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

Dritter Zwischenbericht
Monitoringergebnisse 2013
15.08.2014

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	10
4.	Monitoringergebnisse	12
4.1	Neue Uferschutzmaßnahmen nach Rückbau der Steinschüttung (Versuchsfelder 2, 3, 5, 7)	12
4.2	Ohne Uferschutzmaßnahmen nach Rückbau der Steinschüttung (Versuchsfeld 9)	20
4.3	Ökologische Aufwertungsmaßnahmen in der bestehenden Steinschüttung (Versuchsfelder 1, 4, 6, 8)	22
5.	Zusammenfassung und Ausblick	28
Literaturverzeichnis		31
Anlage: Maßnahmenblätter (Beurteilung der Einzelmaßnahmen)		33

An der Erstellung des Berichtes Beteiligte:

BEHRENDT, Katja	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Landschaftspflege, Vegetationskunde
FLEISCHER, Petra	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Referat Erdbau und Uferschutz (*Federführung*)
HANNIG, Marc	Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim, Sachbereich 3
DR. KLEINWÄCHTER, Meike	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Tierökologie
LIEBENSTEIN, Hubert	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Landschaftspflege, Vegetationskunde
DR. SOYEAUX, Renald	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Referat Erdbau und Uferschutz
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 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 vorliegende 3. Zwischenbericht, der auch Grundlage für die Berichterstattung an das BMVI ist, fasst kurz die wesentlichen Ereignisse und Untersuchungen für den Berichtszeitraum November 2012 bis Oktober 2013 zusammen und beschreibt die wichtigsten Ergebnisse des Monitorings. Ausführlich werden alle Ergebnisse in einzelnen Teilberichten zu den Schwerpunktthemen Wetter und Wasserstände, Standsicherheit und Unterhaltung, Vegetation und Fauna dokumentiert.

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

Der vorliegende 3. Zwischenbericht unterscheidet sich in der Berichtsform deutlich vom 2. Zwischenbericht. Der 2. Zwischenbericht beinhaltet sehr detailliert alle Ergebnisse des ersten Monitoringjahres (2012) sowie ausführliche Beschreibungen der durchgeführten Teiluntersuchungen als Grundlage für die nachfolgenden Berichte und weiteren Auswertungen. Er ist dadurch sehr umfangreich. Um dem Wunsch des BMVI und der Lenkungsgruppe nach einem Kurzbericht entgegenzukommen, wurde die Vorgehensweise für die jährliche Berichterstattung an das Ministerium geändert. Die Ergebnisse der zahlreichen Monitoringaktivitäten werden in einzelnen fachlichen Teilberichten dokumentiert. Zur schnelleren Übersicht über die wesentlichen Randbedingungen und die wichtigsten Ergebnisse aus dem Monitoringjahr wird der 3. Zwischenbericht als zusammenfassender Kurzbericht erstellt. Dieser ist für sich lesbar, bei vertieftem Interesse kann auf die Teilberichte zurückgegriffen werden, die auch im Internetportal veröffentlicht werden. Im vorliegenden 3. Zwischenbericht 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 die Untersuchungsjahre 2014 und 2015 beibehalten. Am Ende des mindestens bis 2016 laufenden Monitorings wird ein umfassender Gesamtbericht erstellt werden.

Inhaltlich schließt der vorliegende Bericht an den 2. Zwischenbericht vom 20.06.2013 (BAW, BfG, WSA MA, 2013) an. Insbesondere wurden die dort im Kap. 6 dargestellten Tabellen zur zusammenfassenden Bewertung der Einzelmaßnahmen im vorliegenden 3. Zwischenbericht fortgesetzt, aktualisiert und ergänzt (siehe Maßnahmenblätter in der Anlage).

Grundlage für die hier dargestellten Ergebnisse und Bewertungen sind einzelne Fachberichte zu folgenden Themen (http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/berichte/index.html):

- Teilbericht „Wetterdaten und Rheinwasserstände 11/2012 - 10/2013“ (BAW, 2014)
- Teilbericht „Vegetation 11/2012 - 10/2013“ (BfG, 2014a)
- Teilbericht „Standsicherheit und Unterhaltung 11/2012 - 10/2013“ (BAW, 2015)
- Bericht über Strömungsmessungen im Bereich der Versuchsstrecke (Schmid, 2014)
- Teilbericht „Fauna 11/2012 - 10/2013“ (BfG, 2014b)

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 2013 dokumentiert. Ausführliche Darstellungen finden sich im Teilbericht „Wetterdaten und Rheinwasserstände 11/2012 - 10/2013“ (BAW, 2014). Alle Vergleichswerte aus der Monitoringperiode 2012 sind im Supplement 1 (BAW, 2013) dokumentiert.

Temperatur

Bild 1 zeigt die Temperaturganglinien im Zeitraum 1.11.2012 - 31.10.2013.

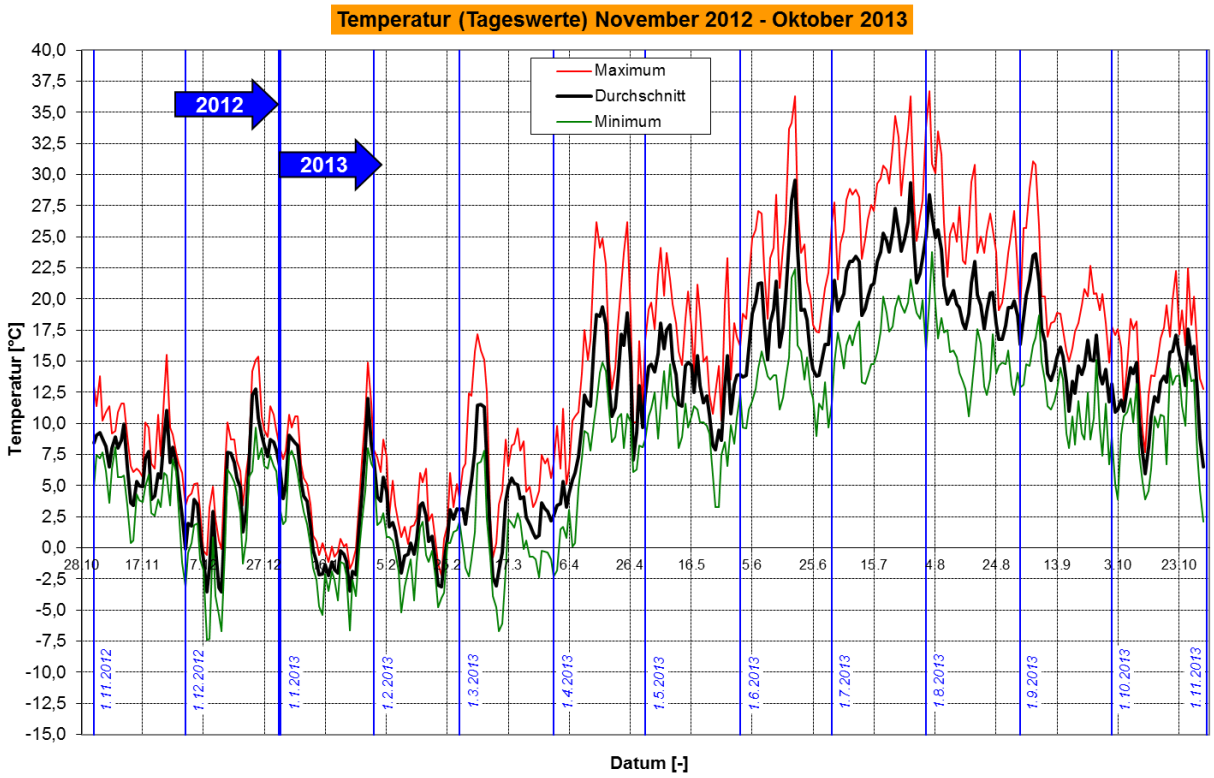

Bild 1: Ganglinien von täglichen Maxima, Mittelwerten und Minima der Temperatur an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum 1.11.2012 - 31.10.2013

Statistische Hauptkennzahlen (Werte in Klammern aus Monitoringperiode 2012):

Minimum	- 7,40 °C	[*- 14,20 °C*]	am 8. Dezember 2012 [*7. Feb. 2012*]
Mittelwert	11,18 °C	[*12,14 °C*]	mit Standardabweichung 7,91 °C [*7,37 °C*]
Maximum	36,70 °C	[*36,70 °C*]	am 2. August 2013 [*19. Aug. 2012*]

Mittelwerte für die phänologische Jahresteilung:

Winterhalbjahr	4,24 °C [*5,7 °C*]

Sommerhalbjahr 16,90 °C [*17,2 °C*]

Der Temperaturverlauf im Beobachtungszeitraum weist keine extremen Besonderheiten auf. Bemerkenswert ist, dass im Winter im Gegensatz zum Vorjahr kein extremer Frost aufgetreten ist, nur an sehr wenigen Tagen sank die Temperatur leicht unter 0° C.

Niederschlag

Bild 2 zeigt die Niederschlagsmonatswerte. Herausragend ist der Monat Mai als mit Abstand niederschlagsreichster Monat.

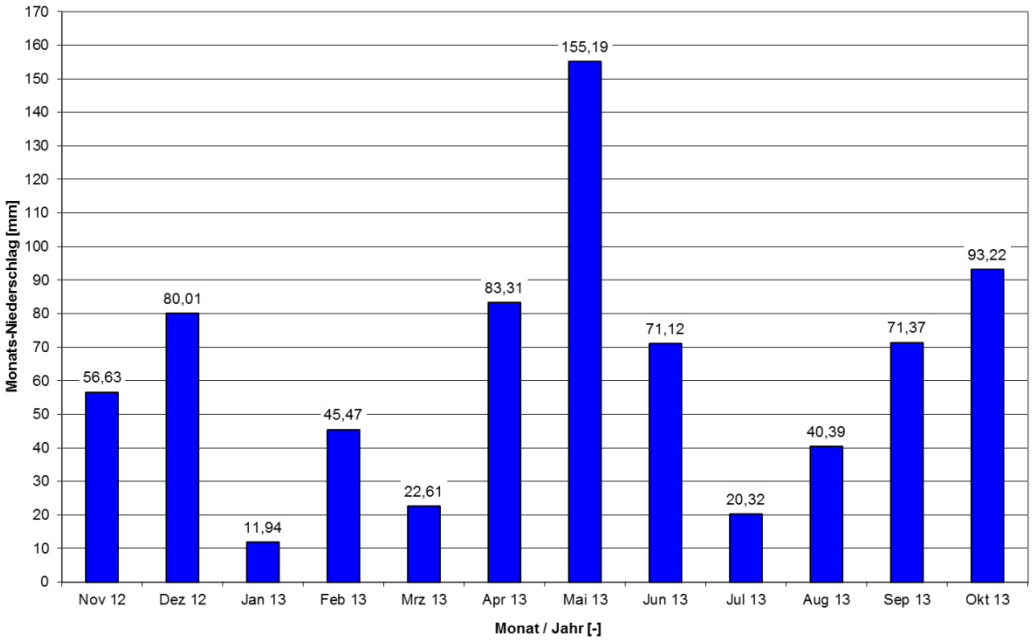

Bild 2: Histogramm der monatlichen Niederschlagsmengen an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum November 2012 - Oktober 2013; Hinweis: [mm] = [l/m2]

Statistische Hauptkennzahlen der Tageswerte (Werte in Klammern aus Monitoringperiode 2012):

Minimum 0,00 mm [*0,00 mm*]
Mittelwert 2,06 mm [*1,54 mm*] mit Standardabweichung 4,69 mm [*3,91 mm*]
Maximum 41,66 mm [*37,59 mm*] am 5. Oktober 2013 [*16. Aug. 2012*]

Mittel- und Maximalwerte der Tageswerte für die phänologische Jahresteilung:

Mittelwert im Winterhalbjahr 1,38 mm [*1,1 mm*]
Maximum im Winterhalbjahr 16,00 mm [*36,1 mm*]
Mittelwert im Sommerhalbjahr 2,66 mm [*2,1 mm*]
Maximum im Sommerhalbjahr 41,66 mm [*37,6 mm*]

Sonnenscheindauer

Statistische Hauptkennzahlen (Werte in Klammern aus Monitoringperiode 2012):

Minimum	0,00 h [*0,00 h*]	(entspr. völliger Wolkenbedeckung den ganzen Tag) mehrmals in den Monaten Nov. 2012 bis Apr. 2013 [*Nov. 2011 bis Jan. 2012, März u. Okt. 2012*]
Mittelwert	6,54 h [*6,87 h*]	mit Standardabweichung 4,25 h [*3,86 h*]
Maximum	13,47 h [*13,25 h*]	am 16. Juni 2013 [*29. Mai 2012*]

Mittelwerte für die phänologische Jahresteilung:

Winterhalbjahr	3,29 h [*3,7 h*]
Sommerhalbjahr	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 Trockenperioden trat in der Monitoringperiode 2013 eine mit etwa 8 Wochen sehr lange, ausgeprägte Trockenperiode in den Monaten Juli bis August auf. Diese stellte besonders deshalb eine hohe Belastung der Vegetation in den Sommermonaten dar, weil sie unmittelbar an eine sehr lange Einstauphase der Ufersicherungen anschloss (siehe Wasserstände).

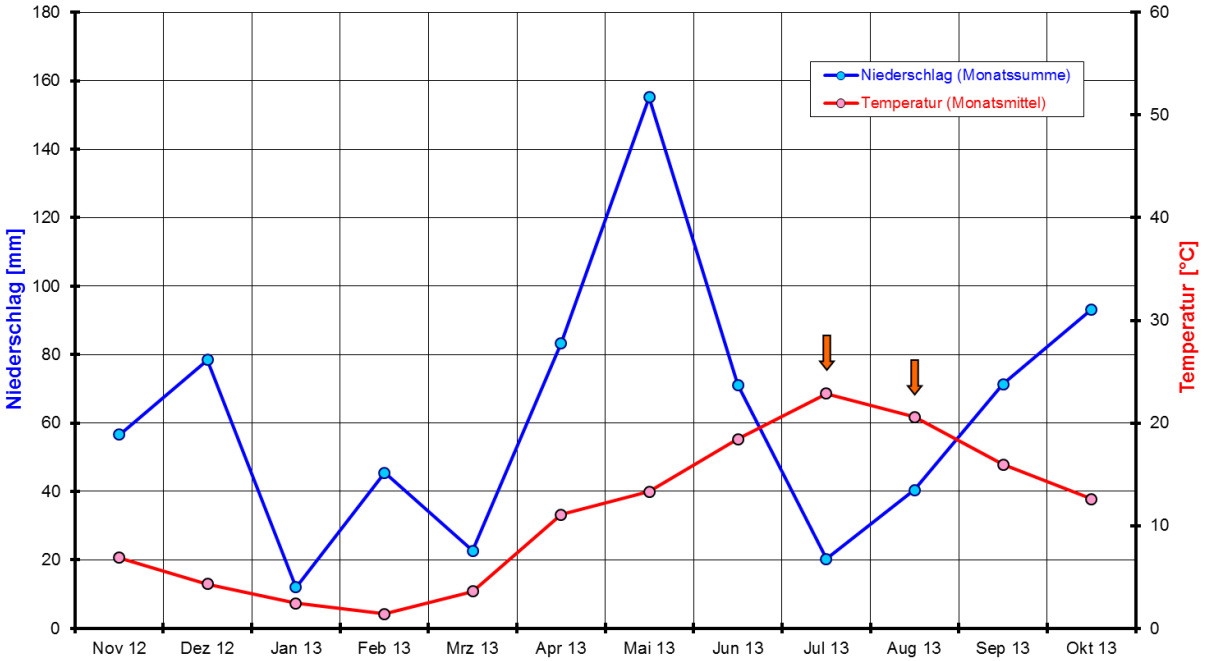

Bild 3: Klimadiagramm für Nov. 2012 - Okt. 2013 nach Walter u. Lieth (1967) für Niederschlag (Monatssumme) und Temperatur (Monatsmittel); Trockenperioden in d⇩n mit gekennzeichneten Monaten

Wasserstände

Bild 4 zeigt die Ganglinie des Rheins (Tagesmittelwerte) am Pegel Worms im Beobachtungszeitraum vom 1.11.2012 bis 31.10.2013, Bild 5 eine Häufigkeitsverteilung der gemessenen Tagesmittelwerte.

Statistische Hauptkennzahlen (Werte in Klammern aus Monitoringperiode 2012):

Minimum	85,10 NN+m	[*84,43 NN+m*]
Mittelwert	86,81 NN+m	[*86,09 NN+m*]
Maximum	91,14 NN+m	[*88,85 NN+m*]
Median	86,56 NN+m	[*85,95 NN+m*]
Standardabweichung	1,103 m	[*0,878 m*]

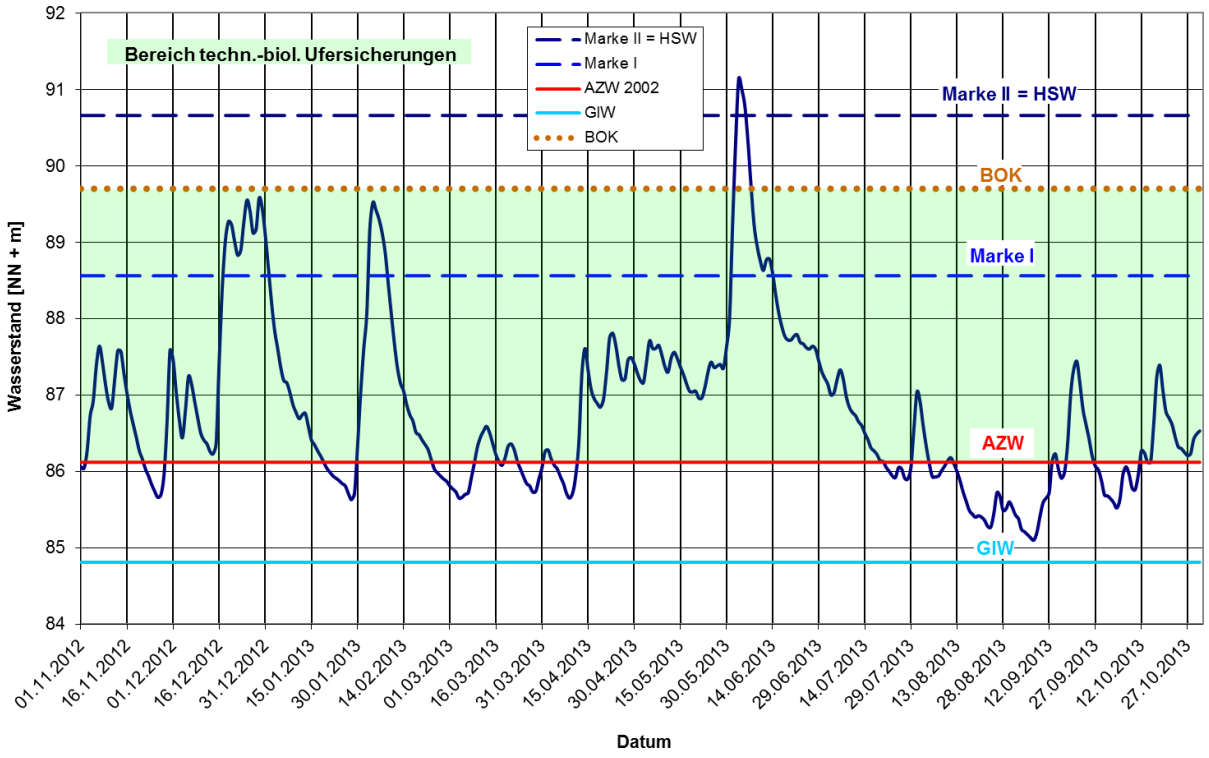

Bild 4: Ganglinie der Tagesmittelwerte der Wasserstände am Pegel Worms für den Zeitraum 1.11.2012 bis 31.10.2013

Im Vergleich zur Monitoringperiode 2012 sind 2013 wesentlich mehr und auch höhere Hochwasser aufgetreten. Erstmals traten Wasserstände auf, die Anfang Juni die gesamten neuen Ufersicherungsmaßnahmen und 6 Tage lang auch das angrenzende Gelände überstauten (Bild 6). Bemerkenswert ist auch der permanente Einstau des unteren Böschungsbereiches bis etwa AZW + 1,50 m über ca. 10 Wochen im Frühling von Mitte April bis Ende Juni - für die Pflanzen in diesem Bereich eine hohe Belastung, zumal sich unmittelbar danach eine ausgeprägte Trockenzeit einstellte (siehe Klimadiagramm).

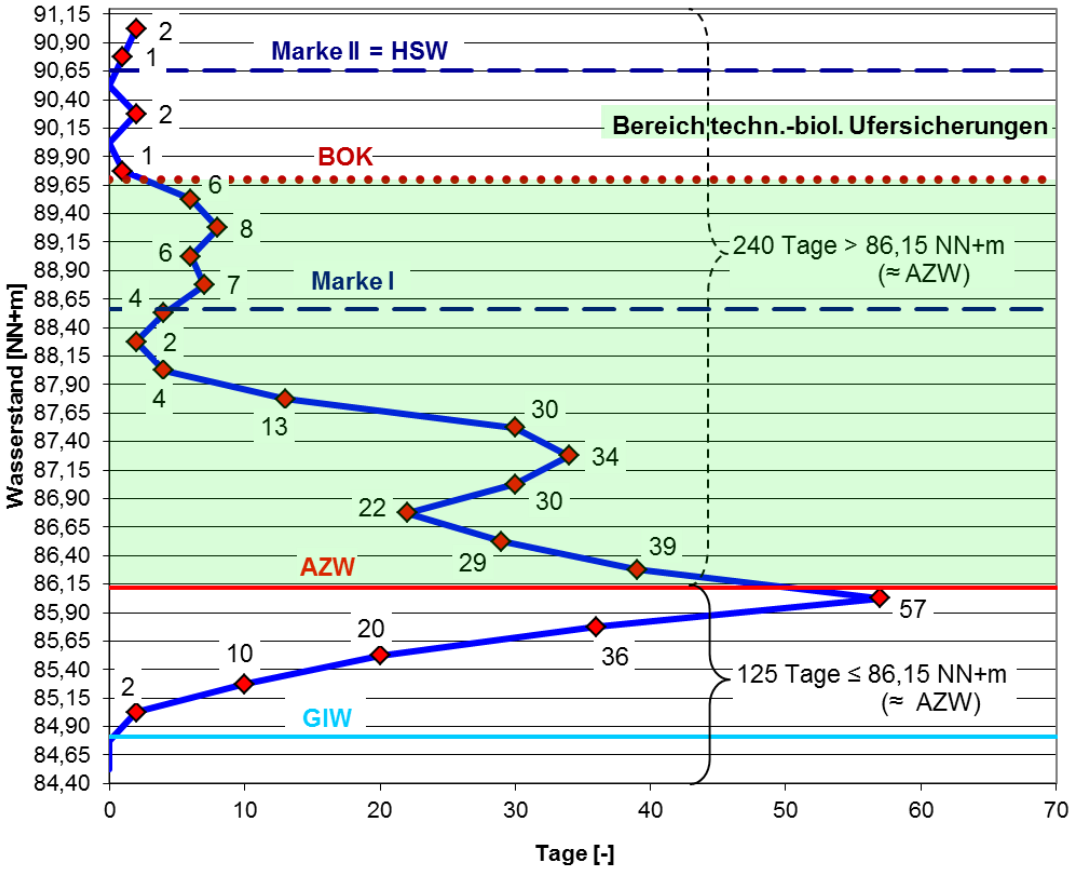

Bild 5: Verteilung der Häufigkeit in Tagen (◆) der Wasserstände am Pegel Worms im Zeitraum 1.11.2012 bis 31.10.2013

Bild 6: Wasserstand am Pegel Worms (6,8 m) am 4.6.2013, Einstau der gesamten neuen Ufersicherungsmaßnahmen

3.2 Durchgeführte Teiluntersuchungen

Im Rahmen des Monitoring wurden zwischen November 2012 und Oktober 2013 folgende Teiluntersuchungen durchgeführt:

Tab. 1: Durchgeführte Teiluntersuchungen in der Monitoringperiode 2013

Untersuchungen	**Zeitraum**	**Ziel/ Inhalte**
Laufende Uferinspektionen (WSA, BAW, BfG)	1.11.12 bis 31.10.13	Erfassung und Dokumentation des Zustandes der neuen Ufersicherungen und Beurteilung der Uferstabilität
Fotoaufnahmen (BAW)	31.10.12 6.3.13 22.7.13	Panorama-Fotoaufnahmen vom gegenüber liegenden Ufer zur Dokumentation der zeitlichen Entwicklung der neuen Ufersicherungsmaßnahmen
Messung der Strömungsgeschwindigkeiten bei HW (BAW, WSA) (Auswertung durch Ingenieurbüro Schmid im Auftrag der BAW)	6./ 11. 6.13	Ermittlung der Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der neuen Ufersicherungen in den Versuchsfeldern VF 1 bis VF 9 bei Hochwasser; Darstellung lotrechter Geschwindigkeitsprofile in 3 verschiedenen Abständen vom Ufer in 28 Querprofilen; Quantifizierung der hydraulischen Belastungen der neuen Ufersicherungen
Vegetationskartierung (BfG)	26.-30.8.13*)	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-/Totholz-ansammlung); Untersuchung der eingebauten Pflanzen auf Vitalität und Wuchsleistung
Elektrobefischung (BfG)	25.6.13 1.10.12	Dokumentation der Fischfauna pro VF
Makrozoobenthos (Björnsen Beratende Ingenieure GmbH im Auftrag der BfG)	10.- 11.7.13 16.7.13	Probenahme zur Besiedlung der VF
Laufkäfer- und Spinnen (Björnsen Beratende Ingenieure GmbH im Auftrag der BfG)	02.-13.09.13 08.-23.10.13	Probenahme zur Besiedlung der VF
Reptilien (Björnsen Beratende Ingenieure GmbH im Auftrag der BfG)	21.07.13 06.08.13 12.08.13 23.08.13 13.09.13 24.09.13	Dokumentation der Aktivitäten

**) Das vegetationskundliche Monitoring beinhaltet generell zwei Bestandserhebungen der Vegetation pro Jahr (Frühsommer/Herbst). Aufgrund der im Frühsommer (Mai/Juni/Anfang Juli) durchgehend hohen Wasserstände und des Hochwasserereignisses im Juni konnte im Untersuchungszeitraum nur eine Bestandserhebung durchgeführt werden.*

Die Ergebnisse der Untersuchungen sind in Teilberichten dokumentiert und ausgewertet. Sie sind Grundlage für die Bewertung der einzelnen Ufersicherungsmaßnahmen entsprechend der zusammenfassenden Darstellungen in Kapitel 4 sowie in den Maßnahmenblättern (Anlage).

4. Monitoringergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse für den Untersuchungszeitraum November 2012 bis Oktober 2013 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, Gehölzrückschnitt und Neophytenbekämpfung wurden durch das WSA Mannheim durchgeführt und monetär erfasst (Teilberichte „Standsicherheit und Unterhaltung 11/2012 - 10/2013“ (BAW, 2015) und „Vegetation 11/2012 - 10/2013“ (BfG, 2014a)). Auch die Sanierungsarbeiten in den Versuchsfeldern 5 und 7 (Kap. 4.1) wurden vom WSA in Abstimmung mit BAW und BfG ausgeführt.

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. Zwischenbericht.

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

<u>Versuchsfelder 2 und 3</u>: M1 Weidenspreitlagen

Die in den Versuchsfeldern 2 (diagonal) und 3 (quer) eingebauten Weidenspreitlagen haben sich auch im 2. Jahr nach Fertigstellung weiter gut entwickelt (Bild 7). 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 eingedämmt werden. Lokal wurden inzwischen auch Materialablagerungen auf der Böschung zwischen den hoch gewachsenen Weidentrieben beobachtet.

Trieblängen bis zu 3 m und Deckungsgrade bis 90 % (insbesondere im wuchskräftigsten mittleren Böschungsbereich) wurden bis Oktober 2013 in beiden Versuchsfeldern erreicht.

Allerdings ist nach wie vor zu beobachten, dass sich der hydraulisch am meisten belastete untere Böschungsbereich (von AZW bis etwa AZW + 1 m) schlechter entwickelt hat als die darüber liegenden Bereiche. Besonders der lange Einstau dieses Bereiches im Frühjahr 2013 (ca. 10 Wochen ohne Unterbrechung) mit gleichzeitiger Wellen- und Strömungsbelastung aus Schifffahrt hat dazu geführt, dass die Deckungsgrade hier wesentlich geringer und die Weidentriebe weniger vital und kürzer sind (Bild 8). Bereits im November 2012 konnte mittels Aufgrabung im unteren Böschungsbereich bis in eine Tiefe von ca. 60 cm eine gute Wurzelentwicklung nachgewiesen werden. Die Wurzeln erhöhen die Scherfestigkeit des anstehenden Bodens und tragen dementsprechend mit fortschreitendem Wachstum zunehmend zur Gewährleistung der Böschungsstandsicherheit bei. Das oberflächennahe Geflecht aus überwiegend feinen Wurzeln, das langfristig als Filter und Erosionsschutz wirken kann, hat sich weiter entwickelt.

Die im Sommer 2013 sehr hohen Wasserstände, die erstmals zum kurzzeitigen Überfluten des angrenzenden Geländes führten, konnten von den Weidenspreitlagen gut vertragen werden. Die Pappelseide, die 2012 die Vitalität der Weiden beeinträchtigt hatte, wurde durch die häufigen Überflutungen zurückgedrängt.

Insgesamt konnten die Weidenspreitlagen die bisherigen hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt, Hochwasser und häufigem Überstau (BAW, 2015) gut aufnehmen und den Uferschutz ausreichend gewährleisten. Eine weitere Beobachtung der Entwicklung insbesondere des unteren Böschungsbereiches ist notwendig und erfolgt im Rahmen des Monitoring.

Bild 7: VF 3 am 16.7.2013 nach langem Überstau im Frühjahr

Bild 8: VF 2 am 26.8.2013 - unterer Bereich mit deutlich weniger entwickelten Trieben

Für die Fischfauna ist die Maßnahme nur bei höheren Wasserständen wirksam. Diese waren im Frühjahr 2013 über einen längeren Zeitraum gegeben. Dennoch konnten im Vergleich zur

Referenzstrecke keine wesentlichen Unterschiede in der Zusammensetzung des erfassten Fischartenspektrums nachgewiesen werden. Aktuell ist der Einfluss der einwandernden Schwarzmundgrundel überprägend. Sie stellt allgemein die dominante Art in allen Bereichen dar (Teilbericht „Fauna 11/2012 - 10/2013“ (BfG, 2014b)).

Die Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos werden seit dem Sommer 2013 durchgeführt, die Auswertungen werden im Herbst 2014 vorliegen.

Aus ökologischer Sicht bieten die Versuchsfelder, im Vergleich zur Referenzstrecke, durch die gute und flächige Entwicklung der Weidenspreitlagen einen Bereich mit standorttypischem Weidengehölz. Bislang dominieren Strauchweiden (Purpur-Weide), die von einem größeren Anteil von Baumweiden (Silber-Weiden) durchsetzt sind. Die Gehölze schaffen Strukturreichtum im Uferbereich – dieser fehlte größtenteils auf der vor der Baumaßnahme pflanzlich wenig besiedelten Steinschüttung. Der Strukturreichtum wurde bisher durch Ablagerungen von Totholz und Treibsel sowie eine hohe Streuschicht der Weiden ergänzt.

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 ihres Flächengewichtes in der kritischen Anfangszeit zunächst gut entwickeln. 2013 wurden sie insbesondere durch den langen ununterbrochenen Überstau fast des gesamten Röhrichtgabionenfeldes im Frühjahr vom 15. April bis Ende Juni und gleichzeitigen Einwirkungen infolge Schifffahrt stark belastet. Zusätzlich negativ hat sich die unmittelbar danach anschließende ausgeprägte Trockenperiode bis Ende August ausgewirkt. Nicht alle Pflanzenarten konnten diesen Belastungen standhalten. Besonders die Röhrichtgabionen der Pflanzzone 1 im unteren Böschungsbereich weisen wechselnde Teilflächen mit Bewuchs und Bewuchsausfall auf. Während sich die dominant gepflanzten Seggen überwiegend gut halten konnten und noch Deckungen bis 25 % aufwiesen (Bild 9), fielen die dominant gepflanzten Arten Rohr-Glanzgras und Weißes Straußgras überwiegend aus. Pflanzzone 2, die insgesamt weniger häufig überstaut war, wies einen dichteren Bewuchs auf. Die Gesamtdeckung betrug ca. 60 %. Während die dominant gepflanzte Art Rohr-Schwingel die gleichen Deckungen wie im Herbst 2012 erreichte, nahm die Deckung des Rohr-Glanzgrases in 2013 um etwa die Hälfte ab. Von den ursprünglich gepflanzten Beiarten konnten nur noch wenige Individuen mit geringer Deckung ermittelt werden.

Die Röhrichtgabionen weisen derzeit keinen zufriedenstellenden Bewuchs auf. Aufgrund der hohen Ausfälle von Pflanzen sind große Teilbereiche der Gabionen nicht mehr bewurzelt. Es sind lokal Materialschäden an den Gabionen zu beobachten, die sich künftig ohne einen schützenden Bewuchs und dessen Wurzelgeflecht vergrößern können. Das Kokosgewebe

im Innenbereich der Gabionen ist durch die hydraulischen Belastungen örtlich zum Teil zerstört worden, so dass hier innenliegender Boden und Kies ausgespült wurden (Bild 10).

Die Uferstabilität wird durch das Eigengewicht und den erosions- und filterstabilen Aufbau der Gabionen in sich und zum Untergrund erreicht (BAW, 2015). Zunehmende Wurzelbildung führt langfristig zu einer Verwurzelung mit dem darunter liegenden Untergrund. Trotz des lokalen Pflanzenausfalls und der beobachteten lokalen Schäden ist die Uferstabilität gegenwärtig gegeben. Der Zustand der Gabionen und die weitere Entwicklung der Pflanzen – ggf. Ausbreitung von Seggen und Rohr-Schwingel oder auch spontane Neuansiedlungen – müssen jetzt weiter beobachtet werden. Eine beginnende leichte Regeneration konnte bereits festgestellt werden.

Bild 9: Röhrichtgabionen (VF 5a) nach andauerndem Überstau (15.7.2013)

Bild 10: Lokale Schäden an den Gabionen im VF 5a (15.7.2013)

Die in VF 5a an die Röhrichtgabionen anschließenden Steinmatratzen ohne Pflanzmatten (oberer Böschungsbereich) waren mehreren kurzen Überstauperioden ausgesetzt. Sie konnten die Belastungen ohne Schäden aufnehmen. Die natürliche Sukzession brachte überwiegend ruderale und Stickstoff liebende Pflanzenarten hervor, die im Untersuchungszeitraum im noch übererdeten Bereich eine Gesamtdeckung von ca. 90 % erreichten, während die Deckung im freigespülten Bereich ca. 50 % betrug.

Die unteren Bereiche des Versuchsfeldes 5b mit eingebauten Steinmatratzen und darauf befestigten Pflanzmatten waren, analog zum Bereich mit Röhrichtgabionen (VF 5a), ebenfalls dem langen Überstau bei gleichzeitiger Schifffahrtsbelastung ausgesetzt. Bereits im Juni 2012 waren ca. 95 % der vorkultivierten Pflanzen in den Pflanzmatten ausgefallen (Bild 11). 2013 verschlechterte sich der Zustand weiter, weshalb die Reste der Pflanzmatten im Spätsommer 2013 vom Außenbezirk entfernt wurden (Bild 12). Mögliche Gründe für das Scheitern der Teilmaßnahme wurden bereits im 2. Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA MA, 2013) diskutiert. Die Hauptursache wird darin gesehen, dass durch die punktuellen und linienförmigen Befestigungen der für das Wurzelwachstum erforderliche beständige flächige Verbund

der Matten mit den darunter liegenden Steinmatratzen nicht erreicht werden konnte. Wellenbelastung bei Überstau führte zu Druckwechseln („Pumpeffekte“), die die Trägermatten hoben und senkten und Wurzeln immer wieder abrissen (BAW, 2015). Auch das Kokosgewebe in den Matten wurde nach und nach durch die hydraulische Belastung zerstört (Bild 11).

Bild 11: Pflanzmatten auf Steinmatratzen (VF 5b) nach Hochwasserereignissen (15.7.2013)

Bild 12: Steinmatratzen (VF 5b) nach Rückbau der Pflanzmatten (4.10.2013)

Die unter den Pflanzmatten ebenfalls auf einem Kornfilter verlegten Steinmatratzen gewährleisten durch ihr Eigengewicht und den erosions- und filterstabilen Aufbau in sich und zum Untergrund nach wie vor die Uferstandsicherheit. Eine ökologische Aufwertung wird jetzt durch natürliche Sukzession direkt auf den Steinmatratzen erwartet. Diese setzte im Untersuchungszeitraum bereits geringfügig ein. Eine weitere Beobachtung ist erforderlich und erfolgt im Rahmen des Monitoring.

Für die Fischfauna ist die Maßnahme nur bei höheren Wasserständen wirksam. Diese waren im Frühjahr 2013 über einen längeren Zeitraum gegeben. Dennoch konnten im Vergleich zur Referenzstrecke keine wesentlichen Unterschiede in der Zusammensetzung des erfassten Fischartenspektrums nachgewiesen werden. Aktuell ist der Einfluss der einwandernden Schwarzmundgrundel überprägend. Sie stellt allgemein die dominante Art in allen Bereichen dar.

Die Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos werden seit dem Sommer 2013 durchgeführt, die Auswertungen werden im Herbst 2014 vorliegen.

Aus ökologischer Sicht muss die positive Entwicklung der Röhrichtgabionen vom Berichtszeitraum 2012 relativiert werden. Während sich v. a. Pflanzzone 1 2012 zu einer artenreichen und kräftig wüchsigen Röhrichtzone mit Hochstauden feuchter Standorte entwickelte,

wies diese Zone 2013 viele Bereiche mit Bewuchsausfall auf. Nur die Seggen konnten sich nach den häufigen Hochwasserereignissen und langen Überstauzeiten halten und weiterentwickeln. Die anfängliche Artenvielfalt ist also stark zurückgegangen, und auch in Pflanzzone 2 waren Verluste zu verzeichnen. Aus ökologischer Sicht bleibt weiterhin abzuwarten, ob sich der Bewuchs der Röhrichtgabionen künftig in Abhängigkeit der Wasserstandsentwicklung und Witterung erholen wird.

Auf den Steinmatratzen, die in den Versuchsfeldern 5a und 5b im oberen Böschungsbereich ohne Pflanzmatten angeordnet wurden, fand eine schnelle und bis zum Herbst 2013 großflächige Besiedlung mit einer krautigen Spontanvegetation statt. Insgesamt hat sich hier aufgrund der unterschiedlichen Substratabdeckung ein sehr arten- und strukturreicher Bewuchs entwickelt. Der Strukturreichtum und die Lebensraumfunktion des VF 5 werden zusätzlich durch den schmalen Heckenstreifen an der Böschungsoberkante erhöht.

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

Pflanzmatten auf Geotextilien 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.

Auch im Versuchsfeld 7 zeigten sich 2013 deutlich die Auswirkungen des ca. 10-wöchigen ununterbrochenen Einstaus der Pflanzen bis AZW + 1,50 m im Frühjahr von Mitte April bis Ende Juni 2013 und der sich unmittelbar anschließenden Trockenperiode bis Ende August. Die Pflanzmatten auf Schafwollvlies bzw. Kunststoffvlies im unteren Böschungsbereich (bis AZW + 1,70 m) hatten sich bereits in der kritischen Anfangsphase nicht gut entwickeln können. Die schon beim Einbau eher schlecht entwickelten Pflanzen konnten unter den vorherrschenden hydraulischen Belastungen keine ausreichenden Wurzeln bilden, die zu dem notwendigen Verbund mit dem Untergrund führen. Ähnlich wie bei den Pflanzmatten auf den Steinmatratzen (VF 5b) führten auch hier Auftrieb, Wellen- und Strömungsbelastungen bei Überstau zu Druckwechseln („Pumpeffekte“), die die Trägermatten permanent heben und senken und dadurch Wurzeln immer wieder abreißen lassen (BAW, 2015). Der erforderliche dauerhafte flächige Kontakt zwischen Pflanzmatten und Untergrund konnte nicht erreicht werden. Die Befestigungen - Pflöcke und Querriegel - wurden zum Teil immer wieder herauszogen. Pflanzen und Wurzeln konnten sich dementsprechend nicht, wie gewünscht, entwickeln und gingen zum großen Teil ein bzw. wurden ausgespült. Diese Entwicklung hat sich insbesondere unter dem langen Einstau 2013 fortgesetzt und zu weiteren Schäden geführt. Das Kokosträgergewebe der Pflanzmatten ohne stabilisierende Pflanzen wurde unter der hydraulischen Belastung zunehmend zerstört.

Im Gegensatz zu den Schafwollmatten, die sich bereits im ersten Jahr nach Einbau in Auflösung befanden, konnten die Kunststoffvliese immer noch einen gewissen Schutz bieten. Nach den häufigen und zum Teil sehr langen Überstauereignissen hatte sich der Zustand 2013 allerdings soweit verschlechtert, dass der Uferschutz durch die Pflanzmatten auf Geotextilien im unteren Böschungsbereich nicht mehr gewährleistet werden konnte (Bild 13). Zunehmende Bodenumlagerungen unter den Kunststoffvliesen und zunehmender Materialaustrag in den Bereichen mit aufgelöstem Schafwollvlies machten eine generelle Sanierung erforderlich (BAW, 2015). Im August 2013 wurden deshalb die in Teilen bereits 2012 begonnenen Sanierungsmaßnahmen ausgedehnt. Im Ergebnis ist der gesamte Uferbereich im VF 7 unterhalb AZW + 1,70 m mit Wasserbausteinen überschüttet, so dass der Uferschutz durch die Steinschüttung gewährleistet wird (Bild 14). Aktuelle Beobachtungen zeigen, dass vereinzelt noch Arten der ursprünglichen Pflanzmatten zwischen den Wasserbausteinen, die durch flächige Auflast einen guten Bodenkontakt der Reste der Pflanzmatten ermöglichen, aufkommen können. Die Entwicklung wird weiter beobachtet.

Bild 13: Zustand nach 10-wöchigem Dauereinstau (15.7.2013)

Bild 14: Zustand nach Sanierung (7.10.2013)

Die Röhrichtwalzen, die im Bereich um AZW eingebaut worden waren und sich bereits 2012 nicht bewährt hatten, wurden im Zuge der Sanierungsmaßnahmen ebenfalls mit Wasserbausteinen überschüttet und konnten deshalb nicht weiter untersucht werden.

Der obere Böschungsbereich (oberhalb AZW + 1,70 m) war auch 2013 durch mehrere kurzzeitige Hochwasser, einmalig auch bis über die Geländeoberkante, belastet, allerdings ohne wochenlang andauernden Überstau wie im unteren Bereich. Die in den VF 7b und 7c eingebauten Pflanzmatten auf Kokosmatten konnten sich hier nach anfänglichen lokalen Ausbesserungsarbeiten weiter gut entwickeln. Wichtig waren dabei die parallel zur Uferlinie verlaufenden Querriegel als Befestigungen, da sie hangabwärts gerichtete Materialbewegungen begrenzen konnten. Die Pflanzmatten waren im August 2013 vollflächig und dicht bewachsen. Neben den gepflanzten Arten Rohr-Glanzgras, Weidelgras, Seggen, Ufer-Wolfstrapp

und Blut-Weiderich (letztere mit geringeren Deckungsgraden) erreichten vor allem der als Hauptart gepflanzte Rohr-Schwingel und die über die Grünlandsaat eingebrachte Quecke Deckungsgrade bis 75 %. Spontan kamen vereinzelt überwiegend Stickstoffzeiger auf (Teilbericht „Vegetation 11/2012 - 10/2013“ (BfG, 2014a)).

Die im Versuchsfeld 7a im oberen Böschungsbereich angeordneten Kokosmatten über einer Nassansaat haben bereits in der kritischen Anfangsphase 2012 nach ersten kurzen Überstauereignissen umfangreiche Sanierungsmaßnahmen (Einbau von Rasensoden und Querriegeln, zusätzliche Nassansaat) erfordert. Aufgrund der hier im Vergleich zu den anderen Bereichen im VF 7 zunächst nur punktuellen Befestigungen der Kokosmatten und der fehlenden Filterstabilität traten bei Überstau und hydraulischer Belastung infolge Schifffahrt in größerem Umfang Materialumlagerungen und damit Böschungsverformungen auf (Bild 15). Nach der Sanierung konnte sich dieser Bereich aufgrund des nur seltenen Einstaus stabilisieren. Auch hier konnte sich wie in den VF 7b und 7c ein dichter, fast vollflächiger Bewuchs aus Gräsern und Kräutern entwickeln. Dabei konnten sich Arten wie Rohr-Schwingel, Quecke, Weidelgras, Seggen, Honiggras als standorttypische Arten durchsetzen und erreichten mit spontan eingewanderten Arten eine Gesamtdeckung zwischen 70 – 90 % (Bild 16).

Bild 15: Böschungsverformungen nach Überstau im VF 7a oben (22.3.2012)

Bild 16: Vegetationsentwicklung nach Sanierung im VF 7a oben (4.10.2013)

Zum Versuchsfeld 7 kann bereits ein erstes Ergebnis formuliert werden: Pflanzmatten auf Geotextil mit punktuellen und linienförmigen Befestigungen sind an Wasserstraßen mit großen Wasserspiegelschwankungen und gleichzeitiger Belastung infolge Schifffahrt (in der Größenordnung wie hier am Rhein) in den unteren, häufig und lang eingestauten Bereichen der Uferböschung als nicht geeignet anzusehen. Schafwollvliese, wie sie hier verwendet wurden, sind ebenfalls nicht für Anwendungen in diesen Bereichen geeignet, da sie sich unter diesen Bedingungen zu schnell zersetzen.

Aus pflanzenökologischer Sicht kann festgestellt werden, dass sich die Pflanzmatten im oberen, weniger häufig eingestauten Bereich der Böschung im Jahr 2013 positiv weiterentwickelt haben. Die Arten aus der Pflanzung wurden konkurrenzstark und bauen nun einen standorttypischen Vegetationsbestand mit guter Artendurchmischung auf. Auch wenn das ökologische Ziel, eine standortgerechte Ufervegetation zu initiieren, im unteren Böschungsabschnitt dieses Versuchsfeldes nicht erreicht werden konnte, leistet der verbliebene Teilbereich bisher dennoch einen Beitrag zur ökologischen Aufwertung im Vergleich zur rein konventionellen und wenig bewachsenen Steinschüttung der beiden Referenzstrecken.

Für die Fischfauna ist die Maßnahme nur bei höheren Wasserständen wirksam. Diese waren im Frühjahr 2013 über einen längeren Zeitraum gegeben. Dennoch konnten im Vergleich zur Referenzstrecke keine wesentlichen Unterschiede in der Zusammensetzung des erfassten Fischartenspektrums nachgewiesen werden. Aktuell ist der Einfluss der einwandernden Schwarzmundgrundel überprägend. Sie stellt allgemein die dominante Art in allen Bereichen dar.

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 weiterhin ohne Böschungsschutzmaßnahmen. Die zweireihig auf der Böschungsschulter eingebrachten Weidensetzstangen sollen der Begrenzung der Erosion zum Schutz des Betriebsweges dienen. Die 2013 aufgetretenen Hochwasserereignisse mit Wasserständen, erstmals auch bis über das angrenzende Gelände, haben bei gleichzeitiger Schifffahrtsbelastung weiter zu Erosionen im Böschungsbereich geführt. Feinere Bestandteile in Sand- und zum Teil Kieskorngröße wurden besonders in den häufig und lange eingestauten Bereichen weiter erodiert, so dass im Erscheinungsbild die aus dem Untergrund freigespülten Steine überwiegen (Bild 17). Aufgrund der erstmals über die Geländeoberkante hinausgehenden Wasserstände traten Erosionen auch im Bereich der Böschungsschulter auf, die dazu führten, dass einzelne Setzstangen der ufernahen Weidenreihe teilweise frei gespült wurden. Sie blieben aber dennoch mit ihren Wurzeln im Boden verankert und zeigten kaum Vitalitätseinbußen. Hierbei spielte lokal auch das vom angrenzenden Gelände zurücklaufende Hochwasser eine Rolle. Die Abbruchkante reicht bis fast an das Kilometerschild heran (Bild 18).

Ausgeprägte Erosionen sind weiterhin am unterstromigen Ende des Versuchsfeldes zu beobachten, da es bei Hochwasser vor der Ausfachungsbuhne zu lokalen Verwirbelungen kommt.

Bild 17: Zustand nach langem Überstau (15.7.2013)

Bild 18: Erosion an der Böschungsschulter

Nach dem Junihochwasser 2013 setzte eine erneute Vegetationsentwicklung vor allem in den oberen Böschungsbereichen ein (Bild 18). Es konnten insgesamt 45 Pflanzenarten ermittelt werden, hauptsächlich Ackerwinde, Quecke, Kratzbeere, Blutroter Hartriegel und Stickstoffzeiger wie Weißer Gänsefuß, Beifuß, Brennnessel und Große Klette. Im oberen Böschungsbereich konnten erstmals einige Individuen des neophytischen Topinambur erfasst werden, die weitestgehend mit der Wurzel entfernt wurden, um eine weitere Ausbreitung zu verhindern.

Alle Setzstangen, die auf der Böschungsschulter gepflanzt wurden, haben sich gut weiterentwickelt. Während noch im letzten Jahr einige Setzstangen stark von Pappel-Seide befallen waren und Vitalitätseinbußen zeigten, starb diese im Zuge des Hochwassers ab, und die Weiden konnten sich erholen.

Aus ökologischer Sicht kam es im Versuchsfeld zu einer erneuten Um- und Neuverteilung der Korngrößenklassen, zur Ausbildung von Erosionskanten und kleineren Uferabbrüchen. Somit trägt die Wasserstandsdynamik in diesem Versuchsfeld zu einer ständigen Lebensraumerneuerung und Verjüngung (Absterben/Neubesiedlung) von Pflanzengemeinschaften bei. 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. Zudem haben sich die Weiden gut entwickelt und tragen ebenfalls zur Erhöhung der Strukturvielfalt bei.

Für die Fischfauna ist die Maßnahme nur bei höheren Wasserständen wirksam. Diese waren im Frühjahr 2013 über einen längeren Zeitraum gegeben. Dennoch konnten im Vergleich zur Referenzstrecke keine wesentlichen Unterschiede in der Zusammensetzung des erfassten Fischartenspektrums nachgewiesen werden. Aktuell ist der Einfluss der einwandernden

Schwarzmundgrundel überprägend. Sie stellt allgemein die dominante Art in allen Bereichen dar.

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 in Gräben eingebrachten standorttypischen Gehölze (Weidensetzstangen, Faschinen, Hecken- und Buschlagen) haben sich auch im zweiten Jahr nach Baufertigstellung kräftig und vital – die Weidensetzstangen und -faschinen z. T. mit Trieblängen bis ca. 3,50 m und Durchmessern bis 3,5 cm – weiterentwickelt. Sowohl die mehrfach im Untersuchungszeitraum aufgetretenen Hochwasser, die u.a. im Frühjahr zu einem 10-wöchigen Dauereinstau des unteren Böschungsbereiches bis ca. AZW + 1,5 m führten, als auch die sich direkt anschließende dreimonatige Trockenperiode in der Vegetationszeit haben sich nicht sichtlich negativ auf Vitalität und Wachstum der eingebrachten Gehölze ausgewirkt, so dass die Steinschüttung in den Bereichen der Pflanzgräben einen dichten Bewuchs mit gutem Mischungsverhältnis der Arten aufweist (Bild 19). Die Gehölze der Weich- (Weiden) und Hartholzaue (Feld-Ahorn, Esche, Trauben-Kirsche, Schneeball, Hasel), deren Entwicklung initiiert wurde, bieten im Vergleich zu den überwiegend vegetationslosen Böschungen der Referenzstrecken einen erhöhten Strukturreichtum, wie auch Totholz und Geschwemmsel, das nach höheren Wasserständen zwischen den einzelnen Pflanzgräben auf der Böschung zurückblieb. In den Pflanzgräben kamen zudem krautige Arten durch natürliche Sukzession auf, die die Artenvielfalt des Streckenabschnittes bisher erhöhen.

Der dem Ufer vorgelagerte Steinwall (OK: AZW + 0,5 m) lässt bereits im zweiten Untersuchungsjahr eine positive Wirkung auf die Pflanzenentwicklung erkennen. Hinter dem Steinwall konnte sich eine dünne Schlammschicht auf den Wasserbausteinen ablagern, die Nährsubstrat ist und somit förderlich auf die künftige Besiedlung mit Pflanzen der Laichkraut-

und Röhrichtzone wirken kann. Erste Individuen wurden bereits 2012 und auch 2013 kartiert (Ufer-Wolfstrapp, Sumpf-Helmkraut, Knotige Braunwurz, Seggen und Schwanenblume) (Bild 20).

Bild 19: Blick auf die vor Wellenschlag geschützte Uferzone mit Weidensetzstangen (26.8.2013)

Bild 20: Wasserbausteine mit Schlammablagerung im wellenschlaggeschützten Bereich; Ansiedlung erster Röhrichtarten (26.8.2013)

Von dem wellenschlaggeschützten Bereich profitieren insbesondere die Jungfische. Die Wurzelteller, die als Strukturelement eingebracht wurden, können ihnen zusätzlich eine Versteckmöglichkeit bieten. Bei den Befischungen 2013, die per Boot zwischen dem zum Untersuchungszeitpunkt überstauten Steinwall und Ufer durchgeführt wurden, konnten im Vergleich zu 2012 deutlich mehr Fische pro Punkt erfasst werden (Teilbericht „Fauna 11/2012 - 10/2013“ (BfG, 2014b)). Dies ist auf die hohen Jungfischzahlen der 0+ Fische (in diesem Jahr geschlüpfte) im Juni zurückzuführen. Bedingt durch mehrere Hochwasser gab es offenbar optimale Fortpflanzungsbedingungen. Dadurch war die Dominanz der Schwarzmundgrundel kurzzeitig deutlich gesunken, ein Trend, der sich im Oktober nicht fortsetzte. Die Steinschüttung liefert der Schwarzmundgrundel optimale Lebensbedingungen, was sich auch im VF 1 in einem hohen Dominanzanteil im Herbst ausdrückte. Die Entwicklung der Pflanzen, wie oben beschrieben, kann hier zukünftig weitere Strukturen für die heimische Fischfauna stellen.

Die Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos werden seit dem Sommer 2013 durchgeführt, die Auswertungen werden im Herbst 2014 vorliegen. Erste Beobachtungen weisen darauf hin, dass die gebänderte Prachtlibelle im Frühjahr 2013 gute Bedingungen vorfand.

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

Im VF 4 erfüllt die Steinschüttung weiterhin die Uferschutzfunktion. Die drei höchsten Wasserstandperioden seit dem letzten Kartierungsintervall, die 2013 einmalig sogar wenige Tage zum Überfluten des angrenzenden Geländes führten, und die dazwischenliegenden, z.T. anhaltend hohen Wasserstände führten 2013 zu keinen nennenswerten Veränderungen des Versuchsfeldes. Zur Bewertung der Lagestabilität der als Strukturelemente auf der Steinschüttung angeordneten großen Granitblöcke wurden die Panoramafotos seit 2011 vom gegenüberliegenden Ufer detailliert ausgewertet (Teilbericht „Standsicherheit 11/2012 - 10/2013“ (BAW, 2015)). Dabei zeigte sich, dass diese sehr stabil auf der Böschung liegen und sich seit dem Einbau nicht oder nur unwesentlich bewegt haben.

Die im Jahr 2012 lokal erodierten feineren Kornfraktionen des Sand-Kies-Gemisches, die sich teilweise unterhalb AZW in der Steinschüttung zwischen den Faschinen wieder ablagerten, bilden nach wie vor kleinere Flachuferbereiche (Bild 21) und erhöhen zusammen mit den Totholzfaschinen die Vielfalt an Uferstrukturen im Vergleich zur Referenzstrecke.

Bild 21: Erodiertes Feinmaterial im Bereich der Totholzfaschinen (26.8.2013)

Bild 22: Angler im Bereich der Faschinenbündel (13.8.2013)

Auch im Böschungsbereich konnte nach den Hochwässern noch ein unterschiedliches Substratgemisch (Sand, Kies, Steine) zwischen den Wasserbausteinen vorgefunden werden, welches ebenfalls die Vielfalt an Strukturen im Böschungsbereich, im Vergleich zur Referenzstrecke, erhöht. Die Besiedlung mit Spontanvegetation hat geringfügig eingesetzt. Derzeit siedeln überwiegend ruderale und stickstoffliebende Arten insbesondere in den sandig-kiesigen Bereichen.

Aufgrund der Wasserstände konnte das Versuchsfeld 4 bei beiden Befischungen 2013 nicht optimal befischt werden: Im Juni lagen die Reisigfaschinen zu tief unter Wasser, im Oktober lagen sie trocken. Dennoch war der Neozoenanteil im Juni hier durch die vielen Jungfische

am geringsten. Wie in der gesamten Versuchs- und auch in der Referenzstrecke änderte sich dies wieder im Herbst. Die Dominanz der Schwarzmundgrundel erschwert die Bewertung der strukturellen Maßnahmen auf die Artenzusammensetzung der Fische. Die bisherigen Ergebnisse weisen jedoch daraufhin, dass die Faschinen Unterstände für zahlreiche Arten - darunter auch Leitarten nach WRRL - bieten. Die regelmäßige Anwesenheit von Anglern scheint diesen Befund zu unterstützen (Bild 22).

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

Im VF 6 erfüllt die Steinschüttung weiterhin die Uferschutzfunktion. Im Herbst 2013 konnte das bereits 2012 bei Überstau maßgeblich erodierte Oberboden-Alginat-Gemisch im unteren und mittleren Böschungsbereich nur noch in einzelnen Lücken zwischen den Wasserbausteinen nachgewiesen werden. Auch der im Wasserwechselbereich eingebrachte Kies wurde überwiegend ausgeschwemmt, so dass sich dieses Versuchsfeld nicht mehr wesentlich von den Referenzstrecken unterscheidet (Bild 23). Mit dem Alginatanteil wurde auch die spärliche Vegetation, die Anfang 2012 aufgekommen war, erodiert. Nur im oberen Böschungsbereich konnte sich aufgrund des selteneren Einstaus eine spärliche Grasnarbe halten, die gegen Ende des Untersuchungszeitraums noch eine Gesamtdeckung von ca. 15 % aufwies (Bild 24). Die Gräser hielten mit ihren Wurzeln lokal Alginatreste im Lückensystem zurück, so dass im oberen Böschungsbereich noch ca. 10 % des Alginats vorhanden waren.

Bild 23: Maßnahmenbereich unterscheidet sich nur noch geringfügig von Referenzstrecke (Mai 2014)

Bild 24: Reste der Grasnarbe im oberen Böschungsbereich (15.7.2013)

Die Röhrichtarten, die Ende 2011 als Pflanzbulte etwa in Höhe AZW in die Steinschüttung eingesetzt wurden, konnten bereits 2012 nicht mehr nachgewiesen werden. Alle Pflanzbulte

hatten zu wenig Halt in der Steinschüttung und wurden bei Überstau und Schifffahrt aus der Böschung ausgeschwemmt.

Nur mit der an der Böschungsoberkante restlich verbliebenen Grasnarbe konnte das Versuchsfeld im Vergleich zur reinen Steinschüttung in einem kleinen Bereich mit einer standorttypischen Ufervegetation (Grünlandarten der Nassansaat) strukturell aufgewertet werden.

Für die Fischfauna ist die Maßnahme nur bei höheren Wasserständen wirksam. Diese waren im Frühjahr 2013 über einen längeren Zeitraum gegeben. Dennoch konnten im Vergleich zur Referenzstrecke keine wesentlichen Unterschiede in der Zusammensetzung des erfassten Fischartenspektrums nachgewiesen werden. Aktuell ist der Einfluss der einwandernden Schwarzmundgrundel überprägend. Sie stellt allgemein die dominante Art in allen Bereichen dar.

<u>Versuchsfeld 8</u> **M12 Anlage eines Steinwalls parallel zur Uferlinie**

In diesem Versuchsfeld wird die Uferschutzfunktion durch die Steinschüttung bzw. das alte Pflaster gewährleistet.

Bild 25: Röhrichtzone hinter Steinwall (13.8.2013)

Bild 26: Pflanzlicher Bewuchs auf Schlammablagerungen hinter Steinwall (13.8.2013)

Im Schutz des erhöhten Steinwalls (OK: AZW + 0,5 m) konnte sich bisher im flachen unteren Böschungsbereich bereichsweise eine arten- und blütenreiche Röhrichtzone mit Hochstauden feuchter Standorte und Arten kurzlebiger Schlammboden-Pionierfluren entwickeln (Bild 25). Eine gute Besiedlungsaktivität war überwiegend dort festzustellen, wo sich Schlamm auf den alten Pflastersteinen abgesetzt hatte (Bild 26). Die nicht besiedelten Flächen waren frei von Schlammablagerungen und lagen alle in der wasserseitigen Nachbarschaft zu den großen Kopfweiden. Der mögliche Grund für die geringe Besiedlung wird in einer erhöhten Ver-

wirbelung des Wassers am Weidenstamm bei Hochwasserabfluss und somit in einem erhöhten Sedimentaustrag gesehen. Im Vergleich zum Zustand des Versuchsfeldes vor Bau der Maßnahme konnte sich der anfänglich bereits vorhandene Initialbewuchs dennoch weiter entwickeln und ausdehnen, was der ökologischen Zielsetzung für die Vegetation entspricht.

Der mittlere und obere Böschungsbereich mit altem Pflaster wies bereits im Ist-Zustand eine höhere Artenvielfalt und Besiedlung auf als die angrenzende herkömmliche Steinschüttung. 2012 und 2013 entwickelte sich die Vegetation im Pflasterbereich weiter. Die Überflutungen in 2013 hinterließen keine Auffälligkeiten am pflanzlichen Bewuchs.

Hinsichtlich der Fischfauna konnten im Vergleich zur Referenzstrecke auch bei höheren Wasserständen keine wesentlichen Unterschiede in der Zusammensetzung des erfassten Fischartenspektrums nachgewiesen werden.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen wurden für den Berichtszeitraum November 2012 bis Oktober 2013 entsprechend der im 2. Zwischenbericht beschriebenen Methodik weitergeführt. In diesem Zeitraum trat das seit Anlage der Versuchsstrecke höchste Hochwasser auf, das die Uferböschung und das angrenzende Gelände mehrere Tage vollständig überflutete. Für alle Versuchsfelder blieb dies jedoch ohne wesentliche Folgen. Wesentlich stärker wirkte sich der 10-wöchige ununterbrochene Einstau des unteren Böschungsbereiches (bis etwa AZW + 1,50 m) im Frühjahr mit anschließender 8-wöchiger Trockenperiode auf die betroffenen neuen Ufersicherungsmaßnahmen aus. Auftrieb und Strömungen sowie gleichzeitig hydraulische Belastungen (Wellen und Strömungen) infolge Schifffahrt belasteten die Pflanzen sehr stark, was insbesondere in den Versuchsfeldern von hoher Relevanz ist, in denen die Steinschüttung entfernt wurde und die neuen pflanzlichen Sicherungen den Uferschutz gewährleisten müssen.

Die bereits weit entwickelten Weidenspreitlagen in den VF 2 und 3 konnten diese Belastungen gut verkraften und den Uferschutz kontinuierlich gewährleisten. In den Versuchsfeldern 5 und 7 traten dagegen Schäden auf. Einige Pflanzenarten in den Röhrichtgabionen (VF 5a) haben die lange Einstauphase nicht überstanden. Auch an den Gabionenkörpern selbst traten durch Versagen des Kokosgewebes lokal erste Schäden auf. Die Uferstabilität wurde dadurch jedoch nicht gefährdet.

Größere Schäden traten bei den Pflanzmatten (VF 7) im lange eingestauten Bereich auf, begünstigt durch die schon vorhandenen Vorschäden. Da der Uferschutz dadurch nicht mehr gewährleistet war, erfolgte im Rahmen der Sanierung eine Überschüttung des unteren Böschungsbereiches bis AZW + 1,70 m mit Wasserbausteinen. Im selten eingestauten oberen Böschungsbereich haben sich die Pflanzmatten mit gleichem Aufbau 2013 dagegen gut entwickeln können. Hier konnten bereits konkrete Erkenntnisse hinsichtlich der Anwendungsgrenzen dieser Ufersicherungsart (Pflanzmatten auf Filtermatten) an Wasserstraßen mit vergleichbaren Randbedingungen/Belastungen gewonnen werden.

Die im Versuchsfeld 5b auf den Steinmatratzen befestigten Pflanzmatten, die sich von Anfang an nur schlecht entwickeln konnten, wurden nach weiteren Schäden infolge der Hochwasserereignisse 2013 vollständig entfernt. Hier wird jetzt - wie im oberen Böschungsbereich - eine natürlich Sukzession direkt auf den Steinmatratzen erwartet. Der Uferschutz ist dadurch jedoch nicht beeinträchtigt, da dieser nach wie vor durch die Steinmatratzen gewährleistet wird.

Im Versuchsfeld 9, das ohne Uferschutz im Böschungsbereich blieb, haben die Erosionen durch die erstmalig sehr hohen, über die Oberkante des angrenzenden Geländes reichenden Überflutungen zugenommen. Die Abbruchkanten liegen jedoch noch in ausreichender Ent-

fernung zum Betriebsweg, so dass nach wie vor keine konstruktiven Maßnahmen erforderlich sind. Für Spaziergänger wurden die vorhandenen Abbruchkanten mit einem Band gekennzeichnet und abgesperrt.

In den Versuchsfeldern, in denen die alte Steinschüttung erhalten blieb, entwickelten sich die eingebrachten Pflanzen weiterhin positiv, die Standsicherheit der Uferböschung war jeweils gewährleistet.

Hinsichtlich der Uferstabilität ist die Entwicklung der Versuchsfelder mit Ausnahme des unteren Böschungsbereiches im VF 7, der bereits eine Sanierung erforderte, positiv zu bewerten. Die Standsicherheit des Ufers ist in allen Versuchsfeldern gewährleistet. Es konnten weitere wichtige Erfahrungen zur Belastbarkeit einzelner Pflanzenarten und Ufersicherungsmaßnahmen gewonnen werden. Eine weitere Beobachtung ist erforderlich und vorgesehen.

Aus pflanzenökologischer Sicht haben die Aussagen aus dem 2. Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA MA, 2013) größtenteils weiterhin Bestand. Der Strukturreichtum ist durch die weitere Entwicklung der überwiegend pflanzlichen Bauweisen, Totholz- und Geschwemmselablagerungen, die morphologische Entwicklung mit Substratumlagerungen und die Bereicherung durch Pflanzenarten aus freier Sukzession weiterhin angestiegen. Allein die positive Entwicklung der Röhrichtgabionen vom Berichtszeitraum 2012 muss etwas relativiert werden. Die anfängliche Artenvielfalt ist aufgrund von Bewuchsausfällen im Jahr 2013 stark zurückgegangen.

Im Herbst 2014 werden die erforderlichen Pflege- und Unterhaltungsmaßnahmen für die Vegetationsruhezeit 2014/2015 bzw. für nachfolgende Jahre festgelegt. Bisher mussten nur wenige Unterhaltungsmaßnahmen durchgeführt werden. Sie beschränken sich auf die Mahd der hochwüchsigen krautigen Pflanzen in VF 7 und der Böschungsplanie, insbesondere im Bereich der Weidensetzstangen und Heckenlagen. Die gepflanzten Gehölze mussten bisher nicht zurückgeschnitten werden.

Hinsichtlich der Fische lässt sich ein erster Trend dahingegen ableiten, dass bei entsprechenden Wasserständen auch schon geringe (kleinräumige) Strukturen eine Wirksamkeit auf die Fischbesiedlung haben (Teilbericht „Fauna 11/2012 - 10/2013“ (BfG, 2014b)). Bei Wasserständen unter Mittelwasser sowie kurzfristigen Wasserstandsschwankungen lässt die Wirksamkeit der angelegten Strukturen auf die Fische nach. Die Entwicklung der Fischfauna wird im Untersuchungsgebiet nach wie vor durch die zunehmende Dominanz der invasiven Grundelarten, insbesondere der Schwarzmundgrundel, überlagert.

Die Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos werden seit dem Sommer 2013 durchgeführt, die Auswertungen werden im Herbst 2014 vorliegen. Das Monitoring wird für alle Organsimen im Jahr 2015 fortgesetzt.

Das Monitoring insgesamt wird bis 2016 weiter geführt. Die Ergebnisse aus dem nächsten Untersuchungszeitraum von November 2013 bis Oktober 2014 werden im Herbst 2015 in einem 4. Zwischenbericht veröffentlicht. Eine weitestgehend abschließende Beurteilung der einzelnen Maßnahmen ist erst nach mehreren Vegetationsperioden möglich und deshalb nach Abschluss des 5-jährigen Monitorings vorgesehen. 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.

Anmerkung:
Im Mai 2014 wurde die Versuchsstrecke offiziell als *Supporter of Working with Nature* ausgezeichnet. Diese Auszeichnung wird von der PIANC (Permanent International Association of Navigation Congresses) für besondere bauliche oder gestalterische Maßnahmen verliehen, denen es gelingt, die Belange der Schifffahrt und Gewässernutzung mit den Interessen der Natur in Einklang zu bringen.
(http://www.workingwithnature.pianc.org/wwnprojectoverview.php#bottom,
http://www.wsv.de/ftp/presse/2014/00182_2014.pdf)

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, 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, 2014) Bundesanstalt für Wasserbau, **Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6 - 441,6, rechtes Ufer – Teilbericht (Supplement 2) Wetterdaten und Rheinwasserstände 11/2012 - 10/2013**, Eigenverlag, Karlsruhe Juni 2014

(BAW, 2015) 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 März 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 September 2014

(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 August 2014

(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 und 2013, 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 unten
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 (Totholzstämme mit Wurzelteller, Totholzfaschinen, Ausfachungsbuhne) 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 (VF 2) bzw. quer (VF 3) eingebaut

Weidenspreitlagen diagonal bzw. quer eingebaut (Böschungsneigung 1:3)	
Uferstabilität	– 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 – Wuchskräftigster Bereich zwischen AZW + 0,5/ 1,0 m und AZW + 1,7 m – Im unteren, am meisten durch Schifffahrt belasteten und 2013 erneut lange eingestauten Böschungsbereich (AZW bis AZW + 1 m) vergleichsweise geringerer Deckungsgrad, weniger und nicht so vitale Weidentriebe – 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 – Gute Wurzelbildung – relativ dichtes, verzweigtes Wurzelsystem mit Längen bis etwa 60 cm durch Aufgrabung (2012) nachgewiesen; 2013 keine erneute Wurzelaufgrabung – Insgesamt Uferschutz durch Weidenspreitlagen ausreichend gewährleistet
Ökologie	– Flächige Gehölzentwicklung mit standorttypischen Gehölzen der Weichholzaue durch Verwendung niedrigwüchsiger Strauchweiden (Purpur-Weide) in Kombination mit höherwüchsigen Baumweiden (Silber-Weide) – 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 – Zusätzlicher Strukturreichtum durch die Ablagerung von Totholz und Treibsel nach Hochwasserereignissen – 2012 aufgrund der Wasserstände keine Aussagen zur Fischfauna möglich; 2013 nur geringe Arten- und Individuenzahlen nachgewiesen; Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos seit Sommer 2013, Auswertungen liegen im Herbst 2014 vor
Pflege/ Unterhaltung	– Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich – Beobachtung hinsichtlich Fraßschädlingen, Rostpilzbefall (Schwächung der Weiden); Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Robinie)
Sanierungsmaßnahmen	– 2012: Nachträgliche Kiesabdeckung; anschließend keine Sanierungsmaßnahmen mehr erforderlich

Maßnahme M2: Röhrichtgabionen auf Kornfilter (VF 5a unten)

Röhrichtgabionen auf Kornfilter (Böschungsneigung 1:2,5)	
Uferstabilität	– 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 + 1,7 m): 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 – Insgesamt Uferschutz durch Röhrichtgabionen ausreichend gewährleistet
Ökologie	– 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 – 2012 aufgrund der Wasserstände keine Aussagen zur Fischfauna möglich, 2013 Anteil der Referenzarten nach WRRL ~10 % höher als in der Referenzstrecke – Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos seit Sommer 2013, Auswertungen liegen im Herbst 2014 vor
Pflege/ Unterhaltung	– Wenige Bewässerungsgänge nach Baufertigstellung, ansonsten keine Pflege erforderlich – Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten und Fraßschädlingen
Sanierungsmaßnahmen	– 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 (VF 5a und VF 5b, jeweils oben)

Steinmatratzen auf Kornfilter, ohne Pflanzmatten, mit Oberbodenauftrag (Böschungsneigung 1:2,5)	
Uferstabilität	– 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 – Insgesamt Uferschutz durch Steinmatratzen ausreichend gewährleistet
Ökologie	– Anfangsstadium (2012): Schnelle und großflächige Besiedlung der Steinmatratzen mit krautiger Spontanvegetation; dichterer und kräftigerer 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 – Keine Aussagen zur Fischfauna möglich – Untersuchungen zur terrestrischen Fauna seit Sommer 2013, Auswertungen liegen im Herbst 2014 vor
Pflege/ Unterhaltung	– Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich – Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Eschen-Ahorn, Goldrute)
Sanierungsmaßnahmen	– 2012 und 2013: Kleinere Reparaturarbeiten am Kunststoffnetz

Maßnahme M4: Steinmatratzen auf Kornfilter mit Pflanzmatten (VF 5b unten)

Steinmatratzen auf Kornfilter mit Pflanzmatten (Böschungsneigung 1:2,5)	
Uferstabilität	1. Steinmatratzen: – 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 2. Pflanzmatten, auf Steinmatratzen befestigt: – Anfangsstadium (2012): Kein optimaler Zustand der Pflanzmatten bereits beim Einbau; Matten weisen kaum Eigengewicht auf; Auftrieb und Wellenbelastung bei Überstau führen zu Druckwechseln („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 – Uferschutzfunktion durch Steinmatratzen ausreichend gegeben
Ökologie	– 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 – Keine Aussagen zur Fischfauna möglich – Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013, Auswertungen liegen im Herbst 2014 vor
Pflege/ Unterhaltung	– Bewässerung der Pflanzmatten in der Anfangszeit – Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Eschen-Ahorn, Goldrute)
Sanierungsmaßnahmen	– 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

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

Pflanzmatten auf verschiedenen Geotextilien als Filter (Böschungsneigung 1:3)	
Uferstabilität	– 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 führt zu Druckwechseln („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 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 Wurzelausbildung 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 – Uferschutz im oberen Böschungsbereich (oberhalb AZW + 1,70 m) durch Pflanzmatten ausreichend gegeben – Uferschutz im unteren Bereich (unterhalb AZW + 1,70 m) durch wieder hergestellte Steinschüttung gegeben
Ökologie	– 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; Strukturerhöhung 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 Pflanzenlieferung (Arten zur Teichrandbegrünung) nicht repräsentativ – 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 konkurrenz-

	stark und bauen weiterhin standorttypischen Vegetationsbestand mit guter Artendurchmischung auf – Keine Aussagen zur Fischfauna möglich – Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013, Auswertungen liegen im Herbst 2014 vor
Pflege/ Unterhaltung	– Wenige Bewässerungsgänge nach Baufertigstellung – September 2012, Mai und Juli 2013 Mahd mit Freischneider zwischen Böschung und Betriebsweg, keine Mahd im Böschungsbereich – Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten, Beseitigung von Hybrid-Pappeljungwuchs
Sanierungsmaßnahmen	– 2012: Nachschlagen der Pflöcke und Querriegel nach jedem Überstau; nachträglich flächige Nassansaat zur Stabilisierung, lokale Sanierung mit Rasensoden; Überschütten des unteren Böschungsbereiches mit Wasserbausteinen zur Gewährleistung eines ausreichenden Uferschutzes, dabei in den Bereichen mit Schafwollvlies höher (bis AZW + 1,70 m), in den Bereichen mit Kunststoffvlies weniger hoch (bis ca. AZW + 1,00 m) – 2013: Sanierung des gesamten unteren Böschungsbereichs bis auf die Höhe von AZW +1,7 m – hier Wiederherstellung der Steinschüttung

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

Kokosmatten über einer Nassansaat (Böschungsneigung 1:3)	
Uferstabilität	– 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 Totholzfaschinen 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 – Uferschutz durch Pflanzenentwicklung auf Kokosmatte ausreichend gegeben
Ökologie	– Anfangsstadium (2012): Erstsaat (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, Neuansaaten, 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 – Keine Aussagen zur Fischfauna möglich – Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013, Auswertungen liegen im Herbst 2014 vor
Pflege/ Unterhaltung	– September 2012, Mai und Juli 2013 Mahd mit Freischneider zwischen Böschung und Betriebsweg, keine Mahd im Böschungsbereich – Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten, Beseitigung von Hybrid-Pappeljungwuchs
Sanierungsmaßnahmen	– 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

Maßnahme M7: Röhrichtwalzen (VF 7b, VF 7c, jeweils bei AZW)

Röhrichtwalzen	
Uferstabilität	– 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 – Uferschutz durch wieder hergestellte Steinschüttung gewährleistet
Ökologie	– Etablierung/Initiierung einer Röhrichtzone mit Einzelpflanzen im Wellenauflaufbereich um AZW fehlgeschlagen – Keine Aussagen zur Fischfauna möglich – ökologisches Ziel nicht erreicht
Pflege/ Unterhaltung	– Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich
Sanierungsmaßnahmen	– 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 (VF 1)

Anlage senkrecht zum Ufer verlaufender Pflanzgräben in einer Steinschüttung mit wahlweise ausschlagsfähigen Weidenfaschinen, Weidensetzstangen, Busch- und Heckenlagen	
Uferstabilität	– 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: Erhöhung des Uferschutzes durch zunehmende Verwurzelung der Pflanzen mit dem Deckwerk und dem Untergrund – Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet
Ökologie	– 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: 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 Strukturreichtums durch Ablagerung von Totholz und Treibsel nach Hochwasserereignissen – Keine Aussagen zur Fischfauna möglich – Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013, Auswertungen liegen im Herbst 2014 vor
Pflege/ Unterhaltung	– Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich – Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten, Fraßschädlingen und pflanzlichen Schmarotzern (z. B. Pappel-Seide)
Sanierungsmaßnahmen	– 2012: Nach Sackungen zusätzlicher Einbau von Wasserbausteinen in den Gräben; anschließend keine Sanierungsmaßnahmen mehr erforderlich

Maßnahme M9: Einbringen von Setzstangen (VF 1, VF 9)

Einbringen von Setzstangen	
Uferstabilität	1. VF 1: – Anordnung der Setzstangen im unteren Böschungsbereich (keine Uferschutzfunktion); Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung unverändert gewährleistet – Anfangsstadium (2012): Unkritisch hinsichtlich Uferschutz – 2013: Gute Entwicklung; langfristig ggf. Erhöhung des Uferschutzes durch Verwurzelung der Weidensetzstangen mit dem Deckwerk und dem Untergrund – Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet 2. VF 9: – Anordnung der Setzstangen auf der Böschungsoberkante (mit Uferschutzfunktion); im Bereich der Uferböschung kein Uferschutz vorhanden, Erosion ist gewollt; Setzstangen sollen das Ausmaß der Erosion begrenzen (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 – Schutz des Betriebsweges durch Setzstangen gewährleistet
Ökologie	– 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 – 2012/2013: Initiierung von Gehölzbewuchs aus gebietsheimischen und standorttypischen Weiden auf Böschungsschulter in VF 9, sowie auf der Steinschüttung in VF 1; Weidensetzstangen ergänzen mit weiterer Lebensraumfunktion die von krautigem Spontanbewuchs dominierte Böschungsplanie in VF 9, sowie die im ursprünglichen Zustand weitestgehend vegetationsfreie Steinschüttung (VF 1) und erhöhen den Strukturreichtum, 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 ab 2013, Auswertungen liegen im Herbst 2014 vor
Pflege/ Unterhaltung	– 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 – Beobachtung hinsichtlich Fraßschädlingen und pflanzlichen Schmarotzern (z. B. Pappel-Seide, Acker-Winde, Winden-Knöterich, Zaunwinde) – Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten – VF 9: Absperrung der Abbruchkante mit Bändern
Sanierungsmaßnahmen	– Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich

Maßnahme M10: Einspülen von Oberboden-Alginat in die Steinschüttung und Ansaat durch Anspritzverfahren (VF 6)

Einspülen von Oberboden-Alginat in die Steinschüttung und Ansaat durch Anspritzverfahren	
Uferstabilität	– Anfangsstadium (2012): Bei Überstau und Schifffahrtsbelastung oberflächennahe 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 Steinzwickeln vorhanden – Auswirkungen nicht standsicherheitsrelevant – Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet
Ökologie	– 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 – Pflanzenökologische Zielstellung konnte nur sehr begrenzt erreicht werden – Keine Aussagen zur Fischfauna möglich – Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013, Auswertungen liegen im Herbst 2014 vor
Pflege/ Unterhaltung	– Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich – Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten
Sanierungsmaßnahmen	– Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich

Maßnahme M11: Einzelpflanzung von Röhrichtbulten in die Steinschüttung (VF 6)

Einzelpflanzung von Röhrichtbulten in Höhe AZW	
Uferstabilität	– 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	– 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	– Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich
Sanierungsmaßnahmen	– Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich

Maßnahme M12: Anlage eines Steinwalls parallel zur Uferlinie zur Reduzierung der Uferbelastung vor Wellenschlag (VF 1 und VF 8)

Anlage eines Steinwalls parallel zur Uferlinie zur Reduzierung der Uferbelastung vor Wellenschlag	
Uferstabilität	– 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: Steinwälle im VF 1 und VF 8 stabil und technisch wirksam – Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet
Ökologie	– Anfangsstadium (2012): Günstige Wirkung des Steinwalls auf die Entwicklung der Ufervegetation in VF 1 und VF 8, 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 VF 1 – Flächenmäßige Zunahme des bereits vor Baumaßnahme vorhandenen kleinflächigen Röhrichtbewuchses und feuchter Hochstauden (VF 8) – 2013: Weitere Schlammablagerungen auf Wasserbausteinen (VF 1) und auf Pflaster (VF 8) hinter dem Steinwall – 2 Pflanzenindividuen in VF 1, davon 1 Schwanenblume (Einstufung Rote Liste Hessen „gefährdet“) – Weitere positive Entwicklung des Röhrichtbewuchses in VF 8 – Anstieg des Arten- und Blühreichtums seit Umsetzung der Maßnahme – Regelmäßige Beobachtungen von Jungfischschwärmen im VF 1, Bereich hinter Steinwall im VF 8 zur Zeit der Befischung 2013 trocken – Untersuchungen zum Makrozoobenthos ab 2013, Auswertungen liegen im Herbst 2014 vor
Pflege/ Unterhaltung	– Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich
Sanierungs-maßnahmen	– Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich

Maßnahme M13: Einbau von Totholzstrukturen (Totholzstämme mit Wurzelteller, Totholzfaschinen, Ausfachungsbuhne) in die Steinschüttung (VF 1, VF 4, VF 9)

Einbau von Totholzstrukturen (Totholzstämme mit Wurzelteller, Totholzfaschinen, Ausfachungsbuhne) in die Steinschüttung	
Uferstabilität	– Anfangsstadium (2012) und 2013: Totholzelemente bisher trotz mehrerer Hochwasserereignisse lagestabil in der Böschung verankert – Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet
Ökologie	– 2012/2013: Anlagerung /Abtrag von erodiertem Feinsubstrat im Bereich der Reisigfaschinen in VF 4; Entstehung kleiner, flacher, kiesiger Uferbereiche zwischen den Faschinenbündeln, Erhöhung der Substratvielfalt auf der Steinböschung – 2012: Im Bereich der Totholzstämme mit den Wurzeltellern und den Totholzfaschinen deutlich höhere Individuenanteile von wertgebenden Fischarten nach WRRL als in den Referenzstrecken mit Steinschüttung – Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013; häufigeres Vorkommen von Prachtlibellen beobachtet; Auswertungen liegen im Herbst 2014 vor
Pflege/ Unterhaltung	– Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich
Sanierungsmaßnahmen	– Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich

Maßnahme M14: Aufbringen von kiesigem Substrat / Grobstein-Gruppen auf vorhandene Steinschüttung (VF 4)

Aufbringen von kiesigem Substrat / Grobstein-Gruppen auf vorhandene Steinschüttung	
Uferstabilität	– Anfangsstadium (2012) und 2013: 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	– 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 – keine Aussagen zur Fischfauna möglich – Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013, Auswertungen liegen im Herbst 2014 vor
Pflege/ Unterhaltung	– Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich – Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Eschen-Ahorn, Robinie)
Sanierungs-maßnahmen	– Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich

Maßnahme M15: Rückbau der technischen Ufersicherung, kein Uferschutz oberhalb von AZW, begrenztes Zulassen freier Dynamik (VF 9)

Rückbau der technischen Ufersicherung oberhalb AZW, begrenztes Zulassen freier Dynamik	
Uferstabilität	– 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, Materialtransport auch durch zurücklaufendes Hochwasser – Bisher trotz Erosion keine kritischen Zustände hinsichtlich des Bestands des Betriebsweges; die freigespülten Steine stabilisieren die Uferböschung
Ökologie	– 2012/2013: Erhöhung des Substrat- und Strukturreichtums 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) – Förderung einer dynamischen Vegetationsentwicklung – Bislang kein deutlich positiver Einfluss des durch die Erosion zunehmend flacher ausgebildeten Ufers auf die Fischfauna nachweisbar – Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos ab 2013, Auswertungen liegen im Herbst 2014 vor
Pflege/ Unterhaltung	– Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich – Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Topinambur, Eschen-Ahorn)
Sanierungsmaßnahmen	– Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich