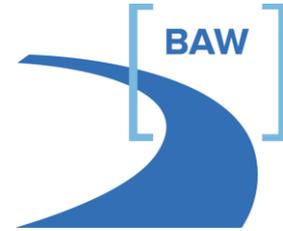




**WASSER- UND
SCHIFFFAHRTSAMT
Mannheim**



**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**

**Vierter Zwischenbericht
Monitoringergebnisse 2014
31.07.2015**

Inhaltsverzeichnis		Seite
1.	Veranlassung	3
2.	Vorgehensweise	4
3.	Wichtigste Randbedingungen und Teiluntersuchungen im Berichtszeitraum	5
3.1	Wetter und Wasserstände	5
3.2	Durchgeführte Teiluntersuchungen	11
3.3	Porenwasserdruckmessungen	12
4.	Monitoringergebnisse	18
4.1	Neue Uferschutzmaßnahmen nach Rückbau der Steinschüttung (Versuchsfelder 2, 3, 5, 7)	18
4.2	Ohne Uferschutzmaßnahmen nach Rückbau der Steinschüttung (Versuchsfeld 9)	31
4.3	Ökologische Aufwertungsmaßnahmen in der bestehenden Steinschüttung (Versuchsfelder 1, 4, 6, 8)	33
5.	Bewertung hinsichtlich Tierökologie und faunistischer Besiedlung	41
6.	Zusammenfassung und Ausblick	44
	Literaturverzeichnis	47
	Anlage: Maßnahmenblätter (Beurteilung der Einzelmaßnahmen)	49

An der Erstellung des Berichtes Beteiligte:

BEHRENDT, Katja	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Vegetationskunde, Landschaftspflege
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 Vegetationskunde, Landschaftspflege
LIEBENSTEIN, Hubert	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Vegetationskunde, Landschaftspflege
DR. SOYEAUX, Renald	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Referat Erdbau und Uferschutz
PROF. DR. KOOP, Jochen	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Tierökologie
WIELAND, Steffen	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Tierökologie

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 dieser Abschnitte blieb das Ufer weitestgehend ungesichert. In vier Abschnitten wurden unterschiedliche Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung der bestehenden Steinschüttung durchgeführt.

Das Projekt wird von einem zunächst fünf Jahre dauernden Monitoringprogramm begleitet. Es werden jährliche Monitoringberichte erstellt. Der erste Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA 2012) dokumentiert die Randbedingungen, die einzelnen Bauweisen und deren Einbau. Im 2. Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA, 2013) wurden in sehr umfassender Weise die ersten Monitoringergebnisse des Jahres 2012 zusammengestellt und wichtige Grundlagen für die Auswertungen der Folgejahre geschaffen. Der 3. Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA 2014) fasst kurz die wesentlichen Ereignisse und Untersuchungen für den Berichtszeitraum November 2012 bis Oktober 2013 zusammen und beschreibt die wichtigsten Ergebnisse des Monitorings. Ergänzend zum 3. Zwischenbericht wurden alle Ergebnisse detailliert in einzelnen Teilberichten zu den Schwerpunktthemen Wetter und Wasserstände (BAW, 2014), Standsicherheit und Unterhaltung (BAW, 2015a), Vegetation (BfG, 2014a) und Fauna (BfG, 2014b) dokumentiert. In gleicher Weise wurde der vorliegende 4. Zwischenbericht, der die Monitoringergebnisse des Berichtszeitraumes November 2013 bis Oktober 2014 beinhaltet, erstellt.

Im Ergebnis des Naturversuchs an dieser hoch frequentierten Wasserstraße werden wichtige Erkenntnisse zur Anwendung alternativer technisch-biologischer Ufersicherungen, deren Belastbarkeit und ökologischen Wirksamkeit am Rhein, aber auch an anderen Wasserstraßenabschnitten erwartet.

2. Vorgehensweise

Die Ergebnisse der Monitoringaktivitäten aus dem Beobachtungsjahr 2014 werden - wie im letzten Beobachtungsjahr - in einzelnen fachlichen Teilberichten dokumentiert. Zur schnelleren Übersicht über die wesentlichen Randbedingungen und die wichtigsten Ergebnisse wurde der vorliegende zusammenfassende Kurzbericht (hier: 4. Zwischenbericht) erstellt. Dieser ist für sich lesbar, bei vertieftem Interesse kann auf die Teilberichte zurückgegriffen werden, die auch im Internetportal veröffentlicht werden. Im Kurzbericht werden die für die Entwicklung der einzelnen Versuchsfelder wichtigsten Ereignisse, z. B. besondere Niederschlags- und Abflussereignisse und Untersuchungen im Berichtszeitraum sowie die wichtigsten Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation, Unterhaltungs-/Sanierungsbedarf und Fauna dargestellt. Diese Vorgehensweise wird auch für das Untersuchungsjahr 2015 beibehalten. Am Ende des zunächst bis 2016 laufenden Monitorings wird ein umfassender Gesamtbericht erstellt werden.

Inhaltlich schließt der vorliegende Bericht an den 3. Zwischenbericht vom 15.08.14 (BAW, BfG, WSA-MA, 2014) an. Die Maßnahmenblätter zur Beurteilung der Einzelmaßnahmen (siehe Anlage 1) wurden fortgesetzt, aktualisiert und ergänzt.

Grundlage für die hier dargestellten Ergebnisse und Bewertungen sind u. a. die Teilberichte zu folgenden Themen (<http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/berichte/index.html>):

- Teilbericht „Wetterdaten und Rheinwasserstände 11/2013 - 10/2014“ (BAW, 2015b)
- Teilbericht „Porenwasserdruckmessungen vom 19.02.2014“ (BAW, 2015c)
- Teilbericht „Erste Erfolgskontrolle Fauna“ (BfG, 2015)

3. Wichtigste Randbedingungen und Teiluntersuchungen im Berichtszeitraum

3.1 Wetter und Wasserstände

Im Folgenden werden die für die Pflanzenentwicklung wichtigsten Wetterdaten (Temperatur, Niederschlag und Sonnenscheindauer) aus der Monitoringperiode 2014 dokumentiert. Ausführliche Auswertungen und Darstellungen finden sich im Teilbericht „Wetterdaten und Rheinwasserstände 11/2013 - 10/2014“ (BAW, 2015), dort auch für Luftfeuchtigkeit und Luftdruck. Alle Vergleichswerte aus der Monitoringperiode 2012 sind im Supplement 1 (BAW, 2013), für die Monitoringperiode 2013 in dem Teilbericht (BAW, 2014) dokumentiert.

Temperatur

Bild 1 zeigt die Temperaturganglinien im Zeitraum 1.11. 2013 - 31.10. 2014.

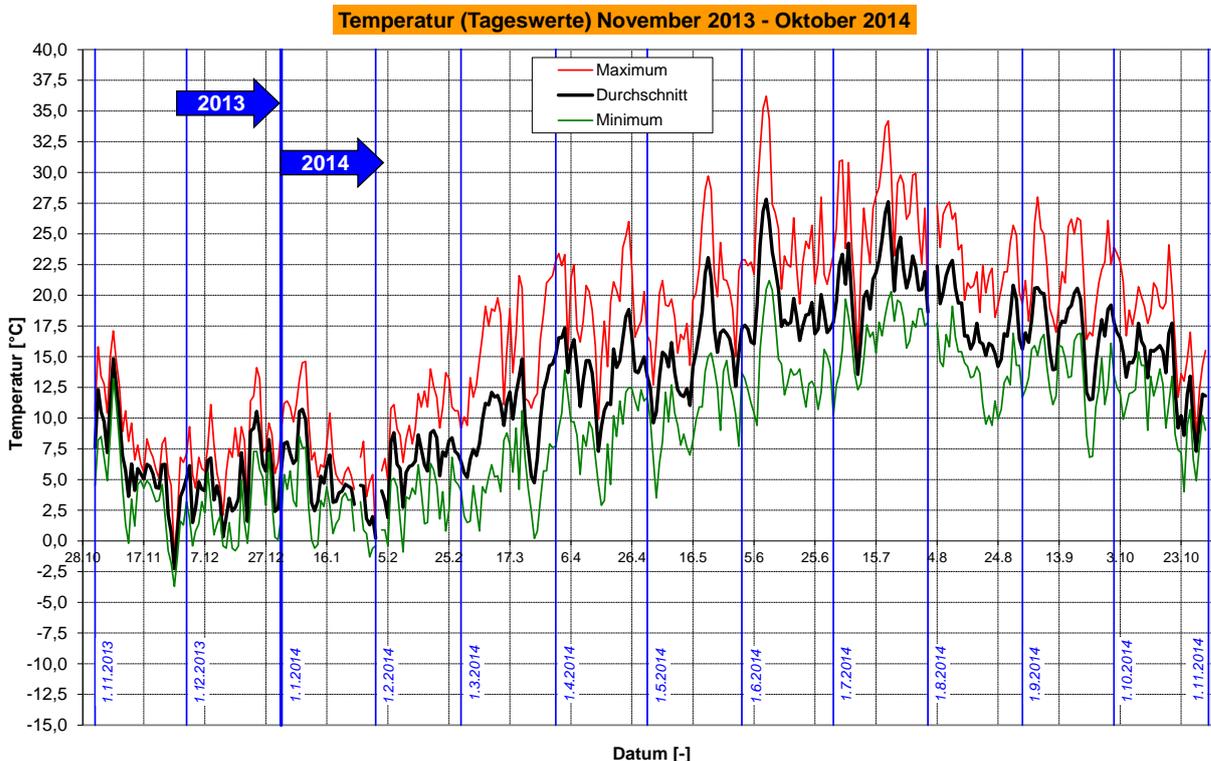


Bild 1: Ganglinien von täglichen Maxima, Mittelwerten und Minima der Temperatur an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum 1.11.2013 - 31.10.2014

Statistische Hauptkennzahlen 2014 (Werte der *Monitoringperiode* 2013 bzw. *Monitoringperiode* 2012 zum Vergleich; σ_x = Standardabweichung):

	2014	2013	2012
Minimum	- 3,70 °C 27. Nov. 2013	- 7,40 °C 8. Dez. 2012	- 14,20 °C 7. Feb. 2012
Mittelwert	12,74 °C $\sigma_x = 6,29$ °C	11,18 °C $\sigma_x = 7,91$ °C	12,14 °C $\sigma_x = 7,37$ °C
Maximum	36,20 °C 9. Juni 2014	36,70 °C 2. Aug. 2013	36,70 °C 19. Aug. 2012

Mittelwerte für die phänologische Jahresteilung:

	2014	2013	2012
Winterhalbjahr	7,54 °C	4,24 °C	5,7 °C
Sommerhalbjahr	17,38 °C	16,90 °C	17,2 °C

Auffällig an den Temperaturen der Monitoringperiode (MP) 2014 ist, dass der Winter deutlich wärmer als im Vorjahr (MP 2013) war. In der MP 2013 gab es 5 x Temperaturen unter 0 °C und das auch für mehrtägige Phasen. In der MP 2014 lagen die Temperaturen nur 1 x für 4 Tage unter 0 °C (noch im November 2013).

Niederschlag

Bild 2 zeigt die Niederschlagsmonatswerte. Herausragend ist der Monat Juli als mit Abstand niederschlagsreichster Monat, gefolgt vom August.

Statistische Hauptkennzahlen 2014 (Werte der *Monitoringperiode* 2013 bzw. *Monitoringperiode* 2012 zum Vergleich; σ_x = Standardabweichung):

	2014	2013	2012
Minimum	0,00 mm	0,00 mm	0,00 mm
Mittelwert	2,00 mm $\sigma_x = 5,22$ mm	2,06 mm $\sigma_x = 4,69$ mm	1,54 mm $\sigma_x = 3,91$ mm
Maximum	68,32 mm 21. Juli 2014	41,66 mm 5. Okt. 2013	37,59 mm 16. Aug. 2012

Mittel- und Maximalwerte für die phänologische Jahresteilung:

	2014	2013	2012
Mittelwert im Winterhalbjahr	1,24 mm	1,38 mm	1,1 mm
Maximum im Winterhalbjahr	17,02 mm	16,00 mm	36,1 mm
Mittelwert im Sommerhalbjahr	2,64 mm	2,66 mm	2,1 mm
Maximum im Sommerhalbjahr	68,32 mm	41,66 mm	37,6 mm

Hierbei liegen in der MP 2014 die Maxima für Winter- und Sommerhalbjahr so weit auseinander, wie in keiner der beiden vorhergehenden Monitoringperioden.

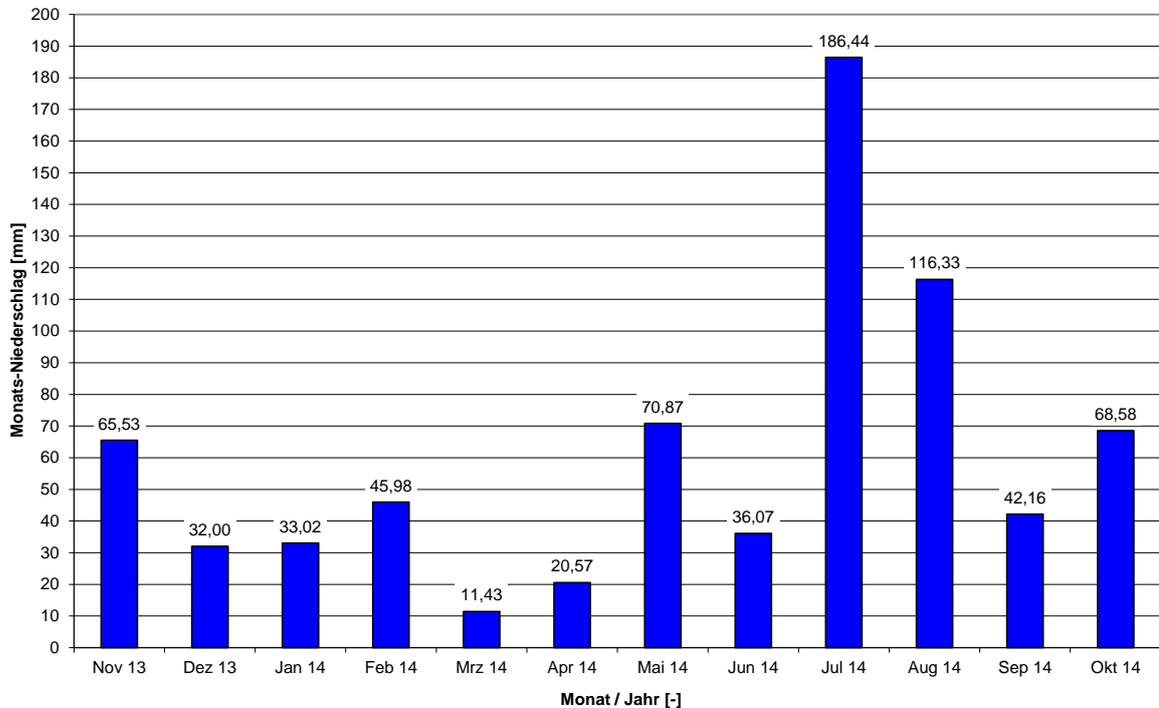


Bild 2: Histogramm der monatlichen Niederschlagsmengen an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum November 2013 - Oktober 2014; Hinweis: [mm] = [l/m²]

Sonnenscheindauer

Statistische Hauptkennzahlen 2014 (Werte der *Monitoringperiode 2013* bzw. *Monitoringperiode 2012* zum Vergleich; σ_x = Standardabweichung):

	2014	2013	2012
Minimum	0,00 h ¹⁾ Nov. 13 - Jan 14 (6 d, 11 d, 7 d) und Okt. 14 (1 d)	0,00 h ¹⁾ mehrmals in Nov.2012 bis Apr. 2013	0,00 h ¹⁾ Nov. 2011 - Jan. 2012 März und Okt. 2012
Mittelwert	6,98 h $\sigma_x = 4,07$ h	6,54 h $\sigma_x = 4,25$ h	6,87 h $\sigma_x = 3,86$ h
Maximum	13,45 h 7. Juni 2014	13,47 h 16. Juni 2013	13,25 h 29. Mai 2012

¹⁾ entspricht völliger Wolkenbedeckung den ganzen Tag

Mittelwerte für die phänologische Jahresteilung:

	2014	2013	2012
Winterhalbjahr	3,87 h	3,29 h	3,7 h
Sommerhalbjahr	9,75 h	9,41 h	9,8 h

Klimadiagramm und Bewertung

Trocken- und Feuchtperioden lassen sich eindeutig anhand des Klimadiagramms nach Walter und Lieth (1967) abgrenzen (Bild 3). Im Gegensatz zur Monitoringperiode 2012 mit vier gering ausgeprägten kurzen Trockenperioden und zur Monitoringperiode 2013 mit einer sehr langen, ausgeprägten Trockenperiode in den Monaten Juli / August traten in der Monitoringperiode 2014 drei geringer ausgeprägte Trockenperioden in den Monaten März - April, Juni und September auf. Eine deutliche Feuchtperiode fiel in die Monate Juli / August.

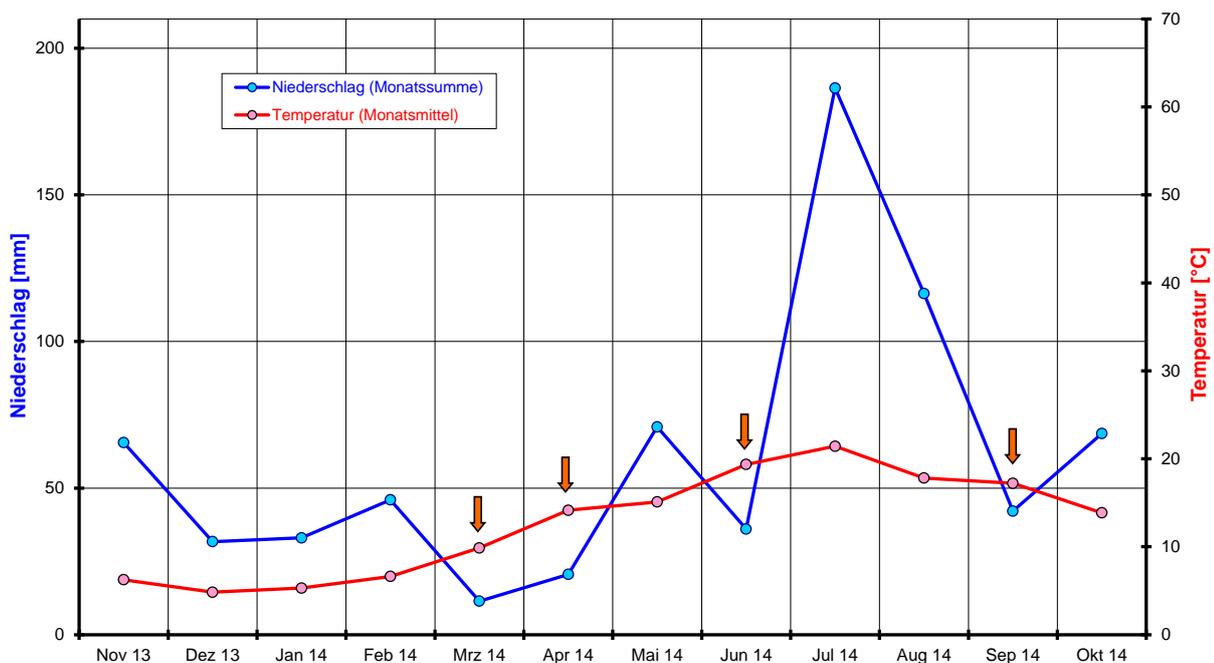


Bild 3: Klimadiagramm für Nov. 13 - Okt. 14 nach Walter u. Lieth (1967) für Niederschlag (Monatssumme) und Temperatur (Monatsmittel); Trockenperioden in den mit ↓ gekennzeichneten Monaten

Wasserstände

Bild 4 zeigt die Ganglinie des Rheins (Tagesmittelwerte) am Pegel Worms im Beobachtungszeitraum vom 1.11. 2013 bis 31.10. 2014, Bild 5 eine Häufigkeitsverteilung der gemessenen Tagesmittelwerte.

Statistische Hauptkennzahlen 2014 (Werte der *Monitoringperiode 2013* bzw. *Monitoringperiode 2012* zum Vergleich):

	2014	2013	2012
Minimum	85,11 NN+m	85,10 NN+m	84,43 NN+m
Mittelwert	86,22 NN+m	86,81 NN+m	86,09 NN+m
Maximum	88,60 NN+m	91,14 NN+m	88,85 NN+m
Median	86,06 NN+m	86,56 NN+m	85,95 NN+m
Standardabweichung	0,78 NN+m	1,10 NN+m	0,88 NN+m

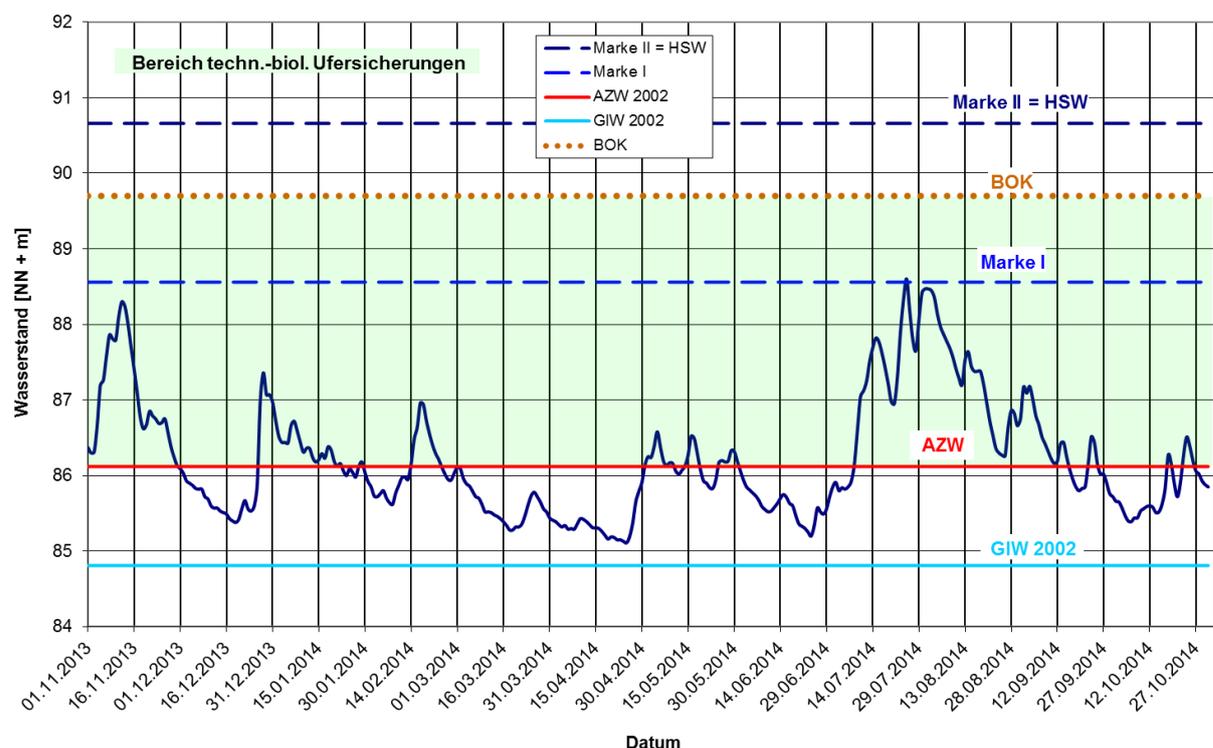


Bild 4: Ganglinie der Tagesmittelwerte der Wasserstände am Pegel Worms für den Zeitraum 1.11.2013 bis 31.10.2014

In der direkt vorangegangenen Monitoringperiode 2013 sind – im Vergleich zur ersten Monitoringperiode 2012 – mehrere höhere und längere Hochwässer (10 Wochen) aufgetreten, bei denen erstmals für einige Tage die Wasserstände bis über BOK reichten. In der **Monitoringperiode 2014** gab es dagegen nur zwei Phasen mit kleineren Hochwässern (Mitte November und Ende Juli/Anfang August); nur an einem einzigen Tag im Juli 2014 wurde dabei die Marke I gering überschritten. AZW wurde an ca. der Hälfte der MP-Tage unterschritten. Die Niedrigwasserstände MNW und GIW wurden nie unterschritten. Insgesamt zeichnet sich

die untersuchte Periode durch generell niedrigere Wasserstände als während der Vorperioden aus.

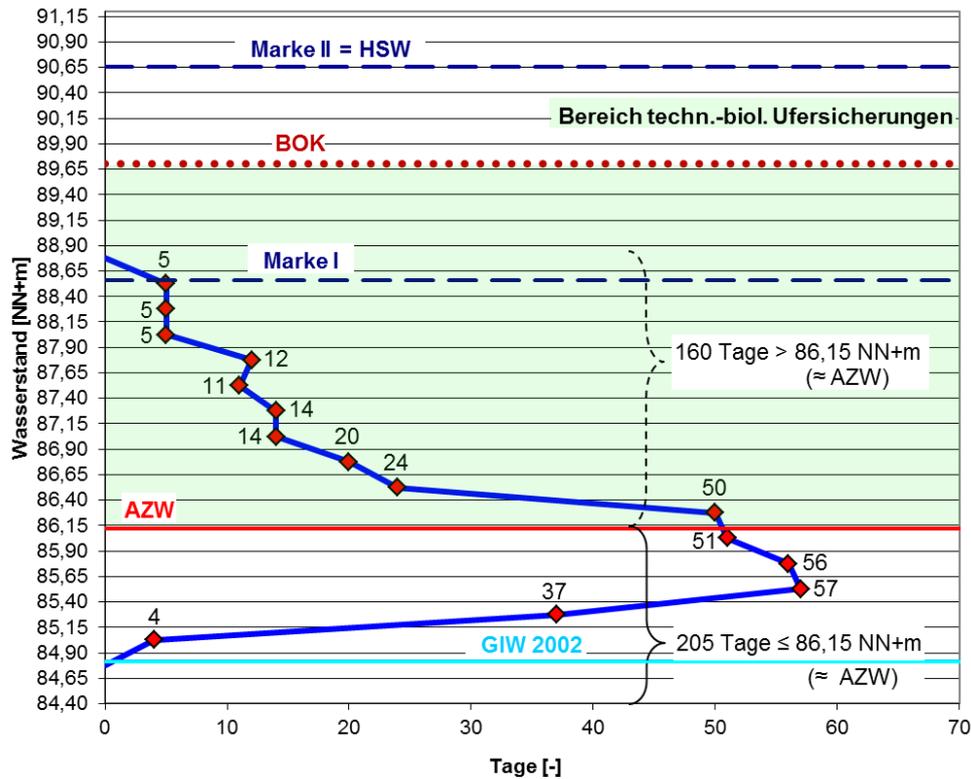


Bild 5: Verteilung der Häufigkeit in Tagen \blacklozenge der Wasserstände am Pegel Worms im Zeitraum 1.11.2013 bis 31.10.2014

3.2 Durchgeführte Teiluntersuchungen

Im Rahmen des Monitoring wurden zwischen November 2013 und Oktober 2014 folgende Teiluntersuchungen durchgeführt:

Tab. 1: Durchgeführte Teiluntersuchungen in der Monitoringperiode 2014

Untersuchungen	Zeitraum	Ziel/ Inhalte
Laufende Uferinspektionen (WSA, BAW, BfG)	Gesamtes Jahr	Erfassung und Dokumentation des Zustandes der neuen Ufersicherungen und Beurteilung der Uferstabilität
Fotoaufnahmen (BAW)	14.2.14 10.9.14	Panorama-Fotoaufnahmen vom gegenüber liegenden Ufer zur Dokumentation der zeitlichen Entwicklung der neuen Ufersicherungsmaßnahmen
Porenwasserdruckmessung (BAW)	19.2.14	Porenwasserdruckmessung im VF 3 bei laufender Schifffahrt (dazu Datenerhebung: Schiffsabmessungen und -geschwindigkeiten, Uferabstände)
Vegetationskartierung (BfG)	25.-27.5.14 24.-25.9.14 22.10.14 ^{*)}	Vegetationsaufnahmen nach Braun-Blanquet (1965) je Versuchsfeld/Referenzstrecke und hangparalleler Untersuchungsfläche (3 Vegetationszonen); Erfassung des Pflanzenarteninventars mit Mengenschätzung (Artmächtigkeit) der einzelnen Arten; Aufnahme struktureller Parameter (z. B. Treibsel-/Totholzansammlung); Untersuchung der eingebauten Pflanzen auf Vitalität und Wuchsleistung
Elektrofischung (BfG)	08.05.2014 10.10.2014	Dokumentation der Fischfauna pro VF und Referenz
Makrozoobenthos (Björnsen Beratende Ingenieure GmbH im Auftrag der BfG)	Juli 2013 Auswertung in 2014	Erfassung und Bewertung der ökologischen Wirksamkeit insbesondere für die Förderung der aquatischen Habitatvielfalt und Biodiversität für das Makrozoobenthos zur Erfolgskontrolle
Laufkäfer- und Spinnen (Björnsen Beratende Ingenieure GmbH im Auftrag der BfG)	September bis Oktober 2013 und März bis Juni 2014	Erfassung und Bewertung der ökologischen Wirksamkeit insbesondere für die Förderung der Habitatvielfalt und Biodiversität im Uferbereich für Laufkäfer und Spinnen zur Erfolgskontrolle
Reptilien (Björnsen Beratende Ingenieure GmbH im Auftrag der BfG)	August 2013 bis Mai 2014	Erfassung und Bewertung der ökologischen Wirksamkeit insbesondere für die Förderung der Habitatvielfalt und Biodiversität im Uferbereich für Reptilien zur Erfolgskontrolle
Avifauna (Björnsen Beratende Ingenieure GmbH im Auftrag der BfG)	September 2013 bis Juni 2014	Erfassung und Bewertung der ökologischen Wirksamkeit insbesondere für die Förderung der Habitatvielfalt und Biodiversität im Uferbereich für die Vögel (Avifauna) zur Erfolgskontrolle

^{*)} Die Aufnahme des VF7 erfolgte aufgrund einer Mahd im August erst am 22.10.14

Die Auswertungen und Ergebnisse der Porenwasserdruckmessung (Kap. 3.3; BAW, 2015c) und der faunistischen Untersuchungen (BfG, 2015) sind in Teilberichten dokumentiert. Sie sind Grundlage für die Bewertung der einzelnen Ufersicherungsmaßnahmen entsprechend der zusammenfassenden Darstellungen in Kapitel 4 sowie in den Maßnahmenblättern (Anlage).

3.3 Porenwasserdruckmessungen

Allgemeines

Der während einer Schiffspassage auftretende Wasserspiegelabsenk führt im Uferbereich im anstehenden Boden in Abhängigkeit von dessen Durchlässigkeitsbeiwert zu Porenwasserüberdrücken (PWÜD), die mit steigender Absenkgröße und -geschwindigkeit zunehmen. 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.

Das Phänomen, die Messaufgabe und -geräte, die Durchführung erster Messungen im Jahr 2012 sowie deren Auswertung und Ergebnisse wurden ausführlich im „2. Zwischenbericht: Erste Monitoringergebnisse 2012“ (BAW, BfG, WSA-MA, 2013) beschrieben.

Im Verlaufe des Gesamt-Monitorings bis zum Jahr 2016 soll versucht werden, bei möglichst vielen Wasserständen zwischen AZW und HSW (= Marke II) Porenwasserdruckmessungen durchzuführen. Im Jahr 2012 sind 3 Messungen im mittleren Wasserstandsbereich gelungen (Wasserstände am Messprofil Rhein-km 440,900):

24. Januar 2012 bei NN + 88,74 m = AZW + 228 cm

12. Juni 2012 bei NN + 87,89 m = AZW + 143 cm

16. Oktober 2012 bei NN + 88,06 m = AZW + 160 cm

Im Jahr 2014 kam eine Messung bei einem sehr niedrigen Wasserstand hinzu:

19. Februar 2014 bei NN + 87,09 m = AZW + 63 cm

Geringere Wasserstände als der vom Februar 2014 sind für Messungen nicht geeignet, da dabei die Drucksonden trocken fallen können und keine Messwerte aufzeichnen. In der verbleibenden Zeit bis 2016 ist vorgesehen, noch eine Messung bei einem Wasserstand möglichst nah an HSW zu ergänzen.

Die Wasserstände aller bis zum jetzigen Zeitpunkt durchgeführten Messkampagnen sind in Bild 6 zu sehen. Alle Details und Ergebnisse zur Messung 2014 sind in „Teilbericht: Porenwasserdruckmessungen am 19.02.2014“ (BAW, 2015c) ausführlich dargestellt.

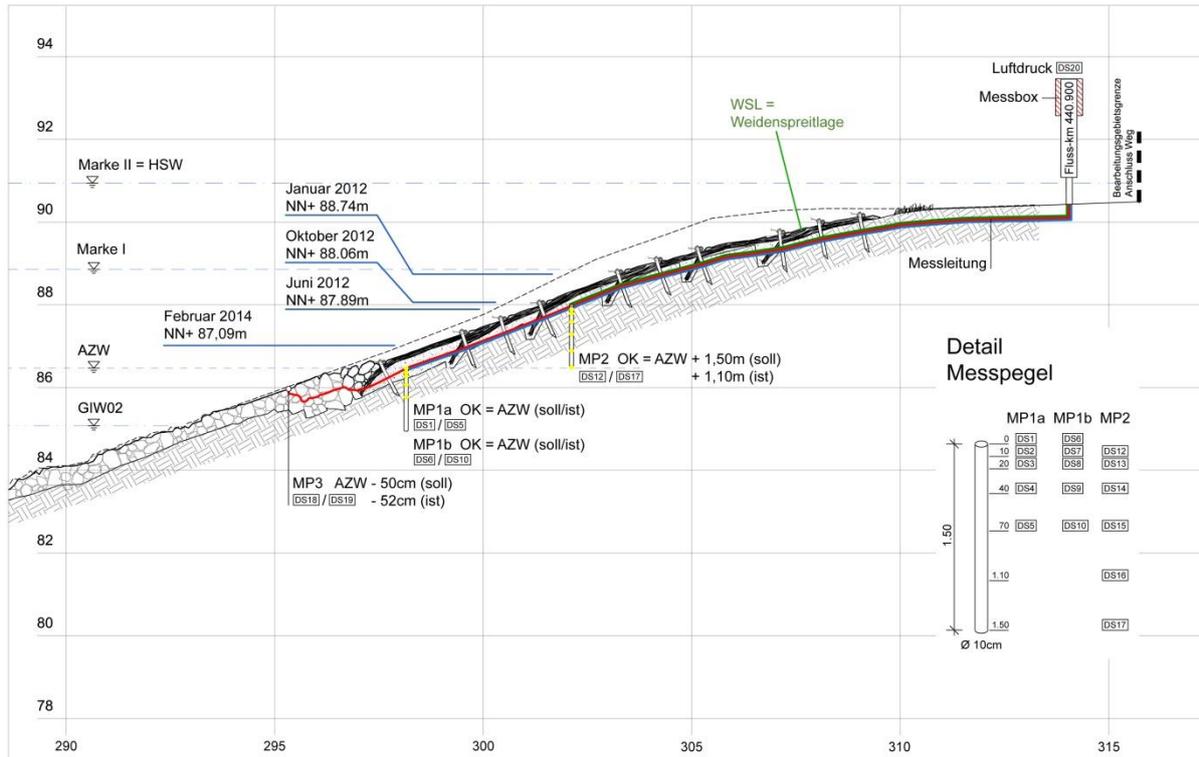


Bild 6: Querprofil bei Rh-km 440,900 im Versuchsfeld 3 mit Positionen aller Messpunkte und Wasserspiegellagen für Messungen 2012 und 2014; rechts: Detail zu den Tiefen der einzelnen Drucksonden unter der Böschungsoberfläche

Durchführung

Am 19. Februar 2014 wurde in der Zeit von 9:44 Uhr bis 14:12 Uhr die Messung durchgeführt. 29 Schiffe konnten erfasst werden. Die Porenwasserdrücke wurden in der gesamten Zeitspanne durchgehend direkt auf den angeschlossenen Laptop übertragen und dort aufgezeichnet.

Bei jeder Schiffspassage wurden folgende Daten im „Messprotokoll beobachtete Schiffe“ aufgenommen:

- Uhrzeit der Passage
- Schiffsname und -typ, Heimatland, Fahrtrichtung
- Entfernung des Schiffes vom Hektometerpunkt am Ufer (mit Laserentfernungsmessung s. Bild 7)
- Schiffslänge und -breite sowie (wenn vermerkt) max. Tiefgang lt. Tafelangaben
- Ablesung der Eichmarke (wenn möglich), sonst nur Beladungszustand voll – leer
- Passagezeit (gestoppt zw. Bug und Heck)
- Fotosequenz (um später fehlende Daten ergänzen zu können)



Bild 7: Porenwasserdruckmessung bei Rh-km 440,900 im Versuchsfeld 3 mit passierendem Bergfahrer und Laserentfernungsmessgerät

Analyse

Alle Angaben und Messwerte wurden plausibilisiert, korrigiert und ergänzt. Die Fotosequenzen z. B. konnten verwendet werden, um fehlende Abmessungen, die tatsächliche Abladung anhand der Eichmarken und andere auf der Schiffstafel erkennbaren Angaben zu finden. Ein nachträglich aus im Internet verfügbaren Schiffsbeschreibungen zusammengestelltes Schiffsdossier diente der gleichen Aufgabe. Aus dem so veränderten Protokoll konnten die Werte in die weitere Auswertung einfließen.

Auch die Rohdaten der aufgezeichneten Werte der Druckdosen wurden plausibilisiert. Während der gesamten ca. 4-stündigen Messzeit gab es keine Ausfälle. Die Werte der parallel und in gleichen Tiefen eingebauten Druckdosen MP1a und MP1b (Bild 6) wurden verglichen, wobei sich nur vernachlässigbare Unterschiede zeigten, was die Richtigkeit der Messungen bestätigt. Weiter war zu erkennen, dass der Wasserstand des Rheins in den 4 Stunden leicht um 5 cm (NN + 87,11 m auf NN + 87,06 m am Messquerschnitt Rh-km 440,900) fiel, was auf Bild 8 zu sehen ist. Dieser Trend wurde bei der weiteren Auswertung berücksichtigt. Deutlich sind auf Bild 8 auch die temporären Wasserstandsveränderungen (Bugstau und Absenk) während einiger Schiffspassagen in der Messzeit zu erkennen.

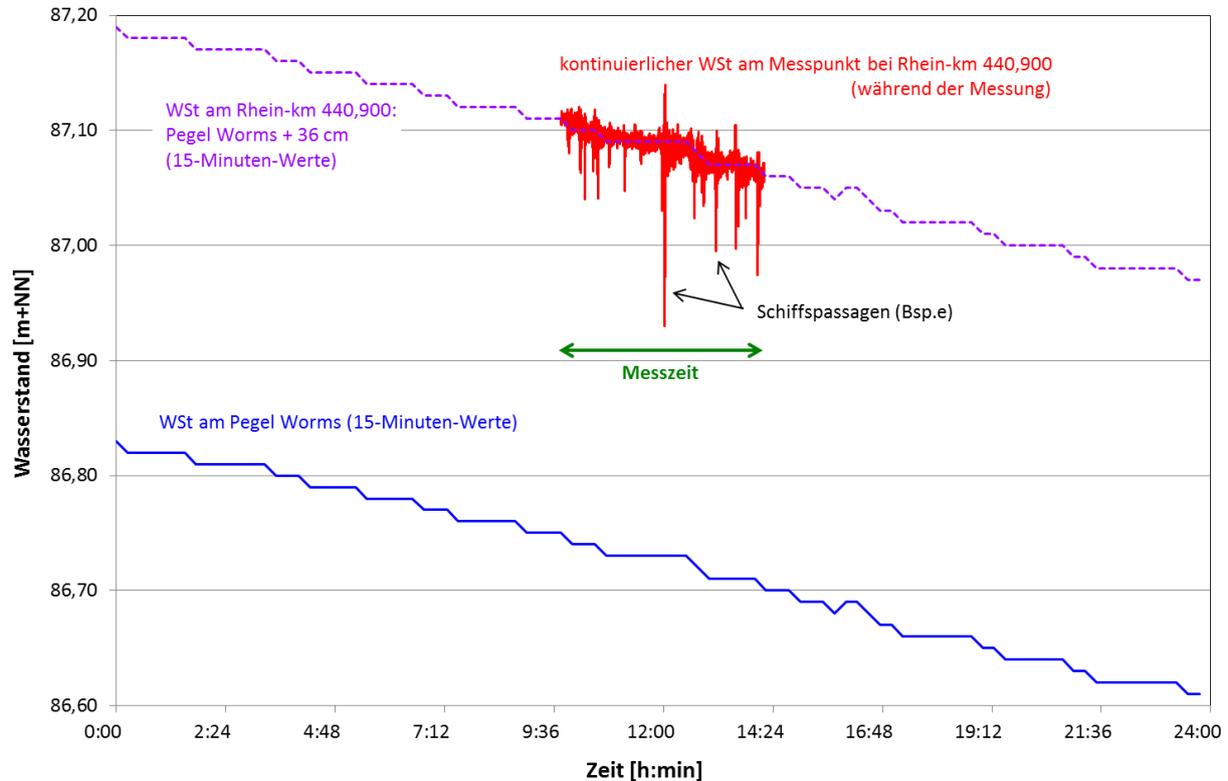


Bild 8: Wasserstandsverläufe am Messpunkt bei Rh-km 440,900 am 19.02.2104

Die Auswertung des Wasserspiegelverlaufs lieferte die Werte für Bugstau, Absunk und Heckwellenhöhe je Schiff (Punkte P1 bis P4); die am tiefsten liegende Druckmessdose ergab den zugehörigen maximalen Porenwasserüberdruck (max PWÜD). Ein Beispiel dafür ist der Schubverband BASCHTEL RUCHHEIM GG 16 auf Bild 9 (a).

Bei einigen Schiffen dagegen waren diese Werte nicht zu ermitteln, weil die Verläufe von Wasserspiegel und Porenwasserüberdrücken nur geringe Veränderungen aufweisen. Das Europaschiff VERONIA ist dafür ein Beispiel (Bild 9 (b)). Die Erklärung dafür ist, dass die Auswirkungen eines passierenden Schiffes nur in einer begrenzten Einflussbreite – abhängig von Schiffslänge und -breite – neben dem Schiff zu messen sind, was im GBB 2010 (BAW, 2011) erläutert wird. Das heißt, Schiffspassagen mit großem Uferabstand, besonders bei kurzen und schmalen Schiffen, bewirken am Ufer weder Absunk noch Porenwasserüberdruck. Das heißt auch, dass nicht jedes vorbeifahrende Schiff am Ufer Auswirkungen hat. Von den 29 beobachteten Schiffen erzeugten dementsprechend nur 14 (ca. 50 %) tatsächlich messbare Porenwasserüberdrücke am Ufer.

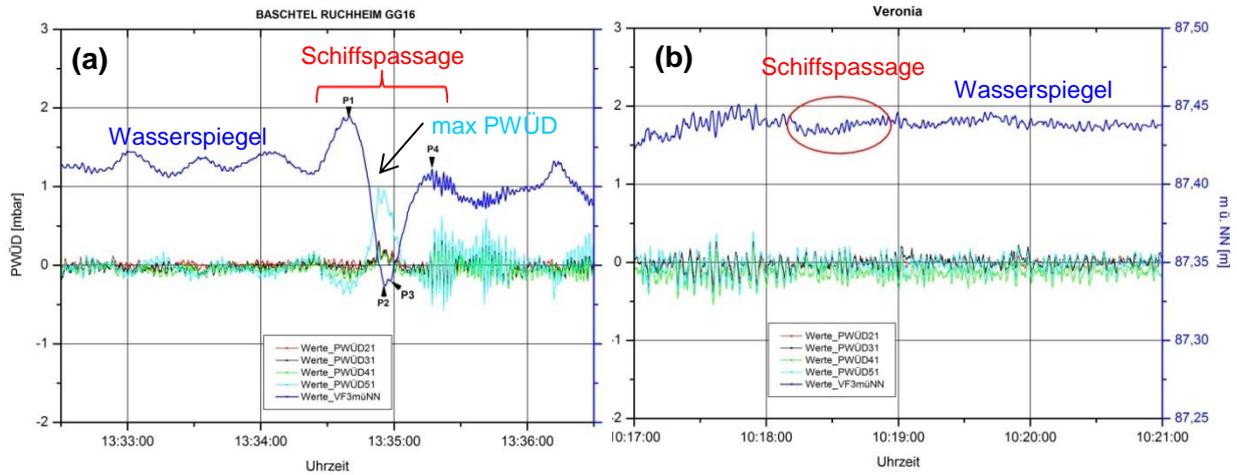


Bild 9: Verläufe von Wasserspiegel und Porenwasserüberdrücken während der Passage der Schiffe **(a)** SV BASCHTEL RUCHHEIM GG 16 und **(b)** ES VERONIA

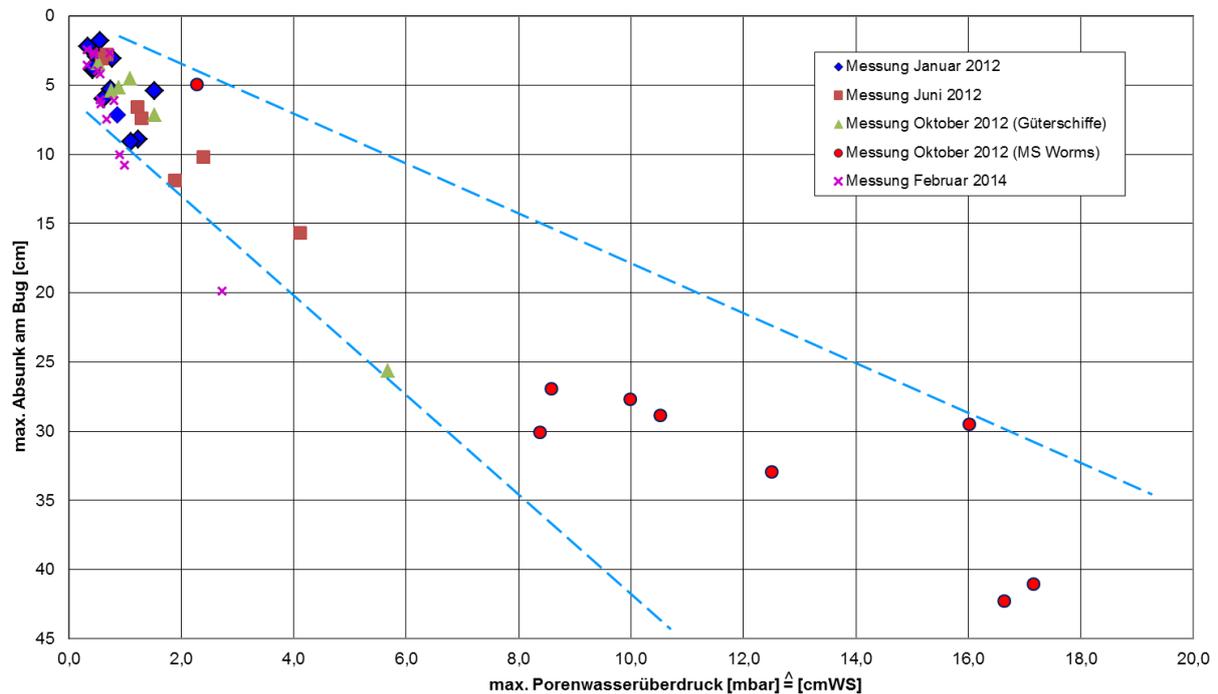


Bild 10: Werte für **max. Absink am Bug** vs. **max. Porenwasserüberdruck** für alle Schiffe (Güterschiffe u. MS Worms) der drei Messkampagnen 2012 und der neuen Messkampagne 2014 (x) im Vergleich

Vergleich der Messungen 2012 und 2014

Die Hauptergebnisse aller vier bisherigen Messkampagnen (3 x 2012, 1 x 2014) können mit der Auftragung der maximalen Absinkwerte am Bug (schneller Wasserspiegelabsink) über

dem maximalen Porenwasserüberdruck (Bild 10) visualisiert werden. Die Größenpaare der verwertbaren 14 Güterschiffe von 2014 passen gut zu den 2012 erfassten Schiffen. Die extremen Werte der Sonderfahrten des WSA Bootes MS Worms vom Oktober 2012 liefern unverändert die maximalen Werte.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Messung des Porenwasserüberdrucks 2014, wie schon die Messungen 2012, dass im Bereich der Weidenspreitlagen (VF 3) Porenwasserüberdrücke im Boden als Reaktion auf den schiffsbedingten Wasserspiegelabsenk auftreten. Eine detaillierte Auswertung hinsichtlich der Auswirkungen auf die Böschungsstandsicherheit unter Berücksichtigung der stabilisierenden Wirkung der Weidenwurzeln erfolgt nach Abschluss aller Messungen 2016.

4. Monitoringergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse für den Untersuchungszeitraum November 2013 bis Oktober 2014 zu den Themen Stabilität der Einzelmaßnahmen und Gewährleistung Uferschutz, Vegetation, Sanierungs-/Unterhaltungsarbeiten und Fauna jeweils für die einzelnen Versuchsfelder dargestellt. In den Versuchsfeldern, in denen technisch-biologische Ufersicherungen die ursprüngliche Steinschüttung ersetzen, liegt der Fokus neben der Ökologie insbesondere auf den Aussagen zur Standsicherheit (Kap. 4.1). Die Versuchsfelder, in denen die Steinschüttung ökologisch aufgewertet wurde, werden insbesondere hinsichtlich erster Ergebnisse zum ökologischen Potenzial der Maßnahmen betrachtet und dargestellt (Kap. 4.2). Für den direkten Vergleich mit der Uferentwicklung ohne Maßnahmen wird für die Vegetation im Monitoring zusätzlich jeweils eine 100 m lange Referenzstrecke mit Schüttsteindeckwerk am unter- und oberstromigen Ende der Versuchsstrecke, für die Fauna eine 300 m lange Referenzstrecke am unterstromigen Ende der Versuchsstrecke untersucht.

Die erforderlichen Pflegearbeiten wie Mahd und Neophytenbekämpfung wurden weiterhin durch das WSA Mannheim durchgeführt und monetär erfasst.

Eine zusammenfassende Übersicht der bisherigen Erkenntnisse für die einzelnen Maßnahmen der Versuchsfelder 1 bis 9 zeigen die in der Anlage zusammengestellten, überarbeiteten und ergänzten Maßnahmenblätter M1-M15 aus dem 2. und 3. Zwischenbericht.

4.1 Neue Uferschutzmaßnahmen nach Rückbau der Steinschüttung (Versuchsfelder 2, 3, 5, 7)

Versuchsfelder 2 und 3: M1 Weidenspreitlagen

Die in den Versuchsfeldern 2 (diagonal) und 3 (quer) eingebauten Weidenspreitlagen haben sich auch im 3. Jahr nach Fertigstellung weiter gut entwickelt (Bilder 11 und 12). Lokale Erosionen von Bodenmaterial unter den Spreitlagen, begrenzt durch die Querriegel, wie sie in der kritischen Anfangszeit nach dem Einbau in den jeweils eingestauten Bereichen stattfanden, konnten mit dem zunehmenden Wurzelwachstum weiter eingedämmt werden. Lokal wurden zunehmende Materialablagerungen wie Sand, Kies und Treibsel auf der Böschung zwischen den hochgewachsenen Weidentrieben beobachtet.

Die Weiden waren im Untersuchungszeitraum im hydraulisch am meisten belasteten unteren Böschungsbereich (von AZW bis etwa AZW + 1m) nach wie vor etwas schlechter entwickelt als in den darüberliegenden Bereichen. In Anpassung an die stark schwankenden Wasserstände haben sich besonders in diesem Bereich sprossbürtige Wurzeln an den Weiden gebildet. Die mittleren Böschungsbereiche von VF 2 und 3 bildeten auch im 3. Monitoringjahr die wuchskräftigsten und vitalsten Bereiche. Die Weiden erreichten hier Triebhöhen von ca. 4 m (Purpur-Weide) bis 6 m (Silber-Weide). Letztere war weiterhin mit Triebdurchmessern

von bis zu 8 cm deutlich als Baumweide von der Purpur-Weide als Strauchweide zu unterscheiden (Bild 12). In den oberen Böschungsbereichen fiel in beiden VF auf, dass die Triebe insgesamt dünner, weniger lang, aber mengenmäßig mehr waren. Gründe hierfür sind in den trockenen Standortbedingungen des oberen Böschungsbereichs zu sehen, auch bedingt durch das niederschlagsarme Jahr (insbesondere niederschlagsarme Frühjahresmonate, Bild 2) und die im Vergleich zu den beiden Vorjahren eher niedrigen Wasserständen (Bild 4). Weiterhin machte sich der Schattendruck der großen Pappel auf der Böschungsplanie in lokal lichterem Stellen des Weidenbewuchses bemerkbar. Hier traten vereinzelt krautige Arten aus dem Bereich der Böschungsplanie auf, die ansonsten in den VF aufgrund der hohen Weidentriebdichte fehlten. In beiden VF bedeckte ein hoher Streuanteil aus abgestorbenen Weidenblättern und dünnen, vertrockneten Trieben, die aufgrund des seltenen Einbaus nicht verdriftet wurden, zu ca. 70% die Böschungsoberfläche.

Die Purpur-Weide dominierte weiterhin mit ca. 60-70%, während die mächtigeren Silber-Weiden den Bestand mit ca. 20-30% durchmischten. Alle Weiden sind derzeit vital (Bild 11). Schmarotzende Arten oder Windengewächse, wie Pappel-Seide oder Acker-Winde, die in den Jahren 2012 und 2013 einige Triebe zum Absterben brachten, konnten in 2014 nicht festgestellt werden, so auch keine neophytischen Arten.

Es wurden Konzepte zu verschiedenen Unterhaltungsstrategien für die mit Weiden gesicherten Versuchsfelder ausgearbeitet. Die Umsetzung erfolgt im Frühjahr 2015, eine Dokumentation und Bewertung der Maßnahmen dementsprechend im nächsten Monitoringbericht.

Insgesamt konnten die Weidenspreitlagen auch 2014 alle hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt, Hochwasser und häufigem Überstau gut aufnehmen und den Uferschutz ausreichend gewährleisten. Eine weitere Beobachtung der Entwicklung insbesondere des unteren Böschungsbereiches ist notwendig und erfolgt im Rahmen des Monitoring.

Aus ökologischer Sicht bieten die Versuchsfelder im Vergleich zur Referenzstrecke durch die gute und flächige Entwicklung der Weidenspreitlagen derzeit einen Bereich mit standorttypischem Weidengehölz. Im Frühjahr stellten die jungen Weidentriebe auf insgesamt 110 m Versuchsfeldlänge eine blühende Bienenweide (Bild 13) für Nektar und Pollen sammelnde Insekten, insbesondere Honig-, Wildbienen und Hummeln, aber auch Fliegen und Schmetterlinge. Die Baumweiden ließen sich im 3. Monitoringjahr gut von den Strauchweiden unterscheiden und erhöhten durch den mächtigeren Wuchs den Strukturreichtum. Weiterhin konnten auch in diesem Monitoringjahr erhöhte Ablagerungen von Totholz und Treibsel zwischen den Trieben und ein hoher Anteil an Streu in den Weidenbeständen festgestellt werden – Parameter, die den Strukturreichtum ebenfalls erhöhen.



Bild 11: Weidenbestand mit vitalen Trieben
(25.5.14)



Bild 12: Silber-Weide deutlich als Baum-
weide im dominierenden Strauch-
bestand zu erkennen (24.9.14)



Bild 13: Blühende Weidentriebe im Frühjahr 2014

Versuchsfeld 5: M2 Röhrichtgabionen, M3 und M4, Steinmatratzen ohne bzw. mit Pflanzmatten

Die auf einem Kornfilter verlegten Röhrichtgabionen im VF 5a konnten sich aufgrund ihres Aufbaus und Eigengewichtes in der kritischen Anfangszeit zunächst gut entwickeln. Nach mehreren Hochwasserphasen mit langen Überstauperioden bei gleichzeitiger Schifffahrtsbelastung und zwischenzeitlichen Trockenperioden traten jedoch bereits 2013 große Bewuchsausfälle auf, die 2014 weiter zunahm. Auch in diesem Jahr wurden die Gabionen der Pflanzzone 1 häufiger als die der etwas höher liegenden Pflanzzone 2 von den höheren Wasserständen, insbesondere in den Winter- und Sommermonaten (Bild 4), überstaut. Daneben waren die Pflanzen 2014 mehreren Trockenperioden im März, April, Anfang Juni und Mitte September ausgesetzt (Bild 3).

Bild 14 zeigt, dass Pflanzzone 1, wie bereits 2013 beschrieben, wechselnde Teilflächen mit Bewuchs und Bewuchsausfall aufweist. Neben vereinzelt Vorkommen der ursprünglich gepflanzten Arten wie Rohr-Glanzgras, Seggen, Ufer-Wolfstrapp und Blut-Weiderich – durchmischt von wenigen spontan eingewanderten krautige Arten – konnten sich lediglich die Seggen mit höheren Deckungsgraden in diesem Bereich halten. Während noch im Frühjahr 2014 eine Gesamtdeckung von 65% (davon Deckung Seggenbewuchs ca. 55%) erreicht werden konnte (Bild 14), nahm diese zum Spätsommer jedoch stark ab, so auch der Seggenbewuchs, der zu diesem Zeitpunkt nur noch eine Deckung von ca. 30% bei 35% Gesamtdeckung erreichte (Bild 15).



Bild 14: Röhrichtgabionenbewuchs im Frühjahr (25.5.14)



Bild 15: Röhrichtgabionenbewuchs („uferparallele Gabionenbahnen“) im Spätsommer (24.9.14) (PZ= Pflanzzone)

Im Gelände wurde der Bewuchsausfall in den einzelnen Gabionenbahnen (Bild 15) mittels der gut abgrenzbaren Umdrahtung in Form einzelner sichtbarer Quadratfelder (Bild 16, im Folgenden „Gabionenquadrate“ genannt) bilanziert. Dabei wurden die bis zum September 2014 „nicht“, „kaum“ und „gut bewachsenen“ Gabionenquadrate (Bild 17) voneinander unterschieden und ausgezählt.



Bild 16: Durch Umdrahtung sichtbare Einzel-Felder („Gabionenquadrate“) innerhalb der Röhrichtgabionenbahnen entsprechend Bild 15

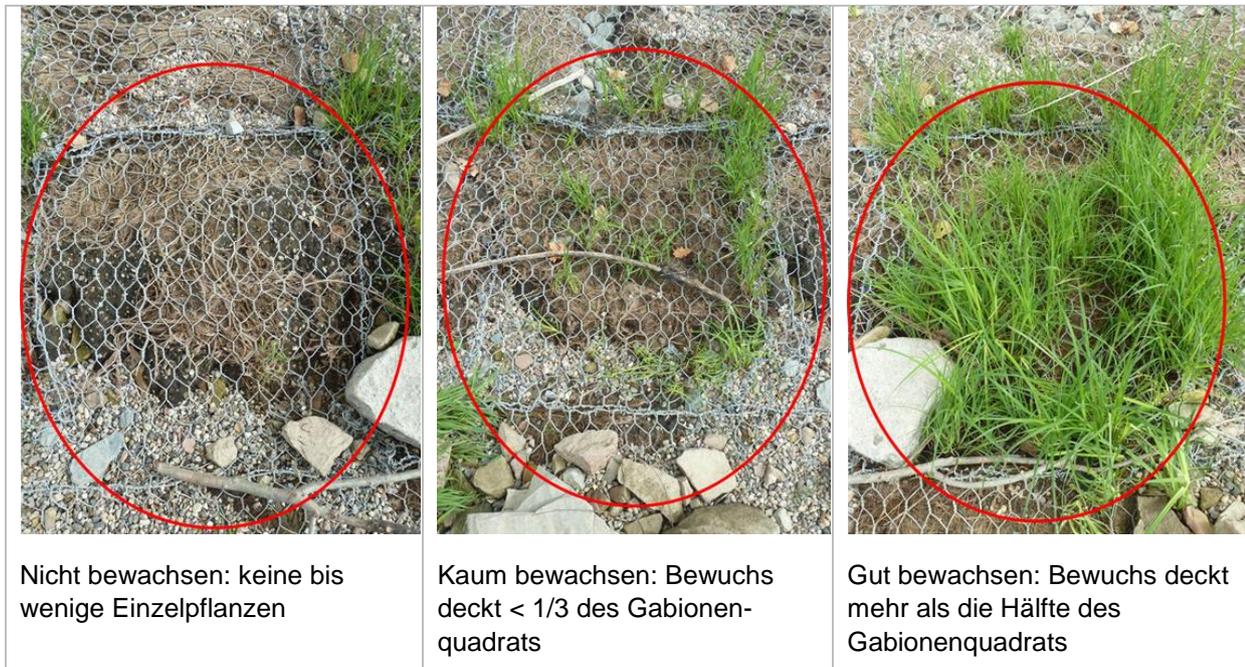


Bild 17: Kategorisierung der Bewuchsbilanzierung innerhalb der Röhrichtgabionenquadrate

Bild 18 zeigt die Bilanzierung des Bewuchsausfalls von Pflanzzone 1. Auch hier ist zu erkennen, dass die „nicht“ bis „kaum bewachsenen“ Gabionenquadrate deutlich überwiegen. Insgesamt nahm weiterhin die Artenzahl von 33 Arten im Frühjahr auf 5 Arten im Spätsommer stark ab.

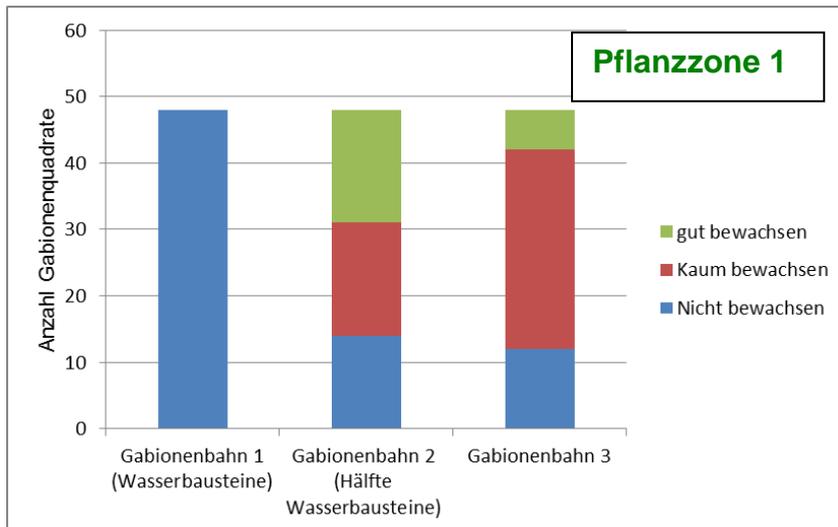


Bild 18: Pflanzlicher Bewuchs der Röhrichtgabionen (Pflanzzone 1) am 25.9.2014

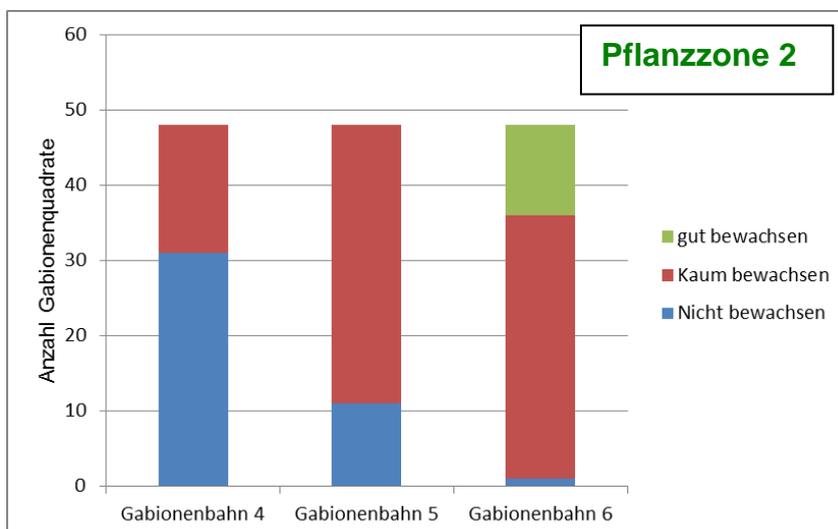


Bild 19: Pflanzlicher Bewuchs der Röhrichtgabionen (Pflanzzone 2) am 25.9.2014

In Pflanzzone 2 konnte festgestellt werden, dass noch im Frühjahr vermehrt Arten aus natürlicher Sukzession auftraten, die zusammen mit den Arten aus der ursprünglichen Bepflanzung eine Gesamtdeckung von 45 % erreichten. Die Arten aus natürlicher Sukzession setzen sich überwiegend aus Stickstoffzeigern und Arten des Grünlandes zusammen und profitierten im Zeitraum von März bis Juni 2014 von den niedrigen Wasserständen (Bild 4), die die Pflanzzone 2 nicht erreichten. Von den Arten aus der ursprünglichen Bepflanzung dominierten nach wie vor Rohr-Schwengel und Rohr-Glanzgras. Diese Arten bildeten im Spät-

sommer fast ausschließlich den Bewuchs, der nur noch eine Gesamtdeckung von ca. 25% erreichte, da die Arten aus natürlicher Sukzession nach der Überflutungsperiode im Zeitraum Juli bis Mitte August eingingen. So nahm auch die anfängliche Artenvielfalt von 46 Arten im Frühjahr auf 25 Arten im Spätsommer ab. Bild 19 zeigt, dass der Anteil „nicht“ und „kaum bewachsener“ Gabionenquadrate deutlich überwiegt. Lediglich die am höchsten gelegene und damit am seltensten eingestaute Gabionenbahn 6 weist noch ca. 12 „gut bewachsene“ Gabionenquadrate auf. In diesem Bereich dominiert Rohr-Schwingel aus der ursprünglichen Bepflanzung. Nur vereinzelt konnten sich weiterhin Rohr-Glanzgras, Seggen und Blut-Weiderich aus der anfänglich artenreichen Bepflanzung halten.

In Auswertung der Bewuchsausfälle konnten erste Erkenntnisse hinsichtlich der Überstauungstoleranz der eingesetzten Pflanzen in Abhängigkeit von der Lage auf der Böschung und damit der Überstauungshäufigkeit und -dauer bei gleichzeitigen Einwirkungen aus Schifffahrt erzielt werden. Unter diesen speziellen Wasserstraßenbedingungen liegen bisher insgesamt erst wenig Erfahrungen vor.

Aufgrund der weiter zugenommenen Ausfälle von Pflanzen waren die Röhrichtgabionen als Uferschutz Ende 2014 in einem unbefriedigenden Zustand. In den Gabionenquadraten mit hohen Bewuchsausfällen wurde das Kokosgewebe im Innenbereich der Gabionen durch die hydraulischen Belastungen zum Teil vollständig zerstört, so dass hier zunehmend mehr innenliegender Boden und Kies ausgespült wurden (Bild 16, rechtes Gabionenquadrat). Dadurch sind diese, ursprünglich „prall“ gefüllten Gabionen nur noch zu etwa 2/3 mit Steinen gefüllt. Die Uferstabilität ist durch das Eigengewicht und den filterstabilen Aufbau der Gabionen zum Untergrund noch gegeben. Es besteht jedoch die Gefahr, dass die jetzt beweglichen Steine innerhalb der unbewachsenen Gabionenquadrate bei Überstau böschungsabwärts rutschen. Dies könnte dazu führen, dass der darunter liegende Kornfilter im oberen Quadratbereich lokal freiliegt und ausgespült werden kann. Eine intensive Beobachtung der Gabionen ist deshalb notwendig. Maßnahmen werden erforderlich, wenn durch Erosion des Filters der Uferschutz lokal nicht mehr ausreichend gegeben ist.

Die im VF 5a und b verlegten Steinmatratzen der oberen Böschungsbereiche unterschieden sich im Bewuchs nicht wesentlich vom Vorjahr. Es lässt sich nach wie vor ein unterer, freigespülter Bereich von einem nahe der Böschungsschulter noch übererdeten Bereich unterscheiden. Auf letzterem erreichen die Arten aus natürlicher Sukzession eine Gesamtdeckung von ca. 75%, auf ersterem von ca. 55%. Im übererdeten Bereich treten weniger Arten auf (Ø 34), von denen einzelne Arten hohe Deckungen erreichen, so z. B. die beiden Stickstoffzeiger Große Klette und Beifuß. Die Artenverteilung im darunterliegenden freigespülten Bereich ist ausgeglichener und vielfältiger (Ø 60 Arten).

Auf den Steinmatratzen haben sich im unteren, häufig eingestauten Bereich des VF 5b, nach Entfernung der ursprünglich befestigten Pflanzmatten im Spätsommer 2013, durch natürliche

Sukzession bis zum Herbst 2014 einzelne Arten (u. a. Brennnessel und Zaunwinde) mit einer geringen Deckung von 5% etablieren können (Bild 20). Das zeigt, dass direkt auf den Steinmatratzen bessere, stabilere Bedingungen für das Pflanzenwachstum gegeben sind als auf den vorher überwiegend punktuell befestigten Pflanzmatten. Diese hoben und senkten sich bei Überstau und gleichzeitigen Wellen- und Strömungsbelastungen und haben dadurch ein Anwachsen verhindert. Die Pflanzenbesiedlung ist im unteren Böschungsbereich der Steinmatratzen bisher deutlich geringer als im oberen Böschungsbereich. Dies lässt sich u. a. dadurch erklären, dass die natürliche Sukzession nach Entfernen der Vegetationsmatten (2013) erst ein Jahr lang wirksam ist (im oberen Böschungsbereich drei Jahre), aber auch die hydraulischen Belastungen deutlich höher sind.

Die Steinmatratzen selbst liegen sehr stabil auf der Böschung und gewährleisten unabhängig vom Bewuchs durch ihr Eigengewicht und den erosions- und filterstabilen Aufbau in sich und zum Untergrund nach wie vor die Uferstandsicherheit. Eine weitere Beobachtung, insbesondere der weiteren natürlichen Sukzession im unteren Böschungsbereich, erfolgt im Rahmen des Monitoring.



Bild 20: Geringfügig bewachsene Steinmatratzen im unteren Bereich von VF 5b nach Entfernung der Pflanzmatten 2013 (27.6.2014)

Aus ökologischer Sicht nahm die anfänglich positive Entwicklung der Röhrichtgabionen vom Berichtszeitraum 2012, die bereits 2013 relativiert wurde, weiterhin ab. Die Bereiche mit Bewuchsausfall vergrößerten sich 2014 weiter, und von der ursprünglichen Artenvielfalt konnten bis zum Herbst nur noch 5 Arten in Pflanzzone 1 und 25 Arten in Pflanzzone 2 erfasst werden. Dabei gelten von den ursprünglich gepflanzten Arten nur noch die Seggen und der Rohr-Schwengel als im Bestand stabil. Diese erwiesen sich bisher als standorttypische Arten, die auch die hohen Wasserstände bei gleichzeitiger Schifffahrtsbelastung weitestgehend tolerieren können. Kurzfristig aufgekommene Arten aus natürlicher Sukzession können dagegen bei ungünstigen Bedingungen schnell wieder ausfallen.

Die Steinmatratzen im oberen Böschungsbereich brachten hingegen eine hohe Artenvielfalt hervor, die sich deutlich von den vegetations- und artenarmen Referenzbereichen abhebt. Es handelt sich jedoch überwiegend um Arten, die nicht überstauungstolerant sind und von den niedrigen Wasserständen im Jahr 2014 profitiert haben. Gehölzindividuen mischten sich vereinzelt unter die krautigen Arten und erhöhen den Struktureichtum. Dieser wird zusätzlich durch den schmalen, sehr vitalen Heckenstreifen an der Böschungsoberkante erhöht.

Neophyten stellten im Untersuchungszeitraum kein Problem dar. Einzelne Individuen von Goldrute, Eschen-Ahorn, Platane und Hybrid-Pappel wurden mit Wurzel entfernt.

Versuchsfeld 7: M5 Pflanzmatten auf Geotextilien, M6 Kokosgewebe über Nassansaat, M7 Röhrichtwalzen

Pflanzmatten auf verschiedenen Filtermatten (Kunststoffgeotextil, Schafwollvliese, Kokosmatten) sollen die Uferstabilität durch einen erosions- und filterstabilen Aufbau und die Verwurzelung mit dem Untergrund, d.h. durch die Erhöhung der Scherfestigkeit des Bodens im Wurzelbereich, gewährleisten. Bereits im ersten Jahr zeigte sich jedoch, dass die Stabilität und Entwicklung der Pflanzmatten im unteren häufig eingestauten und gleichzeitig durch Schifffahrt belasteten Bereich problematisch ist. Bei Überstau wurden durch Auftrieb Pflöcke herausgezogen, zwischen den überwiegend punktuellen Befestigungen hoben und senkten sich die Matten durch Wellen und Strömungen und verhinderten dadurch ein Anwachsen der mit den Matten eingebrachten Pflanzen. Durch wiederholte Hochwasser 2013 nahmen die Schäden weiter zu, so dass der Uferschutz nicht mehr ausreichend zu gewährleisten war. Im August 2013 wurde deshalb eine generelle Sanierung der unteren Böschungsbereiche bis ca. AZW + 1,70 m durchgeführt (BAW, BfG, WSA-MA, 2014). Der Uferschutz ist in diesem Bereich seitdem durch Wasserbausteine gewährleistet.

Bei den Vegetationskartierungen im Mai und Oktober 2014 konnten vereinzelte Arten aus der ursprünglichen Bepflanzung, ergänzt um Arten aus natürlicher Sukzession, zwischen den Wasserbausteinen erfasst werden. Die Artenzahl betrug durchschnittlich ca. 18 Arten bei einer geringen Gesamtdeckung des pflanzlichen Bewuchses von ca. 5% für den gesamten sanierten Bereich des Versuchsfeldes 7 (VF 7a1, a2, b und c). Dabei konnten mehr Arten aus der ursprünglichen Bepflanzung im Bereich „Pflanzmatten auf Kunststoffgeotextil“ (VF 7b) als im Bereich „Pflanzmatten auf Schafwollvlies“ (VF 7c) ermittelt werden, was damit zusammenhängt, dass das Kunststoffgeotextil wesentlich stabiler war und ist als das Schafwollvlies. Letzteres löste sich unter den gegebenen Bedingungen sehr schnell auf und beschleunigte damit die Schäden an den Pflanzmatten und den Verlust an Pflanzen.

Die oberen, weniger eingestauten Böschungsbereiche von VF 7 entwickelten sich im Jahr 2014 hingegen sehr positiv weiter (Bild 21). Sie unterlagen im Monitoringjahr nur zwei vergleichsweise kurzen Überstauungsperioden, wovon eine im Winter 2013 und eine in den Sommermonaten Juli und August 2014 lag (Bild 4). Vor allem in den Frühjahresmonaten

konnten sich die Pflanzen ungestört entwickeln und auch die Trockenperioden in den Monaten März, April, Juni und September (Bild 3) wurden von den Pflanzen gut überstanden.



Bild 21: VF 7a1/a2 Ende Mai 2014

Im oberen Bereich der VF 7a1 und 7a2 (Kokosmatte über Nassansaat) konnte über den Untersuchungszeitraum eine Gesamtdeckung pflanzlichen Bewuchses von durchschnittlich 85% erreicht werden, so dass dieser Bereich überwiegend vollflächig und dicht bewachsen war. Hervorzuheben ist dabei die hohe Artenvielfalt, die sich mit durchschnittlich 88 Arten einstellte. Es dominieren derzeit standorttypische Arten, die aus den unterschiedlichen Ansaaten hervorgingen (Quecke, Weidelgras, Wiesen-Knäuelgras, Honiggras), neben Arten, die aus der Bepflanzung der unteren Böschungsbereiche stammen (Rohr-Schwingel, Rohr-Glanzgras, Straußgras) und in die höheren Bereiche einwandern konnten. Neben weiteren standorttypischen Kräutern und Gräsern des Grünlandes treten derzeit vereinzelt Stickstoff liebende Arten (z. B. Beifuß, Acker-Kratzdistel, Einjähriger Feinstrahl und Brennnessel), aber auch Feuchtezeiger (z. B. Schwarzfrüchtiger Zweizahn, Behaarte Segge, Wiesen-Alant und Krauser Ampfer) in den etwas tiefer gelegenen Böschungsbereichen neben Arten trocken-warmer Standorte (z. B. Ruchgras, Flocken-, Wiesen-Witwenblume und Kleiner Wiesenknopf) in den höher gelegenen Böschungsbereichen auf.

2012 waren Sanierungsmaßnahmen (Einbau von Rasensoden und Querriegeln, zusätzliche Nassansaat) erforderlich geworden, da aufgrund der nur punktuellen Befestigungen der Kokosmatten und der fehlenden Filterstabilität zum Untergrund bei Überstau und hydraulischer Belastung infolge Schifffahrt Materialumlagerungen und damit Böschungsverformungen in größerem Umfang aufgetreten waren. Aufgrund der nach den Sanierungsmaßnahmen positiven Bewuchsentwicklung im Versuchsfeld 7a konnte sich der obere Böschungsbereich 2014 insgesamt weiter gut stabilisieren. Allerdings gibt es nach wie vor sechs lokal begrenzte Schadstellen, vorwiegend im unteren Teil des oberen Böschungsbereiches, d.h. in dem

hier am häufigsten eingestauten Bereich. Es handelt sich um lokale Vertiefungen infolge weiteren Materialaustrags, die ohne Bewuchs sind und zum Teil noch von Kokosgeweberesten überspannt werden (Bild 22). Die meisten und größten Schadstellen befinden sich am oberstromigen Beginn des VF 7a zwischen km 441,205 und km 441,225. Die Schadstellen wurden im September 2014 vom Abz. Worms eingemessen. Danach betragen die größten Abmessungen etwa 3,60 m x 3,20 m x 0,40 m (Bild 22). Bisher ist keine akute Gefährdung der Uferstandsicherheit gegeben. Da jedoch von einer Zunahme der Schäden beim nächsten Hochwasser auszugehen ist, werden die Schadstellen zunächst intensiv beobachtet. 2015 wird über eine Sanierung entschieden.



Bild 22: Größte Schadstelle im VF 7a1 (22.09.2014)

Die im oberen Bereich in den VF 7b und c auf Kokosmatten eingebauten Pflanzmatten erreichten vom Bewuchs eine durchschnittliche Gesamtdeckung von 75%, wobei die Pflanzmatten vom Typ „orange“ (beauftragte Artenkombination) eine höhere Deckung bei jedoch geringerer Artenzahl erreichten als die Pflanzmatten vom Typ „rot“ (Artenkombination nach Standardprogramm der beauftragten Firma). Eine hohe Artmächtigkeit erreichten, wie im Vorjahr, die gepflanzten Arten Rohr-Schwingel, Rohr-Glanzgras und Segge. Rohr-Schwingel dominiert derzeit in beiden Teil-VF (7 b und c) mit Deckungen bis 50%. Weiterhin treten auch hier derzeit Grünlandarten, aus den Nachsaaten stammend, neben spontan eingewanderten Arten auf. Die Artenzahl der Pflanzmatten bleibt mit durchschnittlich 48 Arten (Pflanzmatten vom Typ „rot“) und 28 Arten (Pflanzmatten vom Typ „orange“) jedoch deutlich hinter der durch die Ansaaten in VF 7a1/a2 im oberen Bereich erreichten Artenvielfalt zurück (Bild 25).

Die gut entwickelten Pflanzmatten im VF 7b und 7c sind derzeit in einem stabilen Zustand und stellen in Verbindung mit der Steinschüttung im unteren Böschungsbereich einen guten Uferschutz dar. Hier gibt es nur eine einzige kleine Schadstelle ähnlich den im VF 7a beschriebenen, die ebenfalls weiter beobachtet wird.



Bild 23: VF 7b Ende Mai 2014



Bild 24 VF 7c Ende Mai 2014

Hinsichtlich der Gewährleistung der Uferstandsicherheit und Erosionsstabilität im VF 7 bestätigen die Ergebnisse 2014 das bereits im letzten Zwischenbericht formulierte Urteil: Pflanzmatten auf Geotextilfilter mit punktuellen und linienförmigen Befestigungen sind an Wasserstraßen mit großen Wasserspiegelschwankungen und gleichzeitiger Belastung infolge Schifffahrt (in der Größenordnung wie hier am Rhein) nur in den oberen, seltener eingestauten Böschungsbereichen anwendbar. In den unteren, auch während der kritischen Anfangszeit häufig und lang eingestauten Bereichen der Uferböschung sind sie nicht geeignet. Schafwollvliese, wie sie hier verwendet wurden, sind ebenfalls nicht für Anwendungen in diesen Bereichen geeignet, da sie sich unter diesen Bedingungen zu schnell zersetzen.

Eine pflanzenökologische Bewertung der ursprünglich in den unteren Böschungsbereichen auf verschiedenen Geotextilien eingebauten Pflanzmatten kann aufgrund der Sanierung im August 2013 nur noch sehr eingeschränkt durchgeführt werden. Während 2012 (vor der Sanierung) in den Pflanzmatten noch eine durchschnittliche Artenzahl von 54 in diesen Bereichen erreicht werden konnte, nahm die Artenzahl nach Einbau der Steinschüttung auf den Pflanzmatten bis zum Jahr 2014 stetig ab (Bild 25). Dennoch wurden dort im Jahr 2014 höhere Artenzahlen als in den unteren Böschungsbereichen der Referenzstrecken ermittelt, was positiv zu werten ist. Dies hängt damit zusammen, dass die Pflanzen der überschütteten, lokal noch im Untergrund vorhandenen Pflanzmatten durch das Lückensystem der Steinschüttung durchdringen konnten. Im Gegensatz zur vorher überwiegend punktuellen Befestigung der Pflanzmatten wird durch die Steinschüttung eher ein flächiger Bodenkontakt erreicht, der den Pflanzen ein besseres Anwachsen ermöglichen kann. Inwieweit es die Pflanzen schaffen, im Lückensystem der dünnen Steinschüttung zu wachsen, wird die weitere Beobachtung zeigen. Eine weitere Ausbreitung, insbesondere der standorttypischen Arten, ist nicht auszuschließen.

Sehr positiv haben sich die Artenzahlen im oberen Bereich der VF-Abschnitte 7a1 und a2 (Kokosmatte über Ansaat), auch im Vergleich zu den Vorjahren, entwickelt. Während in den oberen Bereichen der beiden Referenzstrecken im Jahr 2014 durchschnittlich 11,5 Arten

ermittelt wurden, konnten in den genannten Bereichen durchschnittlich 88 Arten erfasst werden, die dort derzeit, mit Ausnahme der genannten lokalen Schadstellen, zudem eine hohe Gesamtdeckung erreichen.

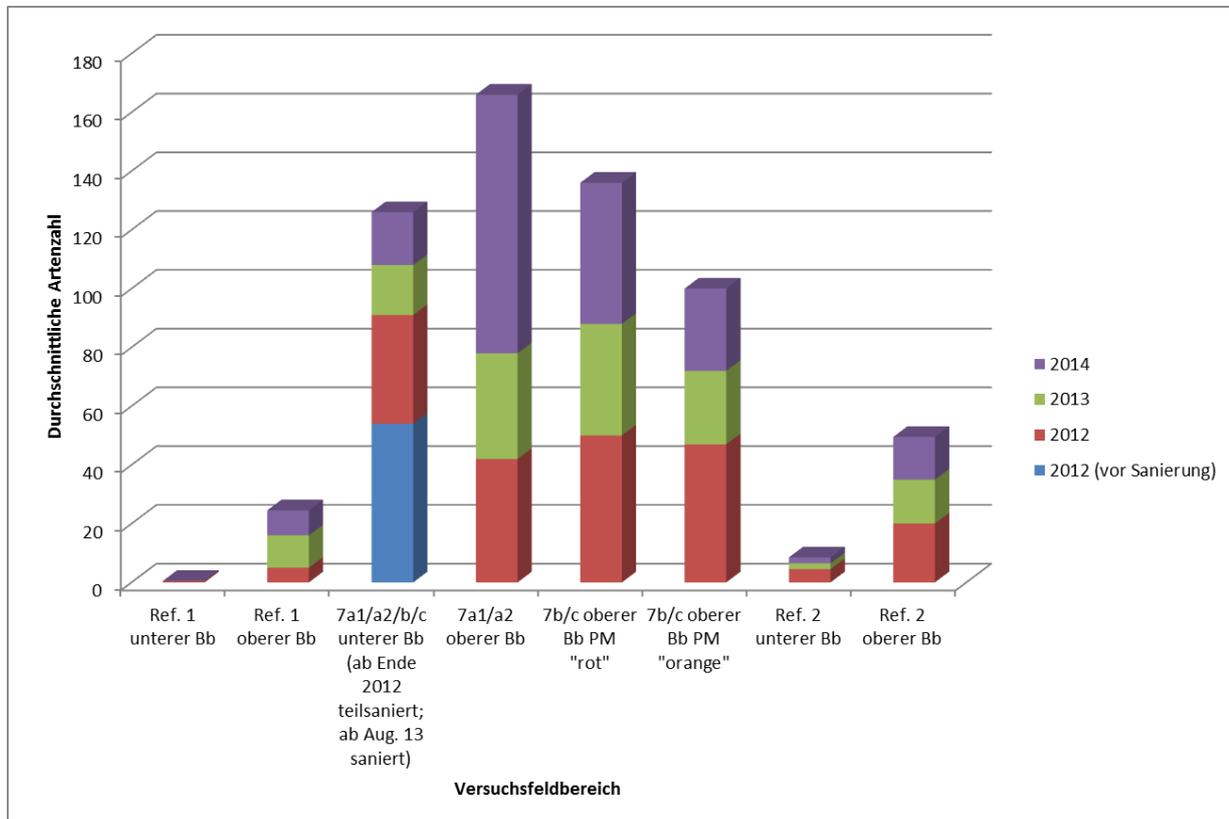


Bild 25: Vergleich der unterschiedlichen Böschungsbereiche von VF 7 mit denen der beiden Referenzflächen hinsichtlich der Entwicklung der Artenvielfalt über die Jahre (Ref. 1 bzw. 2= Referenz Oberstrom bzw. Unterstrom; Bb= Böschungsbereich; PM= Pflanzmatte)

Auch die Entwicklung der oberen Böschungsbereiche von VF 7b und 7c (Pflanzmatten) ist hinsichtlich der Artenzahlen im Vergleich zu den beiden Referenzstrecken positiv zu bewerten (Bild 25). Die Artenvielfalt, die sich sowohl aus den ursprünglich vorkultivierten Arten, als auch aus sukzessive aufgekommenen Arten zusammensetzt, weist eine Mischung aus Grünlandarten, Stickstoff liebenden Arten, Arten kurzlebiger Unkrautfluren, Feuchtezeigern – insbesondere in den unteren Böschungsbereichen vorkommend – und Trockniszeigern – insbesondere in den oberen Böschungsbereichen vorkommend – auf. Die Verteilung der Arten lässt bereits jetzt die fortgeschrittene Entwicklung des VF erkennen, indem sich die Artverteilung mehr und mehr den natürlichen Standortansprüchen der Arten angleicht. Die Artenvielfalt, die hohe Gesamtdeckung pflanzlichen Bewuchses und die Verteilung der Arten auf der Fläche stellen ein erhöhtes Angebot an Nahrung und Strukturvielfalt auf einer Böschungslänge von ca. 175 m Länge dar. Das VF leistet somit einen Beitrag zur ökologischen Aufwertung im Vergleich zur rein konventionellen und wenig bewachsenen Steinschüttung der beiden Referenzflächen.

4.2 Ohne Uferschutzmaßnahmen nach Rückbau der Steinschüttung (Versuchsfeld 9)

Versuchsfeld 9: M15 kein Uferschutz oberhalb AZW, Weidensetzstangen auf Böschungskrone

Das Versuchsfeld 9 blieb nach Rückbau der Steinschüttung ohne Böschungsschutzmaßnahmen. Die 2012 und 2013 aufgetretenen Hochwasserereignisse mit Wasserständen, auch bis über das angrenzende Gelände, haben bei gleichzeitiger Schifffahrtsbelastung zu einer ständig zunehmenden Erosion im gesamten Böschungsbereich geführt. Feinere Bestandteile in Sand- und zum Teil Kies Korngröße wurden besonders in den häufig und lange eingestauten Bereichen erodiert, so dass im Erscheinungsbild die aus dem Untergrund freigespülten Steine überwiegen. Da 2014 eher ausgeglichene Wasserstände um Mittelwasser herrschten und nur zwei Hochwasserereignisse mit maximalen Wasserständen bis ca. AZW+2,50 (im VF 9 bis etwa 1 m unter Geländeoberkante) im Juli 2014 stattfanden (Bild 4), ist im Vergleich zu den Vorjahren weniger Erosion und auch überwiegend nur in den unteren Böschungsbereichen aufgetreten. Die Vegetation konnte sich in den oberen Bereichen unbeeinflusst von Hochwasser gut weiterentwickeln (Bilder 26 und 27).



Bild 26: VF 9 am 03.07.2014 (vor Hochwasserereignis)



Bild 27: VF 9 am 22.09.2014 (nach Hochwasserereignis)

Die Gesamtdeckung pflanzlichen Bewuchses hat im oberen Böschungsbereich im Vergleich zum Vorjahr um ca. 5-10% zugenommen und beträgt derzeit 40-50%. Unter den Arten dominieren, wie im letzten Jahr, Kratzbeere, Ackerwinde, Beifuß, Blutroter Hartriegel und Knautgras. Die Entwicklung des Hartriegels als standorttypisches Gehölz der Hartholzaue ist besonders im oberen Bereich der Böschung am Übergang zur Planie, wo sich die Art seit 2012 stetig ausbreitet, zu begrüßen. Positiv zu werten ist weiterhin die hohe Anzahl an aufgefundenen Weidenkeimlingen im unterstromigen Auskolkungsbereich des VF (Bild 28).



Bild 28: Weidenkeimlinge (22.9.2014)

Der untere Böschungsbereich weist nach wie vor nur wenige Arten mit einer geringen Gesamtdeckung von ca. 5 % auf (Bild 26 und 27).



Bild 29: Weidenschaumzikaden (*Aphrophora salicina*) an jungen Blättern der Setzstangentriebe (25.5.2014)



Bild 30: Dreijährige Triebe der Weidensetzstangen

Die zum Schutz des Betriebsweges gepflanzten, vitalen Weidensetzstangen auf der Böschungsplanie erreichten im Untersuchungszeitraum Triebhöhen zwischen 1,80 m und 3 m bei einem durchschnittlichen Triebdurchmesser von ca. 5 cm (Bild 30). Die anfängliche Konkurrenz durch Krautvegetation ist nicht mehr gegeben. 2014 konnte weiterhin keine Beeinträchtigung der Weiden durch Windengewächse oder Schmarotzer festgestellt werden. Auffällig war jedoch der hohe Schaumzikadenbefall an den jungen Blättern im Frühjahr 2014 (Bild 29), von dem bis zum Herbst jedoch keine Vitalitätseinbußen an den Weiden ausgingen. Nach den in 2013 aufgetretenen Erosionen im Bereich der Böschungsoberkante, wurde zunächst eine instabil gewordene Setzstange ersetzt. Zwei weitere freigespülte Setzstangen im oberstromigen und vier Setzstangen im unterstromigen VF-Bereich galten weiterhin als

stabil und vital. Da sich jedoch die Abbruchkante bereits seit 2013 nah am Kilometerschild befindet und auch am unterstromigen Versuchsfeldende vor der Ausfachungsbuhne die Erosion ins Hinterland reicht, wurde mit Blick auf künftige Erosionsereignisse landseitig eine dritte Setzstangenreihe neben dem Betriebsweg gepflanzt.

Aus ökologischer Sicht haben die Aussagen aus dem letzten Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA, 2014) weiterhin Bestand. 2014 kam es im VF zu einer erneuten Um- und Neuverteilung der Korngrößenklassen, zur Ausbildung von Erosionskanten und kleineren Uferabbrüchen - überwiegend im unteren Böschungsbereich -, was zu einer ständigen Verjüngung (Absterben/Neubesiedlung) von Pflanzengemeinschaften führt. Auf kleinem Raum befinden sich sandige neben kiesigen und bewachsene neben unbewachsenen Flächen, womit die Vielfalt an Teillebensräumen – auch durch vom Hochwasser eingetragenes Geschwemmsel – erhöht wird. Am Übergang zur Böschungsplanie konnte sich im unterstromigen Bereich des VF zudem ein dichtes Hartriegelgebüsch entwickeln, das sich auch im Untersuchungsjahr weiter ausgedehnt hat. Das Gehölz bildet zusammen mit den Weidensetzstangen Versteck- und Brutraum. Positiv hervorzuheben ist weiterhin die natürlich stattgefundene Weidenverjüngung im Bereich der unterstromigen Auskolkung des VF. Schaffen es die Weiden dort über das empfindliche Jungstadium bei den nächsten höheren Wasserständen und Einstauperioden hinaus, könnte sich dort ebenfalls ein dichter Gehölzstreifen entwickeln, der den bisherigen Versteck- und Brutraum erweitert.

Generell zeigen die Veränderungen in diesem Versuchsfeld, dass im Bereich der Versuchsstrecke Ufersicherungsmaßnahmen erforderlich sind, wenn keine Erosion des Ufers zugelassen werden kann. Hier erfolgt eine weitere Beobachtung, wie sich das Ufer ungesichert langfristig ausbilden wird. Durch die im Untergrund vorhandenen, zunehmend freigespülten alten kleineren Wasserbausteine ist jedoch wieder eine Art Ufersicherung entstanden, was bei den Auswertungen im Gegensatz zu einem sandigen oder kiesigen Ufer zu berücksichtigen sein wird.

4.3 Ökologische Aufwertungsmaßnahmen in der bestehenden Steinschüttung (Versuchsfelder 1, 4, 6, 8)

Versuchsfeld 1: M8 Anlage senkrecht zum Ufer verlaufender Pflanzgräben, M9 Einbringen von Setzstangen, M12 Anlage eines Steinwalls parallel zur Uferlinie, M13 Einbau von Totholzstrukturen

Im Versuchsfeld 1 erfüllt die Steinschüttung weiterhin die Uferschutzfunktion. Die Pflanzungen dienen der ökologischen Aufwertung, haben jedoch selbst keine Uferschutzfunktion.

Auch in 2014 haben sich die in Gräben eingebrachten standorttypischen Gehölze (Weidensetzstangen, Faschinen, Hecken- und Buschlagen) kräftig und vital weiterentwickelt (Bild 31). Bis zum Herbst erreichten die dicksten Triebe der Weidensetzstangen und -faschinen

Durchmesser von bis zu 9 cm und Triebblängen bis 4 m. Bei den Weidensetzstangen vom Typ „kurz“, die insgesamt nur 60 cm oberhalb der Steinschüttung herausragen (BAW, BfG, WSA-MA, 2012; BAW, BfG, WSA-MA, 2013), konnte im Vergleich zu den Setzstangen vom Typ „lang“ eine Zonierung in Abhängigkeit des Wasserstandes beobachtet werden. So konnten im Bereich des mittleren Wasserstandes mehr, jedoch dünnere und buschiger ausgeprägte Triebe an den Setzstangen als in der Zone darüber erfasst werden. Die Weidenfaschinen zeigen einen insgesamt dichteren und buschigeren Wuchs als die Setzstangen. Bei den Heckenlagen erzielten Trauben-Kirsche und Gewöhnlicher Schneeball, gefolgt von Feld-Ahorn und Esche die höchste Artmächtigkeit. Von den ursprünglich gepflanzten Arten Hasel, Weißdorn, Hartriegel und Pfaffenhütchen konnten nur noch einzelne Individuen nachgewiesen werden. Insgesamt unterliegen die Heckenlagen einer starken Konkurrenz durch krautigen Bewuchs, der von der Böschungsplanie in die Böschung vordringt.

Die dicht bewachsenen Gräben wechseln sich auf der VF-Länge mit den wenig bewachsenen Steinschüttungsbereichen zwischen den Gräben ab. Dort wurde im Untersuchungsjahr überwiegend Kratzbeergestrüpp kartiert, vereinzelt traten Stickstoff liebende Arten (Brennnessel, Kletten-Labkraut, Beifuß, Große Klette, u. a.) und insbesondere in den oberen Böschungsbereichen, wo der Bewuchs insgesamt dichter ist, Arten des Grünlandes (Quecke, Glatthafer, Weidel- und Knaulgras) auf. Eine lenkende Mahd des krautigen Bewuchses im Bereich der Heckenlagen ist nicht vorgesehen. Die Entwicklung der Heckenlagen wird weiter beobachtet.

Die bereits im 2. Untersuchungsjahr festgestellte positive Wirkung des dem Ufer vorgelagerten Steinwalls (OK: AZW + 0,5 m) konnte auch im 3. Untersuchungsjahr bestätigt werden. Im wellenschlaggeschützten Bereich konnten 2014 standorttypische Uferpflanzen, wie Rohr-Glanzgras, Blutweiderich, Schwanenblume, Seggen, Schwarzfrüchtiger Zweizahn, Ampfer-Knöterich und Ufer-Wolfstrapp erfasst werden, die auf der dünnen Schlammablagerung der Wasserbausteine siedelten (Bild 32).



Bild 31: Blick auf die vor Wellenschlag geschützte Uferzone mit Weidensetzstangen (27.6.14)



Bild 32: Ansiedlung erster Röhrichtarten im Wellenschutz des Steinwalls (22.9.14)

Die Entwicklung des VF verläuft bisher insgesamt sowohl hinsichtlich des Wuchsverhaltens der eingebrachten Gehölze als auch des Beitrags der Pflanzen aus natürlicher Sukzession sehr positiv. Das VF bietet über eine Länge von 200 m wertvolle standorttypische Gehölzstrukturen der Weich- und Hartholzaue, die z. B. in der oberstromig direkt anschließenden Referenzstrecke mit Wasserbausteinen gänzlich fehlen. Ergänzt werden die Gehölzstrukturen durch einzelne Uferpflanzen – erste Initiale einer Röhrichtzone – im landseitigen Bereich hinter dem Steinwall. Bei den Begehungen fiel die vergleichsweise hohe Tieraktivität im VF auf (Bilder 33 - 36).



Bild 33: Mandarinentenpärchen und Erpel (*Aix galericulata*) auf Steinwall (25.5.14)



Bild 34: Kormorankolonie im Bereich von VF 1 (22.9.14) – siehe Kap. 5



Bild 35: Prachtlibellenaktivität (*Calopteryx virgo*) an Wurzelteller (27.6.14)



Bild 36: Weidenblattwespenfraß (*Pteronus salicis*) an Silber-Weide (24.9.14)

Von dem wellenschlaggeschützten Bereich profitieren bei entsprechenden Wasserständen insbesondere die Jungfische. Die Wurzelteller, die als Strukturelement eingebracht wurden, können ihnen zusätzlich eine Versteckmöglichkeit bieten. Bei den Befischungen, die per Boot zwischen dem zum Untersuchungszeitpunkt überstauten Steinwall und Ufer durchgeführt wurden, konnten besonders im Oktober 2014 im Vergleich zu früheren Befischungen deutlich mehr Fische pro Punkt erfasst werden. Auch war die Dominanz der Schwarzmundgrundel rückläufig. Weitere Befischungen in den kommenden Jahren werden zeigen, inwieweit die Entwicklung der Pflanzen hier zukünftig weitere Strukturen für die heimische Fischfauna stellen kann (siehe Kap. 5).

Versuchsfeld 4 M13 Einbau von Totholzstrukturen, M14 Aufbringen von kiesigem Substrat/Grobstein-Gruppen

Im VF 4 erfüllt die Steinschüttung weiterhin die Uferschutzfunktion. Die eingebrachten Strukturen dienen der ökologischen Aufwertung, haben selbst jedoch keine direkte Uferschutzfunktion. Aufgrund der 2014 überwiegend niedrigen Wasserstände sind keine nennenswerten Veränderungen im Versuchsfeld aufgetreten.

Wie auch im Jahr zuvor konnten im unteren und mittleren Böschungsbereich nur wenige Arten mit einer geringen Gesamtdeckung von < 5% erfasst werden. Diese Böschungsbereiche unterscheiden sich hinsichtlich der pflanzlichen Besiedlung somit kaum von den beiden Referenzstrecken, obwohl sie nach wie vor mehr Substratvielfalt bieten. Im September 2014 wurde der Kiesanteil noch auf 20% geschätzt, während kaum noch Sand (ca. 2%) im häufiger eingestauten unteren und mittleren Bereich vorzufinden war. Die Wasserbausteine und großen Steinblöcke dominieren den genannten VF-Bereich. Dennoch konnte auch 2014 festgestellt werden, dass sich die erodierten feineren Kornfraktionen des Sand-Kies-Gemisches weiterhin zwischen den Totholzfächinen ablagerten und dort einen flach auslaufenden Wasserbereich bilden (vgl. Bild 37). Dieser bietet zusammen mit den Totholzfächinen Uferstrukturen und somit kleinräumige Habitate, die in den Referenzstrecken fehlen.



Bild 37: Sand-/Kiesablagerung im Bereich der Totholzfächinen (27.6.14)

Im oberen, weniger eingestauten Böschungsbereich konnten, im Vergleich zu den unteren Böschungsbereichen und zur Referenzstrecke, mehr Arten bei einer Gesamtdeckung von 20 bis 30% erfasst werden, die insbesondere in den sandig-kiesigen Bereichen siedelten. Es handelte sich nach wie vor um überwiegend ruderale und Stickstoff liebende Arten – Arten, die nicht an Wasserstandsschwankungen angepasst sind und in diesem Jahr von den vergleichsweise trockenen Bedingungen (Klima und Wasserstand) profitieren konnten. Kratzbeere und Kanadisches Berufkraut (*Erigeron canadensis*) dominierten (vgl. Bild 38). Vereinzelt trat der neophytische Eschen-Ahorn (*Acer negundo*) auf, dessen Individuen mit Wurzel entfernt wurden. Der Kiesanteil im oberen Böschungsbereich wurde im September auf 20%

und der Feinsandanteil auf 10% geschätzt. Das Versuchsfeld wurde nach wie vor „freizeitmäßig“ genutzt. Darauf weisen mehrere Grill- und Feuerstellen hin.



Bild 38: oberer Böschungsbereich, mit Kratzbeere und Kanadischem Berufkraut bewachsen (22.9.14)

Versuchsfeld 6 M10 Einbringen von Oberboden-Alginat und Ansaat durch Anspritzverfahren, M11 Einpflanzung von Röhrichtbulen in die Steinschüttung

Im VF 6 erfüllt die Steinschüttung weiterhin die Uferschutzfunktion. Alginat und Nassansaat dienen der ökologischen Aufwertung.

Bereits in den Monitoringperioden 2012 und 2013 konnten nur noch Reste des durch die Wasserstandsschwankungen und Hochwässer erodierten Oberboden-Alginatgemischs und eingebrachten Kiesel im Lückensystem der Steinschüttung nachgewiesen werden (BAW, BfG, WSA-MA, 2014; BfG, 2014a). 2014 konnten im unteren und mittleren Böschungsbereich weder Alginat noch Bewuchs vorgefunden werden, weshalb sich diese Bereiche nicht mehr von den Referenzstrecken unterscheiden (Bild 39). Die spärliche Grasnarbe, die sich 2012 und 2013 aufgrund des selteneren Einstaus im oberen Böschungsbereich auf den Alginatresten ausbilden konnte, erreichte im Untersuchungszeitraum 2014, wie im Vorjahr, eine Gesamtdeckung von ca. 15%. Die Pflanzendecke setzte sich nach wie vor überwiegend aus Grünlandarten wie Weidelgras, Knäuelgras, Glatthafer (aus der ursprünglichen Nassansaat stammend), aber auch Rohr-Schwengel und Kratzbeere und vereinzelten Kräutern zusammen (Bild 40). Aus pflanzenökologischer Sicht stellt der verbliebene Böschungsbereich mit standorttypischer Gräser-/Kräuternarbe einen im Vergleich zur Referenzstrecke kleinräumig aufgewerteten Bereich dar.



Bild 39: Maßnahmenbereich unterscheidet sich nur noch geringfügig von Referenzstrecke (25.5.14)



Bild 40: Reste der Grasnarbe und Kratzbeergestrüpp im oberen Böschungsbereich (22.9.14)

Versuchsfeld 8 M12 Anlage eines Steinwalls parallel zur Uferlinie

In diesem Versuchsfeld wird die Uferschutzfunktion durch die verbliebene Steinschüttung bzw. das alte Pflaster gewährleistet. Der am Fuße des Pflasters erhöhte Steinwall soll eine verstärkte Röhrichtentwicklung initiieren.



Bild 41: Röhrichtzone hinter Steinwall (25.5.14)



Bild 42: hochwüchsige und vitale Seggen- und Rohr-Glanzgrasbulle hinter Steinwall (8.6.14)

Für das VF 8 haben die Aussagen zur Vegetation aus den bisherigen Monitoringperioden (BAW, BfG, WSA-MA, 2014; BfG, 2014a) weiterhin Bestand. Die arten- und blütenreiche Röhrichtzone mit Hochstauden feuchter Standorte und Arten kurzlebiger Schlamm Boden-Pionierfluren, die sich im Schutz des Steinwalls in den letzten drei Jahren weiter ausdehnen konnte, erreichte auch im Jahr 2014 eine Gesamtdeckung von 40-50% im flachen Bermenbereich (Bild 41). Der Bewuchs siedelte überwiegend in den Schlammablagerungsbereichen, die in einigem Abstand zu den Kopfweiden mit einer Schicht von ca. 4 cm wichtiges Nährsubstrat für die Pflanzen stellen. Im Bereich der Kopfweiden kommt es bei Hochwas-

serabfluss vermutlich zu lokalen Verwirbelungen am Weidenstamm, weshalb sich dort keine Ablagerungen bilden konnten und der Bewuchs zudem einer erhöhten hydraulischen Belastung ausgesetzt ist. Von den Pflanzenarten dominieren derzeit Rohr-Glanzgras, verschiedene Groß-Seggen (Bild 42), Weißes Straußgras und Kratzbeere. Weitere standorttypische Arten, wie z. B. Wilde Sumpfkresse, Zusammengedrückte Binse, Blut- und Gilbweiderich ergänzten das Artenspektrum. Die Kopfweiden (Silber- und Hohe Weide) dominierten in der Strauchschicht. Sowohl die alte Pflasterung als auch die Steinschüttung im mittleren und oberen Böschungsbereich des VF wiesen mit ihrer Strauchschicht aus Weiden, Weißdorn, Feld-Ahorn, Pfaffenhütchen, Kirsch-Pflaume, u. a. und der relativ dichten Krautschicht, einen, im Vergleich zu den beiden Referenzstrecken, dichten Bewuchs auf. Das VF bietet aufgrund der ausgeprägten Zonierung mit Röhrichzone und Weidengehölz im unteren Böschungsbereich und dem Wechsel aus holzigen und krautigen Arten der Hartholzauere im mittleren und oberen Böschungsbereich somit nach wie vor kleinräumig wechselnde Lebensräume mit hoher Strukturvielfalt, was aus ökologischer Sicht positiv zu werten ist.

5. Bewertung hinsichtlich Tierökologie und faunistischer Besiedlung

Aufgrund der Ergebnisse ist zum jetzigen Zeitpunkt noch keine relevante, charakteristische Zuordnung der veränderten baulichen Einflüsse auf die Tierökologie und die faunistische Besiedlung für jedes Versuchsfeld möglich. Hinzu kommt, dass die Länge der Versuchsfelder von im Mittel rund 100 m generelle Aussagen über die Besiedlung mit im Vergleich zu anderen aquatischen Tiergruppen vergleichsweise mobiler Fischfauna nur in geringem Umfang zulassen. Die Entwicklung der Fischfauna im Untersuchungsgebiet wird nach wie vor durch die zunehmende Dominanz der invasiven Grundelarten, insbesondere der Schwarzmundgrundel, überlagert. Daher werden hier zunächst die bisher erkennbaren positiven Einflüsse ausgewählter Versuchsfeldeigenschaften auf die Fauna beschrieben.

Die Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos werden seit dem Sommer 2013 durchgeführt, erste Auswertungen liegen als Zwischenergebnis seit Herbst 2014 vor. Die Erhebungen der Fauna sind vom Wasserstand des Rheins abhängig. Dabei sind für die erfolgreiche Erfassung der terrestrischen Tiergruppen (Laufkäfer, Spinnen, Vögel, Reptilien) Wasserstände von MW bzw. < MW und für die aquatischen Tiergruppen (Makrozoobenthos und Fische) Wasserstände von 0 bis 0,4 m über MW erforderlich. Aufgrund der 2012 und 2013 mehrfachen und langanhaltend aufgetretenen hohen Wasserstände verschob sich die erste Kartierung der terrestrischen Fauna auf das Jahr 2014, mit Ausnahme der Laufkäfer und Spinnen. Letztere wurden im Herbst 2013 erstmals erfasst. Das Fisch Monitoring begann bereits im Frühsommer 2012 und wurde 2013 und 2014 fortgesetzt. Untersuchungen zum Makrozoobenthos erfolgten ab Juli 2013. Folgende Ergebnisse lassen sich bisher als Zwischenergebnis für das Jahr 2014 anhand der genannten Untersuchungen ableiten:

Vögel:

Auf der gesamten Versuchsstrecke wurden im untersuchten Zeitraum 55 Vogelarten registriert. Davon besuchten 43 Arten unmittelbar die Uferbereiche der Versuchsfelder, 19 Arten wurden nur in der anschließenden Aue oder in einiger Entfernung, z. B. während des Durchzugs, nachgewiesen. Dabei waren manche Vogelarten sowohl im Uferbereich als auch in der Aue anzutreffen. Der überwiegende Anteil der Arten nutzte die jeweiligen Uferabschnitte als Nahrungs- und Rastraum. Die höchste Stetigkeit zeigte der Kormoran (*Phalacrocorax carbo*), der exponierte Sitzwarten auf Blocksteinen zum Trocknen der Flügel nutzt. Für ihn konnte eine Präferenz für das VF 1 festgestellt werden (Bild 34). Der hier bei Mittel- und Niedrigwasser frei liegende, vorgelagerte Steinwall bietet Sitzwarten, die den Tieren während Ruhe- und Flügel-Trocknungszeiten durch die dazwischen liegende Ruhigwasserzone Schutz gegenüber landseitigen Störungen bieten. Auch Graureiher (*Ardea cinerea*) wurden in den VF 1, 2 und 3 mit erhöhter Präsenz beobachtet. Das könnte mit dem Jagdverhalten zu tun haben, denn der Graureiher frisst vor allem Jungfische, die er insbesondere in der neu geschaffenen Ruhigwasserzone (strömungsberuhigten Zone) im VF 1 vermehrt findet. Weiterhin

beschatten die aufgewachsenen Weidenspreitlagen (VF 2 und 3) die in Ufernähe liegenden Wasserflächen, was ebenfalls Jungfische anlockt und dem Graureiher die Jagd erleichtert. Der Eisvogel (*Alcedo atthis*) wurde an der dem Wasser zugewandten Seite der Referenzstrecke und ebenfalls vor VF 1 bei der Jagd beobachtet. Die im VF1 vorhandenen, über die Wasserfläche hinausragenden Sitzwarten entsprechen gleichermaßen dem Jagdverhalten des Eisvogels. Bei Niedrigwasser sind zusätzlich die dann frei liegenden, eingebauten Wurzelteller für diesen Zweck als Sitzwarten nutzbar. In allen VF war allerdings der Besuch von Vögeln auf der Nahrungssuche (Nahrungsgäste) gering. So hielten sich z.B. einzelne Flussuferläufer (*Actitis hypoleucos*) in der flachen Uferzone des VF 9 zur Nahrungssuche auf. Die Nachtigall (*Luscinia megarhynchos*) und die Mönchsgrasmücke (*Sylvia atricapilla*) konnten im VF 8 als Brutvögel nachgewiesen werden. Der Vergleich der Artenlisten 2011 (vor der Uferumgestaltung) und 2014 über den Sörensen-Index ergibt eine Übereinstimmung von 62%. 2011 wurden 52 Vogelarten und 2014 55 Vogelarten erfasst. Von den 2011 erfassten Vogelarten konnten 2014 18 Vogelarten nicht mehr nachgewiesen werden. Dagegen wurden 2014 gegenüber 2011 insgesamt 20 neue Vogelarten kartiert.

Reptilien:

Vor dem Bau der Versuchsfelder wurde 2011 lediglich die Zauneidechse (*Lacerta agilis*) gefunden. Diese war auch 2014 die einzige ermittelte Reptilienart. Allerdings wurden insgesamt lediglich 8 Individuen im Bereich der VF erfasst. Ob die Eigenschaften bestimmter VF günstiger oder ungünstiger für die Präsenz von Zauneidechsen sind, kann zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch nicht bewertet werden. Reptilien tragen daher bisher kaum zur Qualitätsbeurteilung der alternativen Ufersicherungsmaßnahmen bei.

Laufkäfer und Spinnen:

In den Fangperioden September-Oktober 2013 und März-Juni 2014 wurden Laufkäfer und Spinnen mit Barberfallen, ergänzt durch Handfang, erfasst. Insgesamt wurden im Vergleich zu den vor der Uferumgestaltung (2011) erfassten 60 Laufkäferarten 2014 79 Arten nachgewiesen. Die Ergebnisse lassen darauf schließen, dass die VF insgesamt mit einer hohen Dynamik besiedelt werden, während in der Aue eine stabile „reife“ Laufkäfergemeinschaft anzutreffen ist, die in die VF ausstrahlt. Über alle VF verteilt wurden insgesamt 69 Spinnenarten gefunden. Diese hohe Diversität der Spinnen im Uferbereich muss positiv hervorgehoben werden. Für die festgestellten Unterschiede in der Spinnen-Besiedlung der VF konnte bisher keine eindeutige Ursache-Wirkungsbeziehung hergestellt werden. Es zeichnet sich ab, dass die Untersuchung der Laufkäfer und Spinnen für die Bewertung der ökologischen Qualität der alternativen Ufersicherungsmaßnahmen besonders geeignet ist.

Makrozoobenthos:

Alle Versuchsfelder und die Referenzstrecke wurden im Hinblick auf das Makrozoobenthos nicht, wie sonst üblich, per Greifer-Entnahmetechnik vom Schiff aus beprobt, sondern vom Ufer aus mit Kicksampling und Absammlung von Steinen und anderen besiedelbaren Stuktu-

ren. 2013 konnten neben 20 Wenigborster-Taxa 11 Kleinkrebs- und 10 Köcherfliegen-Taxa gefunden werden. Als einzige Vertreterin der Eintagsfliegen wurde die rheintypische Augustfliege (*Epheron virgo*) nachgewiesen. Steinfliegen wurden keine gefunden. Unter den Kleinkrebsen finden sich keine einheimischen Arten. Der neozoe Höckerflohkrebs (*Dikerogammarus villosus*) dominiert die Kleinkrebsfauna. Auch die ebenfalls neozoe Donauassel (*Jaera istri*) war deutlich vertreten.

Fische:

Die Fischzönosen im aquatischen Bereich der VF wurden mittels Elektrofischung erfasst. Für die Fischfauna sind alle technisch-biologischen Uferschutzmaßnahmen nur bei höheren Wasserständen (oberhalb Mittelwasser) wirksam. Im Vergleich zur Monitoringperiode 2013 war 2014 durch vergleichsweise niedrige Wasserstände, insbesondere im Frühjahr, geprägt, so dass außer der Steinschüttung mit ihrem Lückensystem keine fischrelevanten Strukturen vorhanden waren. Dementsprechend arten- und individuenarm waren die Ergebnisse der Befischungen. Auch konnten im Vergleich zur Referenzstrecke keine wesentlichen Unterschiede in der Zusammensetzung des erfassten Fischartenspektrums nachgewiesen werden. Die Schwarzmundgrundel stellt wie in den Vorjahren weiterhin die dominante Art in allen Bereichen dar.

Wie schon 2013 konnte das mit 6 Totholzfaschinen auf 50 m sehr kleinräumige VF 4 bei den Befischungen 2014 aufgrund der Wasserstände nicht optimal befischt werden. Im Oktober lagen die Reisigfaschinen trocken. Wie in der gesamten Versuchs- und auch in der Referenzstrecke erschwert die Dominanz der Schwarzmundgrundel die Bewertung der strukturellen Maßnahmen auf die Artenzusammensetzung der Fische. Die bisherigen Ergebnisse weisen jedoch darauf hin, dass die Faschinen bei günstigen Wasserständen Unterstände für zahlreiche Arten - darunter auch Leitarten nach WRRL - bieten. Eine Vergrößerung des Umfangs könnte dementsprechend größere Effekte bringen.

Vor der Referenzstrecke mit Steinschüttung als Ufersicherung wurden besonders häufig die massenhaft eingewanderten neozoen Grundelarten (*Kesslergrundel*, *Marmorierter Grundel*, *Schwarzmaulgrundel* – *Neogobius kessleri*, *Proterorhinus semilunaris*, *N. melanostomus*) gefangen, die im Vergleich zu den heimischen Fischarten von der klassischen Steinschüttung profitieren. Mitteleuropäische Leitarten waren hier unterrepräsentiert. Im Gegensatz dazu wurden sowohl am VF 1 (fischrelevante Strukturen: vorgelagerter Steinwall mit Ruhigwasserzone; Totholzstämme mit Wurzeltellern) als auch am VF 4 (fischrelevante Strukturen: Steinschüttung mit Kiesfüllung und Totholzfaschinenbündel) besonders viele Vertreter der mitteleuropäischen Fischfauna, insbesondere Flussbarsche (*Perca fluviatilis*) und Rotaugen (*Rutilus rutilus*), gefangen. Der Anteil gefangener Grundeln ging hier vergleichsweise zurück. Es lässt sich somit ein erster Trend dahingehend ableiten, dass bei entsprechenden Wasserständen auch schon geringe (kleinräumige) Strukturen eine Wirksamkeit auf die Fischbesiedlung haben

6. Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen wurden für den Berichtszeitraum November 2013 bis Oktober 2014 entsprechend der im 2. Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA, 2013) beschriebenen Methodik weitergeführt. Im Gegensatz zum Vorjahr, in dem seit Anlage der Versuchsstrecke das höchste Hochwasser aufgetreten war und mehrere langanhaltende Einstauperioden die Versuchsfelder stark belastet hatten, war die Phase des aktuellen Untersuchungszeitraums überwiegend durch niedrige Wasserstände gekennzeichnet. Es gab nur zwei Hochwasserereignisse mit Wasserständen bis maximal Hochwasser-Marke I, d. h. bis etwa 1 m unterhalb der Böschungsoberkante. Im für das Pflanzenwachstum wichtigsten Zeitraum (Anfang März bis Anfang Juli) waren die Wasserstände sehr niedrig (überwiegend unterhalb AZW), was mit den ausgeprägten Trockenperioden im März, April und Juni zusammenhing. Die Pflanzen mussten somit in dieser Zeitspanne eine „Durststrecke“ überwinden, bevor im Juli und August die im Jahresvergleich regenreichste Zeit mit hohen Wasserständen bei gleichzeitigem Schifffahrtseinfluss (Wellen und Strömung) einsetzte. Insgesamt blieb der Einfluss aus Schifffahrt für die Versuchsfelder jedoch aufgrund der niedrigen Wasserstände vergleichsweise gering. Frostereignisse spielten im Untersuchungszeitraum keine Rolle.

Unter den gegebenen Bedingungen haben sich die technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen insgesamt weiter gut entwickeln können. Die Weidenspreitlagen in den VF 2 und 3 und die Steinmatratzen im VF 5 erwiesen sich weiterhin als stabil und als guter Uferschutz. Das gilt auch für die Pflanzmatten im oberen Böschungsbereich des VF 7, wobei im VF 7a einige kleine lokale Schadstellen vorhanden sind, die weiter beobachtet werden. Nur der Zustand der Röhrichtgabionen im VF 5a hat sich im letzten Jahr nach bereits großflächigem Ausfall von bestimmten Pflanzenarten 2013 weiter verschlechtert. Der Uferschutz ist noch gewährleistet, aber hier ist im nächsten Jahr eine besonders intensive Beobachtung erforderlich.

Im Versuchsfeld 9 traten aufgrund der eher niedrigen Wasserstände keine nennenswerten Veränderungen in der Böschungsgeometrie auf. Mit Blick auf künftige Ufererosionen wurde eine dritte Setzstangenreihe im Frühjahr 2014 neben dem Betriebsweg eingebracht.

In den Versuchsfeldern, in denen die alte Steinschüttung erhalten blieb und den Uferschutz weiterhin gewährleistet, entwickelten sich die eingebauten Pflanzen auch im Zeitraum November 2013 bis Oktober 2014 weiter positiv. Insbesondere die Gehölze bilden derzeit dichte und im Wechsel mit standorttypischer, krautiger Ufervegetation strukturell aufgewertete Habitatkomplexe auf der Fläche des Versuchsfeldes 1.

2014 mussten in den Versuchsfeldern keine Sanierungsmaßnahmen durchgeführt werden. Die Standsicherheit des Ufers war in allen Versuchsfeldern gegeben. 2014 wurde ein Kon-

zept für künftige gezielte Unterhaltungsarbeiten erarbeitet, die erstmals 2015 umgesetzt werden sollen.

Hinsichtlich des pflanzlichen Besiedlungspotenzials konnte bisher in allen Versuchsfeldern (lediglich im VF 6 nur in geringfügigem Maß) eine Steigerung im Vergleich zur herkömmlichen Steinschüttung (Referenzstrecken) durch die Maßnahmen erreicht werden. Dies zeigen die bisher erhöhten Artenzahlen mit hohem Anteil standorttypischer Arten, eine jeweils höhere Gesamtdeckung des pflanzlichen Bewuchses in den einzelnen Versuchsfeldern und die sich bereichsweise bereits einstellende Uferzonierung mit Elementen der Röhrlichtzone, Weich- und Hartholzaue. Die Strukturvielfalt wurde in 2014 durch das voranschreitende Wachstum der Pflanzen, das Mischungsverhältnis gepflanzter Arten zu sukzessive eingewanderten Arten, Um- und Ablagerungen von Totholz und Geschwemmsel und die laufende morphologische Entwicklung mit Substratumlagerungen (im VF 4 und 9) weiter erhöht.

Aus ökologischer Sicht ist festzustellen, dass der Artenreichtum der Vegetation und Fauna im Vergleich zum Ausgangszustand und zu den untersuchten Referenzstrecken erhöht werden konnte. Die eingebrachten Pflanzen entwickeln sich derzeit als Initiale einer auentypischen Vegetation, bestehend aus Röhrlichten, Hochstauden feuchter Standorte und Elementen der Weich- und Hartholzaue. Durch die unterschiedlichen Wuchsformationen, das eingebrachte Totholz und die entstandene Dynamik im Bereich der Uferentsteinung konnte die Strukturvielfalt im Bereich der Versuchsstrecke erhöht werden. Besonders die Totholzstrukturen konnten einen Beitrag zur Förderung heimischer gegenüber eingewandeter, neozoe Fischarten leisten. Bereits diese ersten Untersuchungsergebnisse zeigen, dass alternative Ufersicherungen einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung des ökologischen Potenzials leisten können.

Im Hinblick auf die Vögel scheinen die Strukturen der VF 1, 8 und 9 am besten geeignet zu sein, um eine möglichst hohe Artenvielfalt zu unterstützen. Weniger günstig für die Vogelwelt zeigten sich die VF 2 und 3, da dort die Artenvielfalt am geringsten war. In Hinsicht auf die Fische bestätigt sich der im letzten Zwischenbericht abgeleitete Trend, dass bei entsprechenden Wasserständen auch schon geringe (kleinräumige) Strukturen eine Wirksamkeit auf die Fischbesiedlung haben können. Bei Wasserständen unter Mittelwasser sowie kurzfristigen Wasserstandsschwankungen lässt die Wirksamkeit der angelegten Strukturen auf die Fische nach. Vor dem Hintergrund der massiven Überformung der mitteleuropäischen Lebensgemeinschaften aquatischer Organismen durch neozoe Arten zeichnet sich derzeit in einem ersten Trend ab, dass von der Steinschüttung abweichende Strukturen, wie Totholz-, Sand-, Kiesbereiche und beruhigte Wasserzonen (VF 1, 4), dazu beitragen können, dass vermehrt wieder heimische Fischarten an diesen Strukturen auftreten, während der Anteil neozoe Arten dort vergleichsweise zurückgeht. Dies ist ein positiv hervorzuhebender Effekt, der künftig die Möglichkeit eröffnen könnte, durch entsprechende alternative Ufersicherun-

gen der massenhaften und ökologisch negativen Verbreitung von neozoen Arten entgegenzuwirken.

Das Monitoring wird zunächst bis 2016 weiter geführt. Die Ergebnisse aus dem nächsten Untersuchungszeitraum von November 2014 bis Oktober 2015 werden im Herbst 2016 in einem 5. Zwischenbericht veröffentlicht. Da eine weitestgehend abschließende Beurteilung der einzelnen Maßnahmen erst nach mehreren Vegetationsperioden möglich ist, erfolgt diese nach Abschluss des 5-jährigen Monitorings 2017. 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 und allen anderen Aktivitäten im Rahmen des Forschungsprojektes werden weiterhin im gemeinsamen Internetportal von BAW und BfG (<http://ufersicherung.baw.de>) bereit gestellt, und das Vorhaben auf verschiedenen Fachveranstaltungen präsentiert.

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, 2011) Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GWB), Ausgabe 2010, Stand März 2011. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe. Online unter: http://www.baw.de/de/die_baw/publikationen/merkblaetter/index.php.html
- (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
- (BAW, BfG, WSA-MA, 2013) 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 – Zweiter Zwischenbericht: Erste Monitoringergebnisse 2012**, Eigenverlag, Karlsruhe/Koblenz Juni 2013 – mit Anlagenband
- (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, WSA-MA, 2014) 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 - Dritter Zwischenbericht: Monitoringergebnisse 2013**, Eigenverlag, Karlsruhe/Koblenz August 2014
- (BAW, 2014) Bundesanstalt für Wasserbau, **Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6 - 441,6, rechtes Ufer – Teilbericht: Wetterdaten und Rheinwasserstände 11/2012 - 10/2013**, Eigenverlag, Karlsruhe Juni 2014
- (BAW, 2015a) Bundesanstalt für Wasserbau, **Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6 - 441,6, rechtes Ufer – Teilbericht Standsicherheit und Unterhaltung 11/2012 - 10/2013**, Eigenverlag, Karlsruhe
- (BAW, 2015b) Bundesanstalt für Wasserbau, **Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6 - 441,6, rechtes Ufer – Teilbericht: Wetterdaten und Rheinwasserstände 11/2013 - 10/2014**, Eigenverlag, Karlsruhe Juni 2015

- (BAW, 2015c) Bundesanstalt für Wasserbau, **Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6 - 441,6, rechtes Ufer – Teilbericht: Porenwassersruckmessungen vom 19.02.2014**, Eigenverlag, Karlsruhe Juni 2015
- (BfG, 2014a) Bundesanstalt für Gewässerkunde, **Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6-441,6, rechtes Ufer – Teilbericht Vegetation 11/2012 – 10/2013**, Eigenverlag, Koblenz (noch in Bearbeitung)
- (BfG, 2014b) Bundesanstalt für Gewässerkunde, **Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6-441,6, rechtes Ufer – Teilbericht Fauna 11/2012 – 10/2013**, Eigenverlag, Koblenz (noch in Bearbeitung)
- (BfG, 2015) Bundesanstalt für Gewässerkunde: **Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6-441,6, rechtes Ufer – Teilbericht 1. Erfolgskontrolle Fauna**, Eigenverlag, Koblenz (in Bearbeitung)
- (Braun-Blanquet, 1964) Braun-Blanquet, J., **Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde**. 3. neu bearb. u. wesentl. verm. Auflage, Springer-Verlag. Wien 1964
- (Schmid, 2014) Ingenieurbüro Schmid, **Bericht zur Auswertung der Geschwindigkeitsmessungen auf dem Rhein bei Worms**, interner Bericht, 17.6.2014
- (Walter, Lieth, 1967) Walter, W., Lieth, H., **Klimadiagramm-Weltatlas**, Gustav Fischer Verlag, Jena 1967

Anlage: Maßnahmenblätter (Beurteilung der Einzelmaßnahmen)

Im Folgenden wird eine Einschätzung der Einzelmaßnahmen zusammenfassend für die Monitoringjahre 2012, 2013, 2014 d. h. für die bisherige Entwicklungszeit, unabhängig von den Versuchsfeldern gegeben. Tab. A.1 zeigt alle Einzelmaßnahmen und deren Anwendungsbereiche in der Versuchsstrecke in einer Übersicht.

Tab. A.1: Zuordnung der Einzelmaßnahmen zu den Versuchsfeldern

Maßnahmen „Ersatz der technischen Ufersicherung durch technisch-biologische Bauweisen“ oberhalb AZW bzw. AZW - 0,5 m	
M1 Weidenspreitlagen diagonal und quer eingebaut	VF 2 und 3
M2 Röhrichtgabionen auf Kornfilter	VF 5a unten
M3 Steinmatratzen auf Kornfilter ohne Pflanzmatten	VF 5a und 5b oben
M4 Steinmatratzen auf Kornfilter mit Pflanzmatten	VF 5b
M5 Pflanzmatten auf verschiedenen Geotextilien als Filter	VF 7a, 7b und 7c
M6 Kokosmatten über einer Nassansaat	VF 7 oben
M7 Röhrichtwalzen	VF 7b und 7c (bei AZW)
Maßnahmen „Ökologische Aufwertung der technischen Ufersicherung“	
M8 Anlage senkrecht zum Ufer verlaufender Pflanzgräben in einer Steinschüttung mit wahlweise ausschlagsfähigen Weidenfaschinen, Busch- und Heckenlagen	VF 1
M9 Einbringen von Setzstangen	VF 1, VF 9
M10 Einspülen von Oberboden-Alginat in eine Steinschüttung und Ansaat durch Anspritzverfahren	VF 6
M11 Einzelpflanzung von Röhrichtbulten in die Steinschüttung	VF 6
M12 Anlage eines Steinwalls parallel zur Uferlinie zur Reduzierung schiffsinduzierter Belastungen	VF 1, VF 8
M13 Einbau von Totholzstrukturen (Totholzstämmen mit Wurzelteller, Totholzfachinen, Ausfachungsbühne) in Steinschüttung	VF 1, VF 4, VF 9
M14 Aufbringen von kiesigem Substrat / Grobstein-Gruppen auf vorhandene Steinschüttung	VF 4
Maßnahme „Rückbau der technischen Ufersicherung oberhalb von AZW, kein neuer Uferschutz, begrenztes Zulassen freier Dynamik“	
M15 Rückbau der technischen Ufersicherung, kein Uferschutz oberhalb von AZW, begrenztes Zulassen freier Dynamik	VF 9

Maßnahme M1: Weidenspreitlagen diagonal (VF2) bzw. quer (VF3) eingebaut

Weidenspreitlagen diagonal bzw. quer eingebaut (Böschungseigung 1:3)	
Uferstabilität	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): 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 2013: - Gute, weitgehend flächendeckende Entwicklung der Weidenspreitlagen trotz zahlreicher Hochwasser, z.T. bis über die GOK reichend, und 10 wöchigem Dauereinstau bis ca. AZW + 1,5 m; insgesamt guter Verbund mit dem anstehenden Boden erreicht; dadurch allmähliche Begrenzung weiterer Sedimentausspülungen und Bodenverlagerungen unter Weidenästen, kleinräumig noch Weiden ohne schlüssigen Bodenkontakt; Gesamtstabilität dadurch nicht beeinträchtigt 2014: - Dichter, flächiger Weidenbewuchs (Aussagen von 2013 haben weiterhin Bestand) - Wuchskräftigster Bereich zwischen AZW + 0,5/ 1,0 m und AZW + 1,7 m - Im unteren, am meisten durch Schifffahrt belasteten, und häufig lange eingestauten Böschungsbereich (AZW bis AZW + 1 m) vergleichsweise geringerer Deckungsgrad, weniger und nicht so vitale Weidentriebe, diese 2014 mit sprossbürtigen Wurzeln - Geringfügige Unterschiede zwischen den diagonal und quer eingebauten Ästen: Bei Quereinbau etwas höhere Deckungsgrade der Weidentriebe im Bereich um AZW als beim Diagonaleinbau und geringe Verzögerung der Triebentwicklung (hinsichtlich Durchmesser und Länge) im mittleren und oberen Böschungsbereich - Triebe 2014 in den oberen Böschungsbereichen insgesamt dünner, weniger lang, aber mengenmäßig mehr (aufgrund Trockenheit) - Gute Wurzelbildung – relativ dichtes, verzweigtes Wurzelsystem mit Längen bis etwa 60 cm durch Aufgrabung (2012) nachgewiesen; 2013/2014 keine erneute Wurzelaufgrabung - Insgesamt Uferschutz durch Weidenspreitlagen ausreichend gewährleistet
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - Flächige Gehölzentwicklung mit standorttypischen Gehölzen der Weichholzaue durch Verwendung niedrigwüchsiger Strauchweiden (Purpur-Weide) in Kombination mit höherwüchsigen Baumweiden (Silber-Weide); letztere 2014 mit bis 6 m Triebhöhe und 8 cm -durchmesser deutlich als solche zu unterscheiden (Höhenstufung im Bestand als Strukturmerkmal) - 2013/2014 flächig blühende Bienenweide für Nektar und Pollen sammelnde Insekten - Dominante Entwicklung der Purpur-Weide in allen Böschungszonen - Spontane Entwicklung erster krautiger Arten und einzelner Robinien (Neophyt) im Schutz der Weiden (2012); Rückgang des Spontanbewuchses aufgrund zunehmender Beschattung durch die Weiden (2013); ebenfalls Rückgang der Pappel-Seide, welche die Weiden 2012 teilweise in ihrer Vitalität schwächte; erstmals Rostpilzbefall an Purpur-Weiden (2013), bisher keine Vitalitätseinbußen, dennoch weitere Beobachtung des Pilzbefalls; 2014 kein Nachweis von schmarotzenden Arten, Windengewächsen und Neophyten, nur einzelne krautige Arten in Weidenbeständen, geringfügig Rostpilzbefall an Purpur-Weide - Zusätzlicher Strukturreichtum durch die Ablagerung von Totholz und Treibsel

	<p>nach Hochwasserereignissen, 2014 hoher Streuanteil aus abgestorbenen Blättern und Trieben</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fischfauna 2014: Frühjahr 28 Fische einer Art, Herbst 81 Fische aus 4 Arten, zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind keine Auswirkungen der Maßnahme auf die Fischfauna ersichtlich - Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos Sommer 2013 und 2014 deuten darauf hin, dass die Strukturen der VF 2 und 3 geeignet sind, um eine möglichst hohe Artenvielfalt zu unterstützen
Pflege/ Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Pflege und Unterhaltung: Beobachtung hinsichtlich Fraßschädlingen, Rostpilzbefall (Schwächung der Weiden); Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Robinie)
Sanierungs- maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - 2012: Nachträgliche Kiesabdeckung; anschließend keine Sanierungsmaßnahmen mehr erforderlich

Maßnahme M2: Röhrichtgabionen auf Kornfilter (VF5a)

Röhrichtgabionen auf Kornfilter (Böschungsneigung 1:2,5)	
Uferstabilität	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Relativ unkritisch, da aufgrund Eigengewicht von Anfang an stabile Lage auf der Böschung, keine zusätzlichen Befestigungen erforderlich; zunächst mangelnde Fußeinbindung in der Steinschüttung führte nach ersten Hochwässern zu leichten Rutschungen der Röhrichtgabionen (steile Böschungsneigung); gute Lagestabilität nach Verstärkung der Fußeinbindung mit Wasserbausteinen 2013: - Weiterhin Gewährleistung der Uferstabilität durch das Eigengewicht und die flächendeckende stabile Lage der Gabionen auf der Böschung sowie den filterstabilen Aufbau innerhalb der Gabionen und zum Untergrund (Kornfilter) - Weitere Hochwasser, insbesondere der 10-wöchige Dauereinstau der gesamten Gabionen, bei gleichzeitiger hydraulischer Belastung führten zu großen Verlusten bestimmter Pflanzenarten (Pflanzzone 1 (AZW bis AZW +1 m): Rohr-Glanzgras, Weißes Straußgras, Teich-Simse, Ufer-Wolfstrapp, Blut-Weiderich, Sumpf-Schwertlilie; Pflanzzone 2 (AZW+1 m bis AZW+1,7m): Rohr-Glanzgras; nach HW einzelne lokale Schäden an den Gabionen, ausgelöst durch Schäden am Kokosgewebe, so dass örtlich geringe Mengen innenliegenden Bodens und Kies ausgespült werden konnten 2014: - Bewuchsausfälle verstärkten sich weiter; in Pflanzzone 1 (s. o.) überwogen „nicht“ bis „kaum“ bewachsene Gabionenquadrate, lediglich die gepflanzten Großseggen erreichten noch eine Deckung von 30% bei 35% Gesamtdeckung pflanzlichen Bewuchses; in Pflanzzone 2 (s. o.) erreichten die gepflanzten Arten Rohr-Schwengel und Rohr-Glanzgras nur eine Gesamtdeckung von 25%, es überwogen ebenfalls „nicht“ bis „kaum“ bewachsene Gabionenquadrate; Schäden an den Gabionen intensivierten sich, durch fehlende Pflanzen und fehlendes Kokosgewebes zunehmender Materialaustrag - Insgesamt Uferschutz durch Röhrichtgabionen wegen Eigengewicht und Lagestabilität noch ausreichend gewährleistet, intensive Beobachtung erforderlich
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Initiierung einer standortgerechten Ufervegetation durch die nach unterschiedlicher Zonierung bepflanzten Röhrichtgabionen und beginnende spontane Vegetationsbesiedlung, somit Erhöhung der Lebensraumfunktion gegenüber dem weitgehend vegetationsfreien ursprünglichen Zustand - 2013: Röhrichtzone (unterer Böschungsbereich) nur noch in Teilbereichen mit großen Verlusten einzelner Arten ausgeprägt; Rückgang der anfänglichen Artenvielfalt; Seggen bislang überstauungstolerant und in Ausbreitung begriffen; höhere Deckungsgrade des Bewuchses in höher gelegener Pflanzzone 2 (kürzer überstaut als Pflanzzone 1); Rückgang des Spontanbewuchses - 2014 weiterer Bewuchsausfall und Rückgang der Artenzahlen; Pflanzzone 1: 35,5 Arten/2012, 25 Arten/2013, 33 Arten/(Frühjahr 2014), 5 Arten/(Spätsommer 2014); Pflanzzone 2: 42 Arten/2012, 36 Arten/2013, 46 Arten/(Frühjahr 2014), 25 Arten/(Spätsommer 2014); gepflanzte Arten mit abnehmender Deckung; Rückgang des Spontanbewuchses - „nicht“ bis „kaum“ bewachsene Röhrichtgabionen mit offen liegendem Drahtkörper aus ökologischer Sicht negativ zu bewerten - 2012 aufgrund der Wasserstände keine Aussagen zur Fischfauna möglich, 2013 Anteil der Referenzarten nach WRRL ~10 % höher als in der Referenzstrecke

	<ul style="list-style-type: none"> - Fischfauna 2014: Frühjahr 35 Fische aus 5 Arten, Herbst 177 Fische aus 6 Arten, zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind keine Auswirkungen der Maßnahme auf die Fischfauna ersichtlich - Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos seit Sommer 2013 lassen noch keine eindeutige Bewertung zu
Pflege/ Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Wenige Bewässerungsgänge nach Baufertigstellung, ansonsten keine Pflege erforderlich - Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten und Fraßschädlingen
Sanierungs- maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - 2012: Verstärkung der Fußeinbindung durch zusätzliche Wasserbausteine kurz nach dem Einbau; anschließend keine Sanierungsmaßnahmen mehr erforderlich

Maßnahme M3: Steinmatratzen auf Kornfilter ohne Pflanzmatten, mit Oberbodenauftrag (VF5a und VF5b oben)

Steinmatratzen auf Kornfilter, ohne Pflanzmatten, mit Oberbodenauftrag (Böschungsneigung 1:2,5)	
Uferstabilität	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Unkritisch, da aufgrund Eigengewicht von Anfang an stabile Lage auf der Böschung; keine zusätzlichen Befestigungen erforderlich; Oberbodenauftrag in den von Hochwässern überfluteten Bereichen erwartungsgemäß erodiert, jedoch ohne Relevanz für die Uferstabilität - 2013: Uferschutz durch flächendeckende stabile Lage der Steinmatratzen auf der Böschung sowie den filterstabilen Aufbau durch Kornfilter auch nach weiteren Hochwässern und hydraulischer Belastung gewährleistet; vereinzelte punktuelle Schäden am Kunststoffnetz - 2014: Aussagen haben weiterhin Bestand; keine weiteren Schäden am Kunststoffnetz aufgetreten - Insgesamt Uferschutz durch Steinmatratzen ausreichend gewährleistet
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Schnelle und großflächige Besiedlung der Steinmatratzen mit krautiger Spontanvegetation; dichter und kräftiger Bewuchs der nahe der Böschungsschulter liegenden, noch übererdeten Bereiche im Vergleich zu den durch Hochwasser frei gespülten Steinmatratzen in den darunter liegenden Böschungsbereichen; Entwicklung eines arten- und strukturreichen Bewuchses aufgrund der unterschiedlichen Substratbedeckung - 2013: Höhere Gesamtdeckung pflanzlichen Bewuchses in noch übererdeten im Vergleich zu freigespülten Bereichen (ca. 90 % im Vgl. zu 50 %); Stickstoff liebende Arten, insbesondere Beifuß, dominieren - 2014: Höhere Gesamtdeckung pflanzlichen Bewuchses, jedoch geringere Artenzahl in noch übererdeten im Vergleich zu freigespülten Bereichen (ca. 75% zu 55% Deckung/Ø 34 Arten zu Ø 60 Arten); Stickstoff liebende Arten, insbesondere Beifuß und Große Klette dominieren - Keine Aussagen zur Fischfauna möglich - Untersuchungen zur terrestrischen Fauna 2013 und 2014 zeigen bislang keinen eindeutig positiven Einfluss auf terrestrische Arten. Leichter Rückgang von Vögeln möglich. Aber Eisvogel kommt vor.
Pflege/ Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Pflege und Unterhaltung: 2013 Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Eschen-Ahorn, Goldrute); 2014 Entfernung weiterer Neophyten (Eschen-Ahorn, Goldrute, Robinie, Platane, Hybrid-Pappel, Topinambur)
Sanierungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - 2012 und 2013: Kleinere Reparaturarbeiten am Kunststoffnetz; 2014 keine Maßnahmen erforderlich

Maßnahme M4: Steinmatratzen auf Kornfilter mit Pflanzmatten (VF5b)

Nach Entfernen der Pflanzmatten 2013 keine weitere Betrachtung der ursprünglichen Bauweise, künftig weitere Betrachtung wie M3

Steinmatratzen auf Kornfilter mit Pflanzmatten (Böschungsneigung 1:2,5)	
Uferstabilität	<p>1. Steinmatratzen:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Unkritisch, da aufgrund Eigengewicht von Anfang an stabile Lage auf der Böschung, keine zusätzlichen Befestigungen auf der Böschung erforderlich - 2013: Uferschutz durch flächendeckende stabile Lage der Steinmatratzen auf der Böschung sowie den filterstabilen Aufbau durch Kornfilter auch nach weiteren Hochwässern und hydraulischer Belastung gewährleistet; vereinzelte punktuelle Schäden am Kunststoffnetz - 2014: Aussagen von 2013 haben weiterhin Bestand <p>2. Pflanzmatten, auf Steinmatratzen befestigt:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Kein optimaler Zustand der Pflanzmatten bereits beim Einbau; Matten weisen kaum Eigengewicht auf; Auftrieb und Wellenbelastung bei Überstau führen zu Druckwechselln („Pumpeffekten“), dementsprechende Auf- und Abbewegungen der Matten verhindern dauerhaft flächigen Kontakt zum Untergrund und damit die Wurzelentwicklung in die Steinmatratzen; 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 - 2013: Weitere starke Belastungen, insbesondere durch 10-wöchigen Dauereinstau und gleichzeitige Schifffahrtsbelastung; keine Pflanzenentwicklung, Kokosträgergewebe vollständig erodiert; nur noch 3-dimensionales Kunststoffgitter vorhanden - Pflanzmatten auf Steinmatratzen haben sich unter den gegebenen Randbedingungen (Böschungsneigung 1:2,5, mehrfacher Überstau bei gleichzeitiger und hydraulischer Belastung infolge Schifffahrt, Trocken- und Frostzeiten, schlechter Ausgangszustand der Matten, im Ergebnis fehlende Durchwurzelung der Steinmatratzen) nicht bewährt (deshalb Rückbau der Pflanzmatten) - Uferschutzfunktion durch Steinmatratzen ausreichend gegeben
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - 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; nach Entfernung der Pflanzmatten ökologische Entwicklung durch natürliche Sukzession erwartet - 2013: Natürliche Sukzession bringt ca. 5 % Gesamtdeckung an Bewuchs auf Steinmatratzen hervor - 2014: Natürliche Sukzession nicht weiter vorangeschritten (nach wie vor geringe Gesamtdeckung von ca. 5%) - 2012 aufgrund der Wasserstände keine Aussagen zur Fischfauna möglich, 2013 Anteil der Referenzarten nach WRRL ~10 % höher als in der Referenzstrecke - Fischfauna 2014: Frühjahr 35 Fische aus 5 Arten, Herbst 177 Fische aus 6 Arten, zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind keine Auswirkungen der Maßnahme auf die Fischfauna ersichtlich - Bisherige Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos 2013 und 2014 lassen noch keine eindeutige Bewertung zu

Pflege/ Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none">- Bewässerung der Pflanzmatten in der Anfangszeit- Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Eschen-Ahorn, Goldrute)
Sanierungs- maßnahmen	<ul style="list-style-type: none">- 2012: Pflanzmatten nachträglich mit einzelnen Wasserbausteinen beschwert- August 2013: Entfernung der Pflanzmattenreste nach vollständigem Ausfall der Pflanzen einschließlich der Befestigungen; Steinmatratzen werden – wie im oberen Bereich – der Sukzession überlassen - siehe Maßnahme M3- 2014 keine Maßnahmen erforderlich

Maßnahme M5: Pflanzmatten auf verschiedenen Geotextilien als Filter (VF 7)

Pflanzmatten auf verschiedenen Geotextilien als Filter (Böschungsneigung 1:3)	
Uferstabilität	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Sehr kritisch besonders im unteren, höher belasteten Böschungsbereich; Pflanzmatten beim Einbau in sehr schlechtem Zustand; Pflanzmatten besitzen bei Überstau unter Auftrieb kaum ein Eigengewicht, dadurch Bewegungen der Mattenbereiche zwischen den punktuellen und linienförmigen Befestigungen; Auftrieb und Wellenbelastung bei Überstau führen zu Druckwechselln („Pumpeffekten“), dementsprechende Auf- und Abbewegungen der Matten verhindern dauerhaft flächigen Kontakt zum Untergrund; dadurch z.T. keine Wurzelentwicklung in den Untergrund möglich; ein Teil der Pflöcke und Querriegel durch Auftrieb gelockert und z.T. herausgezogen; Befestigung der Matten dadurch im Überstaubereich teilweise nicht mehr ausreichend; teilweise böschungsabwärts gerichtete Bodenverlagerungen unter den Matten, begrenzt nur durch Querriegel; durch sehr schnellen biologischen Abbau des Schafwollvlieses hier keine ausreichende Schutzwirkung mehr vorhanden; im oberen, weniger eingestauten Böschungsbereich besserer Zustand, Bodenaustrag durch nicht filterstabile Kokosmatten; im häufiger und längerfristig überstauten unteren Böschungsbereich viele Schäden, besonders im Bereich mit Schafwollvlies, hier kein ausreichender Uferschutz mehr gegeben, Sanierungsmaßnahmen erforderlich 2013: - Nach lokalen Sanierungsmaßnahmen Stabilisierung des Zustandes in den oberen, selten eingestauten Böschungsbereichen (oberhalb NN + 1,70 m), hier gute Entwicklung der Pflanzen - Im unteren Böschungsbereich dagegen Zunahme der Schäden durch 10-wöchigen Dauereinstau bei gleichzeitiger Schifffahrtsbelastung, Ausfall fast aller Pflanzen, Kokosträgermatte zerstört; Uferschutz durch Pflanzmatten und Filtermatten nicht mehr gewährleistet – Sanierung des gesamten unteren Böschungsbereiches erforderlich - In den häufig und lange eingestauten Böschungsbereichen haben sich Pflanzmatten auf Filtermatten unter den gegebenen Randbedingungen nicht bewährt; der für die Wurzelbildung und Verzahnung mit dem Untergrund erforderliche permanente flächige Bodenkontakt konnte hier mit den punktuellen und linienförmigen Befestigungen nicht gewährleistet werden; Schafwollvlies (zu schneller Abbau) und Kokosgewebe (nicht filterstabil) in diesen Bereichen ungeeignet 2014: - Nach Sanierung des gesamten unteren Böschungsbereiches (unterhalb AZW + 1,70 m), Uferschutz dort durch wieder hergestellte Steinschüttung gegeben - Uferschutz im oberen Böschungsbereich (oberhalb AZW + 1,70 m) durch Pflanzmatten bereits 2013 ausreichend gegeben, 2014 weitere Stabilisierung aufgrund überwiegend niedriger Wasserstände, „ungestörte“ Weiterentwicklung und Ausdehnung der Pflanzen; VF-Bereich überwiegend vollflächig und dicht bewachsen
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Trotz zahlreicher Bewuchsausfälle und Anfangsschwierigkeiten positive Entwicklung aus vegetationskundlicher Sicht: hohe Anzahl und Vielfalt blühender Hochstauden, Röhrichte, Gräser- und Kräuter; Initiierung einer standorttypischen Vegetationszonierung; Strukturhöhung in der Uferböschung; Unterschiede der Vliese u. a. hinsichtlich Inhaltsstoffen und Pflanzenwachstum erkennbar: Schafwolle mit düngender Wirkung → kräftigerer Bewuchs, Förderung stickstoffliebender Arten; Kunststoffvlies → gutes und vitales Pflanzenwachstum, aber aus ökologischer Sicht nicht zu empfehlen, da unverrottbar; Kokos → Entwicklung der Pflanzen im VF aufgrund ungeeigneter

	<p>Pflanzenlieferung (Arten zur Teichrandbegrünung) nicht repräsentativ</p> <ul style="list-style-type: none"> - 2013: Große Verluste an Pflanzen im unteren Böschungsbereich aufgrund der Wasserstandssituation bei gleichzeitiger Schifffahrtsbelastung; ökologische Aussagen nur noch für den oberen Böschungsbereich möglich, hier positive Weiterentwicklung der Pflanzmatten; Arten aus Pflanzung wurden konkurrenzstark und bauen weiterhin standorttypischen Vegetationsbestand mit guter Artendurchmischung auf - 2014: Nach der Sanierung des unteren Böschungsbereiches (bis AZW + 1,70 m) mit Wasserbausteinen Aufkommen vereinzelter Arten aus ursprünglicher Bepflanzung zwischen den Steinen, ergänzt um Arten aus freier Sukzession im Lückensystem der Steinschüttung; im oberen Böschungsbereich überwiegend dichter und vollflächiger Bewuchs, hohe Artenvielfalt im Bereich der VF 7 b und 7c, dort Unterschiede in den Pflanzmattentypen erkennbar (48 Arten/Pflanzmatten des Firmen-Standardprogramms, 28 Arten/Pflanzmatten nach beauftragter Artenkombination); fortgeschrittene Entwicklung des VF daran erkennbar, dass sich Verteilung der Arten mehr und mehr den natürlichen Standortansprüchen der Arten angleicht (natürliche Uferzonierung) - Fischfauna 2014: Frühjahr 100 Fische aus 4 Arten, Herbst 245 Fische aus 7 Arten, zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind keine Auswirkungen der Maßnahme auf die Fischfauna ersichtlich - Höchstes Vorkommen von Spinnenarten in diesem Versuchsfeld
<p>Pflege/ Unterhaltung</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Wenige Bewässerungsgänge nach Baufertigstellung - September 2012, Mai und Juli 2013 Mahd mit Freischneider zwischen Böschung und Betriebsweg, keine Mahd im Böschungsbereich; 2014 Mahd mit Freischneider in Böschungs- und Planiebereich - Beobachtung und Beseitigung neophytischer Arten (Hybrid-Pappeljungwuchs)
<p>Sanierungs- maßnahmen</p>	<ul style="list-style-type: none"> - 2012: Nachschlagen der Pflöcke und Querriegel nach jedem Überstau; nachträglich flächige Nassansaat zur Stabilisierung, lokale Sanierung mit Rausensoden; 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) - 2013: Sanierung des gesamten unteren Böschungsbereichs bis auf die Höhe von AZW +1,7 m – hier Wiederherstellung der Steinschüttung - 2014: Markierung eines kleinen, lokalen Auskolkungsbereichs im VF 7c; keine Sanierungsmaßnahmen, weitere Beobachtung des markierten Bereichs

Maßnahme M6: Kokosmatten über einer Nassansaat (VF 7a oben)

Kokosmatten über einer Nassansaat (Böschungsneigung 1:3)	
Uferstabilität	<ul style="list-style-type: none"> - Angewendet nur im oberen, seltener eingestauten Böschungsbereich - Anfangsstadium (2012): Sehr kritisch, Kokosmatten bei Überstau unter Auftrieb besitzen kaum ein Eigengewicht, nur punktuelle Befestigungen durch Pflöcke (keine Querriegel) bei Überstau nicht ausreichend; in großem Maße böschungsabwärts gerichtete Bodenverlagerungen unter den Matten, begrenzt nur durch Totholzfashinen am unteren Ende der Maßnahme; Kokosmatten nicht filterstabil, deshalb auch Bodenaustrag durch die Matten; Entstehung von größeren Hohlräumen unter den Kokosmatten; Sanierungsmaßnahmen erforderlich - 2013: Stabilisierung des Zustandes nach Sanierungsmaßnahmen, gute Entwicklung der Pflanzen, da nur seltener Einstau 2013 - 2014: aufgrund niedriger Wasserstände insgesamt weiter gute und flächendeckende Pflanzenentwicklung; Manifestierung von sechs kleineren, lokalen Auskolkungsbereichen, deren Entwicklung weiter zu beobachten ist - Uferschutz durch Pflanzenentwicklung auf Kokosmatte nach Sanierung 2013 ausreichend gegeben
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Erntsaat (planmäßige Pflanzen) konnte sich aufgrund der nicht filterstabilen Matten, der umfangreichen Bodenumlagerungen mit der Bildung von Hohlräumen und Ausschwemmungen von Sediment und Saatgut nicht etablieren; beginnende Entwicklung einer stabilen Grasnarbe erst nach Sanierungen, Neuansaat, Verpflanzungen von Rasensoden und stabilen Wasserständen, danach Einleitung einer naturnäheren Vegetationsentwicklung und Strukturbereicherung - 2013: Standorttypischer Vegetationsbestand mit guter Artendurchmischung; erhöhte Strukturvielfalt im Vergleich zur Referenz - 2014: überwiegend vollflächiger und dichter Bewuchs mit standorttypischen Arten; höchste Artenvielfalt mit 88 Arten (Vgl. Referenzflächen mit Ø 11,5 Arten im oberen Böschungsbereich); fortgeschrittene Entwicklung des VF daran erkennbar, dass sich Verteilung der Arten mehr und mehr den natürlichen Standortansprüchen der Arten angleicht (natürliche Uferzonierung) - Keine Aussagen zur Fischfauna möglich - Nur geringe Diversität der terrestrischen Fauna in diesem Feld
Pflege/ Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - September 2012, Mai und Juli 2013 Mahd mit Freischneider zwischen Böschung und Betriebsweg, keine Mahd im Böschungsbereich - 2014 Mahd mit Freischneider in Böschungs- und Planiebereich - Beobachtung und Beseitigung neophytischer Arten (Hybrid-Pappeljungwuchs)
Sanierungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - 2012: Auffüllen der Hohlräume nach Aufschneiden der Kokosmatte mit Boden und Rasensoden, Abdecken mit Kokosmatte und ausreichende Befestigung (mit Pflöcken und Querriegeln); nachträglich flächige Nassansaat, anschließend keine Sanierungsmaßnahmen mehr erforderlich - 2014: Markierung und weitere Beobachtung der lokalen Schadstellen, keine Sanierungsarbeiten

Maßnahme M7: Röhrichtwalzen (VF 7b, VF 7c unten)

Im Zuge der Sanierung des unteren Böschungsbereiches 2012/13 überschüttet, deshalb keine weitere Betrachtung der Maßnahme

Röhrichtwalzen	
Uferstabilität	<ul style="list-style-type: none"> - Röhrichtwalzen wurden parallel zur Uferlinie im Bereich bei AZW als Fußsicherung für die Pflanzmatten der oberhalb anschließenden Böschung eingebracht - Anfangsstadium (2012): 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 - Röhrichtwalzen haben sich in der getesteten Form unter den gegebenen Randbedingungen nicht bewährt, im Zuge der Sanierung des unteren Böschungsbereiches 2012/13 überschüttet - Uferschutz durch wieder hergestellte Steinschüttung gewährleistet
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - Etablierung/Initiierung einer Röhrichtzone mit Einzelpflanzen im Wellenauflaufbereich um AZW fehlgeschlagen - Keine Aussagen zur Fischfauna möglich - ökologisches Ziel nicht erreicht
Pflege/Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Pflege und Unterhaltung erforderlich
Sanierungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - 2012: Überschüttung mit Wasserbausteinen zur Gewährleistung einer stabilen Fußsicherung für die Pflanzmatten; anschließend keine Sanierungsmaßnahmen mehr erforderlich

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	
Uferstabilität	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Unkritisch 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 - 2013/2014: Erhöhung des Uferschutzes durch zunehmende Verwurzelung der Pflanzen mit dem Deckwerk und dem Untergrund - Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Bis auf Einzelverluste insgesamt gute und vitale Entwicklung der eingebrachten Gehölze, nur anfänglich geringe Unterschiede in der Triebentwicklung zwischen den unterschiedlich hoch eingebauten Setzstangen; die teilweise sehr langen Überstauzeiten führten zu keinen Ausfällen - 2012/2013/2014: 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 der Böschungszone oberhalb AZW + 1,70 m, gutes Mischungsverhältnis der Arten - Erhöhung des Struktureichtums durch Ablagerung von Totholz und Treibsel nach Hochwasserereignissen - Keine Aussagen zur Fischfauna möglich - Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos im Sommer 2013 und 2014 deuten darauf hin, dass die Strukturen des VF1 geeignet sind, um eine möglichst hohe Artenvielfalt zu unterstützen
Pflege/ Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Pflege und Unterhaltung: Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten, Fraßschädlingen und pflanzlichen Schmarotzern (z. B. Pappel-Seide); Freischneiden der Triebe der Heckenlagen
Sanierungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - 2012: Nach Sackungen zusätzlicher Einbau von Wasserbausteinen in den Gräben; anschließend keine Sanierungsmaßnahmen mehr erforderlich

Maßnahme M9: Einbringen von Setzstangen (VF1, VF9)

Einbringen von Setzstangen	
Uferstabilität	<p>1. VF 1:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Anordnung der Setzstangen im unteren Böschungsbereich (keine Uferschutzfunktion); Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung unverändert gewährleistet - Anfangsstadium (2012): Unkritisch hinsichtlich Uferschutz - 2013/2014: Gute Entwicklung; langfristig ggf. Erhöhung des Uferschutzes durch Verwurzelung der Weidensetzstangen mit dem Deckwerk und dem Untergrund - Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet <p>2. VF 9:</p> <ul style="list-style-type: none"> - 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 (Schutz des Betriebsweges); - Anfangsstadium (2012): Unkritisch hinsichtlich Schutz des Betriebsweges - 2013: Erstmals über die Geländeoberkante hinaus gehende Hochwasser führten zur teilweisen Freispülung einzelner Setzstangen der ufernahen Weidenreihe; noch keine abschließende Aussage möglich, ob die Weiden die Erosion in diesem Bereich begrenzen können - 2014: vereinzelte 2013 bereits freigespülte Setzstangen nach wie vor im Boden verankert und vital - Schutz des Betriebsweges durch Setzstangen gewährleistet
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - Insgesamt gute und vitale Entwicklung der eingebrachten Setzstangen - Anfangsstadium (2012): Teilweise Schwächung einzelner Weiden durch pflanzliche Schmarotzer (Befall mit Pappel-Seide) - 2013: Pappel-Seide abgestorben, da nicht überstauungstolerant; Weiden konnten sich erholen; jedoch erneute Umwicklung der Weidentriebe durch Acker-Winde; 2014 keine schmarotzende oder windende Konkurrenzvegetation feststellbar - 2012/2013/2014: Initiierung von Gehölzbewuchs aus gebietsheimischen und standorttypischen Weiden auf Böschungsschulter in VF9, sowie auf der Steinschüttung in VF1; Weidensetzstangen ergänzen mit weiterer Lebensraumfunktion die von krautigem Spontanbewuchs dominierte Böschungsplanie in VF9, sowie die im ursprünglichen Zustand weitestgehend vegetationsfreie Steinschüttung (VF1) und erhöhen den Struktureichtum, weitere Strukturbereicherung durch die Ablagerung von Totholz und Treibsel an Setzstangen nach Hochwasserereignissen - Keine Aussagen zur Fischfauna möglich - Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos im Sommer 2013 und 2014 deuten darauf hin, dass die Strukturen des VF1 geeignet sind, um eine möglichst hohe Artenvielfalt zu unterstützen
Pflege/ Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - VF 9: Mahd im September 2012, Mai und Juli 2013 im Bereich der Setzstangen zwischen Böschung und Betriebsweg, um dem Konkurrenzdruck der hochwüchsigen Spontanvegetation und einer dadurch gehemmten Triebentwicklung der jungen Weiden entgegenzuwirken, keine Mahd im Böschungsbereich; 2014 keine weitere Mahd (Setzstangen durch vorangeschrittene Entwicklung konkurrenzstark) - Beobachtung hinsichtlich Fraßschädlingen und pflanzlichen Schmarotzern

	<p>(z. B. Pappel-Seide, Acker-Winde, Winden-Knöterich, Zaunwinde)</p> <ul style="list-style-type: none"> - Beobachtung und Beseitigung neophytischer Arten - VF 9: 2013 Absperrung der Abbruchkanten mit Bändern; 2013/14 Beobachtung der Ufererosion; 2014 mit Blick auf künftige Ufererosionen vorsorgliche Pflanzung einer weiteren Setzstangenreihe neben Betriebsweg; Entfernung einzelner Topinambur-Individuen mit Wurzel auf Böschungsplanie
Sanierungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich

Maßnahme M10: Einspülen von Oberboden-Alginat in die Steinschüttung und Ansaat durch Anspritzverfahren (VF6)

Einspülen von Oberboden-Alginat in die Steinschüttung und Ansaat durch Anspritzverfahren	
Uferstabilität	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Bei Überstau und Schifffahrtsbelastung oberflächen-nahe Erosion des Oberboden-Alginatgemisches und des Saatgutes bis zur Höhe des maximal aufgetretenen Wasserstandes; zusätzlicher Kieseinbau im unteren Böschungsbereich (bis ca. AZW + 1 m) nach ersten Erosionen des Oberboden-Alginats - 2013: Bei wiederholtem und höherem Überstau als 2012 weitere Erosion des Oberboden-Alginatgemisches, nur noch lokal in Steinschüttungen vorhanden – Auswirkungen nicht standsicherheitsrelevant - 2014: Alginat nur noch geringfügig und lokal im oberen Böschungsbereich (Übergang zur Böschungsplanie) vorhanden - Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - 2012: Initiierung einer Grasnarbe aus standorttypischen Gräsern und Kräutern nur in der Böschungszone oberhalb des maximal aufgetretenen Wasserstandes (Übergang zur Böschungsplanie) erfolgreich - Noch vorhandene Alginatreste im Lückensystem der Steinschüttung förderten Aufkommen von Spontanvegetation - Bereicherung der Artenvielfalt der Böschungsplanie - 2013: Verkleinerung der Grasnarbe durch weitergehende Erosion; ökologisch höherwertigerer Bereich zu kleinräumig, um als ökologische Aufwertung anzusehen - 2014: spärliche Grasnarbe, im Vgl. zu 2013 unverändert (nur noch lokal auf Alginatresten mit Gesamtdeckung von 15% vorhanden) - VF unterscheidet sich hinsichtlich der pflanzlichen Besiedlung nicht mehr wesentlich von Referenzstrecke; pflanzenökologische Zielstellung konnte nur sehr begrenzt erreicht werden - Fischfauna 2014: Frühjahr 28 Fische aus 3 Arten, Herbst 111 Fische aus 6 Arten, zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind keine Auswirkungen der Maßnahme auf die Fischfauna ersichtlich - Bisherige Untersuchungsergebnisse 2013 und 2014 lassen noch keine ökologische Bewertung zu
Pflege/ Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich - Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten
Sanierungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich

Maßnahme M11: Einzelpflanzung von Röhrichtbulten in die Steinschüttung (VF6)

Röhrichtbulte wurden unter den vorherrschenden Bedingungen erodiert, deshalb keine weitere Betrachtung der Maßnahme

Einzelpflanzung von Röhrichtbulten in Höhe AZW	
Uferstabilität	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Ausspülen der Pflanzbulte im Wasserwechselbereich infolge hydraulischer Belastungen infolge Schifffahrt und zeitweisem Überstau, kein ausreichender Halt in der Steinschüttung gegeben; jedoch keine Auswirkungen auf Uferschutz, da Röhrichtbulte ohne Uferschutzfunktion - Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - Vollständiger Austrag der Röhrichtbulte bereits im Jahr 2012 aus dem stark hydraulisch belasteten Bereich um AZW (Wellenauflaufbereich bei Mittelwasser), der häufig und z. T. mehrere Wochen hintereinander bei höheren Wasserständen überstaut war - Etablierung/Initiierung einer Röhrichtzone mit Einzelpflanzen im Wellenauflaufbereich um AZW fehlgeschlagen, ökologisches Ziel nicht erreicht
Pflege/ Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Pflege und Unterhaltung erforderlich
Sanierungs- maßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich

Maßnahme M12: Anlage eines Steinwalls parallel zur Uferlinie zur Reduzierung der Uferbelastung vor Wellenschlag (VF1 und VF8)

Anlage eines Steinwalls parallel zur Uferlinie zur Reduzierung der Uferbelastung vor Wellenschlag	
Uferstabilität	<ul style="list-style-type: none"> - 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 - Anfangsstadium (2012) und 2013/ 2014: Steinwälle im VF 1 und 8 stabil und technisch wirksam - Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012): Günstige Wirkung des Steinwalls auf die Entwicklung der Ufervegetation in VF1 und VF8, schlammige Ablagerungen auf Wasserbausteinen im Schutz des Steinwalls bieten Substrat und Nährsubstanz für die Besiedlung mit Spontanvegetation - Ansiedlung erster Arten der Laichkraut- und Röhrichtzone in VF1 - Flächenmäßige Zunahme des bereits vor Baumaßnahme vorhandenen kleinflächigen Röhrichtbewuchses und feuchter Hochstauden (VF8) - 2013: Weitere Schlammablagerungen auf Wasserbausteinen (VF1) und auf Pflaster (VF8) hinter dem Steinwall - 2 Pflanzenindividuen in VF 1, davon 1 Schwanenblume (Einstufung Rote Liste Hessen „gefährdet“) - Weitere positive Entwicklung des Röhrichtbewuchses in VF 8 - 2014: Zunahme an Individuen standorttypischer Uferpflanzen (Rohr-Glanzgras, Blutweiderich, Schwanenblume, Schwarzfrüchtiger Zweizahn, Ampfer-Knöterich, Ufer-Wolfstrapp) auf Schlammablagerungen in VF 1; Röhrichtzone mit Hochstauden feuchter Standorte und Arten kurzlebiger Schlammboden-Pionierfluren mit Gesamtdeckung von 40-50% in VF 8 - Anstieg des Arten- und Blühreichtums seit Umsetzung der Maßnahme - Auffällig hohe Tieraktivität (Insekten, Vögel) im VF 1 - Regelmäßige Beobachtungen von Jungfischschwärmen im VF1, Bereich hinter Steinwall im VF8 zur Zeit der Befischung 2013 trocken - Fischfauna 2014: VF1 Frühjahr 32 Fische aus 5 Arten, Herbst 365 Fische aus 6 Arten, Dominanz der Schwarzmundgrundel geringer, höherer Anteil von Referenzarten nach WRRL als in der Referenzstrecke; VF 8 Frühjahr 72 Fische aus 7 Arten, Herbst 164 Fische aus 7 Arten, - Für terrestrische Fauna noch keine eindeutigen Ergebnisse - Makrozoobenthosdiversität erhöht
Pflege/ Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich
Sanierungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich

Maßnahme M13: Einbau von Totholzstrukturen (Totholzstämmen mit Wurzelteller, Totholzfachinen, Ausfachungsbuhne) in die Steinschüttung (VF1, VF4, VF9)

Einbau von Totholzstrukturen (Totholzstämmen mit Wurzelteller, Totholzfachinen, Ausfachungsbuhne) in die Steinschüttung	
Uferstabilität	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012) und 2013: Totholzelemente bisher trotz mehrerer Hochwasserereignisse lagestabil in der Böschung verankert - 2014: Totholzfachinen in VF 4 in sich etwas gelockert (Schrumpfung, Verwitterung, Abgang von Einzellästen), jedoch nach wie vor lagestabil - Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - 2012/2013/2014: Anlagerung /Abtrag von erodiertem Feinsubstrat im Bereich der Reisigfachinen in VF4; Entstehung kleiner, flacher, kiesiger Uferbereiche zwischen den Fachinenbündeln, Erhöhung der Substratvielfalt auf der Steinböschung - 2012: Im Bereich der Totholzstämmen mit den Wurzeltellern und den Totholzfachinen deutlich höhere Individuenanteile von wertgebenden Fischarten nach WRRL als in den Referenzstrecken mit Steinschüttung - Fischfauna 2014: VF1 Frühjahr 32 Fische aus 5 Arten, Herbst 365 Fische aus 6 Arten, Dominanz der Schwarzmundgrundel geringer, höherer Anteil von Referenzarten nach WRRL als in der Referenzstrecke; VF4 Frühjahr 16 Fische aus 5 Arten, Herbst 44 Fische aus 6 Arten, Totholzfachinen wasserstandsbedingt im Herbst trocken; VF9 Frühjahr 95 Fische aus 3 Arten, Herbst 266 Fische aus 3 Arten, Ausfachungsbuhne noch ohne erkennbare Wirkung auf die Fische - Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos: 2013 und 2014 häufigeres Vorkommen von Prachtlibellen beobachtet
Pflege/ Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich
Sanierungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich

Maßnahme M14: Aufbringen von kiesigem Substrat / Grobstein-Gruppen auf vorhandene Steinschüttung (VF4)

Aufbringen von kiesigem Substrat / Grobstein-Gruppen auf vorhandene Steinschüttung	
Uferstabilität	<ul style="list-style-type: none"> - Anfangsstadium (2012)/2013/2014: In Abhängigkeit der Schifffahrtsbelastung und Überstauhöhen und -zeiten wechselnde lokale Erosion und Ablagerung von kiesigem Substrat; stabile Lage der großen Granit-Einzelsteine - Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - Erhöhung der Substratvariation der ursprünglich einheitlichen Steinschüttung (Wasserbausteine der Klasse LMB_{5/40}) - 2012/2013: Geringfügige pflanzliche Besiedlung mit Spontanvegetation, überwiegend im Strömungsschatten der Grobstein-Gruppen - 2014: Besiedelung mit Spontanvegetation beschränkt sich überwiegend auf den oberen Böschungsbereich (nur noch wenige Arten im unteren und mittleren Bereich); höchster Anteil an Substratvariation im oberen Böschungsbereich - keine Aussagen zur Fischfauna möglich - Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos zeigen noch keine eindeutigen Ergebnisse
Pflege/ Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Pflege und Unterhaltung: Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Eschen-Ahorn, Robinie)
Sanierungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich

Maßnahme M15: Rückbau der technischen Ufersicherung, kein Uferschutz oberhalb von AZW, begrenztes Zulassen freier Dynamik (VF9)

Rückbau der technischen Ufersicherung oberhalb AZW, begrenztes Zulassen freier Dynamik	
Uferstabilität	<ul style="list-style-type: none"> - 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 - Anfangsstadium (2012): Auftreten von Erosion im jeweils überstauten Bereich wie erwartet - 2013: Weitere Hochwasser, erstmals Einstau der gesamten Böschung und des angrenzenden Geländes, Wasserstände bis ca. 1 m über Böschungsoberkante; zunehmende Erosion besonders der feineren Körnungen; im Ergebnis dominieren im Böschungsbereich die aus dem Untergrund freigespülten Steine; Abbruchkanten an der Böschungsschulter, vereinzelte freigespülte Weidensetzstangen (diese aber noch mit Wurzelkontakt zum Boden), Materialtransport auch durch zurücklaufendes Hochwasser - 2014: aufgrund niedriger Wasserstände nur begrenzt weitere Erosionen bis auf Höhe der maximalen Wasserstandslinie (ca. Marke I \pm NN+88,56 m); vereinzelte 2013 bereits freigespülte Weidensetzstangen noch relativ stabil und vital - Bisher trotz Erosion keine kritischen Zustände hinsichtlich des Bestands des Betriebsweges; die freigespülten Steine stabilisieren die Uferböschung
Ökologie	<ul style="list-style-type: none"> - 2012/2013: Erhöhung des Substrat- und Struktureichtums durch Erosion bzw. Sedimentation und Ablagerung von Totholz/Treibsel nach Wasserstandsschwankungen und Hochwassern - Einleitung der pflanzlichen Besiedlung mit Spontanvegetation in weniger hydraulisch belasteten Böschungszonen (d.h. in höher gelegenen Bereichen), insb. von Hartholzauengehölz (Blutroter Hartriegel) - Förderung einer dynamischen Vegetationsentwicklung - 2014: weitere Ausdehnung des Hartholzauengehölzes aus freier Sukzession; natürliche Verjüngung von Weiden im Bereich einer unterstromigen, sandigen Auskolkung - Bisläng kein deutlich positiver Einfluss des durch die Erosion zunehmend flacher ausgebildeten Ufers auf die Fischfauna nachweisbar - Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos im Sommer 2013 und 2014 deuten darauf hin, dass die Strukturen des VF9 geeignet sind, um eine möglichst hohe Artenvielfalt zu unterstützen
Pflege/Unterhaltung	<ul style="list-style-type: none"> - Geringe Pflege und Unterhaltung: Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Topinambur, Eschen-Ahorn)
Sanierungsmaßnahmen	<ul style="list-style-type: none"> - Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich