterhalb der Totholzfaschine ab. Details zur Artenzusammensetzung der einzelnen Mattentypen sind BAW, BfG, WSA-MA (2012) zu entnehmen. Während Mattentyp orange die von der BfG beauftragte Artenkombination enthielt, musste aufgrund nicht vorhandener anderer Alternativen Mattentyp rot, der nach einem Standardschema der Herstellerfirma bepflanzt war, als Ersatz für nicht qualitätsgerecht gelieferte, in schlechtem Zustand befindliche Pflanzmatten des Mattentyps orange eingebaut werden. Die Pflanzmatten des Standardschemas wiesen zwar nur bedingt die für den Standort geeignete Artenkombination auf, dennoch war die Vitalität der Pflanzen von Anfang an besser als die der Matten des Typs orange. Demzufolge entwickelten sich die Pflanzmatten des Typs rot bis zum Juni besser. Der Bewuchs erreichte eine durchschnittliche Gesamtdeckung von 90% im Vergleich zu 70% der Matten vom Typ orange. Eine vergleichende Übersicht über die folgenden Ergebnisse gibt Tab. 4.8-3.

In beiden Mattentypen dominierte jedoch die Roggen-Trespe, die aus der Wintergetreideansaat vom November 2011 stammt. Daraus stammen weiterhin Roggen mit Deckungen <5 % und Saat-Weizen mit Deckungen zwischen 5-15%. An vorkultivierten Arten konnten in Mattentyp rot (Ersatz) die dominant vorkultivierten gepflanzten Arten Rohr-Glanzgras, Schlank- und Ufer-Segge mit jeweils <5% Deckung nachgewiesen werden. Die dominant gepflanzte Art Sumpf-Schwertlilie wurde hingegen nicht nachgewiesen. Die gepflanzte Beiart Weißes Straußgras nahm höhere Deckungen zwischen 5-15% ein. Rohr-Schwingel, Ufer-Wolfstrapp, Mädesüß und Wasser-Schwaden waren nur mit einzelnen Individuen vertreten (vgl. Tab. 4.8-3).

In Mattentyp orange (beauftragt) trat die dominant gepflanzte Art Rohr-Glanzgras mit Deckungen zwischen 5-15% auf. Die Schlank-Segge trat nur vereinzelt auf und die Ufer-Segge fehlte. Die Deckung der gepflanzten Beiarten war gering. Wie in Mattentyp rot traten auch hier vereinzelt nur Rohr-Schwingel, Ufer-Wolfstrapp und Mädesüß auf (vgl. Tab. 4.8-3).

Spontan haben sich auf Mattentyp rot (Ersatz) ca. 46 Arten, auf Mattentyp orange (beauftragt) ca. 40 Arten angesiedelt, wobei in beiden Fällen überwiegend ruderale und stickstoffliebende Arten, wie Weißer Gänsefuß, Spieß-Melde, Gewöhnlicher Hohlzahn, Ampfer- und Vogel-Knöterich dominierten. Vereinzelt traten in beiden Mattentypen bereits Arten des Grünlandes auf, die vermutlich aus der im oberhalb anschließenden Böschungsbereich aufgebrachten Landschaftsrasenansaat stammen, wie u. a. Weidelgras, Gewöhnliches Rispengras, Quecke, Wiesen-Fuchsschwanz, Weiß-Klee, Spitz-Wegerich.

Hinsichtlich möglicher Einflüsse der unterschiedlichen Filtermatten folgt ein Vergleich der Mattentypen rot und orange aus VF 7a1 auf Schafwollvlies mit den Mattentypen rot und orange aus VF 7a2 auf Kunststoffvlies.

Die Deckungen des Bewuchses waren im VF 7a2 (Kunststoffvlies) mit 90-95% in beiden Mattentypen (rot und orange) insgesamt höher als in VF 7a1 (Schafwollvlies). Es dominierten auch hier Arten aus der Wintergetreideansaat, wobei die einzelnen Arten Roggen-Trespe und Roggen in Mattentyp orange höhere Deckungswerte erreichten als in Mattentyp rot (vgl. Tab. 4.8-3).

An vorkultivierten Arten konnten in Mattentyp rot auf Kunststoffvlies die dominant gepflanzten Arten Rohr-Glanzgras, Schlank- und Ufersegge mit 5-15% Deckung erfasst werden. An vorkultivierten Beipflanzen dominierte das Weiße Straußgras, ebenfalls mit Deckungen zwischen 5-15%. Weitere Beipflanzen wie Rohr-Schwingel, Blut-Weiderich, Mädesüß und Ufer-Wolfstrapp traten nur sporadisch auf (vgl. Tab. 4.8-3).

Mattentyp orange unterschied sich von der Artenzusammensetzung, Artenvielfalt und Artendeckung nicht wesentlich von Mattentyp rot. Auch die Besiedlung mit Spontanbewuchs unterschied sich in beiden Mattentypen nicht wesentlich. Unterschiede zeigten sich im Vergleich der beiden Versuchsfeldabschnitte 7a1 und 7a2 in der etwas besseren Wüchsigkeit der Pflanzmatten auf Kunststoffvlies (VF 7a2) gegenüber denen auf Schafwolle (vgl. Tab. 4.8-3).

## **Böschungsabschnitte oberhalb Totholzfaschine (oberhalb ca. AZW + 1,7 m)**

### ***Kokosmatte mit Nassansaat; verschiedene Nachbesserungsarbeiten***

Da die oberen Bereiche der Böschung in VF 7a1 und 7a2 vom Versuchsfeldaufbau identisch sind (vgl. Bild 4.8-12), werden die Vegetationsaufnahmen, die differenziert für die einzelnen Vegetationszonen (vgl. Bild 4.8-13, VZ 2-4) und getrennt für VF 7a1 und 7a2 durchgeführt wurden, jeweils pro Vegetationszone zusammengefasst.

Die erste optisch abgrenzbare, ca. 2 m breite Vegetationszone (vgl. Bild 4.8-13; VZ 2) oberhalb der Totholzfaschinen bestand überwiegend aus Getreidearten der Ansaat vom November 2011. Nach den hohen Wasserständen kam es zu den oben beschriebenen Bodenverlagerungen. Von weiter oben aus- bzw. abgetragener Boden kam überwiegend in dieser schmalen Zone zum Liegen, weshalb das Wintergetreide hier gut keimen konnte. Roggen dominierte (ca. 50-70% Deckung) neben Saat-Weizen und Roggen-Trespe mit Deckungen zwischen 15-50%. Daneben konnten viele Arten, die überwiegend aus der Landschaftsrasenansaat stammen, ermittelt werden, wie Wiesen-Schafgarbe, Wiesen-Fuchsschwanz, Weidelgras, Hopfenklee, Gewöhnliches Rispengras, Spitz-Wegerich, Mittlerer Wegerich, Einjähriges Rispengras, Wolliges Honiggras, Knauelgras, Weißklee und Quecke. Weiterhin

traten Weißer Gänsefuß, Gewöhnlicher Beifuß, Spießmelde, Vogel-Knöterich und Geruchlose Kamille mit Deckungen zwischen 5-15% spontan, neben weiteren Arten, auf. Die Gesamtdeckung pflanzlichen Bewuchses betrug in dieser 2 m breiten Zone (VZ 2) etwa 80-90% (vgl. Tab. 4.8-3) und die Krautschicht erreichte aufgrund der überwiegend hochwüchsigen Getreidesorten Höhen zwischen 0,6 bis 1,40 m.

Die in Richtung Böschungsschulter anschließende VZ 3 umfasst den Bereich, in dem nach den hohen Wasserständen besonders große Hohlräume (durch das Abrutschen des Bodens nach unten) entstanden waren (siehe Querprofile in den Anlagen 3.16 und 3.17). Wie bereits beschrieben, mussten Boden nachgefüllt, Rasensoden aufgebracht und die Kokosmatte neu darüber verlegt und verpflockt werden (vgl. Bild 4.8-7 und Bild 4.8-8). Die Unterschiede bilden sich in der Vegetationszusammensetzung ab. Der Bewuchs erreichte in VZ 3 eine Gesamtdeckung von ca. 70-80% (vgl. Tab. 4.8-3), war jedoch mit 0,3 bis 0,6 m Höhe wesentlich niedrigwüchsiger (vgl. Bild 4.8-13).

Das Wintergetreidesaatgut wurde durch den Bodenaustrag weitestgehend aus der Zone ausgetragen. Nur vereinzelt traten Roggen, Saat-Weizen und Roggen-Trespe auf. Es dominierten Grünlandarten der verpflanzten Rasensoden, wie Quecke, Weidel-, Rispen-, Wiesen-Fuchsschwanzgras, Gewöhnliche Vogelmiere, Wiesen-Labkraut, Gewöhnliches Hornkraut, Wiesen-Liesch-, Einjähriges Rispen-, Knauelgras, Rohr-Schwingel, Glatthafer, u. a. Weiterhin traten Arten nährstoffreicher Unkrautfluren, wie Weißer Gänsefuß, Bouchons Fuchsschwanz (Neophyt), Gewöhnlicher Beifuß, Vogel-Knöterich, Kletten-Labkraut und Brennnessel auf.

Die VZ 4 unmittelbar unterhalb der Böschungsoberkante bildete wiederum einen Streifen mit überwiegend Wintergetreide ab (vgl. Bild 4.8-13). Da diese Zone bisher nicht eingestaut war, fand hier kein Bodenabtrag statt, so dass das Saatgut keimen konnte. Hier wurde eine Gesamtdeckung von ca. 70% erreicht. Roggen, Saat-Weizen und Roggen-Trespe dominierten neben vereinzelt Arten des Grünlandes, wie Weidel-, Wolliges Honig- und Knauelgras (vgl. Tab. 4.8-2).

#### **4.8.2.2 Versuchsfeld 7b - Pflanzmatten (Mattentyp rot/orange) auf Kunststoffvlies bzw. Kokosgewebe im Vergleich zu VF 7c – Pflanzmatten (Mattentyp rot/orange) auf Schafwollvlies bzw. Kokosgewebe; Vegetationswalzen – Juni-Kartierung**

Auch in diesen Versuchsfeldbereichen werden die Ergebnisse der Juni-Kartierung aus VF 7b (Pflanzmatten auf Kunststoff/Kokos) denen aus VF 7c (Pflanzmatten auf Schafwolle/Kokos) gegenübergestellt (vgl. Bild 4.8-14, Bild 4.8-15). Eine vergleichende Übersicht über die folgenden Ergebnisse gibt Tab. 4.8-4.

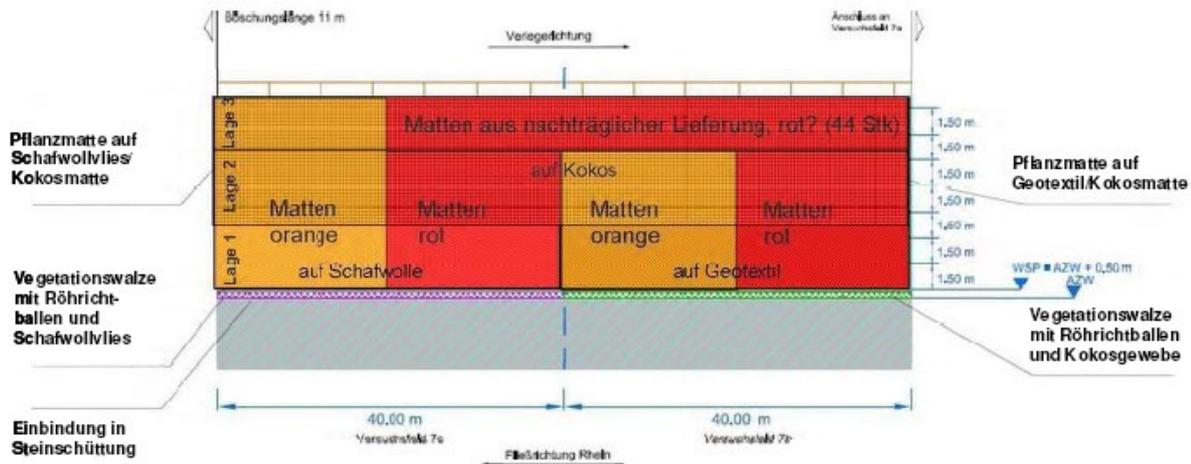


Bild 4.8-14: Systemskizze VF 7b und 7c (Details zu den unterschiedlichen Mattentypen sind BAW, BfG, WSA-MA, 2012 zu entnehmen).

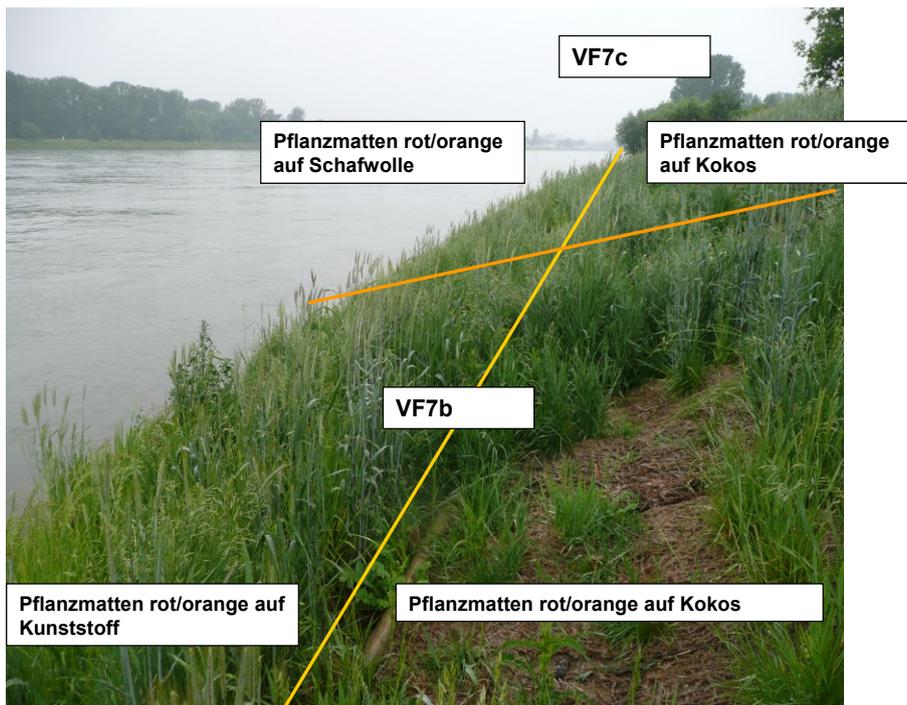


Bild 4.8-15: Unterteilung des VF 7b und 7c nach technischem Aufbau, nach dem sich die Vegetationskartierung im Juni 2012 richtete

Am 6.6.12 lag der Wasserstand in VF 7 ca. 72 cm über AZW, sodass die Vegetationswalzen im Bereich um AZW und die Matten im Bereich bis AZW + 0,7 m in beiden Versuchsfeldabschnitten (7b und 7c) nicht erfasst werden konnten.

Mattentyp orange (beauftragt) und Mattentyp rot (Ersatz) wiesen auf Kunststoffvlies (VF 7b) etwa die gleichen Gesamtdeckungen pflanzlichen Bewuchses von ca. 70-80% auf. An vor-

kultivierten Arten konnten in Mattentyp rot die dominant gepflanzten Arten Rohr-Glanzgras, Schlank-, Ufer-Segge und Sumpf-Schwertlilie mit nur jeweils <5% Deckung nachgewiesen werden. Die gepflanzten Beiarten Weißes Straußgras, Beinwell, Mädesüß und Blut-Weiderich waren ebenfalls nur noch mit einzelnen Individuen vertreten. Höhere Deckungswerte erreichten hingegen die Wintergetreidearten Roggen, Roggen-Trespe und Saat-Weizen. Die Roggen-Trespe trat dabei mit ca. 75% Deckung dominant hervor. Spontan haben sich viele Arten mit dennoch geringer Deckung in den roten Matten etablieren können.

Die Matten vom Typ orange unterschieden sich hinsichtlich des Deckungsgrades nicht wesentlich vom Typ rot. Viele Arten konnten im Vergleich zu den roten Matten eine etwas höhere Deckung erreichen, so z. B. die dominant gepflanzten Arten Rohr-Glanzgras und Ufer-Segge. Ansonsten nahmen auch hier die Getreidearten den größten Teil der Deckung ein.

Auf Schafwollvlies in VF 7c erreichten die Pflanzmatten eine etwas geringere Deckung von etwa 60-80% als auf dem Kunststoffvlies. Da die Entwicklungsunterschiede der beiden Mattentypen rot/orange so gering ausfielen, werden sie hier nicht weiter differenziert betrachtet. Insgesamt dominierten über das VF 7c ebenfalls die Getreidearten Roggen (5-15%), Saat-Weizen (5-15%) und Roggen-Trespe (25-50%). Die dominant gepflanzten Arten und Beiarten waren zwar noch in den Matten vertreten, allerdings mit geringer Individuenzahl und Deckung. Des Weiteren traten in beiden Mattentypen Arten des Grünlandes hinzu, die aus der Nachsaat mit Landschaftsrasen vom 30.3.12 und den verpflockten Rasensoden stammen, wie Quecke, Gewöhnliches Rispen-, Weidelgras, u. a.

Die Pflanzmatten auf Kokosgewebe im oberen Bereich der Versuchsfelder 7b und 7c wurden ebenfalls mit einer Vegetationsaufnahme erfasst (vgl. Bild 4.8-15). Da alle Matten auf Kokos verlegt wurden, werden hier jeweils die Ergebnisse beider Mattenbereiche rot und beider Mattenbereiche orange zusammengefasst.

Mattentyp rot (Ersatz) erreichte in den VF 7b und 7c eine Gesamtdeckung pflanzlichen Bewuchses von ca. 30-50%. Von den ursprünglich gepflanzten Arten konnten Rohr-Glanzgras, Wasser-Minze, Bachbungen-Ehrenpreis, Weißes Straußgras, Schlank-Segge, Großer Schwaden und Sumpf-Schwertlilie mit geringen Individuenzahlen und Deckungen nachgewiesen werden. Arten, wie v. a. Wasser-Minze, Bachbungen-Ehrenpreis, Großer Schwaden und Sumpf-Schwertlilie aus dem Standardprogramm der Herstellerfirma, sind für diesen Böschungsbereich schlecht geeignet, da er zu trocken ist. Die Matten mussten mangels Alternativen dennoch eingebaut werden, da die nach Artenliste BfG bestellten Matten aufgrund von Ausfällen bei der Anzucht nicht ausreichten um das Versuchsfeld vollständig abzudecken (vgl. BAW, BfG, WSA-MA, 2012). Insgesamt dominierten die Arten der Wintergetreidesaat mit 15-25%. Daneben traten Arten des Grünlandes hinzu.

Auch im Mattentyp orange (beauftragt) dominierte Wintergetreide. Der Bewuchs erreichte eine Gesamtdeckung zwischen 40-70%, d. h. eine größere Gesamtdeckung als die Ersatzmatten. Die vorgezogenen Arten, die bereits bei Lieferung deutliche Vitalitätsverluste aufwiesen, waren größtenteils ausgefallen. Einige Grünlandarten etablierten sich aus der Saat und Rasensodenpflanzung.

#### 4.8.2.3 Versuchsfeld 7a, Oktober-Kartierung

Nach den notwendigen Sanierungsarbeiten Ende Juli 2012 entwickelte sich das gesamte Versuchsfeld 7a gut (vgl. Bild 4.8-16). Mitte September standen viele Röhrichte und feuchte Hochstauden in Blüte, überwiegend Arten, die noch aus der ursprünglichen Vorkultivierung stammten (vgl. Bild 4.8-17). Am 10.7.12 konnte beobachtet werden, dass sich wilde Kanadagänse bevorzugt zwischen den Röhrichten aufhielten und den Bewuchs fraßen (Bild 4.8-18).

Bereits Mitte August wurde ein verstärkter Pappeljungwuchs im VF 7a festgestellt (vgl. Bild 4.8-19). Dieser Jungwuchs entstammte als Wurzelbrut den Altpappeln, die ursprünglich an der Böschungsoberkante standen und für die Anlage der Versuchsstrecke gefällt wurden.



Bild 4.8-16: Entwicklung des VF (14.9.12)



Bild 4.8-17: Blühender Blutweiderich (14.9.12)



Bild 4.8-18: Kanadagänse in VF 7c (10.7.12)



Bild 4.8-19: Pappeljungwuchs – markierte Stellen (20.9.12)

Sie breiteten sich über die gesamte Versuchsfeldlänge aus und wurden im Rahmen eines Pflegeganges beseitigt.

### **Böschungsabschnitte unterhalb Totholzfaschine (unterhalb ca. AZW + 1,7 m)**

#### ***Vergleich der Versuchsfelder VF 7a1 – Pflanzmatten (Mattentyp blau/rot/orange) auf Schafwollvlies und VF 7a2 – Pflanzmatten (Mattentyp blau/rot/orange) auf Kunststoffvlies***

Bei der Oktoberkartierung stand der untere Bereich der Böschung, der bis zum maximal aufgetretenen Juli-Wasserstand mit Wasserbausteinen saniert wurde, für eine Aussage zur Entwicklung der Pflanzmatten nicht mehr zur Verfügung. In diesem Bereich konnte dennoch beobachtet werden, dass die Pflanzen vereinzelt durch die Lücken der Schicht aus Wasserbausteinen weiter wuchsen. In einem ca. 2 m breiten Streifen im Bereich der Totholzfaschinen konnte in VF 7a1 und 7a2 eine Gesamtdeckung von etwa 5% pflanzlichen Bewuchses ermittelt werden. Vereinzelt Arten der Röhrichte und feuchten Hochstauden, wie Wasser-Minze, Sumpf-Schwertlilie, Großer Schwaden, Bachungen-Ehrenpreis, Weißes Straußgras und Rohr-Schwingel kamen auf.

Die im Rahmen der Sanierung im VF 7a2 eingebauten Wasserbausteine enden ca. 1,5 m unterhalb der Totholzfaschine. Der Übergangsbereich bis zur Totholzfaschine wurde mit Kies aufgefüllt. Hier (VZ 1, vgl. Bild 4.8-20) wurden überwiegend im Kiesbereich vereinzelt Arten wie Groß-Seggen, Rohr-Glanzgras, Rohr-Schwingel und Weidelgras mit einer Deckung von ca. 5% nachgewiesen (vgl. Tab. 4.8-3).

## **Böschungsabschnitte oberhalb Totholzfaschine (oberhalb ca. AZW + 1,7 m)**

### ***Kokosmatte mit Nassansaat; verschiedene Nachbesserungsarbeiten***

Die Vegetationsaufnahmen des Bereichs „Kokosmatte mit Ansaat und Rasensoden“ bis zur Böschungsoberkante (VZ 2-4) wurden nach dem gleichen Schema wie bei der Juni-Kartierung durchgeführt. Die horizontal ausgeprägten Vegetationszonen (VZ 2-4; vgl. Bild 4.8-13) vom Juni waren auch im Oktober optisch noch gut voneinander abgrenzbar (vgl. Bild 4.8-20).

Im Folgenden werden die VZ 2-4 für die VF 7a1 und 7a2 jeweils wieder zusammengefasst ausgewertet, da sich der Versuchsfeldaufbau in diesem Bereich nicht unterscheidet.

Vegetationszone 2, die im Juni überwiegend durch das hochwüchsige Wintergetreide gekennzeichnet war, wies im Oktober, nach einer Mahd Anfang Juli, nur noch die kurzen Strünke von Roggen, Saat-Weizen und Roggen-Trespe auf. Die Mahd förderte so die krautigen Arten der Grünlandsaaten, die eine Gesamtdeckung von ca. 80% erreichten. Ca. 20% der Kokosmatte waren unbewachsen. Es dominierten Weidelgras, Rohr-Schwingel, Quecke, neben Spieß-Melde, Vogel-Knöterich und Weißem Gänsefuß. Gewöhnlicher Beifuß, Spitz-Wegerich, Knauelgras, Glatthafer, Wiesen-Klee, Geruchlose Kamille und Rot-Schwingel traten häufig hinzu und stammen größtenteils ebenfalls aus der Landschaftsrasensaat. Besonders der Rohr-Schwingel hatte sich in VZ 2 sehr gut entwickelt und nahm Deckungen zwischen 25-50% ein (vgl. Tab. 4.8-3). In dieser Vegetationszone konnten viele Wühlhöcher vorgefunden und Mäuse beobachtet werden, was ggf. auf das erhöhte Nahrungsangebot durch Wintergetreide zurückzuführen ist (vgl. Bild 4.8-21).

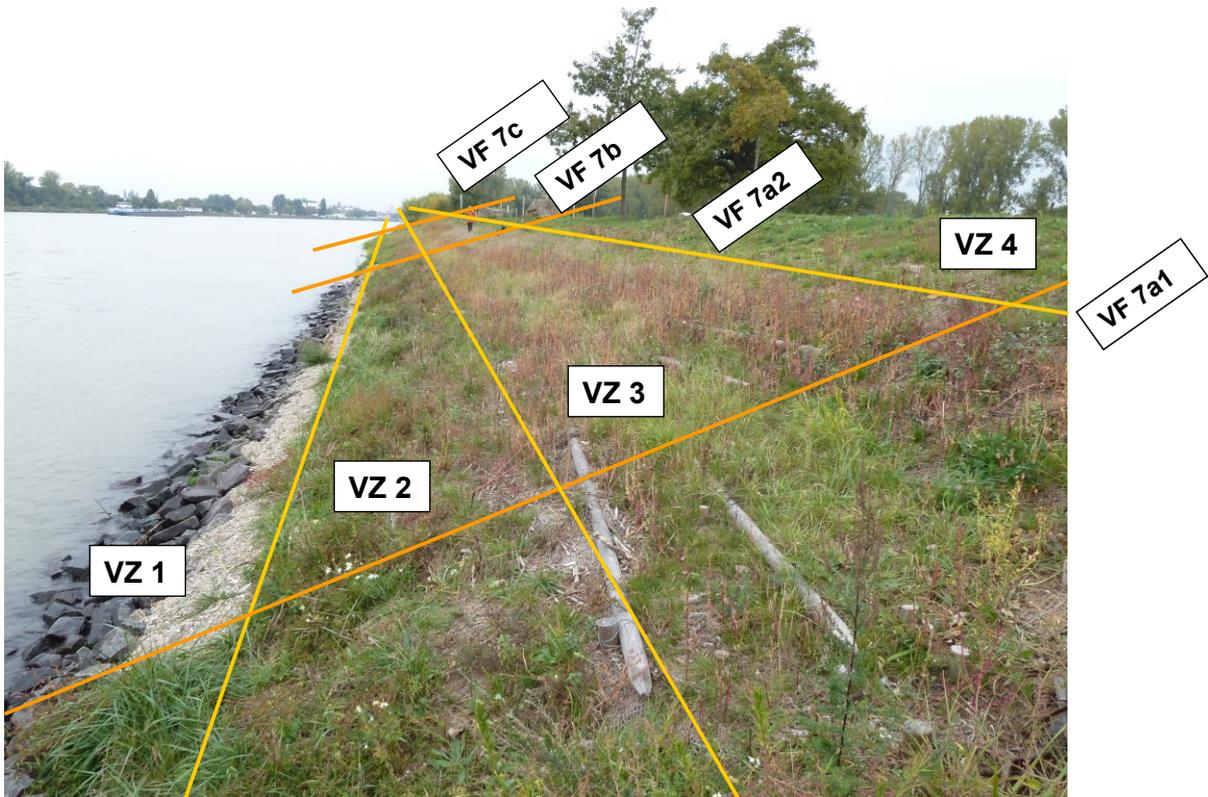


Bild 4.8-20: Optisch differenzierbare Vegetationszonen (VZ) im Herbst, analog zu Bild 4.8-10 (hier Blickrichtung stromab, VZ 1 bereits saniert)



Bild 4.8-21: Wühltätigkeit einer Maus unter zerfressener Kokosmatte in VF 7a1 (10.10.12).

Vegetationszone 3 war im Oktober überwiegend durch das dominante Vorkommen von Weißem Gänsefuß gekennzeichnet, der Deckungen bis 25% erreichte (vgl. Bild 4.8-20, rötlich wirkend und Tab. 4.8-3). Wie bereits beschrieben liegt VZ 3 in dem Bereich, der nachträglich mit Boden verfüllt und mit Rasensoden belegt und verpflockt wurde. Hier konnte die durchschnittlich ca. 0,5 m hohe Krautschicht eine Deckung von 70% erreichen. Es dominierten die Grünlandarten Quecke, Weidel- und Knauelgras, neben Glatthafer, Rot- und Rohr-Schwingel. Weitere Grünlandarten wie Wilde Möhre, Wegerich, Wiesen-Schafgarbe, Wolliges Honiggras und verschiedene Wicken konnten mit geringerer Deckung < 5% erfasst werden.

In Vegetationszone 4, in der im Juni die Wintergetreidearten dominierten, betrug die Deckung der Krautschicht durchschnittlich ca. 60% (vgl. Tab. 4.8-3), wobei Roggen, Saat-Weizen und Roggen-Trespe nur noch durch die kurz gemähten Strünke zu erkennen waren. Auch hier war die Mahd förderlich für die Grünlandarten, die im Vergleich zum Juni deutlich hervortraten. Es dominierten Weidelgras mit Deckungen bis 50%, neben Wolligem Honiggras und Rohr-Schwingel mit Deckungen bis 15%. Daneben traten Arten wie Gewöhnlicher Hornklee, Bunte Kronwicke, Rot-Schwingel, u. a. auf.

Einige Hybrid-Jungpappeln (Neophyt) konnten im oberen Böschungsbereich erfasst werden. Die Entwicklung der Pappeln muss weiter beobachtet werden, um eine angepasste Pflege in den nächsten Jahren durchführen zu können.

Tab. 4.8-3: Durchschnittliche prozentuale Gesamtdeckung des Bewuchses in den Versuchsfeldabschnitten 7a1 und 7a2, differenziert nach den prozentualen Deckungsanteilen der vorkultivierten (v) Haupt- und Beiarten, der Spontanvegetation und der Wintergetreide- sowie Landschaftsrasenansaat für die Juni- und Oktoberkartierung.

	<b>Juni-Kartierung</b> (Ø Gesamtdeckung)	<b>Oktober-Kartierung</b> (Ø Gesamtdeckung)
<b>7a1 - Mattentyp rot</b> (Schafwollvlies) – VZ 1 davon Deckungsanteil:	<b>ca. 90%</b>	<b>ca. 5%</b> (nach Sanierung)
<b>Hauptarten (v)</b> Rohr-Glanzgras Schlank-Segge Ufer-Segge Sumpf-Schwertlilie	<5% keine Individuen	keine Individuen vereinzelte Individuen
<b>Beiarten (v)</b> Weißes Straußgras Rohr-Schwingel Ufer-Wolfstrapp Mädesüß Wasser-Schwaden	5-15% vereinzelte Individuen	vereinzelte Individuen, ebenso von Wasser- Minze, Bachungen- Ehrenpreis, Wasser- Schwaden
<b>Spontanvegetation/ Wintergetreide/ Landschaftsrasenansaat</b> Roggen-Trespe Roggen Saat-Weizen Weißer Gänsefuß Spieß-Melde Hohlzahn Ampfer-Knöterich Vogel-Knöterich Weidelgras, Gewöhnliches Rispengras, u. a.	25-50% <5% 5-15% 5-15%	
<b>7a1 – Mattentyp orange</b> (Schafwollvlies) – VZ 1 davon Deckungsanteil:	<b>ca. 70%</b>	<b>ca. 5%</b> (nach Sanierung)
<b>Hauptarten (v)</b> Rohr-Glanzgras Schlank-Segge Ufer-Segge	5-15% vereinzelte Individuen keine Individuen	Sumpf-Schwertlilie - vereinzelte
<b>Beiarten (v)</b> Rohr-Schwingel Ufer-Wolfstrapp Mädesüß	vereinzelte Individuen	vereinzelte Individuen, zusätzlich Weißes Straußgras
<b>Spontanvegetation/ Wintergetreide/ Landschaftsrasenansaat</b> Roggen-Trespe Roggen Saat-Weizen	25-50% <5% 5-15%	

	<b>Juni-Kartierung</b> (Ø Gesamtdeckung)	<b>Oktober-Kartierung</b> (Ø Gesamtdeckung)
Weißer Gänsefuß Spieß-Melde Hohlzahn Ampfer-Knöterich Vogel-Knöterich Weidelgras Gewöhnliches Rispengras, u. a.	5-15% (vgl. Mattentyp rot)	
<b>7a2 – Mattentyp rot</b> (Kunststoffvlies) – VZ 1 davon Deckungsanteil:	<b>ca. 90-95%</b>	<b>ca. 5%</b> (nach Sanierung)
<b>Hauptarten (v)</b> Rohr-Glanzgras Schlank-Segge Ufer-Segge <b>Beiarten (v)</b> Weißes Straußgras Rohr-Schwingel Blut-Weiderich Mädesüß Ufer-Wolfstrapp <b>Spontanvegetation/ Wintergetreide/ Landschaftsrasenansaat</b> Roggen-Trespe Roggen	5-15%  5-15% vereinzelt Individuen  25-50% bis 50 Individuen (<5%)	5%  vereinzelt Individuen von Wasser-Minze und Rohr-Schwingel  Weidelgras
<b>7a2 – Mattentyp orange</b> (Kunststoffvlies) – VZ 1 davon Deckungsanteil:	<b>ca. 90-95%</b>	<b>ca. 5%</b> (nach Sanierung)
Roggen-Trespe Roggen	vgl. Mattentyp rot 50-75% 5-15%	
<b>7a1 und 7a2 – Kokosmatte mit Nassansaat</b> – VZ 2 davon Deckungsanteil:	<b>ca. 80-90%</b>	<b>ca. 80%</b>
<b>Spontanvegetation/ Wintergetreide/ Landschaftsrasenansaat</b> Roggen Roggen-Trespe Saat-Weizen Wiesen-Schafgarbe, -Fuchsschwanz, Weidel-, Rispengras, u. a. Weißer Gänsefuß Gewöhnlicher Beifuß Spieß-Melde Vogel-Knöterich Geruchlose Kamille, u. a.	50-70% 15-50%  zwischen 5-15%	gemähte Strünke  Rohr-Schwingel Quecke Weidelgras } 25-50%  zwischen 5-15%

	<b>Juni-Kartierung</b> (Ø Gesamtdeckung)	<b>Oktober-Kartierung</b> (Ø Gesamtdeckung)
<b>7a1 und 7a2 – Kokosmatte mit Nassansaat – VZ 3</b> davon Deckungsanteil:	<b>ca. 70-80%</b>	<b>ca. 70%</b>
<b>Spontanvegetation/ Wintergetreide/ Landschaftsrasenansaat</b> Roggen } Roggen-Trespe } vereinzelt Individuen Saat-Weizen } Quecke, } Weidel-, Rispen-, Knauelgras, } Wiesen- Fuchsschwanz, } Gewönl. Vogelmiere } Wiesen-Labkraut, u. a. } + Arten nährstoffreicher Unkrautfluren } zwischen 10-50% zwischen 5-50%		Weißer Gänsefuß: bis 25% zwischen 10-50% Glatthafer, Rot-, } Rohr-Schwingel } 5-15% + weitere Arten des Grünlandes mit <5%
<b>7a1 und 7a2 – Kokosmatte mit Nassansaat – VZ 4</b> davon Deckungsanteil:	<b>ca. 70%</b>	<b>ca. 60%</b>
<b>Spontanvegetation/ Wintergetreide/ Landschaftsrasenansaat</b> Roggen } Saat-Weizen } Roggen-Trespe } Weidelgras } Wolliges Honiggras } Knauelgras } vereinzelt Individuen	25-50% 15-25% 50-75%	gemähte Strünke bis 50% ca. 15% Rohr-Schwingel ca.15% Bunte Kornwicke Rot-Schwingel, u. a.

#### **4.8.2.4 Versuchsfeld 7b - Pflanzmatten (Mattentyp rot/orange) auf Kunststoffvlies bzw. Kokosgewebe im Vergleich zu VF7c – Pflanzmatten (Mattentyp rot/ orange) auf Schafwollvlies bzw. Kokosgewebe; Vegetationswalzen – Oktober-Kartierung**

Bei der Oktoberkartierung wurde der untere nicht sanierte Böschungsbereich von VF 7b mit Kunststoffvlies vegetationskundlich aufgenommen. Dieser nicht sanierte Bereich (ab Oberkante Steinschüttung bis etwa AZW + 1,70 m) ist ca. 3 m breit, bevor der darüberliegende Bereich mit Kokosvlies beginnt. Der Deckungsgrad des Pflanzenbewuchses betrug bei Mattentyp rot (Ersatz) ca. 70%, bei Mattentyp orange (beauftragt) etwa 80% (vgl. Tab. 4.8-4). Auf beiden Mattentypen lag eine dichte Streuschicht (abgestorbene Blattmasse), die die restlichen 20-30% der Fläche bedeckte.

Die in Mattentyp rot (Ersatz auf Kunststoffvlies) vorkultivierten Arten Rohr-Glanzgras, Schlank-, Ufer-Segge und Sumpf-Schwertlilie, die im Juni nur geringe Deckungen (<5%) erreichten, waren nun mit höheren Deckungen bis 50% vertreten. Auch der Rohr-Schwingel trat nun mit Deckungen bis 50% verstärkt auf. Die gepflanzten Beiarten Weißes Straußgras, Mädesüß, Ufer-Wolfstrapp und Blut-Weiderich wuchsen ebenfalls stetig mit Deckungen <5%. Hingegen traten die Wintergetreidearten durch die Juli-Mahd zurück. Allein die Roggen-Trespe konnte noch mit Deckungen zwischen 25-50% nachgewiesen werden (vgl. Tab. 4.8-4).

Im Mattentyp orange (beauftragt) auf Kunststoffvlies traten ebenfalls die vorkultivierten Arten Rohr-Glanzgras und Rohr-Schwingel mit höheren Deckungen bis 50% in den Vordergrund. Vor allem im Bereich der Querriegel konnte sich verstärkt Beinwell etablieren. Weißes Straußgras, Weidelgras und Wolliges Honiggras ergänzten mit Deckungen bis 15% die Krautschicht, neben weiteren Arten des Grünlandes (vgl. Tab. 4.8-4).

Auf Schafwolle in VF 7c wies die Krautschicht insgesamt einen kräftigeren und dichteren Wuchs bei einer Gesamtdeckung von durchschnittlich ca. 90% auf beiden Mattentypen auf als im VF 7b auf dem Kunststoffvlies. Es ist davon auszugehen, dass die düngende Wirkung der Schafwolle, die jedoch im Untergrund nicht mehr auszumachen war, hierzu beitrug. Die mit relativ hohen Deckungszahlen erfassten Stickstoffzeiger wie Brennessel (<5%), Spieß-Melde (5-15%), Gewöhnlicher Beifuß (<5%) und Weißer Gänsefuß (15-25%) in Mattentyp rot deuten ebenfalls auf die düngende Wirkung der Schafwolle hin. Weiterhin konnten in Mattentyp rot die vorkultivierten Arten Rohr-Schwingel, Rohr-Glanzgras, Großseggen, Sumpf-Schwertlilie und Ufer-Wolfstrapp höhere Deckungen als im Juni erreichen (vgl. Tab. 4.8-4).

In Mattentyp orange (beauftragt) auf Schafwolle entwickelten sich die vorkultivierten Arten bis zum Oktober schlechter als in Mattentyp rot (Ersatz), was ggf. auf die bessere Qualität der Ersatzmatten bei Lieferung zurückzuführen ist. Rohr-Glanzgras und die Groß-Seggen

schielen sich in den beauftragten Matten von der schlechten Vitalität nach Lieferung auch bis zum Herbst nicht wieder erholt zu haben und traten nur noch vereinzelt auf. Die Vitalität des Rohr-Schwingel und Straußgrases blieb verhältnismäßig gut. Insgesamt dominierte auf den Matten orange die Spieß-Melde als Stickstoffzeiger mit Deckungen zwischen 50-75%.

Ebenfalls mit einer Vegetationsaufnahme wurden die Pflanzmatten auf Kokos im oberen Bereich der Böschung erfasst. Da alle Matten auf Kokos verlegt wurden, werden hier jeweils die Ergebnisse beider Mattenbereiche rot und beider Mattenbereiche orange zusammengefasst. Mattentyp rot (Ersatz) ist im oberen Bereich der Böschung deutlich lichter als Mattentyp orange (beauftragt). Der pflanzliche Bewuchs deckt ca. 40%. Der lückige Bewuchs zeigt auch hier, dass die in den Standardmatten der Firma gepflanzten Arten für den trockenen oberen Böschungsbereich überwiegend nicht geeignet sind. Das zeigen v. a. die wenigen Individuen von Bachbungen-Ehrenpreis, Wasser-Minze, Beinwell und Ufer-Wolfstrapp. Allein die Sumpf-Schwertlilie konnte mit vielen Individuen aber geringer Deckung nachgewiesen werden. Die Deckung der gegenüber Trockenheit toleranteren Arten Rohr-Glanzgras, Rohr-Schwingel und sonstiger Grünlandarten blieb in etwa vergleichbar zur Juni-Kartierung. Die Wintergetreidearten traten stark zurück und erreichten nur noch Deckungen bis ca. 5% (vgl. Tab. 4.8-4).

Mattentyp orange (beauftragt) erreichte mit seinem Bewuchs im oberen Böschungsbereich eine Deckung von ca. 60-90%. Vor allem der Rohr-Schwingel entwickelte sich gut mit Deckungen bis 25%. Sonstige vorkultivierte Arten waren bis auf wenige Individuen von Rohr-Glanzgras, Beinwell und Blutweiderich ausgefallen. In Mattentyp orange dominierten im Herbst die Arten aus den Grünlandsaaten, daneben traten einige Trockniszeiger hervor wie Zypressen-Wolfsmilch, Wilde Möhre, Gelber Wau, Gewöhnlicher Hornklee, u. a. Arten (vgl. Tab. 4.8-4).

Tab. 4.8-4: Durchschnittliche prozentuale Gesamtdeckung des Bewuchses in den Versuchsfeldabschnitten 7b und 7c, differenziert nach den prozentualen Deckungsanteilen der vorkultivierten (v) Haupt- und Beiarten, der Spontanvegetation und der Wintergetreide- sowie Landschaftsrasenansaat für die Juni- und Oktoberkartierung.

	<b>Juni-Kartierung</b> (Ø Gesamtdeckung)	<b>Oktober-Kartierung</b> (Ø Gesamtdeckung)
<b>7b – Mattentyp rot</b> (Kunststoffvlies) – VZ 1 davon Deckungsanteil:	<b>ca. 70-80%</b>	<b>ca. 70%</b>
<b>Hauptarten (v)</b> Rohr-Glanzgras Schlank-Segge Ufer-Segge Sumpf-Schwertlilie	} 2-5 Individuen (<5%)	} bis zu 50%
<b>Beiarten (v)</b> Weißes Straußgras Beinwell Mädesüß Blut-Weiderich		
<b>Spontanvegetation/ Wintergetreide/ Landschaftsrasenansaat</b> Roggen-Trespe Roggen Saat-Weizen	ca. 50-75% 15-25% bis 50 Individuen (<5%)	Ufer-Wolfstrapp } <5%  zwischen 25-50%
<b>7b – Mattentyp orange</b> (Kunststoffvlies) – VZ 1 davon Deckungsanteil:	<b>ca. 70-80%</b>	<b>ca. 80%</b>
<b>Hauptarten (v)</b> Rohr-Glanzgras Schlank-Segge Ufer-Segge	} bis 50 Individuen (<5%)	Rohr-Glanzgras } bis 50% Rohr-Schwingel }
<b>Spontanvegetation/ Wintergetreide/ Landschaftsrasenansaat</b> Roggen-Trespe Roggen Saat-Weizen		
		<b>Beiarten (v)</b> Beinwell Weißes Straußgras Weidelgras Wolliges Honiggras } 15%
<b>7c – Mattentyp rot</b> (Schafwollvlies) – VZ 1	<b>ca. 60-80%</b>	<b>ca. 90%</b>
<b>Hauptarten (v)</b> Rohr-Glanzgras Schlank-Segge Ufer-Segge Sumpf-Schwertlilie	} vereinzelte Individuen	} ca. 5-15%  Rohr-Schwingel: ca. 5-15%
<b>Spontanvegetation/ Wintergetreide/ Landschaftsrasenansaat</b> Roggen-Trespe		
		Brennnessel <5% Gewöhnlicher Beifuß <5% Spieß-Melde 5-15%

	<b>Juni-Kartierung</b> (Ø Gesamtdeckung)	<b>Oktober-Kartierung</b> (Ø Gesamtdeckung)
Roggen Saat-Weizen Quecke Gewöhnliches Rispengras, u. a.	} 5-15%	Weißer Gänsefuß 15-25%
<b>7c – Mattentyp orange</b> (Schafwollvlies) – VZ 1	<b>ca. 60-80%</b>	<b>ca. 90%</b>
	vgl. Versuchsfeld 7c-rot	vgl. Versuchsfeld 7c-rot → hier schlechtere Entwicklung der V-Arten! auffallend: Spieß-Melde ca. 50-75%
<b>7b und 7c Mattentyp rot</b> (Kokosmatte)	<b>ca. 30-50%</b>	<b>ca. 40%</b>
<b>Hauptarten (v)</b> Rohr-Glanzgras Schlank-Segge Sumpf-Schwertlilie <b>Beiarten (v)</b> Wasser-Minze Bachbungen-Ehrenpreis Weißes Straußgras Großer Schwaden <b>Spontanvegetation/ Wintergetreide/ Landschaftsrassenansaat</b> Arten Wintergetreideansaat Arten Grünland	} vereinzelte Individuen  } vereinzelte Individuen  ca. 15-25%	viele Individuen, geringe Deckung  } vereinzelte Individuen  ca. 5%
<b>7b und 7c Mattentyp orange</b> (Kokosmatte)	<b>ca. 40-70%</b>	<b>ca. 60-90%</b>
<b>Hauptarten (v)</b>  <b>Beiarten (v)</b>  <b>Spontanvegetation/ Wintergetreide/ Landschaftsrassenansaat</b> Arten Wintergetreide Arten Grünland	überwiegend ausgefallen  überwiegend ausgefallen  5-25% 5-25%	<b>Hauptarten (v)</b> Rohr-Schwingel ca. 25% Rohr-Glanzgras Beinwell } vereinz. Blut-Weiderich } Individ.  Zypressen-Wolfsmilch Wilde Möhre Gelber Wau Gewöhnlicher Hornklee

### **4.8.3 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie**

#### **4.8.3.1 Vegetation**

Die Erreichung des ökologischen Ziels für die Flora in VF 7 (vgl. Kap. 4.8.1), d. h. die Initiierung einer standortgerechten Ufervegetation, Förderung der natürlichen Sukzession und die Schaffung geeigneter Lebensraumstrukturen konnte mit den durchgeführten Maßnahmen eingeleitet werden.

Unterschiede zwischen den verschiedenen Varianten ließen sich anfangs in der Entwicklung des Spontanbewuchses und der vorkultivierten Arten erkennen. Nach den ersten Schwierigkeiten und notwendig gewordenen Sanierungsmaßnahmen entwickelte sich das Versuchsfeld aus vegetationskundlicher Sicht bis zum Oktober hin positiv, was in der Anzahl und Vielfalt blühender Hochstauden und Röhrichte zum Ausdruck kam. Zusammen mit Arten des Grünlandes bereichern sie das Versuchsfeld, das vor Durchführung der Maßnahme nur spärlich bewachsen war. Die Entwicklung zu einer standortgerechten Vegetationszonierung und einer Strukturhöhung in der Uferböschung hat eingesetzt und muss weiter beobachtet werden. Dies betrifft vor allem auch das weitere Aufkommen von Hybridpappel-Jungwuchs (Neophyt).

#### **4.8.3.2 Fauna**

Bei den Befischungsterminen lagen die Wasserstände jeweils um AZW, so dass den Fischen wie im Jahr 2010 und in der Referenz nur Steinschüttung als Struktur zu Verfügung stand. Es können daher noch keine fischökologischen Aussagen zu den Pflanz- und Filtermatten getroffen werden.

Darüber hinaus konnte bei verschiedenen Begehungen beobachtet werden, dass sich Wildgänse und Enten verstärkt in VF 7 aufhielten, was dann allerdings zu verstärkten Fraßschäden am Pflanzenbewuchs und zu einer „Düngung“ der Flächen durch Koteintrag führte.

### **4.8.4 Bisherige Einschätzung**

In diesem Versuchsfeld konnte der Uferschutz in der kritischen Anfangszeit von den Kokosmatten über der Nassansaat und den auf verschiedenen Filtermatten eingebauten Pflanzmatten nicht ohne Sanierungsmaßnahmen gewährleistet werden. Als Grund sind mehrere Ursachen zu nennen. Der bereits bei Lieferung schlechte Qualitätszustand der Pflanzmatten, die z. T. für die gegebenen Randbedingungen wenig geeignete Artenkombination der Matten aus dem Standardprogramm der Herstellerfirma, die z. T. unzureichenden Befestigungen und der unerwartet schnelle biologische Abbau der Schafwollmatten haben dazu geführt, dass die Pflanzmatten im Anfangsstadium bei den gegebenen hydraulischen Belastungen nicht ausreichend lagestabil auf der Böschung waren. Erst die durchgeführten

Sanierungsmaßnahmen gewährleisteten die Stabilität der Pflanzmatten auf der Böschung und eine allmähliche Verwurzelung mit dem Untergrund, so dass sich der Uferschutz entsprechend erhöhte. Eine ganz wichtige Erkenntnis ist, dass punktuelle Befestigungen von Pflanzmatten ohne signifikantes Eigengewicht nicht ausreichen. Eine bessere Lagestabilität und Minimierung von böschungsabwärts gerichteten hydrodynamischen Bodenverlagerungen kann nur durch zusätzliche böschungsparelle Querriegel erreicht werden. In jedem Fall müssen alle Befestigungen ausreichend tief in den Untergrund reichen, um bei Überstau und Belastung durch Auftrieb stabil zu sein. Generell aber ist ein für die Wurzelentwicklung dauerhaft flächiger Bodenkontakt bei Überstau und hydraulischen Belastungen durch punktuelle und lineare Befestigungen nicht zu gewährleisten. Das zeigen auch die Ergebnisse aus dem Versuchsfeld 5b.

Durch die verschiedenen nachträglichen Maßnahmen wiesen die einzelnen Versuchsfeldbereiche einen sehr inhomogenen Bewuchs auf, der im Untersuchungszeitraum in allen Bereichen überwiegend durch die Arten der Wintergetreidesaat, gefolgt von Arten des Grünlandes dominiert wurde. Die Ergebnisse sind somit nicht repräsentativ, wie sie im Falle eines Einbaus unter optimalen Bedingungen mit beim Einbau gut entwickelten Pflanzmatten ohne Ausfälle zu erwarten gewesen wären.

Nach Ablauf des ersten Jahres nach Einbau kann jedoch festgestellt werden, dass sich VF 7 nach den letzten Sanierungsarbeiten Ende Juli 2012 in den verbliebenen Bereichen gut weiterentwickeln konnte. Die Pflanzen wurden zunehmend stabiler. Die Mahd des dominierenden Wintergetreides förderte die Grünlandarten aus den zeitlich etwas später durchgeführten Landschaftsrasenansaat und Rasensodenverpflanzungen. Ausfälle in den Pflanzmatten wurden so weitestgehend durch die Grünlandarten kompensiert. Sie unterstützen die Böschungsstabilisierung durch ihr Wurzelwerk, sind jedoch im Falle erneuter und v. a. lang anhaltender Hochwasser künftig größtenteils nicht konkurrenzfähig. Deshalb muss dieses Versuchsfeld besonders intensiv weiter hinsichtlich des langfristigen Uferschutzes beobachtet werden.

Bis zum Herbst 2013 verbesserte sich die noch im Juni spärliche Entwicklung der vorkultierten Arten zusehends. Vor allem der Rohr-Schwengel erreichte im gesamten Versuchsfeld höhere Deckungswerte als bei der Juni-Kartierung. Weiterhin entwickelten sich die vorkultierten Arten Rohr-Glanzgras, Groß-Seggen und Sumpf-Schwertlilie positiv – Arten, die auftretende höhere Wasserstände tolerieren. Sie leiten die Entwicklung einer naturnahen Ufervegetation ein.

Hinsichtlich der unterschiedlichen Matten hat sich gezeigt, dass die Schafwolle sehr schnell bereits innerhalb der ersten Vegetationsperiode überwiegend verrottet. Da sich in dieser Zeit noch kein ausreichendes Wurzelwerk zur Gewährleistung der Filterstabilität entwickeln konnte, fehlt die Wirksamkeit der Schafwollmatte, so dass lokale Erosionen auftraten. Eine

düngende Wirkung der Schafwolle wurde anhand des Auftretens von vielen Stickstoffzeigern erkennbar. Die Vegetation der Pflanzmatten auf Schafwolle war zumindest im Herbst bei der 2. Kartierung kräftiger und dichter ausgeprägt, die vorkultivierten Arten waren im Vergleich zu den aufgekommenen Stickstoffzeigern deutlich in der Unterzahl. Die stickstoffliebende Krautschicht ist im Falle höherer Wasserstände nicht konkurrenzfähig.

Unter den nicht filterstabilen Kokosmatten kam es in den oberen Böschungsbereichen zu Bodenumlagerungen, Hohlräumen bzw. Überwallungen. Die Wasserstände stiegen dabei an, noch bevor sich die vorgesehene Erstsaat etablieren konnte. Dies führte dazu, dass der Bereich nicht ausreichend standsicher war und saniert werden musste.

Es hat sich gezeigt, dass das Kunststoffvlies in Kombination mit den Pflanzmatten von den verwendeten Filtermatten am besten zur Gewährleistung der Filterstabilität geeignet ist. Allerdings ist es nicht biologisch abbaubar, sondern bleibt dauerhaft erhalten, was ökologisch von Nachteil ist.

Die Arten aus dem Standardprogramm der Herstellerfirma (Mattentyp rot) stellten sich für die oberen, sehr trockenen Böschungsbereiche überwiegend als nicht geeignet heraus. Hier traten große Ausfälle auf.

Insgesamt hat sich das VF 7 nach den Instandsetzungsmaßnahmen zum Ende des Berichtszeitraums positiv entwickelt. Die Arten sind nach einer Vegetationsperiode wuchskräftiger und unempfindlicher.

Aufgrund der Wasserstände während der Befischungstermine können noch keine Aussagen zu den Pflanz- und Filtermatten aus faunistischer Sicht getroffen werden. Die Untersuchungen der terrestrischen Fauna (Vögel, Reptilien, Laufkäfer und Spinnen) ab 2013 werden Ergebnisse zum Besiedlungspotential der verschiedenen Matten und der anderen Maßnahmen bringen.

## 4.9 Versuchsfeld 8: Steinschüttung und Pflaster mit Röhrichtbewuchs, Erhöhung des vorhandenen Steinwalls (Rhein-km 441,375 bis 441,475 – 100 m VF-Länge)

### 4.9.1 Kurzbeschreibung Versuchsfeld

Im Versuchsfeld 8 blieb sowohl die bereichsweise vorhandene Steinschüttung (lose Wasserbausteine der Klasse LMB<sub>5/40</sub> (TLW, 2003) mit einer durchschnittlichen Dichte von 2,6 t/m<sup>3</sup>, Schichtdicke ca. 0,6 bis 0,8 m, ohne zusätzliche Filterschicht) als auch das überwiegend vorhandene alte Steinpflaster als Ufersicherung erhalten. Die Unterwassersteinschüttung war in den letzten Jahren als Fußsicherung des Pflasters höher gezogen worden, wodurch bereits eine geringe wallartige Erhöhung entstanden war. In deren Schutz konnten sich im stabilen Pflasterbereich erste Röhrichte und Hochstauden entwickeln. Zur ökologischen Aufwertung wurde in diesem Versuchsfeld lediglich der bereits vorhandene Steinwall mit Wasserbausteinen der Klasse LMB<sub>5/40</sub> um mehrere Dezimeter auf AZW + 0,8 m erhöht, um die Röhricht- und Hochstaudenentwicklung hinter dem Steinwall weiter zu fördern.

Eine Übersicht zeigt Bild 4.9-1, weitere Einzelheiten enthält (BAW, BfG, WSA-MA, 2012).

#### Ufersicherung:

Steinschüttung und altes Pflaster bleiben erhalten  
Ökologische Aufwertung durch Erhöhung eines  
Steinwalls zum Schutz bereits vorhandener Röhrichte

#### Ökologisches Ziel:

- Förderung der Röhrichtsukzession
- Schutz der Ufervegetation vor schiffsinduzierter Belastung
- Förderung der aquatischen Fauna



Bild 4.9-1: Übersicht Versuchsfeld 8

### 4.9.2 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation

In diesem Versuchsfeld werden die Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion und die Böschungsstandsicherheit nach wie vor durch die Steinschüttung bzw. das alte Pflaster gewährleistet. Der erhöhte Steinwall kann bei Wasserständen bis AZW + 0,5 m den dahinter liegenden Bereich weitestgehend vor Belastungen aus Wellenschlag und Strömung schützen (vgl. Bild 4.9-3). In den im April 2012 eingemessenen Querprofilen bei km 441,375 (Anlage 3.24) und km 441,420 (Anlage 3.25) ist die erreichte Höhe des Steinwalls dokumentiert. Danach liegt die Höhe ca. 80 cm über AZW.

Die Böschungsstandsicherheit war im Untersuchungszeitraum zu keinem Zeitpunkt gefährdet. Pflege- bzw. Sanierungsmaßnahmen wurden nicht notwendig (vgl. Tab. 4.9-1).

Tab. 4.9-1: Entwicklung der einzelnen Bauweisen in Versuchsfeld 8 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung

Ausführung Bauweise (Winter 2012)	Entwicklungszeitraum (Januar bis September)/erste Vegetationsperiode (März bis Oktober)		
	Beschreibung der Entwicklung (Datum= Zeitpunkt der Feststellung)		Zusätzliche Maßnahme (Datum= Zeitpunkt der Umsetzung)
Erhöhung des vorhandenen Steinwalls + ober- und unterstromige Ein- und Auslauföffnung	Ende April 2012	beginnende Schlammablagerung hinter Steinwall	keine
	05.06.2012	Treibselansammlung hinter Steinwall, gut entwickelter Röhrichtstreifen	keine
	Ende Juli 2012	in Teilbereichen ca. 1 cm mächtige Schlammablagerung hinter Steinwall	keine

Bei der Juni-Kartierung am 5.6.12 lag der Wasserstand bei NN + 86,77 m in VF 8, somit ca. 40 cm über AZW. Der Steinwall, der auf AZW + 0,5 m erhöht wurde, war gerade noch sichtbar (vgl. Bild 4.9-3). Es wurden Vegetationsaufnahmen in drei Bereichen durchgeführt: eine im flachen gepflasterten Bereich unmittelbar hinter dem Steinwall, eine im mittleren und eine im oberen Pflasterbereich der Uferböschung.

### Flacher Bereich hinter Steinwall

Da die Wirkung des Steinwalls auf die Vegetationsentwicklung untersucht werden soll, werden die Ergebnisse der Juni- und nachfolgend der Oktoberkartierung 2012 der Ist-Zustandskartierung vor Bau der Maßnahme 2009 gegenübergestellt.

Vor Umbau der Maßnahme wurden im Juli 2009 Arten wie Weißes Straußgras, Schlank-Segge, Rohr-Glanzgras, Zusammengedrückte Binse, Rohr-Glanzgras, Wilde Sumpfkresse und Knäuelblütiger Ampfer mit geringen Deckungen und nur wenigen Individuen im flachen Bereich der Berme erfasst. Die Arten bildeten bereits erste Initiale einer Röhricht- und Hochstaudenentwicklung (vgl. Bild 4.9-2).



Bild 4.9-2: Initiale der Röhricht- und Hochstaudenentwicklung vor Erhöhung des Steinwalls (9.7.2009; Wasserstand: NN + 86,81 m, ca. 45 cm über AZW)

### ***Juni-Kartierung***

Bereits im Juni nach Erhöhung des Steinwalls konnte dessen positive Wirkung anhand der Arten und Deckungsgrade im flachen untersten Böschungsbereich nachgewiesen werden. Die Gesamtdeckung pflanzlichen Bewuchses betrug 70%, wovon die Krautschicht 60% und die Strauchschicht 10% einnahm. Die wenigen Arten, die bei der Erfassung des Zustands vor Durchführung der Baumaßnahme erhoben wurden, hatten sich weiter ausgebreitet. Schlank-Segge, Sumpf-Kresse und Zusammengedrückte Binse dominierten mit Deckungen bis 25%. Rohr-Glanzgras erreichte Deckungen bis 50%. Daneben traten weitere Röhrichtarten und feuchte Hochstauden wie Schilf, Sumpf-Rispengras, Sumpf-Segge, Sumpf-Ziest, Schwarzfrüchtiger Zweizahn, Blutweiderich, Wasserdost, Beinwell und Gilbweiderich hinzu, die eine blühende und dicht bewachsene Uferzone bildeten (vgl. Bild 4.9-3).



Bild 4.9-3: Blühende, gut entwickelte Röhrichtzone mit feuchten Hochstauden im flachen Bereich hinter dem Steinwall (5.6.2012).

Neben den Röhrichten und Hochstauden traten Arten des Grünlandes und einige Stickstoffzeiger wie Brennnessel, Kletten-Labkraut, Gewöhnlicher Beifuß, Gewöhnliche Kratzdistel, Große Klette u. a. hinzu. Breit ausfächernde Kopf-Weiden (Fahl-, Silberweiden) ergänzten in der Strauchschicht, aber auch als Jungbäume, den Bewuchs.

Im Juli wurde festgestellt, dass sich nach höheren Wasserständen Schlamm im flachen Bereich hinter dem Wall abgelagert hat (vgl. Bild 4.9-5) – eine Entwicklung, die sehr positiv zu werten ist, da der Schlamm Nährsubstrat für die weitere Pflanzenentwicklung stellt.



Bild 4.9-4: Blick stromab, 12.07.2012



Bild 4.9-5: Schlammablagerung (Pfeil) hinter Steinwall (Ende Juli 2012)

## Oktober-Kartierung

Bis zum Oktober entwickelte sich der Pflanzenbestand weiter und erreichte eine Gesamtddeckung von 80%. Ein negativer Einfluss des im Sommer 6-wöchigen ununterbrochenen 1 m hohen Überstaus auf diesen Bereich konnte nicht festgestellt werden. Rohr-Glanzgras dominierte mit Deckungen zwischen 50-75% (vgl. Bild 4.9-6), neben Sumpf-Kresse mit 25-50% Deckung. Weiterhin häufig traten Zusammgedrückte Binse, Groß-Seggen und Weißes Straußgras mit ca. 5-15% Deckung auf. Die Kopfweiden, Grünlandarten wie Weidelgras, Spitz-Wegerich, Wiesen-Labkraut und verschiedene Ampfer, sowie weitere Röhrichte ergänzten auch im Oktober den Bewuchs (vgl. Bild 4.9-7). Neben einer bereits recht dicken Schlammschicht hatte sich auch zunehmend Totholz und Treibsel im Bereich hinter dem Steinwall abgelagert.



Bild 4.9-6: Röhricht-/Hochstaudenzone hinter Steinwall mit dominierendem Rohr-Glanzgras (10.10.2012)



Bild 4.9-7: Blühender Sumpf-Ziest (10.10.2012)

## Pflasterbereich der mittleren Böschung

Der Pflasterbereich der mittleren Böschung wies im Ist-Zustand vor der Baumaßnahme 2009 überwiegend Kratzbeergestrüpp, ruderale Arten und Grünlandarten auf. Insgesamt war das Pflaster üppiger besiedelt als die angrenzenden Steinschüttungsbereiche. Das alte Pflaster ist nur einlagig verlegt und bietet zudem teilweise Fugen, in denen Pflanzen keimen und sich entwickeln konnten. Vereinzelt konnten auch einige Röhrichte und feuchte Hochstauden wie Rohr-Glanzgras, Schilf, Sumpf-Rispengras, Ufer-Wolfstrapp, Gilbweiderich, Sumpf-Kresse, Sumpf-Helmkraut und Knotige Braunwurz zwischen den alten Pflastersteinen der mittleren Böschung erfasst werden. Dazwischen erreichten Kopfweiden (Silber-, Korb-, Mandelweide) hohe Deckungen.

Bei der **Juni-Kartierung** wurde eine Gesamtdeckung von 80% im mittleren Böschungsbereich ermittelt. Die Kratzbeere dominierte im Juni mit ca. 50-75% Deckung. Die Artenzusammensetzung blieb im Vergleich zum Ausgangszustand 2009 in etwa gleich, zwischen dem Kratzbeergestrüpp wuchsen überwiegend Arten des Grünlandes und vereinzelt Röhrichte und feuchte Hochstauden. Die Triebe der Kopfweiden erreichten Längen von 2-4 m.

Auch bei der **Oktober-Kartierung** blieb die Artenzusammensetzung weitestgehend unverändert. Die Deckung des Kratzbeergestrüppes hat sich verringert und beträgt nun 25-50%. Rohr-Glanzgras und Zusammengedrückte Binse erreichten nun ca. 10% mehr Deckung als im Frühsommer. Die Röhricht- und Hochstaudenarten der Frühsommernaufnahmen wurden durch einige weitere Arten wie Beinwell, Schwarzfrüchtiger Zweizahn, Sumpf-Schwertlilie, Blutweiderich und Fluss-Ampfer ergänzt.

### **Oberer Böschungsbereich**

Der obere und zugleich trockenste Böschungsbereich wies im Gegensatz zum mittleren und unteren Bereich im Ist- Zustand keine Röhrichtarten, mit Ausnahme einzelner Schilfpflanzen, auf. Es dominierten neben Kratzbeergestrüpp überwiegend ruderalen Arten wie Taube Trespe, Mäuse-Gerste, Acker-Schachtelhalm, Acker-Kratzdistel, Gewöhnliche Kratzdistel, Hohlzahn und Arten des Grünlandes wie Weidel-, Knauelgras, Glatthafer und Gewöhnliche Vogel-Wicke. In der **Juni- und auch in der Oktober-Aufnahme** hatte sich diese Artenzusammensetzung nicht wesentlich verändert. Insgesamt erreichte der Bewuchs auch in der oberen Böschungszone in beiden Kartierphasen eine Gesamtdeckung von 80%. Zwischen dem Bewuchs hatte sich Totholz und Treibsel verfangen und erreichte Deckungen von ca. 5%. In der Strauchschicht dominierten Weiden.

Insgesamt wurden im Bereich der mittleren und oberen Böschung keine Verbesserungen gegenüber 2009 festgestellt, da der Steinwall bei höheren Wasserständen die hydraulischen Belastungen nicht mehr abmildern kann.

Anlage 4.8 zeigt in Panoramaaufnahmen vom gegenüberliegenden Ufer die zeitliche Entwicklung des Versuchsfeldes.

### **4.9.3 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie**

#### **4.9.3.1 Vegetation**

Im Schutz des erhöhten Steinwalls konnte sich bisher im flachen unteren Böschungsbereich unmittelbar hinter dem Steinwall eine arten- und blütenreiche Röhrichtzone mit feuchten Hochstauden entwickeln. Im Vergleich zum Zustand des Versuchsfeldes vor Bau der Maßnahme konnte sich hier der anfänglich bereits vorhandene Initialbewuchs weiter entwickeln und ausdehnen, was der ökologischen Zielsetzung für die Vegetation entspricht (vgl. Kap. 4.9.1). Die bereits ca. 1,5 cm mächtige Schlammablagerung hinter dem Steinwall bietet Substrat und Nährsubstanz für die weitere Besiedlung mit Spontanvegetation.

Der mittlere und obere Böschungsbereich mit altem Pflaster wies bereits im Ist-Zustand eine höhere Artenvielfalt und Besiedlung auf als die angrenzende herkömmliche Steinschüttung, was vermutlich auf die für das Pflanzenwachstum vorteilhafte Pflasterung zurückzuführen ist.

#### **4.9.3.2 Fauna**

Bei den Befischungsterminen lagen die Wasserstände jeweils um AZW, so dass den Fischen wie im Jahr 2010 und in der Referenz nur Steinschüttung als Struktur zu Verfügung stand. Es können daher noch keine fischökologischen Aussagen zu dem Steinwall getroffen werden.

#### **4.9.4 Bisherige Einschätzung**

Die Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion und die Böschungsstandsicherheit sind weiterhin durch das alte Pflaster und bereichsweise durch die Steinschüttung gewährleistet. Durch die Erhöhung des vorhandenen Steinwalls konnte in dem durch den Steinwall geschützten, unteren flachen Böschungsbereich bereits im 1. Jahr eine deutliche Weiterentwicklung der vorhandenen Röhrichtzone beobachtet werden.

Aufgrund der Wasserstände während der Befischungstermine können noch keine Aussagen zum Steinwall aus faunistischer Sicht getroffen werden. Die Untersuchungen der terrestrischen Fauna (Vögel, Reptilien, Laufkäfer und Spinnen) ab 2013 werden Ergebnisse zum Besiedlungspotential des Röhrichts bringen.

#### 4.10 Versuchsfeld 9: Entfernung der Steinschüttung, Zulassen freier Erosion und Sukzession, Ausfachungsbuhne, Setzstangen (Rhein-Km 441,475 bis 441,600 – 125 m VF-Länge)

##### 4.10.1 Kurzbeschreibung Versuchsfeld

Im Versuchsfeld 9 erfolgte der Rückbau der Steinschüttung (lose Wasserbausteine der Klasse LMB<sub>5/40</sub> (TLW, 2003) mit einer durchschnittlichen Dichte von 2,6 t/m<sup>3</sup>, Schichtdicke ca. 0,6 bis 0,8 m) zwischen AZW und Böschungsoberkante. Unterhalb von AZW blieb die Steinschüttung jedoch unverändert erhalten. Die entsteinte Böschung erhielt keine neuen Schutzmaßnahmen, d. h. der Bereich war ab September 2011 planmäßig ohne Ufersicherung. Es erfolgte keine Abflachung (vorhandene Böschungsneigung ca. 1:2,5) bzw. Profilierung der Böschung. Den Zustand nach Aufnahme der Steinschüttung zeigt Bild 4.10-1. In diesem Versuchsfeld, in dem die hydraulischen Belastungen im Vergleich zu den anderen Versuchsfeldern am geringsten sind, wird begrenzt Ufererosion und damit eine naturnahe Entwicklung zugelassen. Lediglich zum Schutz des Betriebsweges wurden Setzstangen aus Silber-Weide in 2 Reihen auf der Böschungsoberkante mit einem Abstand zum Betriebsweg von etwa 2 m und 4 m gesetzt (Bild 4.10-2).



Bild 4.10-1: Böschungsoberfläche unmittelbar nach Rückbau der Steinschüttung (Blickrichtung stromab) - 13.9.2011



Bild 4.10-2: Zwei Reihen Setzstangen zwischen Betriebsweg und Böschungsschulter (Blickrichtung stromauf) - 22.2.2012

Außerdem wurde der Übergangsbereich zum nicht veränderten Uferbereich mit Steinschüttung am unterstromigen Ende des Versuchsfeldes mit einer Ausfachungsbuhne aus Totholzstämmen gesichert, die mit Stahlseilen und Setzstangen im Untergrund befestigt und mit Wasserbausteinen angedeckt wurden. Die Bild 4.10-3 und Bild 4.10-4 zeigen die Ausfachungsbuhne mit Steinschüttung und Weidensetzstangen.



Bild 4.10-3: Ausfachungsbuhne. Frontalansicht (22.2.12)



Bild 4.10-4: Ausfachungsbuhne und Weidensetzstangen (Markierung) (14.12.11)

Es sollen Erfahrungen gesammelt werden, wie sich das Ufer langfristig unter den gegebenen Randbedingungen verformen und verändern wird und welche ökologischen Aufwertungen dadurch möglich sind.

Eine Übersicht zeigt Bild 4.10-5, weitere Einzelheiten zum Versuchsfeld enthält (BAW, BfG, WSA-MA, 2012).

**Ufersicherung:**

Entfernung der Steinschüttung, keine neue konstruktive Sicherung, Weidensetzstangen im Bereich der Böschungsschulter zum Schutz des Betriebsweges, Ausfachungsbuhne als Übergang zum sich an die Versuchsstrecke anschließenden Uferbereich

**Ökologisches Ziel:**

- Begrenztes Zulassen von Eigendynamik
- Förderung der freien Sukzession
- Förderung der (Boden-)Fauna
- Erhöhung der Strukturvielfalt
- Initiierung eines Gehölzbewuchses auf der Böschungsschulter



Bild 4.10-5: Übersicht Versuchsfeld 9

#### **4.10.2 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation**

Da das Ufer nach Bauende im Böschungsbereich oberhalb AZW ohne Schutzmaßnahmen blieb, ist eine ausreichende Stabilität der Böschung in diesem Versuchsfeld planmäßig nicht gegeben. Erosionen und auch Böschungsverformungen werden zugelassen und genau beobachtet. Sanierungsmaßnahmen sind erst dann vorgesehen, wenn die Erosionen so weit ins Hinterland reichen, dass sie die Flusskilometrierungsschilder und den Betriebsweg gefährden.

Die im Dez. 2011 und Jan. 2012 aufgetretenen ersten hohen Wasserstände (Höchststand NN + 89,0 m in VF 9, etwas über Marke I) nach Rückbau der Steinschüttung führten erwartungsgemäß im jeweils eingestauten Bereich zu Erosion des anstehenden Böschungsmaterials. Dieses besteht überwiegend aus Sanden und Kiesen, nur im oberen Böschungsbereich aus Auelehmen, aber auch aus Resten alter Steinschüttungen, die in Voruntersuchungen noch unterhalb der eigentlichen Steinschüttung nachgewiesen werden konnten (BAW, BfG, WSA-MA, 2012). Erodieren wurden zunächst die weniger lagestabilen feineren Bestandteile, so dass sich langfristig wieder eine überwiegend steinige Böschung zeigte. Mit zunehmender Größe sind die Steine weniger erosionsgefährdet und wirken dadurch stabilisierend.

Die Bild 4.10-6 und Bild 4.10-7 zeigen die Böschung am 14.12.2011 und am 18.01.2012 nach den ersten höheren Wasserständen. Bis zum 14.12.2011 war die Böschung lediglich im Oktober 2011 ca. 2 Wochen um etwas mehr als 1 m über AZW eingestaut. Die Höhe des maximalen Wasserstandes ist auf dem Bild 4.10-6 sehr gut zu erkennen. Darunter hat sich im Vergleich zum Bild 4.10-1 bis zur Oberkante der Steinschüttung bei AZW bereits ein sehr flacher Bereich eingestellt. Nach den Hochwasserereignissen zum Jahreswechsel stieg der Wasserstand bis zum 15.01.2012 auf maximal 2,60 m über AZW (siehe Bild 2.3-1). Bild 4.10-7, aufgenommen am 18.01.2012, zeigt die weiter stattgefundene Erosion und Böschungsabflachung im während des Hochwassers eingestauten Bereich. Feinmaterial wurde auch durch Regenereignisse im steilen oberen Böschungsbereich erodiert und böschungsabwärts transportiert.

Bild 4.10-8 zeigt ein Foto nach weiterem Hochwassereinfluss am 22.02.2012. Im Untersuchungszeitraum bis Oktober 2012 war die Böschung zwar im Sommer nochmals mehrfach eingestaut, die Wasserstände erreichten aber nicht mehr die Höhen der Winterhochwasser. Der maximale Wasserstand von 2,60 m über AZW – ca. 0,5 m unterhalb der Böschungsoberkante endend – trat im Januar 2012 auf. Durch Erosion im eingestauten Bereich rutschte im darüber liegenden nicht eingestauten Bereich lockeres Material nach, so dass bereits eine Abbruchkante an der Böschungsschulter zur bewachsenen Böschungsoberkante entstand (siehe Bild 4.10-9). Allerdings blieb noch ein ausreichender Abstand zu der ersten Reihe Setzstangen, die im Bild zu sehen ist. Hier ist die zukünftige Entwicklung bei Wasserständen bis zur Böschungsoberkante und ggf. darüber zu beobachten.



Bild 4.10-6: Uferböschung am 14.12.2011



Bild 4.10-7: Uferböschung am  
18.01.2012



Bild 4.10-8: Uferböschung am 22.02.2012



Bild 4.10-9: Uferböschung am  
16.04.2012

Die stattgefundenen Böschungsveränderungen zeigen auch die im April 2012 eingemessenen Querprofile bei km 441,550 (Anlage 3.27) und km 441,575 (Anlage 3.28). Dargestellt ist zusätzlich die Böschungsgeometrie vor Beginn der Baumaßnahme. Auffallend ist, dass das Ausmaß der Erosion am Ende des Versuchsfeldes bei km 441,575, kurz vor der Ausfachungsbühne, wesentlich größer ist als etwa mittig im Versuchsfeld bei km 441,550, was auch visuell sehr gut feststellbar ist. Die relativ massive, mit Wasserbausteinen überschüttete Ausfachungsbühne stellt für den Hochwasserabfluss im Uferbereich ein Hindernis dar. Dadurch treten unmittelbar vor der Ausfachungsbühne besondere und lokale Verwirbelungen auf, die zu höheren Belastungen und dementsprechend mehr Erosion auf der Böschung führen. Bild 4.10-10 zeigt den Erosionsbereich unmittelbar vor der Ausfachungsbühne, aufgenommen am 06.06.2012. Die Ausfachungsbühne selbst lag nach den Hochwasserdurchgängen unverändert fest in ihrer Stahlseilverankerung (vgl. Bild 4.10-3 vom 22.02.2013).



Bild 4.10-10: Erosionsbereich kurz vor der Ausfachungsbühne (06.06.2012)

Im Untersuchungszeitraum wurden keine Sanierungsmaßnahmen durchgeführt (vgl. Tab. 4.10-1).

Tab. 4.10-1: Entwicklung der einzelnen Bauweisen in Versuchsfeld 9 und notwendige Maßnahmen im 1. Jahr nach Baufertigstellung

Ausführung Bauweise (Winter 2012)	Entwicklungszeitraum (Januar bis September)/erste Vegetationsperiode (März bis Oktober)			
	Beschreibung der Entwicklung (Datum= Zeitpunkt der Feststellung)		Zusätzliche Maßnahme (Datum= Zeitpunkt der Umsetzung)	
Vollständige Entfernung des Deckwerkes von BOK bis AZW	13.10.2011	Erwartungsgemäße Umlagerungen, Erosion des anstehenden Bodens nach höheren Wasserständen		keine
unterstromige Ausfachungsbühne mit Buschlagen im oberen Böschungsbereich	19.01.2012	Fortschreitende Erosion und Abflachung der Uferböschung im Bereich der maximal aufgetretenen Wasserstände, stärkere Erosion unmittelbar vor der Ausfachungsbühne		keine
	24.05.2012	guter Austrieb der Buschlagen		
Weidensetzstangen zwischen BOK und Weg + Einschlämmen	24.05.2012	guter Austrieb der Weidensetzstangen, allerdings Bedrängung durch krautigen Spontanbewuchs	vor 04.07.2012	Entfernung des Spontanbewuchses um die Setzstangen

Bei einer Begehung am 22. März 2012 wurden erste Knospen an den Setzstangen beobachtet, aus denen sich bis zum April junge Blattaustriebe entwickelten (vgl. Bild 4.10-11). Das Versuchsfeld begrünzte sich allmählich (vgl. Bild 4.10-9).



Bild 4.10-11: Austreibende Weidensetzstange auf Böschungsschulter (16.4.12)

### ***Juni-Kartierung***

Während der Juni-Kartierung wurde die Vegetation in der mittleren und oberen Böschungszone erfasst. Der Bereich um AZW konnte aufgrund des hohen Wasserstandes (ca. 40 cm über AZW) bei der Kartierung nicht berücksichtigt werden.

Der Spontanbewuchs in der mittleren Zone erreichte eine Gesamtdeckung von ca. 10%. Die Zone war durch freigespülte Sandsteine und ein Sand-/Kiesgemisch charakterisiert (vgl. 4.10-12). Dominant traten Vogel-Knöterich, Gewöhnlicher Hohlzahn und Weißer Gänsefuß mit Deckungen zwischen 5-10% auf. Daneben traten vereinzelte Vorkommen von Winden-Knöterich, Kratzbeere, Gewöhnlicher Beifuß, Brennnessel und Kompass-Lattich, überwiegend Stickstoffzeiger, auf. Einige Arten der Röhrichte und feuchten Hochstauden wie Sumpfkresse, Rohr-Glanzgras, Wasser-Sumpfkresse und Weißes Straußgras konnten mit geringer Deckung (<5%) ebenfalls ermittelt werden.

Die obere Böschungszone (oberhalb etwa AZW + 2,50 m) wies eine etwas höhere Gesamtdeckung von 30% auf. Hier siedelte überwiegend die Acker-Winde (vgl. Bild 4.10-13), gefolgt von Weißem Gänsefuß, Gewöhnlichem Hohlzahn, Quecke und Vogel-Knöterich. Die Arten der Kriech- und Trittrasengesellschaften und nährstoffreichen und ausdauernden Unkrautfluren sind spontan eingewandert. Sie breiteten sich zu dem Zeitpunkt auch verstärkt auf der

Böschungsplanie zwischen den Weidensetzstangen aus, so dass sie für die jungen Weidentriebe bereits eine Konkurrenz um Licht stellten. Anfang Juli wurden die Setzstangen durch eine Pflegemahd von Spontanbewuchs frei geschnitten (vgl. Tab. 4.10-1, Bild 4.10-14). Neben den genannten Arten konnte weiterhin ein verstärktes Aufkommen von Blutrottem Hartriegel in der Krautschicht mit Deckungen zwischen 5-15% beobachtet werden. Bis auf einzelne Funde des Eschen-Ahorns in der Krautschicht wurden keine weiteren neophytischen Arten ermittelt.



Bild 4.10-12: Spontanbewuchs in der mittleren und oberen Böschungszone (6.6.12)



Bild 4.10-13: Dominierendes Vorkommen von Acker-Winde in der oberen Böschungszone (10.7.12)

Die Weidensetzstangen auf der Böschungsplanie, bestehend aus Silber- und Fahl-Weiden, zeigten keine Ausfälle. An einzelnen Setzstangen konnte eine angehende Besiedlung mit der neophytischen Pappel-Seide beobachtet werden, die Weiden bevorzugt als Wirtspflanze nutzt und schädigen kann.



Bild 4.10-14: Freistellen der Weidensetzstangen per Freischneider (10.7.12)



Bild 4.10-15: Wasserstand am 10.7.12 bei AZW +1,04 m

Der durch die hohen Wasserstände und die Wirkung der Ausfachungsbuhne entstandene Erosionsbereich unmittelbar stromauf der Buhne (vgl. Bild 4.10-10) wurde eigens kartiert. In dem entsprechend der verschiedenen Wasserstände stufenförmig erodierten Bereich hatte sich sehr viel Totholz (10-20%) gesammelt. Aufgrund der höheren Dynamik während der Wasserstandsereignisse siedelten hier nur wenige Arten mit einer Gesamtdeckung von ca. 5%.

Der Bereich um die Ausfachungsbuhne selbst erreichte über die ausgetriebenen Weidensetzstangen (Silber-, Korb- und Purpur-Weide) höhere Deckungen von 30%. Krautige Arten siedelten dazwischen nur vereinzelt (vgl. Bild 4.10-16).

Bis zur Oktober-Kartierung traten weitere Hochwasser auf mit einem maximalen Wasserstand am 15.6.12 von NN + 88,56 m, der ca. 60 cm unter dem insgesamt höchsten Wasserstand am 08.01.2012 blieb. Der Einstau reichte im Juni bis ca. 1 m unter die Böschungsoberkante, im Januar dagegen bis 0,4 m unter Böschungsoberkante. Die Böschung wurde durch den wiederholten Einstau weiter erodiert (vgl. Bild 4.10-15). Bis zu den Weidensetzstangen bestand aber noch genügend Abstand, so dass die Pflanzungen nicht gefährdet waren.



Bild 4.10-16: Weidensetzstangen im Bereich der Ausfachungsbuhne (7.6.12)

Die Vegetation konnte sich ab Mitte Juli bis Anfang Oktober bei überwiegend niedrigen Wasserständen in der unteren und mittleren Böschungszone wieder erholen.

## Oktober-Kartierung

Bei der Oktober-Kartierung konnte die Zone um AZW mit erfasst werden. Hier wurden jedoch nur wenige Arten mit geringer Deckung <5% ermittelt. Die mittlere Böschungszone wies eine Gesamtdeckung von 15% auf. Die durch die überwiegende Erosion der feineren Kornfraktionen verbliebenen Steine prägten die Uferböschung. Dazwischen siedelte überwiegend Kratzbeere. Vereinzelt konnten weiterhin Arten wie Sumpf-Kresse, Vogel-Knöterich, Viel-samiger Gänsefuß, Weißes Straußgras, Acker-Winde, Spieß-Melde, Rohr-Glanzgras und Quecke erfasst werden. Neophyten traten zu diesem Zeitpunkt nicht auf.

Der obere Böschungsbereich war im Oktober zu 50% bewachsen. Hier siedelten überwiegend hochwüchsige Stauden, wobei Stickstoffzeiger wie Spieß-Melde und Gewöhnlicher Beifuß mit Deckungen von 10-50% dominierten und eine durchschnittliche Höhe von 1,30 m erreichten (vgl. Bild 4.10-17). Arten, die bei der Frühsommerkartierung erfasst wurden, prägten auch im Herbst das Bild. Blutroter Hartriegel trat in der Strauchschicht mit mehreren Individuen auf und erreichte eine Deckung von etwa 5%. In der Krautschicht kam Jungwuchs von Eschen-Ahorn und Robinie (Neophyten) auf, der, soweit möglich, mit Wurzel herausgezogen wurde.



Bild 4.10-17: Zustand des VF im Okt. 2012. Der relativ dichte Bewuchs in der oberen BZ bietet Schutz vor weiterer Erosion im Übergangsbereich zu den Setzstangen.

Die Weiden auf der gemähten Böschungsplanie waren überwiegend vital und erreichten Triebhöhen zwischen 0,6 und 2,40 m. Einige Setzstangen wiesen jedoch einen fortgeschrittenen Befall von Pappel-Seide und eine beginnende Vergilbung der Triebe auf (vgl. Bild

4.10-18 und Bild 4.10-19). Diese Entwicklung muss weiter beobachtet werden, um ggf. mit Pflegemaßnahmen der weiteren schädigenden Wirkung entgegen zu steuern.



Bild 4.10-18: Mit Pappel-Seide befallene Weidensetzstange (14.9.12)



Bild 4.10-19: Von Pappel-Seide umwickelter Trieb einer Weidensetzstange (14.9.12)

Der Erosionsbereich unmittelbar vor der Ausfachungsbühne wies auch im Herbst zahlreiche Strukturen auf. Totholz und Steine unterschiedlicher Größen hatten sich auf den erodierten Böschungstufen gehalten. Der Bewuchs wies in der oberen Zone zur Böschungsschulter hin eine Gesamtdeckung von 20% und in der unteren Zone eine Deckung von etwa 5% auf. Vereinzelt hatten sich hier Rohr-Glanzgras, Ufer-Wolfstrapp und Schwarzfrüchtiger Zweizahn angesiedelt.

Im Bereich der Ausfachungsbühne entwickelten sich die Setzstangen überwiegend vital. An ca. 10% der Setzstangen konnten jedoch ebenfalls Ausfälle aufgrund des Befalls mit Pappel-Seide festgestellt werden.

### 4.10.3 Beobachtungen und Ergebnisse hinsichtlich Ökologie

#### 4.10.3.1 Vegetation

Das wesentliche ökologische Ziel bestand im VF 9 darin, nach Entfernung der Steinschüttung, begrenzt Erosion zuzulassen und eine freie Sukzession zu fördern (vgl. Kap. 4.10.1). In Abhängigkeit von der hydraulischen Uferbelastung, von den im Untergrund anstehenden Korngrößen, dem Abstand zu AZW (untere, mittlere, obere Böschungszone) und folglich zur Überflutungshäufigkeit und -dauer stellten sich erste Sukzessionsstadien der Vegetation ein. Es dominierten Arten der Trittrasengesellschaften, kurzlebigen und ausdauernden Unkrautfluren mit einem hohen Anteil an Stickstoffzeigern. Die Arten unterliegen einer hohen Wasserstandsdynamik, die auch weiterhin zu einer ständigen Veränderung der Vegetationsentwicklung führen wird.

#### 4.10.3.2 Fauna

Im VF 9 stand den Fischen aufgrund der Wasserstände um AZW bei den Befischungsterminen Ende Mai und Ende September größtenteils Steinschüttung zur Verfügung. Insbesondere an der Uferlinie war das Lückensystem mit sandigem Kies, der aus der darüber liegenden ungesicherten Böschung stammt, gefüllt (Bild 4.10-20).



Bild 4.10-20: VF 9 am Befischungstermin 31.05.2012 (Wasserstand: AZW + 14 cm)

Die Schwarzmundgrundel trat auch hier dominant auf und war – wie an der gesamten Strecke – für den starken Anstieg der Individuenzahlen im Vergleich zu 2010 verantwortlich (vgl. Tab. 4.10-2 und Tab. 4.1-1). Im Mai 2012 wurde auch der Flussbarsch relativ häufig im VF 9 erfasst. Diese Leitart für den Rheinabschnitt nach WRRL wurde 2012 mit deutlich mehr

Individuen als vor dem Umbau nachgewiesen. Im September war der Ukelei, ebenfalls eine Leitart, im VF 9 die zweithäufigste Art. Er wurde allerdings auch in der angrenzenden Referenzstrecke mit zahlreichen Individuen erfasst.

Insgesamt konnte der positive Einfluss des durch die Erosion flach ausgeprägten Uferverlaufs mit teilweise sandig-kiesigen Bereichen auf die Fischfauna bislang nicht nachgewiesen werden. Dies kann sowohl durch die Wasserstände bei der Befischung als auch durch die hohe Wellenbelastung infolge Schifffahrt begründet sein.

Tab. 4.10-2: Daten zur Befischung von VF 9, der Referenzstrecke (km 441,600-441,900) und der Gesamtstrecke (Referenz- und Versuchsstrecke, gesamt: Km 440,630 bis 441,900) aus den Jahren 2010 und 2012; Leitarten, typspezifische Arten und Begleitarten der Referenzzönosen der WRRL nach Korte, Hugo (2006)

	Individuen- zahl	Arten- zahl	Strecke (m)	Anzahl Points	Fische pro Point	Anteil (%)			
						Leitarten	Typspezif.	Begleitarten	Neozoen
<b>2010</b>									
(VF9)*	29	8	125	35	0,8	17,2	10,3	7	65,5
Referenz	204	15	300	79	2,6	48,5	20,6	3,9	27,0
Gesamt	440	18	1270	314	1,4	31,6	9,5	3,8	46,2
<b>2012</b>									
VF9	186	9	125	35	5,3	15,1	2,2	1,1	81,7
Referenz	351	10	300	76	4,6	17,7	1,1	0,9	80,3
Gesamt	1537	17	1270	304	5,1	16,8	4,5	0,6	78,1

\* Streckenabschnitt vor Umbau zum Versuchsfeld

An der Ausfachungsbuhne (Bild 4.10-3) konnte insbesondere Ende Mai ein großer Jungfischschwarm beobachtet werden. Wie die anderen Holzelemente stellt auch die Buhne einen geeigneten Unterstand für Jungfische dar.

#### 4.10.4 Bisherige Einschätzung

Da das Ufer nach Rückbau der Steinschüttung oberhalb AZW im Böschungsbereich ohne Schutzmaßnahmen blieb, ist eine ausreichende Stabilität der Böschung in diesem Versuchsfeld planmäßig nicht gegeben. Entsprechend den Erwartungen haben im Einflussbereich mehrerer Hochwasser mit Wasserständen bis maximal 0,5 m unter BOK Erosionen und Böschungsverformungen stattgefunden. Dabei wurden insbesondere die feineren Kornfraktionen wegtransportiert oder auf der Böschung umgelagert. Die dadurch lokal freigespülten Reste alter Steinschüttungen wirken stabilisierend. Böschungsabflachungen sind im unteren Böschungsbereich entstanden.

Die am Ende des Versuchsfeldes zum Schutz des Übergangsbereichs der Versuchsstrecke zum unveränderten Rheinufer eingebaute Ausfachungsbuhne selbst konnte alle Hochwasserereignisse ohne Schäden überstehen. Allerdings traten unmittelbar vor der Ausfachungsbuhne besondere Strömungseffekte und lokale Verwirbelungen auf, die zu höheren Belastungen und dementsprechend mehr Erosion auf der Böschung führten. Insgesamt sind die bisher beobachteten Uferverformungen als unkritisch für das Hinterland einzuschätzen. Die bisher aufgetretenen Erosionen sind noch weit von den an der Böschungsoberkante angeordneten Setzstangen, die den Betriebsweg schützen sollen, entfernt. Zukünftig ist jedoch besonders bei Wasserständen bis zur BOK und darüber mit landwärts weitergehenden Erosionen zu rechnen. Hier sind auch weiterhin besonders intensive Beobachtungen erforderlich.

Ökologisch ist das Ufer strukturreicher geworden. Unterschiedliche Korngrößen (Auelehm, Sand, Kies, Steine), Totholz, verschiedene Substrate, Aushöhlungen und der spärliche Bewuchs stellen die einzelnen Strukturen dar.

Der Befall der Weiden mit Pappel-Seide muss weiter beobachtet werden, um ggf. ein Absterben einzelner Weiden zu verhindern und die Stabilität der angrenzenden Flächen nicht zu gefährden.

Aus fischökologischer Sicht stellt die Ausfachungsbuhne wie die anderen Holzelemente einen geeigneten Unterstand für Jungfische dar. Bisher konnte kein deutlich positiver Einfluss des durch die Erosion flach ausgeprägten Uferverlaufs mit teilweise sandig-kiesigen Bereichen auf die Fischfauna nachgewiesen werden. Dies kann sowohl durch die Wasserstände bei der Befischung als auch durch die nach wie vor hohe Wellenbelastung begründet sein.

Die Untersuchungen der terrestrischen Fauna (Vögel, Reptilien, Laufkäfer und Spinnen) ab 2013 werden weitere Erkenntnisse zum Besiedlungspotential des entseinten Ufers bringen.

## 5. Kosten

### 5.1 Grundsätzliche Feststellungen

In diesem Kapitel werden die Baukosten differenziert pro Versuchsfeld, pro lfdm Böschungslänge und pro m<sup>2</sup> Böschungsfläche aufgeschlüsselt.

Die Bauleistung wurde nach einem öffentlichen Teilnahmewettbewerb beschränkt ausgeschrieben und konnte im August 2011 an eine Arbeitsgemeinschaft vergeben werden. Das für den Einbau benötigte Pflanzmaterial, wie z. B. Vegetationsmatten und Röhrichtgabionen für die Versuchsfelder VF 5 und VF 7, wurde seitens des Auftraggebers der Einbaufirma bereitgestellt. Da u. a. die Vegetationsmatten, gemäß vorgegebener Pflanzenarten sowie Anordnung vorgezogen werden mussten, erfolgte eine Beauftragung an eine Herstellerfirma bereits im Oktober 2010. Die hier angefallenen Kosten wurden zu den Einbaukosten bei den entsprechenden Versuchsfeldern addiert.

Die Planungskosten der Ingenieurbüros und Leistungen der Projektbeteiligten BAW, BfG oder WSA sind nicht dargestellt. Die örtliche Bauüberwachung, die das Planungsbüro und der ABz Worms wahrgenommen haben, wurde bei den Herstellungskosten der Versuchsfelder ebenfalls nicht monetär berücksichtigt.

### 5.2 Darstellung der Kosten pro Versuchsfeld

Für die Ermittlung der Kosten wurden die abgerechneten Mengen zugrunde gelegt. Hierbei gab es gegenüber der Planung Änderungen, z. B. bei den Längen einzelner Versuchsfelder, da Übergangsbereiche hergestellt werden mussten sowie Nachtragsleistungen, die den entsprechenden Versuchsfeldern zugeordnet wurden.

Die Kosten sind als Bruttopreise angegeben. Hauptsächlich liegt diesen ein Mehrwertsteuersatz von 19% zugrunde, nur bei einzelnen Leistungen für Pflanzmaterial wird ein reduzierter Satz von 7 % angewendet. Die Kosten für die Baustelleneinrichtung wurden anteilig auf die einzelnen Versuchsfelder aufgeteilt. Weitere pauschale Leistungen wie die Kampfmittelsondierungen finden nur bei den betroffenen Feldern (VF1 - VF5, VF7, VF9) Berücksichtigung.

Tab. 5.2-1: Darstellung der Herstellungskosten pro Versuchsfeld (VF = Versuchsfeld)

VF	km	Technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen	Länge VF	Fläche VF	Kosten pro VF		
					pro VF	pro lfd m	pro m <sup>2</sup>
					€	€/m	€/m <sup>2</sup>
1	2	3	4	5	6	7	8
1	440,630 bis 440,800	Einbau von Weidensetzstangen, Lebendfaschinen, Busch- und Heckenlagen in vorhandene Steinschüttung; Vorgelagerter Steinwall mit Flachwasserzone, Totholzstämmen mit Wurzelteiler	120,0	-	83.500	700	-
2	440,820 bis 440,860	Entfernung der Steinschüttung; Weidenspreitlagen, diagonal zur Fließrichtung verlegt, befestigt mit Querriegeln, Holzpflocken, Drahtverspannungen; auf Böschungsplanie Heckenlagen	36,5	500	55.500	1520	111
3	440,880 bis 440,950	Entfernung der Steinschüttung; Weidenspreitlagen, quer zur Fließrichtung verlegt, befestigt mit Querriegeln, Holzpflocken, Drahtverspannungen	67,0	885	99.000	1480	112
4	440,950 bis 441,000	Vorhandene Steinschüttung mit Kiesfüllung, Einzelsteingruppen, Totholzfaschinenbündel	45,0	383	65.000	1440	170
5	441,000 bis 441,110	Entfernung der Steinschüttung; Einbau von Röhrichtgabionen und Steinmatratzen auf Kornfilter, vorgezogene Pflanzmatten auf Steinmatratzen, Heckenlagen	100,0	1100	203.500	2040	185
6	441,125 bis 441,200	Vorhandene Steinschüttung mit Oberboden-Alginatgemisch-Füllung, Nassansaat, Einzelpflanzen	67,5	624	59.500	880	95
7	441,200 bis 441,375	Entfernung der Steinschüttung; Einbau von vorgezogenen Pflanzmatten auf verschiedenen Filtermatten (Schafwollvlies, Geotextil, Kokosmatte), Totholzfaschinen, Vegetationswalzen, Kokosgewebe über Nassansaat, befestigt mit Querriegeln, Holzpflocken, Drahtverspannungen	157,0	1890	326.000	2080	172
8	441,375 bis 441,475	Erhöhung des vorhandenen Steinwalls bei vorhandener Steinschüttung und Pflaster mit Röhrichtbewuchs	98,5	-	3.500	40	-
9	441,475 bis 441,600	Entfernung der Steinschüttung; keine neue Ufersicherung im Böschungsbereich; Zulassen von begrenzter Erosion und Sukzession, Setzstangen zum Schutz des Betriebsweges auf der Böschungsplanie; Ausfachungsbühne am Ende des Feldes	109,0	-	28.500	260	-
Σ	440,630 bis 441,600		805,5		924.000		

## **Normierung der Kosten pro Böschungsfläche**

Vor der Uferumgestaltung hatte die Böschung nahezu eine gleiche Neigung und Höhe. Mit der Uferumgestaltung erfolgte bei einzelnen Versuchsfeldern eine Abflachung, so dass sich die Böschungsfläche dort etwas vergrößert hat. In der Spalte 7 der Tab. 5.2-1 werden dennoch die Kosten der einzelnen Versuchsfelder auf die Böschungslänge normiert. Anzumerken ist bei dem Vergleich der Werte, dass wie oben beschrieben mehrere Bauweisen in einem Versuchsfeld zur Anwendung kamen, die nicht flächig auf der Böschung eingesetzt wurden. Dies wird speziell beim VF 8 sichtbar, da hier nur ein Steinwall etwas erhöht wurde und keine Maßnahmen in der Böschung stattfanden.

## **Normierung der Kosten pro Böschungsfläche**

In der Tab. 5.2-1 in Spalte 8 werden Kosten pro Quadratmeter Böschungsfläche dargestellt. Wie bereits erwähnt, setzen sich die Kosten in einem Versuchsfeld i.d.R. aus mehreren Bauweisen zusammen, so dass bei einer Normierung ein Mischpreis entsteht. Das Versuchsfeld 5 ist zum einen in der Länge (in VF 5a und VF 5b) unterteilt und zum anderen ergibt sich auch in Böschungsfallrichtung eine zonierte Unterteilung. Bei VF 5a sind im unteren Böschungsbereich nur die Röhrichtgabionen und oberhalb Steinmatratzen zur Anwendung gekommen. Im Versuchsfeld 1 ist ein Quadratmeterpreis nicht angegeben, da die Herstellung des Steinwalls und der Pflanzgräben linienförmige Bauweisen sind. Diese Betrachtung trifft auch bei VF8 (linienförmiger Steinwall) und VF 9 (keine flächendeckende Verwendung von Setzstangen und die Herstellung einer Ausfachungsbuhne) zu.

## **Interpretation der Preise**

Bei dem Vergleich der Preise ist zu berücksichtigen, dass Felder teilweise komplett neu hergestellt wurden, oder auch bei Beibehaltung der vorhandenen Steinschüttung mit Maßnahmen ökologisch aufgewertet wurden, d.h. die Bautätigkeiten waren unterschiedlich intensiv. Die Versuchsfelder setzen sich aus mehreren einzelnen Bauweisen zusammen, die zum Teil nur punktuell, linienförmig oder nur abschnittsweise im Versuchsfeld zur Anwendung kamen (Tab. 5.2-1, Spalte 1). So wurden z. B. im VF 1 ein ca. 120 m langer Steinwall, auf der Böschung 30 Weidensetzstangen sowie ca. 70 m Busch- und Heckenlagen hergestellt. Es werden somit Mischpreise aus mehreren Bauweisen dargestellt.

Eine differenziertere Kostenbetrachtung der einzelnen Bauweisen ist nicht sinnvoll und wird nicht weiter untersucht, da letztendlich den Kosten die unternehmerische Kalkulation von nur einer Bietergemeinschaft zugrunde liegt. Bei dieser für den Rhein ersten Versuchsstrecke, in dem technisch-biologische Bauweisen getestet werden, kann man nicht von marktüblichen Preisen sprechen.

Die auf die Böschungsfläche normierten Preise (Spalte 8) von VF4, VF 5 und VF7 liegen in einer Größenordnung. Da im VF 4 lediglich Maßnahmen zur Aufwertung einer vorhandenen

Steinböschung umgesetzt wurden, erstaunt der hohe Preis. Hier ist anzumerken, dass Lieferung und Einbau der Granitblöcke einen maßgeblichen Kostenfaktor darstellten und auch für den Einbau der Tothholzfaschinen die Steinschüttung in größerem Umfang aufgenommen und wiederhergestellt werden musste.

Abschließend ist festzuhalten, dass die hier aufgezeigten Kosten nur einer Baumaßnahme zugrunde liegen und die normierten Preise nicht als Kalkulationsgrundlage für eine Böschungsumgestaltung heranzuziehen sind. Eine wirtschaftliche Betrachtung der technisch-biologischen Bauweisen kann zum jetzigen Zeitpunkt nicht aus Tab. 5.2-1, aus den festgestellten Baukosten dieses Projektes, abgeleitet werden. Weitere Aspekte wie z. B. der Pflege- und Unterhaltungsaufwand und die damit verbundenen Kosten sind ebenfalls in den Folgejahren zu erfassen.

## 6. Bisherige Gesamteinschätzung der einzelnen Bauweisen

In Kapitel 4 wurden die Ergebnisse des Monitorings in den neun Versuchsfeldern hinsichtlich der technischen und ökologischen Wirksamkeit der eingebauten Ufersicherungsmaßnahmen für das erste Jahr nach Durchführung der Baumaßnahmen beschrieben. Eine abschließende Beurteilung der Maßnahmen ist erst nach mehreren Vegetationsperioden möglich, d. h. frühestens nach den zunächst vorgesehenen 5 Jahren Monitoring. Eine erste Einschätzung der Maßnahmen kann jedoch bereits für den Untersuchungszeitraum des ersten Jahres nach Bauabschluss, d. h. für den kritischen Anfangszustand, gegeben werden.

Im Kap. 6.1 sind zunächst die bisherigen allgemeinen Erfahrungen, im Kap. 6.2 die für die verschiedenen Einzelmaßnahmen konkreten Erfahrungen hinsichtlich Gewährleistung der Uferstabilität und ökologischer Wirksamkeit versuchsfeldübergreifend tabellarisch zusammengestellt. Die Maßnahmen wurden hierzu aufgrund ihrer Zielstellung in den Unterkapiteln 6.2.1 Maßnahmen „Ersatz der technischen Ufersicherung durch technisch-biologische Bauweisen“, 6.2.2 Maßnahmen „Ökologische Aufwertung der technischen Ufersicherung“ und 6.2.3 Maßnahme „Rückbau der technischen Ufersicherung, kein Uferschutz oberhalb AZW, begrenztes Zulassen freier Dynamik“, differenziert bewertet. Die Maßnahmen wurden danach unterschieden, ob sie nach Rückbau der Steinschüttung Uferschutzfunktion haben (VF 2, 3, 5 und 7) oder zur ökologischen Aufwertung der verbliebenen Steinschüttung vorgesehen sind (VF 1, 4, 6, 8 und 9).

Die Einschätzung des faunistischen Besiedlungspotenzials der Einzelmaßnahmen nimmt in diesem Bericht eine Sonderstellung ein. Das Monitoring der Fauna begann 2012 mit der ersten Fischerfassung. Die Untersuchungen der terrestrischen Fauna (Vögel, Reptilien, Laufkäfer und Spinnen) sowie des Makrozoobenthos werden im Frühjahr 2013 beginnen. Daher können aus Sicht der Fauna zu den meisten Bauweisen der Versuchsfelder noch keine Aussagen getroffen werden. Für diesen Zwischenbericht wird auf die Ergebnisse der fischbiologischen Untersuchungen am Ende dieses Kapitels zusammenfassend eingegangen.

### 6.1 Allgemeine Feststellungen

Die Ufersicherungen mit Pflanzen, die unter optimalen hydrologischen und meteorologischen Randbedingungen eingebaut werden konnten, mussten sich im ersten Jahr unter teilweise sehr ungünstigen Bedingungen bewähren. Dazu zählten mehrere Hochwasser (höchster Wasserstand ca. 1 m unter Böschungsoberkante) bereits unmittelbar nach Bauabschluss im Dezember 2011 und Januar 2012, länger anhaltender, dabei kurzzeitig auch sehr starker Frost ohne schützende Schneedecke im Februar 2012 und teilweise lang anhaltende Niedrigwasserstände, die v. a. zu Beginn der Vegetationsperiode von Anfang Februar bis Mitte April und in den Sommermonaten von Mitte Juli bis Anfang Oktober auftraten. Weitere

Hochwasser folgten in den Sommermonaten, bei denen der untere Böschungsbereich von AZW - 0,5 m bis AZW + 1,0 m ohne Unterbrechung 6 Wochen überstaut wurde (vgl. Bild 2.3-1). Der bei höheren Wasserständen jeweils überstaute Bereich wurde durch Auftrieb, natürliche Strömung und hydraulische Einwirkungen infolge Schifffahrt belastet. Bei den bisher im Jahr 2009 durchgeführten Messungen der hydraulischen Uferbelastung (BAW, BfG, 2010) wurden bei Wasserständen um AZW Wellenhöhen von maximal 81 cm und im Jahr 2012 bei Wasserständen von 2 bis 2,5 m über AZW (siehe Kap. 3.4) Wellenhöhen von maximal 28 cm ermittelt. Da bei den Messungen nur eine begrenzte Anzahl von Schiffen erfasst werden kann, können theoretisch auch größere Wellenhöhen aufgetreten sein. Der Bereich zwischen AZW - 0,5 m und AZW + 0,5 m wurde hydraulisch am stärksten belastet – durch ständigen Wellenaufbau bei mittleren Wasserständen und den längsten und höchsten Überstau bei Hochwasser. Die 2012 bei höheren Wasserständen (ca. NN + 88,30 m) gemessenen ufernahen Strömungsgeschwindigkeiten (5 m vom Ufer entfernt) lagen zwischen 0,28 m/s (VF 2) und 1,07 m/s (VF 1) (siehe Tab. 3.4-1).

Aufgrund der bei verschiedenen Hochwasserereignissen im Versuchsfeld 3 durchgeführten Messungen der Porenwasserdrücke im Böschungsbereich unterhalb der Spreitlagen (bei Wasserständen oberhalb von AZW) konnte nachgewiesen werden, dass bei Schifffahrt infolge des Wasserspiegelabsinks Porenwasserüberdrücke im anstehenden Boden aufgetreten sind (siehe Kap. 3.5). Das bedeutet, dass die Ufersicherungsmaßnahmen prinzipiell nicht nur gegenüber Oberflächenerosion, sondern auch vor einem Abgleiten der Uferböschung und hydrodynamischen Bodenverlagerungen schützen müssen. Zwar sind die infolge Güterschiffe bisher gemessenen Porenwasserüberdrücke relativ gering (maximal 6 cm WS = 0,6 kN/m<sup>2</sup>), da der sandig-kiesige Boden relativ durchlässig ist und auch nur geringe Absinkwerte (maximal 26 cm) registriert wurden. Theoretisch sind jedoch größere Absinkwerte und damit auch größere Porenwasserüberdrücke im Boden möglich. Dazu werden in den nächsten Jahren weitere Messungen durchgeführt.

Die zum Uferschutz eingebrachten Pflanzen befanden sich im Untersuchungszeitraum vom Ende der Bauphase bis Oktober 2012 in der kritischen Anfangsphase, in der diese erst ausreichend Wurzeln bilden mussten, um selbst stabil mit dem Untergrund verankert zu sein. In dieser Zeit kam den Befestigungen (z. B. Querriegel, Pflöcke, Drahtverspannungen, Wasserbausteine) eine besondere Bedeutung zu - vor allem wenn die Bauweisen unter Auftrieb kein signifikantes Eigengewicht besitzen, wie z. B. Weidenspreitlagen und Pflanz- und Filtermatten. Sie sind ohne Befestigungen bei hydraulischen Belastungen selbst nicht lagestabil (VF 2, 3, und 7) und müssen durch die Befestigungen so an der Böschungsoberfläche fixiert werden, dass ein möglichst flächiger Bodenkontakt hergestellt wird. Nur dadurch wird ein Einwachsen der Wurzeln in den Untergrund ermöglicht. In der Anfangszeit kann die Uferstabilität einschließlich der Erosionssicherheit nur mit den Befestigungen und ggf. weiteren Hilfsmitteln (z.B. temporären Filtermatten) gewährleistet werden. Generell hat sich gezeigt, dass die zur Befestigung eingebauten Holzpföcke ausreichend tief in den Untergrund

reichen müssen, um bei Überstau durch Auftrieb nicht wieder herausgezogen zu werden. Wegen der im Untergrund vorhandenen Steine konnte die planmäßige Einbindetiefe von bis zu 1 m nicht überall erreicht werden. Außerdem hat sich gezeigt, dass durch zusätzliche linienförmige Befestigungen, wie den Querriegeln, eine bessere Fixierung und ein mehr flächiger Bodenkontakt erreicht werden kann (vgl. Kap. 4.8). Zudem können durch parallel zur Uferlinie angeordnete Querriegel böschungsabwärts gerichtete Bodenverlagerungen begrenzt werden (vgl. obere Bereiche im VF 7b und 7c gegenüber dem oberen Bereich in VF 7a1 und 7a2).

Von Anfang an stabiler sind Uferschutzmaßnahmen, die neben Pflanzen auch technische Bestandteile haben, wie z. B. die Röhrichtgabionen im Versuchsfeld 5a. Ist das Eigengewicht ausreichend groß, ist in Abhängigkeit von der Böschungsneigung von Anfang an eine gute Lagestabilität und ein dauerhaft flächiger Kontakt zum Untergrund gegeben. Auf Befestigungen kann dann meistens verzichtet werden.

Hinsichtlich der eingebrachten Pflanzelemente (Pflanzmatten, Röhrichtgabionen, Röhrichtbulte) hat sich gezeigt, dass u. a. die Vitalität der Pflanzen beim Einbau einen großen Einfluss auf den Anwuchs- und Entwicklungserfolg der Maßnahme hat. Hierzu ist es wichtig, dass die Pflanzen über einen ausreichend langen Zeitraum (mindestens eine Vegetationsperiode, ggf. länger) in einer Spezialfirma angezogen werden. Es empfiehlt sich eine regelmäßige Kontrolle der Anzucht und des Wachstumsfortschritts beim Hersteller. Die in der Versuchsstrecke eingebauten, z. T. wenig vitalen Pflanzen der Pflanzmatten in VF 5 und VF 7 wiesen im Untersuchungszeitraum die größten Ausfälle auf. Die Anforderungen an den Einbau überwiegend pflanzlicher Sicherungselemente (z. B. Artenwahl, Zeitpunkt Gewinnung/Einbau) wurden bereits in (BAW, BfG, WSA-MA, 2012) ausführlich beschrieben.

In der Versuchsstrecke hat sich auch gezeigt, dass bei den gegebenen hydraulischen Belastungen ohne jeglichen Uferschutz – wie erwartet – Erosionen und Böschungsrutschungen auftreten (VF 9). Ob das Hinterland in diesem begrenzt dynamischen Uferabschnitt durch den Einsatz pflanzlicher Bauweisen am Böschungsübergang zur Planie (Kap. 4.10) ausreichend geschützt werden kann, werden die weiteren Untersuchungen zeigen.

## 6.2 Beurteilung der Einzelmaßnahmen

Im Folgenden wird eine erste Einschätzung der Einzelmaßnahmen für das erste Jahr nach Bauabschluss einschließlich der kritischen Anfangszeit unabhängig von den Versuchsfeldern gegeben. Tab. 6.2-1 zeigt alle Einzelmaßnahmen und deren Anwendungsbereiche in der Versuchsstrecke in einer Übersicht.

Tab. 6.2-1: Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Versuchsfeldern

<b>Maßnahmen „Ersatz der technischen Ufersicherung durch technisch-biologische Bauweisen“ oberhalb AZW bzw. AZW - 0,5 m</b>	
<b>M1</b> Weidenspreitlagen diagonal und quer eingebaut	VF 2 und 3
<b>M2</b> Röhrichtgabionen auf Kornfilter	VF 5a unten
<b>M3</b> Steinmatratzen auf Kornfilter ohne Pflanzmatten	VF 5a und 5b oben
<b>M4</b> Steinmatratzen auf Kornfilter mit Pflanzmatten	VF 5b
<b>M5</b> Pflanzmatten auf verschiedenen Geotextilien als Filter	VF 7a, 7b und 7c
<b>M6</b> Kokosmatten über einer Nassansaat	VF 7 oben
<b>M7</b> Röhrichtwalzen	VF 7b und 7c (bei AZW)
<b>Maßnahmen „Ökologische Aufwertung der technischen Ufersicherung“</b>	
<b>M8</b> Anlage senkrecht zum Ufer verlaufender Pflanzgräben in einer Steinschüttung mit wahlweise ausschlagsfähigen Weidenfaschinen, Busch- und Heckenlagen	VF 1
<b>M9</b> Einbringen von Setzstangen	VF 1, VF 9
<b>M10</b> Einspülen von Oberboden-Alginat in eine Steinschüttung und Ansaat durch Anspritzverfahren	VF 6
<b>M11</b> Einzelpflanzung von Röhrichtbulten in die Steinschüttung	VF 6
<b>M12</b> Anlage eines Steinwalls parallel zur Uferlinie zur Reduzierung schiffsinduzierter Belastungen	VF 1, VF 8
<b>M13</b> Einbau von Totholzstrukturen (Totholzstämme mit Wurzelteller, Totholzfaschinen, Ausfachungsbuhne) in Steinschüttung	VF 1, VF 4, VF 9
<b>M14</b> Aufbringen von kiesigem Substrat / Grobstein-Gruppen auf vorhandene Steinschüttung	VF 4
<b>Maßnahme „Rückbau der technischen Ufersicherung oberhalb von AZW, kein neuer Uferschutz, begrenztes Zulassen freier Dynamik“</b>	
<b>M15</b> Rückbau der technischen Ufersicherung, kein Uferschutz oberhalb von AZW, begrenztes Zulassen freier Dynamik	VF 9

## 6.2.1 Maßnahmen „Ersatz der technischen Ufersicherung durch technisch-biologische Bauweisen“

### Maßnahme M1: Weidenspreitlagen diagonal (VF2) bzw. quer (VF3) eingebaut

Weidenspreitlagen diagonal bzw. quer eingebaut (Böschungsneigung 1:3)	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anfangsstadium: Weidenäste und Befestigungen weitestgehend stabil, einzelne Pflöcke bei Überstau unter Auftrieb herausgezogen, begrenzte Erosion und Bodenverlagerungen unter den verlegten Ästen – trotz zusätzlicher Reisigabdeckung im unteren Bereich, nicht flächendeckend verlegte Äste haben Erosion begünstigt, nachträgliche Kiesabdeckung für besseren Bodenkontakt</li> <li>- Insgesamt gute, weitestgehend flächendeckende Entwicklung im 1. Jahr, kaum Unterschiede zwischen diagonal und quer verlegten Ästen, Überstauzeiten ohne größere Schäden (nur begrenzte Bodenverlagerungen) überstanden</li> <li>- Wuchskräftigster Bereich zwischen AZW + 0,5 m und AZW + 1,7 m</li> <li>- Geringerer Deckungsgrad im Wellenaufbereich bei Mittelwasser (bis AZW + 0,5 m), der gleichzeitig am längsten durch höhere Wasserstände eingestaut war (maximal 6 Wochen hintereinander); in diesem Bereich bisher bessere Entwicklung der quer eingebauten Weiden</li> <li>- Gute Wurzelbildung nach der ersten Vegetationsperiode – relativ dichtes, verzweigtes Wurzelsystem mit Längen bis etwa 60 cm durch Aufgrabung nachgewiesen</li> <li>- Insgesamt Uferschutz ausreichend durch Weidenspreitlagen gewährleistet</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Flächige Gehölzentwicklung mit standorttypischen Gehölzen der Weichholzaue durch Verwendung niedrigwüchsiger Strauchweiden (Purpur-Weide) in Kombination mit höherwüchsigen Baumweiden (Silber-Weide)</li> <li>- Zusätzlicher Struktureichtum durch die Ablagerung von Totholz und Treibsel nach Hochwasserereignissen</li> <li>- Spontane Entwicklung erster Arten der Hartholzaue im Schutz der Weiden</li> <li>- Keine Aussagen zur Fischfauna möglich</li> <li>- Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bisher keine Pflege erforderlich</li> <li>- Weitere Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten bzw. Fraßschädlingen (Schwächung der Weiden)</li> </ul>
<b>Sanierungsmaßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nachträgliche Kiesabdeckung</li> </ul>

**Maßnahme M2: Röhrichtgabionen auf Kornfilter (VF5a)**

<b>Röhrichtgabionen auf Kornfilter (Böschungsneigung 1:2,5)</b>	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anfangsstadium: relativ unkritisch, da aufgrund Eigengewicht von Anfang an relativ stabile Lage auf der Böschung, keine zusätzlichen Befestigungen erforderlich, zunächst mangelnde Fußeinbindung in der Steinschüttung führte nach ersten Hochwassern zu leichten Rutschungen der Röhrichtgabionen (steile Böschungsneigung), gute Lagestabilität nach Verstärkung der Fußeinbindung</li> <li>- Insgesamt gute Entwicklung im 1. Jahr, Uferschutz durch flächendeckende stabile Lage auf der Böschung und in sich stabile Gabionen sowie filterstabiler Aufbau durch Kornfilter, Überstauzeiten und hydraulische Belastungen ohne größere Schäden überstanden</li> <li>- Im Jahresverlauf aufgetretene Vitalitätsschwankungen der Pflanzen infolge hoher Wasserstände wurden schnell wieder ausgeglichen; Vitalität und Durchwurzelung der Röhrichtgabionen durchweg gut</li> <li>- Insgesamt Uferschutz ausreichend durch Röhrichtgabionen gewährleistet</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Initiierung einer standortgerechten Ufervegetation durch die nach unterschiedlicher Zonierung bepflanzten Röhrichtgabionen, somit Erhöhung der Lebensraumfunktion gegenüber dem weitgehend vegetationsfreien ursprünglichen Zustand</li> <li>- Entwicklung einer artenreichen und kräftig wüchsigen Röhrichtzone mit feuchten Hochstauden (Pflanzzone 1)</li> <li>- Einleitung der Besiedlung mit Spontanvegetation</li> <li>- Keine Aussagen zur Fischfauna möglich</li> <li>- Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Wenige Bewässerungsgänge nach Baufertigstellung, ansonsten keine Pflege erforderlich</li> <li>- Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten, Fraßschädlingen und schmarotzenden Pflanzen (z. B. Pappel-Seide)</li> </ul>
<b>Sanierungs- maßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Verstärkung der Fußeinbindung durch Wasserbausteine</li> </ul>

**Maßnahme M3: Steinmatratzen auf Kornfilter ohne Pflanzmatten, mit Oberbodenauftrag (VF5a und VF5b oben)**

<b>Steinmatratzen auf Kornfilter, ohne Pflanzmatten, mit Oberbodenauftrag (Böschungsneigung 1:2,5)</b>	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anfangsstadium: relativ unkritisch, da aufgrund Eigengewicht von Anfang an stabile Lage auf der Böschung, keine zusätzlichen Befestigungen erforderlich</li> <li>- Insgesamt gute Entwicklung im 1. Jahr, Uferschutz durch flächendeckende stabile Lage auf der Böschung und in sich stabile Steinmatratzen sowie filterstabiler Aufbau durch Kornfilter, Überstauzeiten und hydraulische Belastungen ohne Schäden überstanden, Oberbodenauftrag im überstauten Bereich erwartungsgemäß erodiert – nicht relevant für Uferschutz</li> <li>- Insgesamt Uferschutz ausreichend durch Steinmatratzen gewährleistet</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Schnelle und großflächige Besiedlung der Steinmatratzen mit krautiger Spontanvegetation; dichter und kräftigerer Bewuchs der noch übererdeten Bereiche</li> <li>- Entwicklung eines arten- und strukturreichen Bewuchses aufgrund der unterschiedlichen Substratbedeckung</li> <li>- Keine Aussagen zur Fischfauna möglich</li> <li>- Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bisher keine Pflege erforderlich</li> <li>- Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten</li> </ul>
<b>Sanierungsmaßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>

**Maßnahme M4: Steinmatratzen auf Kornfilter mit Pflanzmatten (VF5b)**

<b>Steinmatratzen auf Kornfilter mit Pflanzmatten (Böschungsneigung 1:2,5)</b>	
<b>Uferstabilität</b>	<p>1. Steinmatratzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anfangsstadium: relativ unkritisch, da aufgrund Eigengewicht von Anfang an stabile Lage auf der Böschung, keine zusätzlichen Befestigungen auf der Böschung erforderlich</li> <li>- Insgesamt gute Entwicklung im 1. Jahr, Uferschutz durch flächendeckende stabile Lage auf der Böschung und in sich stabile Steinmatratzen sowie filterstabiler Aufbau durch Kornfilter, Überstauzeiten und hydraulische Belastungen ohne Schäden überstanden</li> <li>- Insgesamt Uferschutz ausreichend durch Steinmatratzen gewährleistet</li> </ul> <p>2. Pflanzmatten, auf Steinmatratzen befestigt:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Anfangsstadium: kein optimaler Zustand der Pflanzmatten bereits beim Einbau, Matten selbst kaum Eigengewicht unter Auftrieb, bei Überstau Bewegungen der Mattenbereiche zwischen den Befestigungen, dadurch Wurzelbildung im Untergrund behindert; Trockenzeiten bei niedrigen Wasserständen und Frost schädigten Pflanzen; in relativ kurzer Zeit vollständiger Ausfall der vorkultivierten Arten der Pflanzmatten, Beschädigungen und lokale Zerstörung der Trägermatten (Kokosgewebe) selbst</li> <li>- Pflanzmatten auf Steinmatratzen haben sich unter den gegebenen Randbedingungen (Böschungsneigung 1:2,5, mehrfacher Überstau und hydraulische Belastung infolge Schifffahrt, schlechter Ausgangszustand der Matten, ...) nicht bewährt</li> <li>- Uferschutzfunktion weiterhin durch Steinmatratzen ausreichend gegeben</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Teilmaßnahme „Pflanzmatten“ nicht erfolgreich aufgrund des vollständigen Ausfalls der vorkultivierten und wenigen spontan etablierten Arten; das ökologische Ziel eine naturnähere Ufervegetation zu entwickeln, konnte mit dem Einsatz von Pflanzmatten auf Steinmatratzen nicht erreicht werden; derzeit negative ökologische Einschätzung aufgrund freiliegender Netzstrukturen der Vegetationsmatten, Holzlatten und Verdrahtungen</li> <li>- Keine Aussagen zur Fischfauna möglich</li> <li>- Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bewässerung in Anfangszeit notwendig</li> <li>- Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten</li> </ul>
<b>Sanierungs- maßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Pflanzmatten nachträglich mit einzelnen Wasserbausteinen beschwert</li> </ul>

## Maßnahme M5: Pflanzmatten auf verschiedenen Geotextilien als Filter (VF 7)

Pflanzmatten auf verschiedenen Geotextilien als Filter (Böschungsneigung 1:3)	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Anfangsstadium: sehr kritisch, Pflanzmatten beim Einbau in sehr schlechtem Zustand; Pflanzmatten besitzen bei Überstau unter Auftrieb kaum ein Eigengewicht, dadurch Bewegungen der Mattenbereiche zwischen den Befestigungen bei hydraulischen Belastungen, erschwerte Wurzelbildung im Untergrund; ein Teil der Pflöcke und Querriegel durch Auftrieb gelockert und z.T. herausgezogen; Befestigung der Matten dadurch im Überstaubereich teilweise nicht mehr ausreichend; im oberen Böschungsbereich teilweise böschungsabwärts gerichtete Bodenverlagerungen unter den Matten, begrenzt nur durch Querriegel; Kokosmatten nicht filterstabil, dadurch Bodenaustrag; sehr schneller biologischer Abbau des Schafwollvlieses, keine ausreichende Schutzwirkung mehr vorhanden; im längerfristig überstauten unteren Böschungsbereich viele Schäden, besonders im Bereich mit Schafwollvlies, hier kein ausreichender Uferschutz mehr gegeben</li> <li>- Verschiedene Sanierungsmaßnahmen erforderlich: Nachschlagen der Pflöcke und Querriegel nach jedem Überstau; nachträglich flächige Nassansaat zur Stabilisierung, lokale Sanierung mit Rasensoden; Überschütten des unteren Böschungsbereiches mit Wasserbausteinen zur Gewährleistung eines ausreichenden Uferschutzes, dabei in den Bereichen mit Schafwollvlies höher (bis AZW + 1,70 m), in den Bereichen mit Kunststoffvlies weniger hoch (bis ca. AZW + 1,00 m) erforderlich</li> <li>- Nach Sanierungsmaßnahmen Stabilisierung des Zustandes, gute Entwicklung der Pflanzen; durch Sanierungsmaßnahmen verändertes, inhomogenes Versuchsfeld, dadurch keine eindeutige Aussage zu Pflanzmatten auf Geotextil möglich</li> <li>- Insgesamt Uferschutz nur durch Sanierungsmaßnahmen gewährleistet; noch kein ausreichend stabiler Zustand, deshalb weitere intensive Beobachtung erforderlich; Schafwollvlies (zu schneller Abbau) und Kokosgewebe (nicht filterstabil) als Filter ungeeignet; bester Schutz durch Kunststoffvlies; Befestigung der Pflanzmatten problematisch, ein ausreichender flächiger Bodenkontakt kann durch Pflöcke und Querriegel im Überstaubereich nicht erreicht werden; durch Querriegel Begrenzung von böschungsabwärts gerichteten Materialverlagerungen möglich</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwicklung zu einer standortgerechten Vegetationszonierung und einer Strukturhöhung hat eingesetzt</li> <li>- Hohe Anzahl blühender Hochstauden und Röhrichte, sonstiger Gräser/Kräuter des Grünlandes</li> <li>- Unterschiede der Vliese hinsichtlich Materialstabilität, Inhaltsstoffe und Pflanzenwachstum erkennbar: Schafwolle mit düngender Wirkung → kräftigerer Bewuchs, Förderung stickstoffliebender Pflanzen; Kunststoffvlies mit hoher Haltbarkeit → gutes und vitales Pflanzenwachstum, aber aus ökologischer Sicht nicht zu empfehlen, da unverrottbar; Kokos → Entwicklung der Pflanzen im VF aufgrund ungeeigneter Pflanzenlieferung (Arten zur Teichrandbegrünerung) nicht repräsentativ</li> <li>- Durch die bereichsweise notwendig gewordenen Sanierungen positive Entwicklung der Vegetation bis zum Oktober</li> <li>- Keine Aussagen zur Fischfauna möglich</li> <li>- Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013</li> </ul>

<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Bewässerungsgänge</li><li>- Pflegeschnitte</li><li>- Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten, Rückschnitt von Hybrid-Pappeljungwuchs</li></ul>
<b>Sanierungs- maßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"><li>- Ersatz herausgezogener Befestigungen</li><li>- Nachträgliche Nassansaat, lokaler Einbau von Rasensoden</li><li>- Einbau von Wasserbausteinen im unteren Böschungsbereich</li></ul>

**Maßnahme M6: Kokosmatten über einer Nassansaat (VF 7a oben)**

<b>Kokosmatten über einer Nassansaat (Böschungsneigung 1:3)</b>	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Angewendet hier nur im oberen, seltener eingestauten Böschungsbereich</li> <li>- Anfangsstadium: sehr kritisch, Kokosmatten bei Überstau unter Auftrieb besitzen kaum ein Eigengewicht, punktuelle Befestigungen durch Pflöcke (keine Querriegel) waren im Bereich temporärer Überstauungen nicht ausreichend; in großem Maße böschungsabwärts gerichtete Bodenverlagerungen unter den Matten, begrenzt nur durch Totholzfashchinen am unteren Ende der Maßnahme; Kokosmatten nicht filterstabil, deshalb auch Bodenaustrag durch die Matten; Entstehung von größeren Hohlräumen unter den Kokosmatten</li> <li>- Sanierungsmaßnahmen erforderlich: Auffüllen der Hohlräume nach Aufschneiden der Kokosmatte mit Boden und Rasensoden, Abdecken mit Kokosmatte und ausreichende Befestigung (mit Pflöcken und Querriegeln); nachträglich flächige Nassansaat</li> <li>- Nach Sanierungsmaßnahmen Stabilisierung des Zustandes, gute Entwicklung der Pflanzen, aber durch Sanierungsmaßnahmen inhomogener Bewuchs</li> <li>- Insgesamt Uferschutz nur durch Sanierungsmaßnahmen gewährleistet; noch kein ausreichend stabiler Zustand, deshalb weitere intensive Beobachtung erforderlich; Befestigung der Kokosmatten problematisch, punktuelle Befestigung mit Pflöcken verhindert keine Bodenumlagerungen unter der Kokosmatte</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erstsaat konnte sich aufgrund der nicht filterstabilen Matten, der umfangreichen Bodenumlagerungen mit der Bildung von Hohlräumen und Ausschwemmungen von Sediment und Saatgut nicht etablieren</li> <li>- Beginnende Entwicklung einer stabilen Grasnarbe erst nach Sanierungen, Neuansaat, Verpflanzungen von Rasensoden und stabilen Wasserständen</li> <li>- Einleitung einer naturnäheren Vegetationsentwicklung und Strukturbereicherung</li> <li>- Keine Aussagen zur Fischfauna möglich</li> <li>- Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten</li> </ul>
<b>Sanierungs- maßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sanierung von Hohlräumen unter der Kokosmatte mit Rasensoden</li> <li>- Nachträgliche Nassansaat</li> </ul>

**Maßnahme M7: Röhrichtwalzen (VF 7b, VF 7c unten)**

<b>Röhrichtwalzen</b>	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Angewendet parallel zur Uferlinie im Bereich bei AZW als Fußsicherung für die Pflanzmatten</li> <li>- Anfangsstadium: sehr kritisch; sehr schneller biologischer Abbau der Schafwollmatten, dadurch schneller Verlust an Festigkeit; lokale Schäden durch hydraulische Belastung, Austrag der Kiesfüllung; Kokosmatten auch nicht ausreichend stabil; keine Entwicklung der Pflanzenbulte durch die Umhüllung aus Schafwollvlies und Kokosgewebe</li> <li>- Sanierungsmaßnahmen erforderlich: Überschütten der Röhrichtwalzen mit Wasserbausteinen zur Gewährleistung einer stabilen Fußsicherung für die Pflanzmatten</li> <li>- Röhrichtwalzen in der getesteten Form haben sich unter den gegebenen Randbedingungen nicht bewährt; Erprobung der Maßnahme durch Überschüttung mit Wasserbausteinen beendet</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Etablierung/Initiierung einer Röhrichtzone mit Einzelpflanzen im Wellenauf-laufbereich um AZW fehlgeschlagen, ökologisches Ziel nicht erreicht</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	-----
<b>Sanierungs- maßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Überschüttung mit Wasserbausteinen</li> </ul>

## 6.2.2 Maßnahmen „Ökologische Aufwertung der technischen Ufersicherung“

### Maßnahme M8: Anlage senkrecht zum Ufer verlaufender Pflanzgräben in einer Steinschüttung mit wahlweise ausschlagsfähigen Weidenfaschinen, Weidensetzstangen, Busch- und Heckenlagen (VF1)

Anlage senkrecht zum Ufer verlaufender Pflanzgräben in einer Steinschüttung mit wahlweise ausschlagsfähigen Weidenfaschinen, Weidensetzstangen, Busch- und Heckenlagen	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uferschutz hier durch verbliebene Steinschüttung unverändert gewährleistet, bauzeitlich lokal verringerte Standsicherheit während Herstellung der Gräben</li> <li>- Kein kritisches Anfangsstadium hinsichtlich Uferschutz; nach erstem Überstau lediglich leichte Sackungen im Bereich der wieder verfüllten Gräben, Wiederherstellung einer einheitlichen Oberfläche der Steinschüttung durch zusätzlichen Einbau von Steinen in den Gräben, danach stabiler Zustand</li> <li>- Langfristig ggf. Erhöhung des Uferschutzes durch Verwurzelung der neu eingebauten Pflanzen mit dem Deckwerk und dem Untergrund</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bis auf Einzelverluste insgesamt gute und vitale Entwicklung der eingebrachten Gehölze, nur anfänglich geringe Unterschiede in Triebentwicklung zwischen „kurzen“ und „langen“ Setzstangen, Überstauzeiten ohne Schäden überstanden</li> <li>- Bereichsweise Gehölzentwicklung mit standorttypischen Gehölzen der Weichholzaue (Purpur-, Silber-, (Fahl-), Korb-Weide) in Böschungszone AZW bis AZW + 1,70 m und der Hartholzaue (Esche, Schneeball, Hasel, Trauben-Kirsche und Feld-Ahorn) in Böschungszone oberhalb AZW + 1,70 m</li> <li>- Erhöhung des Struktureichtums durch Ablagerung von Totholz und Treibsel nach Hochwasserereignissen</li> <li>- Keine Aussagen zur Fischfauna möglich</li> <li>- Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Rückschnitt der Spontanvegetation an Böschungsübergang zur Planie</li> <li>- Weitere Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten, Fraßschädlingen und pflanzlichen Schmarotzern (z. B. Pappel-Seide)</li> </ul>
<b>Sanierungsmaßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nachträglicher Einbau von Wasserbausteinen in den Gräben</li> </ul>

## Maßnahme M9: Einbringen von Setzstangen (VF1, VF9)

Einbringen von Setzstangen	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Im VF 1 Anordnung der Setzstangen im unteren Böschungsbereich (keine Uferschutzfunktion); Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung unverändert gewährleistet; kein kritisches Anfangsstadium hinsichtlich Uferschutz; langfristig ggf. Erhöhung des Uferschutzes durch Verwurzelung der neu eingebauten Pflanzen mit dem Deckwerk und dem Untergrund</li> <li>- Im VF 9 Anordnung der Setzstangen auf der Böschungsoberkante (mit Uferschutzfunktion); im Bereich der Uferböschung kein Uferschutz vorhanden, Erosion ist gewollt; Setzstangen sollen das Ausmaß der Erosion begrenzen sollen (Schutz des Betriebsweges); da die Erosionserscheinungen bisher nicht die Setzstangen an der Böschungsoberkante erreicht haben, ist noch keine Aussage möglich, inwiefern sie die Erosion in diesem Bereich begrenzen können</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Insgesamt gute und vitale Entwicklung der eingebrachten Setzstangen, beginnende Schädigung an einzelnen Setzstangen durch den Befall mit Pappel-Seide, weitere Beobachtung und ggf. Pflege erforderlich</li> <li>- Initiierung von Gehölzbewuchs aus gebietsheimischen und standorttypischen Weiden auf Böschungsschulter in VF9, sowie auf technischer Steinschüttung in VF1 und 9</li> <li>- Weidensetzstangen ergänzen mit weiterer Lebensraumfunktion die von krautigen Spontanbewuchs dominierte Böschungsplanie in VF9, sowie die im ursprünglichen Zustand weitestgehend vegetationslose Steinschüttung und erhöhen den Strukturreichtum</li> <li>- Weitere Strukturbereicherung durch die Ablagerung von Totholz und Treibsel an Setzstangen nach Hochwasserereignissen</li> <li>- Keine Aussagen zur Fischfauna möglich</li> <li>- Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bisher eine Pflegemahd im Bereich der Setzstangen auf Böschungsplanie (VF9) erforderlich, um Konkurrenzdruck der hochwüchsigen Spontanvegetation und einer dadurch gehemmten Triebentwicklung der jungen Weiden entgegenzuwirken.</li> <li>- Weitere Beobachtung hinsichtlich Fraßschädlingen und pflanzlichen Schmarotzern (z. B. Pappel-Seide, Winden-Knöterich, Zaunwinde); v. a. in VF9 bereits einige Setzstangen befallen.</li> </ul>
<b>Sanierungsmaßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>

**Maßnahme M10: Einspülen von Oberboden-Alginat in die Steinschüttung und Ansaat durch Anspritzverfahren (VF6)**

<b>Einspülen von Oberboden-Alginat in die Steinschüttung und Ansaat durch Anspritzverfahren</b>	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uferschutz hier durch verbliebene Steinschüttung unverändert gewährleistet</li> <li>- Kein kritisches Anfangsstadium hinsichtlich Uferschutz</li> <li>- Zunächst oberflächennahe Erosion des Oberboden-Alginats und des Saatgutes durch Überstau bis zur Höhe des maximal aufgetretenen Wasserstandes, bei wiederholtem Überstau weitere Erosion auch aus dem Lückensystem der Steinschüttung – Auswirkungen nicht standsicherheitsrelevant</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Initiierung einer Grasnarbe aus standorttypischen Gräsern und Kräutern nur in Böschungszone oberhalb des maximal aufgetretenen Wasserstandes (Übergang zur Böschungsplanie) erfolgreich; Bereicherung der Artenvielfalt der Böschungsplanie</li> <li>- Noch vorhandene Alginatreste im Lückensystem der Steinschüttung förderten bislang Aufkommen von Spontanvegetation und trugen somit ebenfalls zu einer zumindest zeitweisen Erhöhung der Artenvielfalt auf der technischen Steinschüttung bei.</li> <li>- Keine Aussagen zur Fischfauna möglich</li> <li>- Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bisher keine Pflege erforderlich</li> <li>- Weitere Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten</li> </ul>
<b>Sanierungs- maßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Kieseinbau im unteren Böschungsbereich nach Erosion des Oberboden-Alginats</li> </ul>

### Maßnahme M11: Einzelpflanzung von Röhrichtbulten in die Steinschüttung (VF6)

Einzelpflanzung von Röhrichtbulten	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uferschutz hier durch verbliebene Steinschüttung unverändert gewährleistet; Röhrichtbulte keine Uferschutzfunktion</li> <li>- Kein kritisches Anfangsstadium hinsichtlich Uferschutz</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vollständiger Austrag der Röhrichtbulte aus dem stark hydraulisch belasteten Bereich um AZW (Wellenaufbereich bei Mittelwasser), der häufig und z. T. lange (maximal 6 Wochen hintereinander) bei höheren Wasserständen eingestaut war</li> <li>- Etablierung/Initiierung einer Röhrichtzone mit Einzelpflanzen im Wellenaufbereich um AZW fehlgeschlagen, ökologisches Ziel nicht erreicht</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	-----
<b>Sanierungs- maßnahmen</b>	- Keine

**Maßnahme M12: Anlage eines Steinwalls parallel zur Uferlinie zur Reduzierung der Uferbelastung vor Wellenschlag (VF1 und VF8)**

<b>Anlage eines Steinwalls parallel zur Uferlinie zur Reduzierung der Uferbelastung vor Wellenschlag</b>	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uferschutz hier durch verbliebene Steinschüttung unverändert gewährleistet</li> <li>- Kein kritisches Anfangsstadium hinsichtlich Uferschutz</li> <li>- Durch Errichtung bzw. Erhöhung eines Steinwalls parallel zur Uferlinie können die hydraulischen Belastungen (Wellenschlag, Strömungsgeschwindigkeiten) auf die eigentliche Uferböschung bei Wasserständen bis zur Oberkante des Steinwalls verringert werden</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Nachweis einer positiven Wirkung des Steinwalls auf uferseitige Wasserzone in VF1 und VF8 hinsichtlich der Entwicklung der Ufer-Vegetation.</li> <li>- Schlammige Ablagerungen auf Wasserbausteinen im Schutz des Steinwalls bieten Substrat und Nährsubstanz für die Besiedlung mit Spontanvegetation</li> <li>- Ansiedlung erster Arten der Laichkraut- und Röhrichtzone in VF1</li> <li>- Weiterentwicklung der im Initial bereits vor Baumaßnahme vorhandenen Röhrichtzone mit feuchten Hochstauden in VF 8</li> <li>- Anstieg des Arten- und Blühreichtums seit Umsetzung der Maßnahme</li> <li>- Regelmäßige Beobachtungen von Jungfischschwärmen im VF 1, Bereich hinter Steinwall im VF 8 zur Zeit der Befischung trocken</li> <li>- Untersuchungen zum Makrozoobenthos ab 2013</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich</li> </ul>
<b>Sanierungsmaßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>

**Maßnahme M13: Einbau von Totholzstrukturen (Totholzstämmen mit Wurzelteller, Totholzfaschinen, Ausfachungsbuhne) in die Steinschüttung (VF1, VF4, VF9)**

<b>Einbau von Totholzstrukturen (Totholzstämmen mit Wurzelteller, Totholzfaschinen, Ausfachungsbuhne) in die Steinschüttung</b>	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uferschutz hier durch verbliebene Steinschüttung unverändert gewährleistet</li> <li>- Kein kritisches Anfangsstadium hinsichtlich Uferschutz</li> <li>- Totholzelemente bisher trotz mehrerer Hochwasserereignisse lagestabil in der Böschung verankert</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- An-/Ablagerung von erodiertem Feinsubstrat im Bereich der Reisigfaschinen in VF4; Entstehung eines flachen Uferbereichs, der künftig förderlich für die Besiedlung mit Pflanzen der Röhrlichtzone sein kann.</li> <li>- Im Vergleich zur Steinschüttung deutlich höhere Individuenanteile von wertgebenden Fischarten nach WRRL</li> <li>- Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich</li> </ul>
<b>Sanierungs- maßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>

**Maßnahme M14: Aufbringen von kiesigem Substrat / Grobstein-Gruppen auf vorhandene Steinschüttung (VF4)**

<b>Aufbringen von kiesigem Substrat / Grobstein-Gruppen auf vorhandene Steinschüttung</b>	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uferschutz hier durch verbliebene Steinschüttung unverändert gewährleistet</li> <li>- Kein kritisches Anfangsstadium hinsichtlich Uferschutz</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erhöhung des Substratvariation der ursprünglich einheitlichen Steinschüttung mit Wasserbausteinen der Klasse LMB<sub>5/40</sub></li> <li>- Einleitung der pflanzlichen Besiedlung mit Spontanvegetation, überwiegend im Strömungsschatten der Grobstein-Gruppen</li> <li>- keine Aussagen zur Fischfauna möglich</li> <li>- Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich</li> </ul>
<b>Sanierungsmaßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Keine</li> </ul>

### 6.2.3 Maßnahme „Rückbau der technischen Ufersicherung, kein Uferschutz oberhalb von AZW, begrenztes Zulassen freier Dynamik“

#### Maßnahme M15: Rückbau der technischen Ufersicherung, kein Uferschutz oberhalb von AZW, begrenztes Zulassen freier Dynamik (VF9)

Rückbau der technischen Ufersicherung, begrenztes Zulassen freier Dynamik	
<b>Uferstabilität</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Planmäßig keine Maßnahmen zur Uferstabilität nach Rückbau der Steinschüttung auf der Böschung oberhalb von AZW (lediglich Weidensetzstangen auf Böschungsplanie); unterhalb AZW Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung</li> <li>– Maximaler Wasserstand bisher bis ca. 1 m unter Böschungsoberkante</li> <li>– Auftreten von Erosion im bisher eingestauten Bereich wie erwartet</li> <li>– Bisher keine kritischen Zustände hinsichtlich Betriebsweg, bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich, weitere Beobachtung</li> </ul>
<b>Ökologie</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Erhöhung des Substrat- und Struktureichtums durch Erosion bzw. Sedimentation und Ablagerung von Totholz/Treibsel nach Wasserstandsschwankungen und Hochwässern</li> <li>– Einleitung der pflanzlichen Besiedlung mit Spontanvegetation in weniger hydraulisch belasteten Böschungszonen</li> <li>– Förderung einer dynamischen Vegetationsentwicklung</li> <li>– Bisläng kein deutlich positiver Einfluss des durch die Erosion flach ausgeprägten Uferverlaufs mit teilweise sandig-kiesigen Bereichen auf die Fischfauna nachweisbar</li> <li>– Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013</li> </ul>
<b>Pflege/ Unterhaltung</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich</li> </ul>
<b>Sanierungsmaßnahmen</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Keine</li> </ul>

### 6.3 Zusammenfassende Beurteilung des fischbiologischen Monitorings 2012

Für die Fische, die Ende Mai und Ende September 2012 per Elektrofischerei untersucht wurden, waren die über AZW angelegten Versuchsfelder zu diesem Zeitpunkt größtenteils nicht erreichbar. Die Steinschüttung unterhalb der Versuchsfelder wurde fast überall von Neozoen geprägt und der Anteil wertgebender Arten unterschied sich wenig von dem der Referenzstrecke (siehe Bild 6.3-1). Ausgenommen davon waren die Versuchsfelder 1 und 4. Die Totholzstrukturen boten Leitarten wie Flussbarsch und Rotaugen geeignete Unterstände. Insbesondere in Versuchsfeld 4 war der Anteil an Neozoen deutlich geringer als in allen anderen Versuchsfeldern und der Referenzstrecke. Im strömungsberuhigten Bereich von VF 1 konnten bei den Begehungen häufig Jungfischschwärme an den Wurzeltellern beobachtet werden. Die Entwicklung dieser Felder und – sollte eine Befischung bei höheren Wasserständen möglich sein – auch der anderen Versuchsfelder wird aus Sicht der Fische im Jahr 2013 weiter untersucht.

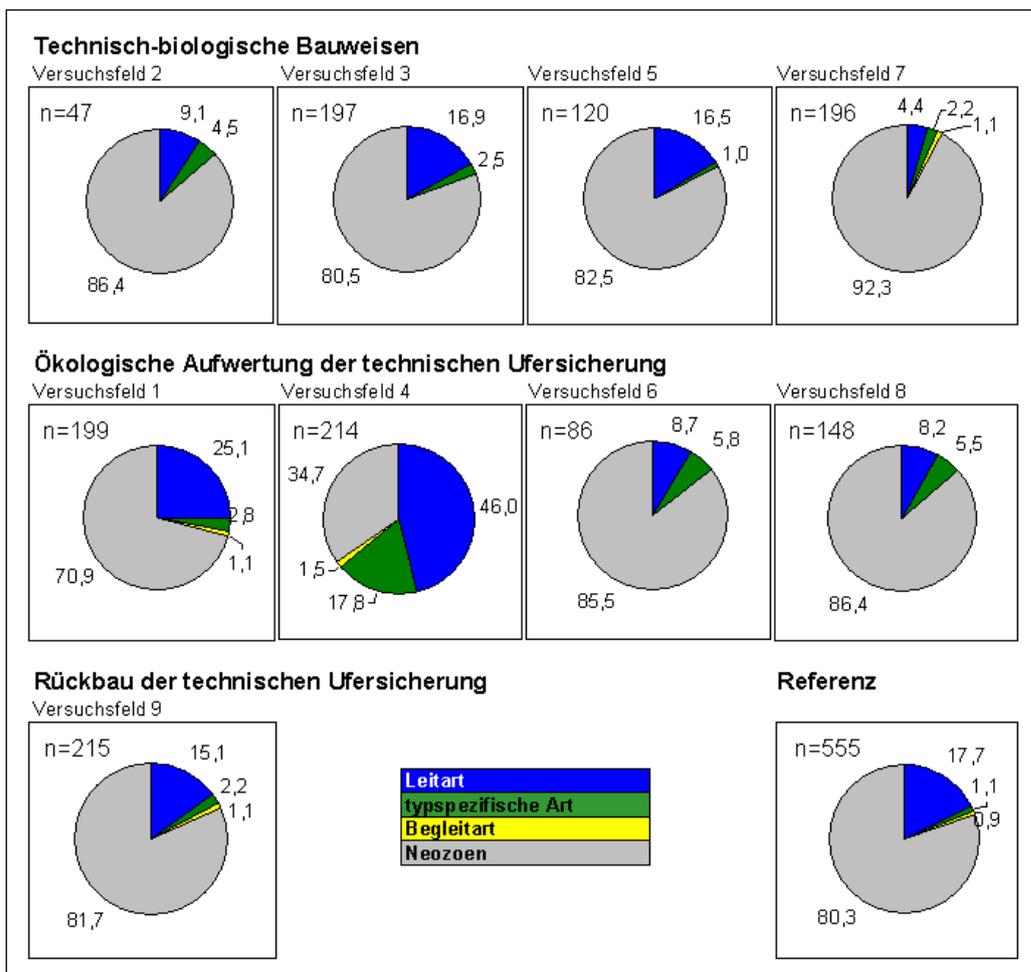


Bild 6.3-1: Individuenanteile der Leitarten, typspezifischen Arten und Begleitarten nach WRRL (Korte, Hugo, 2006) sowie der Neozoen in den Versuchsfeldern 2012. n = Gesamtindividuenzahl im Versuchsfeld

Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen

- Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer -  
2. Zwischenbericht: Erste Monitoringergebnisse  
BfG-Nr.: 1677 BAW-Nr.: 2.04.10151.00



bfg



## 7. Ausblick

Das für den kritischen Anfangszustand im ersten Jahr nach Fertigstellung durchgeführte Monitoring wird in den folgenden Jahren entsprechend der im vorliegenden Bericht beschriebenen Methodik weitergeführt werden. Dabei werden die weitere Entwicklung der technisch-biologischen Sicherungsmaßnahmen und deren Wirksamkeit hinsichtlich der Gewährleistung des Uferschutzes sowie deren ökologischen Wirksamkeit im Mittelpunkt stehen.

Um langfristig über eine möglichst große Datengrundlage für die Bewertung der Ufersicherungsmaßnahmen zu verfügen, werden auch in den nächsten Jahren Messungen zur hydraulischen Uferbelastung und zu den dadurch im Boden erzeugten Porenwasserüberdrücken durchgeführt. Dies ist vor allem auch bei niedrigeren Wasserständen als bei den Messungen 2012 vorgesehen.

Neben dem zunehmenden Pflanzen- und insbesondere Wurzelwachstum, das hinsichtlich der Stabilität der Ufer weiterhin intensiv untersucht wird, zielt das vegetationskundliche und auch das faunistische Monitoring stark darauf ab, die Wirksamkeit der Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung der Steinschüttung zu beurteilen. Zusätzlich zu den bisher untersuchten Fischen wird ab 2013 die terrestrische Fauna und das Makrozoobenthos untersucht und bewertet.

Im Zuge der Unterhaltung werden die Beobachtungen zur Entwicklung der Versuchsstrecke weiter nach der aufgestellten Matrix dokumentiert und bei akutem Handlungsbedarf entsprechende Maßnahmen veranlasst. Die anstehenden Pflegearbeiten wie Mahd, Gehölzrückschnitt und Neophytenbekämpfung werden durch das WSA Mannheim durchgeführt und monetär erfasst.

Die Ergebnisse aus dem nächsten Untersuchungszeitraum von November 2012 bis Ende 2013 werden in einem 3. Zwischenbericht veröffentlicht. Die Abfassung des Berichtes wird sich nach der Durchführbarkeit aller beabsichtigten Datenaufnahmen und deren Auswertung richten. Besonders hinsichtlich der Vegetation und Fauna spielen der Jahreszyklus und ggf. auftretende Hoch- bzw. Niedrigwasserperioden eine große Rolle. Für die Porenwasserdruckmessungen bleibt abzuwarten, ob geeignete Wasserstände auftreten werden.

Eine weitestgehend abschließende Beurteilung der einzelnen Maßnahmen ist frühestens 2016 nach mehreren Vegetationsperioden möglich. Aus den Ergebnissen werden wichtige Erkenntnisse zur Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen erwartet, die neben den Erfahrungen aus anderen Projekten und den Ergebnissen aus in der BAW durchgeführten Modell- und Laborversuchen die Grundlage für fundierte Empfehlungen und Bemessungsgrundlagen bilden werden.

Aktuelle Ergebnisse, Berichte und Informationen zur Versuchsstrecke werden weiterhin im gemeinsamen Internetportal von BAW und BfG (<http://ufersicherung.baw.de>) bereit gestellt, und das Vorhaben auf verschiedenen Fachveranstaltungen präsentiert.

PIANC zeichnet seit 2013 unter der Initiative "Working with Nature" vorbildhafte umweltbezogene Projekte an Wasserstraßen aus. Da die Versuchsstrecke die erforderlichen Kriterien erfüllt, ist eine Bewerbung durch das WSA Mannheim vorgesehen.

## 8. Literaturverzeichnis

- (Adam et al. 1996) Adam, B., Köhler, C, Lelek, A., Schwevers, U., **Rote Liste der Fische und Rundmäuler Hessen**, Hessisches Ministerium des Innern und für Landwirtschaft, Forsten und Naturschutz, Eigenverlag, Wiesbaden 1996
- (BAW, 2004) Bundesanstalt für Wasserbau, **Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlsicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB 2004)**, BAW-Mitteilung Nr. 87, Eigenverlag, Karlsruhe Mai 2004
- (BAW, 2010) Bundesanstalt für Wasserbau, **Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlsicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB 2010)**, Eigenverlag, Karlsruhe März 2011
- (BAW, 2013) Bundesanstalt für Wasserbau, **Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6 - 441,6, rechtes Ufer – Supplement 1: Wetterdaten und Rheinwasserstände 9/2011 - 10/2012**, Eigenverlag, Karlsruhe Januar 2013
- (BAW, BfG, 2010) Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde, **Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – Empfehlungen für die Ausführung der Ufersicherung**, BfG-Nr.: 1667, BAW-Nr.: 2.04.10151.00, Eigenverlag, Karlsruhe/Koblenz, Mai 2010
- (BAW, BfG, WSA-MA, 2012) Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim, **Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – Erster Zwischenbericht: Randbedingungen, Einbaudokumentation, Monitoring**, Eigenverlag, Karlsruhe/Koblenz Januar 2012
- (Borcherding et al. 2013) Borcherding, J., Dolina, M., Heermann, L., Knutzen, P., Krüger, S., Matern, S., van Treeck, R. Gertzen S., **Feeding and niche differentiation in three invasive gobies in the Lower Rhine, Germany**. *Limnologica* (43) 1: 49-58, 2013
- (Braun-Blanquet, 1964) Braun-Blanquet, J., **Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde**. 3. neu bearb. u. wesentl. verm. Auflage, Springer-Verlag. Wien 1964
- (Düll, Kutzelnigg, 2011) Düll, R., Kutzelnigg, H., **Taschenlexikon der Pflanzen Deutschlands und angrenzender Länder**, 7. Aufl., Quelle & Meyer Verlag, Wiebelsheim 2011
- (DWD, 2012) Deutscher Wetterdienst, **Wetterlexikon**, Stand 12/2012  
<http://www.deutscher-wetterdienst.de/lexikon/index.htm?ID=S&DAT=Starkregen>

- (ELWIS, 2012) Elektronischer Wasserstraßen-Informationsservice (ELWIS), **Wasserstände an schiffahrtsrelevanten Pegeln**, Wasser- und Schifffahrtsverwaltung, November 2012  
[\[http://www.elwis.de/gewaesserkunde/Wasserstaende/Wasserstaende\\_start.php?target=2&pegelId=844a620f-f3b8-4b6b-8e3c-783ae2aa232a\]](http://www.elwis.de/gewaesserkunde/Wasserstaende/Wasserstaende_start.php?target=2&pegelId=844a620f-f3b8-4b6b-8e3c-783ae2aa232a)
- (Gondek, Koß, 2013) Gondek, S., von Koß, T., **Erfolgskontrolle ausgewählter Teilbereiche der Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen am Rhein bei Worms**, Studienarbeit FH Erfurt, Eigenverlag, Erfurt 2013 (unveröffentlicht)
- (ILN, 2011) Institut für Landschaftsökologie und Naturschutz Bühl, **Faunistische Untersuchungen zu alternativen biologisch-technischen Ufersicherungen am Rhein (km 440,6 – 441,9)**, Endbericht, Eigenverlag, Bühl 2011 (unveröffentlicht)
- (Intermetric, 2012) Intermetric - Gesellschaft für Ingenieurvermessung und raumbezogene Informationssysteme mbH, **Vermessungsunterlagen (digital), Endbestand Versuchsstrecke 04/2012**, Eigenverlag, Stuttgart Juni 2012
- (Korte, Hugo, 2006) Korte, E, Hugo, R., **Die fischfaunistischen Referenzen der Fließgewässer in Rheinland-Pfalz**, Landesanstalt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht des Landes Rheinlandpfalz, Mainz, 2006
- (LUBW, 2007) Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, **Gewässerkundliches Jahrbuch 2007, Rheingebiet, Teil I (Hoch- und Oberrhein) 1.11.2006 – 31.12.2007**, Karlsruhe  
[\[http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/62431/dgj\\_2007.pdf?command=downloadContent&filename=dgj\\_2007.pdf\]](http://www.lubw.baden-wuerttemberg.de/servlet/is/62431/dgj_2007.pdf?command=downloadContent&filename=dgj_2007.pdf)
- (Philippi, 1996) Philippi, G., **Convolvulaceae**, in: Sebald, O.; Seybold, S.; Philippi, G. & Wörz, A. (Hrsg.): **Die Farn- und Blütenpflanzen Baden-Württembergs, Band 5.**, Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart 1996
- (Sokopp, 2013) Sokopp, M., **Versuchsstrecke zu technisch-biologischen Ufersicherungen am Rhein bei Worms – Ergebnisse der Vitalitätsuntersuchungen pflanzlicher Bauweisen – Untersuchungsjahr 2012**, Institut für Ingenieurbiologie und Landschaftsbau, Department für Bautechnik und Naturgefahren, Universität für Bodenkultur Wien, Eigenverlag, Wien Dezember 2012
- (TLW, 2003) Bundesanstalt für Wasserbau (Hrsg.), **Technische Lieferbedingungen für Wasserbausteine (TLW) – Ausgabe 2003 –**, EG-Notifizierung Nr. 2003/0362/D vom 29. Dezember 2003,  
[http://vzb.baw.de/publikationen/tr-w/0/tlw\\_2003.pdf](http://vzb.baw.de/publikationen/tr-w/0/tlw_2003.pdf)
- (Walter, Lieth, 1967) Walter, W., Lieth, H., **Klimadiagramm-Weltatlas**, Gustav Fischer Verlag, Jena 1967