

# Erste Ergebnisse eines Naturversuchs mit technisch-biologischen Ufersicherungen am Rhein bei Worms

Katja Behrendt (Koblenz), Petra Fleischer (Karlsruhe) und Jochen Koop (Koblenz)

## Zusammenfassung

Mit Einführung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie sind auch an Bundeswasserstraßen verstärkt Maßnahmen zur Verbesserung des ökologischen Zustands bzw. Potenzials gefordert. Aus diesem Grund werden im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojektes der Bundesanstalten für Wasserbau und Gewässerkunde seit 2011 verschiedene technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen am Rhein hinsichtlich der technischen Anwendbarkeit und der ökologischen Wirksamkeit in einem Naturversuch getestet. Die bisherigen Monitoringergebnisse zeigen, dass diese alternativen Maßnahmen bei den gegebenen Randbedingungen prinzipiell anwendbar sind und einen wertvollen Beitrag zur Verbesserung des ökologischen Potenzials leisten können. Neben den hydraulischen Belastungen bestimmen in besonderem Maße die Überstauzeiten und -höhen die Anwendungsgrenzen. Der Artenreichtum der Vegetation und Fauna konnte durch die verschiedenen Maßnahmen – im Vergleich zum Ausgangszustand – bereits erhöht werden.

**Schlagwörter:** Wasserrahmenrichtlinie, Bundeswasserstraße, ökologischer Zustand, Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde, technisch-biologische Ufersicherung, Naturversuch, Monitoring

DOI: 10.3243/kwe2015.12.004

## Abstract

### First Results of a Natural Trial Using Technical-Biological Riverbank Protection on the Rhine near Worms

With the introduction of the European Water Framework Directive the strengthened measures for the improvement of the ecological condition resp. potential are also being promoted on the German Federal waterways. For this reason, within the scope of a joint research project, the German Federal Institute for Hydraulic Engineering and the Federal Institute for Hydrology since 2011 have tested in a natural trial various technical-biological riverbank protection measures on the Rhine with respect to the ecological effectiveness. The monitoring results achieved to date show that these alternative measures, with the given boundary conditions, are in principle applicable and can make a valuable contribution to the improvement of the ecological potential. Along with the hydraulic loading the flooding times and heights determine to a particular degree the employment limits. The richness of species of vegetation and fauna – in comparison with the initial condition – could already be increased through the various measures.

**Key words:** Water Framework Directive, German federal waterways, ecological condition, German Federal Institute for Hydraulic Engineering, German Federal Institute for Hydrology, technical-biological riverbank protection, natural trial, monitoring

## 1 Anlass

Seit Einführung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (EG-WRRL) im Jahr 2000 und der Novellierung nationaler Regelungen – Wasserhaushaltsgesetz (2009), Bundeswasserstraßengesetz (2007) und Bundesnaturschutzgesetz (2009) – gibt es bei Ausbau, Betrieb und Unterhaltung von Wasserstraßen geänderte Rahmenbedingungen. Bestimmten bisher überwiegend technische Gesichtspunkte die Planungen, um die Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs dauerhaft zu gewährleisten, sind jetzt in zunehmendem Maße auch ökologische Aspekte zu berücksichtigen. Dabei sollen verstärkt Maßnahmen zum Einsatz kommen, die die natürliche Anpassungsfähigkeit und die Lebens-

raum- oder Habitatvielfalt der Gewässer, insbesondere durch eine Erhöhung der Strukturvielfalt, verbessern. Eine Möglichkeit, diese Ziele zu erreichen, ist die Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen als ökologisch verträglichere Alternative zum klassischen Schüttsteindeckwerk. Da es mit ingenieurbioologischen Bauweisen zwar ausreichend Erfahrungen an kleineren Fließgewässern ohne Schifffahrt, nicht aber an Wasserstraßen mit den heutigen schiffsinduzierten Belastungen gibt, wurde vor einigen Jahren das gemeinsame Forschungsprojekt der Bundesanstalten für Wasserbau (BAW) und Gewässerkunde (BfG) „Untersuchungen zu alternativen technisch-

biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen“ initiiert. Das Ziel ist, Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen alternativer Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen und deren ökologische Wirksamkeit zu untersuchen und langfristig Bemessungsgrundlagen analog zum technischen Regelwerk zu erarbeiten.

## 2 Forschungsprojekt

Bei den Untersuchungen zur Anwendbarkeit technisch-biologischer Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen sind neben den geotechnischen und hydraulischen Aspekten vegetationskundliche, faunistische und ökologische Gesichtspunkte zu berücksichtigen. Dabei gilt es, Uferschutzmaßnahmen unter Verwendung von Pflanzen zu entwickeln, zu testen und zu empfehlen, die ausreichend standsicher und gleichzeitig ökologisch wirksam sind. Aus technischer Sicht sind die Mechanismen zu erforschen, wie Pflanzen mit ihren Wurzeln und oberirdischen Teilen den Uferschutz an Wasserstraßen dauerhaft gewährleisten können. Die entsprechenden Standsicherheitsnachweise sind auszuarbeiten. Die Einbaubedingungen und die Belastbarkeit technisch-biologischer Ufersicherungen gegenüber schiffsinduzierten und natürlichen Einwirkungen sowie ihre Dauerhaftigkeit sind zu untersuchen, Kosten für Einbau und Unterhaltung zu ermitteln [1]. Aus ökologischer Sicht ist der Nachweis der Wirksamkeit der verschiedenen technisch-biologischen Sicherungsmaßnahmen hinsichtlich der Erfüllung der Anforderungen der neuen gesetzlichen Vorgaben zu erbringen.

Neben Theorie, Labor- und Modellversuchen [1, 2] sind praktische Erfahrungen bei der Untersuchung von Ufersicherungen mit lebenden Baustoffen von großer Bedeutung. Deshalb werden neben Untersuchungen im Bestand auch neu konzipierte Naturversuche auf Grundlage des bisherigen Wissens durchgeführt. Ein Beispiel ist der im Folgenden beschriebene Naturversuch am Rhein bei Worms.

## 3 Naturversuch am Rhein

### 3.1 Zielsetzung und Planung

2011 wurden am rechten Rheinufer von km 440,600 bis km 441,600 neun unterschiedliche technisch-biologische Ufersicherungs- bzw. strukturverbessernde Maßnahmen mit dem Ziel eingebaut, diese erstmalig an einer Wasserstraße mit hohen schiffsinduzierten und natürlichen hydraulischen Belastungen sowie großen Wasserstandsschwankungen zu testen und den im Referenzzustand vom Artenbestand verarmten Uferbereich langfristig ökologisch aufzuwerten.

Die Konzipierung der zu testenden Uferschutzmaßnahmen erfolgte nach Aufnahme der relevanten Randbedingungen 2010 von BAW und BfG [3]. Auf dieser Grundlage erstellten zwei Fachbüros (Stowasserplan GmbH & Co. KG, Geitz & Partner GbR) die technische Ausführungsplanung und übernahmen die Bauüberwachung. Mit der Vorkultivierung der vorgesehenen Pflanzelemente (Röhrichtgabionen, Pflanzmatten) wurde die Fa. Ökon Vegetationstechnik GmbH zehn Monate vor Einbau beauftragt. Die Bauausführung erfolgte durch die ARGE Rudolph Garten- und Landschaftsbau GmbH und Grünbau GmbH & Co KG. Träger der Maßnahme ist das Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Mannheim. Aufgrund der während der Bauzeit niedrigen Wasserstände konnte die Baumaßnahme vom Land aus ohne

Unterbrechung nach rund 3,5 Monaten im Dezember 2011 abgeschlossen werden [4]. Seit 2012 wird von BAW, BfG und WSA Mannheim ein umfangreiches Monitoring durchgeführt.

### 3.2 Neue Maßnahmen zur Ufersicherung und zur Strukturverbesserung

In fünf der neun Uferabschnitte wurde die vorhandene Steinerschüttung oberhalb Mittelwasser (MW) entfernt und durch neue technisch-biologische Maßnahmen mit Uferschutzfunktion ersetzt (Versuchsfelder VF 2, 3, 5, 7). Zur Anwendung kamen Weidenspreitlagen (VF 2 und 3) und verschiedene vorgefertigte bzw. über eine Vegetationsperiode vorgezogene Pflanzelemente – Röhrichtgabionen (VF 5), Steinmatratzen (VF 5) und Pflanzmatten (VF 7) (Abbildung 1). Dabei wurden die für die jeweiligen Uferzonen gebietsheimischen und standorttypischen Pflanzenarten und der Pflanzbereich mit Bezug zum mittleren Rheinwasserstand vorgegeben. Zur Gewährleistung der Filterstabilität wurde unter den Röhrichtgabionen und Steinmatratzen ein 30 cm dicker mineralischer Kornfilter eingebaut. Unter den Pflanzmatten kamen als Filter teilweise verschiedene Geotextilmatten – Schafwollvliese, Kokosmatten, Kunststoffvliese – zum Einsatz. Im VF 9 blieb die Uferböschung weitestgehend ungesichert, um die Entwicklung eines ungeschützten Ufers zu untersuchen [4].

In vier Abschnitten (VF 1, 4, 6, 8) erfolgten Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung der weiterhin mit Wasserbausteinen gesicherten Böschung (Abbildung 1). Hierzu wurden Setzstangen, Busch- und Heckenlagen sowie Lebendfaschinen (VF1) und Strukturverbesserungen mittels Totholzfaschinen und Einzelsteingruppen (VF 4) in die Steinschüttung eingebaut. In VF 6 erfolgte eine Nassansaat auf Alginat. Weiterhin wurde ein der Böschung vorgelagerter Steinwall errichtet (VF 1) bzw. erhöht (VF 8), um die hydraulische Uferbelastung bei entsprechenden Wasserständen zur Förderung der Vegetation und Fischfauna zu reduzieren [4].

Die Ufersicherungen und strukturverbessernden Maßnahmen mit Gehölzen setzen sich im Bereich der Weichholzaue aus verschiedenen autochthonen Weidenarten, wie Silber- (*Salix alba*), Korb- (*S. viminalis*), Purpur- (*S. purpurea*) und Fahl-Weide (*S. x rubens*) zusammen. Im Bereich der Hartholzaue wurden Arten wie Hartriegel (*Cornus sanguinea*), Pfaffenhütchen (*Euonymus europaeus*), Hasel (*Corylus avellana*), Weißdorn (*Crataegus monogyna*), Schneeball (*Viburnum opulus*), Esche

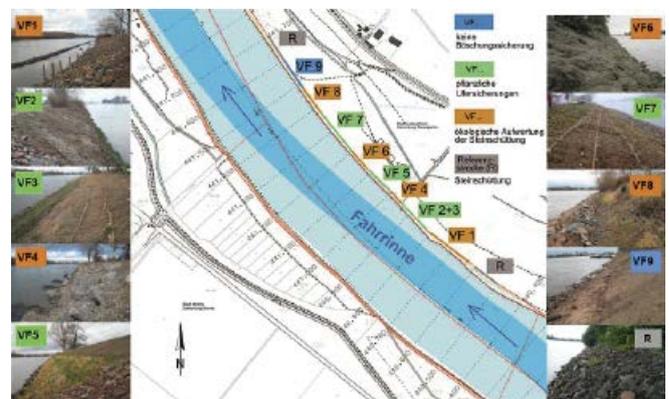


Abb. 1: Lageplan Rheinabschnitt mit Versuchsfeldern (VF), Fotos: Zustand nach Bauabschluss

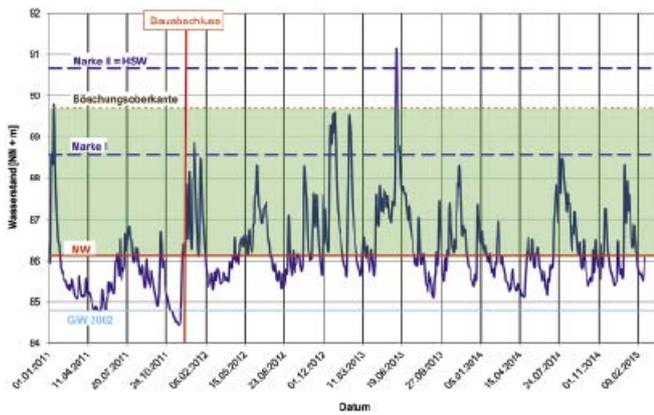


Abb. 2: Ganglinie am Pegel Worms von 2011 bis 2015 (MW – Mittelwasser, HSW – höchster schiffbarer Wasserstand)

(*Fraxinus excelsior*), Traubenkirsche (*Prunus padus*) und Feld-Ahorn (*Acer campestre*) verwendet.

Gebietsheimische und standorttypische Röhrichtarten, Hochstauden feuchter Standorte, Gräser und Kräuter fanden für die Anzucht der Röhrichtgabionen und Pflanzmatten Verwendung. Dabei wurden im unteren Böschungsbereich überwiegend Rohr-Glanzgras und verschiedene Großseggen (Schlank-, Sumpf- und Ufersegge – *Carex acuta*, *C. acutiformis*, *C. riparia*) unter Beimischung weiterer standorttypischer Arten gepflanzt. In höher gelegenen Bereichen kamen überwiegend Rohr-Schwingel (*Festuca arundinacea*) und Rohr-Glanzgras (*Phalaris arundinacea*) unter Beimischung der bereits genannten Seggen zum Einsatz. Ansaaten, die in den höher gelegenen Bereichen durchgeführt wurden, enthielten im Saatgut standorttypische Gräser und Kräuter.

### 3.3 Randbedingungen

Der betrachtete Abschnitt befindet sich am Innenufer einer leichten Rechtskurve. Die Wasserspiegelbreite bei Mittelwasser (MW) beträgt etwa 300 m. Mit mehr als 120 Güterschiffen pro Tag ist die Verkehrsbelastung sehr hoch. Der Abstand des rechten Fahrrinnenrandes vom Ufer erhöht sich von 23 m bei km 440,600 auf 140 m bei km 441,600, so dass die schiffsinduzierten Belastungen bei km 440,600 am größten sind und in Fließrichtung abnehmen. Eine besondere Belastung ist durch die großen Wasserspiegelschwankungen von über 6 m gegeben (Abbildung 2).

Vor Beginn der Baumaßnahme bestand der Uferschutz der 1:2 bis 1:3 geneigten Böschungen aus losen Wasserbausteinen der Klasse LMB<sub>5/40</sub> (Schichtdicke 60 – 90 cm). Unter der Steinschüttung wurde bis in ca. 60 cm Tiefe ein Konglomerat aus Boden und alten Wasserbausteinen gefunden. Unter einer 1,50 – 2,50 m mächtigen Auelehmschicht stehen überwiegend kiesige Sande an. Die Gesamtstandsicherheit der Uferböschung wurde im Vorfeld nachgewiesen. Die neuen Ufersicherungen wurden im Bereich zwischen MW und Böschungsoberkante (grüner Bereich in Abbildung 2) eingebaut, um die lokale Uferstandsicherheit zu gewährleisten.

### 3.4 Monitoring

Ziel des zunächst bis 2016 vorgesehenen Monitoringprogramms ist die Bewertung der neuen Maßnahmen hinsichtlich:

1. der technischen Wirksamkeit, d. h. der Gewährleistung der Uferstabilität unter den vorherrschenden hydraulischen Belastungen
2. der ökologischen Wirksamkeit u. a. vor dem Hintergrund der EG-WRRL
3. der Unterhaltungsaufwendungen (Pflege, Sanierung)

Aus technischer Sicht wird untersucht, inwieweit die neuen Ufersicherungen unter den hydraulischen Belastungen (Wellen, Absunk, Strömungsgeschwindigkeiten) die gleichen Anforderungen wie die klassischen Schüttsteindeckwerke erfüllen können: Schutz vor Oberflächenerosion, hydrodynamischer Bodenverlagerung und oberflächennahem Abgleiten der Böschung infolge Porenwasserüberdrücken im anstehenden Boden sowie Gewährleistung der Filterstabilität im Böschungsbereich [2, 5]. Hierzu werden Beobachtungen und Messkampagnen durchgeführt, in denen der Zustand der Maßnahmen, die Ufergeometrien und die hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt und Hochwasser sowie Porenwasserdrücke im Boden erfasst werden. Die Rheinwasserstände werden kontinuierlich am Pegel Worms aufgezeichnet.

Zur Bewertung der ökologischen Wirksamkeit werden die Entwicklung der Vegetation und ausgewählter repräsentativer Tiergruppen (Fische, Makrozoobenthos, Vögel, Reptilien, Laufkäfer, Spinnen) in definierten Zeitabständen untersucht. Dabei werden die eingebrachten Pflanzen auf ihre Vitalität und den Entwicklungsfortschritt begutachtet, Bestandserhebungen der Arten und Pflanzengesellschaften durchgeführt und die Besiedlungsdynamik in Abhängigkeit der Zonierung im Uferbereich dokumentiert. Jährlich werden die meteorologischen Daten, aufgezeichnet an der FH Worms, ausgewertet. Faunistische Untersuchungen beinhalten die Dokumentation der Artenzusammensetzung der einzelnen Tiergruppen und des Besiedlungspotenzials in Abhängigkeit der eingebrachten Strukturen [4]. Zu Vergleichszwecken und als Referenz wurde bereits der Ist-Zustand der Versuchsstrecke vor Baubeginn dokumentiert [3]. Weiterhin werden Untersuchungen zur Vegetation und Fauna in mit Wasserbausteinen gesicherten Referenzstrecken durchgeführt (Abbildung 1). Auch die erforderlichen Pflege- und Unterhaltungsmaßnahmen werden erfasst.

### 3.5 Ergebnisse

#### 3.5.1 Bewertung der Maßnahmen hinsichtlich Pflanzenentwicklung und Uferschutz

Die untersuchten neun Ufersicherungsmaßnahmen waren bisher drei Jahre verschiedenen hydraulischen Belastungen ausgesetzt. In dieser Zeit mussten die eingebrachten Pflanzen erst die für den Uferschutz notwendigen Wurzeln und Sprosse bilden. In Abhängigkeit der Rheinwasserstände wurden sie immer wieder durch Überstau, Auftrieb, Wellen, Absunk und Strömungen infolge Schifffahrt und Hochwasser belastet. Aus der Rhein-Ganglinie am Pegel Worms (Abbildung 2) ist ersichtlich, dass die Maßnahmen bereits unmittelbar nach Bauabschluss relativ hoch eingestaut wurden. 2012 und 2013 folgten mehrere, auch länger andauernde Hochwasser, z. B. ein sechswöchiger Einstau bis etwa MW + 1 m (2012) und ein etwa zehnwöchiger Einstau bis MW + 1,50 m (2013). Bei gleichzeitiger schiffsinduzierter Belastung erwiesen sich diese für die pflanzlichen Ufersicherungen als besonders kritisch. Auch die zwi-

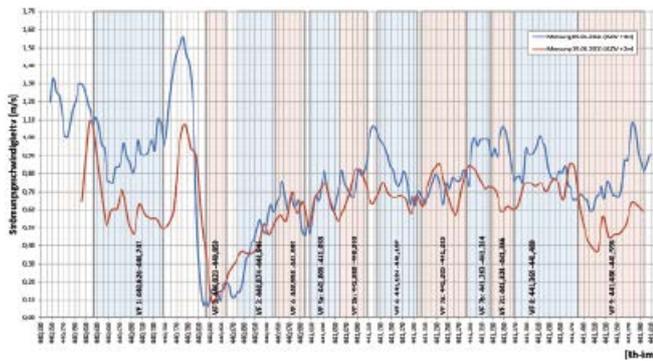


Abb. 3: Etwa im 5 m Uferabstand gemessene, über die Tiefe gemittelte Strömungsgeschwindigkeiten [6]

schenzeitlich aufgetretenen langen Trockenperioden mit Niedrigwasserständen und im ersten Jahr starker Frost ohne schützende Schneedecke beeinflussten die Entwicklung der neu eingebrachten Pflanzen.

Abbildung 3 zeigt als Beispiel die ufernah im Längsprofil etwa im 5 m Uferabstand (Abstand zum Schnittpunkt der Wasserlinie bei MW mit der Böschung, genaue Lage der Messpunkte siehe [6]) über die Tiefe gemittelten natürlichen Strömungsgeschwindigkeiten beim Hochwasser 2011 (Wasserstand: MW + 4 m) und 2012 (Wasserstand: MW + 2 m). Diese liegen in den einzelnen Versuchsfeldern im Mittel zwischen 0,6 bis 1,0 m/s. Eine Ausnahme bilden die vergleichsweise geringen Strömungsgeschwindigkeiten im VF 2 (0,1 bis 0,2 m/s) und VF 3 (0,2 bis 0,6 m/s), primär verursacht durch örtliche Unregelmäßigkeiten in der Ufergeometrie [6]. Als schiffsinduzierte Belastungen können theoretisch nach [5] bei Wasserständen von MW + 1 m bei km 440,92 maximale Heckwellenhöhen von 1,10 m und Geschwindigkeiten der Wiederauffüllungsströmung von 2,3 m/s, stromab bei km 441,55 hingegen nur noch von 30 cm bzw. 1,3 m/s auftreten. Messungen bei km 440,92 haben gezeigt, dass während Schiffsvorbeifahrten Porenwasserüberdrücke im Boden infolge Wasserspiegelsabsenk auftreten, die die Standsicherheit der Böschung beeinträchtigen können.

Die Weidenspreitlagen (VF 2 und 3) und Pflanzmatten auf Filtermatten (VF 7) sollen den Uferschutz ohne signifikantes Eigengewicht primär über Wurzeln und oberirdische Pflan-

zenteile gewährleisten. Das bedeutet, die Anfangsstabilität der Maßnahmen und des Ufers hängt entscheidend von den Befestigungen (Holzpflocke und Querriegel) ab. Aufgrund noch vorhandener Reste alter Steinschüttungen im Untergrund konnten die Holzpflocke oft nicht bis in die erforderliche Tiefe eingebracht werden, so dass sie bei Überstau durch Auftrieb und schiffsinduzierte Belastungen zum Teil gelockert oder herausgezogen wurden und mehrfach ersetzt werden mussten.

Im Bereich der Weidenspreitlagen (VF 2, 3) fanden in der kritischen Anfangszeit bei Überstau aufgrund des fehlenden Flächengewichts lokal Bodenverlagerungen unter den Astlagen statt. Diese konnten durch die fest an den Boden gepressten Querriegel begrenzt werden. Positiv hat sich dabei die Eigensteifigkeit der verlegten Weidenäste ausgewirkt. Nach geringfügigen Ausbesserungen setzte im Frühjahr 2012 das Wurzel- und Triebwachstum ein, so dass im Juli 2012 bereits übermannshohe und flächig entwickelte Weidentriebe ausgebildet waren (Abbildung 4). Durch eine Ende 2012 durchgeführte Wurzel ausgrabung am unterstromigen Ende von VF 3 konnte bereits nach einer Vegetationsperiode ein gut ausgebildetes Wurzelwerk mit hohem Anteil an Feinwurzeln und Einzelwurzellängen bis 60 cm nachgewiesen werden (Abbildung 5) [7]. Bisher stellt sich der mittlere Böschungsbereich (~MW + 1 m bis MW + 1,70 m) als der wuchskräftigste Bereich dar. Im unteren Böschungsbereich (~MW - 0,5 m bis MW + 1 m) wurden hingegen Vitalitätseinbußen und eine geringere Wuchskraft der Triebe beobachtet. Dies wird auf die hier am häufigsten und längsten aufgetretenen Überstauungen bei gleichzeitigen schiffsinduzierten Belastungen zurückgeführt [6, 8, 9]. Bis heute bilden die Spreitlagen einen stabilen Gehölzbestand, der den Uferschutz im gesamten Böschungsbereich gewährleistet.

Im Bereich der Pflanzmatten (VF 7) wirkten sich die Instabilität eines Teils der Befestigungen und die fehlende Eigensteifigkeit der Kokosträgermatten im häufig eingestauten unteren Böschungsbereich negativ auf die Stabilität der Maßnahme aus. Auftrieb bei gleichzeitiger Wellen- und Strömungslast führten bei Überstau u. a. zu Druckwechseln („Pumpeffekten“), die die sehr leichten Matten zwischen den Befestigungen immer wieder hoben und senkten und ein Anwachsen der Wurzeln langfristig unmöglich machten. Da-



Abb. 4: Weidenspreitlagen in VF 3 (Juli 2012)



Abb. 5: Wurzel ausgrabung in VF 3 (20.11.2012)



Abb. 6: Schadhafte Pflanzmatten nach langem Einstau im unteren Böschungsbereich 15.7.2013 (VF 7)



Abb. 7: Gut entwickelte Pflanzmatten im oberen Böschungsbereich (Oktober 2014)

durch traten hier bereits frühzeitig große Ausfälle bei den vorgezogenen Pflanzen auf (Abbildung 6). Bodenerosion unter den Pflanz- und Filtermatten wurde durch diese Prozesse zunehmend begünstigt, insbesondere in den Bereichen, in denen Schafwollvliese verlegt waren, die sich schneller als erwartet aufzulösen begannen. 2013 konnten die Pflanzmatten das Ufer im geschädigten Böschungsbereich unterhalb MW + 1,70 m nicht mehr ausreichend schützen, sodass eine Sanierung mit Wasserbausteinen erforderlich wurde.

Der darüber liegende, mit den gleichen Pflanzmatten gesicherte, aber wesentlich seltener eingestaute Böschungsbereich konnte sich dagegen nach anfänglich lokalen Ausbesserungen sehr gut entwickeln (Abbildung 7). Der Bereich weist nach dreijährigem Monitoringzeitraum einen stabilen, standorttypischen Bewuchs auf, der das Ufer ausreichend schützt. Arten aus den ursprünglichen Pflanzmatten mischen sich dort mit gebietsheimischen und standorttypischen Arten aus natürlicher Sukzession [8, 9]. In diesem VF konnten bereits erste Anwendungsgrenzen für Pflanzmatten auf Geotextilfilter an Wasserstraßen mit großen Wasserspiegelschwankungen ermittelt werden.

Die 30 cm dicken Röhrichtgabionen und Steinmatratzen (VF 5) hatten durch ihr Eigengewicht von Anfang an eine gute Lagestabilität auf der Böschung. Zusätzliche Befestigungen waren nicht erforderlich. Das Eigengewicht der Maßnahmen entspricht hier dem bei den vorherrschenden hydraulischen Belastungen rechnerisch erforderlichen Flächengewicht eines fiktiven Deckwerkes [10] aus losen Schüttsteinen. Dementsprechend gewährleisteten die Röhrichtgabionen und die Steinmatratzen den Uferschutz bisher im gesamten Böschungsbereich sehr gut. Die häufigen und langen Überstauzeiten im unteren Böschungsbereich haben sich jedoch langfristig negativ auf die Pflanzenentwicklung in den Röhrichtgabionen ausgewirkt. Während Vitalitätseinbußen der vorgezogenen Röhrichte 2012 noch durch sich erholende Pflanzen und die Neubildung von Trieben kompensiert werden konnten (Abbildung 8 [7]), führten der zehnwöchige Einstau bis MW + 1,50 m (Abbildung 2) und die sich unmittelbar anschließende Trockenperiode 2013 zu großen Bewuchsausfällen auf ca. 70 % der Gabionenfläche (Abbildung 9). Insbesondere das mit hohen Anteilen gepflanzte Rohr-Glanzgras und die ergänzenden

Beierarten fielen aus. Die Seggen im unteren und der Rohrschwengel im oberen Gabionenbereich zeigten dagegen bisher eine hohe Stresstoleranz gegenüber den genannten Belastungen [8, 9].

Der Ausfall der Pflanzen begünstigte Schäden an den Gabionen selbst. Die lokal freiliegende Kokosummantelung wurde durch die hydraulischen Belastungen örtlich zerstört, so dass innenliegender Boden ausgespült werden konnte (Abbildung 9). Der Uferschutz ist dadurch bisher jedoch nicht gefährdet.

Pflanzmatten, die teilweise in einem unteren Teilbereich des VF 5 (bis MW + 1,70 m) zur schnellen Begrünung der Steinmatratzen punktuell und linear auf diesen befestigt wurden, mussten 2013 wieder entfernt werden. Ähnlich wie im VF 7 konnten sich auch hier die auf den Kokosträgermatten vorgezogenen Pflanzen durch „Pumpeffekte“ bei Überstau nicht, wie gewünscht, entwickeln und Wurzeln bilden. Der Uferschutz ist weiter durch die Steinmatratzen gewährleistet.

Im Bereich des ungesicherten Ufers (VF 9) zeigt die dreijährige Beobachtung, dass das Ufer ohne Schutzmaßnahmen nicht standsicher ist. Anhand der Abbildung 10 (Ausgangszustand 2011) und Abbildung 11 ist zu erkennen, dass die hydraulischen Belastungen erwartungsgemäß zu zunehmenden Erosionen führen, die dokumentiert werden. Durch den Abtransport der feineren Kornfraktionen wurden die Reste alter Wasserbausteine aus dem Untergrund freigelegt. Entstanden ist eine flachere Böschung, die sich positiv auf die pflanzliche Besiedlung auswirkt. Es kommen dort überwiegend Arten vor, die die Dynamik des Uferbereichs anzeigen. An der Böschungsoberkante sind lokal senkrechte Abbruchkanten entstanden. Der angrenzende Betriebsweg soll langfristig durch dreireihig auf der Planie gepflanzte Weidensetzstangen geschützt werden.

In den VF 1, 4, 6 und 8 gewährleisteten die Steinschüttung bzw. altes Pflaster nach wie vor den Uferschutz. Die zur ökologischen Aufwertung im VF 1 eingebrachten Gehölze haben sich im Monitoringzeitraum gut und vital entwickelt. Im Bereich des Oberboden-Alginatversuchs mit kombinierter Nassansaat (VF 6) wurden bei Hochwasserständen große Mengen an Alginat und Saatgut wieder ausgespült. Lediglich im Bereich der nur selten eingestauten Böschungsschulter konnte sich Alginat



Abb. 8: Hohes Regenerationspotenzial der Pflanzen im Oktober 2012



Abb. 9: In großen Teilen ausgefallener Bewuchs im unteren Bösungsbereich, September 2014

halten und die Saat zur Keimung gelangen. In VF 4 wurde die pflanzliche Besiedlung aufgrund des eingebrachten Sand-Kiesgemischs bereichsweise gefördert. Im VF 8 konnten sich die bereits vorhandenen Röhrichte im Schutze des erhöhten Steinwalls weiter ausbreiten.

### 3.5.2 Bewertung der Maßnahmen hinsichtlich faunistischer Besiedlung

Die Erhebungen der Fauna sind vom Wasserstand des Rheins abhängig. Dabei sind für die erfolgreiche Erfassung der terrestrischen Tiergruppen (Laufkäfer, Spinnen, Vögel, Reptilien) Wasserstände von MW bzw. < MW und für die aquatischen Tiergruppen (Makrozoobenthos und Fische) Wasserstände von 0 bis 0,4 m über MW erforderlich. Aufgrund der 2012 und 2013 mehrfach und langanhaltend aufgetretenen hohen Wasserstände (Abbildung 2) verschob sich die erste Kartierung der terrestrischen Fauna auf das Jahr 2014, mit Ausnahme der Laufkäfer und Spinnen. Letztere wurden im Herbst 2013 erstmals erfasst. Das Fischmonitoring begann bereits im Frühsommer 2012 und wurde 2013 und 2014 fortgesetzt. Untersuchungen zum Makrozoobenthos erfolgten ab Juli 2013 [11]. Folgende Ergebnisse lassen sich bisher anhand der Untersuchungen ableiten:

#### Vögel

Auf der gesamten Versuchsstrecke wurden 55 Vogelarten registriert. Davon besuchten 43 Arten unmittelbar die Uferbereiche der VF. 19 Arten wurden nur in der anschließenden Aue oder in einiger Entfernung, z. B. während des Durchzugs, nachgewiesen. Der überwiegende Anteil der Arten nutzte die jeweiligen Uferabschnitte als Nahrungs- und Rastraum. Die höchste Stetigkeit zeigte der Kormoran (*Phalacrocorax carbo*), der exponierte Sitzwarten auf Blocksteinen zum Trocknen der Flügel nutzt. Für ihn konnte eine Präferenz für das VF 1 festgestellt werden. Der bei Mittel- und Niedrigwasser frei liegende, vorgelagerte Steinwall bietet Sitzwarten, die den Tieren während Ruhe- und Flügel-Trocknungszeiten durch die dazwischen liegende Ruhigwasserzone Schutz gegenüber landseitigen Störungen bieten. Auch Graureiher (*Ardea cinerea*) wurden in den VF 1, 2 und 3 mit erhöhter Präsenz beobachtet. Das könnte mit

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

#### Reptilien

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

#### Laufkäfer und Spinnen

In den Fangperioden September-Oktober 2013 und März-Juni 2014 wurden Laufkäfer und Spinnen mit sog. Barberfallen, ergänzt durch Handfang, erfasst. Insgesamt wurden im Ver-



Abb. 10: VF 9 nach Rückbau der Steinschüttung 2011

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

**Makrozoobenthos**

Alle VF und die Referenzstrecke wurden im Hinblick auf das Makrozoobenthos nicht, wie sonst üblich, per Greifer-Entnahmetechnik vom Schiff aus beprobt, sondern vom Ufer aus mit Kicksampling und Absammlung von Steinen und anderen besiedelbaren Strukturen. 2013 konnten neben 20 Wenigborster-Taxa elf Kleinkrebs- und zehn Köcherfliegen-Taxa gefunden werden. Als einzige Vertreterin der Eintagsfliegen wurde die rheintypische Augustfliege (*Ephoron virgo*) nachgewiesen. Steinfliegen wurden keine gefunden. Unter den Kleinkrebsen finden sich keine einheimischen Arten. Der neozoe Höckerflohkrebs (*Dikerogammarus villosus*) dominiert die Kleinkrebsfauna. Auch die ebenfalls neozoe Donauassel (*Jaera istri*) war deutlich vertreten.

**Fische**

Die Fischzönosen im aquatischen Bereich der VF wurden mittels Elektrofischung erfasst. Vor der Referenzstrecke mit Steinschüttung als Ufersicherung wurden besonders häufig die massenhaft eingewanderten neozoen Grundelarten (Kesslergrundel, Marmorierter Grundel, Schwarzmaulgrundel – *Neogobius kessleri*, *Proterorhinus semilunaris*, *N. melanostomus*) gefangen, die im Vergleich zu den heimischen Fischarten von der klassischen Steinschüttung profitieren. Mitteleuropäische Leitarten waren hier unterrepräsentiert. Im Gegensatz dazu wurden sowohl am VF 1 (fischrelevante Strukturen: vorgelagerter



Abb. 11: Zustand am 15.7.2013

Steinwall mit Ruhigwasserzone; Totholzstämmen mit Wurzelteilern) als auch am VF 4 (fischrelevante Strukturen: Steinschüttung mit Kiesfüllung und Totholzfashchinenbündel) besonders viele Vertreter der mitteleuropäischen Fischfauna, insbesondere Flussbarsche (*Perca fluviatilis*) und Rotaugen (*Rutilus rutilus*), gefangen. Der Anteil gefangener Grundeln ging hier vergleichsweise zurück. Es lässt sich somit ein erster Trend dahingehend ableiten, dass bei entsprechenden Wasserständen auch schon geringe (kleinräumige) Strukturen eine Wirksamkeit auf die Fischbesiedlung haben [7].

**3.5.3 Ökologische Bewertung der Maßnahmen**

Im Ergebnis der vegetationskundlichen Kartierung des Uferbereichs vor Bau der Maßnahme und der als Referenz einbezogenen ebenfalls konventionell mit losen Wasserbausteinen gesi-

**Anzeige**

**Unser Expertentipp**



**DWA-M 519 (Entwurf)**  
**Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Binnengewässern**  
 Oktober 2014  
 154 Seiten, DIN A4  
 ISBN 978-3-88721-209-4  
 116,50 €/**93,20 €\***



**DWA-M 619**  
**Ökologische Baubegleitung bei Gewässerunterhaltung und -ausbau**  
 Juni 2015  
 DIN A4, 62 Seiten  
 ISBN 978-3-88721-226-1  
 80,00 €/**64,00 €\***

\* für fördernde DWA-Mitglieder  
 \*\* für DWA-Mitglieder



Abb. 12: Vergleich der VF 4 und 9 hinsichtlich der Entwicklung der Artenzahlen über die Jahre 2012/13/14 mit den Referenzflächen

cherten Uferböschungen (R in Abbildung 1) wurden nur wenige Pflanzenarten mit geringer Wertigkeit ermittelt, die zudem nur vereinzelt und mit geringer Deckung auftraten [3, 7, 8, 9].

Mit den technisch-biologischen Ufersicherungen und strukturverbessernden Maßnahmen konnte der Artenreichtum in allen VF bereits jetzt deutlich erhöht werden. Die Weiden und die gepflanzten Gehölze der Hartholzaue bereichern die Uferabschnitte (VF 1, 2, 3, 5, 9) um standorttypische Gehölze, die gleichfalls einen erhöhten Strukturreichtum mit Lebensraumfunktion bieten. Bei höheren Wasserständen sammelt sich zudem das mit dem Fluss mitgeführte Totholz zwischen dem dichten Astwerk, so dass weitere Strukturen im Uferbereich geschaffen werden. In dem mit gebietsheimischen und standorttypischen Röhrlichten, Hochstauden feuchter Standorte, Gräsern und Kräutern angelegten VF 7 konnte zumindest im oberen, seltener eingestauten Böschungsbereich eine hohe Artenvielfalt geschaffen werden [7, 8, 9].

Böschungsbereiche, deren Standortpotenzial für das Pflanzenwachstum durch z. B. den Rückbau der Steinschüttung (VF 9), die Aufschüttung eines Sand-Kiesgemischs (VF 4) oder den Ersatz der Steinschüttung durch dünnere Steinmatratzen (VF 5) aufgewertet wurde, zeigten über die drei Jahre eine erhöhte Besiedlungszahl und Artenvielfalt im Vergleich zur Referenz (Abbildung 12). Insbesondere im Bereich der Steinmatratzen ohne Pflanzmatten im oberen Böschungsbereich konnte sich durch natürliche Sukzession ein dichter Bewuchs aus krautigen Arten entwickeln [7, 8, 9].

Ein positiver ökologischer Effekt konnte zudem durch die bei niedrigen Wasserständen erreichte Abschirmung der Wellen- und Strömungsbelastung durch die dem Ufer vorgelagerten Steinwälle (VF 1 und 8) erzielt werden. Innerhalb des Monitoringzeitraums lagerte sich in den geschützten Uferbereichen eine dünne Schlammschicht auf den Wasserbausteinen ab, die Boden- und Nährsubstrat für die pflanzliche Besiedlung stellt. Erste Röhrlicht- und Wasserpflanzenindividuen wurden dort erfasst. Diese und die bereits genannten Wuchsformationen mit standorttypischen Arten – ergänzt um standorttypische Arten aus natürlicher Sukzession – entwickeln sich in der Versuchsstrecke als Initiale einer gewässertypischen Uferzonierung [7, 8, 9].

Die krautigen Pflanzen und Gehölze mit hohem, niedrigem oder horstigem Wuchs, mit frischen und periodisch absterbenden Pflanzenteilen und ihren weitreichenden Wurzeln und Trieben erhöhen zudem den Strukturreichtum und die Struk-

turgüte – Standortqualitäten, die die gesetzlich geforderte Lebensraum- und Habitatvielfalt stärken.

Neophyten stellten im Monitoringzeitraum keine Problematik dar. Bisher wurden nur einzelne Individuen mit Wurzel entfernt [7, 8, 9]. Weitere Pflegemaßnahmen beinhalteten bisher eine zweimalige Mahd der intakten Pflanzmatten im oberen Böschungsbereich und das einmalige Freischneiden der auf der Böschungskrone gepflanzten Weidensetzstangen. Ein selektiver Rückschnitt der Weiden erfolgte unter Berücksichtigung des Hochwasserschutzes im Februar 2015.

Bei den Röhrlichtgabionen (VF 5) muss aus ökologischer Sicht konstatiert werden, dass die anfängliche Artenvielfalt der vorkultivierten Pflanzelemente im dreijährigen Monitoringzeitraum aufgrund langer Einstauzeiten stark zurückgegangen ist. Im Rahmen des Naturversuches wird die Entwicklung weiter beobachtet [8, 9].

Im Hinblick auf die Vögel scheinen die Strukturen der VF 1, 8 und 9 am besten geeignet zu sein, um eine möglichst hohe Artenvielfalt zu unterstützen. Weniger günstig für die Vogelwelt zeigten sich die VF 2 und 3, da dort die Artenvielfalt am geringsten war. Vor dem Hintergrund der massiven Überformung der mitteleuropäischen Lebensgemeinschaften aquatischer Organismen durch neozoe Arten zeichnet sich derzeit in einem ersten Trend ab, dass von der Steinschüttung abweichende Strukturen, wie Totholz-, Sand-, Kiesbereiche und beruhigte Wasserzonen (VF 1, 4), dazu beitragen können, dass vermehrt wieder heimische Fischarten an diesen Strukturen auftreten, während der Anteil neozoe Arten dort vergleichsweise zurückgeht. Dies ist ein positiv hervorzuhebender Effekt, der künftig die Möglichkeit eröffnen könnte, durch entsprechende alternative Ufersicherungen der massenhaften und ökologisch negativen Verbreitung von neozoen Arten entgegenzuwirken.

#### 4 Fazit und Ausblick

Die in der Versuchsstrecke am Rhein 2011 zwischen Mittelwasser und Geländeoberkante geschaffenen neuen Ufersicherungs- und strukturverbessernden Maßnahmen wurden bisher drei Jahre im Rahmen eines intensiven Monitorings beobachtet. Neben den schiffsinduzierten Belastungen wirkten sich am freifließenden Rhein besonders die großen Wasserspiegelschwankungen und zum Teil langen Einstauzeiten auf die Stabilität der Maßnahmen aus.

Aufgrund der bisherigen Ergebnisse lässt sich aus technischer Sicht feststellen, dass alle getesteten Maßnahmen prinzipiell anwendbar sind, allerdings ist der Anwendungsbereich auf der Böschung für einige Maßnahmen in Abhängigkeit der Überstauzeiten und -höhen einzuschränken. Hinsichtlich der Pflanzenentwicklung und der Stabilität spielen das Flächengewicht der Maßnahmen, die Art und Weise der Befestigungen sowie die Überstauungstoleranz der eingebauten Pflanzen eine wichtige Rolle. Neben den Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung der Steinschüttungen konnten die Steinmatratzen und Weidenspreitlagen die vorhandenen Belastungen im gesamten Böschungsbereich gut aufnehmen und den Uferschutz gewährleisten. Auch die Röhrlichtgabionen bilden bisher einen guten Uferschutz, auch wenn im unteren Böschungsbereich bestimmte Pflanzenarten durch lange Überstauzeiten ausgefallen sind. Die leichten, punktuell und linear befestigten Pflanzmatten konnten nur im oberen

wenig eingestauten Böschungsbereich das Ufer erfolgreich sichern, im unteren Böschungsbereich musste die Uferstandssicherheit bereits durch eine Steinschüttung wieder hergestellt werden. Insgesamt konnten erste Anwendungsgrenzen und Schwachpunkte einzelner Maßnahmen aufgezeigt sowie wichtige Erkenntnisse über die Überstauungstoleranz verschiedener Pflanzenarten gewonnen werden.

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

Alle bisherigen Erkenntnisse, abrufbar unter <http://ufersicherung.baw.de/de/index.html>, sind weitestgehend bereits in das DWA-Merkblatt M-519 „Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Gewässern“ [10] eingeflossen, das voraussichtlich Anfang 2016 erscheinen wird. Die Monitoringuntersuchungen im Rahmen des Naturversuchs werden in gleicher Weise zunächst bis 2016, in modifizierter Weise auch danach weitergeführt werden. Fundierte Aussagen sind erst nach mehreren Vegetationsperioden möglich. Die Ergebnisse, die in einem Abschlussbericht dokumentiert werden, und die Ergebnissen der parallel durchgeführten Labor- und Modellversuche werden die Grundlage bilden für Anwendungsempfehlungen und Bemessungsgrundlagen für die Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV). Damit werden immer bessere Voraussetzungen für eine erfolgreiche Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen als ökologisch verträglichere Alternative zum rein technischen Uferschutz an Wasserstraßen geschaffen, was gleichfalls die Handlungsoptionen der WSV mit Blick auf die gesetzlich vorgegebene aktive Erreichung ökologischer Ziele an Bundeswasserstraßen erweitert.

**Literatur**

[1] Fleischer, Petra: *Standssicherheit und Bemessung technisch-biologischer Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen – Wo stehen wir 2014*; Bundesanstalt für Wasserbau, BAW-Brief Nr. 02/2014

[2] Eisenmann, J.; Fleischer, P.: *Möglichkeiten und Grenzen pflanzlicher Ufersicherungen an Wasserstraßen*, Bundesanstalt für Wasserbau, BAW-Mitteilungen Nr. 95, Juli 2012

[3] Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde: *Errichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – Empfehlungen für die Ausführung der Ufersicherungen*, Karlsruhe/Koblenz, Mai 2010, abrufbar unter <http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/berichte/index.html>

[4] 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*, Karlsruhe/Koblenz, Januar 2012, abrufbar unter <http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/berichte/index.html>

[5] Bundesanstalt für Wasserbau: *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](http://www.baw.de/de/die_baw/publikationen/merkblaetter/index.php.html)

[6] Bundesanstalt für Wasserbau: *Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein-km 440,6 bis 441,6, rechtes Ufer – Teilbericht Standssicherheit und Unterhaltung. Monitoringergebnisse 11/2012-10/2013*, Karlsruhe, 2015, abrufbar unter <http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/berichte/index.html>

[7] 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*, Karlsruhe/Koblenz, Juni 2013, abrufbar unter <http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/berichte/index.html>

[8] Bundesanstalt für Wasserbau, Bundesanstalt für Gewässerkunde: *Einrichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – Dritter Zwischenbericht: Monitoringergebnisse 2013*, Karlsruhe/Koblenz, August 2014, abrufbar unter <http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/berichte/index.html>

[9] Bundesanstalt für Gewässerkunde: *Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein-km 440,6 bis 441,6, rechtes Ufer – Teilbericht Vegetation. Monitoringergebnisse 11/2012-10/2013*, Koblenz, 2014, abrufbar unter <http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/berichte/index.html>

[10] Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.: „*Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Gewässern*“, DWA-Merkblatt M519, Gelbdruck 2014

[11] Bundesanstalt für Gewässerkunde: *Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein-km 440,6 bis 441,6, rechtes Ufer – Teilbericht Fauna. Monitoringergebnisse 11/2012-10/2013*, Koblenz, 2014, (in Kürze) abrufbar unter <http://ufersicherung.baw.de/de/publikationen/berichte/index.html>

**Autoren**

Dipl.-Biogeogr. Katja Behrendt  
 Bundesanstalt für Gewässerkunde  
 Referat Vegetationskunde und Landschaftspflege  
 Am Mainzer Tor 1  
 56068 Koblenz

E-Mail: [katja.behrendt@bafg.de](mailto:katja.behrendt@bafg.de)

Dipl.-Ing. Petra Fleischer  
 Bundesanstalt für Wasserbau  
 Referat Erdbau und Uferschutz  
 Kussmaulstraße 17  
 76187 Karlsruhe

E-Mail: [petra.fleischer@baw.de](mailto:petra.fleischer@baw.de)

Prof. Dr. Jochen Koop  
 Bundesanstalt für Gewässerkunde  
 Referat Tierökologie  
 Am Mainzer Tor 1  
 56068 Koblenz

E-Mail: [koop@bafg.de](mailto:koop@bafg.de)

