WASSERSTRASSEN- 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

## Fünfter Zwischenbericht
## Monitoringergebnisse 2015

**August 2016**

## Inhaltsverzeichnis

| | | Seite |
|---|---|---|
| 1. | Veranlassung | 3 |
| 2. | Vorgehensweise | 4 |
| 3. | Wichtigste Randbedingungen und Teiluntersuchungen im Berichtszeitraum | 5 |
| 3.1 | Wetter und Wasserstände | 5 |
| 3.2 | Überblick: Durchgeführte Teiluntersuchungen | 10 |
| 3.3 | Porenwasserdruckmessungen | 11 |
| 3.4 | Messung der hydraulischen Uferbelastung | 17 |
| 4. | Monitoringergebnisse | 25 |
| 4.1 | Neue Uferschutzmaßnahmen nach Rückbau der Steinschüttung (Versuchsfelder 2, 3, 5, 7) | 25 |
| 4.2 | Ökologische Aufwertungsmaßnahmen in der bestehenden Steinschüttung (Versuchsfelder 1, 4, 6, 8) | 45 |
| 4.3 | Ohne Uferschutzmaßnahmen nach Rückbau der Steinschüttung (Versuchsfeld 9) | 51 |
| 5. | Bewertung hinsichtlich Tierökologie und faunistischer Besiedlung | 58 |
| 6. | Unterhaltungsaufwendungen | 64 |
| 7. | Zusammenfassung und Ausblick | 64 |
| Literaturverzeichnis | | 68 |
| Anlage: Maßnahmenblätter (Beurteilung der Einzelmaßnahmen) | | 70 |

## An der Erstellung des Berichtes Beteiligte:

| | |
|---|---|
| BEHRENDT, Katja | Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Vegetationskunde, Landschaftspflege |
| FLEISCHER, Petra | Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Referat Erdbau und Uferschutz (*Federführung*) |
| GESING, Carolin | Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Referat Schiff/ Wasserstraße, Naturuntersuchungen |
| HANNIG, Marc | Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Mannheim, Sachbereich 3 |
| LIEBENSTEIN, Hubert | Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Vegetationskunde, Landschaftspflege |
| LIFSCHIZ, Elise | Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Referat Schiff/ Wasserstraße, Naturuntersuchungen |
| DR. SOYEAUX, Renald | Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Referat Erdbau und Uferschutz |
| PROF. DR. KOOP, Jochen | Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Tierökologie |
| SCHÄFFER, Michael | Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Tierökologie |
| SCHMITT, Kathrin | Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Vegetationskunde, Landschaftspflege |
| WIELAND, Steffen | Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz, Referat Tierökologie |

## 1. Veranlassung

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

Das Projekt wird von einem zunächst fünf Jahre dauernden Monitoring begleitet. Es werden jährliche Monitoringberichte erstellt. Der erste Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA, 2012) dokumentiert die Randbedingungen, die einzelnen Bauweisen und deren Einbau. Im 2. Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA, 2013) wurden in sehr umfassender Weise die ersten Monitoringergebnisse des Jahres 2012 zusammengestellt und wichtige Grundlagen für die Auswertungen der Folgejahre geschaffen. Der 3. und 4. Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA, 2014 und BAW, BfG, WSA-MA, 2015) fassen kurz die wesentlichen Untersuchungen und Ereignisse für den Berichtszeitraum November 2012 bis Oktober 2013 bzw. November 2013 bis Oktober 2014 zusammen und beschreiben die wichtigsten Ergebnisse des Monitorings. Der vorliegende 5. Zwischenbericht, der die Monitoringergebnisse des Berichtszeitraumes November 2014 bis Oktober 2015 beinhaltet, wurde in gleicher Weise wie die beiden letzten Berichte erstellt. Die detaillierten Ergebnisse werden ergänzend in einzelnen Teilberichten zu den Schwerpunktthemen Wetter und Wasserstände (BAW, 2016), Porenwasserdruckmessungen (BAW, 2017) und Messung der hydraulischen Uferbelastungen (Schmid, 2016) 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

Im vorliegenden Kurzbericht werden die für die Entwicklung der einzelnen Versuchsfelder wichtigsten Ereignisse aus dem Beobachtungsjahr 2015, z. B. besondere Niederschlags- und Abflussereignisse, und Untersuchungen im Berichtszeitraum sowie die wichtigsten Ergebnisse hinsichtlich Uferstabilität und Vegetation, Unterhaltungs-/Sanierungsbedarf und Fauna dargestellt. Inhaltlich schließt der Bericht an den 4. Zwischenbericht vom 31.07.15 (BAW, BfG, WSA-MA, 2015) an. Die Maßnahmenblätter zur Beurteilung der Einzelmaßnahmen (siehe Anlage 1) wurden fortgesetzt, aktualisiert und ergänzt.

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

- Teilbericht „Wetterdaten und Rheinwasserstände 11/2014 - 10/2015“ (BAW, 2016)
- Teilbericht „Porenwasserdruckmessungen vom 07.05.2015“ (BAW, 2017)
- Teilbericht „Verkehrsbeobachtungen am Rhein bei Worms bei Rhein-km 441, Messungen vom Mai 2015“ (Schmid, 2016)

# 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 2015 dokumentiert. Ausführliche Auswertungen und Darstellungen finden sich im Teilbericht „Wetterdaten und Rheinwasserstände 11/2014 - 10/2015“ (BAW, 2016), dort auch für Luftfeuchtigkeit und Luftdruck. Alle Vergleichswerte aus der Monitoringperiode 2012 sind im Supplement 1 (BAW, 2013), für die Monitoringperiode 2013 in dem Teilbericht (BAW, 2014) und für die Monitoringperiode 2014 im Teilbericht (BAW, 2015b) dokumentiert.

### 3.1.1 Temperatur

Bild 1 zeigt die Temperaturganglinien im Zeitraum 1.11.2014 - 31.10.2015.

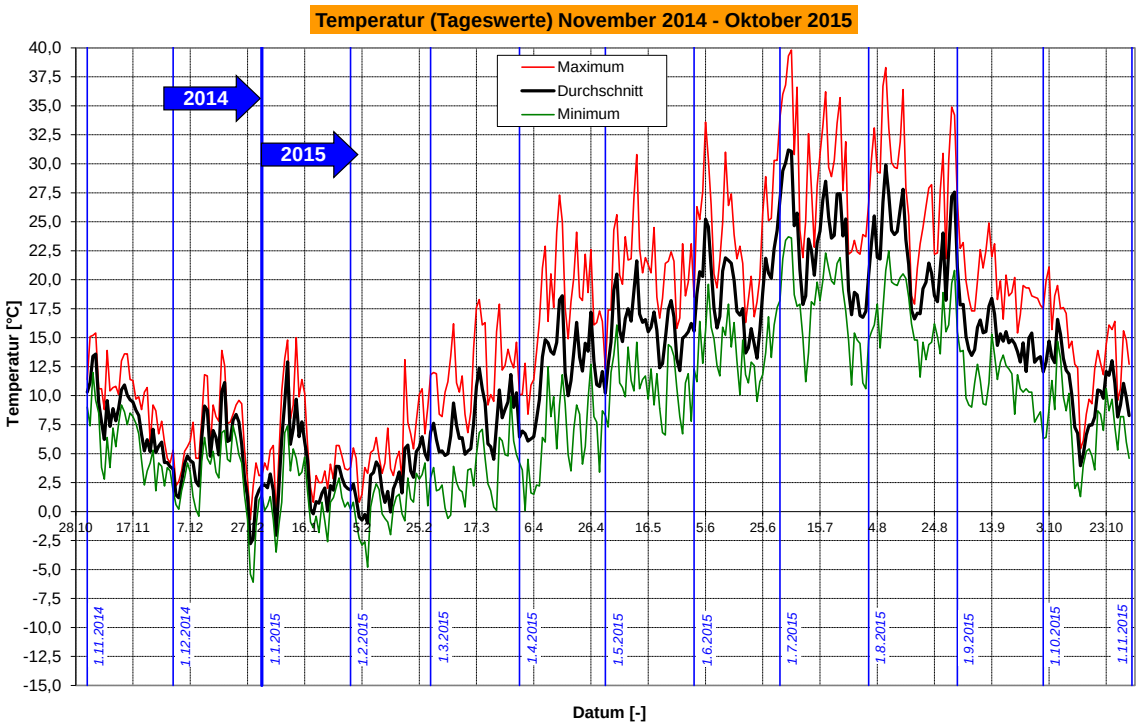


Bild 1: Ganglinien von täglichen Maxima, Mittelwerten und Minima der Temperatur an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum 1.11.2014 - 31.10.2015

Statistische Hauptkennzahlen 2015 (Werte der *Monitoringperiode 2014*, *Monitoringperiode 2013* bzw. *Monitoringperiode 2012* zum Vergleich; $\sigma_x$ = Standardabweichung):

| | 2015 | *2014* | *2013* | *2012* |
|---|---|---|---|---|
| Minimum | - 6,10 °C<br>29. Dez. 2014 | *- 3,70 °C*<br>*27. Nov. 2013* | *- 7,40 °C*<br>*8. Dez. 2012* | *- 14,20 °C*<br>*7. Feb. 2012* |
| Mittelwert | 12,13 °C<br>$\sigma_x$ = 7,50 °C | *12,74 °C*<br>*$\sigma_x$ = 6,29 °C* | *11,18 °C*<br>*$\sigma_x$ = 7,91 °C* | *12,14 °C*<br>*$\sigma_x$ = 7,37 °C* |
| Maximum | 39,80 °C<br>5. Juli 2015 | *36,20 °C*<br>*9. Juni 2014* | *36,70 °C*<br>*2. Aug. 2013* | *36,70 °C*<br>*19. Aug. 2012* |

Mittelwerte für die phänologische Jahresteilung:

| | 2015 | *2014* | *2013* | *2012* |
|---|---|---|---|---|
| Winterhalbjahr | 6,02 °C | *7,54 °C* | *4,24 °C* | *5,7 °C* |
| Sommerhalbj. | 17,73 °C | *17,38 °C* | *16,90 °C* | *17,2 °C* |

Die Monitoringperiode 2015 war ein sehr warmes Jahr. Der Sommer zeichnete sich durch Höchsttemperaturen von knapp 40 °C aus, die um fast 4 °C höher als in den Vorjahren waren. Dazu passt, dass die Temperaturen insgesamt nur an 28 Tagen unter 0°C lagen.

### 3.1.2 Niederschlag

Bild 2 zeigt die Niederschlagsmonatswerte. Insgesamt traten nur mäßige monatliche Niederschlagsmengen auf. Das Maximum im Januar 2015 mit 81 mm ist nur ca. 1/3 des Maximums in der vorangegangenen Monitoringperiode 2014. Die Gesamtniederschlagsmenge der 12 Monate betrug mit 468,38 mm nur 64 % der Niederschlagsmenge der 12 Monate des letzten Beobachtungszeitraumes und 62 % des vorletzten Beobachtungszeitraumes.

Statistische Hauptkennzahlen 2015 (Werte der *Monitoringperiode 2014*, *Monitoringperiode 2013* bzw. *Monitoringperiode 2012* zum Vergleich; $\sigma_x$ = Standardabweichung):

| | 2015 | *2014* | *2013* | *2012* |
|---|---|---|---|---|
| Minimum | 0,00 mm | *0,00 mm* | *0,00 mm* | *0,00 mm* |
| Mittelwert | 1,28 mm<br>$\sigma_x$ = 2,90 mm | *2,00 mm*<br>*$\sigma_x$ = 5,22 mm* | *2,06 mm*<br>*$\sigma_x$ = 4,69 mm* | *1,54 mm*<br>*$\sigma_x$ = 3,91 mm* |
| Maximum | 23,12 mm<br>3. Jan. 2015 | *68,32 mm*<br>*21. Juli 2014* | *41,66 mm*<br>*5. Okt. 2013* | *37,59 mm*<br>*16. Aug. 2012* |

Mittel- und Maximalwerte für die phänologische Jahresteilung:

| | 2015 | 2014 | 2013 | 2012 |
|---|---|---|---|---|
| Mittelwert im Winterhalbjahr | 1,63 mm | *1,24 mm* | *1,38 mm* | *1,1 mm* |
| Maximum im Winterhalbjahr | 23,12 mm | *17,02 mm* | *16,00 mm* | *36,1 mm* |
| Mittelwert im Sommerhalbjahr | 1,09 mm | *2,64 mm* | *2,66 mm* | *2,1 mm* |
| Maximum im Sommerhalbjahr | 17,27 mm | *68,32 mm* | *41,66 mm* | *37,6 mm* |

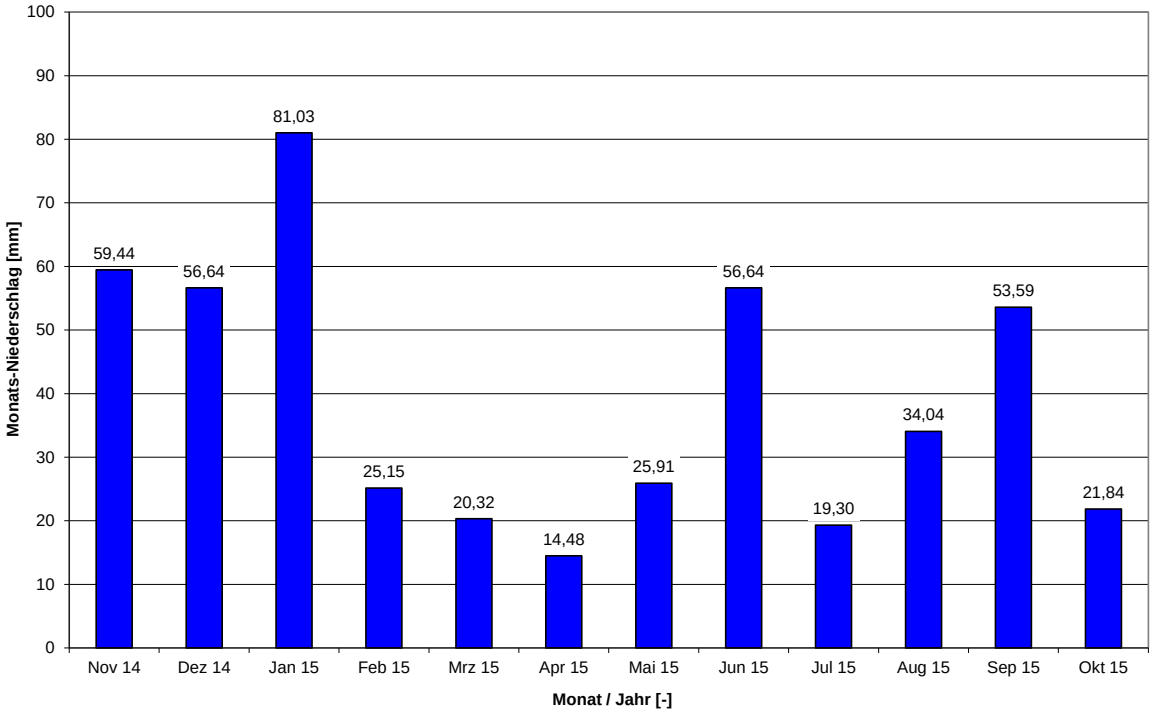


Bild 2: Histogramm der monatlichen Niederschlagsmengen an der Wetterstation der FH Worms im Zeitraum November 2014 - Oktober 2015; Hinweis: [mm] = [l/m$^2$]

Die Monitoringperiode 2015 war ein trockenes Jahr, was neben den geringen monatlichen Niederschlagsmengen z. B. der Mittelwert der Tageswerte zeigt, der gegenüber dem Vorjahr auf 2/3 gesunken ist, und das Maximum der Tageswerte im Sommerhalbjahr, das mit 17,3 mm nur 25 % des entsprechenden Vorjahreswertes beträgt. Hierzu passt die Beobachtung, dass im ganzen Jahr kein Starkregen aufgetreten ist.

### 3.1.3 Sonnenscheindauer

Statistische Hauptkennzahlen 2015 (Werte der *Monitoringperiode 2014*, *Monitoringperiode 2013* bzw. *Monitoringperiode 2012* zum Vergleich; $\sigma_x$ = Standardabweichung):

| | 2015 | *2014* | *2013* | *2012* |
|---|---|---|---|---|
| Minimum | 0,00 h [1)]<br>Nov. 14 - Feb. 15<br>(7 d, 14 d, 11 d, 2 d) | *0,00 h [1)]*<br>*Nov. 13 - Jan 14*<br>*(6 d, 11 d, 7 d) u.*<br>*Okt. 14 (1 d)* | *0,00 h [1)]*<br>*mehrmals in*<br>*Nov. 12 bis*<br>*Apr. 13* | *0,00 h [1)]*<br>*Nov. 11 - Jan. 12*<br>*März u. Okt. 12* |
| Mittelwert | 6,66 h<br>$\sigma_x$ = 4,4 h | *6,98 h*<br>*$\sigma_x$ = 4,07 h* | *6,54 h*<br>*$\sigma_x$ = 4,25 h* | *6,87 h*<br>*$\sigma_x$ = 3,86 h* |
| Maximum | 13,42 h<br>17. Juni 2015 | *13,45 h*<br>*7. Juni 2014* | *13,47 h*<br>*16. Juni 2013* | *13,25 h*<br>*29. Mai 2012* |

[1)] entspricht völliger Wolkenbedeckung den ganzen Tag

Mittelwerte für die phänologische Jahresteilung:

| | 2015 | *2014* | *2013* | *2012* |
|---|---|---|---|---|
| Winterhalbjahr | 3,15 h | *3,87 h* | *3,29 h* | *3,7 h* |
| Sommerhalbj. | 9,77 h | *9,75 h* | *9,41 h* | *9,8 h* |

### 3.1.4 Klimadiagramm und Bewertung

Trocken- und Feuchtperioden lassen sich eindeutig anhand des Klimadiagramms nach Walter und Lieth (1967) abgrenzen. Im Gegensatz

- zur Monitoringperiode 2012 mit vier gering ausgeprägten kurzen Trockenperioden,
- zur Monitoringperiode 2013 mit einer sehr langen, ausgeprägten Trockenperiode in den Monaten Juli / August und
- zur Monitoringperiode 2014 mit drei geringer ausgeprägten Trockenperioden in den Monaten März - April, Juni und September und einer deutlichen Feuchtperiode in den Monaten Juli / August

traten in der Monitoringperiode 2015 zwei je 2-monatige, weniger ausgeprägte Trockenperioden in den Monaten April - Mai und Juli - August 2015 auf, denen eine gering ausgeprägte 4-monatige Feuchteperiode vorausging.

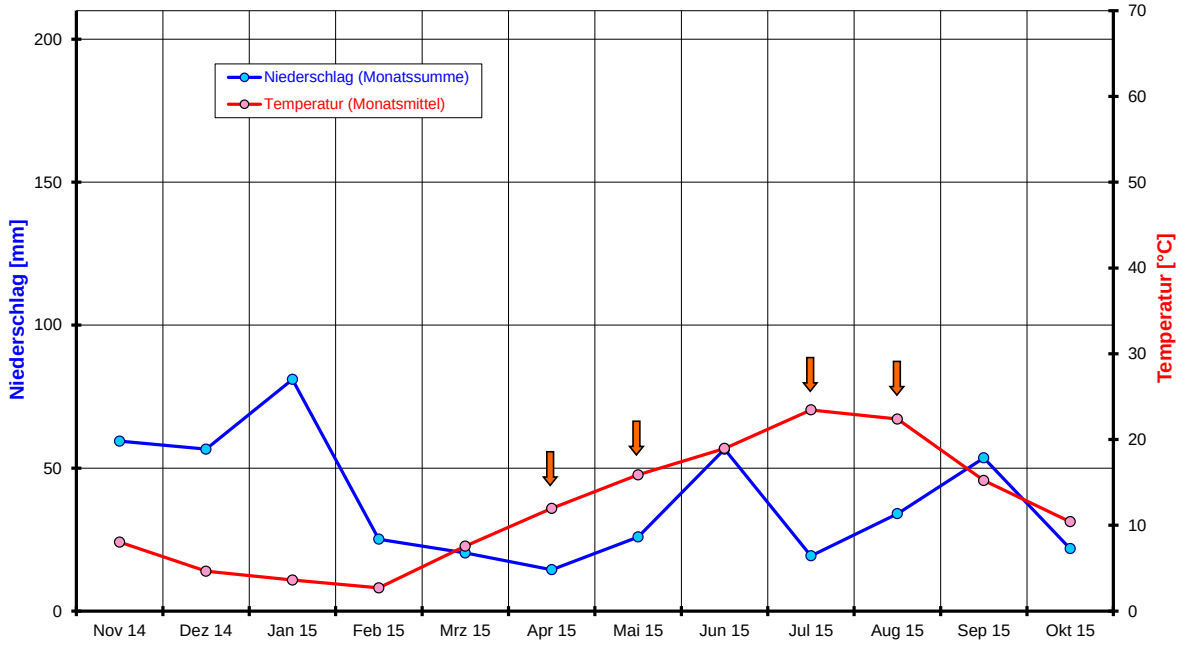


Bild 3: Klimadiagramm für Nov. 14 - Okt. 15 nach Walter u. Lieth (1967) für Niederschlag (Monatssumme) und Temperatur (Monatsmittel); Trockenperioden in den mit (⇩) gekennzeichneten Monaten

### 3.1.5 Wasserstände

Bild 4 zeigt die Ganglinie des Rheins (Tagesmittelwerte) am Pegel Worms im Beobachtungszeitraum vom 1.11. 2014 bis 31.10. 2015, Bild 5 eine Häufigkeitsverteilung der gemessenen Tagesmittelwerte.

Statistische Hauptkennzahlen 2015 (Werte der *Monitoringperiode 2014*, *Monitoringperiode 2013* bzw. *Monitoringperiode 2012* zum Vergleich, alle Angaben in [NN + m]):

| | 2015 | 2014 | 2013 | 2012 |
|---|---|---|---|---|
| Minimum | 84,69 | *85,11* | *85,10* | *84,43* |
| Mittelwert | 86,09 | *86,22* | *86,81* | *86,09* |
| Maximum | 89,29 | *88,60* | *91,14* | *88,85* |
| Median | 85,91 | *86,06* | *86,56* | *85,95* |
| Standardabweichung | 0,94 | *0,78* | *1,10* | *0,88* |

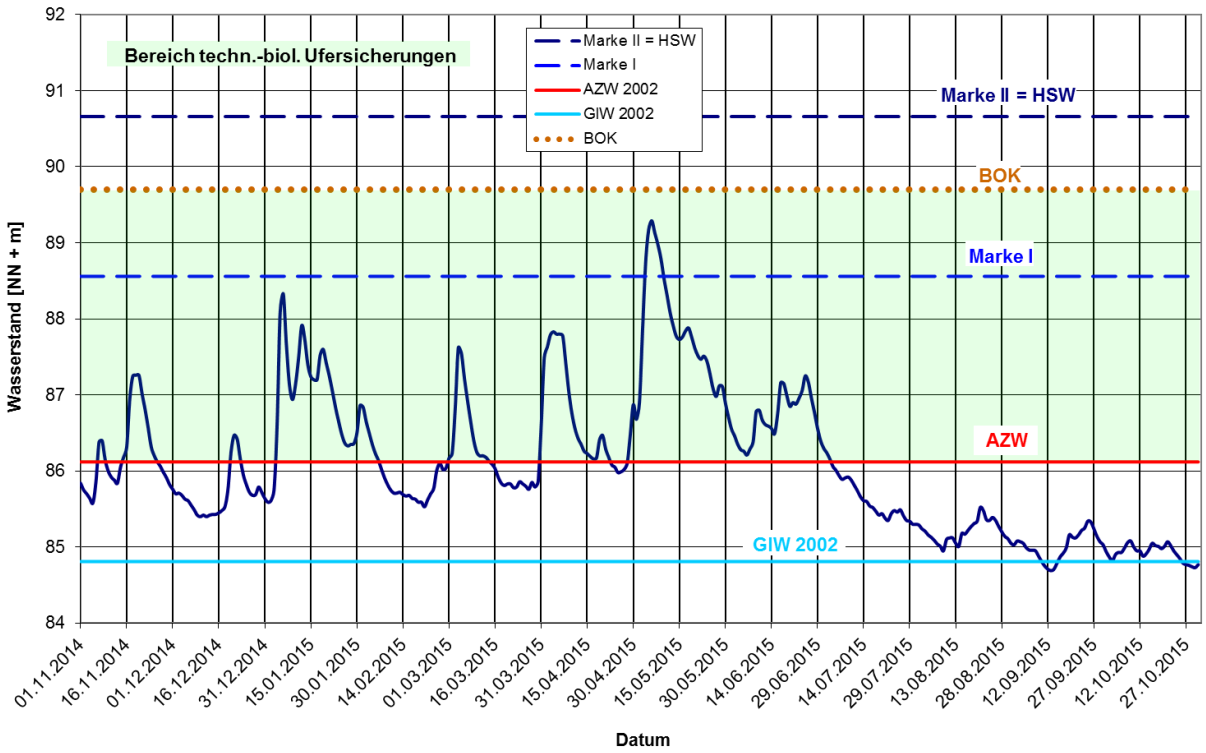


Bild 4: Ganglinie der Tagesmittelwerte der Wasserstände am Pegel Worms für den Zeitraum 1.11.2014 bis 31.10.2015

Wie schon in der Monitoringperiode 2014 traten in der **Monitoringperiode 2015** nur begrenzte Phasen mit höheren Wasserständen auf: Zwischen Januar und Mitte April 2015 dreimal mit Höchstwerten noch unter Marke I, nur in der ersten Maihälfte als Hochwasser mit sechs Tagen über Marke I.

Markant ist die lange Phase mit Wasserständen unter AZW von Anfang Juli 2015 bis zum Ende der Monitoringperiode, ab August tendenziell näher am GIW, der an insgesamt 11

Tagen unterschritten wurde. In der gesamten Monitoringperiode 2015 lag der Wasserstand an knapp 60 % der Tage unter AZW. Auch diese Monitoringperiode zeichnet sich also durch generell niedrigere Wasserstände aus.

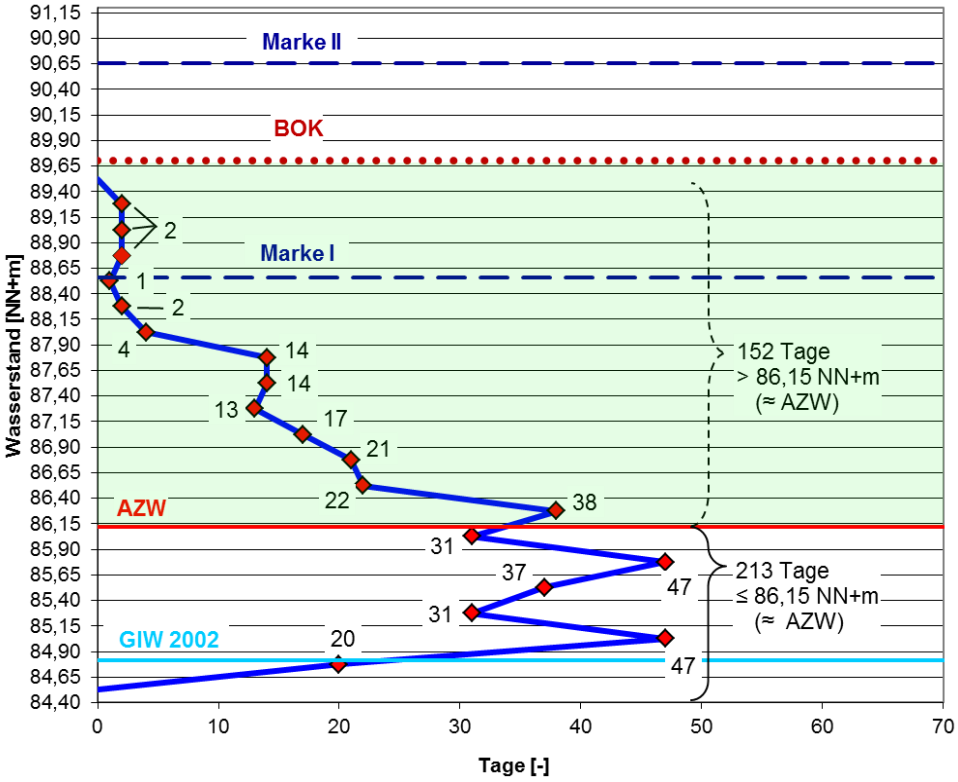


Bild 5: Verteilung der Häufigkeit in Tagen (◆) der Wasserstände am Pegel Worms im Zeitraum 1.11.2014 bis 31.10.2015

## 3.2 Durchgeführte Teiluntersuchungen

Im Rahmen des Monitoring wurden zwischen November 2014 und Oktober 2015 die in Tab. 1 aufgeführten Teiluntersuchungen durchgeführt.

Tab. 1: Durchgeführte Teiluntersuchungen in der Monitoringperiode 2015

| Untersuchungen | Zeitraum | Ziel/ Inhalte |
|---|---|---|
| Laufende Uferinspektionen (WSA, BAW, BfG) | Gesamtes Jahr | Erfassung und Dokumentation des Zustandes der neuen Ufersicherungen und Beurteilung der Uferstabilität |
| Fotoaufnahmen (BAW) | 20.2.15<br>9.7.15<br>5.11.15 | Panorama-Fotoaufnahmen vom gegenüber liegenden Ufer zur Dokumentation der zeitlichen Entwicklung der neuen Ufersicherungsmaßnahmen |
| Vermessung der Ufergeometrie (WSA Mannheim) | 1/15<br>11/15 | Einmaß von ausgewählten Querprofilen zur Erfassung von Erosion im Böschungsbereich |
| Porenwasserdruckmessung | 7.5.15 | Porenwasserdruckmessung im VF 3 bei laufender Schifffahrt (dazu Datenerhebung: Schiffsabmessungen und -geschwin- |

| | | |
|---|---|---|
| (BAW) | | digkeiten, Uferabstände) |
| Verkehrsbeobachtung und Messung der hydraulischen Uferbelastungen (BAW und Fa. Schmid im Auftrag der BAW) | 7.5.-9.5.15 | Messung der Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der Weidenspreitlagen (VF 3) zur Erfassung des Einflusses der Weidensprosse auf die Strömungsgeschwindigkeiten<br>Registrierung der Schifffahrt mit den wichtigsten Daten<br>Messung der ufernahen Wellenhöhen und Strömungsgeschwindigkeiten |
| Vegetationskartierung<br>FH Erfurt (in Zusammenarbeit mit BfG und BAW)<br><br>Boku Wien<br>(im Auftrag der BfG und BAW) | 21.-23.4.15<br><br>3.7.15<br>25.9.15 | Im Rahmen einer Studienarbeit wurden von Studenten der FH Erfurt folgende Untersuchungen durchgeführt:<br>VF2/3: Gehölzentwicklung (Deckungsgrad, Trieblängen, Vitalität, Artenverteilung) in drei hangparallelen Untersuchungsflächen (3 Vegetationszonen) mittels Transekten und Nivelliergerät.<br>VF5: Vegetationsaufnahmen (Deckungsgrad, Artenzahl, Vitalität, Ausfall) im Bereich der Gabionen und Steinmatratzen mittels Transekten und Nivelliergerät.<br>VF7: Vegetationsaufnahmen (Deckungsgrad, Artenzahl, Ausfall) unter Abbildung der einzelnen Mattentypen und Vegetationszonen mittels Transekten<br>VF9: Vegetationsaufnahmen (Deckungsgrad, Artenzahl) in drei hangparallelen Untersuchungsflächen; Wurzeluntersuchungen an einer Weidensetzstange (Wurzelklassen, Einteilung in Tiefenzonen, Wurzelprofil); Vitalitätsuntersuchungen an Weidensetzstangen (Triebanzahl, -länge)<br>VF 2/3: Vegetationsaufnahmen (Sprosslängen, Deckungsgrade, Vitalität der Weiden) |
| Elektrobefischung (BfG) | 9.6.15<br>6.10.15 | Dokumentation der Fischfauna pro VF und Referenz |

## 3.3 Porenwasserdruckmessungen

### 3.3.1 Allgemeines

Der während einer Schiffspassage auftretende Wasserspiegelabsunk führt im Uferbereich im anstehenden Boden in Abhängigkeit von dessen Durchlässigkeitsbeiwert zu Porenwasserüberdrücken (PWÜD), die mit steigender Absunkgröße und -geschwindigkeit zunehmen. Infolge der Porenwasserüberdrücke werden die effektiven Spannungen im Boden und damit die Böschungsstandsicherheit herabgesetzt. Sie sind deshalb eine wichtige Größe zur Bemessung von technischen Deckwerken, aber auch zur Beurteilung der Wirksamkeit von Ufersicherungen mit Pflanzen.

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

Im Verlaufe des Gesamt-Monitorings bis zum Jahr 2016 wurden Porenwasserdruckmessungen bei unterschiedlichen Wasserständen zwischen AZW und HSW (= Marke II) durchgeführt.

Im **Jahr 2012** waren das 3 Messungen im mittleren Wasserstandsbereich (Wasserstände am Messprofil Rhein-km 440,900 mit AZW = NN + 86,46 m):

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

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

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

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

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

Geringere Wasserstände als der vom Februar 2014 sind für Messungen nicht geeignet, da dabei die Drucksonden trocken fallen können und keine Messwerte aufzeichnen.

Im **Jahr 2015** fand die letzte Messung bei einem sehr hohen Wasserstand zwischen Marke I und Marke II (= HSW) statt:

6. Mai 2015 bei NN + 89,68 m = AZW + 322 cm

Bei höheren Wasserständen als dem am 6. Mai 2015 zu messen ist nicht sinnvoll, da schon bei diesem Wasserstand annähernd bordvoller Abfluss vorlag (ca. 30 cm unter der BOK von etwa NN + 90,00 m) und die Effekte äußerst gering waren.

Die Wasserstände aller bis zum jetzigen Zeitpunkt durchgeführten Messkampagnen sind in Bild 6 zu sehen. Alle Details und Ergebnisse zur Messung 2015 sind in „Teilbericht: Porenwasserdruckmessungen am 6.05.2015“ (voraussichtlich BAW, 2017) ausführlich dargestellt.

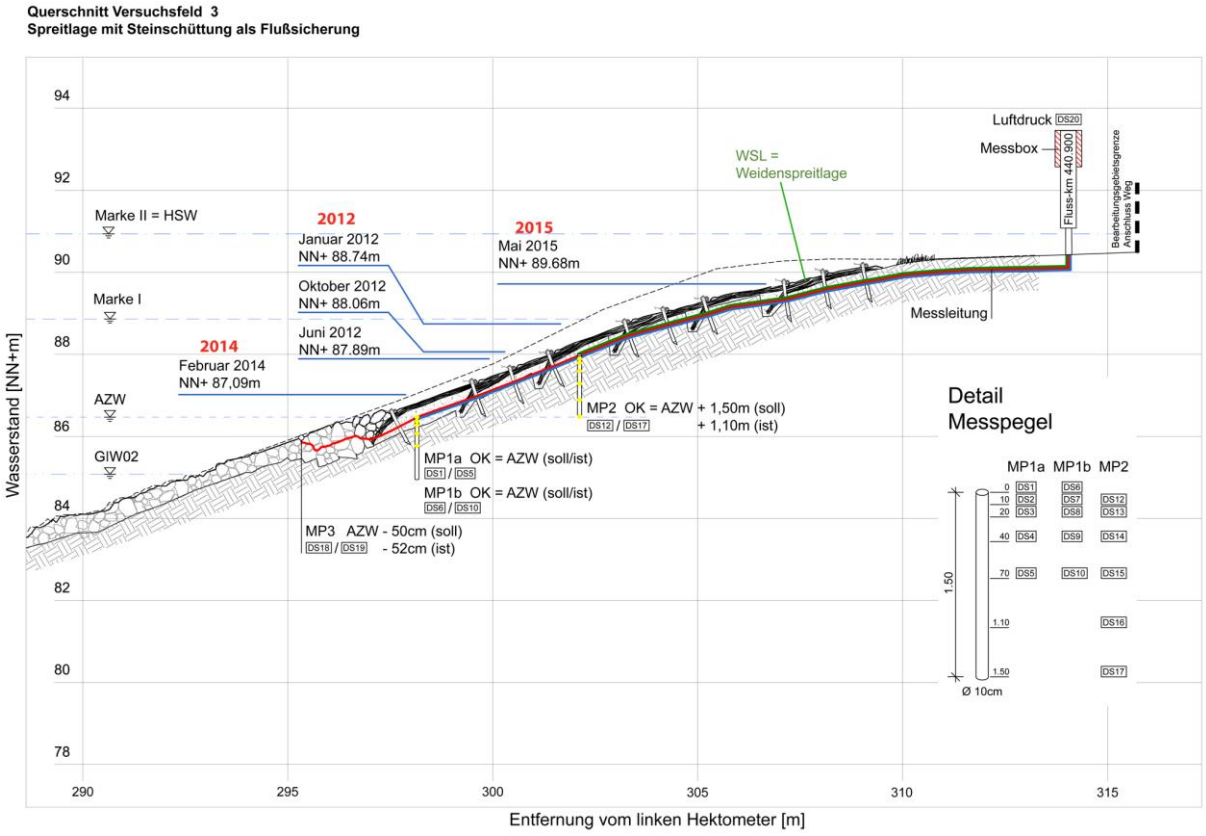


Bild 6: Querprofil bei Rh-km 440,900 im Versuchsfeld 3 mit Positionen aller Messpunkte und Wasserspiegellagen für Messungen 2012, 2014 und 2015; *rechts:* Detail zu den Tiefen der einzelnen Drucksonden unter der Böschungsoberfläche

### 3.3.2 Durchführung

Während der Messung am 6. Mai 2015 wurden in der Zeit von 10:40 Uhr bis 14:46 Uhr 23 Schiffe erfasst (Bild 7). Die Porenwasserdrücke wurden in der gesamten Zeitspanne durchgehend aufgezeichnet.

Wie schon 2014 konnten bei jeder Schiffspassage folgende Daten aufgenommen werden:

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

Bild 7: Porenwasserdruckmessung bei Rh-km 440,900 im Versuchsfeld 3 mit passierendem Bergfahrer und ausführender Mannschaft (von links: Fotodokumentation, Laserentfernungsmessung, Protokoll, Überwachung elektronische Datenerfassung)

### 3.3.3 Analyse

Wie schon 2014 wurden alle Angaben und Messwerte plausibilisiert, korrigiert und ergänzt. Die Fotosequenzen und das Dossier aus im Internet verfügbaren Schiffsbeschreibungen dienten wieder dazu, fehlende Abmessungen, tatsächliche Abladungen anhand der Eichmarken und andere auf der Schiffstafel erkennbaren Angaben zu ergänzen. Aus dem so veränderten Protokoll konnten die Werte in die weitere Auswertung einfließen.

Auch die Rohdaten der aufgezeichneten Werte der Druckdosen wurden wieder plausibilisiert. Während der gesamten über 4-stündigen Messzeit gab es – bedingt durch Probleme mit der Stromversorgung – zwei kurze Messausfälle von 1,2 und 1,8 min, während derer aber keine Schiffspassagen auftraten. Die Werte der parallel und in gleichen Tiefen eingebauten Druckdosen MP1a und MP1b (Bild 6) wurden verglichen, wobei sich diesmal geringe Unstimmigkeiten bei den Druckdosen von MP1a zeigten, weswegen auf die Druckdosen von MP1b zurückgegriffen wurde. Obwohl der Wasserstand des Rheins in 2015 in den ca. 4 Stunden nur minimal um 1 cm (NN + 89,69 m auf NN + 89,68 m am Messquerschnitt Rh-km 440,900) fiel (Bild 8) wurde dieser Trend bei der Auswertung berücksichtigt. Auf Bild 8 sind die temporären Wasserstandsveränderungen (Bugstau und Absunk) während weniger Schiffspassagen zu erkennen.

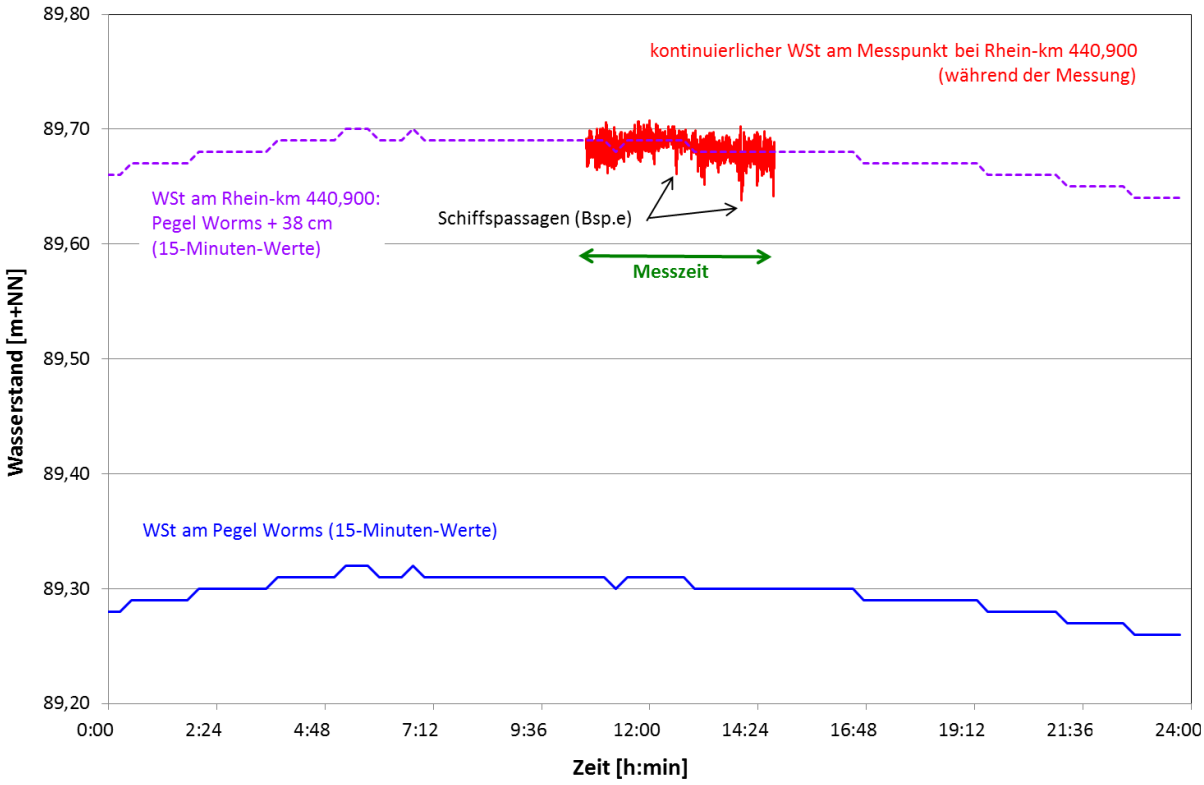


Bild 8: Wasserstandsverläufe am Messpunkt bei Rh-km 440,900 am 6.05.2016

Die Auswertung des Wasserspiegelverlaufs lieferte die Werte für Bugstau, Absunk und Heckwellenhöhe je Schiff. Die am tiefsten liegende Druckmessdose ergab den zugehörigen maximalen Porenwasserüberdruck (max PWÜD). Beispiele dafür sind das Güterschiff SHAMROCK auf Bild 9 (a) und der Schubverband GERDA II auf Bild 9 (b).

Bei vielen Schiffen dagegen waren diese Werte bei der Messung 2015 nicht zu ermitteln, weil die Verläufe von Wasserspiegel und Porenwasserüberdrücken nur geringe Veränderungen aufweisen. Das Güterschiff EILTANK 38 ist dafür ein Beispiel (Bild 9 (b)). Eine Erklärung dafür ist – wie bei der Messung 2014 –, dass die Auswirkungen eines passierenden Schiffes nur in einer begrenzten Einflussbreite – abhängig von Schiffslänge und -breite – neben dem Schiff zu messen sind, was im GBB 2010 (BAW, 2011) erläutert wird. Das heißt, Schiffspassagen mit großem Uferabstand, besonders auch bei kurzen und schmalen Schiffen, bewirken am Ufer weder Absunk noch Porenwasserüberdruck. Das heißt auch, dass nicht jedes vorbeifahrende Schiff am Ufer Auswirkungen hat.

Eine andere Erklärung ist im Fall der Messung 2015 der sehr hohe Wasserstand, der über der Wasserstandsmarke I liegt, ab dem die Schiffe im mittleren Drittel der Fahrrinne fahren müssen und deshalb einen größeren Uferabstand haben. Außerdem ist durch den hohen Wasserstand das Verhältnis Gewässerquerschnitt zu eingetauchtem Schiffsquerschnitt sehr groß. Beides korrespondiert mit geringeren Auswirkungen am Ufer, also sehr geringen Was-

serspiegelschwankungen – die oft auch noch in der Größenordnung der Wellenbewegungen liegen – und entsprechend kleinen Porenwasserüberdrücken.

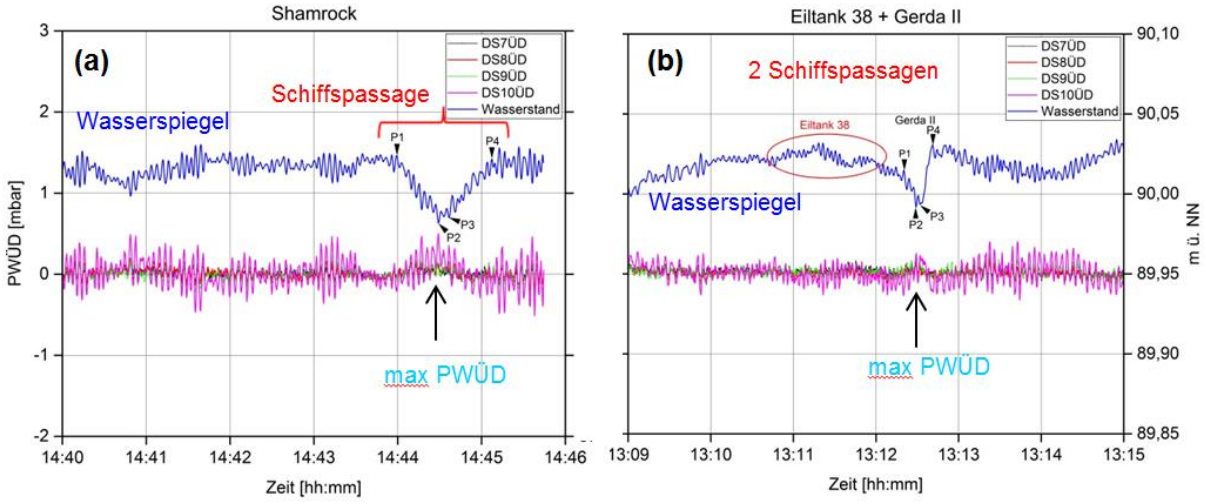


Bild 9: Verläufe von Wasserspiegel und Porenwasserüberdrücken während der Passage der Schiffe **(a)** SHAMROCK und **(b)** EILTANK 38 und GERDA II

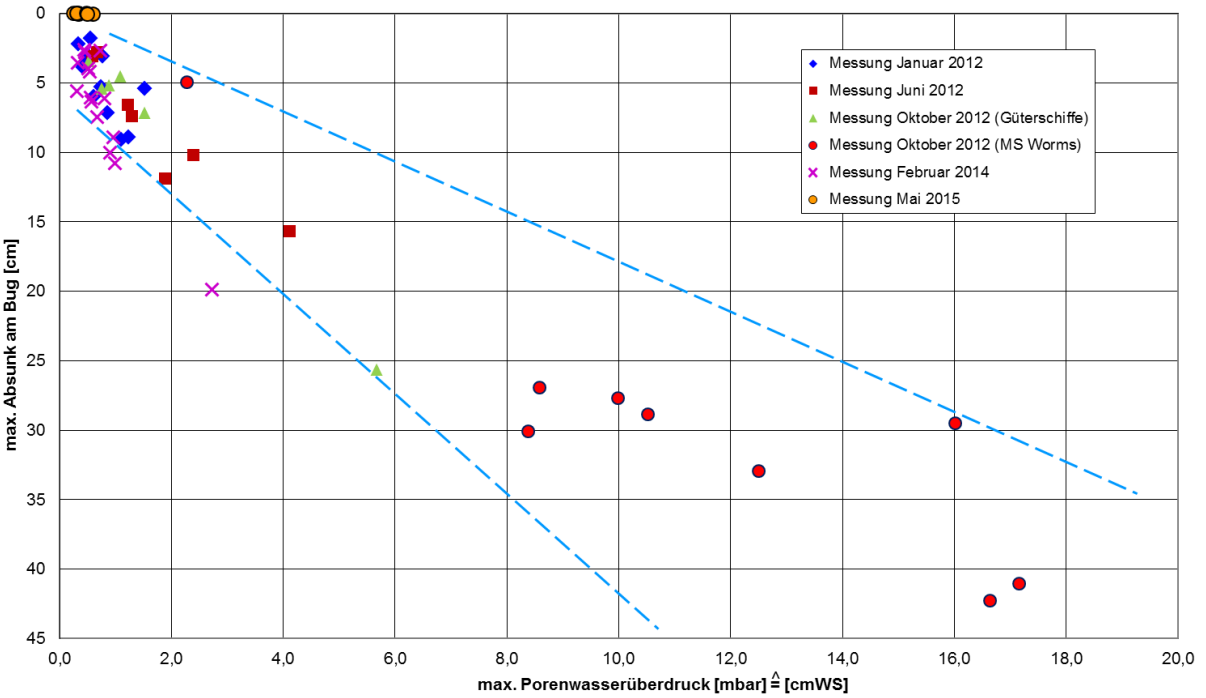


Bild 10: Werte für **max. Absunk am Bug vs. max. Porenwasserüberdruck** für alle Schiffe (Güterschiffe u. MS Worms) der vier Messkampagnen in 2012 und 2014 sowie der neuen Messkampagne 2015 ( ● ) im Vergleich

Von den 23 beobachteten Schiffen erzeugten deshalb bei den Messungen 2015 nur noch 8 (ca. 35 %) tatsächlich messbare Porenwasserüberdrücke am Ufer (Bild 10). Vertiefende Erläuterungen dazu finden sich im Teilbericht „Porenwasserdruckmessungen am 6.05.2015“ (voraussichtlich BAW, 2017).

Die Messwerte 2015 sind gegenüber den Werten aus den Vorjahren sehr gering, wobei der Trend zunehmender Absunkgeschwindigkeit mit wachsendem Absunk grundsätzlich erhalten bleibt. Die Absunkgeschwindigkeiten liegen alle unter 0,01 cm/s und sind damit deutlich geringer als die Durchlässigkeit des anstehenden Bodens von 0,05 cm/s. Deshalb ist in diesem Fall keine destabilisierende Wirkung der Porenwasserüberdrücke zu erwarten.

### 3.3.4 Vergleich der Messungen 2012, 2014 und 2015

Die Hauptergebnisse aller fünf Messkampagnen (3 x 2012, 1 x 2014, 1 x 2015) können mit den Auftragungen der maximalen Absunkwerte am Bug (schneller Wasserspiegelabsunk) über dem maximalen Porenwasserüberdruck (Bild 10) visualisiert werden. Die Größenpaare der verwertbaren 8 Güterschiffe von 2015 passen – obwohl absolut kleiner als in den Vorjahren – gut zu den 2012 und 2014 erfassten Schiffen. Die extremen Werte der Sonderfahrten des WSA Bootes MS Worms vom Oktober 2012 liefern unverändert die maximalen Werte.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse der Messung des Porenwasserüberdrucks 2015, wie schon die Messungen 2012 und 2014, dass im Bereich der Weidenspreitlagen (VF 3) Porenwasserüberdrücke im Boden als Reaktion auf den schiffsbedingten Wasserspiegelabsunk auftreten. Eine detaillierte Auswertung hinsichtlich der Auswirkungen auf die Böschungsstandsicherheit unter Berücksichtigung der stabilisierenden Wirkung der Weidenwurzeln erfolgt nach Abschluss aller Messungen 2016.

## 3.4 Messung der hydraulischen Uferbelastung

### 3.4.1 Allgemeines

Vom 7. bis 9. Mai 2015 wurde eine dreitägige Messkampagne zur Erfassung der ufernahen hydraulischen Einwirkungen durchgeführt. Dabei wurden im Rahmen einer Verkehrsbeobachtung Schiffstyp, Schiffsabmessungen, Abladetiefe, Schiffsgeschwindigkeit und Uferabstand der verkehrenden Schiffe registriert. In sechs Versuchsfeldern wurden die schiffsinduzierten Wellenhöhen im Böschungsbereich und in der gesamten Versuchsstrecke die ufernahen Strömungsgeschwindigkeiten gemessen (ähnlich wie bereits 2011 und 2012). Zusätzlich wurden im VF 3 erstmals punktuell Messungen zur Erfassung des Einflusses der Weiden auf die Strömungsgeschwindigkeiten durchgeführt. Schiffsbeobachtung, Messungen und Datenauswertungen erfolgten im Auftrag der BAW durch das Ingenieurbüro Schmid, Kapsweyer (Schmid, 2016).

### 3.4.2. Durchführung der Naturuntersuchungen

Schiffsgeschwindigkeiten und Uferabstände wurden mit einer hochauflösenden Radaranlage erfasst. Die schiffserzeugten Wasserspiegelauslenkungen wurden mit Druckmesssonden in sechs unterschiedlichen Querprofilen aufgezeichnet. Diese wurden primär in den Versuchsfeldern angeordnet, in denen die eingebauten Pflanzen Uferschutzfunktion haben (VF 3, 5, 7) oder kein Uferschutz vorhanden ist (VF 9). Zu Vergleichszwecken wurden auch VF 1 und die oberstromige Referenzstrecke berücksichtigt (Tab. 2). Zur Bestimmung der ufernahen

natürlichen Strömungsgeschwindigkeiten wurden ADCP-Messungen in 32 Querprofilen sowie drei Längsprofilen durchgeführt. Die Messungen der natürlichen und schiffsinduzierten Strömungsgeschwindigkeiten im Versuchsfeld 3 (Weidenspreitlagen) erfolgten durch das Referat W4 der BAW. Um innerhalb der zurückgeschnittenen und der nicht zurückgeschnittenen Weiden Messpunkte ca. 15 cm über der Böschungsoberfläche zu erreichen, wurden die Messungen mit einer ADV-Sonde von einem Hubsteiger aus durchgeführt (Bild 11).

Bild 11: Messung im VF 3 (km 440,910) vom Hubsteiger aus, hier im Bereich der zurückgeschnittenen Weiden

Tab. 2: Querprofile, in denen die ufernahen Wellenhöhen erfasst wurden

| **Querprofil für Wellenmessungen** | **Anmerkungen** |
|---|---|
| km 440,550 | Außerhalb der Versuchsstrecke, Referenz |
| km 440,690 | Versuchsfeld 1, Steinschüttung mit Setzstangen, Lebendfaschinen, Buschlagen |
| km 440,920 | Versuchsfeld 3, Weidenspreitlagen |
| km 441,050 | Versuchsfeld 5a, Röhrichtgabionen und Steinmatratzen auf Kiesfilter, Pflanzmatten |
| km 441,275 | Versuchsfeld 7, Pflanzmatte auf Kunststoffvlies, Kokosgewebe über Nassansaat |
| km 441,525 | Versuchsfeld 9, keine Böschungssicherung, Setzstangen an Geländeoberkante |

Zu Beginn der Messungen lag der Wasserspiegel am Pegel Worms ca. 60 cm oberhalb der Hochwasser Marke I (Marke I: NN + 88,56 m) und fiel im Verlauf der Beobachtungszeit um ca. 40 cm. Der Wasserstand blieb somit die gesamte Zeit deutlich über der Marke I (Bild 12).

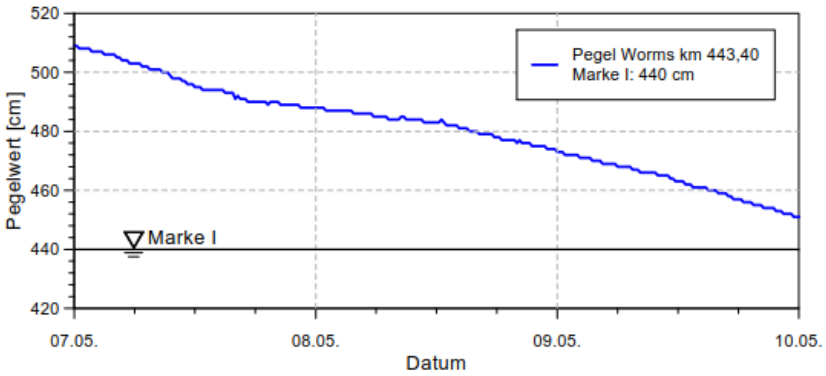


Bild 12: Pegelganglinie des Pegel Worms während der Messungen

### 3.4.3. Ergebnisse zu Schiffsflotte und Fahrverhalten

Während der Verkehrsbeobachtung wurden insgesamt 212 Schiffsbewegungen registriert (Bild 13). Sportboote wurden nicht erfasst. Schiffe mit Längen bis 85 m werden der Klasse „Europaschiff“ (ES) zugeordnet, sie stellten 17 % der beobachteten Schiffe dar. Die Hälfte aller Schiffe (52 %) waren Großmotorgüterschiffe (GMS) mit Längen bis zu 110 m. Überlange GMS (üGMS) mit Längen bis zu 135 m stellten 9 % der erfassten Schiffe dar. 10 % der registrierten Schiffe waren Schub- und Koppelverbände (SV) mit einem oder mehreren Leichtern, 12 % Fahrgastschiffe (FGS), von denen die meisten entweder 110 m bzw. 135 m lang waren.

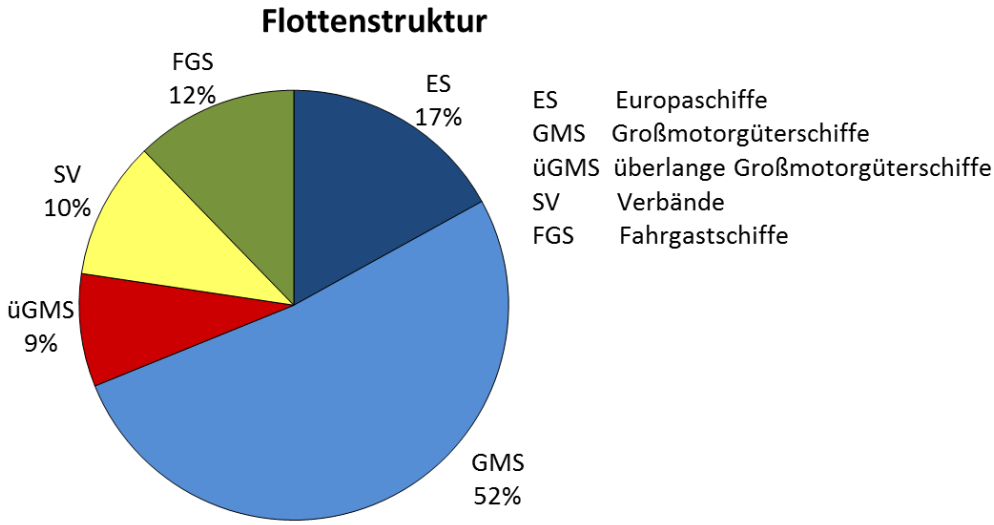


Bild 13: Flottenstruktur aller registrierten Schiffe

Die Schiffsgeschwindigkeiten wurden bei km 441,275 gemessen. Die Häufigkeitsverteilung der gemessenen Schiffsgeschwindigkeit ist getrennt für Berg- und Talfahrer im Bild 14 dargestellt. Die Talfahrer erreichten erwartungsgemäß mit im Mittel 19,5 km/h (maximal 23,4 km/h) generell höhere Schiffsgeschwindigkeiten über Grund als Bergfahrer mit 10,5 km/h (maximal 16 km/h).

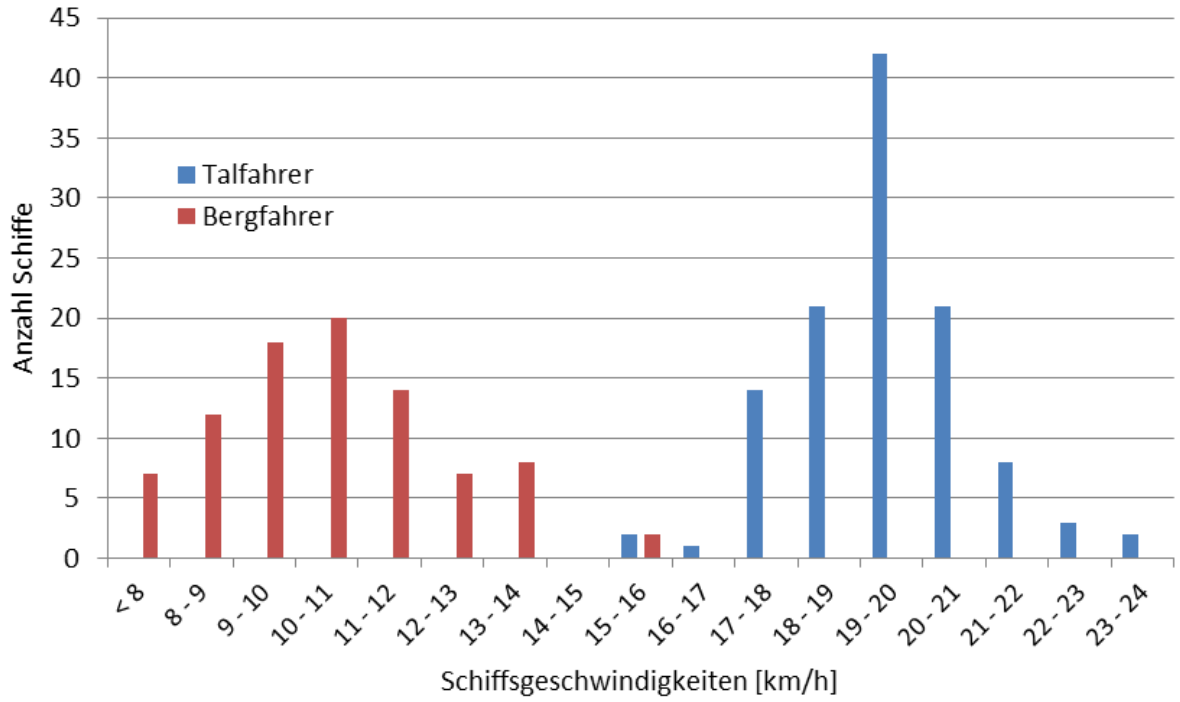


Bild 14: Häufigkeitsverteilung der Schiffsgeschwindigkeiten aller registrierten Schiffe

Die Lage der Fahrrinne und die während der Verkehrsbeobachtung aufgezeichneten Schiffspositionen aller Schiffe bei Fahrt durch die Versuchsstrecke zeigt Bild 15. Die Häufigkeitsverteilungen der Abstände sind beispielhaft bei km 440,690 (VF 1) und bei km 441,500 (VF 9) in Bild 16 dargestellt. Der bei km 440,690 (VF 1) gemessene kleinste Uferabstand ist mit ca. 80 m relativ groß. Der Abstand vom rechten Fahrrinnenrand zum rechten Ufer, d. h. der theoretisch minimale Uferabstand beträgt hier nur etwa 40 m, d. h. die Schiffe sind am oberstromigen Ende der Versuchsstrecke überwiegend mittig oder in der linken Fahrrinnenhälfte, vereinzelt auch links der Fahrrinne, jedoch nicht ufernah gefahren (Bild 15). Die Uferabstände werden aufgrund der Lage der Fahrrinne stromab größer. Der kleinste gemessene Uferabstand im VF 9 (km 441,500) beträgt ca. 150 m.

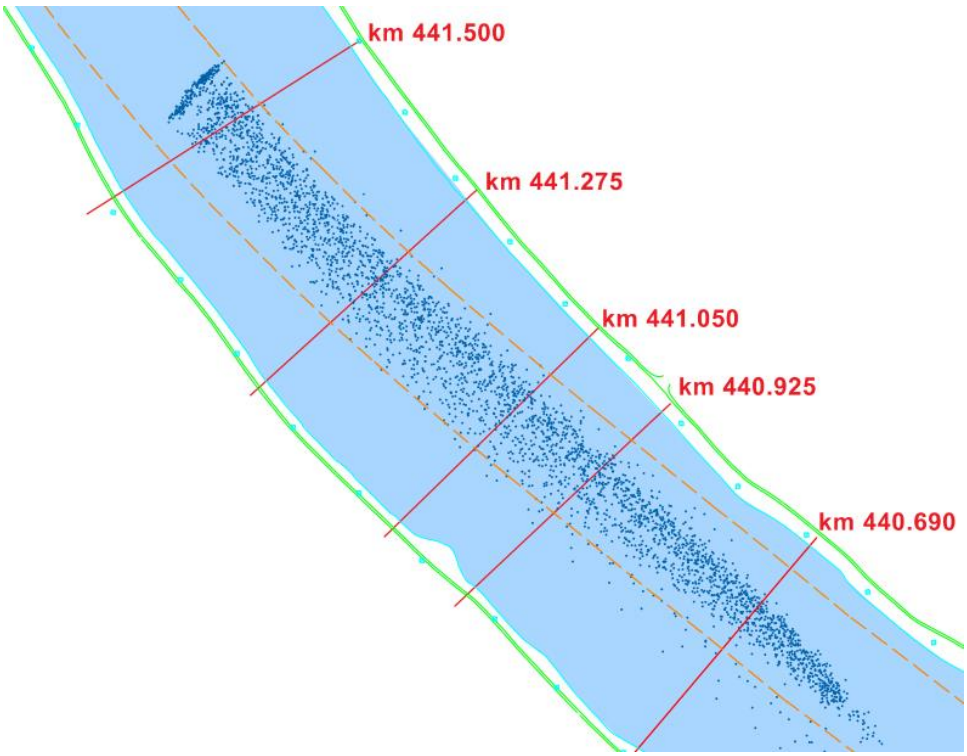


Bild 15: Aufgezeichnete Positionen aller Schiffe während der Verkehrsbeobachtung

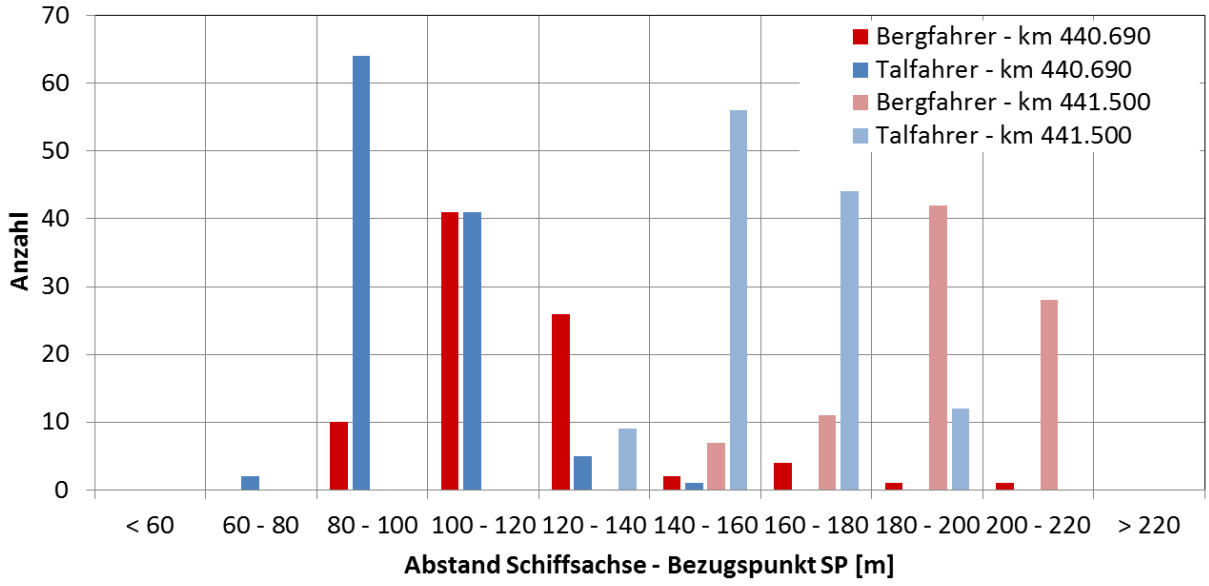


Bild 16: Häufigkeitsverteilung der Abstände Schiffslängsachse – Bezugspunkt am Ufer bei Rhein-km 440,690 (VF 1)

### 3.4.4. Ergebnisse zu den schiffsinduzierten Wellen und Strömungsgeschwindigkeiten

Die Wellenhöhen wurden getrennt nach Bug-, Heck- und Sekundärwelle ausgewertet. Insgesamt wurden in allen Messpunkten sehr kleine schiffsinduzierte Wellenhöhen gemessen. Die Bug- und Heckwellenhöhen betrugen maximal 0,11 m, die Sekundärwellenhöhen maximal 0,30 m, wobei nur 5 der 212 Schiffsvorbeifahrten größere Wellenhöhen als 0,14 m erzeugten. Bei vielen Schiffspassagen konnte kein signifikantes Wellenereignis erkannt werden. Ursache sind die hohen Wasserstände während der Messung. Dadurch ist das Verhältnis vom Flussquerschnitt zum eingetauchten Schiffsquerschnitt sehr groß und die Schiffe fahren mit großen Uferabständen. Beides führt zu kleineren Uferbelastungen. Die Sekundärwellen stellen die maßgebenden Wellenhöhen dar, Heckwellen und Wasserspiegelabsunk sind am Ufer kaum relevant. Beispielhaft sind die Häufigkeitsverteilungen der gemessenen Wellenhöhen im VF 1 am Anfang (Bild 17) und im VF 9 am Ende (Bild 18) der Versuchsstrecke dargestellt.

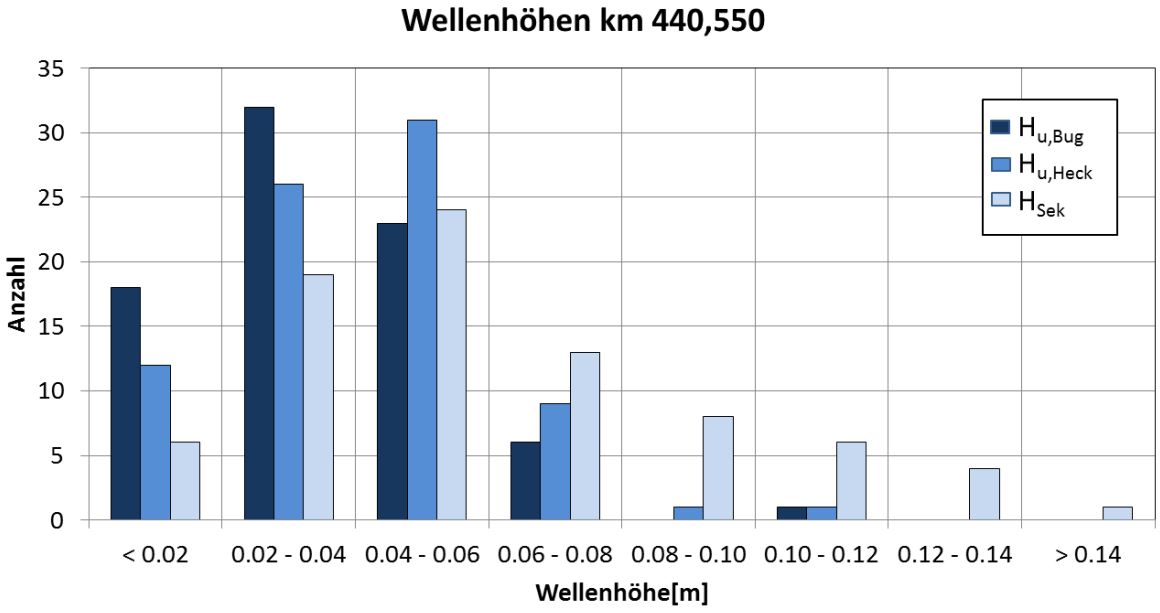


Bild 17: Häufigkeitsverteilung der Wellenhöhen bei km 440,550 (VF 1)

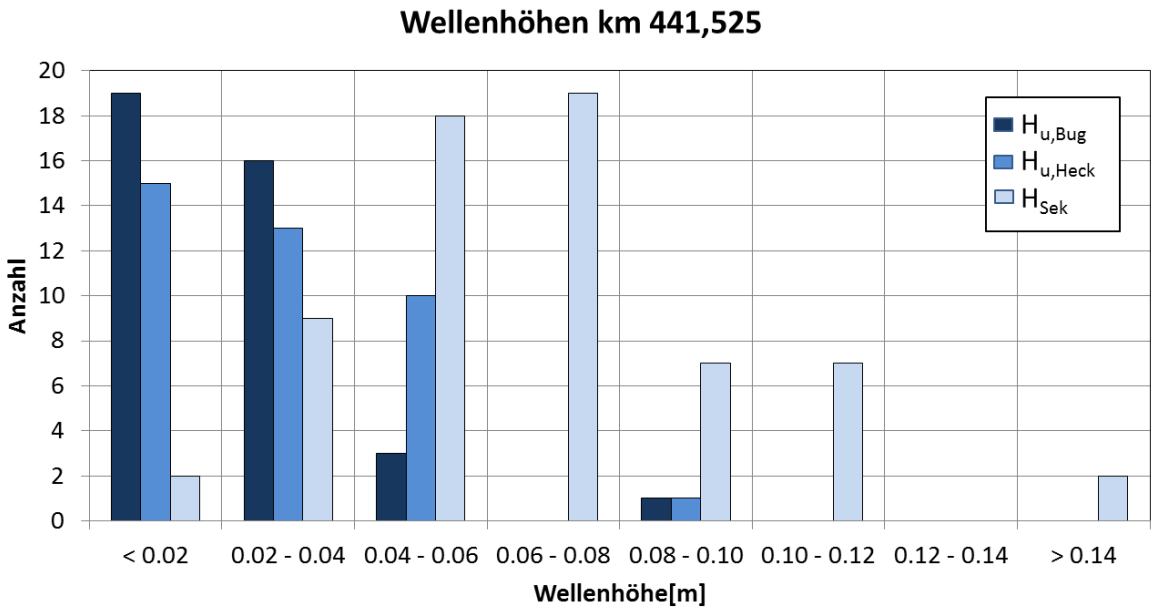


Bild 18: Häufigkeitsverteilung der Wellenhöhen bei km 441,525 (VF 9)

Die Ergebnisse der Strömungsmessungen sind in Bild 19 beispielhaft als Isotachenplan für das Querprofil km 440,7 (VF 1) dargestellt. Im Bereich der Fahrrinne wurden Fließgeschwindigkeiten von bis zu 2,20 m/s gemessen. Der dargestellte Querschnitt liegt im Anfangsbereich der Versuchsstrecke, wo noch der Einfluss der leichten Linkskrümmung (höhere Geschwindigkeiten und tiefere Sohllage im rechten Uferbereich) zu erkennen ist. Ufernah sind die Strömungsgeschwindigkeiten erwartungsgemäß geringer – im VF 1 zwischen 0,6 m/s und 1,1 m/s, in den VF 3, 5, 7 und 9 zwischen 0,4 und 0,9 m/s (Schmid, 2016).

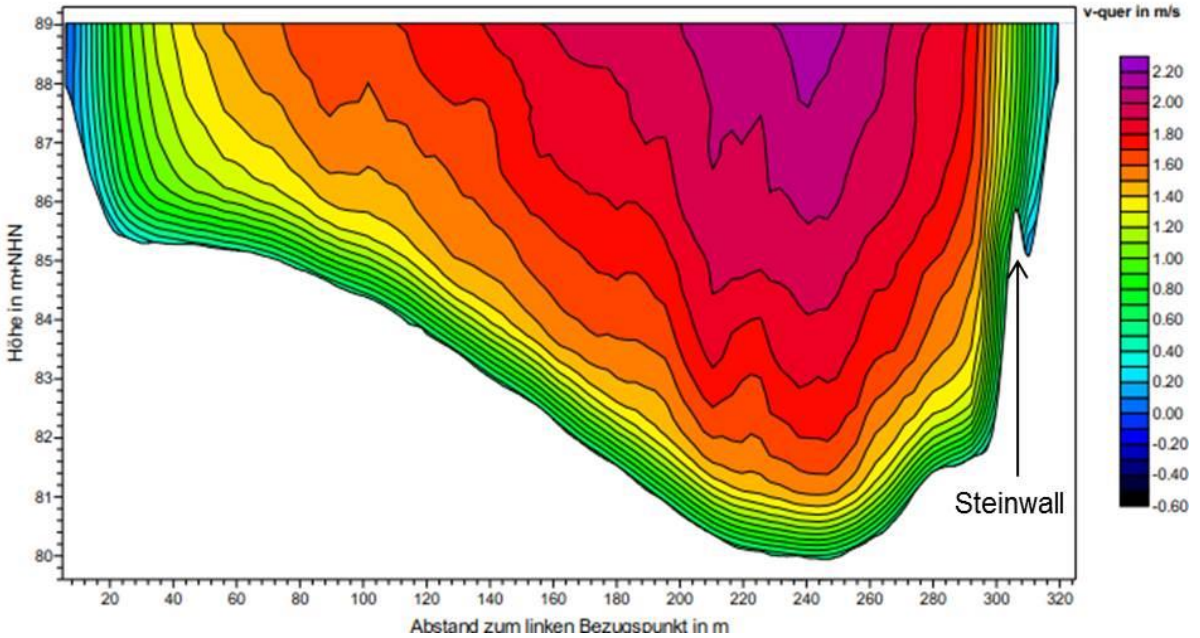


Bild 19: Isotachenplan für das Querprofil Rhein-km 440,700 (VF 1)

Bei Wasserständen oberhalb Mittelwasser stellt die natürliche Strömungsgeschwindigkeit eine bemessungsrelevante Belastungsgröße für die technisch-biologischen Ufersicherungen dar. Gleichzeitig beeinflusst die aufwachsende Vegetation die Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb der Versuchsfelder. Zur Erfassung des Einflusses der Vegetation wurden bei dieser Versuchskampagne zum ersten Mal Messungen der Strömungsgeschwindigkeiten innerhalb der 4 Jahre alten Weidensprosse im Versuchsfeld 3 (km 440,940) und zum Vergleich im Bereich der 2015 zurückgeschnittenen Weiden (km 440,920) vorgenommen. Die Messungen erfolgten an verschiedenen Messpunkten im Böschungsbereich ohne Schifffahrt und während der Vorbeifahrt verschiedener Güterschiffe und eines speziell für diese Messungen eingesetzten WSV-Schiffes.

Die ermittelten Strömungsgeschwindigkeiten lagen zwischen 0,05 m/s und 0,66 m/s. Der zu erwartende, dämpfende Einfluss der Vegetation auf die Strömungsgeschwindigkeiten konnte anhand der Messungen allerdings nicht eindeutig nachgewiesen werden. Hauptursache ist vermutlich, dass die Weiden seit dem Rückschnitt im Januar 2015 zum Messzeitpunkt bereits wieder etwas ausgetrieben waren (Bild 24 im Kap. 4.1). Außerdem waren die Randbedingungen der Einzelmessungen nicht genau gleich (Lage der Messpunkte auf der Böschung, Höhe der Messung über Geländeoberkante, unterschiedliche Schiffe). Hinsichtlich dieser Fragestellung werden deshalb die Ergebnisse spezieller Modelluntersuchungen, die 2016 in der Wellenanlage der BAW durchgeführt wurden und zur Zeit ausgewertet werden, herangezogen.

# 4. Monitoringergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse für den Untersuchungszeitraum November 2014 bis Oktober 2015 hinsichtlich der Stabilität der Einzelmaßnahmen und der Gewährleistung des Uferschutzes, der Vegetation, der Sanierungs- und Unterhaltungsmaßnahmen jeweils für die einzelnen Versuchsfelder dargestellt. Die Ergebnisse der faunistischen Untersuchungen sind zusammengefasst im Kap. 5 beschrieben.

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 primär hinsichtlich der Ergebnisse zum ökologischen Potenzial der Maßnahmen dargestellt (Kap. 4.2). Besonders betrachtet wird das Versuchsfeld 9, das nach Rückbau der Steinschüttung keine neue Böschungssicherung erhalten hat. Hier geht es um die Beurteilung der Erosionsentwicklung und der natürlichen Sukzession (Kap. 4.3).

Für den direkten Vergleich mit der Uferentwicklung ohne Maßnahmen werden für die Vegetation zusätzlich jeweils eine 100 m lange Referenzstrecke mit Schüttsteindeckwerk am unter- und oberstromigen Ende der Versuchsstrecke und für die Fauna eine 300 m lange Referenzstrecke am unterstromigen Ende der Versuchsstrecke untersucht.

Da im Berichtszeitraum keine BfG-eigenen Vegetationskartierungen durchgeführt wurden, beschränken sich die Aussagen zur Vegetation in diesem Bericht auf Auswertungen des umfangreichen Fotomaterials und die wichtigsten Ergebnisse aus den Untersuchungen der FH Erfurt im Rahmen von Studienarbeiten und der Boku Wien im Rahmen einer Promotion.

Die 2015 vom WSA Mannheim durchgeführten Unterhaltungs- und Pflegearbeiten, wie Gehölzrückschnitt, Mahd und Neophytenbekämpfung, werden für die einzelnen Versuchsfelder im Folgenden beschrieben. Der Aufwand ist tabellarisch in Kap. 6 zusammengestellt.

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 den Vorberichten.

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

### Versuchsfelder 2 und 3: M1 Weidenspreitlagen

Die Weidenspreitlagen in den Versuchsfeldern 2 und 3 haben sich seit Einbau 2011 gut entwickelt – im mittleren Böschungsdrittel etwas besser als im oberen. Ende 2014 wurden

maximale Trieblängen von ca. 4 m (Purpur-Weide) bis 6 m (Silber-Weide) und Triebdurchmesser bis zu 8 cm gemessen. Lediglich der untere Böschungsbereich, der bei Mittelwasser im Wasserwechselbereich liegt und am häufigsten eingestaut wird, hat sich generell etwas schlechter entwickelt, erkennbar an einer geringeren Triebdichte und kürzeren und dünneren Trieben. Trotz anfänglicher Erosion war der Uferschutz immer gewährleistet.

Die Ergebnisse des Vorjahres konnten durch die Untersuchungen einer Studentengruppe der FH Erfurt prinzipiell exemplarisch für einen kleinen Ausschnitt des VF 3 an unbeeinflussten Weiden, die direkt an einen zurückgeschnittenen Bereich grenzen, bestätigt werden (Krautz, Engelmann, 2015). Dabei wurden im April 2015 in einem Transekt (km 440,898) mit einer zum Ufer parallel ausgerichteten Breite von 1,5 m und einer Länge von 13 m (von der Wasserlinie bis zur Böschungsoberkante) Triebanzahl, Triebdurchmesser sowie die mittleren und maximalen Wuchshöhen der Weiden ermittelt. Im Ergebnis erreichten die Weiden in diesem Ausschnitt im unteren, am stärksten wasserstands- und schifffahrtsbelasteten Böschungsbereich bis AZW + 0,5 m eine maximale Wuchshöhe von 3,00 m, während im darüber liegenden Bereich (bis AZW + 1,70 m) die höchsten maximalen Wuchshöhen bis 3,70 m und kräftigsten Triebdurchmesser erreicht werden konnten. Oberhalb AZW + 1,70 m erreichten die Weiden geringere Triebdurchmesser und durchschnittliche Wuchshöhen bis 2 m. Bild 20 verdeutlicht die Ergebnisse und bestätigt, dass auch im Berichtszeitraum der mittlere Böschungsbereich den kräftigsten Weidenwuchs aufweist. Es konnte weiterhin festgestellt werden, dass die Weidentriebe überwiegend entlang der Querriegel auftreten. Dies sind gleichzeitig die Bereiche, in denen die Weidenruten direkt nach Einbau fest an den Boden gedrückt wurden und in denen auch nach den Hochwasserereignissen im bisherigen Monitoringzeitraum kaum Sedimentausspülungen stattfanden.

Aufgrund der guten Entwicklung und der bereits zum Teil vorhandenen Sprossdurchmesser von über 3 cm (Ab diesem Durchmesser ist die bei Hochwasser erforderliche Flexibilität der Sprosse nicht mehr ausreichend gegeben) wurde Ende 2014 beschlossen, in den Versuchsfeldern 2 und 3 bereits erste unterschiedliche Unterhaltungsmaßnahmen an Weidenspreitlagen zu testen. Die Unterhaltungsmaßnahmen sollten dabei so ausgeführt werden, dass die Weiden durch den Rückschnitt wieder an Flexibilität hinsichtlich Hochwasserabfluss gewinnen und das Spross- und Wurzelwachstum zum Schutz des Ufers angeregt wird. Weiterhin sollte der Schnitt aus ökologischer Sicht so erfolgen, dass sich in beiden Versuchsfeldern künftig ein gemischtaltriger, mehrschichtiger und artenreicher Weidenbestand entwickelt.

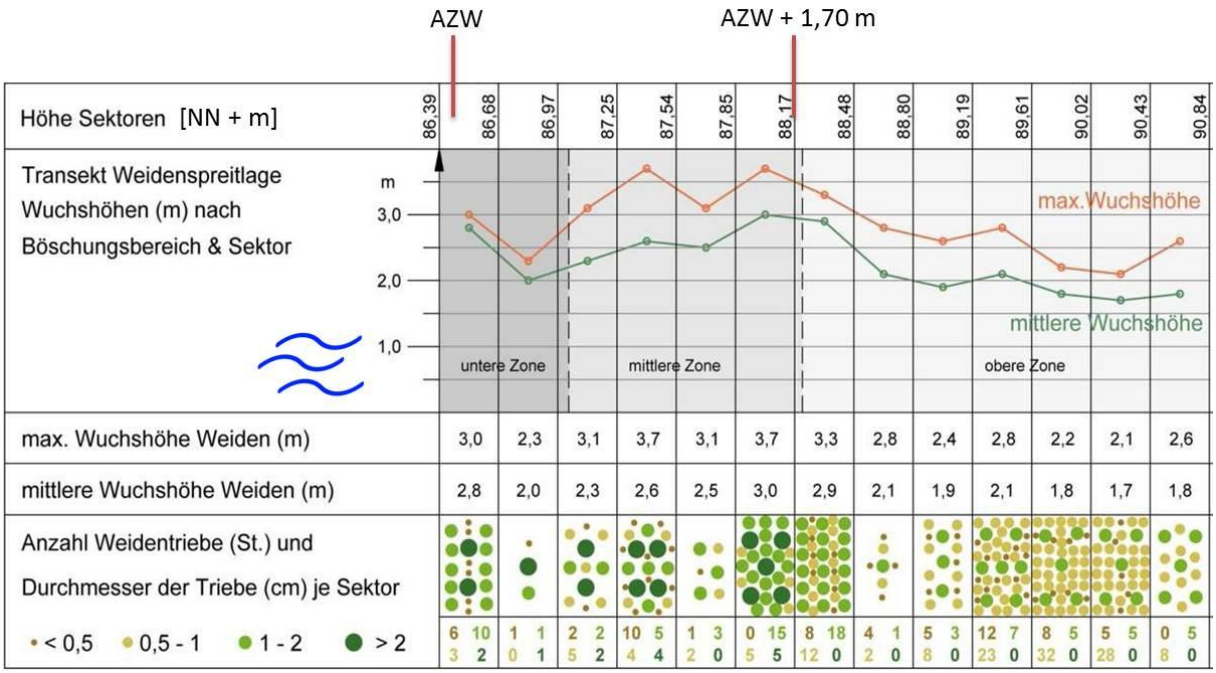


Bild 20: Wuchshöhen und Triebdurchmesser in Abhängigkeit von der Uferzonierung bzw. Sektoren (Krautz, Engelmann, 2015).

Es erfolgten vorab mehrere Begehungen mit BAW, BfG und WSA Mannheim und auch eine Beratung durch Prof. Florineth (Boku Wien). Der Rückschnitt der Weiden wurde Anfang Februar 2015 vom WSA Mannheim, Abz. Worms, durchgeführt.

Im Versuchsfeld 2 wurden 95 % der Weidensprosse ca. 10 cm über der Geländeoberfläche abgeschnitten, zwei Silberweidentriebe wurden im oberen Böschungsbereich zur Entwicklung einzelner Baumweiden belassen. Stromab blieben die Weiden auf einer Fläche von ca. 5 % unbeeinflusst. Hier wurden weitere drei Silberweidentriebe freigeschnitten, die sich künftig als Baumweiden weiterentwickeln können (Bild 21).

Im Versuchsfeld 3 wurden ca. 30 % der Weidenfläche zurückgeschnitten, der übrige Weidenbestand blieb unbeeinflusst. Die Weiden wurden in 3 Abschnitten mit Längen von jeweils 7 m, 7 m und 8 m analog zum Versuchsfeld 2 über die gesamte Böschungshöhe zurückgeschnitten (Bild 22). Weidensprosse mit Durchmessern über 3 cm wurden im Wasserwechselbereich auch in den übrigen Feldern entfernt. Alle Rückschnittarbeiten erfolgten durch die Mitarbeiter des Abz. Worms ohne Maschineneinsatz mit Handsägen und Astscheren. Das Schnittgut wurde von den VF abtransportiert.

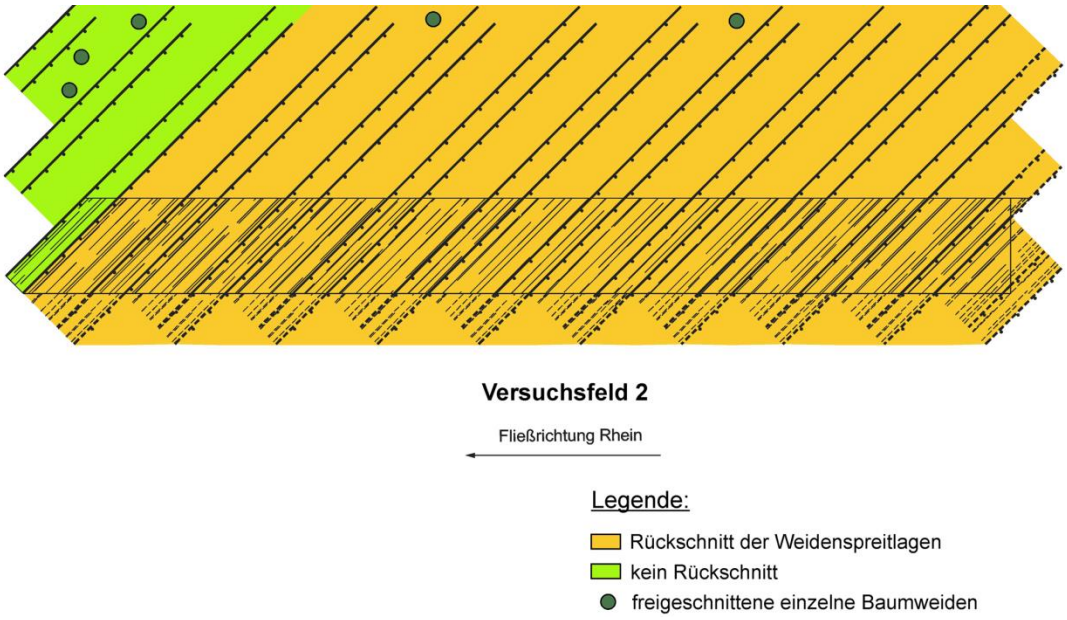


Bild 21: Lageskizze zum Rückschnitt der Weiden im VF 2

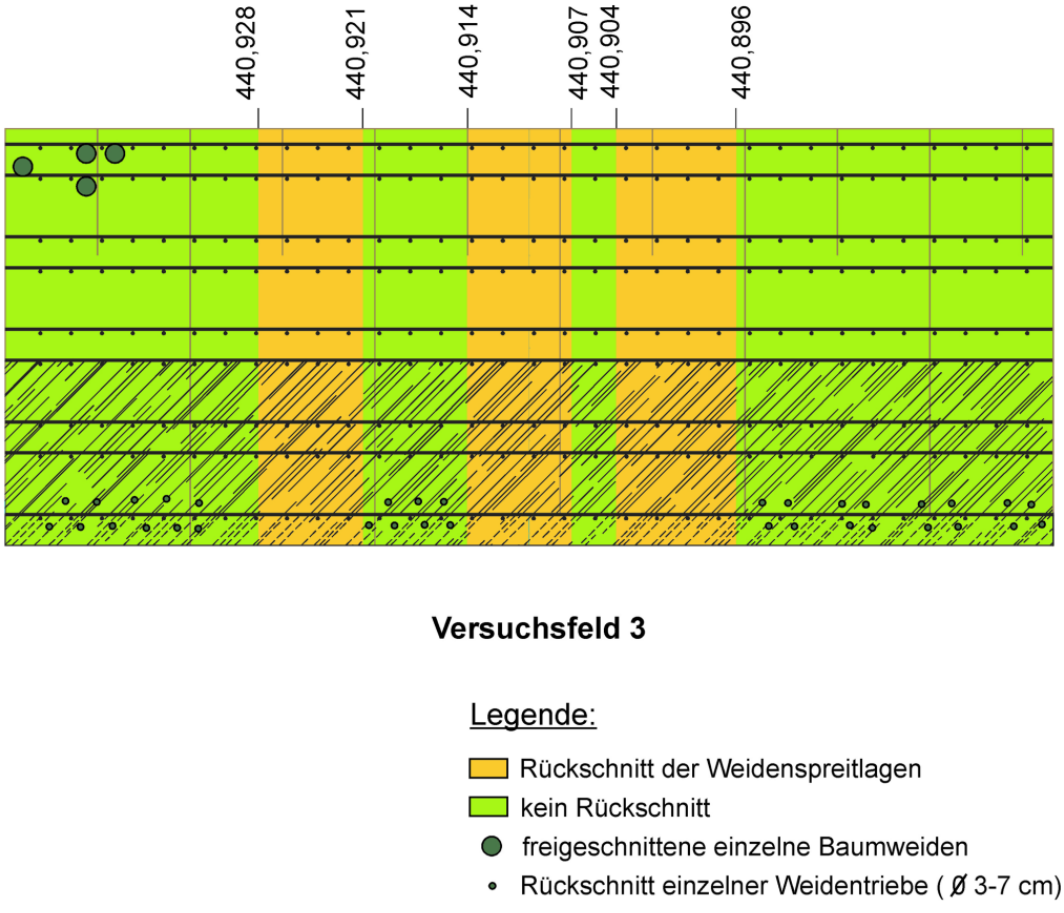


Bild 22: Lageskizze zum Rückschnitt der Weiden im VF 3

Die Fotos in Bild 23 zeigen die Versuchsfelder nach dem Rückschnitt.

Bild 23: Zustand nach Rückschnitt im VF 2 (links) und VF 3 (rechts) am 10.4.2015

Die Weiden trieben nach dem Rückschnitt zunächst gut wieder aus (Bild 24), wurden jedoch durch mehrere Hochwasser beeinträchtigt (siehe Ganglinie Pegel Worms im Bild 4).

Bild 24: Austriebe nach Rückschnitt im VF 2 am 11.5.2015, Wasserstand Pegel Worms: NN + 88,31 m

Besonders im Mai und Juni 2015 lag der Wasserstand dauerhaft über AZW, Anfang Mai sogar ca. 3 m über AZW (Bild 25). Bei gleichzeitiger Schifffahrtsbelastung war der untere Böschungsbereich ca. 8 Wochen nahezu ununterbrochen eingestaut. Unmittelbar danach schloss sich eine Trockenperiode (Bild 3) mit konstant sehr niedrigen Wasserständen (ca. AZW - 1 m) an, die von Juli bis Ende des Jahres andauerte. Das waren insgesamt schwierige Randbedingungen für die Entwicklung der zurückgeschnittenen Weiden.

Bild 25: Luftbild VF 3 am 7.5.2015, Wasserstand Pegel Worms: NN + 89,13 m

Bild 26 zeigt den Entwicklungszustand der Weiden im VF 2 im Juli zu Beginn der Trockenperiode. Die Weiden sind nahezu flächig ausgetrieben und in einem guten Zustand. Der Unterschied zu den nicht zurückgeschnittenen Weiden am unterstromigen VF-Ende (links im Bild) ist noch zu erkennen. Das gilt auch für das VF 3. Im Bild 27 ist in der Mitte rechts der zurückgeschnittene Bereich sichtbar mit kürzeren Trieben und kaum Triebentwicklung im lange eingestauten unteren Böschungsbereich nahe AZW. Im Bild 26 sind auch innerhalb der zurückgeschnittenen Bereiche Unterschiede in der Trieblänge und Triebanzahl erkennbar.

Mit Beginn der Trockenperiode setzte ein Befall vieler Weidentriebe mit parasitisch lebender Seide (*Cuscuta* sp.) ein. Der Befall beschränkte sich zwar auf den oberen Böschungsbereich, führte dort jedoch zum Absterben einzelner Weidentriebe. Diese Problematik konnte bereits in den Vorjahren beobachtet werden. Da die Seide nicht überstauungstolerant ist, wurde sie bei Hochwasserereignissen regelmäßig wieder zurückgedrängt, so dass sich die Weiden regenerieren konnten. Die Entwicklung der befallenen Weiden wird weiter beobachtet.

Bild 26: Weidenspreitlagen im VF 2 am 2.7.2015, Wasserstand Pegel Worms: NN + 86,24 m

Bild 27: Weidenspreitlagen im VF 3 am 2.7.2015, Wasserstand Pegel Worms: NN + 86,24 m

Unmittelbar nach dem Rückschnitt wurde sichtbar, wieviel Material (Geschwemmsel, Äste usw.) sich zwischen den Weidenästen abgelagert hatte (Bild 28, links). Ursache ist vermutlich eine Strömungsreduzierung im Böschungsbereich durch die Weidensprosse. Wie zu erwarten, wurde das Material nach dem Rückschnitt bei Hochwasserereignissen zunehmend wieder abgetragen. Es wurde auch eine verstärkte Bodenerosion in den nicht ausreichend durchwurzelten Bereichen beobachtet (Bild 28, rechts). Die Gesamtstandsicherheit der Uferböschung wurde dadurch jedoch nicht gefährdet.

Bild 28: links: Abgelagertes Material im VF 2, unmittelbar nach Rückschnitt (9.2.2015), rechts: VF 2, lokal verstärkte Bodenerosion (10.11.2015)

Bodenverlagerungen sind auch in den Anfang März und im November 2015 vom WSA in den zurückgeschnittenen Bereichen durchgeführten Querprofileinmaßen nachweisbar. Bild 29 zeigt beispielhaft die Querprofileinmaße bei km 440,845 (VF 2), Bild 30 bei km 440,910 (VF 3). Erosion von Bodenmaterial in einer Stärke von ca. 20 cm, örtlich von bis 35 cm (Bild 31), ist im gesamten, temporär immer wieder eingestauten Böschungsbereich bereits im März 2015 im Vergleich zur letzten Messung im April 2012 nachweisbar. Das passt zu den Beobachtungen vor Ort. Es liegen zwar keine Vergleichsprofile vom Zustand unmittelbar vor

dem Rückschnitt vor, es ist aber anzunehmen, dass eine deutliche Erosion während der ersten höheren Wasserstände nach dem Rückschnitt stattfand. Von März 2015 bis November 2015 sind in den Querprofilen keine großen Veränderungen mehr erkennbar. Beobachtungen vor Ort nach weiteren Hochwassern deuten auf eine lokale Zunahme der Erosion hin.

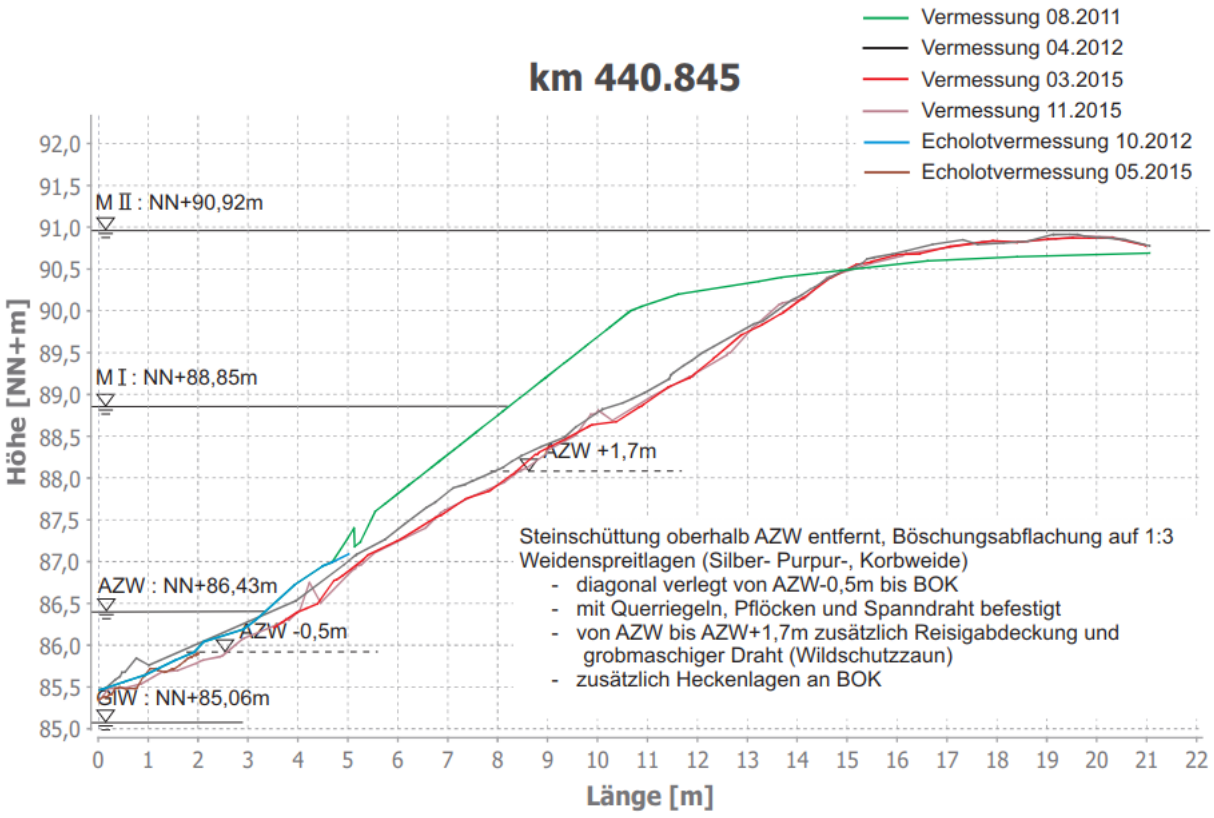


Bild 29: Querprofileinmaße km 440,845 (VF 2)
Einmaß 08.2011 erfolgte vor Beginn der Baumaßnahme

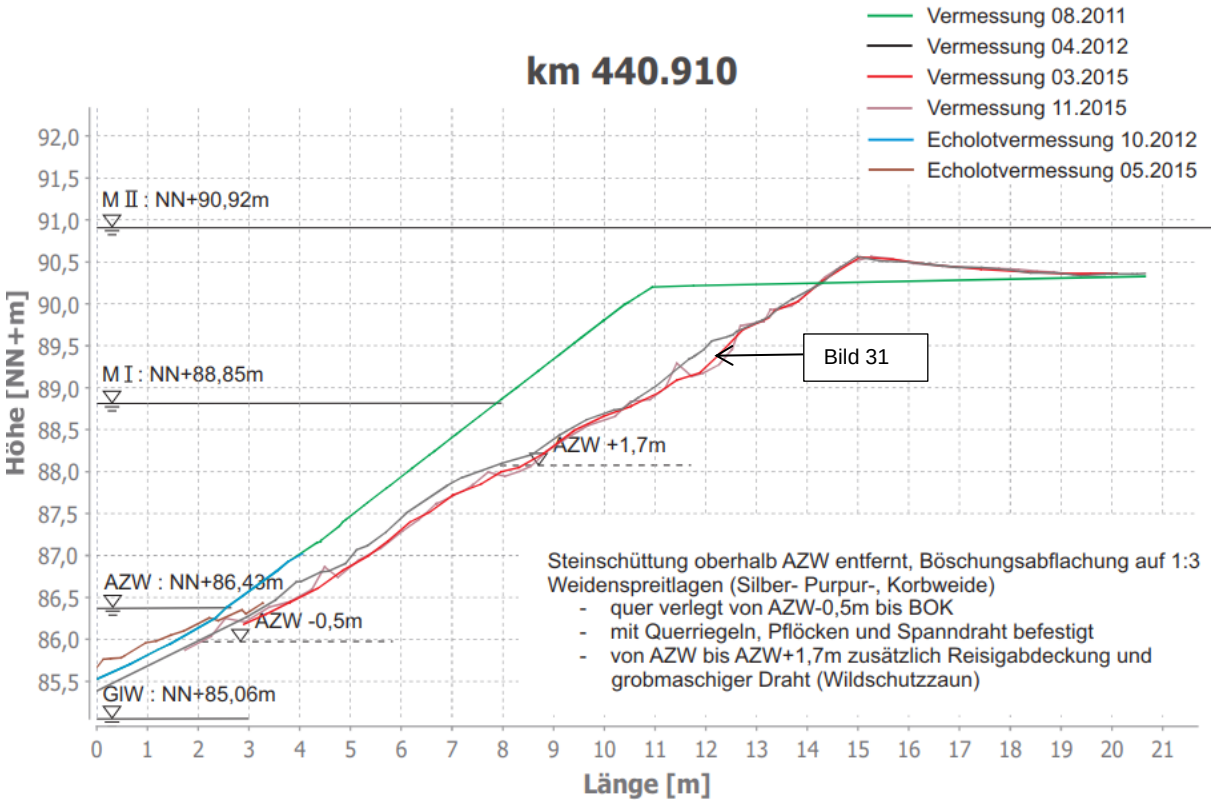


Bild 30: Querprofileinmaße km 440,910 (VF 3)
Einmaß 08.2011 erfolgte vor Beginn der Baumaßnahme

Bild 31: Erosion vom Bodenmaterial im oberen Böschungsbereich bei km 440,910 (10.11.2015)

Bemerkenswert ist, dass bei den vorherrschenden hohen Wasserständen (NN + 88,7 m bis NN + 89,3 m) nur sehr geringe schiffsinduzierte Wellenhöhen das Ufer belasten (Kap. 3.4). In VF 3 lagen die gemessenen Wellenhöhen überwiegend zwischen 0,02 m und 0,10 m, maximal bei 0,15 m. Damit sind auch der Wasserspiegelabsunk und daraus resultierende

Porenwasserüberdrücke sehr gering (siehe Kap. 3.3). Bei diesen Belastungen ist kein böschungsparalleles Abgleiten infolge von Porenwasserüberdrücken zu erwarten. Allerdings führen auch bereits die kleinen Wellenhöhen durch Druckwechsel zu oberflächennahen Auflockerungen, wodurch Erosionsprozesse beschleunigt werden. Bei den im VF 3 ufernah gemessenen mittleren Geschwindigkeiten der natürlichen Strömungen von maximal 0,4 m/s bis 0,7 m/s und nahe über der Böschungsoberfläche gemessenen schiffsinduzierten Strömungsgeschwindigkeiten von maximal 0,66 m/s sind fast alle Kornfraktionen im Sandbereich nicht mehr lagestabil. Das bestätigen auch die Beobachtungen.

Trotz der anfänglichen Schwächung durch den Rückschnitt konnten die Weidenspreitlagen auch 2015 alle hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt, Hochwasser und häufigem Überstau aufnehmen und den Uferschutz ausreichend gewährleisten. Eine weitere Beobachtung der Entwicklung ist insbesondere hinsichtlich der lokal verstärkten Bodenerosion notwendig und erfolgt im Rahmen des Monitoring.

Aus ökologischer Sicht bietet die gute Entwicklung der Weidenspreitlagen im Vergleich zu den Referenzstrecken weiterhin einen strukturreichen Bereich mit standorttypischem Weidengehölz. Der Strukturreichtum soll künftig durch das angestrebte Pflegekonzept weiter erhöht werden, indem zwischen den Strauchweiden einzelne Baumweiden herausgepflegt werden. Durch den bereichsweisen Schnitt soll ein gemischtaltriger und mehrschichtig aufgebauter Weidenbestand entstehen.

Die Weidengebüsche mit dominierender Purpur-Weide (*Salix purpurea*) unter Beimischung von Silber-Weide (*Salix alba*) schaffen Lebensraumstrukturen für Gehölz bewohnende Tiere wie z. B. Vögel und Insekten. Letztere profitieren im Frühjahr zudem von den Nektar und Pollen führenden Blüten der Weiden. Vorhandene Ablagerungen von Totholz und Treibgut sowie Laub bieten weiterhin bei höheren Wasserständen Nahrungs- und Besiedlungshabitat für Makrozoobenthos und Versteckmöglichkeiten für Fische, insbesondere Jungfische (Kap. 5). Der relativ dichte Wuchs der Weiden verhindert bisher ein Aufkommen von invasiven Neophyten (Krautz, Engelmann, 2015).

Erwähnenswert ist das stellenweise Vorkommen von nicht verrottbaren Abfällen, die mit Treibgut im Zuge von Hochwasserereignissen angeschwemmt werden.

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

Nach anfänglich guter Entwicklung der Pflanzen in den Röhrichtgabionen im VF 5a traten infolge der seit Einbau immer wiederkehrenden Hochwasserphasen mit langen Überstauperioden bei gleichzeitiger Schifffahrtsbelastung und zwischenzeitlichen Trockenperioden zunehmend Bewuchsausfälle auf, insbesondere im unteren häufig eingestauten Böschungsbereich. Nachdem bereits 2014 in der unteren Pflanzzone 1 nur noch ein Deckungsgrad des

Bewuchses von etwa 30-35 % (lediglich Seggen) und in der etwas höher gelegenen Pflanzzone 2 von ca. 25 % (Rohr-Schwingel und Rohr-Glanzgras) nachgewiesen werden konnte, setzte sich diese stark rückläufige Bewuchsentwicklung 2015 fort. Die stark beeinträchtigte Pflanzendecke war im Berichtszeitraum erneuten Belastungen aus mehreren Überstauphasen (insbesondere Anfang April und im Mai, vgl. Bild 4), gefolgt von der extrem langen Trockenperiode mit sehr niedrigen Wasserständen (unterhalb AZW) in den Monaten Juli, August, September und Oktober ausgesetzt, woraus weitere Pflanzenverluste entstanden (Bild 32).

Bild 32: Röhrichtgabionen am 2.7.2015

Dies bestätigen die Untersuchungen der FH Erfurt, die im April 2015 exemplarisch für einen Transektbereich des VF 5a (bei km 441,010) durchgeführt wurden (Kratzberg, Goebel, 2015). In Pflanzzone 1 konnte von den eingebrachten Pflanzen nur noch die Schlank-Segge nachgewiesen werden. Zusammen mit einzelnen wild aufgekommenen Pflanzenarten erreichte der Bewuchs eine Gesamtdeckung von nur noch 15-20 %. Auch in Pflanzzone 2 nahm der Deckungsgrad insbesondere in den unteren, wasserseitigen Gabionenbereichen weiter ab (ca. 5-15 %, Bild 33). In der Zone darüber wurden noch Deckungsgrade bis 35 % nachgewiesen. Weiterhin nahm die Artenvielfalt über den bisherigen Monitoringzeitraum stark ab (46 Arten im Frühjahr 2014, 25 Arten im Spätsommer 2014, 8 Arten im Frühjahr 2015).

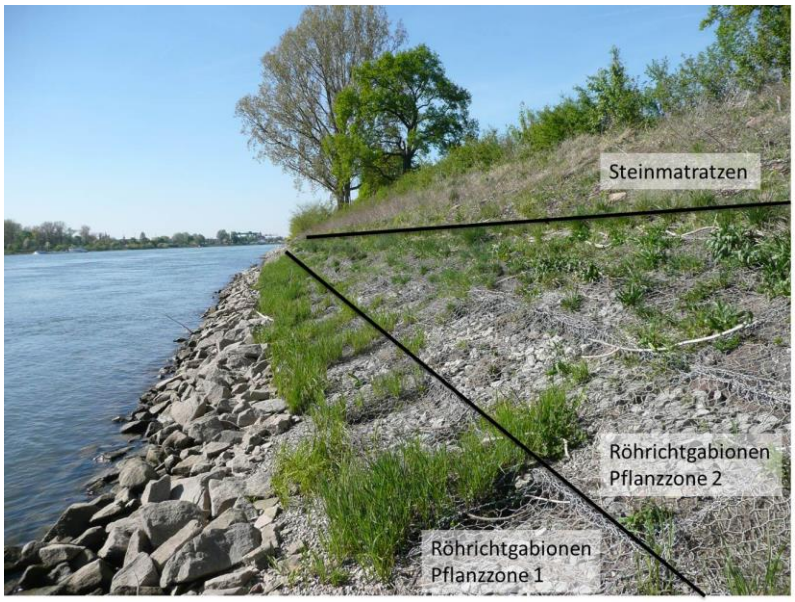


Bild 33: Röhrichtgabionen am 21.4.2015

Ohne den schützenden Bewuchs wurde das Kokosgewebe im Innenbereich der Gabionen durch die hydraulischen Belastungen weiter zerstört und innenliegender Boden und Kies ausgespült. Deshalb sind 2015 die ursprünglich „prall“ gefüllten Gabionen mit den im Maschendraht gehaltenen Steinen nur noch zu etwa 2/3 gefüllt. Die Steine sind innerhalb der Gabionen beweglich und rutschen böschungsabwärts. Im Ergebnis sind im oberen Bereich der einzelnen Gabionenfelder nur noch wenige Steine vorhanden, so dass sich z. T. senkrechte Kanten zum darüber liegenden Gabionenfeld gebildet haben (Bild 34). Hier besteht die Gefahr, dass der unter den Gabionen eingebaute Kornfilter in diesen entstandenen Lücken ausgetragen wird. Das könnte die Uferstandsicherheit langfristig gefährden.

Bild 34: Röhrichtgabionen am 10.11.2015, senkrechte Kante durch Steinverlagerungen innerhalb der Gabionen

Aus diesem Grund wurden erste Konzepte zur Sanierung diskutiert. 2015 wurden die Gabionen zunächst nur weiter beobachtet, um u. a. festzustellen, ob sich die Seggen gegebenenfalls weiter ausbreiten und dadurch langfristig die Gabionen stabilisieren können. Die Ufer-

stabilität ist durch das Eigengewicht der Gabionen nach wie vor gegeben. Eine Sanierung wird erst erforderlich, wenn der Kornfilter ausgetragen wird.

Im Mai 2015 wurden im VF 5a (km 441,050) während des Hochwassers mit Wasserständen von NN + 88,7 m bis NN + 89,3 m ufernahe, tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten von maximal 0,7 m/s ermittelt (Kap. 3.4). Die gemessenen schiffsinduzierten Wellenhöhen sind auch hier mit überwiegend maximal 0,14 m sehr gering, nur 5 der 212 Schiffsvorbeifahrten führten zu größeren Sekundärwellenhöhen von 0,17 m bis 0,29 m. Die maßgebenden Belastungen, die hier zu dem Verlust von Pflanzenarten und den beschriebenen Schäden geführt haben, sind primär die langen Überstau- und Trockenzeiten, weniger die schiffsinduzierten Belastungen.

Im Ergebnis konnten bereits wichtige Erkenntnisse hinsichtlich der Überstauungstoleranz der eingesetzten Pflanzen in Abhängigkeit von der Lage auf der Böschung und damit der Überstauungshäufigkeit und -dauer bei gleichzeitigen Einwirkungen aus Schifffahrt erzielt werden. So bewähren sich nach wie vor die Groß-Seggen (Schlank- und Ufer-Segge) im unteren, häufig eingestauten Böschungsbereich, während dort die übrigen vorkultivierten Arten (Weißes Straußgras, Rohr-Glanzgras, Sumpf-Schwertlilie, Teichsimse, Ufer-Wolfstrapp, Blutweiderich) den langanhaltenden Überstauungen nicht standhalten konnten und komplett ausgefallen sind. In den etwas höher gelegenen Gabionenbereichen bewähren sich nach wie vor Rohr-Schwingel und ebenfalls die beiden Groß-Seggenarten, während das dominant eingebrachte Rohr-Glanzgras auch in dieser Zone an seine Toleranzgrenze stößt.

Aus ökologischer Sicht hat sich die 2012 anfänglich positive Entwicklung der Röhrichtgabionen, die bereits 2013 relativiert werden musste, nicht fortgesetzt. 2015 dominieren die vegetationsfreien Gabionenbereiche (Bild 33). Die anfänglich hohe Artenvielfalt ging weiterhin stark zurück. Arten aus natürlicher Sukzession, die den verbliebenen Bewuchs aus den vorkultivierten Arten, auch unter den gegebenen Randbelastungen des Rheins, stärken und durch eine natürliche Artenvielfalt bereichern könnten, stellten sich im Bereich der Gabionen nicht ein.

Die Steinmatratzen im oberen Böschungsbereich werden von Arten aus natürlicher Sukzession besiedelt (Bild 35). Die exemplarisch im April 2015 im VF 5a durchgeführten Kartierungen der FH-Erfurt (Kratzberg, Goebel, 2015) ergaben nur geringe Artenzahlen (5 bis 10 Arten) und Deckungsgrade des Bewuchses (ca. 10 bis 15 %). Im Vergleich zu den unteren Böschungsbereichen treten hier – in Anpassung an die Standortbedingungen – verstärkt Trockenheitszeiger wie Weiße Fetthenne, Leinkraut und Zypressen-Wolfsmilch auf. Die pflanzliche Besiedlung ist lückig, so dass bewuchsfreie, steinige Bereiche neben bewachsenen Bereichen liegen und somit verschiedene Kleinhabitate für die Tierwelt zur Verfügung stehen (Kap. 5). Ergänzt wird die Habitatvielfalt durch den nach wie vor sehr vitalen gepflanzten Heckenstreifen an der Böschungsoberkante. Aus ökologischer Sicht ist dies positiv

zu werten, zumal sich die Bereiche deutlich von den beiden überwiegend vegetationslosen und artenarmen Referenzstrecken unterscheiden.

Im unteren, häufig eingestauten Bereich des VF 5b haben sich auf den Steinmatratzen nach Entfernung der ursprünglich befestigen Pflanzmatten im Spätsommer 2013 (BAW, BfG, WSA-MA, 2014) zunächst durch natürliche Sukzession bis zum Herbst 2014 nur einzelne Arten (u. a. Brennnessel und Zaunwinde) mit einer geringen Deckung von 5 % etablieren können. Auch im Berichtszeitraum blieb es bei einem sehr geringen Artenaufkommen in diesem Bereich (Bild 35).

Bild 35: VF 5b – Steinmatratzen, in der oberen Böschungshälfte gut bewachsen, in der unteren nahezu ohne Bewuchs (2.7.2015)

Die Steinmatratzen selbst liegen von der Höhe AZW bis zur Geländeoberkante stabil auf der Böschung und gewährleisten unabhängig vom Bewuchs durch ihr Eigengewicht und den erosions- und filterstabilen Aufbau in sich und zum Untergrund nach wie vor die Uferstandsicherheit. Die Querprofileinmaße im VF 5 von 01/2015 bestätigen das, sie zeigen nur geringe Veränderungen gegenüber 2012 (Bild 36). Eine weitere Beobachtung, insbesondere der weiteren natürlichen Sukzession im unteren Böschungsbereich, erfolgt im Rahmen des Monitoring.

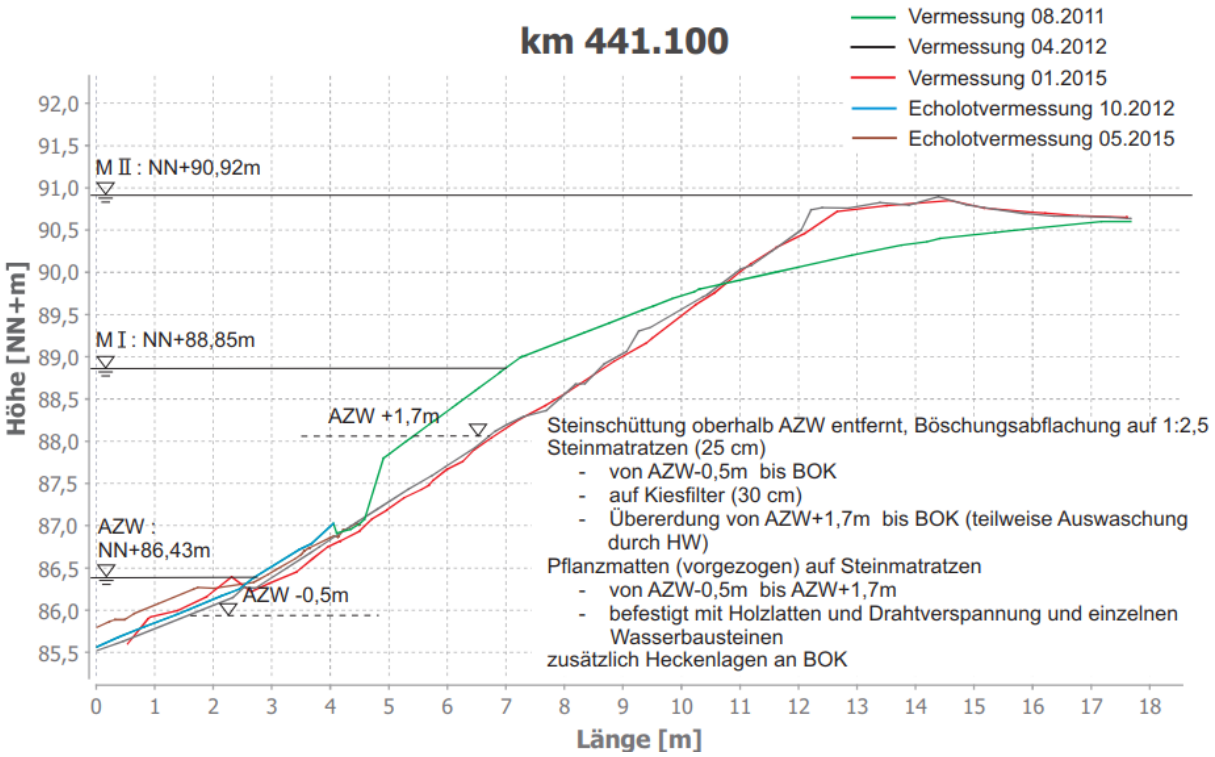


Bild 36: Querprofileinmaße km 441,100 (VF 5b)
Einmaß 08.2011 erfolgte vor Beginn der Baumaßnahme

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

Die auf verschiedenen Filtermatten (Kunststoffgeotextil, Schafwollvliese, Kokosmatten) eingebauten Pflanzmatten sollen die Uferstabilität durch einen erosions- und filterstabilen Aufbau und die Verwurzelung mit dem Untergrund, d. h. durch die Erhöhung der Scherfestigkeit des Bodens im Wurzelbereich, gewährleisten. Bereits im ersten Jahr zeigte sich jedoch, dass die Stabilität und Entwicklung der Pflanzmatten im unteren häufig eingestauten und gleichzeitig durch Schifffahrt belasteten Bereich problematisch ist. Bei Überstau wurden unter Auftrieb Pflöcke herausgezogen, zwischen den überwiegend punktuellen Befestigungen hoben und senkten sich die Matten durch Wellen und Strömungen und verhinderten dadurch ein Anwachsen der mit den Matten eingebrachten Pflanzen. Nach wiederholten Hochwassern war der Uferschutz nicht mehr ausreichend zu gewährleisten, so dass im August 2013 im gesamten VF 7 eine Sanierung der unteren Böschungsbereiche bis ca. AZW + 1,70 m mit Wasserbausteinen abgeschlossen wurde (BAW, BfG, WSA-MA, 2014).

Im Mai 2015 wurden während des Hochwassers (Wasserstand: NN + 88,7 m bis NN + 89,3 m) im VF 7a bei km 441,275 ufernahe, tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten von maximal 0,8 m/s ermittelt (Kap. 3.4). Die gemessenen schiffsinduzierten Wellenhöhen sind mit 0,02 bis 0,10 m, maximal 0,15 m sehr gering. Dadurch sind auch die infolge Wasserspiegelabsunk erzeugten Porenwasserüberdrücke im Boden gering (Kap. 3.3) und dementspre-

chend ein Versagen der Böschung durch Abgleiten der Böschung bei diesen Belastungen nicht relevant. Kritische Belastungen für die Pflanzmatten waren und sind vielmehr langanhaltende Überstauzeiten mit wirkendem Auftrieb und gleichzeitiger Wellen- und Strömungsbelastung. Diese haben in den unteren Böschungsbereichen zu den o. g. Schäden und zur Sanierung mit Wasserbausteinen geführt. Es kann demnach bereits jetzt festgestellt werden, dass Pflanzmatten in der ausgeführten Form an Wasserstraßen nicht in Böschungsbereichen, in denen große und häufige Wasserspiegelschwankungen auftreten, geeignet sind.

Im sanierten Bereich konnten seit 2013 vereinzelte Arten aus der ursprünglichen Bepflanzung durch die stabile Lage unter den Wasserbausteinen in den Lücken hervorwachsen (Bild 37, VF 7b und 7c). Es handelt sich überwiegend um Rohr-Glanzgrasbulte und Seggen, die mit hoher Wahrscheinlichkeit aus den darunterliegenden, ursprünglichen Pflanzmatten stammen.

Bild 37: Aus der Steinschüttung hervorwachsende Pflanzen (3.7.2014)

Die Pflanzmatten in den oberen Böschungsbereichen der VF 7b und 7c wiesen bisher einen guten und stabilen Pflanzenbewuchs auf. Diese Bereiche wurden insgesamt seltener und weniger lang überflutet, so dass sich die Pflanzen ungestört entwickeln konnten. Dieser Trend setzte sich auch im Jahr 2015 fort. Im Berichtszeitraum wurde der obere Böschungsbereich nur zweimal, vergleichsweise kurz, überstaut (Anfang Januar und Mitte Mai, Bild 4). Die Pflanzmatten sind nach wie vor in einem stabilen Zustand und stellen in Verbindung mit der Steinschüttung im unteren Böschungsbereich einen guten Uferschutz dar (Bild 38).

Bild 38: Versuchsfelder 7b und 7c am 2.7.2015

Dies bestätigen auch die Querprofileinmaße. Bild 39 zeigt beispielhaft die Querprofile bei km 441,305 im VF 7b. Die 2013 zur Sanierung eingebaute Steinschüttung ist im Einmaß 2015 gegenüber dem Einmaß 2012 als gleichmäßige Aufhöhung um ca. 30 cm bis AZW + 1,7 m zu erkennen. In dem darüber liegenden Böschungsbereich zeigt sich die stabile Lage an der gegenüber 2012 kaum geänderten Böschungsgeometrie. Hier gibt es nur wenige kleine Schadstellen, die im Einmaß 2015 nicht erfasst wurden. Durch Erosion sind lokal einzelne Vertiefungen bis maximal 30 cm Tiefe entstanden (Bild 40), die im Monitoringjahr zunächst weiter beobachtet wurden.

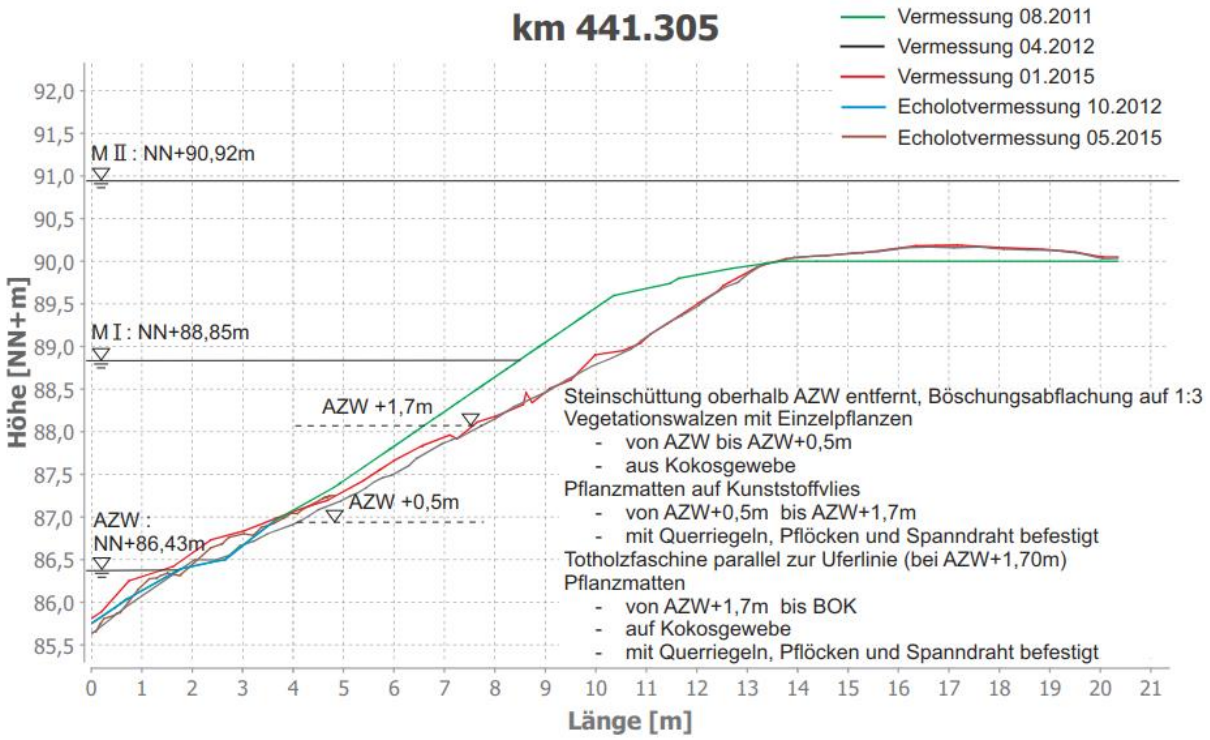


Bild 39: Querprofileinmaße km 441,305 (VF 7b)
Einmaß 08.2011 erfolgte vor Beginn der Baumaßnahme

Bild 40: Versuchsfeld 7b am 10.11.2015, kleine Schadstelle im Bereich der Pflanzmatten, vorne rechts zwischen roten Pflöcken

Detaillierte Angaben zu den vorkommenden Pflanzenarten in der oberen Böschungshälfte der VF 7b und 7c (oberhalb AZW + 1,70 m) liegen für das Jahr 2015 nicht vor. Es ist jedoch davon auszugehen, dass die Aussagen aus (BAW, BfG, WSA MA, 2015) weiterhin Bestand haben. Demnach erreichten die gepflanzten Arten Rohr-Schwingel, Rohr-Glanzgras und Segge eine hohe Artmächtigkeit mit Deckungen bis 50 % und wurden von Grünlandarten aus den nachträglich vorgenommenen Nassansaaten und spontan eingewanderten Arten ergänzt. Die exemplarisch in einem Teilbereich von VF 7c vorgenommenen Untersuchungen der FH Erfurt bestätigen, dass die ehemals dominant gepflanzten Arten Rohr-Schwingel, Rohr-Glanzgras und Schlank-Segge dort mit hohem Anteil wachsen, gefolgt von den gepflanzten bzw. angesäten Beiarten Quecke und Honiggras. Ergänzt wird das Artenspektrum von Arten aus natürlicher Sukzession, insbesondere Stickstoffzeigern wie Acker-Kratzdistel, Gewöhnliche Kratzdistel, Kletten-Labkraut, Weiße Taubnessel und v. a. Brennnessel. Überwiegend wurden hohe Deckungsgrade des pflanzlichen Bewuchses (bis 100 %) im Transektbereich des VF 7c ermittelt (Bothur et al., 2015).

Gesondert zu betrachten ist die im oberen Böschungsbereich des VF 7a (oberhalb AZW + 1,70 m) eingebaute Kokosmatte über der Nassansaat. Hier waren schon kurz nach dem Einbau 2012 Sanierungsmaßnahmen (Rasensoden und Querriegel, zusätzliche Nassansaat) erforderlich geworden, da aufgrund der nur punktuellen Befestigungen der Kokosmatten und der fehlenden Filterstabilität zum Untergrund bei Überstau und hydraulischer Belastung infolge Schifffahrt Materialumlagerungen und Böschungsverformungen in größerem Umfang aufgetreten waren. Nach der Sanierung konnte sich der Bewuchs im oberen Böschungsbereich aufgrund seltener Überflutungen zunächst gut entwickeln und die Böschung stabilisieren. Allerdings bildeten sich im mehr belasteten unteren Teil der oberen Böschungshälfte zunehmend lokale Schadstellen durch Erosion aus.

2015 haben sich diese Schadstellen weiter vergrößert, obwohl die Bereiche nur selten und kurzzeitig eingestaut waren. Es handelt sich um örtliche Vertiefungen infolge weiteren Materialaustrags, die ohne Bewuchs (ungeschützt) sind und zum Teil von Kokosgeweberesten überspannt werden. Die Schadstellen befinden sich überwiegend am oberstromigen Beginn des VF 7a zwischen km 441,205 und km 441,225 unmittelbar oberhalb der hier im unteren Böschungsbereich bereits zur Sanierung eingebrachten neuen Steinschüttung. Bild 41 zeigt die größte Schadstelle bei km 441,200 mit einer Fläche von fast 20 $m^2$ und einer Tiefe von maximal 45 cm. Ein Böschungsschutz ist hier nicht mehr gegeben. Es ist davon auszugehen, dass der anstehende Boden bei jeder erneuten Überflutung mehr erodiert wird und sich die Schadstellen dementsprechend weiter vergrößern werden. Bei den im Mai 2015 gemessenen ufernahen Strömungsgeschwindigkeiten von maximal 0,8 m/s ist der anstehende sandige Boden theoretisch nicht mehr lagestabil. Deshalb wurden bereits 2015 verschiedene Sanierungskonzepte diskutiert, die Sanierungsmaßnahmen sollen 2016 ausgeführt werden. Bis dahin werden die Schadstellen weiter beobachtet.

Bild 41: Größte Schadstelle im VF 7a im Bereich der Kokosmatten über Nassansaat bei km 441,200

Im Jahr 2014 war der obere Böschungsbereich mit Ausnahme der Schadstellen vollflächig und dicht bewachsen. Hervorzuheben war dabei die hohe Artenvielfalt (durchschnittlich 88 Arten). Aufgrund der Randbedingungen 2015 ist davon auszugehen, dass sich die bereits im Jahr 2014 vermehrt aufgetretenen Arten trocken-warmer Standorte (z. B. Ruchgras, Wiesen-Witwenblume, Kleiner Wiesenknopf) weiter ausgebreitet haben (Bild 42). Bei einer Transektkartierung der FH Erfurt im VF 7a (Rhein km 441,219) konnte für den untersuchten Bereich festgestellt werden, dass mit steigender Böschungshöhe die Feuchteverträglichkeit der Pflanzengruppen abnimmt (Krautz, Engelmann, 2015). Dies deutet daraufhin, dass sich die

Arten entlang der Böschungshöhe entsprechend ihrer Standortansprüche und der natürlichen Uferzonierung eingefunden haben.

Das VF 7 wurde im Berichtszeitraum zweimal gemäht. Dabei fanden eine Komplettmahd vom 22. bis 24. Juni 2015 und eine weitere Teilmahd in den VF 7b und 7c am 6. Oktober 2015 statt. Die Mäharbeiten erfolgten durch die Kollegen des Abz. Worms händisch mittels Motorsense und unter Abtransport des Mahdgutes. Zur Schonung der empfindlichen Grasnarbe wurde ein spezieller Grasschneidekopf an der Sense verwendet.

Bild 42: VF 7a mit flächigem Bewuchs oberhalb des Sanierungsbereichs mit Wasserbausteinen (Juli 2015)

Die pflanzenökologische Bewertung des oberen Böschungsbereiches fällt auch für den Berichtszeitraum 2015 positiv aus. Die oberen Uferböschungen sind nach wie vor dicht und fast flächig bewachsen. Auch im unteren sanierten Steinschüttungsbereich konnten vereinzelt Arten aus der ursprünglichen Pflanzung durch das Lückensystem durchdringen, was die Steinschüttung, im Vergleich zur Referenz, aufwertet. Das VF stellt – insbesondere in den oberen Böschungsbereichen – auf einer Länge von 175 m eine zusammenhängende Pflanzendecke mit standorttypischen Gräsern- und Kräutern und somit ein erhöhtes Angebot an Nahrung und Strukturvielfalt bereit.

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

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

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

Im Februar 2015 erfolgten auch in diesem VF erste Pflegeschnitte an den eingebrachten Weidensetzstangen und -faschinen. Um langfristig einen strukturreichen, mehrschichtigen Gehölzbestand zu erzielen, wurden unterschiedliche Rückschnittvarianten definiert und erstmals ausgeführt. Hierzu wurde in den oberstromigen Pflanzgräben jeweils eine Setzstange ausgewählt, die künftig als sog. „Kopfweide“ durch das regelmäßige Einkürzen aller Triebe bis auf 10 cm vor dem Setzstangenkopf entwickelt wird (Bild 43). Die übrigen oberstromigen Setzstangen wurden bis auf eine Höhe von ca. 10 cm über der Steinschüttung schräg abgesägt. In zwei unterstromigen Pflanzgräben wurden an einzelnen Setzstangen und Faschinen dicke und vitale Triebe ausgewählt, die künftig als sog. „Baumweiden“ herangezogen werden. Dies erfolgt unter regelmäßigem Rückschnitt aller übrigen Triebe. Auch in diesen Pflanzgräben wurden alle anderen Setzstangen bis auf eine Höhe von ca. 10 cm über der Steinschüttung schräg abgesägt. Letztgenannter Rückschnitt erfolgte für alle Setzstangen in zwei weiteren Pflanzgräben. In den letzten beiden Pflanzgräben erfolgt zunächst kein Rückschnitt der Setzstangen. Im Bereich der Faschinen wurden die jeweils mächtigsten Triebe eingekürzt und die dünnen, biegsamen Triebe belassen, um die Elastizität der Weiden zu bewahren. Alle Arbeiten wurden von den Kollegen des Abz. Worms händisch mit Astscheren und Handsägen ausgeführt, das Schnittgut wurde abtransportiert. Die Heckenlagen bleiben zunächst unbeeinflusst.

Bild 43: Rückschnittvariante „Kopfweide“ (Feb. 2015)

Bild 44: Erste Austriebe nach Rückschnitt (April 2015)

Die zurückgeschnittenen Gehölze sind im Frühjahr 2015 wieder ausgetrieben (Bild 44) und zeigten gegen Ende des Berichtszeitraums einen vitalen und dichten Bewuchs. Anhand Bild 45 sind die unterschiedlichen Gehölzstrukturen (Kopf- und Baumweiden, buschige Strauchweiden), die es durch die Pflegevarianten zu erzielen galt, zu erkennen.

Bild 45: strukturreicher Weidenwuchs nach Pflegeschnitt (Juli 2015)

Die Heckenlagen unterliegen nach wie vor der Konkurrenz durch krautigen Bewuchs, der von der Böschungsplanie in die Böschung vordringt. Eine lenkende Mahd ist nicht vorgesehen. Die Entwicklung der Heckenlagen wird weiter beobachtet.

Die bereits im dritten Untersuchungsjahr festgestellte positive Wirkung des dem Ufer vorgelagerten Steinwalls (Oberkante: AZW + 0,5 m) konnte auch im vierten Untersuchungsjahr bestätigt werden. Im wellenschlaggeschützten Bereich stellte sich auf der auf den Wasserbausteinen abgelagerten Schlammschicht nach längeren Niedrigwasserständen ein deutlich ausgebildeter Krautsaum in Form von Pioniervegetation ein (Bild 46). Der Krautsaum wurde im November 2015 vegetationskundlich kartiert. Mit ca. 10 % Deckung siedelten dort beispielsweise einjährige Ufersaumarten wie der Gift-Hahnenfuß, die Spieß-Melde sowie der Weiße Gänsefuß. Diese Arten sind typische Vertreter der Flussufergesellschaften auf kiesig-sandigen, auch schlammigen, nährstoffreichen Böden bzw. periodisch abgelagerten Sedimenten entlang der Ufer größerer Fließgewässer. In unverbauten Flussabschnitten mit kaum eingeschränkter Fließgewässerdynamik und Substratum- und -ablagerungen charakterisieren sie, neben weiteren Arten, den FFH-Lebensraumtyp 3270 – Flüsse mit Schlammbänken mit Vegetation des Chenopodion rubri p.p und des Bidention p.p.

Bild 46: Krautsaum mit überwiegend einjähriger Pioniervegetation im Wellenschlagschutz des Steinwalls (Nov. 2015)

Im Bild 47 ist beispielhaft ein mit Steinwall eingemessenes Querprofil bei km 440,690 dargestellt. Ein Vergleich der Einmaße von April 2012, März 2015 und November 2015 zeigt geringe Veränderungen im Böschungsbereich. Diese sind vermutlich zum Teil durch das Einmessen unterschiedlicher Punkte auf der sehr rauen Oberfläche der Steinschüttung entstanden. Aber auch einzelne unkritische Steinbewegungen bei Hochwasser sind nicht auszuschließen. Bemerkenswert ist, dass sich der Steinwall seit 2012 relativ gleichmäßig um etwa 20 bis 30 cm gesetzt hat. Durch wechselnde Wasserstände und hydraulische Belastungen haben sich die Steine, die nach der Schüttung unter Wasser nur eine lockere Lagerungsdichte hatten, zunehmend verdichtet und stabilisiert.

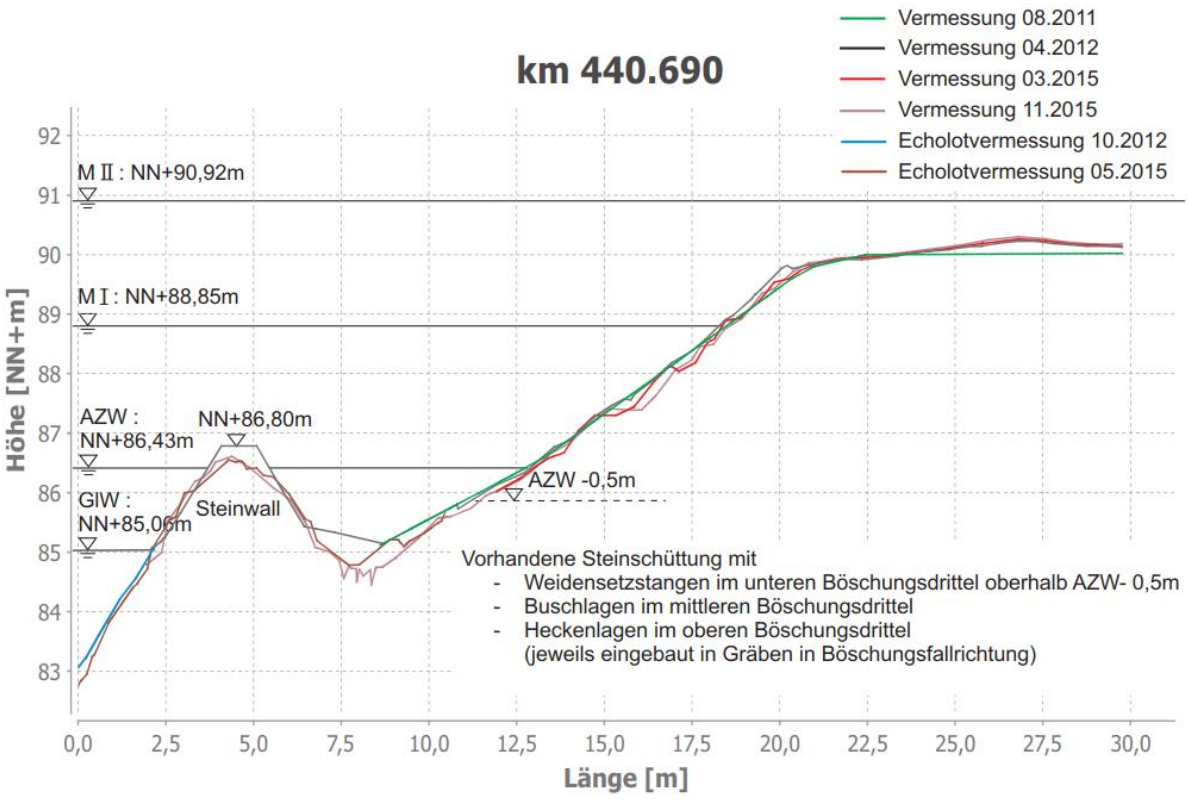


Bild 47: Querprofileinmaße bei km 440,690 (VF 1)
Einmaß 08.2011 erfolgte vor Beginn der Baumaßnahme

Die Entwicklung des VF verläuft bisher insgesamt sowohl hinsichtlich des Wuchsverhaltens der eingebrachten Gehölze als auch des Beitrags der Pflanzen aus natürlicher Sukzession sehr positiv. Bereits in der ersten Vegetationsperiode nach Gehölzrückschnitt konnte sich ein strukturreicher und mehrschichtiger Weidenbewuchs aus den ehemals eingebrachten Setzstangen und Faschinen ausbilden. Das VF bietet somit über eine Länge von ca. 200 m wertvolle standorttypische Gehölzstrukturen der Weich- und Hartholzaue (Heckenlagen), die z. B. in der oberstromig direkt anschließenden Referenzstrecke mit Wasserbausteinen gänzlich fehlen. Besonders positiv hervorzuheben ist die krautige Pionierflur im unteren Böschungsbereich, deren überwiegend einjährige Arten vom Schutz des Steinwalls und der daraus resultierenden Schlammablagerung auf den Wasserbausteinen profitieren konnten.

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

Im VF 4 erfüllt die Steinschüttung weiterhin die Uferschutzfunktion. Die eingebrachten Strukturen dienen der ökologischen Aufwertung, haben selbst jedoch keine direkte Uferschutzfunktion. Aufgrund der 2015 überwiegend niedrigen Wasserstände sind keine nennenswerten Veränderungen im Versuchsfeld aufgetreten.

Anhand des ausgewerteten Fotomaterials lassen sich auch im Jahr 2015 zwei Böschungszonen hinsichtlich des Bewuchses deutlich voneinander unterscheiden: die überwiegend bewuchsfreie untere/mittlere Böschungszone, die sich kaum von den Referenzstrecken unterscheidet, und die etwas stärker bewachsene obere Böschungszone (Bild 48). Die Arten profitieren dort vom seltenen Einstau und dem ehemals aufgebrachten sandig-kiesigen Substrat, das sich im Lückensystem der großen Wasserbausteine halten konnte. Es handelt sich nach wie vor um überwiegend ruderale und Stickstoff liebende Arten – Arten, die nicht an Wasserstandsschwankungen angepasst sind und auch in diesem Jahr von den vergleichsweise trockenen Bedingungen (Klima und Wasserstand) profitieren konnten.

Bild 48: Bewuchs entlang der Uferböschung in VF4 (Juli 2015)

Die Aussagen zur Ökologie aus dem letzten Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA 2014) haben weiterhin Bestand.

## 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. Alginat und Nassansaat dienen der ökologischen Aufwertung.

Bereits in den Monitoringperioden 2012 und 2013 konnten nur noch Reste des während der ersten Hochwasserereignisse erodierten Oberboden-Alginatgemischs und eingebrachten Kieses im Lückensystem der Steinschüttung nachgewiesen werden (BAW, BfG, WSA-MA, 2014; BfG, 2014a). 2014 konnten im unteren und mittleren Böschungsbereich weder Alginat noch Bewuchs vorgefunden werden, weshalb sich diese Bereiche nicht mehr von den Referenzstrecken unterscheiden. Diese Aussage gilt auch für den Berichtszeitraum 2015. Die Wasserstände erreichten während des Hochwasserpeaks im Mai 2015 die Böschungsoberkante mit der spärlich entwickelten Gräser-/Kräuternarbe auf den verbliebenen Alginatresten

nicht. Aus pflanzenökologischer Sicht stellt der verbliebene Böschungsbereich mit standorttypischer Gräser-/Kräuternarbe einen im Vergleich zur Referenzstrecke nur kleinräumig aufgewerteten Bereich dar.

## Versuchsfeld 8 M12 Anlage eines Steinwalls parallel zur Uferlinie

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

Für das VF 8 haben die Aussagen zur Vegetation aus den bisherigen Monitoringperioden (BAW, BfG, WSA-MA 2014; BfG 2014a) weiterhin Bestand. Die arten- und blütenreiche Röhrichtzone mit Hochstauden feuchter Standorte und Arten kurzlebiger Schlammboden-Pionierfluren, die sich im Schutz des Steinwalls in den letzten vier Jahren weiter ausdehnen konnte, ist anhand der Fotos deutlich zu erkennen (Bild 49). Der Bewuchs siedelt überwiegend in den Schlammablagerungsbereichen, die in einigem Abstand zu den Kopfweiden wichtiges Nährsubstrat für die Pflanzen stellen (Bild 50).

Bild 49: Röhrichtzone hinter Steinwall (Juli 2015)

Bild 50: Schlammablagerung zwischen Steinwall und Böschungspflaster

Anhand der Fotoauswertung kann auch für den Berichtszeitraum bestätigt werden, dass von den Pflanzenarten weiterhin Rohr-Glanzgras, verschiedene Groß-Seggen (Bild 49), Weißes Straußgras und Kratzbeere dominieren. Weitere standorttypische Arten, wie z. B. Wilde Sumpfkresse, Zusammengedrückte Binse, Blut- und Gilbweiderich, ergänzen das Artenspektrum. Die Kopfweiden (Silber- und Hohe Weide) dominieren in der Strauchschicht und werden sowohl in der alten Pflasterung als auch in den Steinschüttungsbereichen von weiteren Gehölzarten, wie Weißdorn, Feld-Ahorn, Pfaffenhütchen, Kirsch-Pflaume u. a., begleitet. Im Vergleich zu den beiden Referenzstrecken siedelte im VF in den mittleren und oberen Böschungsbereichen von Anfang an eine recht dichte Krautschicht. Die Verzahnung von Kraut- und Strauchschicht mit standorttypischen Arten der Weich- und Hartholzzone bietet zusammen mit der gut ausgeprägten Röhrichtzone im Schutz des Steinwalls kleinräumig wech-

selnde Lebensräume mit hoher Strukturvielfalt, was aus ökologischer Sicht positiv zu werten ist.

## 4.3 Ohne Uferschutzmaßnahmen nach Rückbau der Steinschüttung (Versuchsfeld 9)

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

Das Versuchsfeld 9 blieb nach Rückbau der Steinschüttung ohne Böschungsschutzmaßnahmen. Die 2012 bis 2014 aufgetretenen Hochwasserereignisse mit Wasserständen zum Teil bis über das angrenzende Gelände haben bei gleichzeitiger Schifffahrtsbelastung erwartungsgemäß zu einer ständig zunehmenden Erosion im gesamten Böschungsbereich geführt. Feinere Bestandteile in Sand- und zum Teil Kieskorngröße wurden besonders in den häufig und lange eingestauten Bereichen erodiert, so dass im Erscheinungsbild nach wie vor die aus dem Untergrund freigespülten Steine überwiegen.

2015 war ein sehr warmes und trockenes Jahr mit nur wenigen, kurzzeitigen Hochwasserereignissen (maximaler Wasserstand: NN + 89,29 m, Bild 51). Im Vergleich zu den Vorjahren ist weniger Erosion und überwiegend nur in den unteren Böschungsbereichen aufgetreten.

Bild 51: VF 9, km 441,500, 7.5.2015 (maximaler Wasserstand 2015)

Ein Vergleich der Querprofileinmaße dokumentiert die Erosion. Bild 52 zeigt die Querprofileinmaße bei km 441,500. Danach wurde das Gelände im Böschungsbereich beim Kilometerschild (km 441,500) von 2012 bis 2015 um weitere 2 m erodiert. Ein Vergleich der Bilder 53, 54 und 55 zeigt jedoch, dass die größten Veränderungen zwischen 2012 und 2013 aufgetreten sind und sich danach bis 2015 nur noch wenig verändert hat.

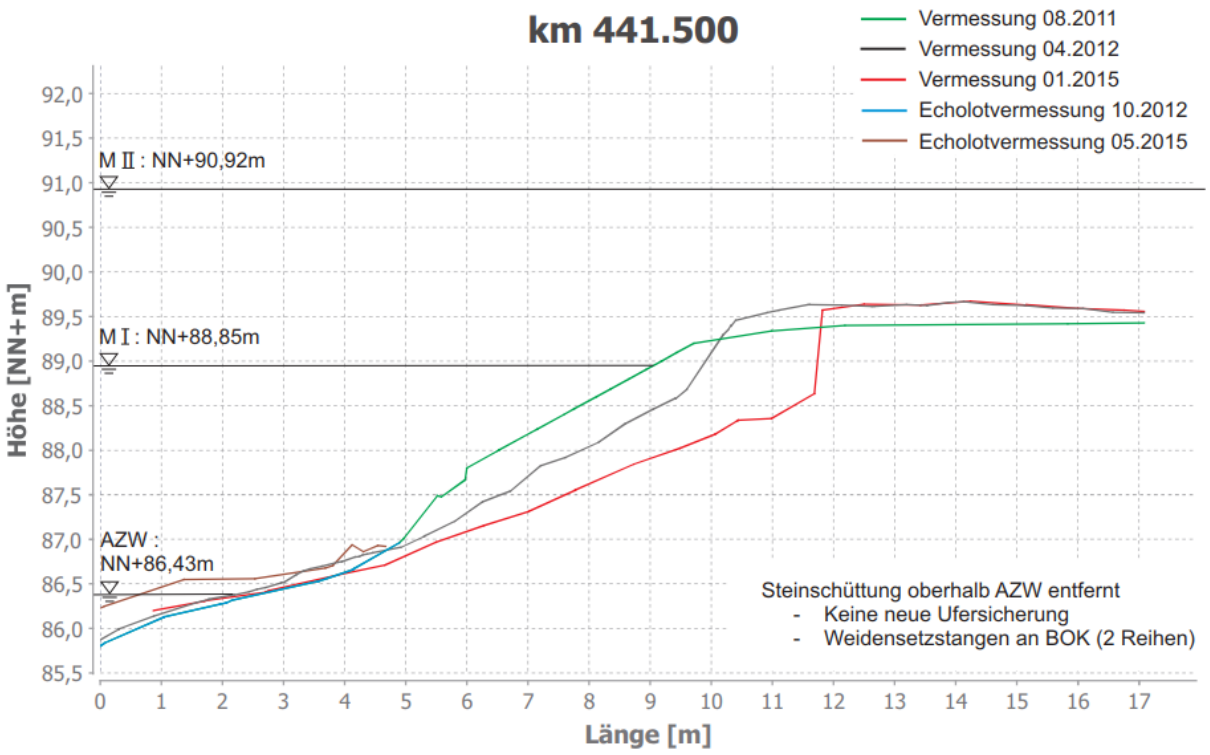


Bild 52: Querprofileinmaße km 441,500 (oberstromiges Querprofil im VF 9)
Einmaß 08.2011 erfolgte vor Beginn der Baumaßnahme

Bild 53: VF 9, km 441,500, 10.9.2012
(Wasserstand ca. AZW)

Bild 54: VF 9, km 441,500, 15.7.2013
(Wasserstand ca. AZW)

Bild 55: VF 9, km 441,500, 2.7.2015 (Wasserstand ca. AZW)

Bild 56 zeigt die Querprofileinmaße bei km 441,575 am unterstromigen Ende der Versuchsstrecke. Hier sind die größten Verformungen in diesem VF aufgetreten. Eine Ursache sind die lokalen Verwirbelungen, die bei Hochwasser vor der Ausfachungsbuhne auftreten. Die Böschungslinie hat sich nach Bauabschluss bis 2015 durch Erosion bereits ca. 5 m landeinwärts verschoben. Wie bei km 441,500 hat sich die Böschung abgeflacht, im oberen Böschungsbereich sind fast senkrechte Abbruchkanten entstanden. Weitere Erosion ist zu erwarten.

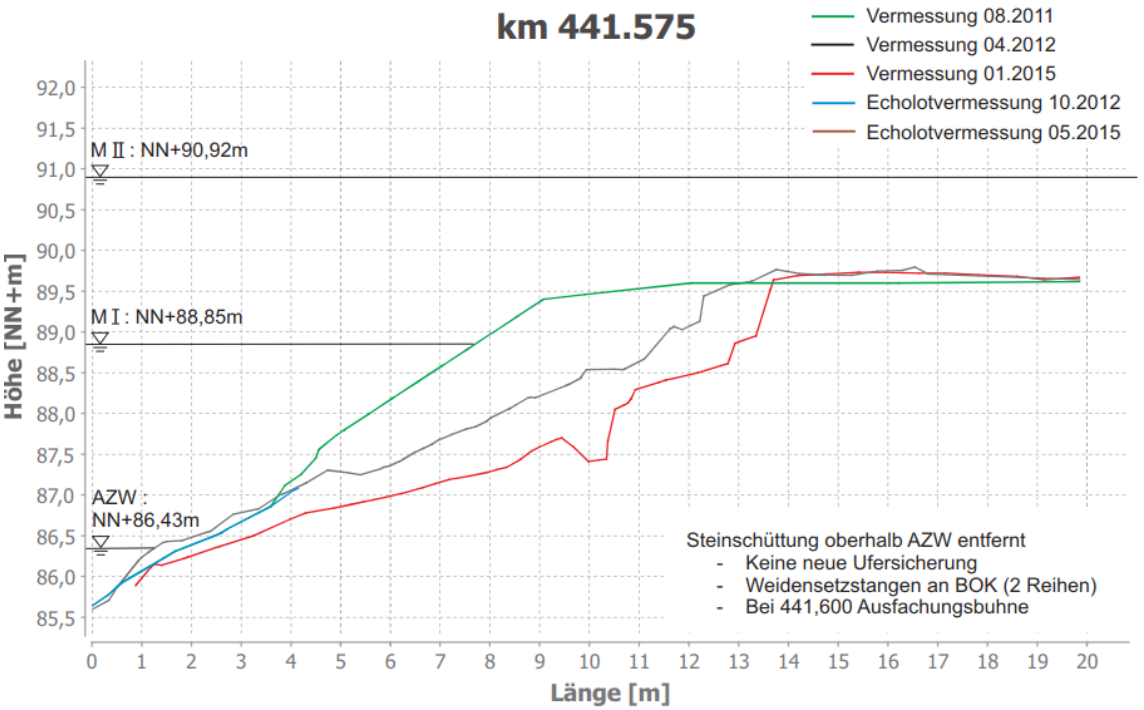


Bild 56: Querprofileinmaße km 441,575 (unterstromiges Querprofil im VF 9)
Einmaß 08.2011 erfolgte vor Beginn der Baumaßnahme

Zum Schutz des Betriebsweges wurden 2011 zwischen Böschungsschulter und Betriebsweg 3 Reihen Weidensetzstangen eingebaut (die dritte Reihe erst 2014). Die Weiden haben sich gut entwickelt. Allerdings wurden mit fortschreitender Erosion lokal erste Weiden freigespült. Zur Beurteilung der Wurzelausbildung erfolgte am 23. April 2015 von Studenten der FH Erfurt in Zusammenarbeit mit BAW und BfG das Freigraben der Wurzeln einer Silber-Weide bei km 441,575. Bild 57 zeigt die auf der Böschungsplanie ausgewählte Weide, Bild 58 zeigt das Freispülen der Wurzeln.

Bild 57: Weide vor der Wurzelfreilegung

Bild 58: Freispülen der Wurzeln

Die Setzstange wies insgesamt eine Länge von 1,80 m, bei einer Einbindetiefe in den Boden von 1,40 m auf. Hinsichtlich der ausgebildeten Wurzeln ließ sich folgendes feststellen (Kratzberg, Goebel, 2015):

- Die freigespülten Wurzeln hatten Durchmesser bis maximal 20 mm, wobei sich die stärkeren Wurzeln mehr in den tiefer gelegenen Schnittebenen und die dünneren, feinen Wurzeln nahe der Bodenoberfläche befanden. Bild 59 zeigt die angetroffenen Wurzeldurchmesser in Abhängigkeit von der Tiefe unter Geländeoberkante.
- Die Wurzeln haben sich fächerförmig vorwiegend in Richtung Rhein zum Wasser hin orientiert (Bild 60).
- Das Wurzelwachstum verlief nicht primär nach unten, sondern entsprechend der Baugrundschichtung überwiegend in Ebenen.
- In seitlicher Richtung (uferparallel) haben sich kaum kräftige Wurzeln ausgebildet.

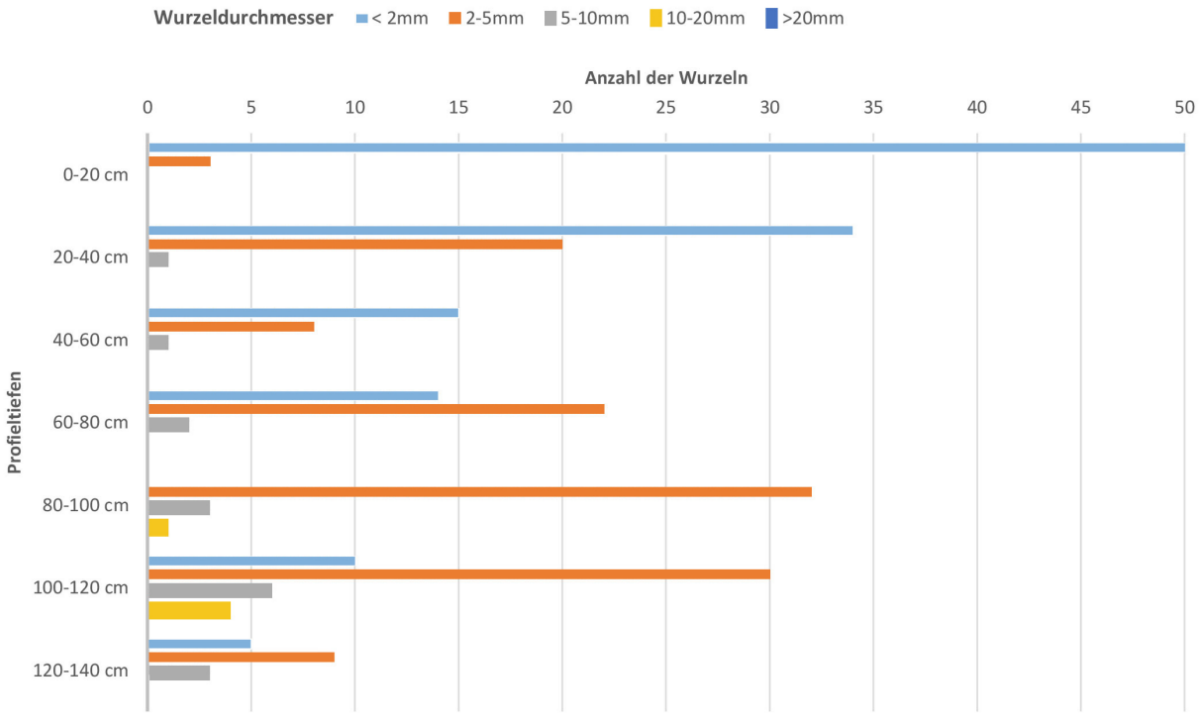


Bild 59: Ergebnis der Wurzelfreilegung einer 2011 eingebrachten Weidensetzstange (Kratzberg, Goebel, 2015)

Bild 60: Fächerförmige Orientierung der Wurzeln Richtung Rhein

Im Ergebnis bedeutet das, dass sich zwischen den im Jahr 2011 im Abstand von ca. 2 m eingebrachten Setzstangen bis 2015 kein flächiger Wurzelteppich ausgebildet hat, der die fortschreitende Erosion zwischen den Weiden aufhalten könnte. Eine ausreichende Siche-

rung des Betriebsweges ist mit den aus den Setzstangen entwickelten Weiden zum jetzigen Zeitpunkt nicht gegeben. Es ist eher davon auszugehen, dass die Weidensetzstangen bei Erosion freigespült werden.

Zusätzlich erfolgte von den Studenten der FH Erfurt im April 2015 eine grobe Beurteilung der Vegetationsentwicklung in den unterschiedlichen Böschungszonen des VF 9. Im Ergebnis stellten sich der untere und mittlere Böschungs- sowie der unterstromige Auskolkungsbereich aufgrund der wiederholten Überflutungen und dadurch verursachten Erosionen im Monitoringzeitraum als weitestgehend vegetationslos (ca. 5 % Gesamtdeckung des krautigen Bewuchses) dar (Kratzberg, Goebel, 2015). Während der langanhaltenden Niedrigwasserphase ab Anfang Juli 2015 (Bild 61) konnte sich jedoch im mittleren Böschungsbereich ein etwas intensiverer Bewuchs einstellen, der im November 2015 separat aufgenommen wurde. Es wurden dabei überwiegend typische Vertreter der Uferzonen nährstoffreicher Gewässer, wie beispielsweise Ufer-Wolfstrapp, Blauer Wasser-Ehrenpreis sowie Ampfer-Knöterich, vorgefunden. Weiterhin traten trotz der fortgeschrittenen Vegetationsperiode noch sommerannuelle Ufersaumarten, wie Vertreter der Gänsefußgewächse (Roter Gänsefuß, Vielsamiger Gänsefuß) sowie der Schwarzfrüchtige Zweizahn, auf. Die Gesamtdeckung der Krautschicht betrug im mittleren Böschungsbereich ca. 10 %.

Bild 61: Annuelle Uferfluren im mittleren Böschungsbereich (November 2015)

Im oberen Böschungsbereich bis zum Übergang zur Planie erreichte die Vegetation eine Gesamtdeckung von ca. 40 %, in diesem Bereich fand 2015 kein Überstau statt.

Aus ökologischer Sicht haben die Aussagen aus dem letzten Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA, 2014) weiterhin Bestand. Durch die hydraulischen Belastungen bei wechselnden Wasserständen und die daraus resultierende Morphodynamik mit Ufererosion und Um- und

Neuverteilung der Korngrößenklassen wird eine ständige Verjüngung (Absterben/Neubesiedlung) von Pflanzengemeinschaften herbeigeführt. Dies konnte die Novemberkartierung des krautigen Ufersaums nach langanhaltendem Niedrigwasser gut belegen. Auf kleinem Raum befinden sich sandige neben kiesigen und bewachsene neben unbewachsenen Flächen, womit die Vielfalt an Teillebensräumen erhöht wird. Ergänzt wird die Vielfalt an Teillebensräumen durch den dichten Bewuchs der dreireihig auf der Böschungsplanie gepflanzten Weidensetzstangen.

Die stetigen Veränderungen in diesem Versuchsfeld zeigen, dass das Ufer unter den gegebenen Randbedingungen ohne Sicherungsmaßnahmen nicht stabil ist. Es 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.

## 5. Bewertung hinsichtlich Tierökologie und faunistischer Besiedlung

Die aktuelle Datenlage hinsichtlich der ökologischen Auswirkungen der einzelnen Ufersicherungsmaßnahmen auf die faunistische Besiedlung lässt momentan noch keine belastbaren Aussagen zu. Im Berichtszeitraum zwischen November 2014 bis Oktober 2015 wurden keine Untersuchungen hinsichtlich der terrestrischen Fauna bzw. des Makrozoobenthos durchgeführt. Daher muss hier zunächst auf die im vierten Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA, 2015) aufgeführten Ergebnisse verwiesen werden. Eine Überprüfung dieser Ergebnisse ist für Herbst 2016 bzw. Frühjahr/Sommer 2017 geplant, und die entsprechende Berichtslegung erfolgt im nächsten Berichtszeitraum.

Bisherige Monitoring-Ergebnisse der terrestrischen Tiergruppen lassen vor allem die Arthropodengruppen (Laufkäfer, Spinnen) als geeignete Tiergruppen erscheinen, um technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen, wie sie an der Versuchsstrecke am Rhein umgesetzt wurden, ökologisch zu bewerten. Einerseits bieten diese beiden Gruppen eine ausreichend große Besiedlungsdichte, um auch auf geringeren Skalen gesicherte Aussagen zuzulassen, andererseits werden deren Habitate direkt durch die umgesetzten Maßnahmen beeinflusst.

Eine Bewertung auf der Basis der Avifauna (Vögel) ist dagegen in solchen vergleichsweise kleinskaligen Bereichen aufgrund der großen Mobilität der Tiere und ausgedehnter Reviergrenzen schwierig, obwohl die Förderung standorttypischer Gehölze und Röhrichte einen positiven Einfluss auf die Eignung als Brutreviere für bestimmte Arten erwarten lässt. Diese Effekte sind in Abhängigkeit von der Vegetationsentwicklung und Art der Unterhaltung (insbesondere Aussetzung der Unterhaltung) aber eher langfristig zu erwarten.

Eine gesicherte Bewertung basierend auf den Reptilienkartierungen ist aufgrund der geringen Individuenzahl in der Versuchsstrecke nicht möglich, jedoch ist die Einbeziehung dieser Gruppe in Abhängigkeit der jeweiligen Habitatausprägung in der angrenzenden Aue im Einzelfall zu prüfen.

Auf der Basis der Makrozoobenthos-Bewertungen nach Potamon-Typie-Index (PTI), siehe (Schöll et al., 2005), dem Bewertungsverfahren nach Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) für große Flüsse, konnte keines der Versuchsfelder bislang den guten ökologischen Zustand erreichen. Hier kann die geringe strukturelle Aufwertung und Diversifizierung unterhalb AZW als Hauptursache angesehen werden. Eine verstärkte strukturelle Aufwertung im direkten Besiedlungsbereich der Makrozoobenthosorganismen würde sehr wahrscheinlich auch eine größere Diversität in der Besiedlung nach sich ziehen. Die höhere Biodiversität, die an den Sonderstrukturen (v. a. Faschinenbündel und Wurzelteller) im Vergleich zu den Proben aus der Steinschüttung vorgefunden wurde, lässt einen solchen Schluss zu. Ob allerdings die Dominanz von Neozoen dadurch beeinflusst werden kann, bleibt fraglich. Positiv ist das

teilweise Auftreten von Individuen zu bewerten, die strömungsberuhigte Bereiche unserer Flüsse besiedeln, wie z. B. die Gebänderte Prachtlibelle (*Calopteryx splendens*) und der Gefleckte Flussschwimmkäfer (*Platambus maculatus*). Dies ist als Folge der Schaffung von strömungsberuhigten Bereichen im Bereich des vorgelagerten Steinwalles in VF1 bzw. der eingebrachten Sonderstrukturen (Faschinenbündel, Wurzelteller, Totholzbuhne) zu sehen.

Die Untersuchung der Fischfauna wurde für den Berichtszeitraum November 2014 bis Oktober 2015 entsprechend der im 2. Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA, 2013) beschriebenen Methodik weitergeführt.

Der Zeitpunkt der Befischung richtete sich, wie schon in den Vorjahren, nach den jahresperiodischen Entwicklungsmustern der Fische. Um möglichst viele Jungfische zu erfassen, werden die Befischungen i. d. R. nach der Laich- und Entwicklungszeit der meisten Arten und vor der Winterruhe durchgeführt. Erfahrungswerte zeigen, dass ein Termin im Frühsommer (Ende Mai bis Ende Juni) und ein Termin im September/Oktober zu guten Fangergebnissen führen.

Bei den Befischungen 2015 lag der Wasserstand bei 260 cm (NN + 86,76 m) im Juni bzw. 77 cm (NN + 84,93 m) im Oktober (entspricht AZW + 0,64 m bzw. AZW – 1,19 m) am Pegel Worms. Die Befischungen erbrachten insgesamt **3405 Fische** aus 6 Familien mit 17 Arten. Hinzugekommen sind 2015 die typspezifische Art Gründling sowie die Begleitarten Karpfen und Giebel. Damit erhöht sich die Gesamtartenzahl über alle Befischungen seit 2010 auf 28. Bezogen auf die Referenzgemeinschaft zur Bewertung nach WRRL (Korte, Hugo, 2006) sind dies alle 6 Leitarten, alle 6 typspezifischen Arten, 10 von 25 Begleitarten sowie 6 Neozoen. Tabelle 3 enthält die seit 2010 nachgewiesenen Fische, ihre Einstufung in die fischfaunistische Referenz sowie ihren Schutzstatus gemäß Roter Liste.

Tab. 3: Fischfauna der Versuchs- und Referenzstrecke aus den Jahren 2010 (vor Umbau) sowie 2012 bis 2015 (nach Umbau), Referenzeinstufung nach WRRL (Korte, Hugo, 2006), Gefährdungsstatus Rote Liste Hessen (Dümpelmann, Korte, 2013)

*(Rote Liste: „1“ - vom Aussterben bedroht; „2“ - stark gefährdet; „3“ - gefährdet; „V“ - Vorwarnliste)*

| | Individuen | | | | | Dominanz (%) | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| **Fischart** | **2010** | **2012** | **2013** | **2014** | **2015** | **2010** | **2012** | **2013** | **2014** | **2015** | **Referenz** | **Rote Liste** |
| Aal | 4 | 17 | 22 | 31 | 48 | 0,9 | 1,1 | 0,5 | 1,2 | 1,4 | typspezifisch | 1 |
| Aland | | 4 | 1 | | | | 0,3 | 0,02 | | | Begleitart | |
| Barbe | | 3 | 12 | | | | 0,2 | 0,3 | | | Leitart | |
| Barsch | 17 | 57 | 46 | 238 | 28 | 3,9 | 3,7 | 1,1 | 9,3 | 0,8 | Leitart | - |
| Bitterling | | | 1 | | | | | 0,02 | | | Begleitart | |
| Brassen | 7 | 1 | 4 | 4 | | 1,6 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | | Leitart | - |
| Döbel | 49 | 17 | 326 | 41 | 42 | 11,1 | 1,1 | 7,5 | 1,6 | 1,2 | typspezifisch | - |
| Dreistachliger Stichling | 1 | 2 | 3 | | 1 | 0,2 | 0,1 | 0,1 | | 0,03 | Begleitart | - |
| Giebel | | | | | 1 | | | | | 0,03 | Begleitart | - |
| Güster | 2 | | | | | 0,5 | | | | | typspezifisch | - |
| Gründling | | | | | 5 | | | | | 0,1 | typspezifisch | - |
| Hasel | 10 | 35 | 23 | 10 | 86 | 2,3 | 2,3 | 0,5 | 0,4 | 2,5 | typspezifisch | - |
| Hecht | | | 4 | | 1 | | | 0,1 | | 0,03 | Begleitart | V |
| Karpfen | | | | | 11 | | | | | 0,3 | Begleitart | 2 |
| Kaulbarsch | 7 | | 15 | 3 | 2 | 1,6 | | 0,3 | 0,1 | 0,1 | typspezifisch | - |
| Kesslergrundel | 23 | 32 | 21 | 13 | 20 | 5,2 | 2,1 | 0,5 | 0,5 | 0,6 | Neozoe | - |
| Marmorierte Grundel | 1 | 1 | 1 | | | 0,2 | 0,1 | 0 | | | Neozoe | - |
| Nase | 2 | | 2 | | 169 | 0,5 | | 0,05 | | 5 | Leitart | V |
| Quappe | | | 1 | | | | | 0,02 | | | Begleitart | 3 |
| Rapfen | 23 | 50 | 4 | | 14 | 5,2 | 3,3 | 0,1 | | 0,4 | Neozoe | - |
| Rotauge | 26 | 146 | 2397 | 68 | 269 | 5,9 | 9,5 | 55,2 | 2,6 | 7,9 | Leitart | - |
| Rotfeder | | | 1 | | | | | 0,02 | | | Begleitart | V |
| Schwarzmundgrundel | 111 | 1074 | 1383 | 2083 | 2677 | 25,2 | 69,9 | 31,8 | 81,1 | 78,6 | Neozoe | - |
| Schleie | 1 | | | | | 0,2 | | | | | Begleitart | |
| Sonnenbarsch | | 5 | | | | | 0,3 | | | | Neozoe | - |
| Ukelei | 138 | 84 | 68 | 66 | 23 | 31,4 | 5,5 | 1,6 | 2,6 | 0,7 | Leitart | - |
| Wels | 15 | 6 | 3 | 6 | | 3,4 | 0,4 | 0,1 | 0,2 | | Begleitart | - |
| Zander | 3 | 3 | 5 | 4 | 8 | 0,7 | 0,2 | 0,1 | 0,2 | 0,2 | Neozoe | - |

## Versuchsfeld 1

Von dem wellenschlaggeschützten Bereich hinter dem Steinwall profitieren bei entsprechenden Wasserständen insbesondere die Jungfische. Die Wurzelteller, die als Strukturelement eingebracht wurden, können ihnen zusätzlich eine Versteckmöglichkeit bieten. Bei den Befi-

schungen, die per Boot zwischen Steinwall und Ufer durchgeführt wurden, konnte sich der Trend der vorherigen Monitoringperioden nicht bestätigen. Die Artenzahl blieb konstant und die Fischdichte war gering, so dass im Vergleich zu früheren Befischungen deutlich weniger Fische pro Punkt erfasst wurden (Bild 62). Zurückzuführen ist dies höchstwahrscheinlich auf die ungünstigen Wasserstände vor allem im Vorfeld der Befischungen. Positiv zu werten ist, dass der Anteil der Neozoe Schwarzmundgrundel an den gefangenen Individuen gering war.

Im Oktober 2015 fiel der Bereich nahezu trocken, sodass er nicht befischt werden konnte. Weitere Befischungen in den kommenden Jahren werden zeigen, inwieweit die Entwicklung der Pflanzen hier zukünftig weitere Strukturen für die heimische Fischfauna stellen kann.

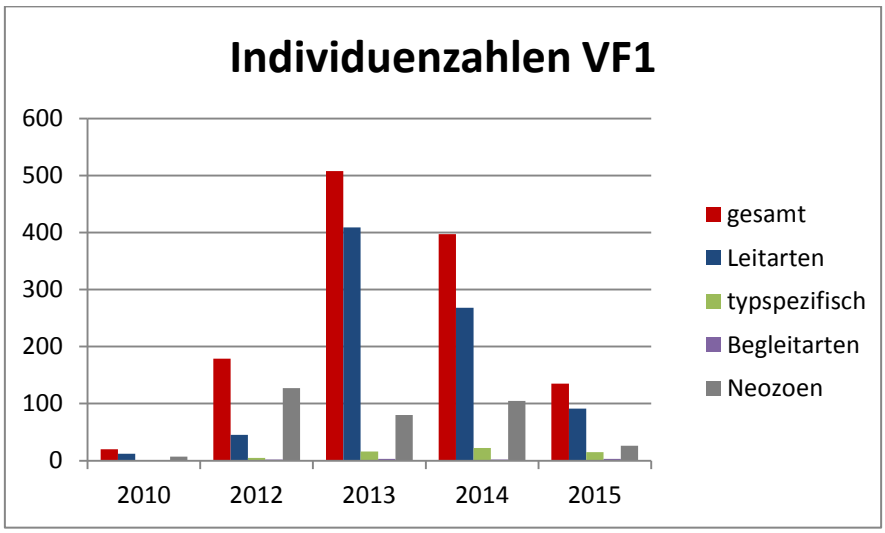


Bild 62: Individuenzahlen Versuchsfeld 1

### Versuchsfeld 4

Wie schon 2014 konnte das mit 6 Totholzfaschinen auf 50 m sehr kleinräumige VF 4 bei den Befischungen 2015 aufgrund der Wasserstände nicht optimal befischt werden. Es wurden fast ausschließlich Schwarzmundgrundeln gefangen (Bild 63). Im Oktober lagen die Reisigfaschinen trocken. Wie in der gesamten Versuchs- und auch in der Referenzstrecke erschwert die Dominanz der Schwarzmundgrundel die Bewertung der strukturellen Maßnahmen auf die Artenzusammensetzung der Fische. Die Ergebnisse aus 2012 und 2013 weisen jedoch darauf hin, dass die Faschinen bei günstigen Wasserständen Unterstände für zahlreiche Arten - darunter auch Leitarten nach WRRL - bieten. Eine Vergrößerung des Umfanges der Faschinen in Breite und Tiefe könnte dementsprechend größere Effekte bringen.

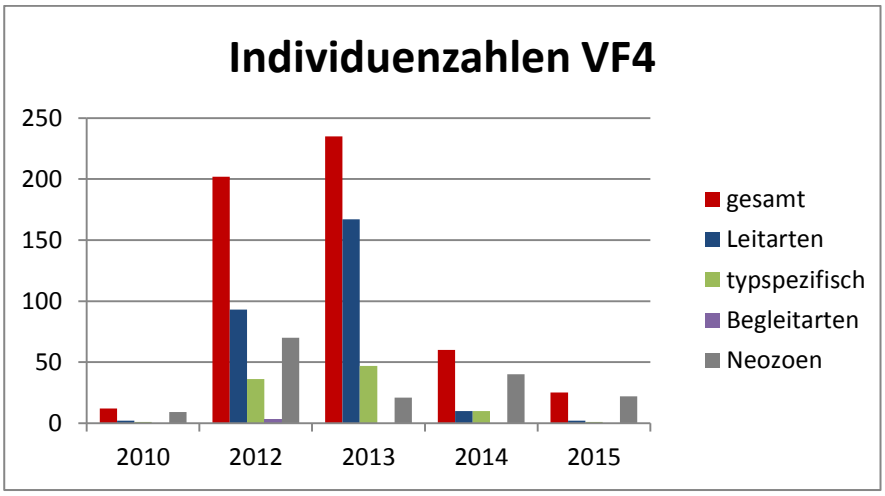


Bild 63: Individuenzahlen Versuchsfeld 4

### Versuchsfelder 2, 3, 5, 6, 7, 8, 9

Im Vergleich zu vorherigen Monitoringperioden war 2015 durch vergleichsweise niedrige Wasserstände insbesondere im Herbst geprägt, sodass außer der Steinschüttung mit ihrem Lückensystem keine fischrelevanten Strukturen vorhanden waren. Dementsprechend arten- und individuenarm waren die Ergebnisse der Befischungen. Auch konnten im Vergleich zur Referenzstrecke keine wesentlichen Unterschiede in der Zusammensetzung des erfassten Fischartenspektrums nachgewiesen werden. Die Schwarzmundgrundel stellt wie in den Vorjahren weiterhin die dominante Art in allen Bereichen dar.

### Bewertung

Für eine endgültige Beurteilung der Maßnahme aus fischfaunistischer Sicht ist es zum gegenwärtigen Zeitpunkt noch zu früh.

Die Länge der Versuchsfelder von im Mittel nur rund 100 m lässt allerdings generelle Aussagen über die Besiedlung mit im Vergleich zu anderen aquatischen Tiergruppen vergleichsweise mobiler Fischfauna auch nur in geringem Umfang zu.

Es bestätigt sich der im letzten Zwischenbericht abgeleitete Trend, dass bei entsprechenden Wasserständen auch schon geringe (kleinräumige) Strukturen eine Wirksamkeit hinsichtlich der Fischbesiedlung haben können. In Bild 64 wird der Einfluss der Strukturen in den Versuchsfeldern 1 und 4 deutlich. Hier ist der Individuenanteil der Referenzarten nach WRRL (Leitarten und typspezifische Arten) höher und der Anteil der Neozoen geringer. Mit der erwarteten Weiterentwicklung dieser Strukturen, insbesondere im VF 1, ggf. mit Bewuchs von Wasserpflanzen/Röhricht kann sich in Zukunft eine weitere Verbesserung bezüglich der fischfaunistischen Situation einstellen.

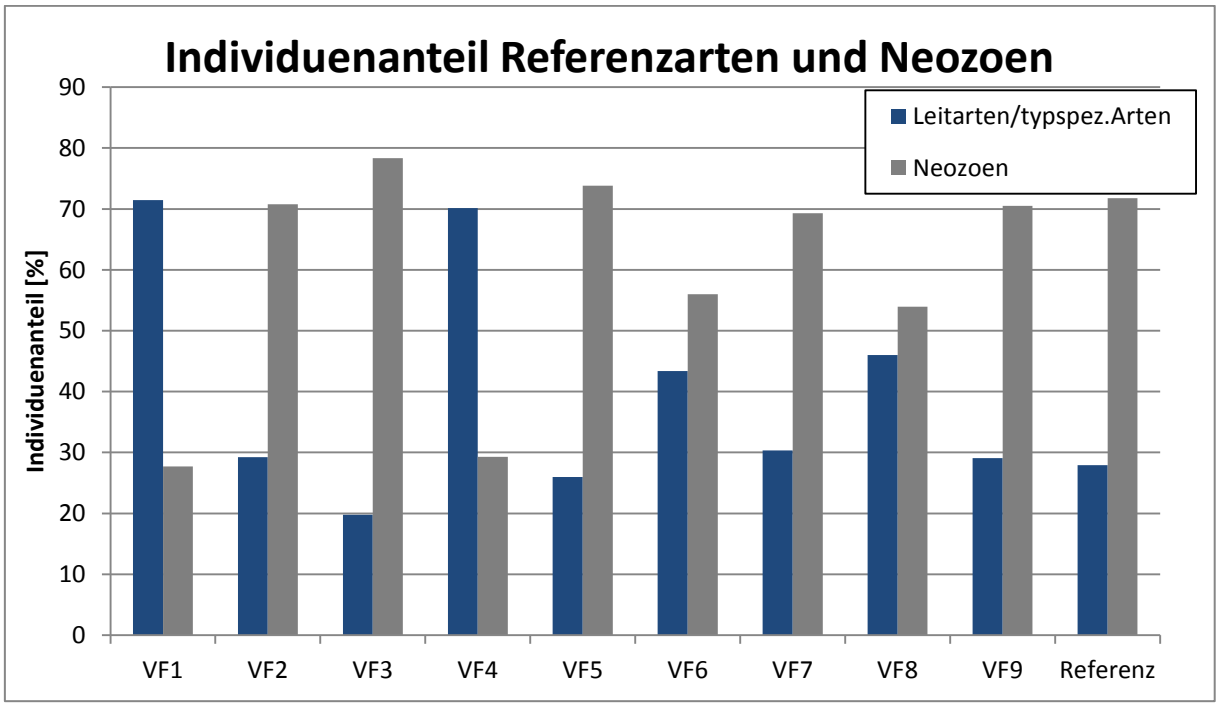


Bild 64: Individuenanteile von Referenzarten (Leit- und typspezifische Arten) und Neozoen

Bei Wasserständen unter AZW sowie nur kurzzeitigem Überstau lässt die Wirksamkeit der angelegten Strukturen auf die Fische nach, d. h. positive Effekte auf die Fischbesiedlung ergeben sich erst bei länger anhaltenden Wasserständen über AZW.

Nach wie vor wird die Entwicklung der Fischfauna im Untersuchungsgebiet durch die gleichbleibend hohe Dominanz der invasiven Grundelarten, insbesondere der Schwarzmundgrundel, überlagert. Inwieweit zukünftig die „Grundelinvasion“ eingedämmt wird, kann nur spekuliert werden. Von der „klassischen“ Steinschüttung abweichende Strukturen wie Totholz-, Sand- und Kiesbereiche können jedoch dazu beitragen.

Das Monitoring wird zunächst bis 2016 weitergeführt. Da eine weitestgehend abschließende Beurteilung der einzelnen Maßnahmen erst nach mehreren Vegetationsperioden möglich ist, erfolgt diese nach Abschluss des 5-jährigen Monitorings 2016/17. Die nächste Fischbestandsaufnahme findet 2016 statt.

## 6. Unterhaltungsaufwendungen

Der Aufwand für die vom WSA Mannheim, Abz. Worms, 2015 durchgeführten Unterhaltungsmaßnahmen ist in Tab. 4 zusammengestellt. Die Summe der Unterhaltungskosten beträgt danach ca. 10.500,- €. Wie die Maßnahmen im Einzelnen ausgeführt wurden, ist in den Kapiteln zu den einzelnen Versuchsfeldern dokumentiert.

Tab. 4: Unterhaltungsaufwendungen, zusammengestellt vom Abz. Worms

| VF | Unterhaltungsmaßnahmen | Ausführungs-zeit | Aufwand | |
|---|---|---|---|---|
| | | | Personal [h] | Fahrzeug-/ Maschinen-einsatz [h] |
| 1 | Weidenrückschnitt (Setzstangen, Faschinen)<br>Entsorgung Schnittgut<br>Neophytenbekämpfung | 9.-10.2.15<br>7.10.15 | 18,75<br>4 | 1 (LKW)<br>- |
| 2 | Weidenrückschnitt (Spreitlagen)<br>Entsorgung Schnittgut | 2.-6.2.15 | 58 | 8 (LKW) |
| 3 | Weidenrückschnitt (Spreitlagen)<br>Entsorgung Schnittgut | 27.-30.1.15 | 37 | 2,75 (LKW) |
| 4 | - | - | - | - |
| 5 | - | - | - | - |
| 6 | - | - | - | - |
| 7 | Zweimal Mahd<br>Entsorgung Mahdgut | 22.-24.6.15<br>6.10.15 | 102,25 | 4 (LKW)<br>50 € (Betriebskosten für Maschinen) |
| 8 | - | - | - | - |
| 9 | Mehrfaches Freischneiden der Setzstangen | 28.-29.4.15<br>19.5.15<br>6.8.15 | 16 | 10 € (Betriebskosten für Maschinen) |

Eine Bewertung des Unterhaltungsaufwandes für die einzelnen Versuchsfelder, auch im Vergleich zur klassischen Steinschüttung, ist zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht möglich.

## 7. Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen wurden für den Berichtszeitraum November 2014 bis Oktober 2015 entsprechend der im 2. Zwischenbericht (BAW, BfG, WSA-MA, 2013) beschriebenen Methodik weitergeführt. Das Jahr 2015 war ein sehr warmes und trockenes Jahr mit Höchsttemperaturen im Sommer bis fast 40°C. Dementsprechend war es überwiegend durch niedrige Wasserstände gekennzeichnet. Es gab nur in der ersten Jahreshälfte mehrere kleinere Hochwasser mit Wasserständen bis maximal Hochwasser-Marke I, nur im Mai stiegen die Wasserstände einmalig kurzzeitig bis 50 cm unter Böschungsoberkante. Insgesamt blieb der Einfluss aus Schifffahrt für die Versuchsfelder aufgrund der niedrigen Wasserstände vergleichsweise gering. Auch während der maximalen Wasserstände konnten nur sehr geringe schiffsinduzierte Wellenhöhen gemessen werden. Frostereignisse spielten im Untersuchungszeitraum keine Rolle. 2015 wurden verschiedene Messungen und Untersuchungen durchgeführt.

Unter den gegebenen Bedingungen konnten die technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen auch 2015 den Uferschutz in ausreichendem Maße gewährleisten.

Die Weidenspreitlagen in den VF 2 und 3 wurden 2015 erstmals in unterschiedlicher Art und Weise zurückgeschnitten, um Unterhaltungskonzepte zu testen. Trotz anfänglicher Schwächung durch Einstau nach dem Rückschnitt und vermehrter Erosion wuchsen die Weiden nahezu flächig wieder auf.

Die Steinmatratzen im VF 5 erwiesen sich weiterhin als stabil und als guter Uferschutz. Der Zustand der Röhrichtgabionen im VF 5a hat sich nach bereits großflächigem Ausfall von bestimmten Pflanzenarten 2013 und 2014 im letzten Jahr nicht verbessern können. Hier gibt es konkrete Ergebnisse hinsichtlich der Überstauungstoleranz der eingebauten Pflanzenarten unter den bestehenden hydrologischen und hydraulischen Bedingungen. Der Uferschutz ist trotzdem ausreichend gewährleistet. Eine weitere Beobachtung, ggf. auch lokale Sanierung, ist 2016 erforderlich.

Im oberen Böschungsbereich der VF 7b und 7c haben sich die Pflanzmatten weiter gut entwickeln können. Der untere Bereich wurde bereits 2013 mit einer Steinschüttung saniert. Im Bereich „Kokosmatte über Nassansaat“ (VF 7a) haben sich die lokalen Schadstellen durch Erosion weiter vergrößert, so dass hier 2016 eine Sanierung geplant ist. Damit konnten bereits Anwendungsgrenzen von Pflanzmatten und Kokosmatten über Nassansaat an Wasserstraßen ermittelt werden.

Im Versuchsfeld 9 ohne Böschungssicherung konnte mit der aktuellen Querprofileinmessung 2015 im Vergleich zum Ausgangszustand 2011 eine landseitige Verschiebung der Böschungsoberfläche durch Erosion von bis zu 5 m nachgewiesen werden. Die Entwicklung

entspricht den Erwartungen, da das Ufer ohne Schutz nicht ausreichend stabil ist. Beobachtungen und Untersuchungen haben gezeigt, dass die bis jetzt vorhandenen Wurzeln der sich aus den Setzstangen auf der Böschungsplanie entwickelten Weiden die Erosion nicht verhindern können. Sanierungsmaßnahmen sind gegenwärtig noch nicht erforderlich.

In den Versuchsfeldern, in denen die alte Steinschüttung erhalten blieb und den Uferschutz weiterhin gewährleistet, entwickelte sich die Vegetation auch im Zeitraum November 2014 bis Oktober 2015 weiter positiv. Die Uferstandsicherheit war in allen Versuchsfeldern gegeben. Im Ergebnis der im Versuchsfeld 1 erstmalig Anfang 2015 durchgeführten unterschiedlichen Rückschnittvarianten ist bereits eine Vielfalt in der Ausprägung der gepflanzten Weiden zu verzeichnen.

Hinsichtlich des pflanzlichen Besiedlungspotenzials konnte bisher in allen Versuchsfeldern (im VF 6 nur in geringfügigem Maß) durch die Maßnahmen eine Steigerung im Vergleich zur herkömmlichen Steinschüttung (Referenzstrecken) erreicht werden. Dies zeigt sich anhand erhöhter Artenzahlen mit hohem Anteil standorttypischer Arten, einer jeweils höheren Gesamtdeckung des pflanzlichen Bewuchses in den einzelnen Versuchsfeldern und der sich bereichsweise bereits einstellenden Uferzonierung mit Elementen der Röhrichtzone, Weich- und Hartholzaue. Die Weidengehölze zeigten nach dem ersten Rückschnitt im Februar eine Entwicklung hin zu einem mehrschichtigen, dichten Gehölzbestand mit Trieben unterschiedlicher Altersklassen. Das zunehmende Wachstum der Pflanzen, das Mischungsverhältnis gepflanzter Arten zu sukzessive eingewanderten Arten, Um- und Ablagerungen von Totholz und Geschwemmsel und die laufende morphologische Entwicklung mit Substratumlagerungen (im VF 4 und 9) schaffen somit Struktur- und kleinräumige Lebensraumvielfalt, die im Bereich der beiden Referenzstrecken nicht gegeben ist.

Eine grundlegende ökologische Bewertung der einzelnen Maßnahmen in den Versuchsfeldern anhand der terrestrischen Fauna kann momentan noch nicht erfolgen. Jedoch weisen bisherige Ergebnisse darauf hin, dass der Untersuchung der Arthropodengruppen Laufkäfer und Spinnen besonderes Potenzial bei der ökologischen Bewertung beizumessen ist. Die Ergebnisse aus der Untersuchung der aquatischen Faunengruppen Makrozoobenthos und Fische deuten auf eine vorteilhafte Auswirkung der strukturaufwertenden Maßnahmen in den (semi-) aquatischen Bereichen der Versuchsfelder 1 und 4 hin. Dieser Trend stützt sich auf eine erhöhte Diversität in den Makrozoobenthos-Gemeinschaften bzw. den erhöhten Anteil von Referenz-Fischarten nach WRRL.

Das Monitoring wird bis 2016 weitergeführt. 2017 erfolgt eine zunächst abschließende Bewertung und Beurteilung der verschiedenen Uferschutzmaßnahmen nach 5 Jahren Monitoring. 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. Das Monitoring an der Versuchsstrecke wird in größeren Abständen weitergeführt 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) bereitgestellt, und das Vorhaben auf verschiedenen Fachveranstaltungen präsentiert.

## Literaturverzeichnis

(BAW, 2011) Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB), Ausgabe 2010, Stand März 2011. Bundesanstalt für Wasserbau (BAW), Karlsruhe. Online unter: http://www.baw.de/de/die_baw/publikationen/merkblaetter/index.php.html

(BAW, BfG, WSA-MA, 2012) Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim, Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – Erster Zwischenbericht**:** Randbedingungen, Einbaudokumentation, Monitoring, Eigenverlag, Karlsruhe/Koblenz Januar 2012

(BAW, BfG, WSA-MA, 2013) Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim, Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – Zweiter Zwischenbericht: Erste Monitoringergebnisse 2012, Eigenverlag, Karlsruhe/Koblenz Juni 2013 – mit Anlagenband

(BAW, 2013) Bundesanstalt für Wasserbau, Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6 - 441,6, rechtes Ufer – Supplement 1: Wetterdaten und Rheinwasserstände 9/2011 - 10/2012, Eigenverlag, Karlsruhe Januar 2013

(BAW, BfG, WSA-MA, 2014) Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde, Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim, Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer - Dritter Zwischenbericht: Monitoringergebnisse 2013, Eigenverlag, Karlsruhe/Koblenz August 2014

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

(BAW, 2015a) Bundesanstalt für Wasserbau, Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6 - 441,6, rechtes Ufer – Teilbericht Standsicherheit und Unterhaltung 11/2012 - 10/2013, Eigenverlag, Karlsruhe

(BAW, 2015b) Bundesanstalt für Wasserbau, Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6 - 441,6, rechtes Ufer – Teilbericht: Wetterdaten und Rheinwasserstände 11/2013 - 10/2014, Eigenverlag, Karlsruhe Juni 2015

(BAW, 2015c) Bundesanstalt für Wasserbau, Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6 - 441,6, rechtes Ufer – Teilbericht: Porenwasserdruckmessungen vom 19.02.2014, Eigenverlag, Karlsruhe Juni 2015

(BfG, 2014a) Bundesanstalt für Gewässerkunde, Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6-441,6, rechtes Ufer – Teilbericht Vegetation 11/2012 – 10/2013, Eigenverlag, Koblenz (noch in Bearbeitung)

(BfG, 2014b) Bundesanstalt für Gewässerkunde, Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6-441,6, rechtes Ufer – Teilbericht Fauna 11/2012 – 10/2013, Eigenverlag, Koblenz (noch in Bearbeitung)

(BfG, 2015) Bundesanstalt für Gewässerkunde: Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen – Rhein-km 440,6-441,6, rechtes Ufer – Teilbericht 1. Erfolgskontrolle Fauna, Eigenverlag, Koblenz (in Bearbeitung)

(BAW, 2017) Bundesanstalt für Wasserbau, Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein-km 440,6 - 441,6, rechtes Ufer − Teilbericht: Porenwasserdruckmessungen am 6.05.2015, Eigenverlag, Karlsruhe, voraussichtlich 2017

(Bothur, L., Ernst, J., Hübner, F., 2015) Studienarbeit der FH-Erfurt im Modul MLA 1.06 „Ingenieurbiologie – Begrünung anthropogener Extremstandorte“, vegetationskundliche Auswertung der ingenieurbiologischen Maßnahmen der Versuchsfelder 2, 3, 7c (unveröffentlicht).

(Braun-Blanquet, 1964) Braun-Blanquet, J., Pflanzensoziologie. Grundzüge der Vegetationskunde. 3. neu bearb. u. wesentl. verm. Auflage, Springer-Verlag. Wien 1964

(Dümpelmann, C, Korte, E., 2013): Rote Liste der Fische und Rundmäuler Hessens, Hessisches Ministerium für Umwelt, Klimaschutz, Landwirtschaft und Verbraucherschutz

(Korte, E., Hugo, R., 2006) Die fischfaunistischen Referenzen der Fließgewässer in Rheinland-Pfalz. Hrsg.: Landesamt für Umwelt, Wasserwirtschaft und Gewerbeaufsicht des Landes Rheinland-Pfalz, Mainz.

(Kratzberg, S., Goebel, T., 2015). Studienarbeit der FH-Erfurt im Modul MLA 1.06 „Ingenieurbiologie - Begrünung anthropogener Extremstandorte“, vegetationskundliche Auswertung der ingenieurbiologischen Maßnahmen der Versuchsfelder 5a und 9 (unveröffentlicht)

(Krautz, S., Engelmann, C., 2015) Studienarbeit der FH-Erfurt im Modul MLA 1.06 „Ingenieurbiologie - Begrünung anthropogener Extremstandorte“, vegetationskundliche Auswertung der ingenieurbiologischen Maßnahmen der Versuchsfelder 3 und 7a (unveröffentlicht)

(Schöll, F., Haybach, A., König, B., 2005) Das erweiterte Potamontypieverfahren zur ökologischen Bewertung von Bundeswasserstraßen (Fließgewässertypen 10 und 20: kies- und sandgeprägte Ströme, Qualitätskomponente Makrozoobenthos) nach Maßgabe der EG-Wasserahmenrichtlinie. Hydrologie und Wasserbewirtschaftung 49: 234-247.

(Walter, Lieth, 1967) Walter, W., Lieth, H., Klimadiagramm-Weltatlas, Gustav Fischer Verlag, Jena 1967

## Anlage: Maßnahmenblätter (Beurteilung der Einzelmaßnahmen)

Im Folgenden wird eine Einschätzung der Einzelmaßnahmen zusammenfassend für die Monitoringjahre 2012, 2013, 2014 und 2015, 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 7a 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 Weidensetzstangen | 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 (VF2) bzw. quer (VF3) 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<br>2013/14:<br>– 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<br>– Wuchskräftigster Bereich zwischen AZW + 0,5/ 1,0 m und AZW + 1,7 m<br>– Im unteren, am meisten durch Schifffahrt belasteten und häufig lange eingestauten Böschungsbereich (AZW bis AZW + 1 m) vergleichsweise geringer Deckungsgrad, weniger und nicht so vitale Weidentriebe, diese 2014 mit sprossbürtigen Wurzeln<br>– Gute Wurzelbildung – relativ dichtes, verzweigtes Wurzelsystem mit Längen bis etwa 60 cm durch Aufgrabung (2012) nachgewiesen; 2013/2014 keine erneute Wurzelaufgrabung<br>2015:<br>– Rückschnitt der Weiden in großen Bereichen, dadurch lokal verstärkte Bodenerosion, zeitweise Schwächung der Weiden, dann flächiger Aufwuchs<br>– Gute Entwicklung der nicht zurückgeschnittenen Weiden<br>– 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); letztere 2014 mit bis 6 m Triebhöhe und 8 cm -durchmesser deutlich als solche zu unterscheiden (Höhenstufung im Bestand als Strukturmerkmal)<br>– 2013/2014 flächig blühende Bienenweide für Nektar und Pollen sammelnde Insekten<br>– Dominante Entwicklung der Purpur-Weide in allen Böschungszonen<br>– 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, die die Weiden 2012 teilweise in ihrer Vitalität schwächte; erstmals Rostpilzbefall an Purpur-Weiden (2013), keine Vitalitätseinbußen, weitere Beobachtung des Pilzbefalls; 2014 kein Nachweis von schmarotzenden Arten, Windengewächsen und Neophyten, nur einzelne krautige Arten in Weidenbeständen, geringfügig Rostpilzbefall an Purpur-Weide; 2015 strukturreiche, mehrschichtige Bewuchsentwicklung der Weiden aufgrund unterschiedlicher Rückschnittintensität<br>– Zusätzlicher Strukturreichtum durch die Ablagerung von Totholz und Treibsel nach Hochwasserereignissen, 2014 hoher Streuanteil aus abgestorbenen Blättern und Trieben; 2015 stellenweises Vorkommen von nicht verrottbaren Abfällen (Ablagerung nach Hochwasser)<br>– Fischfauna 2014: Frühjahr 28 Fische einer Art, Herbst 81 Fische aus 4 Arten; |

| | |
|---|---|
| | 2015: Frühjahr 48 Fische aus 6 Arten, Herbst 50 Fische aus 2 Arten, zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind keine Auswirkungen der Maßnahme auf die Fischfauna ersichtlich<br>– Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos im Sommer 2013 und 2014 deuten darauf hin, dass die Strukturen der VF 2 und 3 geeignet sind, um eine möglichst hohe Artenvielfalt zu unterstützen |
| **Pflege/ Unterhaltung** | – Beobachtung hinsichtlich Fraßschädlingen, schmarotzenden Arten, Rostpilzbefall (Schwächung der Weiden); Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Robinie)<br>– 2015: Rückschnitt der Weiden, VF 2: flächiger Rückschnitt in 95 % des Versuchsfeldes, Herauspflegen einzelner Baumweiden; VF 3: abschnittsweiser Rückschnitt (3 Abschnitte, dazwischen kein Rückschnitt); Herauspflegen einzelner Baumweiden |
| **Sanierungsmaßnahmen** | – 2012: Nachträgliche Kiesabdeckung; anschließend keine Sanierungsmaßnahmen mehr erforderlich |

## Maßnahme M2: Röhrichtgabionen auf Kornfilter (VF5a)

| **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<br>2013:<br>– 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)<br>– 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<br>2014:<br>– Bewuchsausfälle verstärkten sich weiter; in Pflanzzone 1 (s. o.) überwogen „nicht“ bis „kaum“ bewachsene Gabionenquadrate, lediglich die gepflanzten Großseggen erreichten noch eine Deckung von 30 % bei 35 % Gesamtdeckung pflanzlichen Bewuchses; in Pflanzzone 2 (s. o.) erreichten die gepflanzten Arten Rohr-Schwingel und Rohr-Glanzgras nur eine Gesamtdeckung von 25 %, es überwogen ebenfalls „nicht“ bis „kaum“ bewachsene Gabionenquadrate; Schäden an den Gabionen intensivierten sich, durch fehlende Pflanzen und fehlendes Kokosgewebes zunehmender Materialaustrag<br>2015:<br>– Weiterhin stark rückläufige Bewuchsentwicklung (weitere Abnahme der Gesamtdeckung des Bewuchses auf 15-20 % in Pflanzzone 1 und 5-35 % in Pflanzzone 2); verbliebene Arten in den einzelnen Pflanzzonen analog zu 2014; zunehmende böschungsabwärts gerichtete Steinverlagerungen innerhalb der boden- und vegetationslosen Gabionen<br>– Insgesamt Uferschutz durch Röhrichtgabionen aufgrund Eigengewicht und filterstabilem Aufbau noch ausreichend gewährleistet, intensive Beobachtung erforderlich |
| **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<br>– 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<br>– 2014: weiterer Bewuchsausfall und Rückgang der Artenzahlen; Pflanzzone 1: 35,5 Arten/2012, 25 Arten/2013, 33 Arten/(Frühjahr 2014), 5 Arten/(Spätsommer 2014); Pflanzzone 2: 42 Arten/2012, 36 Arten/2013, 46 Arten/(Frühjahr 2014), 25 Arten/(Spätsommer 2014); gepflanzte Arten mit abnehmender Deckung; Rückgang des Spontanbewuchses |

| | |
|---|---|
| | – 2015: anhaltende stark rückläufige Tendenz der Bewuchsentwicklung und Artenzahl (im Transektbereich: Pflanzzone 1: 2 bis 6 Arten ; Pflanzzone 2: 2 bis 8 Arten im Frühjahr); vegetationsfreie Gabionenbereiche überwiegen<br>– „nicht“ bis „kaum“ bewachsene Röhrichtgabionen mit offen liegendem Drahtkörper aus ökologischer Sicht negativ zu bewerten<br>– 2012 aufgrund der Wasserstände keine Aussagen zur Fischfauna möglich, 2013 Anteil der Referenzarten nach WRRL ~10 % höher als in der Referenzstrecke<br>– Fischfauna 2014: Frühjahr 35 Fische aus 5 Arten, Herbst 177 Fische aus 6 Arten; 2015: Frühjahr 50 Fische aus 8 Arten, Herbst 318 Fische aus 5 Arten, zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind keine Auswirkungen der Maßnahme auf die Fischfauna ersichtlich<br>– Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos seit Sommer 2013 lassen noch keine eindeutige Bewertung zu |
| **Pflege/ Unterhaltung** | – Wenige Bewässerungsgänge nach Baufertigstellung, ansonsten keine Pflege<br>– Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten und Fraßschädlingen<br>– Intensive Beobachtung der Gabionen hinsichtlich Bewuchsentwicklung und Materialaustrag |
| **Sanierungsmaßnahmen** | – 2012: Verstärkung der Fußeinbindung durch zusätzliche Wasserbausteine kurz nach dem Einbau; bisher keine weiteren Sanierungsmaßnahmen erforderlich |

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

| **Steinmatratzen auf Kornfilter, ohne Pflanzmatten, mit Oberbodenauftrag (Böschungsneigung 1:2,5)** | |
|---|---|
| **Uferstabilität** | – 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<br>– 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<br>– 2014/2015: Aussagen haben weiterhin Bestand; keine weiteren Schäden am Kunststoffnetz aufgetreten<br>– 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<br>– 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<br>– 2014: Höhere Gesamtdeckung pflanzlichen Bewuchses, jedoch geringere Artenzahl in noch übererdeten im Vergleich zu freigespülten Bereichen (ca. 75 % zu 55 % Deckung/Ø 34 Arten zu Ø 60 Arten); Stickstoff liebende Arten, insbesondere Beifuß und Große Klette dominieren<br>– 2015: Aussagen zur Vegetation exemplarisch für einen untersuchten Transektbereich; demnach geringere Artenzahlen (5-10 Arten) und Deckungsgrade des Bewuchses (ca. 10-15 %) im Vergleich zum Vorjahr; Übererdung durch Hochwasser überwiegend erodiert<br>– Keine Aussagen zur Fischfauna möglich<br>– Untersuchungen zur terrestrischen Fauna 2013 und 2014 zeigen bislang keinen eindeutig positiven Einfluss auf terrestrische Arten; leichter Rückgang von Vögeln möglich, Eisvogel kommt vor |
| **Pflege/ Unterhaltung** | – Geringe Pflege und Unterhaltung: 2013 Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Eschen-Ahorn, Goldrute); 2014/15 Entfernung weiterer Neophyten (Eschen-Ahorn, Goldrute, Robinie, Platane, Hybrid-Pappel, Topinambur) |
| **Sanierungsmaßnahmen** | – 2012/2013: Kleinere Reparaturarbeiten am Kunststoffnetz; anschließend keine Maßnahmen mehr erforderlich |

### Maßnahme M4: Steinmatratzen auf Kornfilter mit Pflanzmatten (VF5b, unten)

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

| **Steinmatratzen auf Kornfilter mit Pflanzmatten (Böschungsneigung 1:2,5)** | |
|---|---|
| **Uferstabilität** | 1. Steinmatratzen:<br>– Anfangsstadium (2012): Unkritisch, da aufgrund Eigengewicht von Anfang an stabile Lage auf der Böschung, keine zusätzlichen Befestigungen auf der Böschung erforderlich<br>– 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<br>– 2014/2015: Aussagen von 2013 haben weiterhin Bestand<br>2. Pflanzmatten, auf Steinmatratzen befestigt:<br>– 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<br>– 2013: Weitere starke Belastungen, insbesondere durch 10-wöchigen Dauereinstau und gleichzeitige Schifffahrtsbelastung; keine Pflanzenentwicklung, Kokosträgergewebe vollständig erodiert; nur noch 3-dimensionales Kunststoffgitter vorhanden<br>– Pflanzmatten auf Steinmatratzen haben sich unter den gegebenen Randbedingungen (Böschungsneigung 1:2,5, mehrfacher Überstau bei gleichzeitiger und hydraulischer Belastung infolge Schifffahrt, Trocken- und Frostzeiten, schlechter Ausgangszustand der Matten, im Ergebnis fehlende Durchwurzelung der Steinmatratzen) nicht bewährt (deshalb Rückbau der Pflanzmatten)<br>– 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<br>– 2013: Natürliche Sukzession bringt ca. 5 % Gesamtdeckung an Bewuchs auf Steinmatratzen nach Rückbau der Pflanzmatten hervor<br>– 2014/2015: Natürliche Sukzession nicht weiter vorangeschritten (nach wie vor geringe Gesamtdeckung von ca. 5 %)<br>– 2012 aufgrund der Wasserstände keine Aussagen zur Fischfauna möglich, 2013 Anteil der Referenzarten nach WRRL ~10 % höher als in der Referenzstrecke<br>– Fischfauna 2014: Frühjahr 35 Fische aus 5 Arten, Herbst 177 Fische aus 6 Arten; 2015: Frühjahr 50 Fische aus 8 Arten, Herbst 318 Fische aus 5 Arten, zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind keine Auswirkungen der Maßnahme auf die Fischfauna ersichtlich<br>– Bisherige Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makro- |

| | |
|---|---|
| | zoobenthos 2013 und 2014 lassen noch keine eindeutige Bewertung zu |
| **Pflege/ Unterhaltung** | – Bewässerung der Pflanzmatten in der Anfangszeit<br>– Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Eschen-Ahorn, Goldrute) |
| **Sanierungs-maßnahmen** | – 2012: Pflanzmatten nachträglich mit einzelnen Wasserbausteinen beschwert<br>– 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<br>– 2014/2015 keine Maßnahmen erforderlich |

## 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 führen 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 im Gegensatz zu Bereichen mit Kunststoffvlies 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<br>2013:<br>– Nach lokalen Sanierungsmaßnahmen Stabilisierung des Zustandes in den oberen, selten eingestauten Böschungsbereichen (oberhalb NN + 1,70 m), hier gute Entwicklung der Pflanzen<br>– 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<br>– 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<br>2014/ 2015:<br>– Nach Sanierung des gesamten unteren Böschungsbereiches (unterhalb AZW + 1,70 m) Uferschutz dort durch wieder hergestellte Steinschüttung gegeben<br>– Uferschutz im oberen Böschungsbereich (oberhalb AZW + 1,70 m) durch Pflanzmatten bereits 2013 ausreichend gegeben; 2014 und 2015 weitere Stabilisierung aufgrund überwiegend niedriger Wasserstände; „ungestörte" Weiterentwicklung und Ausdehnung der Pflanzen; 2015 VF-Bereich bis auf wenige kleine Schadstellen vollflächig und dicht bewachsen |
| **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<br>– 2013: Große Verluste an Pflanzen im unteren Böschungsbereich aufgrund der Wasserstandssituation bei gleichzeitiger Schifffahrtsbelastung; ökologische Aussagen nur noch für den oberen Böschungsbereich möglich, hier positive Weiterentwicklung der Pflanzmatten; Arten aus Pflanzung wurden konkurrenzstark und bauen weiterhin standorttypischen Vegetationsbestand mit guter Artendurchmischung auf<br>– 2014: Nach der Sanierung des unteren Böschungsbereiches (bis AZW + 1,70 m) mit Wasserbausteinen Aufkommen vereinzelter Arten aus ursprünglicher Bepflanzung zwischen den Steinen, ergänzt um Arten aus freier Sukzession im Lückensystem der Steinschüttung; im oberen Böschungsbereich überwiegend dichter und vollflächiger Bewuchs, hohe Artenvielfalt im Bereich der VF 7 b und 7c, dort Unterschiede in den Pflanzmattentypen erkennbar (48 Arten/Pflanzmatten des Firmen-Standardprogramms, 28 Arten/Pflanzmatten nach beauftragter Artenkombination); fortgeschrittene Entwicklung des VF daran erkennbar, dass sich Verteilung der Arten mehr und mehr den natürlichen Standortansprüchen der Arten angleicht (natürliche Uferzonierung)<br>– 2015: Vorkommen von überwiegend Seggen und Rohr-Glanzgras aus ursprünglicher Bepflanzung im Lückensystem der Steinschüttung (Sanierungsbereich); oberer Böschungsbereich weiterhin flächig und dicht bewachsen, dort neben Arten aus Ursprungspflanzung typische Arten trocken-warmer Standorte; Arten verteilen sich mehr und mehr entsprechend ihrer natürlichen Standortansprüche (natürliche Uferzonierung)<br>– Fischfauna 2014: Frühjahr 100 Fische aus 4 Arten, Herbst 245 Fische aus 7 Arten; 2015: Frühjahr 121 Fische aus 7 Arten, Herbst 341 Fische aus 5 Arten, zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind keine Auswirkungen der Maßnahme auf die Fischfauna ersichtlich<br>– Die nach der Sanierung vorhandenen wechselnden Strukturen mit offenen Bereichen in diesem Versuchsfeld scheinen besonderes Entwicklungspotenzial für terrestrische Arthropodengruppen zu bieten. |
| **Pflege/ Unterhaltung** | – Wenige Bewässerungsgänge nach Baufertigstellung<br>– September 2012, Mai und Juli 2013 Mahd mit Freischneider zwischen Böschung und Betriebsweg, keine Mahd im Böschungsbereich; 2014 Mahd mit Freischneider in Böschungs- und Planiebereich; 2015 Komplettmahd im Böschungsbereich (Juni), ergänzende Teilmahd in VF 7b und c (Herbst); jeweils Abtransport des Mahdgutes<br>– Beobachtung und Beseitigung neophytischer Arten (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)<br>– 2013: Sanierung des gesamten unteren Böschungsbereichs bis auf die Höhe von AZW +1,7 m – hier Wiederherstellung der Steinschüttung<br>– 2014: Markierung eines kleinen, lokalen Auskolkungsbereichs im VF 7c; 2015 keine Sanierungsmaßnahmen, weitere Beobachtung des markierten Bereichs |

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

| **Kokosmatten über einer Nassansaat (Böschungsneigung 1:3)** | |
|---|---|
| **Uferstabilität** | – Angewendet nur im oberen, seltener eingestauten Böschungsbereich<br>– Anfangsstadium (2012): Sehr kritisch, Kokosmatten bei Überstau unter Auftrieb besitzen kaum ein Eigengewicht, nur punktuelle Befestigungen durch Pflöcke (keine Querriegel) bei Überstau und gleichzeitiger Schiffsbelastung 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<br>– 2013: Stabilisierung des Zustandes nach Sanierungsmaßnahmen, gute Entwicklung der Pflanzen, da nur seltener Einstau 2013<br>– 2014: aufgrund niedriger Wasserstände insgesamt weiter gute und flächendeckende Pflanzenentwicklung; Manifestierung von sechs kleineren, lokalen Auskolkungsbereichen, deren Entwicklung weiter zu beobachten ist<br>– 2015: Vergrößerung der lokalen Schadstellen im unteren Teil der oberen Böschungshälfte durch weiteren Materialaustrag; im übrigen Bereich vollflächiger Pflanzenwuchs<br>– Uferschutz durch Pflanzenentwicklung auf Kokosmatte nach Sanierung 2013 ausreichend gegeben; Entwicklung der Schadstellen muss intensiv beobachtet werden |
| **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<br>– 2013: Standorttypischer Vegetationsbestand mit guter Artendurchmischung; erhöhte Strukturvielfalt im Vergleich zur Referenz<br>– 2014: überwiegend vollflächiger und dichter Bewuchs mit standorttypischen Arten; höchste Artenvielfalt mit 88 Arten (vgl. Referenzflächen mit Ø 11,5 Arten im oberen Böschungsbereich); fortgeschrittene Entwicklung des VF daran erkennbar, dass sich Verteilung der Arten mehr und mehr den natürlichen Standortansprüchen der Arten angleicht (natürliche Uferzonierung)<br>– 2015: oberer Böschungsbereich mit Ausnahme der lokalen Schadstellen weiterhin flächig und dicht bewachsen, dort neben Arten aus Ursprungs- und Nachsaaten bzw. Nachbepflanzung typische Arten trocken-warmer Standorte; Arten verteilen sich mehr und mehr entsprechend ihrer natürlichen Standortansprüche (natürliche Uferzonierung)<br>– Keine Aussagen zur Fischfauna möglich<br>– Nur geringe Diversität der terrestrischen Fauna in diesem Feld |
| **Pflege/ Unterhaltung** | – September 2012, Mai und Juli 2013 Mahd mit Freischneider zwischen Böschung und Betriebsweg, keine Mahd im Böschungsbereich<br>– 2014/2015: Mahd mit Freischneider in Böschungs- und Planiebereich; Abtransport des Mahdgutes<br>– Beobachtung und Beseitigung neophytischer Arten (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, anschlie- |

| | |
|---|---|
| | ßend keine Sanierungsmaßnahmen mehr erforderlich<br>– 2014: Markierung und Beobachtung der lokalen Schadstellen<br>– 2015: Beobachtung der lokalen Schadstellen; Diskussion von Sanierungskonzepten |

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

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

| **Röhrichtwalzen** | |
|---|---|
| **Uferstabilität** | – Röhrichtwalzen wurden parallel zur Uferlinie im Bereich bei AZW als Fußsicherung für die Pflanzmatten der oberhalb anschließenden Böschung eingebracht<br>– 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<br>– Röhrichtwalzen haben sich in der getesteten Form unter den gegebenen Randbedingungen nicht bewährt, im Zuge der Sanierung des unteren Böschungsbereiches 2012/13 überschüttet<br>– Uferschutz durch wieder hergestellte Steinschüttung gewährleistet |
| **Ökologie** | – Etablierung/Initiierung einer Röhrichtzone mit Einzelpflanzen im Wellenauflaufbereich um AZW fehlgeschlagen<br>– Keine Aussagen zur Fischfauna möglich<br>– ökologisches Ziel nicht erreicht |
| **Pflege/ Unterhaltung** | – 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 (VF1)

| **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<br>– 2013/2014/2015: Erhöhung des Uferschutzes durch zunehmende Verwurzelung der Pflanzen mit dem Deckwerk und dem Untergrund<br>– 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<br>– 2012/2013/2014/2015: 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; 2015 strukturreiche, mehrschichtige Bewuchsentwicklung der Weiden aufgrund der festgelegten Pflegevarianten unter Heranziehen von Baum- und Kopfweiden<br>– Erhöhung des Strukturreichtums durch Ablagerung von Totholz und Treibsel nach Hochwasserereignissen<br>– Keine Aussagen zur Fischfauna möglich<br>– Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos im Sommer 2013 und 2014 deuten darauf hin, dass die Strukturen des VF1 geeignet sind, um eine möglichst hohe Artenvielfalt zu unterstützen |
| **Pflege/ Unterhaltung** | – 2012/2013/2014: geringe Pflege und Unterhaltung; Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten, Fraßschädlingen und pflanzlichen Schmarotzern (z. B. Pappel-Seide); Freischneiden der Triebe der Heckenlagen<br>– 2015: wechselnde Rückschnittvarianten an Weidensetzstangen und -faschinen händisch durchgeführt; künftiges Heranziehen einzelner Kopf- und Baumweiden geplant<br>– kein Pflegeschnitt der Heckenlagen erforderlich |
| **Sanierungsmaßnahmen** | – 2012: Nach Sackungen zusätzlicher Einbau von Wasserbausteinen in den Gräben; anschließend keine Sanierungsmaßnahmen mehr erforderlich |

## Maßnahme M9: Einbringen von Weidensetzstangen (VF1, VF9)

| **Einbringen von Setzstangen** | |
|---|---|
| **Uferstabilität** | 1. VF 1:<br>– Anordnung der Setzstangen im unteren Böschungsbereich (keine Uferschutzfunktion); Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung unverändert gewährleistet<br>– Anfangsstadium (2012): Unkritisch hinsichtlich Uferschutz<br>– 2013/2014/2015: Gute Entwicklung; langfristig ggf. Erhöhung des Uferschutzes durch Verwurzelung der Weidensetzstangen mit dem Deckwerk und dem Untergrund<br>– Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet<br>2. VF 9:<br>– 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);<br>– Anfangsstadium (2012): Unkritisch hinsichtlich Schutz des Betriebsweges<br>– 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;<br>– 2014: vereinzelte 2013 bereits freigespülte Setzstangen nach wie vor im Boden verankert und vital<br>– 2015: seit Rückbau der Steinschüttung 2011 Verschiebung der Böschungsschulter landwärts durch Erosion lokal um bis zu 5 m; mehrere Setzstangen wurden freigespült; Wurzelaufgrabung an einer Setzstange hat gezeigt, dass bisher entwickelte Wurzeln die zunehmende Erosion an der Böschungsschulter nicht aufhalten können; weitere Erosion zwischen den einzelnen Weiden ist zu erwarten;<br>– Der Bestand des Betriebsweges ist bisher nicht gefährdet. |
| **Ökologie** | – Insgesamt gute und vitale Entwicklung der eingebrachten Setzstangen<br>– Anfangsstadium (2012): Teilweise Schwächung einzelner Weiden durch pflanzliche Schmarotzer (Befall mit Pappel-Seide)<br>– 2013 Pappel-Seide abgestorben, da nicht überstauungstolerant; Weiden konnten sich erholen; jedoch erneute Umwicklung der Weidentriebe durch Acker-Winde; 2014 keine schmarotzende oder windendende Konkurrenzvegetation feststellbar; 2015 liegen keine Informationen zur Konkurrenzvegetation vor<br>– 2012/2013/2014/2015: Initiierung von Gehölzbewuchs aus gebietsheimischen und standorttypischen Weiden auf Böschungsschulter in VF9 sowie auf der Steinschüttung in VF1; Weidensetzstangen ergänzen mit weiterer Lebensraumfunktion die von krautigem Spontanbewuchs dominierte Böschungsplanie in VF9 sowie die im ursprünglichen Zustand weitestgehend vegetationsfreie Steinschüttung (VF1) und erhöhen den Strukturreichtum; weitere Strukturbereicherung durch mehrschichtige Bewuchsentwicklung nach durchgeführten Pflegeschnittvarianten und die Ablagerung von Totholz und Treibsel an Setzstangen nach Hochwasserereignissen<br>– Keine Aussagen zur Fischfauna möglich<br>– Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos im Sommer 2013 und 2014 deuten darauf hin, dass die Strukturen des VF1 geeignet sind, um eine möglichst hohe Artenvielfalt zu unterstützen |

| | |
|---|---|
| **Pflege/ Unterhaltung** | – VF 9: Mahd im September 2012, Mai und Juli 2013 im Bereich der Setzstangen zwischen Böschung und Betriebsweg, um dem Konkurrenzdruck der hochwüchsigen Spontanvegetation und einer dadurch gehemmten Triebentwicklung der jungen Weiden entgegenzuwirken, keine Mahd im Böschungsbereich; 2014 keine weitere Mahd (Setzstangen durch vorangeschrittene Entwicklung konkurrenzstark)<br>– Beobachtung hinsichtlich Fraßschädlingen und pflanzlichen Schmarotzern (z. B. Pappel-Seide, Acker-Winde, Winden-Knöterich, Zaunwinde)<br>– Beobachtung und Beseitigung neophytischer Arten<br>– VF 9: 2013 Absperrung der Abbruchkanten mit Bändern; 2013/14 Beobachtung der Ufererosion; 2014 mit Blick auf künftige Ufererosionen vorsorgliche Pflanzung einer weiteren Setzstangenreihe neben Betriebsweg; Entfernung einzelner Topinambur-Individuen mit Wurzel auf Böschungsplanie; 2015 mehrmalige Mahd im Bereich der neu gepflanzten Setzstangen, um Konkurrenzdruck durch krautigen Spontanbewuchs entgegenzuwirken<br>– VF 1: 2015 Ausführung von verschiedenen Pflegeschnittvarianten |
| **Sanierungs-maßnahmen** | – Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich |

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

| **Einspülen von Oberboden-Alginat in die Steinschüttung und Ansaat durch Anspritzverfahren** | |
|---|---|
| **Uferstabilität** | – 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<br>– 2013: Bei wiederholtem und höherem Überstau als 2012 weitere Erosion des Oberboden-Alginatgemisches, nur noch lokal in Steinzwickeln vorhanden – Auswirkungen nicht standsicherheitsrelevant<br>– 2014/2015: Alginat nur noch geringfügig und lokal im oberen Böschungsbereich (Übergang zur Böschungsplanie) vorhanden<br>– 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<br>– Noch vorhandene Alginatreste im Lückensystem der Steinschüttung förderten Aufkommen von Spontanvegetation<br>– Bereicherung der Artenvielfalt der Böschungsplanie<br>– 2013: Verkleinerung der Grasnarbe durch weitergehende Erosion; ökologisch höherwertigerer Bereich zu kleinräumig, um als ökologische Aufwertung anzusehen<br>– 2014/2015: spärliche Grasnarbe, im Vgl. zu 2013 unverändert (nur noch lokal auf Alginatresten mit Gesamtdeckung von 15 % vorhanden)<br>– VF unterscheidet sich hinsichtlich der pflanzlichen Besiedlung nicht mehr wesentlich von Referenzstrecke; pflanzenökologische Zielstellung konnte nur sehr begrenzt erreicht werden<br>– Fischfauna 2014: Frühjahr 28 Fische aus 3 Arten, Herbst 111 Fische aus 6 Arten; 2015: Frühjahr 63 Fische aus 6 Arten, Herbst 99 Fische aus 5 Arten, zum gegenwärtigen Zeitpunkt sind keine Auswirkungen der Maßnahme auf die Fischfauna ersichtlich<br>– Bisherige Untersuchungsergebnisse 2013 und 2014 lassen noch keine ökologische Bewertung anhand der terrestrischen Fauna zu |
| **Pflege/ Unterhaltung** | – Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich<br>– Beobachtung hinsichtlich neophytischer Arten |
| **Sanierungsmaßnahmen** | – Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich |

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

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

| **Einzelpflanzung von Röhrichtbulten in Höhe AZW** | |
|---|---|
| **Uferstabilität** | – 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<br>– 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<br>– Etablierung/Initiierung einer Röhrichtzone mit Einzelpflanzen im Wellenauflaufbereich um AZW fehlgeschlagen, ökologisches Ziel nicht erreicht |
| **Pflege/ Unterhaltung** | – Keine Pflege und Unterhaltung erforderlich |
| **Sanierungsmaßnahmen** | – Keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich |

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

| **Anlage eines Steinwalls parallel zur Uferlinie zur Reduzierung der Uferbelastung vor Wellenschlag** | |
|---|---|
| **Uferstabilität** | – 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<br>– Anfangsstadium (2012) und 2013/2014/2015: Steinwälle im VF 1 und 8 stabil und technisch wirksam<br>– Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet |
| **Ökologie** | – Anfangsstadium (2012): Günstige Wirkung des Steinwalls auf die Entwicklung der Ufervegetation in VF1 und VF8, schlammige Ablagerungen auf Wasserbausteinen im Schutz des Steinwalls bieten Substrat und Nährsubstanz für die Besiedlung mit Spontanvegetation<br>– Ansiedlung erster Arten der Laichkraut- und Röhrichtzone in VF1<br>– Flächenmäßige Zunahme des bereits vor Baumaßnahme vorhandenen kleinflächigen Röhrichtbewuchses und feuchter Hochstauden (VF8)<br>– 2013: Weitere Schlammablagerungen auf Wasserbausteinen (VF1) und auf Pflaster (VF8) hinter dem Steinwall<br>– 2 Pflanzenindividuen in VF 1, davon 1 Schwanenblume (Einstufung Rote Liste Hessen „gefährdet“)<br>– Weitere positive Entwicklung des Röhrichtbewuchses in VF 8<br>– 2014: Zunahme an Individuen standorttypischer Uferpflanzen (Rohr-Glanzgras, Blutweiderich, Schwanenblume, Schwarzfrüchtiger Zweizahn, Ampfer-Knöterich, Ufer-Wolfstrapp) auf Schlammablagerungen in VF 1; darauf auch 2015 deutliche Ausbildung eines krautigen Ufersaumes mit einjährigen Arten; in VF 8 in 2014/2015 Röhrichtzone mit Hochstauden feuchter Standorte und Arten kurzlebiger Schlammboden-Pionierfluren mit Gesamtdeckung von 40-50 %<br>– Anstieg des Arten- und Blühreichtums seit Umsetzung der Maßnahme<br>– Auffällig hohe Tieraktivität (Insekten, Vögel) im VF 1<br>– Regelmäßige Beobachtungen von Jungfischschwärmen im VF1, Bereich hinter Steinwall im VF8 zur Zeit der Befischung 2013 trocken<br>– Fischfauna 2014: VF1 Frühjahr 32 Fische aus 5 Arten, Herbst 365 Fische aus 6 Arten, Dominanz der Schwarzmundgrundel geringer, höherer Anteil von Referenzarten nach WRRL als in der Referenzstrecke; VF 8 Frühjahr 72 Fische aus 7 Arten, Herbst 164 Fische aus 7 Arten;<br>Fischfauna 2015: VF1 Frühjahr 135 Fische aus 11 Arten, Herbst keine Fische (VF lag fast trocken), VF 8 Frühjahr 92 Fische aus 9 Arten, Herbst 238 Fische aus 4 Arten<br>– Für terrestrische Fauna noch keine eindeutigen Ergebnisse<br>– Makrozoobenthosdiversität erhöht |
| **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 (VF1, VF4, VF9)

| **Einbau von Totholzstrukturen (Totholzstämme mit Wurzelteller, Totholzfaschinen, Ausfachungsbuhne) in die Steinschüttung** | |
|---|---|
| **Uferstabilität** | – Anfangsstadium (2012) und 2013: Totholzelemente trotz mehrerer Hochwasserereignisse lagestabil in der Böschung verankert<br>– 2014/ 2015: Totholzfaschinen in VF 4 in sich etwas gelockert (Schrumpfung, Verwitterung, Abgang von Einzelästen), jedoch nach wie vor lagestabil<br>– Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet |
| **Ökologie** | – 2012/2013/2014/2015: Anlagerung /Abtrag von erodiertem Feinsubstrat im Bereich der Reisigfaschinen in VF4; Entstehung kleiner, flacher, kiesiger Uferbereiche zwischen den Faschinenbündeln, Erhöhung der Substratvielfalt auf der Steinböschung<br>– 2012: Im Bereich der Totholzstämme mit den Wurzeltellern (VF 1) und den Totholzfaschinen (VF 4) deutlich höhere Individuenanteile von wertgebenden Fischarten nach WRRL als in den Referenzstrecken mit Steinschüttung<br>– Fischfauna 2014: VF1 Frühjahr 32 Fische aus 5 Arten, Herbst 365 Fische aus 6 Arten, Dominanz der Schwarzmundgrundel geringer, höherer Anteil von Referenzarten nach WRRL als in der Referenzstrecke; VF4 Frühjahr 16 Fische aus 5 Arten, Herbst 44 Fische aus 6 Arten, Totholzfaschinen wasserstandsbedingt im Herbst trocken; VF9 Frühjahr 95 Fische aus 3 Arten, Herbst 266 Fische aus 3 Arten; Ausfachungsbuhne (VF 9) noch ohne erkennbare Wirkung auf die Fische<br>– Fischfauna 2015: VF1 Frühjahr 135 Fische aus 11 Arten, Herbst keine Fische, VF1 lag fast trocken, VF4 Frühjahr 2 Fische aus 2 Arten, Herbst 24 Fische aus 3 Arten, Totholzfaschinen wasserstandsbedingt im Herbst trocken; VF9 Frühjahr 149 Fische aus 11 Arten, Herbst 256 Fische aus 3 Arten<br>– Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos: 2013 und 2014 häufigeres Vorkommen von Prachtlibellen beobachtet, Gesamtdiversität erhöht |
| **Pflege/ Unterhaltung** | – Bisher keine Pflege und Unterhaltung erforderlich |
| **Sanierungsmaßnahmen** | – Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich |

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

| **Aufbringen von kiesigem Substrat / Grobstein-Gruppen auf vorhandene Steinschüttung** | |
|---|---|
| **Uferstabilität** | – Anfangsstadium (2012), 2013, 2014, 2015: In Abhängigkeit der Schifffahrtsbelastung und Überstauhöhen und -zeiten Erosion von Kies auf der Böschung, zum Teil Ablagerung im Bereich der Totholzfaschinen; stabile Lage der großen Granit-Einzelsteine<br>– Uferschutz durch verbliebene Steinschüttung gewährleistet |
| **Ökologie** | – Erhöhung der Substratvariation der ursprünglich einheitlichen Steinschüttung (Wasserbausteine der Klasse $LMB_{5/40}$)<br>– 2012/2013: Geringfügige pflanzliche Besiedlung mit Spontanvegetation, überwiegend im Strömungsschatten der Grobstein-Gruppen<br>– 2014/2015: Besiedelung mit Spontanvegetation beschränkt sich überwiegend auf den oberen Böschungsbereich (nur noch wenige Arten im unteren und mittleren Bereich); höchster Anteil an Substratvariation im oberen Böschungsbereich<br>– keine Aussagen zur Fischfauna möglich<br>– Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos zeigen noch keine eindeutigen Ergebnisse |
| **Pflege/ Unterhaltung** | – Geringe Pflege und Unterhaltung:<br>Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Eschen-Ahorn, Robinie) |
| **Sanierungsmaßnahmen** | – Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich |

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

| **Rückbau der technischen Ufersicherung oberhalb AZW, begrenztes Zulassen freier Dynamik** | |
|---|---|
| **Uferstabilität** | – 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<br>– Anfangsstadium (2012): Auftreten von Erosion im jeweils überstauten Bereich wie erwartet<br>– 2013: Weitere Hochwasser, erstmals Einstau der gesamten Böschung und des angrenzenden Geländes, Wasserstände bis ca. 1 m über Böschungsoberkante; zunehmende Erosion besonders der feineren Körnungen; im Ergebnis dominieren im Böschungsbereich die aus dem Untergrund freigespülten Steine; Abbruchkanten an der Böschungsschulter, vereinzelte freigespülte Weidensetzstangen (diese aber noch mit Wurzelkontakt zum Boden), Materialtransport auch durch zurücklaufendes Hochwasser<br>– 2014: aufgrund niedriger Wasserstände nur begrenzt weitere Erosionen bis auf Höhe der maximalen Wasserstandslinie (ca. Marke I≙ NN+88,56 m); vereinzelte 2013 bereits freigespülte Weidensetzstangen noch relativ stabil und vital<br>– 2015: seit Rückbau der Steinschüttung 2011 zunehmende Verschiebung der Böschungsoberfläche landwärts durch Erosion; größte Erosion am VF-Ende (Verschiebung der Böschungsschulter um bis zu 5 m); Wurzelaufgrabung an einer der auf der Böschungsplanie eingebrachten Setzstangen hat gezeigt, dass die bisher entwickelten Wurzeln die zunehmende Erosion an der Böschungsschulter nicht aufhalten können; weitere Erosion zwischen den einzelnen Weiden ist zu erwarten; Beobachtung hinsichtlich Betriebsweg erforderlich<br>– Bisher trotz Erosion noch keine kritischen Zustände hinsichtlich des Bestands des Betriebsweges; die alten, im Boden vorhandenen 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<br>– Einleitung der pflanzlichen Besiedlung mit Spontanvegetation in weniger hydraulisch belasteten Böschungszonen (d.h. in höher gelegenen Bereichen), insb. von Hartholzauengehölz (Blutroter Hartriegel)<br>– Förderung einer dynamischen Vegetationsentwicklung<br>– 2014/2015: weitere Ausdehnung des Hartholzauengehölzes aus freier Sukzession; natürliche Verjüngung von Weiden im Bereich einer unterstromigen, sandigen Auskolkung<br>– Bislang kein deutlich positiver Einfluss des durch die Erosion zunehmend flacher ausgebildeten Ufers auf die Fischfauna nachweisbar<br>– Untersuchungen zur terrestrischen Fauna und zum Makrozoobenthos im Sommer 2013 und 2014 deuten darauf hin, dass die Strukturen des VF9 geeignet sind, um eine möglichst hohe Artenvielfalt zu unterstützen |
| **Pflege/ Unterhaltung** | – Geringe Pflege und Unterhaltung, verstärkte Verkehrssicherung der Böschungsplanie<br>Entfernung vereinzelt aufgekommener Neophyten (Topinambur, Eschen-Ahorn) |
| **Sanierungsmaßnahmen** | – Bisher keine Sanierungsmaßnahmen erforderlich |