WASSER- UND
SCHIFFFAHRTSAMT
Mannheim

BUNDESANSTALT
FÜR GEWÄSSERKUNDE
Koblenz

BUNDESANSTALT
FÜR WASSERBAU
Karlsruhe

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

Erster Zwischenbericht
Randbedingungen, Einbaudokumentation, Monitoring
25.01.2012

Zusammenfassung

Am rechten Ufer des Rheins wird gegenwärtig von km 440,600 bis km 441,600 in der Nähe von Worms ein Naturversuch durchgeführt, um verschiedene technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen unter Wasserstraßenbedingungen zu testen. Mit Erlass des BMVBS WS 11/52.05.04 vom 07.04.2009 wurde dem Projekt grundsätzlich zugestimmt. Die vom WSA Mannheim aufgestellte Konzeption wurde am 6.10.2010 vom BMVBS genehmigt. Das Gutachten der BAW und BfG „Errichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer - Empfehlungen für die Ausführung der Ufersicherungen“ vom 7.5.2010 [1], das bereits sehr ausführlich die vorgeschlagenen unterschiedlichen Ufersicherungsbauweisen beschreibt und die Randbedingungen in diesem Rheinabschnitt dokumentiert, bildete die Grundlage für die weiteren Planungen. Der Naturversuch ist seitens der BAW und BfG eingebunden in das seit 2004 laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Untersuchungen zu alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen.“ Mit dem Bau der Versuchsstrecke an einem Rheinabschnitt, an dem täglich ca. 120 Schiffe verkehren, sollen erstmalig Erfahrungen an einer hoch frequentierten Wasserstraße gesammelt werden.

Mit den weiteren Detailplanungen und der Durchführung der Bauüberwachung wurde die Planungsgemeinschaft Geitz & Partner GbR und Stowasserplan im November 2010 beauftragt. Der vom WSA Mannheim vorgelegte Entwurf AU Nr. 2003 wurde von der WSD Südwest im Mai 2011 genehmigt. Im August 2011 konnte die Arbeitsgemeinschaft der Firmen Rudolph Garten- und Landschaftsbau GmbH und Grünbau GmbH und Co. KG mit dem Bau der Versuchsstrecke beauftragt werden. Mitte Dezember 2011 wurden die Arbeiten vor Ort abgeschlossen.

Der vorliegende Zwischenbericht dokumentiert im Einzelnen die eingebauten Ufersicherungsmaßnahmen nach Bauabschluss. Dabei werden die technische Wirksamkeit hinsichtlich Uferschutz und die ökologische Zielstellung für jede Bauweise erläutert. Eine Fotodokumentation und erste Einbauerfahrungen ergänzen die Ausführungen. Zusätzlich werden die Randbedingungen des Rheinabschnittes und sehr detailliert die zunächst von 2012 bis 2016 vorgesehenen Monitoringmaßnahmen beschrieben.

Die 1 km lange Versuchsstrecke wurde in neun verschiedene Versuchsfelder gegliedert. In fünf Abschnitten wurde die vorhandene Steinschüttung entfernt und durch neue technisch - biologische Maßnahmen ersetzt, in einem Abschnitt blieb das Ufer weitestgehend ungesichert. In vier Abschnitten erfolgten ökologische Aufwertungen der weiterhin mit Wasserbausteinen gesicherten Böschung. Bei der Wahl und Anordnung der alternativen Bauweisen wurden die hydraulischen Belastungen am Ufer infolge der Schifffahrt berücksichtigt. Diese nehmen aufgrund der unterschiedlichen Uferabstände der Fahrrinne (23 m bei km 440,600 und ca. 140 m bei km 441,600) in Fließrichtung ab. Weiterhin mussten die stark schwanken-

den Wasserstände am frei fließenden Fluss (6 m Unterschied zwischen GlW und HSW) berücksichtigt werden.

Die Beauftragung der Fa. Ökon zum Vorziehen der benötigten Pflanzmatten erfolgte zehn Monate vor Baubeginn. Alle Bauarbeiten im Bereich der Versuchsstrecke fanden vom Land aus statt. Bei den lebenden Bauweisen nimmt die Uferstabilität mit dem Pflanzen- und Wurzelwachstum zu, im Anfangszustand muss die Uferstabilität durch eine ausreichende Befestigung gewährleistet werden. Aufgrund der günstigen niedrigen Wasserstände konnte die Baumaßnahme ohne Unterbrechungen in rund 3,5 Monaten abgeschlossen werden. Die Baufirma ist für die Fertigstellungspflege (z.B. notwendige Bewässerungsgänge) bis in die kommende Vegetationsperiode (März – Oktober 2012) verantwortlich.

Für die Auswertung und spätere Übertragung der Ergebnisse auf andere Wasserstraßen ist ein umfangreiches Monitoring vorgesehen. Ziel ist eine Bewertung der untersuchten technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen hinsichtlich

- der technischen Wirksamkeit zur Gewährleistung der Uferstabilität,
- der ökologischen Wirksamkeit und
- des erforderlichen Unterhaltungsaufwandes.

Im Einzelnen wird Folgendes untersucht und dokumentiert: Uferstabilität, hydraulische Uferbelastungen, Klimaeinflüsse, Vegetation, Fauna, Unterhaltungsmaßnahmen, erforderliche Schäden bzw. Instandsetzungsmaßnahmen. Das Monitoring ist zunächst sehr intensiv bis 2016 geplant, danach ist aufgrund der dann vorliegenden Erkenntnisse über Inhalt und Intervalle der weiteren Überwachung der Versuchsstrecke zu entscheiden.

Der nächste Zwischenbericht wird erste Ergebnisse des Monitorings, insbesondere erste Erfahrungen zum Anwachsen der pflanzlichen Bauweisen, beinhalten. Voraussetzung ist die Begutachtung im Rahmen der kommenden Vegetationsphase bis zum Herbst 2012. Zusätzlich werden die Baukosten für die einzelnen Versuchsfelder dokumentiert und bewertet. Dies ist erst möglich nach Abschluss der Fertigstellungspflege im Oktober 2012. Aus diesen Gründen ist die Vorlage des nächsten Berichtes Anfang 2013 vorgesehen.

Zur Übersicht werden im Folgenden alle neun Versuchsfelder kurz im Rahmen der Zusammenfassung vorgestellt.

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

Ufersicherung:

Steinschüttung bleibt erhalten
Ökologische Aufwertung durch:
- Weidensetzstangen
- Lebendfaschinen (verschiedene Weidenarten)
- Heckenlagen (standortheimische Gehölze)
- Buschlagen (verschiedene Weidenarten)
- Steinwall
- Totholzstämme mit Wurzelteller

Ökologisches Ziel:

- Initiierung einer standortgerechten Gehölzvegetation
- Schaffung eines geschützten Uferbereichs mit Flachwasserzone
- Erhöhung der Strukturvielfalt
- Förderung der Fauna und Flora

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

Ufersicherung:

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

Ökologisches Ziel:

- Initiierung eines standortgerechten Gehölzbestandes
- Unterdrückung des Aufkommens von Neophyten
- Erhöhung der Strukturvielfalt
- Förderung der Fauna und Flora

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

Ufersicherung:

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

Ökologisches Ziel:

- Initiierung eines standortgerechten Gehölzbestandes
- Unterdrückung des Aufkommens von Neophyten
- Erhöhung der Strukturvielfalt
- Förderung der Fauna und Flora

Versuchsfeld 4: Steinschüttung mit Kiesfüllung, Einzelsteingruppen, Totholzfaschinenbündel (Rhein-Km 440,950 bis 441,000)

Ufersicherung:

Steinschüttung bleibt erhalten
Ökologische Aufwertung durch Material- und Strukturanreicherung:

- Kieseinbau
- Einzelsteingruppen
- ins Wasser reichende Totholzfaschinen

Ökologisches Ziel:

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

Versuchsfeld 5: Entfernung der Steinschüttung, Einbau von Röhrichtgabionen, Steinmatratzen, Pflanzmatten und Heckenlagen (Rhein-Km 441,000 bis 441,110)

Ufersicherung:

Entfernung der Steinschüttung
VF 5a: Röhrichtgabionen mit unterschiedlicher Artenzusammensetzung im unteren Böschungsbereich (Bb), übererdete Steinmatratzen im oberen Bb
VF 5b: Steinmatratzen, untere Böschungshälfte mit Pflanzmatten, obere Böschungshälfte übererdet, Heckenlage an BOK
alle Maßnahmen auf mineralischem Kornfilter

Ökologisches Ziel:

- Initiierung einer standortgerechten Ufervegetation (Röhrichte, Gräser im Weich- und Hartholzauenbereich, Gehölze im Hartholzauenbereich)
- Aufwertung von Standortbedingungen zur Förderung einer natürlichen Sukzession
- Schaffung von Lebensraumstrukturen

Versuchsfeld 6: Steinschüttung mit Oberboden-Alginatgemisch-Füllung, Nassansaat, Einzelpflanzen (Rhein-Km 441,125 bis 441,200)

Ufersicherung:

Steinschüttung bleibt erhalten
Ökologische Aufwertung durch:

- Einpumpen einer Oberboden-Alginatmischung in die Hohlräume der Steinschüttung
- Nassansaat (standortheimische Gräser)
- Lokale Röhrichtballenpflanzung in Steinschüttung bei AZW

Ökologisches Ziel:

- Initiierung einer standortgerechten Ufervegetation (Röhrichte, Gräser)
- Aufwertung von Standortbedingungen zur Förderung einer natürlichen Sukzession
- Förderung der Fauna und Flora

Versuchsfeld 7: Entfernung der Steinschüttung, Einbau verschiedener Filtermatten (Schafwollvlies, Geotextil, Kokos) und Pflanzmatten, Totholzfaschinen, Vegetationswalzen, Nassansaat (Rhein-Km 441,200 bis 441,375)

Ufersicherung:

Entfernung der Steinschüttung
VF 7a: (Schilf-)Röhrichtmatten im unteren und mittleren Böschungsbereich auf Schafwollvlies (7a1) bzw. Geotextil (7a2), Totholzfaschinen im mittleren Böschungsbereich, Nassansaat abgedeckt mit Kokosgewebe im oberen Böschungsbereich
VF7b und 7c: Vegetationswalzen bei AZW (Ummantelung aus Kokosgewebe (VF 7b) bzw. Schafwollvlies (VF 7c), Pflanzmatten bei AZW +0,5 m bis BOK im unteren Böschungsbereich auf Geotextil (VF 7b) bzw. Schafwollvlies (VF 7c), im oberen Bereich auf Kokosmatte (VF 7b und c)

Ökologisches Ziel:

- Initiierung einer standortgerechten Ufervegetation (Röhrichte, Gräser)
- Aufwertung von Standortbedingungen zur Förderung einer natürlichen Sukzession
- Schaffung von Lebensraumstrukturen
- Förderung der Fauna und Flora

Versuchsfeld 8: Steinschüttung und Pflaster mit Röhrichtbewuchs, Erhöhung des vorhandenen Steinwalls (Rhein-Km 441,375 bis 441,475)

Ufersicherung:

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

Ökologisches Ziel:

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

Versuchsfeld 9: Entfernung der Steinschüttung, Zulassen freier Erosion und Sukzession, Ausfachungsbuhne, Setzstangen (Rhein-Km 441,475 bis 441,600)

Ufersicherung:

Entfernung der Steinschüttung, keine neue konstruktive Sicherung, Weidensetzstangen im Bereich der Böschungsschulter zum Schutz des Betriebsweges, Ausfachungsbuhne als Übergang zum sich an die Versuchsstrecke anschließenden Uferbereich

Ökologisches Ziel:

- Begrenztes Zulassen von Eigendynamik
- Förderung der freien Sukzession
- Förderung der (Boden-)Fauna
- Erhöhung der Strukturvielfalt
- Initiierung eines Gehölzbewuchses auf der Böschungsschulter

Inhaltsverzeichnis

1. Veranlassung

2. Randbedingungen

3. Einbaudokumentation

3.1 Grundsätzliche Festlegungen

3.2 Technisch-biologische Ufersicherungen im Einzelnen

3.2.1 Versuchsfeld 1: Steinschüttung mit Weidensetzstangen, Lebendfaschinen, Buschlagen, Heckenlagen, Steinwall mit Flachwasserzone, Totholzstämme mit Wurzeltellern (Rhein-Km 440,630 bis 440,800 – 170 m VF-Länge)

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

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

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

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

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

3.2.7 Versuchsfeld 7: Entfernung der Steinschüttung, Einbau verschiedener Filtermatten (Schafwollvlies, Kokosmatte, Geotextil) und Pflanzmatten, Totholzfaschinen, Vegetationswalzen, Nassansaat (Rhein-Km 441,200-441,375 – 175 m VF-Länge)

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

3.2.9 Versuchsfeld 9: Entfernung der Steinschüttung, Zulassen freier Erosion und Sukzession, Ausfachungsbuhne, Setzstangen (Rhein-Km 441,475 bis 441,600 – 125 m VF-Länge)

4. Monitoringkonzept

4.1 Grundsätzliches

4.2 Uferstabilität

4.3 Hydraulische Belastungen infolge Schifffahrt

4.4 Gewässerhydraulik

4.5 Klimadaten

4.6 Vegetation

4.7 Fauna
4.8 Pflegemaßnahmen
4.9 Schäden/ Sanierungsmaßnahmen
4.10 Auswertung und Beurteilung der Monitoringergebnisse

5. Ausblick

Literatur

Verwendete Abkürzungen

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Übersicht Randbedingungen Versuchsstrecke (aus Gutachten BAW/ BfG [1])
Anlage 2: Übersicht Monitoringmaßnahmen 2012 bis 2016
Anlage 3: Anordnung der Porenwasserdruckgeber im Versuchsfeld 3
Anlage 4: Anordnung der Druckmessdosen und Geschwindigkeitssonden bei Messungen zur hydraulischen Uferbelastung infolge Schifffahrt

1. Veranlassung

Im Landschaftsschutzgebiet „Hessische Rheinuferlandschaft“ wird gegenwärtig in der Nähe von Worms am Rhein von km 440,600 bis km 441,600 ein Naturversuch durchgeführt, um verschiedene technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen unter Wasserstraßenbedingungen zu testen. Dabei werden auf der Gemarkung Lampertheim am rechten Rheinufer in einem Abschnitt von 1 km Länge neun unterschiedliche technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen eingebaut. In fünf Abschnitten wird die Steinschüttung vollständig entfernt und durch alternative Maßnahmen ersetzt, in einem Abschnitt bleibt das Ufer weitestgehend ungesichert. In vier Abschnitten erfolgt eine ökologische Aufwertung der bestehenden Steinschüttung. Der Naturversuch ist seitens der BAW und BfG eingebunden in das seit 2004 laufende Forschungs- und Entwicklungsvorhaben „Untersuchungen zu alternativen technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen.“ Mit dem Bau der Versuchsstrecke an einem Rheinabschnitt, an dem täglich ca. 120 Schiffe verkehren, sollen erstmalig Erfahrungen an einer hoch frequentierten Wasserstraße gesammelt werden.

Der Einrichtung der Versuchsstrecke am Rhein wurde seitens des BMVBS mit Erlass WS 11/52.05.04 vom 07.04.2009 grundsätzlich zugestimmt. Hierzu wurde eine zwischen der WSD Südwest, der BAW und der BfG abgestimmte Konzeption gemäß § 6, VV- WSV 2107 vorgelegt und vom BMVBS am 06.10.2010 genehmigt. Auf Grundlage dieser Konzeption wurde ein Entwurf-AU durch das WSA Mannheim aufgestellt und von der WSD Südwest im Mai 2011 genehmigt.

Grundlage der Baumaßnahmen ist das Gutachten der BAW und BfG „Errichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer - Empfehlungen für die Ausführung der Ufersicherungen“ vom 7.5.2010 [1], das bereits sehr ausführlich die vorgeschlagenen unterschiedlichen Uferbauweisen beschreibt und die Randbedingungen in diesem Rheinabschnitt dokumentiert. Das WSA Mannheim beauftragte die Büros Geitz & Partner GbR und Stowasserplan mit der Fortführung der Planung [2] und der Wahrnehmung der Bauüberwachung, im August 2011 erfolgte die Vergabe der Bauausführung an die Arbeitsgemeinschaft der Firmen Rudolph Garten- und Landschaftsbau GmbH und Grünbau GmbH und Co. KG. Die Bauarbeiten konnten Mitte Dezember 2011 abgeschlossen werden.

Im Ergebnis des Naturversuchs werden wichtige Erkenntnisse zur Anwendung alternativer technisch-biologischer Ufersicherungen am Rhein, aber auch an anderen Wasserstraßenabschnitten erwartet. Als Grundlage für die technische und ökologische Beurteilung der verschiedenen Ufersicherungsmaßnahmen ist ein umfangreiches und detailliertes Monitoring vorgesehen. Dazu gehört einerseits das Prämonitoring, d.h. Untersuchungen, die vor der Uferumgestaltung zu Vergleichszwecken bereits durchgeführt wurden, und andererseits das

Postmonitoring, das über einen Zeitraum von zunächst 5 Jahren nach Fertigstellung der Baumaßnahme vorgesehen ist. Danach erfolgt eine Beobachtung in größeren Zeitabständen. Die neuen Intervalle werden 2016 auf der Grundlage der bis dahin vorliegenden Ergebnisse festgelegt.

Der vorliegende 1. Zwischenbericht beinhaltet eine kurze Zusammenstellung der Randbedingungen im Bereich der Versuchsstrecke, eine ausführliche Dokumentation und Beschreibung der fertig gestellten Versuchsfelder 1 bis 9 und das umfassende Monitoringprogramm für die Jahre 2012 bis 2016.

2. Randbedingungen

Die Randbedingungen im Bereich der Versuchsstrecke wurden von BAW und BfG im Vorfeld sehr intensiv untersucht und im gemeinsamen Gutachten „Errichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – Empfehlungen für die Ausführung der Ufersicherungen, 7.5.2010“ [1] dokumentiert. In der Anlage 1 sind die wichtigsten Randbedingungen in einer Übersicht zusammengestellt. Bild 1 zeigt beispielhaft einen Uferquerschnitt bei km 441,250, eingemessen 2009, mit den maßgebenden Rheinwasserständen. Der Wasserstand AZW liegt nach der Ganglinie (Pegel Worms) der letzten 10 Jahre etwa 20 cm unter Mittelwasser (MW). Zusätzlich sind zum Vergleich die Böschungsneigungen 1:2 und 1:3 dargestellt.

Weitere Untersuchungen vor Ort erfolgten im April 2010 zur Begutachtung der vorhandenen Steinschüttung, insbesondere zur Ermittlung der Schichtdicke der Steinschüttung als Grundlage für die weiteren Planungen. Dabei wurde festgestellt, dass unter der ermittelten Steinschichtdicke von 60 bis 90 cm noch bis zur erkundeten Tiefe von 1,20 m unter Oberkante Steinschüttung ein Konglomerat aus Steinen und anstehendem Boden vorhanden ist [5].

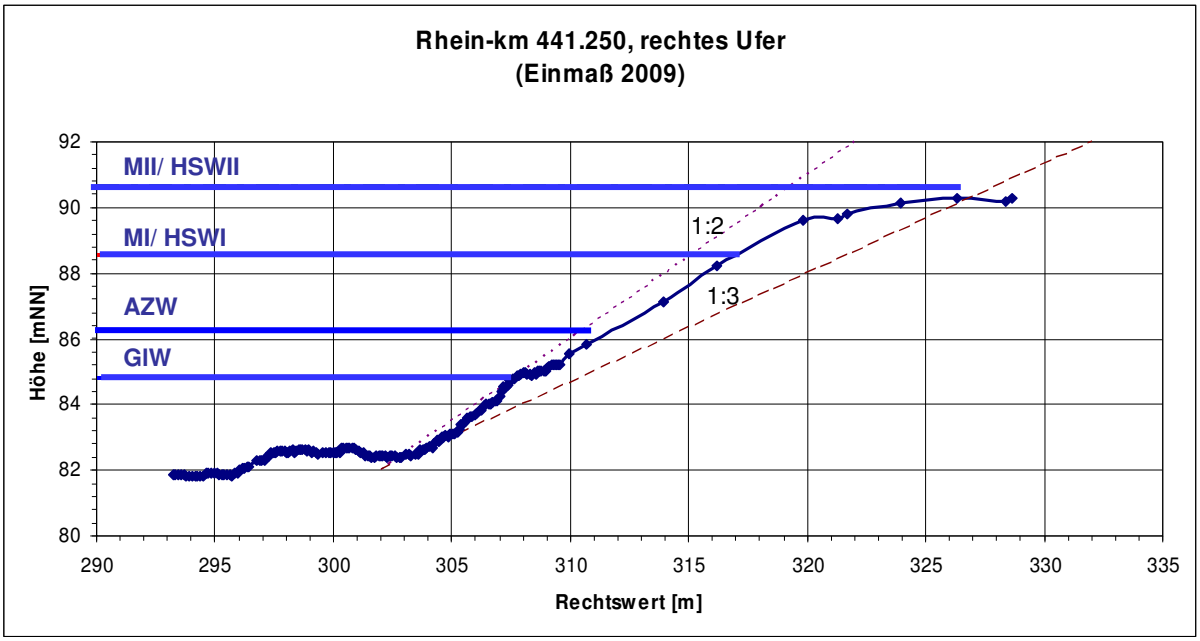


Bild 1: Uferquerschnitt bei km 441,250 mit maßgebenden Rheinwasserständen

Außerdem wurden vor Beginn der Baumaßnahmen von der BAW Berechnungen zur Ermittlung der Gesamtstandsicherheit der Uferböschung für den Ausgangszustand mit Steinschüttung und nach Rückbau der Steinschüttung oberhalb AZW für verschiedene Lastfälle durchgeführt. Da die Gesamtstandsicherheit nicht bzw. erst langfristig nach entsprechendem Wurzelwachstum durch die pflanzlichen Ufersicherungsmaßnahmen erhöht wird, muss diese auch ohne jegliche Sicherungsmaßnahmen ausreichend gegeben sein. Dieser Nachweis konnte für die vorhandene mittlere Böschungsneigung von 1:2,5 ohne Berücksichtigung einer Verkehrslast erbracht werden [3]. Im Ergebnis zusätzlicher Berechnungen für den Bauzustand wurden Einschränkungen hinsichtlich zulässiger bauzeitlicher Böschungsneigungen und des Einsatzes eines SLW 60 gegeben [4].

3. Einbaudokumentation

3.1 Grundsätzliche Feststellungen

Die technisch-biologischen Ufersicherungen wurden von September bis Dezember 2011 durch die Arbeitsgemeinschaft der Firmen Rudolph Garten- und Landschaftsbau GmbH und Grünbau GmbH und Co. KG eingebaut. Alle Baumaßnahmen erfolgten vom Land aus. Die meteorologischen und hydrologischen Randbedingungen für den Einbau waren sehr gut. Über den gesamten Zeitraum herrschten niedrige Rheinwasserstände (siehe Bild 2), so dass die Baumaßnahmen weitestgehend im Trockenen ausgeführt werden konnten. Baubehinderungen und -unterbrechungen traten nicht auf.

Im Bild 3 sind die Bauzeiten für die einzelnen Versuchsfelder zusammengestellt. Der Rückbau der Steinschüttung in den Versuchsfeldern 2, 3, 5 und 7 erfolgte i. d. R. zeitnah zum Einbau der neuen Ufersicherungsmaßnahmen, um die Böschung möglichst nur kurz ungeschützt zu belassen. Auf allen Flächen, auf denen bodengreifende Maßnahmen durchzuführen waren, wurde vor Beginn der Bauarbeiten eine systematische Überprüfung hinsichtlich vorhandener Kampfmittel durchgeführt.

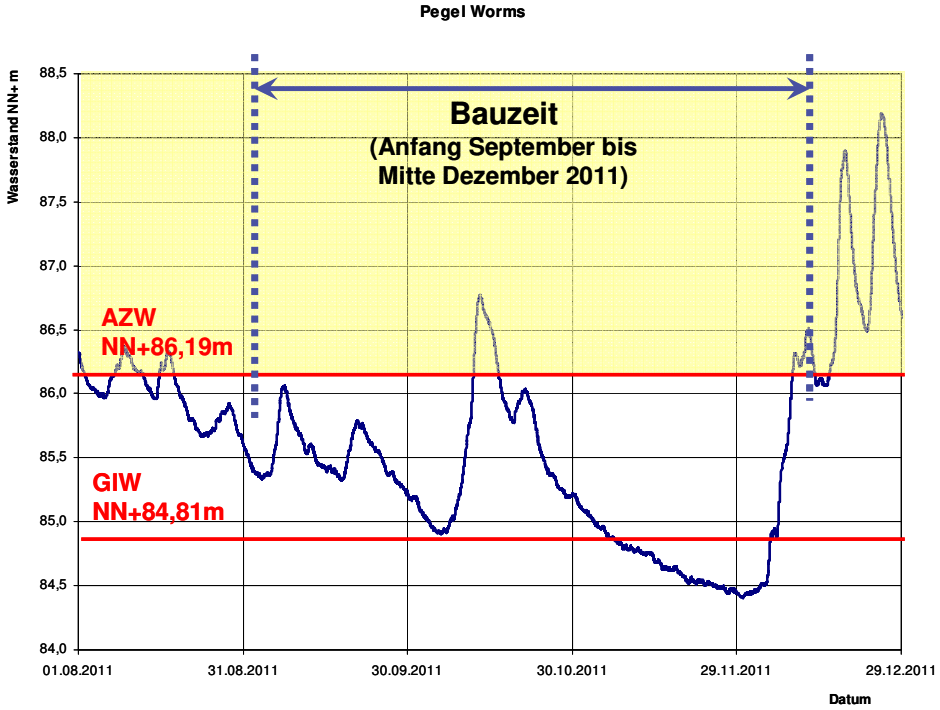


Bild 2: Ganglinie Pegel Worms (August bis Dezember 2011)

Die Übergangsbereiche zwischen den einzelnen Versuchsfeldern wurden nach Fertigstellung der Versuchsfelder gesondert hergestellt, wobei besonderer Wert auf fließende, sichere Übergänge gelegt wurde.

Während der Bauzeit wurden vom WSA Mannheim Hinweisschilder für die Schifffahrt aufgestellt. Die Fahrweise war so anzupassen, dass Wellenschlag am Ufer vermieden wird. Es erfolgte keine Kontrolle, inwieweit sich die Schiffsführer daran hielten.

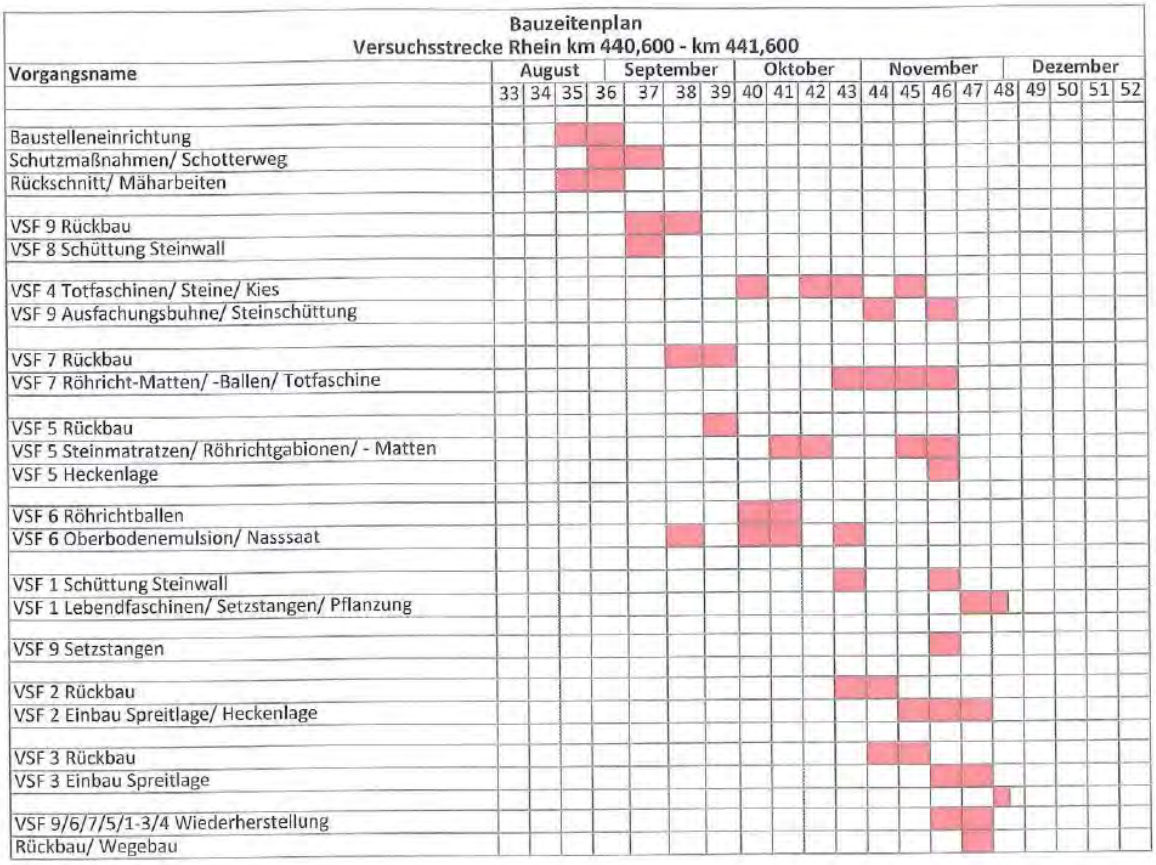


Bild 3: Bauzeitenübersicht

3.2 Technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen im Einzelnen

3.2.1 Versuchsfeld 1: Steinschüttung mit Weidensetzstangen, Lebendfaschinen, Buschlagen, Heckenlagen, Steinwall mit Flachwasserzone, Totholzstämme mit Wurzeltellern (Rhein-Km 440,630 bis 440,800 – 170 m VF-Länge)

3.2.1.1 Beschreibung

Dieser Bereich am oberstromigen Beginn der Versuchsstrecke wird hydraulisch am stärksten belastet, da hier Prallhangbedingungen herrschen und die Fahrrinne nahe am Ufer entlang führt. Die vorhandene Steinschüttung aus losen Wasserbausteinen der Klasse $LMB_{5/40}$ /TLW, 2003/ in einer Schichtdicke von ca. 60 bis 80 cm ohne zusätzliche Filterschicht bleibt als Ufersicherung erhalten. Es erfolgte eine ökologische Aufwertung durch

- Weidensetzstangen
- Lebendfaschinen
- Buschlagen
- Heckenlagen

Sowohl die Setzstangen und Lebendfaschinen als auch die Busch- und Heckenlagen wurden einreihig in Böschungsfallrichtung in insgesamt 17 0,80 bis 1,20 m tiefe Gräben eingebaut, die mit einer Länge von 7,50 bis 8,00 m und Breite von 2 m in Abständen von ca. 5 m in der vorhandenen Steinschüttung hergestellt wurden. Die Gräben wurden in 3 Teilbereiche von je 2,50 m Länge unterteilt: im oberen Böschungsbereich für die Heckenlagen, in der Mitte und im unteren Böschungsbereich im Wechsel für Setzstangen, Lebendfaschinen und Buschlagen. Vor Einbau der Pflanzen wurden für einen guten Kontakt zum Untergrund zunächst Sande in einer Schichtdicke von etwa 50 cm in die hergestellten Gräben eingebracht. Die Setzstangen wurden nach Vorbohren in den unter der Steinschüttung anstehenden Boden eingebracht. Die Höhe des oberen Endes der Setzstangen über der Steinschüttung wurde variiert, um den Einfluss verschiedener Überstauhöhen zu untersuchen. Die pflanzlichen Elemente wurden nach Einbau eingeschlämmt (Setzstangen) bzw. mit Feinmaterial überer-det (Hecken- und Buschlagen, Lebendfaschinen). Anschließend wurden die Gräben wieder mit Wasserbausteinen geschlossen, um den Uferschutz flächig zu garantieren.

Zur Verbesserung der Bedingungen für die aquatische Fauna wurde ein Steinwall in Verlängerung der Uferlinie errichtet. Die Maßnahme wurde möglich, da das Ufer hier etwas zurückgesetzt ist. Durch den Wall ist eine schmale Flachwasserzone mit ober- und unterstromiger Verbindung zum Rhein entstanden, in der bei AZW eine Wassertiefe von etwa 2 m erreicht wird. Schiffsinduzierte Belastungen wie Wellenschlag und Strömung können im Bereich der Flachwasserzone durch den Wall reduziert werden. Zusätzlich wurden in Abständen von ca. 25 m drei Totholzstämme mit Wurzelteller in Richtung Gewässer fallend im unteren Bereich

der Böschung eingebaut. Diese können von Makrozoobenthosorganismen besiedelt werden und bieten Fischen Versteckmöglichkeiten sowie ein potentielles Laich- und Nahrungshabitat. In Tabelle 1 sind Details zu den einzelnen Elementen zusammengestellt. Bild 4 zeigt Auszüge aus der Ausführungsplanung [2].

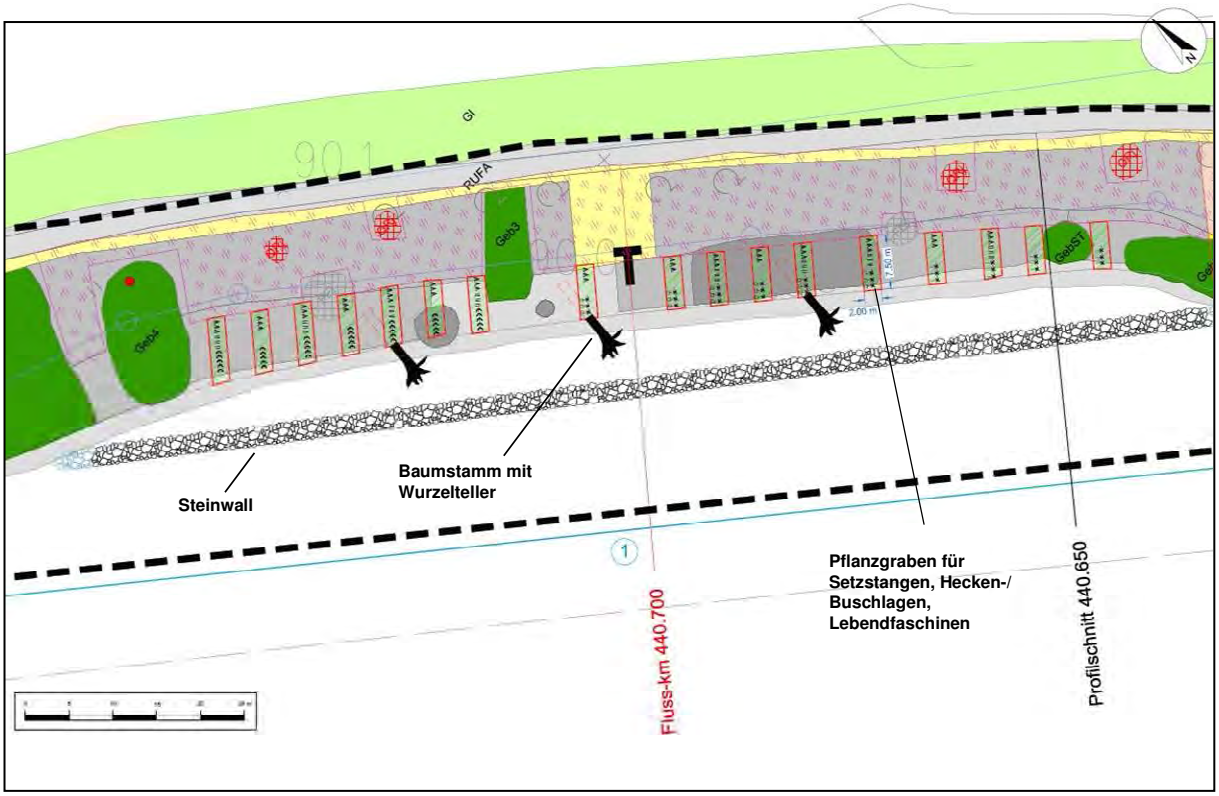


Bild 4: Zeichnerische Übersichtsdarstellung Versuchsfeld 1 (modifiziert nach [2])

Tab. 1: Details Versuchsfeld 1

Element	**Pflanzenarten/ Material**	**Abmessungen**
Weidensetz-stangen	Silber- und Korb-Weide (lebende möglichst gerade und gleichmäßig gewachsene Weidenäste)	Durchmesser: 10 bis 12 cm Länge: mind. 1,80 bis 2,00 m Einbindetiefe: ca. 1,30 bis 1,60 m Stangenkopf 20 bis 40 cm / 1,30 m über Oberkante Steinschüttung
Lebendfa-schinen	aus mind. 70% lebenden, d. h. austriebsfähigen Weidenästen (Purpur-, Korb- oder Mandel-Weide) und max. 30% totem Astmaterial, d. h. nicht austriebsfähigem Astmaterial von Laubgehölzen	Durchmesser: 2 bis 5 cm (einzelne Äste des Lebendmaterials) Durchmesser Gesamtfaschine: 45 bis 55 cm über die gesamte Länge Länge: 2 bis 4 m (einzelne Äste des Lebend- und Totmaterials) Länge Gesamtfaschine: 5 m
Buschlagen	Silber-, Fahl-, Kübler-, Purpur-Weide (lebende, möglichst gerade und gleichmäßig gewachsene Weidenäste)	Durchmesser: 2 bis 4 cm (einzelne Äste) Länge: mind. 70 bis 100 cm
Heckenlagen	Weißdorn, Feld-Ahorn, Hasel, Hartriegel, Pfaffenhütchen, Gemeiner Schneeball (wurzelnackte Gehölzjungpflanzen)	Länge: 60 bis 100 cm
Steinwall	Wasserbausteine $LMB_{5/40}$	Ca. 2 m breite Ein- und Ausströmöffnung (bei AZW) Oberkante: AZW + 0,5 m
Totholzstäm-me	einheimisches Laubholz (z. B. Buche) mit ausgeprägtem Wurzelteller	Stammdurchmesser: 80 bis 120 cm Wurzeltellerdurchmesser: 1,50 bis 2,00 m Länge: 5 bis 6 m

3.2.1.2 Zielstellung

Allgemein:

- Untersuchung von Möglichkeiten der ökologischen Aufwertung einer bestehenden losen Steinschüttung durch Erhöhung der Strukturvielfalt für die Wasserstraßenabschnitte, in denen aufgrund hoher hydraulischer Belastungen nicht auf eine technische Sicherung verzichtet werden kann
- Testen von verschiedenen Möglichkeiten der nachträglichen Begrünung einer Steinschüttung mit Gehölzen
- Testen von Möglichkeiten zur Verbesserung der Bedingungen für die aquatische Fauna in hydraulisch hoch belasteten Uferbereichen durch vorgelagerten Steinwall und Totholzstämme

Gewährleistung Uferschutz:

- Die vorhandene Steinschüttung übernimmt weiter die Ufersicherung.
- Alle anderen Maßnahmen dienen ökologischen Aufwertungen im Uferbereich. Die eingebauten Weidensetzstangen, Busch- und Heckenlagen tragen langfristig nach Ausbildung von Wurzeln in den Untergrund zusätzlich zur Erhöhung der Uferstabilität bei.
- Durch Errichtung eines vorgelagerten Steinwalls wird die Wellenbelastung im Uferbereich reduziert.

Ökologische Aufwertung:

- Initiierung einer standortgerechten Gehölzvegetation (Gehölze im Weich- und Hartholzauenbereich)
- Schaffung eines geschützten Uferbereichs mit natürlichen Strukturelementen für die aquatische Fauna
- Förderung von Gehölz bewohnenden Tieren (z. B. Vögel und Insekten)

3.2.1.3 Bauzeitraum

43. bis 48. Woche (24.10. bis 30.11.2011)

3.2.1.4 Fotodokumentation

Die Bilder 5 und 6 zeigen das fertig gestellte Versuchsfeld 1, aufgenommen am 14.12.2011 etwa bei AZW (Pegel Worms: NN + 86,19 m). Die entstandene strömungsberuhigte Flachwasserzone ist deutlich sichtbar, die Wurzelstöcke der eingebauten Totholzstämme liegen

unterhalb des Wasserspiegels und stehen somit als Lebensraum und Strukturelement für die aquatische Fauna zu Verfügung. Die Fotografien der Bilder 7 bis 8 wurden zum Ende der Bauzeit am 29.11.2011 aufgenommen. Zu diesem Zeitpunkt herrschten extrem niedrige Rheinwasserstände (siehe Bild 2). Am Pegel Worms wurde ein Wasserstand von NN + 84,44 m gemessen, d.h. ein Wasserstand ca. 40 cm unterhalb von GIW. Dargestellt sind Details, wie die Setzstangen (Bilder 5 und 6) und der Einbau der Busch- und Heckenlagen (Bild 8).

Bild 5: Fertiges Versuchsfeld 1 mit Flachwasserzone (aufgenommen am 14.12.2011 etwa bei AZW)

Bild 6: Setzstangen im fertigen Versuchsfeld (aufgenommen am 14.12.2011 etwa bei AZW)

Bild 7: Totholzstamm mit sichtbarem Wurzelteller (aufgenommen am 29.11.2011 etwa bei GlW-40cm)

Bild 8: Einbau der Busch- und Heckenlagen (aufgenommen am 29.11.2011 etwa bei GlW-40cm)

3.2.1.5 Erste Einbauerfahrungen

Das Einbringen einzelner Setzstangen in eine vorhandene lose Steinschüttung von 60 bis 80 cm Mächtigkeit ist nicht möglich, ohne die Setzstangen zu beschädigen. Deshalb wurde be-

reits in der Planung festgelegt, die Setzstangen in vorher herzustellende Gräben in der Steinschüttung einzubauen. Da hier jedoch unter der Steinschüttung noch in größerer Schichtdicke ein Konglomerat aus Boden und Steinen ansteht (siehe Vermerk der BAW [5]), erwies sich der Einbau der Setzstangen trotzdem noch als sehr problematisch. Um die Setzstangen ausreichend in den Untergrund einbinden zu können, musste deshalb zum Teil vorgebohrt werden.

Das Bestellen von Pflanzmaterial mit geeignetem Herkunftsnachweis (gebietsheimisch) stellte sich als schwierig heraus. Trotz frühzeitiger Anfrage bei den Baumschulen mussten z. T. Änderungen der Herkunftsgebiete in Kauf genommen werden.

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

3.2.2.1 Beschreibung

Zwischen Rhein-km 440,820 – 440,860 wurde die bestehende Steinschüttung aus losen Wasserbausteinen der Klasse $LMB_{5/40}$ mit einer Mächtigkeit von ca. 60-80 cm ab Höhe AZW bis zur Böschungsoberkante hin komplett entfernt. Die bestehende Böschungsneigung wurde auf 1:3 abgeflacht und die Weidenspreitlagen diagonal im 45° Winkel zur Böschungsfallrichtung eingebaut.

Die Weidenäste wurden zwischen den vorher gesetzten Verpflockungen auf der Böschung lagenweise inklinant zur Fließrichtung verlegt, so dass deren basale dicke Enden nach unten zum Wasser hin gerichtet sind. Aufgrund der Böschungslänge von etwa 12 m mussten mehrere sich überlappende Weidenspreitlagen eingebaut werden. Jede Lage wurde am unteren Ende 1 m tief in die Böschung eingegraben. Die unterste Weidenlage bindet 1 m in die unterhalb von AZW verbleibende Steinschüttung als Fußsicherung ein. Dadurch wird gleichzeitig ein Übergang zum vorhandenen Deckwerk geschaffen. Bis AZW + 1,7 m erfolgte zur Verbesserung des Erosionsschutzes in der Anfangsphase eine Abdeckung der Weidenspreitlagen mit Reisig. Die Spreitlagen einschließlich Reisig wurden mit Querriegeln zwischen den Pflöcken gesichert und mit Draht niedergebunden (Bild 11). Die Reisiglagen wurden zusätzlich mit einem grobmaschigen Draht (Wildschutzzaun) befestigt (Bild 12). Abschließend wurden die Spreitlagen mit sandig-kiesigem Material ca. 3 cm mächtig übererdet.

Da anstelle der im Leistungsverzeichnis geforderten Weidenruten mit einer Dicke von 3 bis 5 cm Weidenruten mit einem Durchmesser von nur 1 bis 3 cm eingebaut wurden (da diese in der Nähe gewonnen werden konnten), wurde bei einer Anzahl von 30 Weidenruten pro laufenden Meter keine flächendeckende Belegung der Böschung erreicht, was sich voraussichtlich negativ auf die Erosionsstabilität im Anfangszustand auswirken wird.

An der Oberkante der Uferböschung wurden am Ende der Spreitlagen Heckenlagen eingebaut. Hierfür wurden Pflanzen in einem Winkel von 90° zur Böschung geneigt in Gräben eingebaut. Nur 1/3 der Pflanzen ragte dabei über die Böschungsoberfläche hinaus (siehe Bild 13).

Bilder 9 und 10 zeigen Auszüge aus der Ausführungsplanung [2], in Tabelle 2 und 3 sind Details zu den einzelnen Elementen zusammengestellt.

Tab. 2: Details Versuchsfeld 2 – Weidenspreitlagen (diagonal)

Element	**Pflanzenarten / Material**	**Details/ Abmessungen**	**Einbaubereich**
Weidenäste	Purpur-Weide (Strauchweide) Silber-Weide (Baumweide)	Durchmesser: 1 bis 3 cm (geplant LV: 3 bis 5 cm) Länge: 3 bis 4 m Anzahl: 30 Stk/m Diagonal zur Fließrich-tung	AZW - 0,5 m bis AZW + 1,70 m
	Purpur-Weide (Strauchweide) Korb-Weide (Strauch- und Baumweide) Silber-Weide (Baumweide)	Durchmesser: 1 bis 3 cm (geplant LV: 3 bis 5 cm) Länge: 3 bis 4 m Anzahl: 30 Stk/m Diagonal zur Fließrich-tung	AZW + 1,7 m bis BOK
Reisig	Fichte	Länge: 1,50 bis 2,50 m	AZW bis AZW + 1,7 m
Pflöcke	nicht austriebsfähig	Durchmesser: 4 bis 6 cm Länge: 0,80 bis 1,00 m Anzahl: 1 Stk/m	AZW bis BOK
Querriegel-hölzer	Silber-Weide, Lebendmaterial	Durchmesser: 10 bis 12 cm	AZW bis BOK
Spanndraht	Verglühter Draht für Spreitla-gen Grobmaschiger Wildschutz-zaun (Befestigung Reisig)	Durchmesser: 3 mm Maschenweite ca. 10 cm	AZW bis BOK AZW bis AZW + 1,70 m
Oberboden	Bauseits vorhandener Kies (5/32)		AZW bis BOK

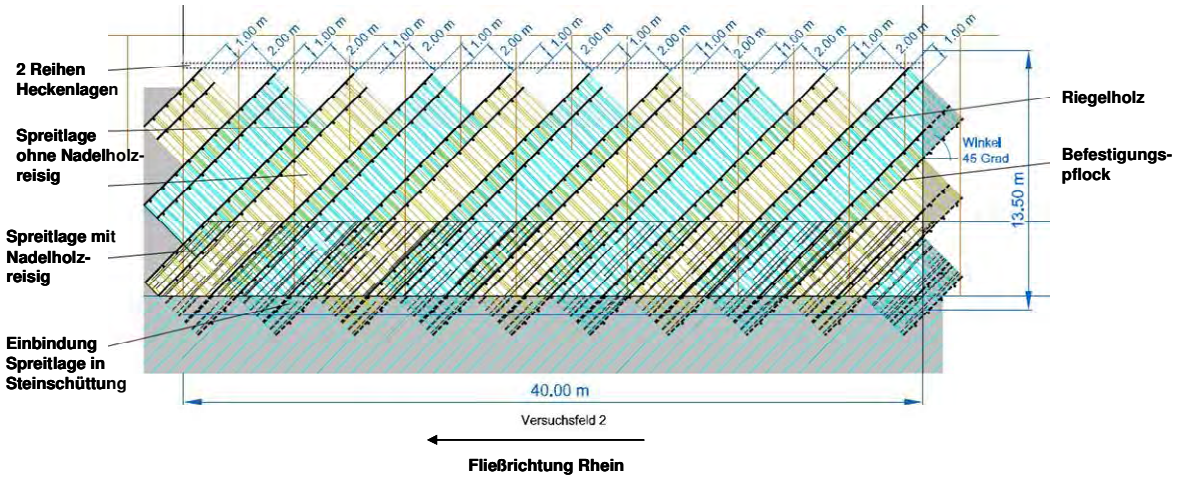


Bild 9: Grundriss Versuchsfeld 2 - Spreitlagen diagonal (modifiziert nach [2])

Tab. 3: Details Versuchsfeld 2 – Heckenlage

Element	**Pflanzenarten / Material**	**Details/ Abmes-sungen**	**Einbau-bereich**
Heckenlage	Hasel - Sämling Weißdorn - Sämling und wurzelnackte Gehölzjungpflanzen Pfaffenhütchen - Sämling und wurzelnackte Gehölzjungpflanzen Hartriegel - Strauch jeweils zu gleichen Anteilen	Länge: 0,60 bis - 1,00 m Anzahl: 3 Stk/m	BOK

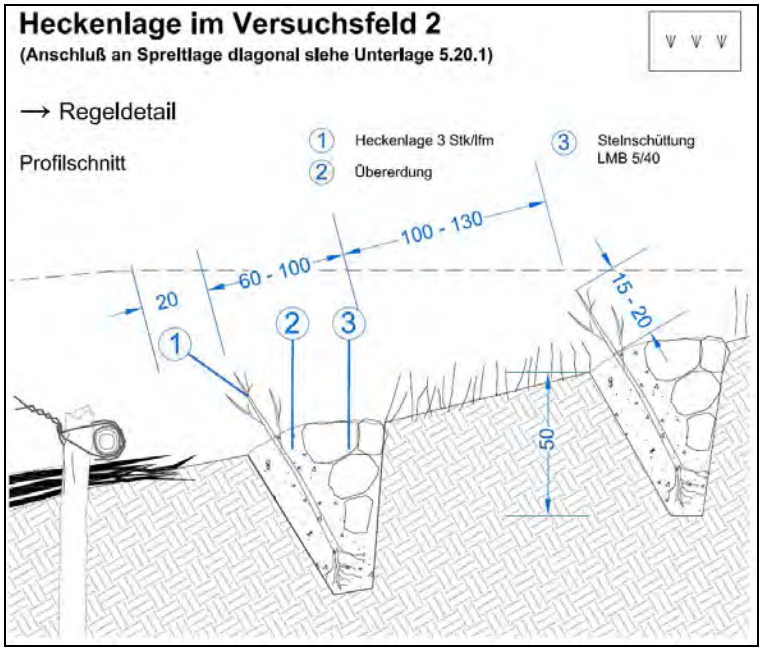


Bild 10: Profilquerschnitt des Versuchsfelds 2 – Heckenlage [2]

3.2.2.2 Zielstellung

Allgemein:

- Untersuchung von Weidenspreitlagen als Uferschutz an Wasserstraßen mit schiffsinduzierten hydraulischen Belastungen zur Gewährleistung einer ausreichenden Böschungsstabilität

Gewährleistung Uferschutz:

- Im Anfangsstadium Uferschutz und Filterstabilität durch vollflächige Belegung der Böschung mit gut am Boden befestigten Weidenspreitlagen, zusätzlicher Schutz durch flächig aufgebrachtes Reisig
- Ausreichende Befestigungen, die die Spreitlagen fest an den Boden pressen, Voraussetzung für Uferschutz im Anfangsstadium
- Mit zunehmender Wurzelbildung Verankerung der Spreitlagen mit dem anstehenden Boden, Erhöhung der Scherfestigkeit des Bodens, Erhöhung der Böschungsstabilität
- Durch aufwachsende Weidentriebe Dämpfung der hydraulischen Einwirkungen im Böschungsbereich

Ökologische Verbesserungen:

- Initiierung eines standortgerechten Gehölzbestandes im Weich- und Hartholzauenbereich
- Mittel- bis langfristige Verbesserung des Temperaturhaushaltes

- Eingebrachte standortgerechte Gehölze können bei fachgerechter Pflege das Aufkommen standortfremder Gehölze und Neophyten verhindern
- Erhöhung der Strukturvielfalt gegenüber einer Steinschüttung
- Schaffung von Lebensraum für Gehölz bewohnende Tiere (z. B. Vögel und Insekten), bei höheren Wasserständen auch für die aquatische Fauna
- Förderung der Bodenfauna

3.2.2.3 Bauzeitraum

43. bis 44. Woche (24.10. bis 06.11.2011) – Rückbau der Steinschüttung
45. bis 47. Woche (07.11. bis 27.11.2011) – Bau der Weidenspreitlagen

3.2.2.4 Fotodokumentation

Bild 11: Fertiggestellte Weidenspreitlagen mit Reisigabdeckung im unteren Böschungsbereich (aufgenommen am 14.12.2011)

Bild 12: Zusätzliche Befestigung der Reisiglagen mit Draht (aufgenommen am 14.12.2011)

Bild 13: Heckenlage an der Böschungsoberkante (aufgenommen am 29.11.2011)

3.2.2.5 Erste Einbauerfahrungen

Trotz eines fachgerechten Einbaus der Weidenspreitlagen zeigten sich folgende Schwierigkeiten:

- Die Querriegel aus Silber-Weide sind aufgrund der natürlichen Astbiegung unregelmäßig geformt. Dadurch war es schwierig, einen kraftschlüssigen Verbund zwischen Querriegeln, Spreitlagen und Boden herzustellen.
- Es zeigte sich, dass eine zusätzliche flächige Befestigung des Reisigs durch Maschendraht erforderlich war (Bild 12).
- Aufgrund des steinigen Untergrunds war es schwierig, die Pflöcke bis zur erforderlichen Tiefe einzurammen. Zum Teil war ein Vorstechen mit Stahlnadeln nötig.
- Generell ist besonders beim Einbau von lebenden Baumaterialien große Sorgfalt sowie fachkundiges Personal wichtig.

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

3.2.3.1 Beschreibung

Zwischen Rhein-km 440,880 – 440,950 wurde die bestehende Steinschüttung aus losen Wasserbausteinen der Klasse $LMB_{5/40}$ mit einer Mächtigkeit von ca. 60 bis 80 cm ab Höhe AZW bis zur Böschungsoberkante hin komplett entfernt. Die bestehende Böschungsneigung wurde auf 1:3 abgeflacht und die Weidenspreitlagen in Böschungsfallrichtung eingebaut.

Die Weidenäste wurden zwischen den vorher gesetzten Verpflockungen auf der Böschung lagenweise senkrecht zur Fließrichtung verlegt, so dass deren basale dicke Enden nach unten zum Wasser hin gerichtet sind. Aufgrund der Böschungslänge von etwa 12 m mussten mehrere sich überlappende Weidenspreitlagen eingebaut werden. Jede Lage wurde am unteren Ende 1 m tief in die Böschung eingegraben. Die unterste Weidenlage bindet auf Höhe AZW in die unter Wasser verbleibende Steinschüttung als Fußsicherung ein. Dadurch wird gleichzeitig ein Übergang zum vorhandenen Deckwerk geschaffen. Bis AZW + 1,7 m erfolgte zur Verbesserung des Erosionsschutzes in der Anfangsphase eine Abdeckung der Weidenspreitlagen mit Reisig. Die Spreitlagen einschließlich Reisig wurden mit Querriegeln zwischen den Pflöcken gesichert und mit Draht niedergebunden (Bild 17). Die Reisiglagen wurden zusätzlich mit einem grobmaschigen Draht (Wildschutzzaun) befestigt. Abschließend wurden die Spreitlagen mit sandig-kiesigem Material ca. 3 cm mächtig übererdet.

Da anstelle der im Leistungsverzeichnis geforderten Weidenruten mit einer Dicke von 3 bis 5 cm Weidenruten mit einem Durchmesser von nur 1 bis 3 cm eingebaut wurden (da diese in der Nähe gewonnen werden konnten), wurde bei einer Anzahl von 20 bzw. 40 Weidenruten pro laufenden Meter keine flächendeckende Belegung der Böschung erreicht, was sich voraussichtlich negativ auf die Erosionsstabilität im Anfangszustand auswirken wird.

An der Oberkante der Uferböschung wurden am Ende der Spreitlagen Heckenlagen eingebaut. Hierfür wurden Pflanzen in einem Winkel von 90° zur Böschung geneigt in Gräben eingebaut. Nur 1/3 der Pflanzen ragte dabei über die Böschungsoberfläche hinaus.

Bild 14 zeigt Auszüge aus der Ausführungsplanung [2], in Tabelle 4 sind Details zu den einzelnen Elementen zusammengestellt.

Tab. 4: Details Versuchsfeld 3

Element	Pflanzenarten/ Material	Details/ Abmessungen	Einbaubereich
Weidenäste	Purpur-Weide (Strauchweide) Silber-Weide (Baumweide)	Durchmesser: 1 bis 3 cm (geplant LV: 3 bis 5 cm) Länge: 3 bis 4 m Anzahl: 40 Stk/m Quer zur Fließrichtung (in Böschungsfallrichtung)	AZW - 0,5 m bis AZW +1,7 m
	Purpur-Weide (Strauchweide) Korb-Weide Silber-Weide (Baumweide)	Durchmesser: 1 bis 3 cm (geplant LV: 3 bis 5 cm) Länge: 3 bis 4 m Anzahl: 20 Stk/m Quer zur Fließrichtung	AZW +1,7 m bis BOK
Reisig	Fichte	Länge: 1,50 bis 2,50 m	AZW bis AZW +1,7 m
Pflöcke	nicht austreibend	Durchmesser: 4 bis 6 cm Länge: 0,80 bis 1,00 m Anzahl: 1 Stk/m	AZW bis BOK
Querriegelhölzer	Silber-Weide , Lebendmaterial	Durchmesser: 10 bis 12 cm	AZW bis BOK
Spanndraht	Verglühter Draht für Spreitlagen Grobmaschiger Wildschutzzaun zur Befestigung des Reisigs	Durchmesser: 3 mm Maschenweite ca. 10 cm	AZW bis BOK AZW bis AZW + 1,70 m
Oberboden	Bauseits vorhandener Kies (5/32)		AZW bis BOK

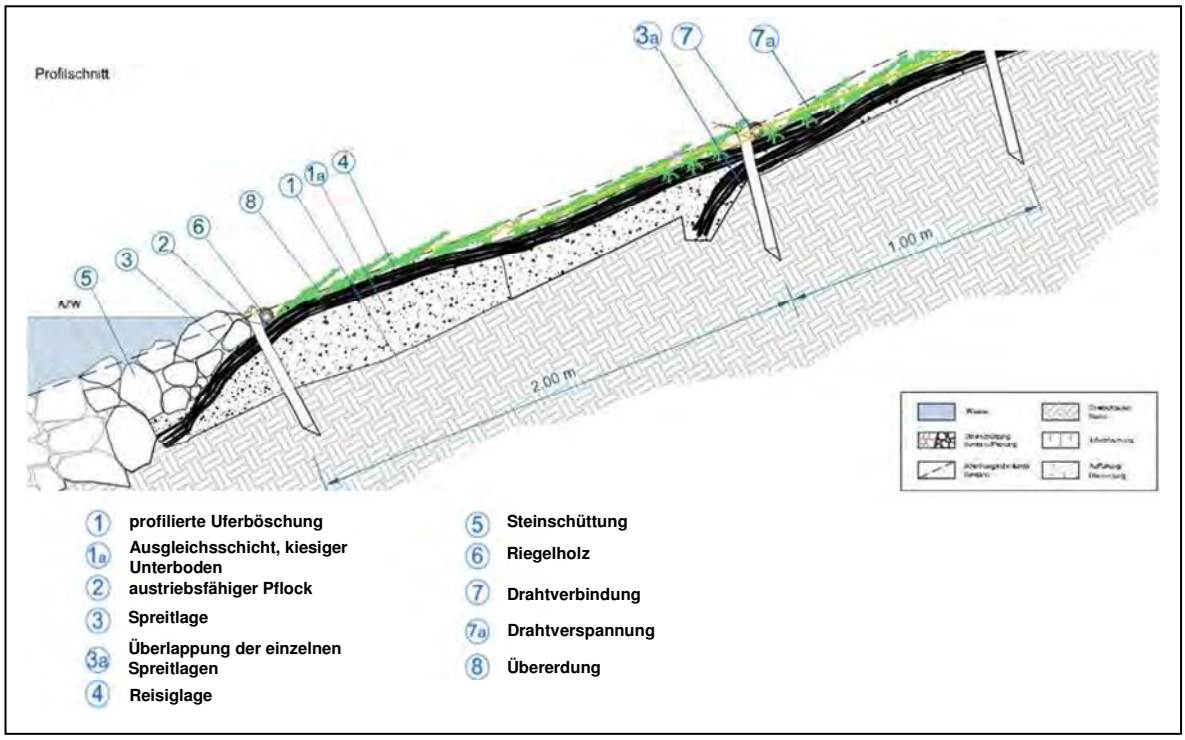


Bild 14: Profilschnitt des Versuchsfelds 3 (modifiziert nach [2])

3.2.3.2 Zielstellung

Allgemein:

- Untersuchung von Weidenspreitlagen als Uferschutz an Wasserstraßen mit schiffsinduzierten hydraulischen Belastungen zur Gewährleistung einer ausreichenden Böschungsstabilität
- Messung von Porenwasserüberdrücken im Boden unterhalb der Spreitlagen während Schiffspassagen (Untersuchung des Einflusses von Wurzeln auf das Entstehen von Porenwasserüberdrücken im Boden)

Gewährleistung Uferschutz:

- Im Anfangsstadium Uferschutz durch vollflächige Belegung der Böschung mit gut am Boden befestigten Weidenspreitlagen, zusätzlicher Schutz durch flächig aufgebrachtes Reisig
- Ausreichende Befestigungen, die die Spreitlagen fest an den Boden pressen, Voraussetzung für Uferschutz im Anfangsstadium
- Mit zunehmender Wurzelbildung Verankerung der Spreitlagen mit dem anstehenden Boden, Erhöhung der Scherfestigkeit des Bodens, Erhöhung der Böschungsstabilität

- Filterstabilität in der Anfangsphase durch flächige Belegung und zusätzliches Reisig, später durch tief reichendes Wurzelgeflecht
- Durch aufwachsende Weidentriebe Dämpfung der hydraulischen Einwirkungen im Böschungsbereich

Ökologische Verbesserungen:

- Initiierung eines standortgerechten Gehölzbestandes im Weich- und Hartholzauenbereich
- Mittel- bis langfristige Verbesserung des Temperaturhaushaltes
- Eingebrachte standortgerechte Gehölze können bei fachgerechter Pflege das Aufkommen standortfremder Gehölze und Neophyten verhindern
- Erhöhung der Strukturvielfalt gegenüber einer Steinschüttung
- Schaffung von Lebensraum für Gehölz bewohnende Tiere (z. B. Vögel und Insekten)
- Förderung der Bodenfauna
- Bei höheren Wasserständen Schaffung von Lebensraumstrukturen für die aquatische Fauna

3.2.3.3 Bauzeitraum

44. bis 45. Woche (31.10. bis 13.11.2011) – Rückbau der Steinschüttung
46. bis 47. Woche (14.11. bis 27.11.2011) – Bau der Weidenspreitlagen

3.2.1.4 Fotodokumentation

Bild 15: Verlegte Weidenäste, noch ohne Befestigung (aufgenommen am 16.11.2011)

Bild 16: Weidenspreitlagen nach Befestigung und Drahtverspannung (aufgenommen am 14.12.2011)

Bild 17: Unterer Bereich der Weidenspreitlagen mit befestigter Reisigabdeckung (aufgenommen am 14.12.2011)

3.2.3.5 Erste Einbauerfahrungen

Trotz eines fachgerechten Einbaus der Weidenspreitlagen zeigten sich folgende Schwierigkeiten:

- Die Querriegel aus Silber-Weide sind aufgrund der natürlichen Astbiegung unregelmäßig geformt. Dadurch war es schwierig, einen kraftschlüssigen Verbund zwischen Querriegeln, Spreitlagen und Boden herzustellen.
- Es zeigte sich, dass eine zusätzliche flächige Befestigung des Reisigs durch Maschendraht erforderlich war.
- Aufgrund des steinigen Untergrunds war es schwierig, die Pflöcke bis zur erforderlichen Tiefe einzurammen. Zum Teil war ein Vorstechen mit Stahlnadeln nötig.
- Generell ist besonders beim Einbau von lebenden Baumaterialien große Sorgfalt sowie fachkundiges Personal wichtig.

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

3.2.4.1 Beschreibung

Die im Versuchsfeld 4 vorhandene Steinschüttung aus losen Wasserbausteinen der Klasse $LMB_{5/40}$ /TLW, 2003/ in einer Schichtdicke von ca. 60 bis 80 cm ohne zusätzliche Filterschicht bleibt als Ufersicherung erhalten. Es erfolgte eine ökologische Aufwertung durch

- Kieseinbau in die Hohlräume der Steinschüttung als Voraussetzung für eine natürliche Sukzession
- Anordnung von Einzelsteingruppen aus Granitwasserbausteinen mit einer Kantenlänge von ca. 1 m als Strukturelemente
- Totholzfaschinen als Fischunterstände und potentielles Besiedlungssubstrat für Makrozoobenthosorganismen

Zunächst wurde feiner Kies (0/32) in die Porenräume der Steinschüttung eingebracht und nachträglich eingeschlämmt, darüber bis zur Deckwerksoberkante gröberer Kies (0/63). 6 Totholzfaschinenbündel wurden deklinant zur Strömungsrichtung mit einem Überstand von ½ bzw. ¼ der Länge in die Steinschüttung eingebaut, so dass ihre Enden unterhalb von AZW ins Wasser reichen. Eine zusätzliche Befestigung erfolgte mit Holzpflöcken und Drahtverspannung. Zuletzt erfolgte eine Überkiesung (Bild 19). Die großen Granitsteine wurden oberhalb AZW unregelmäßig auf der Steinschüttung platziert. Bild 18 zeigt die Maßnahme im Grundriss (Auszüge aus der Ausführungsplanung [2]), in Tabelle 5 sind Details zu den einzelnen Sicherungselementen zusammengestellt.

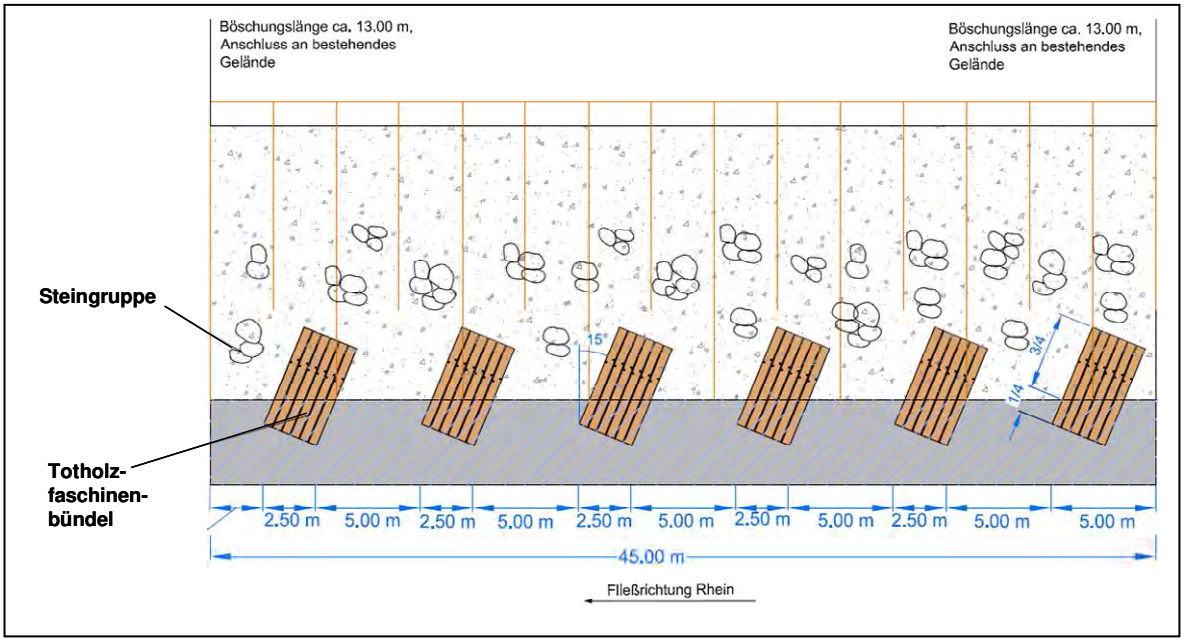


Bild 18: Zeichnerische Übersichtsdarstellung Versuchsfeld 4 (modifiziert nach [2])

Tab. 5: Details Versuchsfeld 4

Element	**Pflanzenarten/ Material**	**Abmessungen**
Kies		Korngrößen 0/32, 0/63
Einzelsteingruppen	Granit	Kantenlänge: ca. 1 m Dichte: 2,65 t/m^3
Totholzfaschinen-bündel	Birke (totes, nicht austriebsfähiges Material, mit Draht gebunden)	Anzahl: 6 (bestehend aus je 5 Einzelfaschinen) Länge: 5 m Neigung: 45° in Fließrichtung geneigt (deklinant)
Befestigungspflöcke	Nicht austriebsfähiges Material	Durchmesser: 10 bis 12 cm Länge: 1,20 bis 1,50 m

3.2.4.2 Zielstellung

Allgemein:

- Untersuchung von Möglichkeiten der ökologischen Aufwertung einer bestehenden losen Steinschüttung für die Wasserstraßenabschnitte, in denen aufgrund hoher hydraulischer Belastungen nicht auf eine technische Sicherung verzichtet werden kann
- Testen von verschiedenen Möglichkeiten, eine natürliche Sukzession im Deckwerksbereich zu initiieren
- Testen der Lebensraumeignung für Tierarten offener Standorte (z. B. spezielle Laufkäfer- und Spinnenarten, Sonnenplätze für Reptilien)
- Testen von Möglichkeiten zur Verbesserung der Bedingungen für die aquatische Fauna

Gewährleistung Uferschutz:

- Die vorhandene Steinschüttung übernimmt weiter die Ufersicherung.
- Alle anderen Maßnahmen dienen der ökologischen Aufwertung im Uferbereich.

Ökologische Aufwertung:

- Aufwertung von Standortbedingungen zur Förderung einer natürlichen Sukzession (Einbringung von kiesigem Feinmaterial)

- Schaffung von Lebensraumstrukturen für die aquatische und terrestrische Fauna: Förderung von Arten offener Uferbereiche, Einbringen von Totholz als natürliches Besiedlungssubstrat

3.2.4.3 Bauzeitraum

40. bis 45. Woche (04.10. bis 11.11.2011) mit Unterbrechungen

3.2.4.4 Fotodokumentation

Bild 19 zeigt das fertig gestellte Versuchsfeld 4 am 14.12.2011 bei AZW (Pegel Worms: NN + 86,19 m). Die Totholzfaschinen als Fischunterstände im Detail zeigt das Bild 20 bei einem sehr niedrigen Wasserstand von ca. 40 cm unterhalb von GIW (Pegel Worms: NN + 84,44 m).

Bild 19: Fertiges Versuchsfeld 4 (aufgenommen am 14.12.2011 bei etwa AZW)

Bild 20: Totholzfaschinen, aufgenommen am 16.11.2011 etwa bei GlW

3.2.4.5 Erste Einbauerfahrungen

Die Pflöcke zur Befestigung der Totholzfaschinen mussten durch die Steinschüttung hindurch in den Untergrund gerammt werden. Da unter der Steinschüttung nicht gleich der gewachsene Boden ansteht, sondern noch in größerer Schichtdicke ein Konglomerat aus Boden und Steinen (siehe BAW-Vermerk [5]), erwies sich das Einbringen der Pflöcke und damit das Befestigen der Faschinen als schwierig.

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

3.2.5.1 Beschreibung

Auf einer Länge von 110 m wurde die vorhandene Steinschüttung aus Wasserbausteinen der Klasse $LMB_{5/40}$ /TLW, 2003/ oberhalb AZW – 0,5 m komplett entfernt. Es werden zwei verschiedene Bauweisen (Röhrichtgabionen, vorkultivierte Pflanzmatten) auf ihre technische Wirksamkeit hinsichtlich der Gewährleistung der Uferstabilität und ihre ökologische Wirksamkeit erprobt.

Das Versuchsfeld ist in zwei Abschnitte VF 5a und VF 5b unterteilt (Bild 21). Nach der Entfernung der Steinschüttung wurde auf dem vorbereiteten Planum (Böschungsneigung 1:2,5) in beiden Abschnitten ein auf die vorhandenen Randbedingungen bemessener mineralischer Kornfilter (Splitt) [6] in einer Schichtdicke von 30 cm zur Gewährleistung der Filterstabilität im Böschungsbereich eingebaut (Bild 24).

In VF 5a kommen Röhrichtgabionen zum Einsatz (Bild 22, 24). Sie wurden im Bereich AZW - 0,5 m bis AZW +1,70 m längs in Fließrichtung eingebaut und unterteilen sich in zwei Pflanzzonen. Bereits im April 2011 wurden diese von der Firma Ökon-Vegetationstechnik GmbH vorgefertigt und mit unterschiedlichen Arten für zwei Pflanzzonen über eine Vegetationsperiode vorkultiviert, so dass sie zum Zeitpunkt des Einbaus vollflächig bewachsen und durchwurzelt waren. Die Gabionen mit der Pflanzzone 1 wurden im Bereich AZW - 0,5 m bis AZW + 0,5 m, die Gabionen mit der Pflanzzone 2 (vgl. jeweils Tab. 6) daran anschließend von AZW + 0,5 m bis AZW + 1,70 m eingebaut. Im Anschluss an die Röhrichtgabionen ab AZW + 1,70 m bis zur Böschungsoberkante wurden Steinmatratzen verlegt, deren Netzstruktur vor Ort mit gebrochenem Natursteinmaterial befüllt wurde (Bild 23). Aufgrund der geringeren Mächtigkeit und dem kleineren und dichteren Lückensystem der Steinmatratzen im Vergleich zum herkömmlichen Schüttsteindeckwerk wird erwartet, dass sich im Laufe der Zeit Feinmaterial im Lückensystem der Steinmatratzen festsetzt und somit bessere Bedingungen für ein Pflanzenwachstum geschaffen werden. Die Steinmatratzen wurden in einem letzten Schritt ca. 10 cm übererdet und bleiben so der natürlichen Sukzession überlassen.

In VF 5b wurden Steinmatratzen auf der gesamten Fläche von AZW - 0,5 m bis zur Böschungsoberkante auf der mineralischen Filterschicht verlegt. Im unteren Bereich der Böschung (erste drei Lagen) wurden diese zudem mit mineralischem Filtermaterial eingeschlämmt. Auf die Steinmatratzen wurden im Bereich AZW - 0,5 m bis AZW + 1,70 m vorkultivierte Pflanzmatten mit Kabelbindern aufgebunden. Auch diese wurden, entsprechend der Artenzusammensetzung und Zonierung der Röhrichtgabionen, über eine Vegetationsperiode

von der Fa. Ökon-Vegetationstechnik GmbH vorkultiviert. Bei der Lieferung wiesen die Matten jedoch z. T. nicht die geforderte Breite von 100 cm auf (überwiegend 90 cm, z. T. 80 cm), die für das Verlegeschema eingeplant waren. Somit traten Materialengpässe bei der Bauausführung auf. Eine zusätzliche Mattenbahn musste angelegt werden, um eine ausreichende Einbindung der Pflanzmatten unter die Steinmatratzen gewährleisten zu können. Weiterhin wiesen die Pflanzmatten der Pflanzzone 2 teilweise einen sehr geringen Bewuchs auf, besonders die dominanten Arten Rohr-Schwingel und Rohr-Glanzgras waren schlecht entwickelt bzw. fehlten in Teilbereichen ganz. Der Verlust an Pflanzen betrug beim Einbau, auf die Gesamtfläche (VF 5b) bezogen, etwa 15 % (Ergebnis einer Bestandsaufnahme vom 22.11.11). Der Bewuchs auf den Pflanzmatten der Pflanzzone 1 war weitgehend zufriedenstellend.

Festzustellen war zudem die schlechte Verbindung zwischen Kokosträgermaterial und dreidimensionalem Raumgittergewebe der Matten, was ebenfalls als Mangel gewertet wird, da somit von vornherein eine verringerte Stabilität der Pflanzmatten bei Strömungs- bzw. Wellenbelastung zu erwarten ist.

Zur Befestigung der Pflanzmatten auf den Steinmatratzen dienen zusätzlich Holzlatten (Bild 25), die mit Drahtbindern fixiert wurden und einzelne Wasserbausteine, die die Matten beschweren und zusätzlich stabilisieren sollen. Die Steinmatratzen im oberen Böschungsbereich (ohne Pflanzmatten) wurden gleichfalls wie in VF 5a übererdet. Die Übererdung dient insgesamt auch dem Schutz vor Vandalismus, da sie die ansonsten offen zum Betriebsweg liegende Kunstfaserarmierung verdeckt. Den Abschluss der Bauweise bildet eine einreihige Heckenlage aus standortheimischen Strauchgehölzen, die zur Stabilisierung der Böschungsschulter angepflanzt wurde (Bild 26).

Die Röhrichtgabionen und Steinmatratzen wurden eng aneinander auf Stoß verlegt, eine Verbindung der Einzelelemente erfolgte nicht.

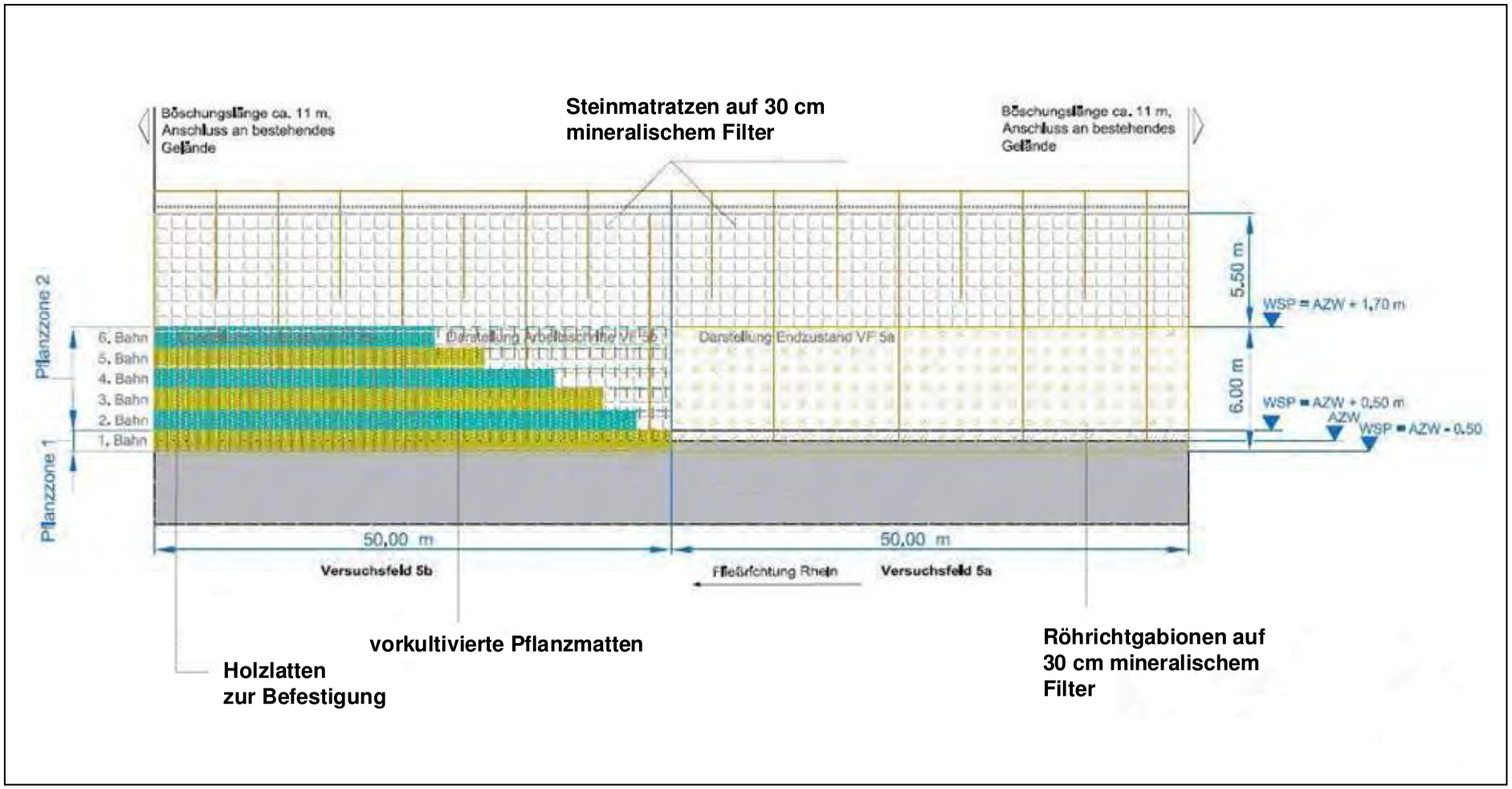


Bild 21: Systemskizze des Versuchsfeldes 5a und 5b (modifiziert nach [2])

Tab. 6: Details Versuchsfeld 5

Element	Material/Pflanzenarten	Abmessungen	Einbaubereich
mineralische Filterschicht	frostbeständiges, inertes Material Granitsplitt	Mächtigkeit: ca. 30 cm Korngröße (1/25) [6]	VF 5a und 5b
Röhricht-gabionen	mehrfach maschinell verdrilltes, sechseckiges Drahtgeflecht (Galvan-Legierung), Füllung: Röhrichte und Wasserbausteine aus Naturstein ($CP_{45/125}$ /TLW, 2003/)	Maschenweite Drahtgeflecht: 6 x 8 cm, Drahtstärke: 2,2 mm Gabione gesamt: 2,0 m x 1,0 m x 0,3 m (L x B x H)	VF 5a
Pflanzzone 1	Hauptart: Schlank-Segge (60-75%) + Mischung aus Arten der Röhrichtzone (25-40%)		AZW - 0,5 m bis AZW + 0,5 m
Pflanzzone 2	Hauptart: Rohr-Schwingel und Rohr-Glanzgras (60-75%) + Mischung aus Arten der Röhrichtzone, Gräser (25-40%) → vollflächig bewachsen und durchwurzelt		AZW + 0,5 m bis AZW + 1,70 m
Steinmatratzen	hochfeste Kunstfaserarmierung (Netz) befüllt mit frostsicheren, gebrochenen Natursteinen (Quarzporphyr)	2 m x 1 m (300 m^2) 2 m x 2 m (550 m^2) Höhe: 0,25 m Maschenweite: 45 mm Größenklasse Steine: $CP_{45/125}$ /TLW, 2003/	VF 5a: AZW + 1,70 m bis BOK VF 5b: AZW - 0,5 m bis BOK
Pflanzmatten	Trägermaterial: Kokosfiltermatte mit Kokosgewebeumhüllung, bepflanzt mit 20 Stk/m^2 Pflanzen der Ufer- und Röhrichtzone	Länge: 5 m Breite: 1 m Dicke: ca. 4 cm	VF 5b
Pflanzzone 1	Hauptart: Schlank-Segge (60-75%) + Mischung aus		AZW -0,5 m bis AZW + 0,5 m

Pflanzzone 2	Arten der Röhrichtzone (25-40% → bewachsen und durchwurzelt Hauptart: Rohr-Schwingel und Rohr-Glanzgras (60-75%) + Mischung aus Arten der Röhrichtzone, Gräser (25-40%) → bewachsen und durchwurzelt, bereichsweise geringer Bewuchs durch Ausfall dominanter Arten		AZW + 0,5 m bis AZW + 1,70 m
Heckenlagen	wurzelnackte Gehölzjungpflanzen; Sämling und leichte Sträucher standortheimischer Arten: Feld-Ahorn, Pfaffenhütchen, Weißdorn, Hartriegel, Hasel	Länge: 60 bis100 cm	BOK

3.2.5.2 Zielstellung

Allgemein:

- Erprobung vorkultivierter Pflanzelemente verschiedener Bauweisen (Röhrichtgabionen, Pflanzmatten) auf ihre technische Wirksamkeit hinsichtlich der Gewährleistung der Uferstabilität und ihrer ökologischen Wirksamkeit (Etablierung einer naturnahen Ufervegetation durch vorkultivierte Pflanzelemente)
- Erprobung von Steinmatratzen zur Förderung der natürlichen Sukzession im Vergleich zur herkömmlichen Steinschüttung

Gewährleistung Uferschutz

- Gewährleistung der Standsicherheit und des Erosionsschutzes durch vorkultivierte, flächig verlegte technisch-biologische Sicherungselemente
- Filterstabilität durch mineralischen Kornfilter
- Gewicht der Röhrichtgabionen erhöht Böschungsstabilität bereits im Anfangszustand

- Mit zunehmender Wurzelbildung Verankerung der Einzelelemente auf der Böschung, Erhöhung der Scherfestigkeit und Böschungsstabilität

Ökologische Aufwertung:

- Initiierung einer standortgerechten Ufervegetation (Röhrichte, Gräser im Weich- und Hartholzauenbereich, Gehölze im Hartholzauenbereich)
- Aufwertung von Standortbedingungen zur Förderung der natürlichen Sukzession (geringere Mächtigkeit der Steinmatratzen, Übererdung)
- Schaffung von Lebensraumstrukturen für die Uferfauna, insbesondere für Röhricht- und Gehölzbewohner (z. B. Vögel, Insekten und Spinnen)
- Bei höheren Wasserständen Schaffung von Lebensraumstrukturen für die aquatische Fauna

3.2.5.3 Bauzeitraum

39.-48. Woche (Einbau in der Zeit vom 27.9.- 29.11.2011) mit Unterbrechungen

3.2.5.4 Fotodokumentation

Bild 22: Einbau einer Röhrichtgabione mittels Traverse (11.10.11)

Bild 23: Herstellung einer Steinmatratze (11.10.11)

Bild 24: VF 5a: Röhrichtgabionen (unten) und daran anschließende Steinmatratzen auf einer ca. 30 cm mächtigen mineralischen Filterschicht (20.10.11)

Bild 25: VF 5b (linke Bildhälfte) Pflanzmatten im Winterzustand mit Latten und einzelnen Wasserbausteinen auf den Steinmatratzen fixiert. VF 5a (rechte Bildhälfte). Im oberen Böschungsbereich wurden die Steinmatratzen in beiden VF-Abschnitten übererdet (14.12.11).

Bild 26: Übererdete Steinmatratze in VF 5a mit anschließender, einreihiger Heckenlage aus standortheimischen Gehölzen (14.12.11)

3.2.5.5 Erste Einbauerfahrungen

In diesem Versuchsfeld treffen sehr viele Einzelbauelemente aufeinander. Die Übergänge und Schnittstellen der einzelnen Bauelemente müssen dabei so geplant und ausgeführt werden, dass alle Elemente unter- und miteinander einen lückenlosen, festen und stabilen Verbund aufweisen und mögliche Angriffsstellen bei den Belastungen aus Schifffahrt vermieden werden. Um z. B. die Pflanzmatten ausreichend fest auf den Steinmatratzen zu sichern, mussten vor Auslage der Matten Drahtbinder durch die Netzarmierung der Steinmatratzen, dann wiederum durch die Pflanzmatten gefädelt und nach Auflage der Holzlatten mit diesen verrödelt werden. Dazu ist viel Handarbeit erforderlich. Zusätzlich wurden die Pflanzmatten danach mit einzelnen Wasserbausteinen beschwert und stabilisiert, um Aufwölben der Matten zwischen den Befestigungspunkten bei Wellenschlag zu vermeiden. Für diese Arbeitsschritte ist ein hoher Planungs-, Material- und Arbeitskräfteaufwand einzukalkulieren.

Bezüglich der Pflanzmatten traten unerwartete Probleme (Materialengpässe, Materialmängel und z. T. zu geringe Pflanzenvitalität) auf. Insgesamt forderten diese Faktoren einen erhöhten Planungs-, Material- und Arbeitskräfteaufwand. Der erhöhte Arbeitsaufwand betraf so-

wohl die Bauausführung als auch die Bauüberwachung. Es ist zu erwarten, dass sich der zum Teil nicht qualitätsgerechte Zustand der gelieferten Pflanzmatten negativ im Gebrauchszustand auswirken wird.

Das Feld 5b weist aufgrund der genannten Mängel der Pflanzelemente keinen Optimalzustand nach Baufertigstellung auf. Dies hat zur Folge, dass die Bauweise in höherem Maße anfällig gegenüber den beschriebenen Belastungen durch Strömung und Schifffahrt ist. Eine Nachpflanzung der Ausfallstellen in den Mattenbahnen der Pflanzzone 2 war aufgrund der Jahreszeit nicht möglich und kann erst im Frühjahr 2012 durchgeführt werden. Bis dahin bieten v. a. die Ausfallstellen der Matten eine erhöhte Angriffsfläche für die Belastung.

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

3.2.6.1 Beschreibung

Die im Versuchsfeld 6 vorhandene Steinschüttung aus losen Wasserbausteinen der Klasse $LMB_{5/40}$ /TLW, 2003/ in einer Schichtdicke von ca. 60 bis 80 cm ohne zusätzliche Filterschicht bleibt als Ufersicherung erhalten. Es erfolgte eine ökologische Aufwertung durch

- Einpumpen einer Oberboden-Alginatmischung in die Hohlräume der Steinschüttung
- Nassansaat (Anspritzbegrünung) der Oberboden-Alginatmischung
- Lokaler Einbau von Einzelpflanzen (Röhrichtballen) in die Steinschüttung im Bereich zwischen AZW – 0,5 m und AZW

Auf dem Deckwerk vorhandenes Schwemmgut wurde entfernt, der Kratzbeeraufwuchs auf der Steinschüttung blieb erhalten. Um die Aufbereitung und den Einbau des Oberboden-Alginat-Gemisches zu testen und das optimale Mischungsverhältnis zu ermitteln, wurden zwei Vorversuche durchgeführt. Das Gemisch muss hochtourig aufbereitet werden, um die Erosionsstabilität gegenüber einfachem Oberboden zu verbessern. Es erfolgt kein Aushärten wie bei Mischungen mit Zementzusatz, sondern es entsteht ein kolloidales Gemisch mit hohen Bindekräften. Die Konsistenz ist so einzustellen, dass das Material fließfähig ist und in die Hohlräume eindringt. Es darf allerdings nicht zu flüssig sein, weil es an der Böschung ansonsten hangabwärts fließt. Eine Entmischung beim Einbau (Pumpen) darf nicht stattfinden. Verwendet wurde ein Fahrmischer mit angebauter Betonpumpe. Nach dem Einbau vom 4. bis 7.10.2011 (Wasserstand etwa bei GlW, NN + 84,9 m) war der gesamte Hohlraum bis auf den anstehenden Boden mit der Oberboden-Alginatmischung gefüllt. Danach erfolgte eine Anspritzbegrünung.

Bei AZW wurden einzelne Röhrichtballen in die Steinschüttung mit der Oberboden-Alginatmischung gesetzt. Die Einzelballen wurden – so gut es ging – zwischen den Wasserbausteinen verkeilt. Einen 4 Tage andauernden Überstau unmittelbar nach Einbau haben die Einzelballen gut überstanden.

Nach Einbau und Nassansaat (Bild 30) stieg der Wasserstand am 12./ 13.10.2011 kurzzeitig um etwa 1 m auf NN + 86,75 m (siehe Peak in der Ganglinie am Pegel Worms im Bild 2). Dies führte dazu, dass das Oberboden-Alginatgemisch in dem zeitweise eingestauten Bereich durch die hydraulischen Belastungen ausgespült wurde. Bild 31 zeigt den Uferabschnitt 9 Tage später nach Rückgang der Wasserstände. Das Oberboden-Alginatgemisch war nicht ausreichend erosionsstabil. Um auch hier eine Begrünung der Steinschüttung zu begünstigen und gleichzeitig das Oberboden-Alginatgemisch vor weiterer Ausspülung zu schützen, wurde in einem Teilbereich (Abschnittslänge 30 m) Kies in die Hohlräume der Steinschüttung

eingebracht und nachträglich eingeschlämmt. Oberflächennah wurden die feineren Kornfraktionen des Kieses bei höheren Wasserständen ausgespült (siehe Bild 28).

Bild 27 zeigt die Maßnahme im Grundriss (Auszüge aus der Ausführungsplanung [2]), in Tabelle 7 sind Details zu den einzelnen Sicherungselementen zusammengestellt.

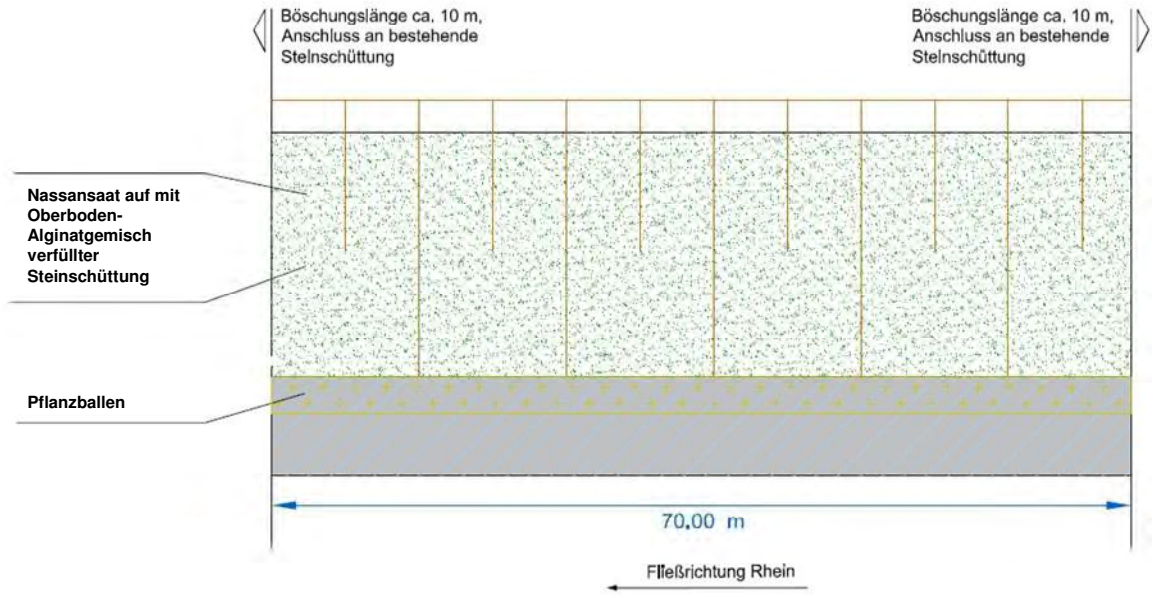


Bild 27: Zeichnerische Übersichtsdarstellung Versuchsfeld 6 (modifiziert nach [2])

Tab. 7: Details Versuchsfeld 6

Element	**Pflanzenarten/ Material**	**Abmessungen**
Oberboden-Alginat-Gemisch	Pro m^3 Mischung: 1,5 t Oberboden, Wasser, 15 kg Natrium-Alginat (mit Bentonit gemischt), 2 kg Stroh	250 l/m^2 Deckwerksfläche
Nassansaat	Straußgras, Rohrschwingel, Quecke, Wiesenfuchsschwanz, Lolch, Rohr-Glanzgras, Rasen-Schmiele, Wolliges Honiggras	30 g/m^2 Saatgut
Einzelpflanzen	Röhrichtballen (Sumpf-Schwertlinlie, Rohrkolben, Ufer-Wolfstrapp, Wasserminze)	4 Stück pro m^2 von AZW - 0,5 m bis AZW Ballengröße: 10 x 15 cm
Kies		Korngröße 0/63

3.2.6.2 Zielstellung

Allgemein:

- Untersuchung von Möglichkeiten der ökologischen Aufwertung einer bestehenden losen Steinschüttung für die Wasserstraßenabschnitte, in denen aufgrund hoher hydraulischer Belastungen nicht auf eine technische Sicherung verzichtet werden kann
- Testen einer Begrünung mittels Oberboden-Alginatgemisch als Trägersubstanz für eine anschließende Anspritzbegrünung (Nassansaat)
- Testen einer Bepflanzung der Steinschüttung durch einzelne Röhrichtballen

Gewährleistung Uferschutz:

- Die vorhandene Steinschüttung übernimmt weiter die Ufersicherung.
- Alle anderen Maßnahmen dienen der ökologischen Aufwertung im Uferbereich. Die Begrünung und Bepflanzung können langfristig nach Ausbildung von Wurzeln in den Untergrund auch zur Erhöhung der Uferstabilität beitragen.

Ökologische Aufwertung:

- Initiierung einer standortgerechten Ufervegetation (Röhrichte in der Wasserwechselzone, Gräser im Weich- und Hartholzauenbereich)
- Aufwertung von Standortbedingungen zur Förderung einer natürlichen Sukzession (Oberboden-Alginatgemisch als Trägersubstrat für pflanzliches Wachstum)
- Förderung der Röhrichtbewohner und der Bodenfauna
- Bei höheren Wasserständen Schaffung von Lebensraumstrukturen für die aquatische Fauna

3.2.6.3 Bauzeitraum

38. bis 43. Woche (19.09. bis 28.10.2011) mit Unterbrechungen

3.2.6.4 Fotodokumentation

Bild 28 zeigt das fertig gestellte Versuchsfeld 6 am 14.12.2011 bei AZW (Pegel Worms: NN + 86,19 m). Die am 11.10.2011 erfolgte Anspritzbegrünung ist nach etwa 2 Monaten bereits gekeimt. Erste Gräser sind gut sichtbar. Bild 29 zeigt eine Ansicht vom Wasser aus.

Bild 28: Fertiges Versuchsfeld 6 (aufgenommen am 14.12.2011 etwa bei AZW)

Bild 29: Blick vom Wasser auf das Versuchsfeld 6 (aufgenommen am 14.12.2011 etwa bei AZW)

Bild 30: Ansicht am 11.10.2011 (NN+85,80m)

Bild 31: 20.10.2011 (NN+86,00m, ca. AZW)

3.2.6.5 Erste Einbauerfahrungen

Der erste Versuch, das Material nur mit einem Kleinrührgerät und Baggerschaufel aufzubereiten und einzubauen, zeigte, dass damit nicht die gewünschte Aufbereitung erreicht werden kann. Die Herstellung des Oberboden-Alginatgemisches muss in Hochgeschwindigkeitszwangsmischern erfolgen, um eine hochtourige Aufbereitung sicher zu stellen. Ein Ausspülen im Bereich strömenden Wassers kann jedoch auch dann nicht vollständig verhindert werden. Dies zeigen auch bisherige Anwendungen an Kanälen oberhalb des Wasserspiegels, wo die Oberboden-Alginatmischung im Einflussbereich der Schiffswellen zum Teil ausgespült wurde. Außerhalb des Einflussbereichs wurde in der Regel eine gute Begrünung der Steinschüttung erreicht.

3.2.7 Versuchsfeld 7: Entfernung der Steinschüttung, Einbau verschiedener Filtermatten (Schafwollvlies, Kokosmatte, Geotextil) und Pflanzmatten, Totholzfaschinen, Vegetationswalzen, Nassansaat (Rhein-Km 441,200-441,375 – 175 m VF-Länge)

3.2.7.1 Beschreibung

Das Versuchsfeld ist in drei Teilabschnitte VF 7a (7a1, 40 m; 7a2, 35 m), 7b (40 m) und 7c (40 m) mit entsprechenden Übergängen (insgesamt 20 m) unterteilt. Die Aufgliederung ergab sich erst im Laufe der Ausführungsplanung. Zunächst war vorgesehen, auf der überwiegenden Versuchsfeldfläche ein Schafwollvlies als Filtervlies zur Verhinderung des Austrags von Feinmaterial unter den geplanten pflanzlichen Sicherungselementen (Pflanzmatten) zu testen. Im Vorfeld liefen in diesem Zusammenhang Recherchen und Tests zu den Materialeigenschaften (Durchwurzelbarkeit, Filterstabilität, Zugfestigkeit, biologische Abbaubarkeit) des Schafwollvlieses, das erstmalig an einer Wasserstraße zum Einsatz kommen sollte. Die Anforderungen an das Vlies konnten bei den Tests weitestgehend erfüllt werden.

Das Schafwollvlies (einschichtig vernadelt, nicht thermisch verfestigt) sollte in unterschiedlichen Stärken (460 g/m^2 und 1000 g/m^2) in Kombination mit den vorgesehenen Pflanzelementen getestet werden. Die Anzucht der Pflanzmatten erfolgte durch die Firma Ökon Vegetationstechnik GmbH. In den Anzuchtbecken der Firma wurden die Pflanzmatten auf Kokosträgermaterial im Verbund mit den darunter ausgebreiteten Schafwollmatten über eine Vegetationsperiode in 2011 angezogen. Die Pflanzen sollten so die Möglichkeit bekommen, vom Trägermaterial direkt durch die darunterliegende Schafwollmatte zu wurzeln, so dass bei Auslieferung der kombinierten Matten bereits ein erster Wurzelfilz unter den Filtermatten vorhanden wäre.

Während sich noch im Mai eine normale Entwicklung der Pflanzen zeigte, war im Juli zu beobachten, dass das Wurzelwachstum eingeschränkt war und die Schafwollvliese zu faulen und sich abzubauen begannen. Der Grund lag in der Anzucht im stehenden Wasser bei den herrschenden hohen sommerlichen Temperaturen. Das Wasser in den Anzuchtbecken wurde von da an regelmäßig gewechselt und die Matten dazu aus den Becken entnommen. Die Mattenkombination aus Schafwolle und Pflanzmatte zeigte bei dieser Anzucht keinen Erfolg. Für die Auslieferung der Pflanzmatten wurden die Reste der verfaulten Schafwolle von den Pflanzmatten entfernt. Die Vitalität einzelner Pflanzenarten litt unter diesen Bedingungen. Besonders die hauptsächlich gepflanzten Arten Schlank-Segge und Rohr-Glanzgras waren wenig vital bzw. fielen komplett aus, wohingegen sich die Art Rohr-Schwingel im Vergleich zu den Matten aus VF 5 gut entwickelte. Da auch die Pflanzmatten für das Versuchsfeld 5 (Pflanzzone 2), die ohne Schafwollvliese vorgezogen wurden, einen zum Teil nur geringen

Bewuchs aufwiesen, ist die Kombination mit dem Schafwollvlies allerdings nicht die einzige Ursache für den schlechten Zustand der Pflanzmatten.

Der Ausfall einzelner Arten in den Matten wiegt besonders schwer, da die Matten nicht wie ursprünglich geplant ohne Zonierung, sondern nach einem bestimmten Pflanzschema (Tuffs) bepflanzt wurden (Bild 35). Mit dem Ausfall einzelner Arten sind somit ganze Teilbereiche der einzelnen Matten vegetationslos.

Da die Bedingungen in den Anzuchtbecken (ständiger Wassereinstau bei sommerlicher Hitze im Juni, Juli, August) jedoch nicht mit den Standortbedingungen an der Versuchsstrecke zu vergleichen sind, wurde entschieden, die Schafwollmatten trotz des festgestellten schnellen Abbaus in den Test zu integrieren. Es wurde hierzu neues Schafwollvlies in der einheitlichen Stärke von 460 g/m^2 bestellt. Parallel dazu wurden zu Vergleichszwecken ein bewährtes Kunststoff-Geotextil und eine Kokosmatte der Stärke 1000 g/m^2 unter den Pflanzmatten eingebaut. Das Versuchsfeld wurde dazu in verschiedene Bereiche unterteilt. Alle Filtermatten wurden bahnenweise in Böschungsfallrichtung mit einer Überlappung von 30 cm verlegt. Das Kunststoff-Geotextil ist nicht biologisch abbaubar, die Kokosmatte ist zwar sehr gut durchwurzelbar, aber nicht ausreichend filterstabil. Deshalb wurde die Kokosmatte nur in den oberen Böschungsbereichen, die seltener überflutet werden, eingebaut. Ein Filtervlies, das alle Anforderungen gleichermaßen erfüllt (Filterstabilität, Festigkeit, Durchwurzelbarkeit und biologische Abbaubarkeit) stand nicht zur Verfügung.

Eine weitere Kleinräumigkeit des Versuchsfeldaufbaus entstand letztendlich durch den Einsatz unterschiedlicher Pflanzmattentypen: die Pflanzmatten, die besonders hohe Verluste an Arten aufwiesen bzw. überwiegend Pflanzen von geringer Vitalität und Wurzelausprägung enthielten, wurden bereits vor Ort gegen Pflanzmatten aus dem Standardschema der Firma Ökon mit vergleichbarer Artenkombination ausgewechselt.

Die beauftragten Pflanzmatten und die Matten des Standardschemas wurden von der Firma mit unterschiedlichen Farben gekennzeichnet (Matten nach Auftrag: orange und blau, Matten aus Standardschema der Fa. Ökon: rot) (Bild 32). Im Hinblick auf die spätere Auswertung der Ergebnisse und deren Vergleichbarkeit wurde bereits bei der Bauausführung darauf geachtet, dass die unterschiedlichen Pflanzmattentypen jeweils den gleichen Anteil an den darunter liegenden Filtermatten vom Typ Schafwolle, Geotextil und Kokos haben.

Die einzelnen Bauweisen, Pflanzmattentypen und ihre Lage im Versuchsfeld werden im Folgenden genau beschrieben:

Die Steinschüttung wurde auf der gesamten Böschungsfläche oberhalb AZW - 0,5 m entfernt, danach wurde die Böschung auf 1:3 abgeflacht und das Planum hergestellt.

Im VF 7a (Bild 32) kommen bereits zwei unterschiedliche Filtervliese zum Einsatz, so dass sich das Feld 7a wiederum in einen 7a1- und 7a2-Abschnitt teilen lässt. Im oberstromig beginnenden Teil 7a1 wurde ein Schafwollvlies flächig auf die Böschung aufgelegt. Es reicht von AZW - 0,5 m bis AZW + 1,70 m und wurde am oberen Ende in einem Faschinengraben mit Totholzfaschinen im Verbund verpflockt.

Auf die Schafwollmatte wurden quer zur Fließrichtung (Schilf)Röhrichtmatten (Bild 32: Matten blau) verlegt, die mit verschiedenen Arten der Röhrichtzone von der Firma Ökon-Vegetationstechnik GmbH angezogen und vorkultiviert wurden (siehe vorherige Beschreibung). Da einige der gelieferten Pflanzmatten aufgrund der schlechten Qualität nicht eingebaut werden konnten, traten Materialengpässe auf, so dass das in der Ausführungsplanung vorgesehene Schema für das Verlegen der (Schilf)Röhrichtmatten nicht komplett eingehalten werden konnte. Es musste von daher im oberen Bereich (zu AZW +1,70 m hin) auf Mattenbahnen des Standardschemas der Firma (Bild 32: Matten rot) und Mattenbahnen, die von der Artenkombination für die VF 7b und 7c bestellt und vorgesehen waren, zurückgegriffen werden (Bild 32: Matten orange).

Der Abschnitt 7a2 wurde bezüglich der Pflanzmatten identisch zum Abschnitt 7a1 verlegt. Unter den Pflanzmatten befindet sich in diesem Bereich jedoch anstelle des Schafwollvlieses ein dünnes Kunststoff-Geotextil. Auch die Pflanzmatten enden wie das Geotextil im Faschinengraben. Im oberen Böschungsbereich (oberhalb Faschinengraben bis Böschungsoberkante) wurde eine Nassansaat mit Samen standortheimischer Gräser und Kräuter auf der Rohbodenfläche ausgeführt und anschließend mit einem Kokosgewebe flächig überdeckt. Alle Filtermatten enden im Faschinengraben und werden dort durch den Einbau der Totholzfaschinen und deren Verpflockung stabilisiert und zusammengehalten. Zusätzlich wurden die Pflanzmatten in einem engen Raster zur Sicherung verpflockt und mit Querriegeln befestigt. Die Kokosmatten über der Saat wurden nur mit einzelnen Pflöcken befestigt.

Der Bereich VF 7b beginnt am Böschungsfuß (um AZW) mit Vegetationswalzen, die in einen vorher ausgehobenen Graben verbaut wurden. In VF 7b wurde die Walze aus einem Kokosgewebe gefertigt. Das Innere der Walze setzt sich aus einem Kiesgemisch und Röhrichtballen zusammen. Nach dem Bau der Walze wurden die Wasserbausteine seitlich um die Walze wieder angedeckt. Im Anschluss an die Walzen wurde bis zur Böschungsoberkante ein Kunststoff-Geotextil als Filter auf das Planum verlegt, auf dem wiederum Pflanzmattenbahnen quer zur Fließrichtung verlegt, verpflockt und zusätzlich mit Querriegeln befestigt wurden. Die ursprünglich beauftragten Matten weisen eine ähnliche Artenzusammensetzung wie die Matten in VF 7a auf, Schilf ist hier jedoch nicht als dominante Art enthalten.

Auch im Versuchsfeld 7b konnte das ursprünglich geplante Verlegeschema der Pflanzmatten aus den gleichen Gründen wie in VF 7a nicht genau eingehalten werden. Auf der Böschungsfläche befinden sich somit in einem Teilbereich die von der BfG beauftragten Matten (Bild 33: Matten orange) und im zweiten Teilbereich Matten aus dem Standardprogramm der Firma Ökon mit ähnlicher Artenkombination (Bild 33: Matten rot).

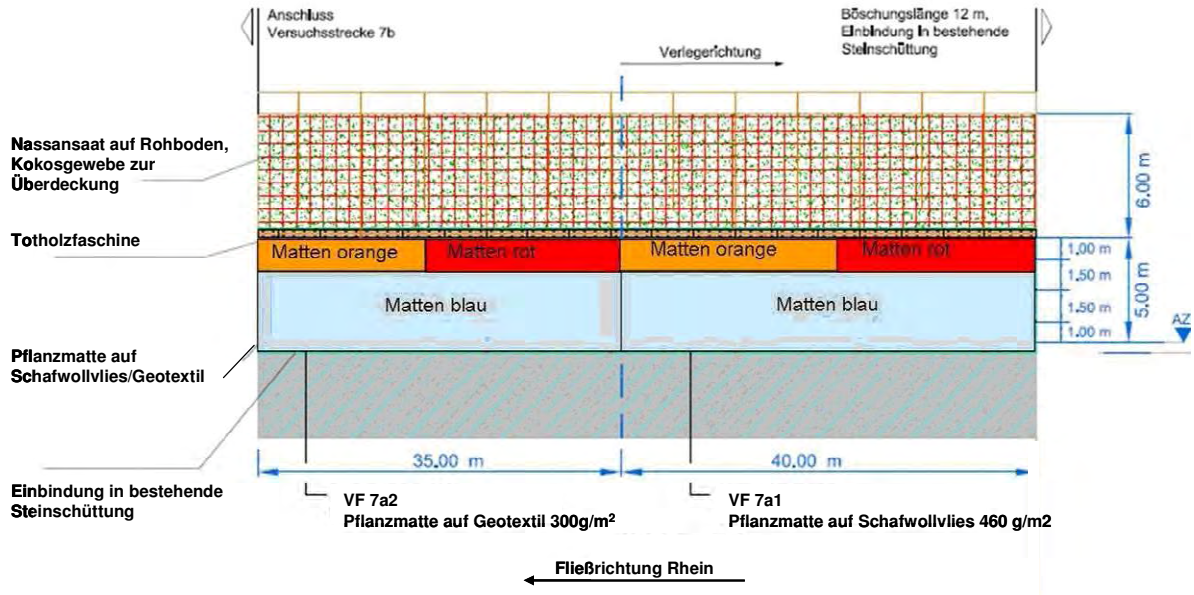


Bild 32: Systemskizze des Versuchsfeldes 7a (die einzelnen Mattentypen werden im Text erläutert)

Versuchsfeld 7c ist von den Sicherungsbauweisen gestaltet wie VF 7b. Die Ummantelung der Vegetationswalze wurde hier jedoch mit einem innen liegenden Schafwollvlies und äußeren Kokosgewebe hergestellt. Den Filter auf der Böschung bildet ein Schafwollvlies, auf dem die Pflanzmatten identisch zum VF 7b verlegt wurden. Die obere Pflanzmattenbahn setzt sich in VF 7b komplett und in VF 7c zur Hälfte aus Matten des Standardprogrammes der Firma Ökon zusammen. Alle Pflanzmatten im VF 7 wurden ohne Überlappung auf Stoß verlegt.

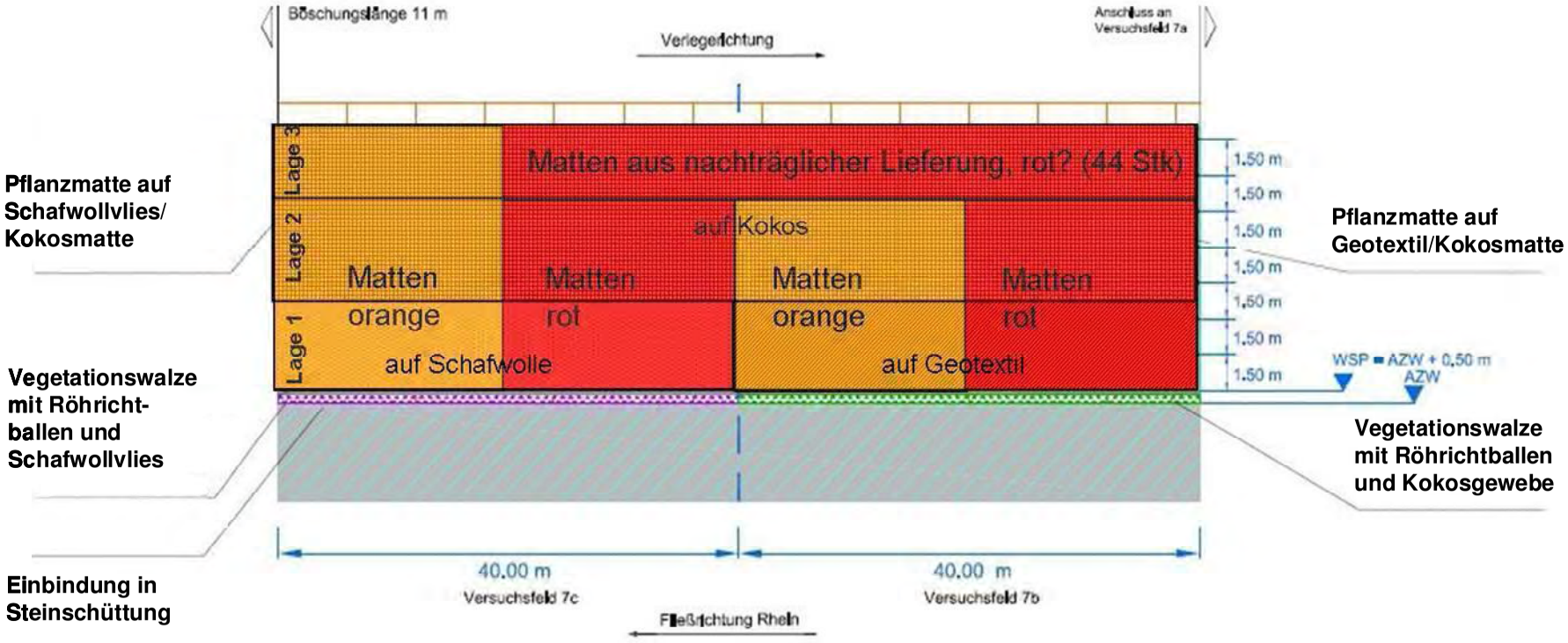


Bild 33: Systemskizze der Versuchsfeldabschnitte 7b und 7c (die einzelnen Mattentypen werden im Text erläutert)

Da viele der im Versuchsfeld 7 (a, b und c) verlegten Pflanzmatten Ausfälle bezüglich einzelner Pflanzenarten aufweisen, wurde nachträglich eine Nassansaat des gesamten Versuchsfeldes mit rasch keimenden Arten vorgenommen. Dabei wurde Saatgut schnell keimender Wintergetreidearten verwendet, die im Winter bestenfalls den Böschungsschutz durch den zusätzlichen Wurzelfilz unterstützen. Die Arten werden dauerhaft durch die standortheimischen Arten der Pflanzmatten ersetzt.

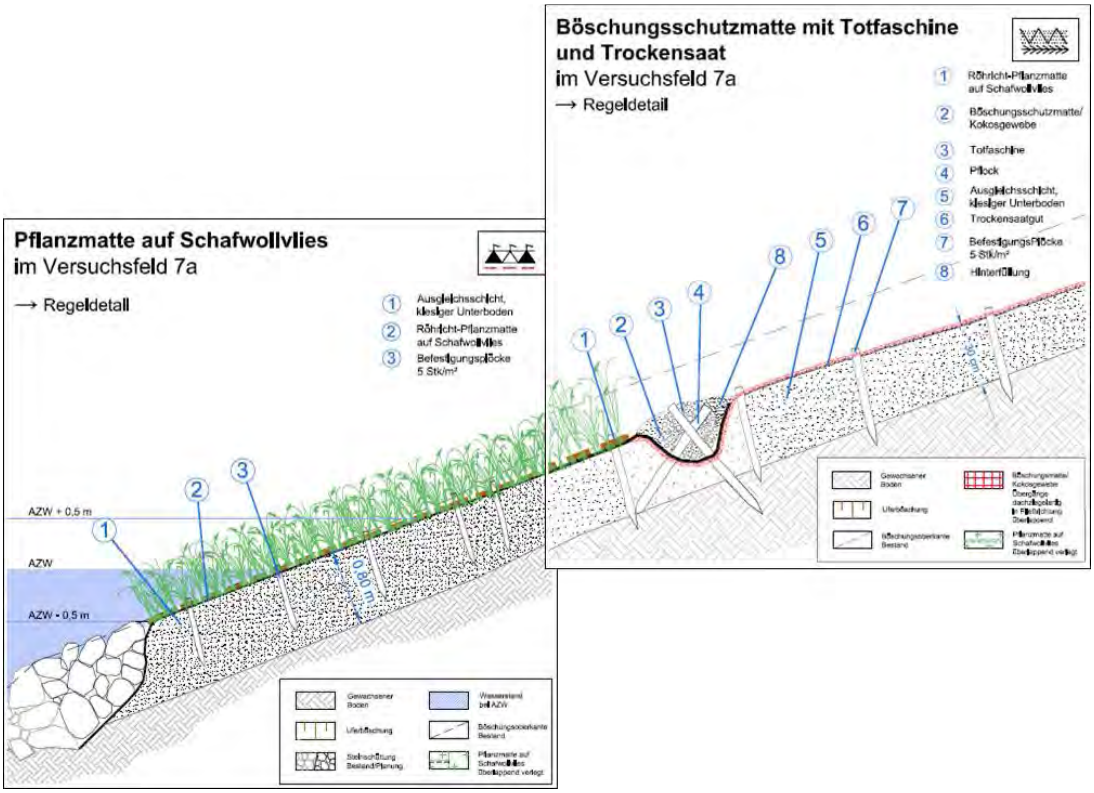
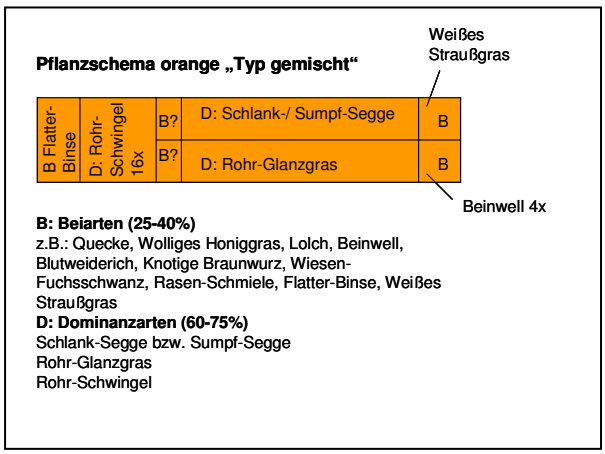


Bild 34: Regeldetail des Versuchsfeldabschnittes 7a1 (linke Bildhälfte: (Röhricht)Pflanzmatten auf Schafwollvlies; rechte Bildhälfte: Totholzfaschine, daran anschließend Planum mit Nassansaat und darüberliegender Kokosmatte) [2]



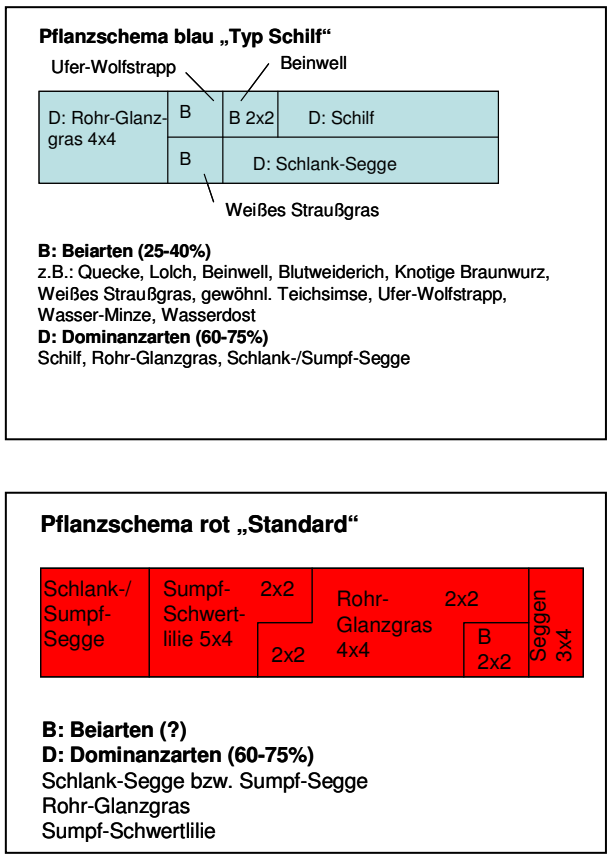


Bild 35: Systemskizze der in Versuchsfeld 7 eingebauten unterschiedlichen Mattentypen (L x B = 5 m x 1 m) mit den jeweiligen Bepflanzungsschemen (Tuffs)

Tab. 8: Details Versuchsfeld 7

Element	Material/ Pflanzenarten	Abmessungen	Einbaubereich
Schafwollvlies (7a1) (Fa. Baur)	filterstabil, biologisch abbaubar, durchwurzelbar	460 g/m^2	AZW - 0,5 m bis AZW + 1,70 m (VF 7a1)
Geotextil (7a2) HaTe, Typ M 300 (Fa. Huesker)	eingeschränkt filterstabil, durchwurzelbar, nicht biologisch abbaubar	300 g/m^2	AZW - 0,5 m bis AZW + 1,70 m (VF 7a2)
Schilf (Röhrichtmatten) (Matten blau) → ohne Zonierung vorkultiviert	Trägermaterial: Kokosfiltermatte mit Kokosgewebeumhüllung, bepflanzt mit 20 Stk/m^2 Pflanzen der Ufer- und Röhrichtzone Hauptarten: Schilf, Rohr-Glanzgras, Schlank-Segge	Länge: 5 m Breite: 1 m Dicke: ca. 4 cm	AZW - 0,5 m bis ca. AZW + 0,6 m (VF 7a1/7a2)

	(60-75%) + Mischung aus Arten der Röhrichtzone (25-40%) → bewachsen und durchwurzelt, bereichsweise vegetationslos durch Ausfall einzelner Arten!		
Röhrichtmatten (Matten rot) **→ Standardprogramm der Firma**	<u>Hauptarten</u>: Sumpf-Schwertlilie, Schlank-Segge, ggf. andere (60-75%) + Mischung aus Arten der Röhrichtzone, Gräser (25-40%) → vollflächig bewachsen und durchwurzelt		AZW + 0,6 m bis AZW + 1,7 m Einbindung in Faschinengraben (VF 7a1/7a2)
Röhrichtmatten (Matten orange) **→ ursprüngl. vorgesehen für VF 7b und c**	<u>Hauptarten</u>: Schlank-Segge, Rohr-Glanzgras, Rohr-Schwingel (60-75%) + Mischung aus Arten der Röhrichtzone (25-40%) → bewachsen und durchwurzelt, bereichsweise vegetationslos durch Ausfall einzelner Arten!		AZW + 0,6 m bis AZW + 1,7 m Einbindung in Faschinengraben (VF 7a1/7a2)
Totholzfaschine	totes, nicht austriebsfähiges Astmaterial (Laubholzäste mit Seitenzweigen), gebunden mit geglühtem Draht	Länge (Einzeläste): 200 bis 400 cm Ø (Einzeläste): 2 bis 5 cm Ø Faschine: 45 bis 55 cm	Etwa Böschungsmitte (VF 7a1/7a2)
Nassansaat	standortheimische Gräser und Kräuter: Weißes Straußgras, Rohr-Schwingel, Quecke, Wiesen-Fuchsschwanz, Rasen-Schmiele, Wolliges Honiggras, Lolch, Rohr-Glanzgras	ca. 20 g/m^2	obere Böschungshälfte (VF 7a1/7a2)

Kokosgewebe	nicht filterstabil, sehr gut durchwurzelbar, biologisch abbaubar	1000 g/m^2	
Vegetationswalze	Ummantelung: Kokosgewebe doppellagig, versteppt mit Jute Verfüllmaterial: Kies 5/32 Röhrichtballen (mehrtriebig, dicht durchwurzelt: Sumpf-Schwertlilie, Schilf, Gewöhnl. Teichsimse, Blut-Weiderich, Ufer-Wolfstrapp	Kokos mind. 1000 g/m^2 Jute 300 g/m^2 ca. 0,8 m^3/m^2 Abmessung Ballen: 10x15 cm (Ø x Höhe), Ballenvolumen ca. 1,2 l	AZW bis AZW + 0,5 m (VF 7b)
Geotextil HaTe, Typ M 300 (Fa. Huesker)	siehe VF 7a2	siehe VF 7a2	AZW + 0,5 m bis BOK (VF 7b)
Röhrichtmatten (Matten rot) **→ Standardpro-gramm der Firma**	siehe VF 7 a	siehe VF 7a	AZW + 0,5 m bis BOK (VF 7b)
Röhrichtmatten (Matten orange) **→ ursprüngl. vor-gesehen für VF 7b und c**	siehe VF 7a	siehe VF 7a	AZW + 0,5 m bis BOK (VF 7b)
Vegetationswalze	Ummantelung: Schafwollvlies und Kokos ansonsten wie VF 7b		AZW bis AZW + 0,5 m (VF 7c)
Schafwollvlies (Fa. Baur)	filterstabil, biologisch abbau-bar, durchwurzelbar	460g/m^2	AZW + 0,5 m bis BOK (VF 7c)
Röhrichtmatten (Matten rot) **→ Standardpro-gramm der Firma**	siehe VF 7 a	siehe VF 7a	AZW + 0,5 m bis BOK (VF 7c)
Röhrichtmatten (Matten orange) **→ ursprüngl. vor-**	siehe VF 7a	siehe VF 7a	AZW + 0,5 m bis BOK (VF 7c)

gesehen für VF 7b und c			
nachträgliche Nassansaat	Winterbegrünung mit Roggen-Trespe, Roggen, Dinkel und Winterweizen	20 g/m^2	VF 7 gesamt

3.2.7.2 Zielstellung

Allgemein

- Erprobung vorkultivierter Pflanzelemente unterschiedlicher Artenkombinationen (Pflanzmatten, Vegetationswalzen) und Ansaatverfahren (Nassansaat) auf ihre technische Wirksamkeit hinsichtlich der Gewährleistung der Uferstabilität und ihrer ökologischen Wirksamkeit
- Erprobung unterschiedlicher Filtermatten. Testvergleich biologisch abbaubarer, naturverträglicher Materialien (Schafwolle, Kokos) mit technischen Vliesen (Geotextil)
- Erprobung verschiedener Bauweisen unterschiedlicher Artenkombinationen (Vegetationswalzen, Pflanzmatten) auf ihre technische und ökologische Wirkweise

Gewährleistung Uferschutz

- Im Anfangsstadium Uferschutz durch flächige Belegung der Böschung mit gut am Boden befestigten Pflanz- und Kokosmatten, ausreichende Befestigung mittels Pflöcken und Querriegel Voraussetzung für Uferschutz im Anfangsstadium
- Filterstabilität durch verschiedene Filtermatten
- Mit zunehmender Wurzelbildung Verankerung der Pflanzmatten mit dem anstehenden Boden, Erhöhung der Scherfestigkeit des Bodens, Erhöhung der Böschungsstabilität

Ökologische Aufwertung

- Initiierung einer standortgerechten Ufervegetation (Röhrichte, Gräser im Weich- und Hartholzauenbereich)
- Aufwertung von Standortbedingungen zur Förderung der natürlichen Sukzession
- Schaffung von Lebensraumstrukturen für die Uferfauna, insbesondere Röhrichtbewohnern (z.B. Vögel, Insekten, Spinnen), bei höheren Wasserständen auch für die aquatische Fauna

3.2.7.3 Bauzeitraum

42.-48. Woche (Einbau in der Zeit vom 20.10.-30.11.11)

3.2.7.4 Fotodokumentation

Bild 36: Herstellung der Vegetationswalzen (links) mit Kokosummantelung und fertig eingebaute Vegetationswalzen (rechts), mit Wasserbausteinen beschwert, im Bereich AZW -0,5 m (aufgenommen links 20.10.11, rechts 2.11.11).

Bild 37: Versuchsfeld 7a1: mit Pflöcken und Querriegeln befestigte Pflanzmatten auf einer Filtermatte aus Schafwollvlies (8.11.11)

Bild 38: Versuchsfeld 7a: Überspannung der Nassansaat im Anschluss an den Faschinengraben mit Kokosgewebe (22.11.11)

Bild 39: Fertiggestelltes VF 7a (29.11.11, umgekehrte Blickrichtung wie in Bild 38)

Bild 40: Flächig verlegte Pflanzmatten in VF 7b (2.11.11)

Bild 41: Blick auf VF 7b. Es sind gut die beiden Teilbereich mit Mattentyp orange (links) und Mattentyp rot (rechts) zu erkennen (2.11.11).

3.2.7.5 Erste Einbauerfahrungen

Der Bau dieses Versuchsfeldes stellte sich insgesamt als schwierig und sehr arbeitsaufwändig heraus. Bereits im Vorfeld war ein großer Planungsaufwand für die rechtzeitige Bestellung und Vorzucht der Pflanzmatten notwendig. Die von Seiten der BfG festgelegte Artenzusammensetzung und das Pflanzschema wurden nur teilweise den Anforderungen entsprechend geliefert. Weiterhin traten Materialmängel und Materialengpässe auf, die zusätzliche Umplanungen erforderlich machten. Bezüglich des Schafwollvlieses gab es Probleme bei der Anzucht, da mit diesen neuartigen Materialien noch nicht genügend Praxiserfahrung bezüglich der Verwendung als Trägermaterial für die pflanzliche Anzucht, der Durchwurzelbarkeit, Zersetzung usw. besteht. Während der Anzucht sollten die Pflanzmatten bereits mit dem Schafwollvlies im Verbund in den Becken vorkultiviert werden. Aufgrund eines erhöhten Zersetzungsgrades und Fäulnisprozessen in den heißen Sommermonaten kam es zu Ausfällen von Pflanzenarten und der Hemmung des Wurzelwachstums der Pflanzen, was wiederum Umplanungen bedingte.

Abgesehen von den Schwierigkeiten bei der Vorkultivierung der Pflanzmatten birgt das Versuchsfeld, ähnlich wie VF 5, einen hohen Materialbedarf und großen Arbeitsaufwand für die ausreichende Befestigung der Filtervliese und Pflanzmatten mit Holzpflöcken und Querriegeln. Aufgrund der zum Teil im Untergrund vorhandenen Steine war es zusätzlich schwierig,

die Pflöcke bis zur erforderlichen Tiefe einzurammen. Es ist deshalb davon auszugehen, dass ein Teil der Pflöcke weniger als geplant in den Untergrund einbindet. Eine ausreichende Befestigung ist jedoch unbedingte Voraussetzung für die Gewährleistung der Uferstabilität im Anfangszustand.

Das Versuchsfeld weist aufgrund der beschriebenen Probleme keinen Optimalzustand nach Baufertigstellung auf. Dies hat zur Folge, dass die Bauweisen in höherem Maße anfällig gegenüber den beschriebenen Randbelastungen des Rheins sind. Eine Nachpflanzung der Ausfallstellen in den Mattenbahnen war aufgrund der Jahreszeit auch hier nicht möglich und kann erst im Frühjahr 2012 durchgeführt werden. Prinzipiell ist die Möglichkeit einer Nachpflanzung jedoch kritisch zu sehen wegen der unter den Pflanzmatten eingebauten Filtervliese. Ziel der kurzfristig zusätzlich beauftragten Nassansaat war es, die Ausfallstellen noch in den Wintermonaten mit schnell keimendem Wintergetreide bestmöglich zu kompensieren.

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

3.2.8.1 Beschreibung

Im Versuchsfeld 8 ist im Böschungsbereich oberhalb ca. AZW zum großen Teil noch altes Pflaster als Ufersicherung vorhanden. Der Fuß der Pflasterung wird durch die unterhalb von AZW vorhandene Steinschüttung aus losen Wasserbausteinen der Klasse $LMB_{5/40}$ /TLW, 2003/ geschützt. Dadurch war zum Teil bereits eine geringe wallartige Erhöhung vorhanden (siehe Bild 44). In dessen Schutz konnten sich im Bereich des Pflasters bereits Uferröhrichte entwickeln. Durch eine Erhöhung des Steinwalls um etwa 0,5 m auf AZW + 0,5 m soll dieser Schutz verbessert werden, um die natürliche Röhrichtsukzession weiter zu fördern. Eingebaut wurden die im Versuchsfeld 9 ausgebauten Wasserbausteine des alten Deckwerkes. Zur Anwendung kamen ein an der Böschungsoberkante stehender Langstielbagger und ein auf dem vorhandenen Pflaster fahrender Kompaktbagger. Bild 42 zeigt Auszüge aus der Ausführungsplanung [2].

Tabelle 9: Details Versuchsfeld 8

Element	Material/Pflanzenarten	Abmessungen
Steinwall	Wasserbausteine $LMB_{5/40}$	Oberkante: AZW + 0,5 m

3.2.8.2 Zielstellung

<u>Allgemein</u>

- Erhalt der im Bereich von altem Pflaster bereits vorhandenen Vegetation
- Untersuchung von Maßnahmen zur Reduzierung der Belastungen an der Uferböschung zur Förderung der natürlichen Sukzession

<u>Gewährleistung Uferschutz</u>

- Die vorhandene Steinschüttung und das alte Pflaster übernehmen weiter die Ufersicherung.
- Durch die Steinwallerhöhung wird die Wellenbelastung im Uferbereich reduziert.

<u>Ökologische Aufwertung</u>

- Förderung der Röhrichtsukzession
- Schutz der Ufervegetation durch Reduzierung der Strömungs- und Wellenbelastung

- Schaffung eines bei höheren Wasserständen geschützten Uferbereichs für die aquatische Fauna
- Förderung von Röhrichtbewohnern

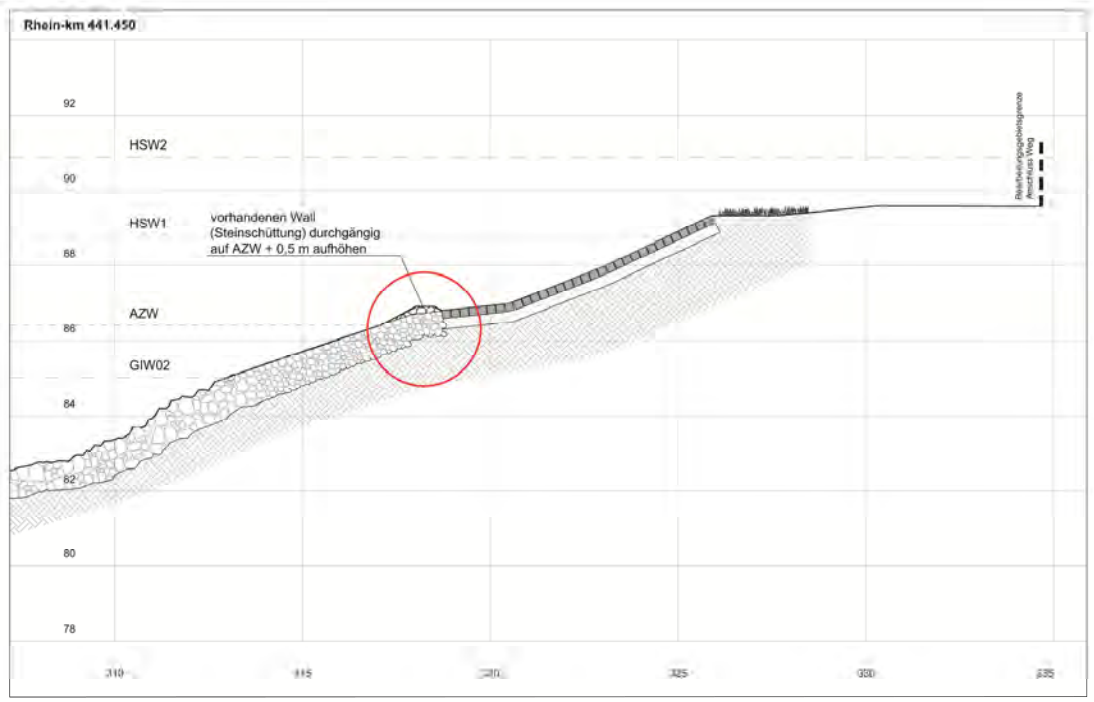


Bild 42: Böschungsquerschnitt – Versuchsfeld 8 [2]

3.2.8.3 Bauzeitraum

37. Woche (Einbau in der Zeit vom 12.09.11-16.09.11)

3.2.8.4 Fotodokumentation

Bild 43: Fertiggestelltes Versuchsfeld 8 (14.12.2011) , Blick vom Rhein aus

Bild 44: Versuchsfeld 8 vor Beginn der Baumaßnahme (22.04.2009)

Bild 45: Fertiggestelltes Versuchsfeld 8 (14.12.2011) mit Steinwall

3.2.8.5 Erste Einbauerfahrungen

Beim Einbau der Wasserbausteine mittels Kompaktbagger (7 t) war darauf zu achten, dass lokale Setzungen des vorhandenen Pflasters vermieden werden. Die Gefahr bestand, weil unter dem Pflaster durch Unterspülung örtlich Hohlräume vorhanden sind. Aufgetretene Schäden wurden beseitigt. Für das Arbeiten im Böschungsbereich mit schweren Geräten mussten mehrere Gehölze zurückgeschnitten werden.

3.2.9 Versuchsfeld 9: Entfernung der Steinschüttung, Zulassen freier Erosion und Sukzession, Ausfachungsbuhne, Setzstangen (Rhein-Km 441,475 bis 441,600 – 125 m VF-Länge)

3.2.9.1 Beschreibung

Das Versuchsfeld mit 125 m Länge verläuft am unterstromigen Ende der Versuchsstrecke im Gleithangbereich in größerer Entfernung zur Fahrrinne. In diesem Bereich nehmen die Belastungen aus Schifffahrt am Ufer deutlich ab, weshalb hier der Versuch unternommen wurde, die Böschung nach Rückbau der Steinschüttung im Böschungsbereich oberhalb AZW auf einer Fläche von ca. 110 m Länge ungesichert zu belassen. Das Ufer hat dort die Möglichkeit, sich naturnah zu entwickeln (Bild 48). Lediglich am Ende des Versuchsfeldes, d.h. am Übergang zum unveränderten Ufer mit Steinschüttung wurde eine Ausfachungsbuhne aus Baumstämmen in die Böschung eingebaut, mit Wasserbausteinen angedeckt und mit in Reihen quer zur Fließrichtung gebauten Buschlagen abgedeckt (Bild 47, 49). Die Ausfachungsbuhne soll das benachbarte Schifffahrtszeichen und die Ufertreppe vor Erosion schützen. Zur Begrenzung der Eigendynamik wurden oberhalb der Böschungsoberkante im Abstand von ca. 2 m Weidensetzstangen entlang des Betriebsweges eingebaut. Alle Details sind in Tabelle 10 gelistet.

Tabelle 10: Details Versuchsfeld 9

Element	Material/Pflanzenarten	Abmessungen
Ausfachungs-buhne aus Baum-stämmen	4 Stämme einheimischer Laubhölzer (Buche) + 4-5 Stämme einheimischer Laubhölzer (Buche)	Länge: 8 bis 10 m Ø: 70 bis 90 cm Länge: 5 bis 8 m Ø: 30 bis 40 cm
Buschlagen	lebende, möglichst gerade und gleichmäßig gewachsene Weidenäste Arten: Purpur-Weide, Korb-Weide, Silber-Weide, Kübler-Weide	Länge: 70 bis 90 cm Ø: 2 bis 4 cm
Weidensetzstangen	lebende, möglichst gerade und gleichmäßig gewachsene Weidenäste Arten: Silber-Weide, Korb-Weide	Länge: mind. 2 bis 2,50 m Ø: 10 bis 15 cm

3.2.9.2 Zielstellung

Allgemein

- Beobachtung der Entwicklung eines Ufers ohne Uferschutzmaßnahmen nach Entfernung der Steinschüttung
- Beobachtetes Zulassen von Erosionsprozessen

Gewährleistung Uferschutz

- Keine Uferschutzmaßnahmen
- Durch den Einbau von Weidensetzstangen und einer Baumstammfächerbuhne Begrenzung der Erosion, Schutz der Böschungsoberkante und des angrenzenden Betriebsweges und Schutz des angrenzenden Böschungsbereichs mit Schifffahrtszeichen und Ufertreppe

Ökologische Aufwertung

- Begrenztes Zulassen von Eigendynamik. Das Ufer wird sich im Laufe der Zeit abflachen, ggf. bilden sich natürliche Abbruchkanten
- Förderung der freien Sukzession
- Freilegen des Feinsubstrates durch die Spülwirkung des Wassers
- Förderung der Bodenfauna, insbesondere Arten offener sandiger bis kiesiger Standorte (z. B. Uferspezialisten bei den Laufkäfern)
- Schaffung von Nahrungshabitaten für Vögel
- ggf. Besiedlung der Abbruchkanten z.B. durch grabende Bienen und Wespen
- Ausfachungsbuhne als potentielles Besiedlungssubstrat z.B. für holzbewohnende Insekten
- Initiierung eines Gehölzbewuchses auf der Böschungsoberkante
- Erhöhung der Strukturvielfalt durch die Ausfachungsbuhne

3.2.9.3 Bauzeitraum

38.-49. Woche (Einbau in der Zeit vom 20.09.11 - 08.12.11)

3.2.9.4 Fotodokumentation

Bild 46: Böschung nach Entfernung der Steinschüttung (11.10.11)

Bild 47: Baumstämme (Buche), die zur Herstellung der Ausfachungsbuhne benötigt werden (11.10.11)

Bild 48: Ufererosionsprozesse nach einem höheren Wasserstand (20.10.11) – rot gekennzeichnet Einbauort der Ausfachungsbuhne

Im Bild 48 sind erste Ufererosionsprozesse nach einem kurzzeitigen Wasserspiegelanstieg auf etwa NN + 86,8 m (siehe Ganglinie im Bild 2) deutlich zu erkennen. Von dem unter der entfernten Steinschüttung anstehenden Konglomerat aus Steinen und Boden [5] wurden insbesondere die Feinteile ausgespült. Die Böschung hat sich im Überflutungsbereich sichtbar abgeflacht.

Bild 49: Ausfachungsbuhne mit oben anschließender Buschlage (8.11.11)

3.2.9.5 Erste Einbauerfahrungen

Das Versuchsfeld ließ sich problemlos herstellen. Auf die geplante Uferabflachung wurde verzichtet, Erosionsprozesse (leichte Abflachung des unteren Böschungsbereiches) waren nach dem ersten höheren Wasserstand bereits deutlich zu erkennen.

4. Monitoringkonzept

4.1 Grundsätzliches

Das Monitoring hat grundsätzlich zwei Zielstellungen:

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

Um eine Bewertung der technischen Wirksamkeit der Maßnahmen vornehmen zu können, müssen der Zustand der pflanzlichen und technischen Komponenten der einzelnen Ufersicherungsmaßnahmen und die Geometrie der Uferböschungen regelmäßig erfasst und bewertet werden. Dabei geht es in erster Linie um eine laufende Beurteilung des Zustandes und der Standsicherheit der Uferböschung. Als Grundlage werden die hydraulischen Belastungen infolge von Schifffahrt und Hochwasser bei unterschiedlichen Wasserständen in einzelnen Messkampagnen ermittelt.

Zur Bewertung der ökologischen Wirksamkeit wird die Entwicklung der Vegetation und ausgewählter Gruppen der Fauna in definierten Zeitabständen untersucht.

Sowohl die Überprüfung und Beurteilung der technischen Aspekte als auch die Untersuchung und Bewertung der ökologischen Aspekte bilden die Grundlage für die Gesamtbewertung der neu eingebauten technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen. Auf dieser Basis werden Anwendungsmöglichkeiten und ggf. -grenzen der alternativen technisch-biologischen Maßnahmen an Binnenwasserstraßen formuliert.

Zusätzlich werden alle Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen, die in den ersten 5 Jahren unabhängig von möglicherweise auftretenden Schäden durchgeführt werden, im Rahmen des Monitorings erfasst.

Das Monitoring dient auch dazu, rechtzeitig Unterhaltungs- bzw. Sanierungsmaßnahmen einleiten zu können, falls Uferinstabilitäten auftreten sollten. Bei den zu erwartenden Belastungen wird zwar davon ausgegangen, dass die geplanten Maßnahmen einen ausreichenden Uferschutz bieten werden. Da es sich jedoch um einen Naturversuch handelt, können Schäden im Vorfeld nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden. Anzeichen dafür sollen im Rahmen des Monitorings frühzeitig erkannt werden. Die sich daraus ergebenden Sanierungsmaßnahmen werden detailliert dokumentiert.

Im Einzelnen umfasst das Monitoring folgende Untersuchungsschwerpunkte:

- Uferstabilität
- Hydraulische Belastungen
- Klimadaten
- Vegetation
- Fauna
- Pflegemaßnahmen
- Schäden/ Sanierungsmaßnahmen

Alle Beobachtungen, Messergebnisse und Daten werden in einem Tagebuch, das über die gesamte Monitoringzeit geführt wird, dokumentiert.

Die Tabelle in der Anlage 2 gibt einen Überblick über die gesamten Monitoringmaßnahmen.

4.2 Uferstabilität

Zur Beurteilung der Uferstabilität sind die folgenden Untersuchungen vorgesehen:

Uferinspektion: Visuelle Begutachtung der Ufersicherungsmaßnahmen

Der Erhaltungszustand der pflanzlichen und technischen Komponenten der Ufersicherungsmaßnahmen wird während verschiedener, in zeitlichen Abständen durchzuführender Begehungen dokumentiert. Hinsichtlich einer Beurteilung des Zustandes der Ufersicherungen werden besonders mögliche Schäden, Fehlstellen, Böschungsverformungen, Erosionserscheinungen, Rutschungen u. ä. festgehalten. Die Ergebnisse werden schriftlich im Monitoring-Tagebuch dokumentiert, mit fotografischen Aufnahmen belegt und in Bezug auf die Stabilität der Ufer ausgewertet. Die Uferinspektionen erfolgen nach Bauabschluss und in den ersten 5 Jahren danach in einem vierteljährlichen Rhythmus. Zusätzliche Begehungen sind nach größeren Hochwasserereignissen, Starkregen, Trockenzeiten und anderen extremen Ereignissen vorgesehen.

Fotodokumentation: Fotografische Aufnahmen einzelner Versuchsfelder

Einzelne Versuchsfelder werden in zeitlichen Abständen vom Wasser aus fotografisch aufgenommen, um die Entwicklung der pflanzlichen Komponenten systematisch zu dokumentieren. Die ersten Aufnahmen für die Versuchsfelder 5 und 7 erfolgten nach Fertigstellung bereits am 18.11.2011.

Fotodokumentation: Fotografische Panorama-Aufnahmen

Zu Vergleichszwecken erfolgten bereits 2010 und 2011 mehrere Aufnahmen zur Dokumentation des vor den Baumaßnahmen vorhandenen Ausgangszustandes zu verschiedenen Jahreszeiten. Die Aufnahmen wurden immer in gleicher Weise vom gleichen Standort am gegenüber liegenden Ufer aus durchgeführt. Während der Bauausführung wurden diese Aufnahmen einmal monatlich wiederholt. Im Rahmen des Postmonitorings sind etwa zwei- bis dreimal jährlich Aufnahmen zu unterschiedlichen Jahreszeiten vorgesehen, um die Entwicklung der einzelnen Maßnahmen im Gesamtüberblick zu dokumentieren. Zusätzliche Aufnahmen können nach besonderen Ereignissen, wie beispielsweise Hochwasserereignissen oder Starkregen, erforderlich sein.

Vermessung: Querprofileinmaße/ terrestrische Vermessung der Uferbereiche

Der Ausgangszustand vor Beginn der Baumaßnahmen wurde bereits vermessungstechnisch aufgenommen. Nach Bauabschluss erfolgt eine Abnahmevermessung durch die Fa. Intermetric, mit der der Ausgangszustand der neuen Ufersicherungen als Vergleichsgrundlage für die folgenden Vermessungen dokumentiert wird. Einmal jährlich ist in gleicher Weise die gesamte Böschungsgeometrie (einschließlich des Unterwasserbereichs) einzumessen und hinsichtlich möglicher Veränderungen, insbesondere Verformungen und Erosionserscheinungen, auszuwerten. Zusätzliche Vermessungen können aufgrund der Ergebnisse der Uferinspektion und nach besonderen Ereignissen, wie beispielsweise Hochwasserereignissen oder Starkregen, erforderlich sein.

Porenwasserdruckmessungen im Boden im Versuchsfeld 3 :

Der während einer Schiffspassage auftretende Wasserspiegelabsunk kann im Uferbereich zu Porenwasserüberdrücken im anstehenden Boden führen. Die Größe der Porenwasserüberdrücke bestimmt maßgeblich die Standsicherheit der Uferböschung. Unter den Weidenspreitlagen wurden im November 2011 im Versuchsfeld 3 bei km 440,900 insgesamt 17 Druckmessdosen in 2 Messquerschnitten in verschiedenen Tiefen unterhalb der Böschungsoberfläche eingebaut. Ein Messpunkt liegt im Schnittpunkt der Böschungsoberkante mit AZW (MP1a), ein zweiter mit AZW + 1,50 m (MP1b). Jeweils 5 Druckmessdosen wurden bei MP1 und MP2 in einem senkrechten Bohrloch in Tiefen von 0,00 m, 0,10 m, 0,20 m, 0,40 m und 0,70 m unter der Böschungsoberfläche angeordnet (Anlage 3). Die Messungen erfolgen im MP1 überwiegend redundant über 10 Druckmessdosen. Zusätzlich werden 2 Druckmessdosen im Schüttsteindeckwerk in Höhe AZW - 0,5 m zur redundanten Messung der Wasserspiegelauslenkung bei Schiffsvorbeifahrt angeordnet (MP2). Die Kabel wurden über Leerrohre zur Böschungsoberkante und hier in einen Sicherungskasten, der am Km-Schild befestigt ist, geführt. Zur Durchführung der Messungen können entspre-

chende Geräte angeschlossen werden. Die Messungen erfolgen in einzelnen Messkampagnen bei verschiedenen Rheinwasserständen (mehrmals jährlich) und gleichzeitig bei allen Messungen zur hydraulischen Uferbelastung (siehe Punkt 2.3). Die Ergebnisse liefern wichtige Hinweise darüber, wie die Wurzeln der pflanzlichen Sicherungsmaßnahmen in verschiedenen Entwicklungsstadien den Porenwasserüberdruck im Boden und damit die Böschungsstabilität beeinflussen. Die gemessenen Porenwasserdrücke sind außerdem Eingangsgröße für Berechnungen und Beurteilungen zur Böschungsstandsicherheit bei Schiffsvorbeifahrt.

4.3 Hydraulische Belastungen infolge Schifffahrt

Die hydraulischen Uferbelastungen infolge Schifffahrt wurden bereits im Vorfeld im August 2009 in einem Zeitraum von 7 Tagen bei Wasserständen zwischen AZW und AZW - 0,5 m von der Fa. Schmid im Auftrag der BAW gemessen und in einem Bericht dokumentiert [6].

Ab 2012 ist vorgesehen, weitere Messkampagnen zur Erfassung der hydraulischen Uferbelastungen infolge Schifffahrt insbesondere bei den Wasserständen HSW I und HSW II durchzuführen. Aufgrund der sehr großen Wasserspiegelschwankungen von bis zu ca. 6 m zwischen GIW und HSWII sind die hydraulischen Uferbelastungen infolge Schifffahrt sehr stark vom jeweiligen Wasserstand abhängig. Da die Versuchsstrecke in einem Prallhangbereich mit nahe am Ufer liegender Fahrrinne beginnt und stromab in einem Gleithangbereich (Fahrrinne weit weg vom Ufer) endet, sind die Uferbelastungen auch in den einzelnen Versuchsfeldern unterschiedlich groß. Die genaue Kenntnis der hydraulischen Belastungen ist eine wichtige Grundlage für die Beurteilung der Belastbarkeit der einzelnen Ufersicherungsmaßnahmen hinsichtlich Erosion und Böschungsstandsicherheit. Gleichzeitig ist vorgesehen, die Rauheit der unterschiedlichen technisch-biologischen Ufersicherungen im Vergleich zur Rauheit einer Steinschüttung zu beurteilen. Die sich mit zunehmendem Wachstum der Vegetation verändernde Böschungsrauheit in den neu gestalteten Versuchsfeldern hat wiederum Einfluss auf die ufernahen Strömungsgeschwindigkeiten und Wellenhöhen. Deshalb werden die Messungen bei etwa gleichen Wasserständen nach ca. 2 und 4 Jahren wiederholt.

Bei den einzelnen Messkampagnen sollten bei den jeweilig vorherrschenden Wasserständen die schiffsinduzierten Belastungen gemessen werden. Für die Messung werden drei bis vier Abschnitte ausgesucht. Die Messungen werden in den Streckenabschnitten durchgeführt, in denen pflanzliche Ufersicherungen eingebaut wurden, die besonders sensibel auf die Uferbelastungen reagieren. Dies sind die Versuchsfelder 2, 3, 5 und 7.

Bei den einzelnen Messkampagnen werden folgende Größen gemessen und dokumentiert:

- **Erfassung der Schiffsflotte** inklusive der Schiffsabmessungen, Abladetiefen, der Uferabstände und der Schiffsgeschwindigkeiten, gemessen mit einem digitalen Radarerfassungssystem
- **Messung der schiffsinduzierten ufernahen Wellenhöhen** wie Bug-, Heck- und Sekundärwellenhöhen mittels Drucksonden. Je nach Wasserstand werden pro Querprofil 2 bis 4 Messstellen im Bereich der neuen technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen eingerichtet. Die Messstellen werden ca. 2 m voneinander entfernt (quer zur Fließrichtung) angeordnet, wobei die landseitig äußerste Messstelle ca. 0,5 m unter dem aktuellen Wasserspiegel liegen muss (Anlage 4, oberes Bild). An jeder Messstelle werden redundant zwei Drucksonden angebracht.
- **Messung der schiffsinduzierten (und natürlichen) ufernahen Strömungsgeschwindigkeiten** in drei Raumrichtungen mittels Strömungssonden in den o. g. Messquerschnitten. Dabei wird zunächst aus der strömungsparallelen Geschwindigkeitskomponente die Rückströmung zur Beurteilung der Uferbelastung hinsichtlich Erosion ermittelt. Zusätzlich wird die Geschwindigkeitskomponente quer zur Hauptströmungsrichtung bestimmt, aus der die Rauheit der Ufersicherung ermittelt werden kann. Da die schiffsinduzierten Strömungsbelastungen von der natürlichen Strömung überlagert werden, enthalten die Messergebnisse beide Einflüsse auf das Ufer. Die Messsonden werden jeweils in 3 m Abstand in Böschungsfallrichtung im Bereich der neuen technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen platziert, wobei die oberste Sonde drei Meter vom Schnittpunkt der aktuellen Wasserspiegellinie mit der Böschungsoberfläche angeordnet wird (Anlage 4, unteres Bild). Zu Vergleichszwecken wird außerdem eine Sonde unterhalb AZW auf der vorhandenen Steinschüttung platziert - etwa auf halber Höhe zwischen Sohle und AZW. Da zur Ermittlung der Rauheiten drei Messpunkte in der Querrichtung benötigt werden, ist die Auswertung der Quergeschwindigkeiten nur bei ausreichend hohen Wasserständen (ca. ab HSW I) sinnvoll.
- Um die Reaktion der neuen Ufersicherungsmaßnahmen auf die natürlichen und schiffsinduzierten hydraulischen Belastungen aufzuzeichnen, werden **Videoaufnahmen der am Ufer auftreffenden Wellen** durchgeführt.

4.4 Gewässerhydraulik

Zusätzlich zu den hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt treten am Ufer hydraulische Belastungen infolge der natürlichen Flussströmung auf, die ebenfalls gemessen und dokumentiert werden. Die Rheinwasserstände werden kontinuierlich am Pegel Worms aufgezeichnet und stehen dementsprechend für Auswertungen zur Verfügung. Aus der Ganglinie können u. a. maximale und minimale Wasserstände, Dauer von Überflutungen der neuen Ufersicherungsmaßnahmen und Trockenzeiten ermittelt werden. Diese Angaben sind wich-

tig für die Beurteilung der Entwicklung der pflanzlichen Ufersicherungskomponenten, aber auch der natürlichen Sukzession und der faunistischen Besiedlung.

Am 15. Januar 2011 erfolgte durch die Fa. Schmid im Auftrag der BAW eine Messung der ufernahen Strömungsgeschwindigkeiten während eines Hochwasserereignisses (Pegel Worms: NN + 89,85 m). Die Ergebnisse sind in einem Messbericht dokumentiert [8].

Im Rahmen der ab 2012 vorgesehenen Messkampagnen zur Bestimmung der hydraulischen Uferbelastung infolge Schifffahrt (siehe Punkt 4.3) werden zusätzlich die Fließgeschwindigkeiten im gesamten Flussquerschnitt in den o. g. Messpunkten mittels einer ADCP-Anlage gemessen. Damit steht neben den ufernahen Strömungsgeschwindigkeiten, die für die Beurteilung der natürlichen und schiffsinduzierten hydraulischen Belastung unmittelbar am Ufer erforderlich sind, auch die Geschwindigkeitsverteilung im gesamten Flussquerschnitt zur Verfügung. Diese kann zur Beurteilung von zulässigen Strömungsgeschwindigkeiten für pflanzliche Ufersicherungen aus der Literatur, die sich in der Regel auf das Hauptgerinne beziehen, herangezogen werden.

4.5 Klimadaten

Da bei den technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen zum großen Teil lebende pflanzliche Komponenten verwendet werden, haben auch klimatische Faktoren Einfluss auf deren Entwicklung und somit auf deren Uferschutzfunktion. Insbesondere Temperatur und Niederschläge sind für spätere Auswertungen zu dokumentieren. Ggf. können die Daten von der Wetterstation der FH Worms zur Verfügung gestellt werden (http://wetter.fh-worms.de).

4.6 Vegetation

Aufgrund der Neuartigkeit der Maßnahme sind die Untersuchung, Bewertung und Dokumentation der Entwicklung der Pflanzen/Pflanzengemeinschaften in den neuen technisch-biologischen Ufersicherungen notwendig. Darüber hinaus wird das Besiedlungspotenzial der neu gestalteten Uferabschnitte untersucht. Im Vordergrund stehen dabei die Uferabschnitte, in die Strukturen zur Förderung einer natürlichen Sukzession standortheimischer Pflanzenarten eingebracht wurden.

Bereits im Frühjahr 2009 wurde eine vegetationskundliche Ist-Zustandserhebung durchgeführt, bei der die Artenzusammensetzung und Zonierung der Arten im Uferbereich vor Beginn der Baumaßnahme erfasst wurden. An den Ergebnissen der Ist-Zustandserhebung orientierte sich die Artenauswahl und Ansiedlungsweise (Zonierung), die für die pflanzlichen

Sicherungselemente der neuen technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen festgelegt wurden. Weiterhin lassen sich bei einem späteren Vergleich der Ist-Zustandserhebung mit den einzeln umgestalteten Uferabschnitten Aussagen über die Wirksamkeit der pflanzlichen Elemente und das Besiedlungspotenzial technisch-biologischer Ufersicherungen ableiten.

Das zunächst für den Zeitraum von fünf Jahren geplante Monitoring beinhaltet eine Bestandserhebung der Vegetation unmittelbar nach dem Bau der Maßnahme sowie nach festgelegten Zeitintervallen, die im Laufe des Monitorings bestimmt werden. Dabei erfolgen mehrere Begehungen pro Jahr (Frühjahr, Sommer, evtl. Herbst). Die Untersuchungen erfolgen in den neun unterschiedlich technisch-biologisch gesicherten Uferabschnitten und zum Vergleich in zwei Referenzstrecken (jeweils 100 m Referenzstrecken am unter- und oberstromigen Ende der Versuchsstrecke) auf der gesamten Uferböschung bis zum Betriebsweg. Es werden dabei eine flächendeckende Biotoptypenkartierung durchgeführt, strukturelle Parameter, die Vitalität der Pflanzen sowie dominante, charakteristische, seltene, gefährdete und geschützte Pflanzenarten erfasst. Weiterhin erfolgen in ausgewählten Uferabschnitten Transektaufnahmen, die Kontrolle auf unerwünschte Neophyten und eine Fotodokumentation.

Neben der Bewertung der Entwicklung und des Besiedlungspotenzials können mit Hilfe der Untersuchungen Aussagen über die Eignung verschiedener pflanzlicher Bauweisen, Pflanzenarten und Ansiedlungsweisen im Hinblick auf die Uferschutzfunktion und hydraulische Belastbarkeit unter den gegebenen Randbedingungen getroffen werden. Weiterhin kann der Beitrag der technisch-biologischen Ufersicherungen zur ökologischen Aufwertung der Ufer bewertet werden.

Auf Grundlage einer Dokumentation der pflanzlichen Entwicklung im Jahr nach der Fertigstellung der Versuchsstrecke werden erste Empfehlungen für eine an den Standort angepasste Pflege der pflanzlichen Sicherungselemente erarbeitet, in den Jahren des Monitorings überprüft und ggf. angepasst.

Es erfolgt eine Auswertung und zeichnerische Darstellung aller Daten mit einer abschließenden Beurteilung der einzelnen pflanzlichen Ufersicherungsmaßnahmen einerseits hinsichtlich der Gewährleistung eines ausreichenden Uferschutzes und andererseits hinsichtlich der ökologischen Anforderungen, z. B. aufgrund der Wasserrahmenrichtlinie.

4.7 Fauna

Als Indikatoren zur Beurteilung der technisch-biologischen Ufersicherungen wurden Vögel, Laufkäfer, Spinnen, Reptilien, Makrozoobenthos und Fische ausgewählt. Das Monitoring umfasst die Ist-Zustandserfassung vor Beginn der Baumaßnahmen (Prämonitoring) und Erfolgskontrollen nach Fertigstellung der Versuchsstrecke (Postmonitoring). Als Referenz wurde der stromab angrenzende Uferabschnitt mit einer Länge von 300 m ausgewählt.

Die Erfassung des Ist-Zustandes wurde im Zeitraum von April bis Oktober 2010 durchgeführt. Um das Besiedlungspotential der terrestrischen Fauna zu ermitteln, wurden neben der Versuchs- und Referenzstrecke auch umliegende Biotope wie Röhrichte und Wiesenstandorte untersucht.

Das Postmonitoring wird sich auf die Versuchs- und Referenzstrecke beschränken. Mit Ausnahme der Fische beginnen die Erfolgskontrollen im Frühjahr 2013, wenn sich die Baustelleneinflüsse reduziert haben und die Vegetationsentwicklung in der Versuchsstrecke eingesetzt hat. Das Fischmonitoring beginnt bereits im Frühsommer 2012 und wird im Jahr 2013 fortgesetzt werden. Weitere Untersuchungen zur Fauna schließen sich in den Jahren 2014 und 2016 an, so dass Daten zur Besiedlung aus dem 2., 3. und 5. Jahr nach Fertigstellung der Versuchsstrecke vorliegen werden (Fische 1., 2., 3. und 5. Jahr).

Für jede Tiergruppe wird ein Erfassungsdesign festgelegt, das über die Jahre beibehalten wird und so die Vergleichbarkeit der Daten gewährleistet. Wenn möglich werden die Methoden und Erfassungszeiten der Erfolgskontrollen entsprechend denen der Ist-Zustandserfassung gewählt. Die Kartierung der Brutvögel wird mit einer Kombination aus Transektlinienerfassung und Revierkartierung bei fünf Begehungen pro Jahr im Zeitraum von April bis Ende Juni durchgeführt. Laufkäfer und Spinnen werden je Untersuchungsjahr mit Bodenfallen in drei jeweils zweiwöchigen Fangperioden im Frühjahr/Frühsommer und zwei zweiwöchigen Fangperioden im Herbst erfasst. Sichtbeobachtungen von Reptilien werden bei jeweils drei Begehungen im Jahr im Frühjahr und Sommer notiert. Die Fischgemeinschaft wird abhängig vom Wasserstand im jeweiligen Untersuchungsjahr im Juni und September per Elektrofischerei mit der Point-Abundance-Methode ermittelt. Die Bereiche hinter den Steinwällen in den Versuchsfeldern 1 und 8 und die Totholzstrukturen (Faschinen, Baumstämme) sollten dabei deutlich unter Wasser liegen. Gleiches gilt für die Untersuchung des Makrozoobenthos, die i. d. R. im Frühjahr oder Frühsommer jeden Untersuchungsjahres durchgeführt wird. Die Ist-Zustandserfassung vor Beginn der Baumaßnahme erfolgte im Zuge des Langzeitmonitorings des Makrozoobenthos am Rhein im Mai 2010 per Greifer-Proben. Im Postmonitoring werden die Versuchsfelder einzeln mit verschiedenen Methoden (Greifer-Proben, Kick-Sampling, Absammeln) untersucht, wobei besonderes Augenmerk auf die Totholzstrukturen gelegt wird.

Insgesamt soll für alle Tiergruppen das Potential von technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen zur Förderung von Arten(gruppen) und zur Erhöhung der Biodiversität untersucht und bewertet werden.

4.8 Pflegemaßnahmen

Alle Pflegemaßnahmen, die in den ersten 5 Jahren nach Bauabschluss durchgeführt werden, werden detailliert schriftlich und fotografisch dokumentiert: Art und Ort der Maßnahmen, Ausführungszeit, Ausführungsdauer, Zielstellung und Kosten.

Mit Fertigstellung der Baumaßnahme im Dezember 2011 erfolgt zunächst die Fertigstellungspflege bis zur nächsten Vegetationsruhe Oktober 2012 durch die Baufirma. Eine Entwicklungspflege in den folgenden beiden Jahren 2013 und 2014 ist nicht zu erwarten. Gegebenenfalls ist eine Neophytenbekämpfung erforderlich. Ein erster Gehölzrückschnitt ist abhängig von der Wuchsleistung der Weiden durchzuführen. Ggf. kann die Wuchsleistung und Wurzelentwicklung der Weiden mit einem Rückschnitt nach 3 Jahren gefördert werden. Danach ist Gehölzrückschnitt voraussichtlich im 5-Jahres-Turnus durchzuführen. Eine Dokumentation der Aufwendungen über das Jahr 2016 hinaus ist unbedingt erforderlich.

4.9 Schäden/ Ufersanierungsmaßnahmen

Jegliche Sanierungsmaßnahmen, die im Bereich der Versuchsstrecke aufgrund von Schäden erforderlich werden sollten, werden detailliert schriftlich und fotografisch in dem bereits unter Punkt 4.1 genannten Tagebuch dokumentiert. Dabei werden nicht nur die einzelnen Schäden und Sanierungsmaßnahmen präzise beschrieben (Ort, Zeit, Ausführungsdauer, Umfang, Bestandteile usw.), sondern auch der finanzielle Aufwand vermerkt. Außerdem sind die Maßnahmen nach Fertigstellung fotografisch festzuhalten. Eine Dokumentation der Aufwendungen über das Jahr 2016 hinaus ist unbedingt erforderlich.

4.10 Auswertung und Beurteilung der Monitoringergebnisse

Alle Ergebnisse des Monitorings werden einmal jährlich von BAW und BfG in Zusammenarbeit mit dem WSA Mannheim ausgewertet und beurteilt und bilden u. a. die Grundlage für die jährlichen Berichte zur Versuchsstrecke an das BMVBS (jeweils Anfang des Jahres). 2016 erfolgt eine Gesamtbewertung in einem ausführlichen Gutachten nach einer Betriebsdauer von 5 Jahren. Ein weiterführendes Monitoring über das Jahr 2016 hinaus ist aus jetzi-

ger Sicht erforderlich, die einzelnen Maßnahmen und Zeitintervalle werden in Abhängigkeit der Ergebnisse festgelegt.

5. Ausblick

Aus den Ergebnissen zur Versuchsstrecke werden wichtige Erkenntnisse zu Anwendungsmöglichkeiten technisch-biologischer Ufersicherungen an großen Flüssen wie dem Rhein, aber auch allgemein an Wasserstraßen erwartet. Die getesteten verschiedenen Ufersicherungsmaßnahmen werden u. a. hinsichtlich Einbaubedingungen, Einbauzeiten, Belastbarkeit im Anfangszustand und längerfristig, Überstautoleranzen, Unterhaltungsmaßnahmen, aber auch hinsichtlich Herstellungs- und Unterhaltungskosten beurteilt. Zusammen mit den bereits vorhandenen Erfahrungen aus der Versuchsstrecke Stolzenau an einem staugeregelten kleineren Fluss werden Empfehlungen für weitere Anwendungen an Wasserstraßen erarbeitet.

Es ist vorgesehen, in einem ersten Schritt einzelne „Steckbriefe“ zu den bisher getesteten Maßnahmen zu erstellen und über das Internetportal, das vor einigen Jahren von der BAW und BfG zur Thematik der technisch-biologischen Ufersicherungen an Bundeswasserstraßen eingerichtet wurde, zu veröffentlichen (http://ufersicherung.baw.de/de/index.html). Damit können zunehmend bessere Grundlagen für die Anwendung naturnaher technisch-biologischer Ufersicherungsmethoden an Wasserstraßen zur Verfügung gestellt werden.

Karlsruhe/ Koblenz/ Mannheim, 25.01.2012

Ansprechpartner

BAW: Petra Fleischer, 0721/ 9726-3570, petra.fleischer@baw.de
BfG: Hubert Liebenstein, 0261/ 1306-5445, Liebenstein@bafg.de
WSA: Marc Hannig, 0621/ 1505-330, Marc.Hannig@wsv.bund.de

Literatur

[1] BAW/ BfG: Errichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer - Empfehlungen für die Ausführung der Ufersicherungen, 7.5.2010

[2] Stowasser/ Geitz: Errichtung einer Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen; Rhein km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – Ausführungsplanung, 21.6.2011

[3] BAW: Versuchsstrecke Rhein, km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer; Studie zur Gesamtstandsicherheit der Uferböschung im Bereich der Versuchsstrecke, Schreiben der BAW vom 7.12.2010 (Az.: 2410/A39520410151)

[4] BAW: Versuchsstrecke Rhein, km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer; Ergänzende Untersuchungen zur Gesamtstandsicherheit der Uferböschung im Bereich der Versuchsstrecke unter Berücksichtigung einer Verkehrslast, Schreiben der BAW vom 27.07.2011 (Az.: 2410/A39520410151)

[5] BAW: Versuchsstrecke am Rhein, km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer; Untersuchungen vor Ort zum vorhandenen Deckwerk am 14.04.2010, BAW-Vermerk vom 26.7.2010

[6] BAW: Versuchsstrecke Rhein, km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer; Dimensionierung Kornfilter für Versuchsabschnitt 5, Schreiben der BAW vom 15.3.2011 (Az.: 2410/A39520410151)

[7] Schmid: Bericht zu den Verkehrsbeobachtungen am Rhein bei Worms bei km 441, Messungen im August 2009, Ingenieurbüro Schmid Kapsweyer, 16.3.2009

[8] Schmid: Bericht zu den hydraulischen Untersuchungen auf dem Rhein bei HW im Bereich Rhein-km 440,600 bis km 441,600, Messungen vom 15. Januar 2011, Ingenieurbüro Schmid Kapsweyer, 19.4.2011

Verwendete Abkürzungen

AZW	Ausbauzentralwasserstand
B	Breite
BAW	Bundesanstalt für Wasserbau
BfG	Bundesanstalt für Gewässerkunde
BOK	Böschungsoberkante
CP	Coarse Particles (Größenklasse Wasserbausteinen)
GlW	Gleichwertiger Wasserstand
H	Höhe
HSW	Höchst schiffbarer Wasserstand

H_{uB}	Bugwellenhöhe
H_{uH}	Heckwellenhöhe
HW 1	Hochwassermarke 1 (Anmerkung: in Anlage steht noch HSW1)
HW 2	Hochwassermarke 2 (Anmerkung: in Anlage steht noch HSW2)
L	Länge
lfm	Laufmeter
LMB	Light Mass Kategorie B (Gewichtsklasse Wasserbausteine)
MP	Messpunkt
NN	Normal Null
PWD	Porenwasserdruck
Stk	Stück
v_{str}	Strömungsgeschwindigkeit
VF	Versuchsfeld
z_a	Wasserspiegelabsunk
τ	Schubspannung

Anlagen

Anlage 1: Versuchsstrecke Rhein, km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – Übersicht vorhandene Randbedingungen (aus Bericht BAW/ BfG)

Abmessungen	Rhein-km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer (1 km Länge) Versuchsstrecke am hessischen Rheinufer unterhalb Einmündung des Lampertheimer Altarmes im Landschaftsschutzgebiet „Rheinhessisches Rheingebiet“
Ufersicherung im Ausgangszustand	Technisches Deckwerk - klassische Steinschüttung ohne zusätzliche Filterschicht Lose Wasserbausteine $LMB_{5/40}$ in einer Schichtdicke von 60 bis 90 cm Lokal auch noch altes Pflaster
Ufergeometrie	Böschungsneigungen: 1:2 bis 1:3 Böschungshöhe: 10 m (km 440,6) …. 7 m (km 441,6) OK angrenzendes Gelände: ca. NN + 90,0 m
Flussgeometrie	In Fließrichtung Übergang vom Prallhang- zum Gleithangbereich km 440,6: Prallhangbereich, Fahrrinne nahe am Ufer (ca. 25 m) Km 441,6: Gleithangbereich, Fahrrinne weit vom Ufer entfernt (ca. 140 m)
Baugrund	Von etwa HSW I bis ca. 3 m unter Rheinsohle: Kiesige Sande, geringe bis mittlere Festigkeit, Schlufflinsen Oberhalb etwa HSWI: Auelehm (Schichtdicke: 1,5 bis 2,5 m)
Hydrologie/ Uferbelastungen aus natürlicher Strömung (Messkampagne 2011 bei HSW II)	Ufernahe Strömungsgeschwindigkeiten: 2 m/s (gemessen am 15.01.2011)
Hydrologie/ Uferbelastungen aus natürlicher Strömung (aus HN-Modellen)	Wasserspiegelschwankungen zwischen GIW und HSW II von ca. 6 m Pegel Worms (km 443,3, li. Ufer): GIW: NN + 84,81 m, AZW: NN + 86,19 m, HSW I: NN + 88,56 m, HSW II: NN + 90,66 m Ufernahe Strömungsgeschwindigkeiten und Schubspannungen: HSW I: v_{Str} = 0,99 ***(km 440,6)*** … 0,95 m/s ***(km 441,6)***

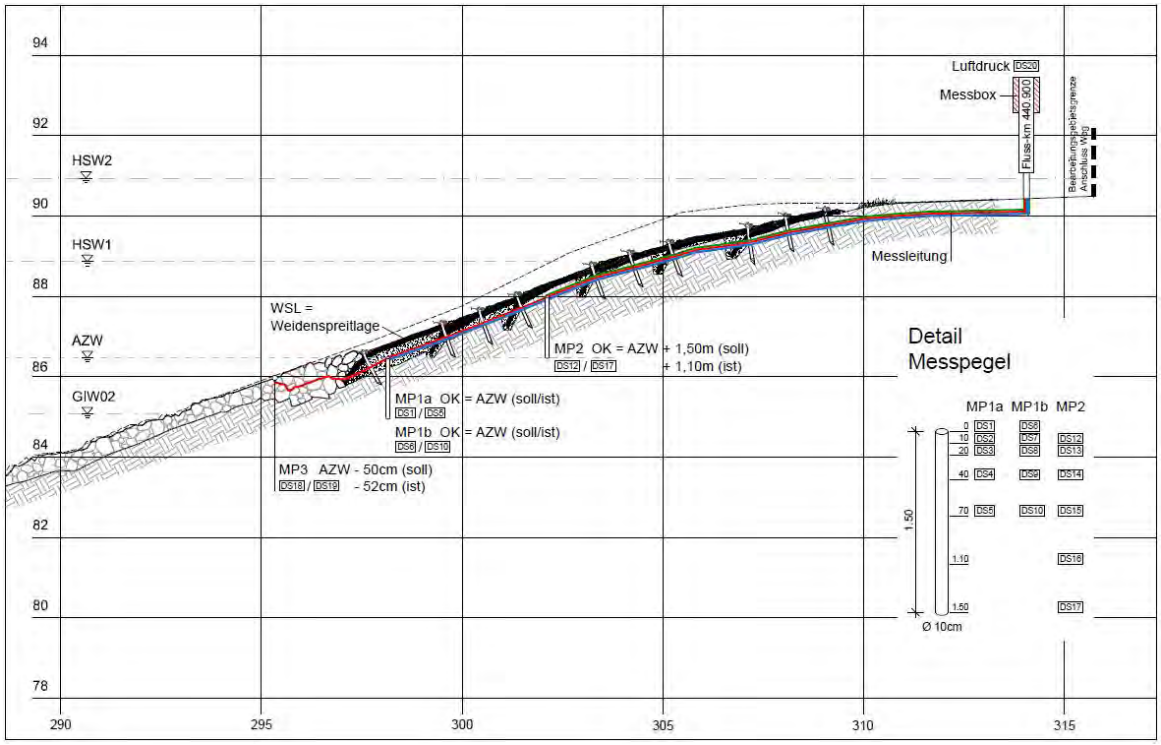
	τ = 3,6 ***(km 440,6)*** … 3,4 N/m² ***(km 441,6)*** HSW II: v_{Str} = 1,5 ***(km 440,6)*** … 1,3 m/s ***(km 441,6)*** τ = 7,0 ***(km 440,6)*** … 5,7 N/m² ***(km 441,6)***
Hydraulische Belastungen infolge Schifffahrt (Messkampagne 2009 bei AZW – 0,25…0,60 m)	Maximale Bugwellenhöhe: H_{uB} = 0,51 ***(km 440,6)*** … 0,40 m ***(km 441,6)*** Maximale Heckwellenhöhe: H_{uH} = 0,81 ***(km 440,6)*** … 0,43 m ***(km 441,6)*** Maximale Sekundärwellenhöhe: H_{uS} = 0,57 ***(km 440,6)*** … 0,43 m ***(km 441,6)*** Maximale Strömungsgeschwindigkeiten (km 440,6): 0,93 m/s
Hydraulische Belastungen infolge Schifffahrt (berechnet nach GBB)	Maximale Bugwellenhöhe: H_{uB} = 0,75 ***(km 440,6)*** … 0,19 m ***(km 441,6)*** bei GIW H_{uB} = 0,65 ***(km 440,6)*** … 0,26 m ***(km 441,6)*** bei HSW I H_{uB} = 0,63 ***(km 440,6)*** … 0,26 m ***(km 441,6)*** bei HSW II Maximale Heckwellenhöhe: H_{uH} = 1,10 ***(km 440,6)*** … 0,30 m ***(km 441,6)*** bei GIW H_{uH} = 0,85 ***(km 440,6)*** … 0,35 m ***(km 441,6)*** bei HSW I H_{uH} = 0,84 ***(km 440,6)*** … 0,36 m ***(km 441,6)*** bei HSW II Max. Wasserspiegelabsunk: z_a = 0,99 ***(km 440,6)*** … 0,25 m ***(km 441,6)*** bei GIW z_a = 0,80 ***(km 440,6)*** … 0,32 m ***(km 441,6)*** bei HSW I z_a = 0,80 ***(km 440,6)*** … 0,32 m ***(km 441,6)*** bei HSW II Max. Strömungsgeschw. : v_{str} = 1,95 ***(km 440,6)*** … 1,14 m ***(km 441,6)*** bei GIW v_{str} = 1,38 ***(km 440,6)*** … 1,38 m ***(km 441,6)*** bei HSW I v_{str} = 1,39 ***(km 440,6)*** … 1,39 m ***(km 441,6)*** bei HSW II
Vegetation im Ausgangszustand	Geringe Artenvielfalt (keine geschützten Arten, überwiegend Kratzbeergestrüpp, Allerweltsarten, neophytische Gehölze wie Eschen-Ahorn und Hybrid-Pappeln), geringe Vegetationszonierung, kaum Strukturvielfalt, geringes Besiedlungspotenzial aufgrund der mächtigen Steinschüttung und der hohen hydraulischen Belastung
Fauna im Ausgangszustand	Geringe Artenvielfalt; bei den terrestrischen Faunengruppen fehlen die Uferspezialisten, meist dominieren Arten ohne spezifische Umweltansprüche; bei der aquatischen Fauna dominiert das Neozoen.

Anlage 2: Versuchsstrecke Rhein, km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – Übersicht Monitoringmaßnahmen 2012 bis 2016

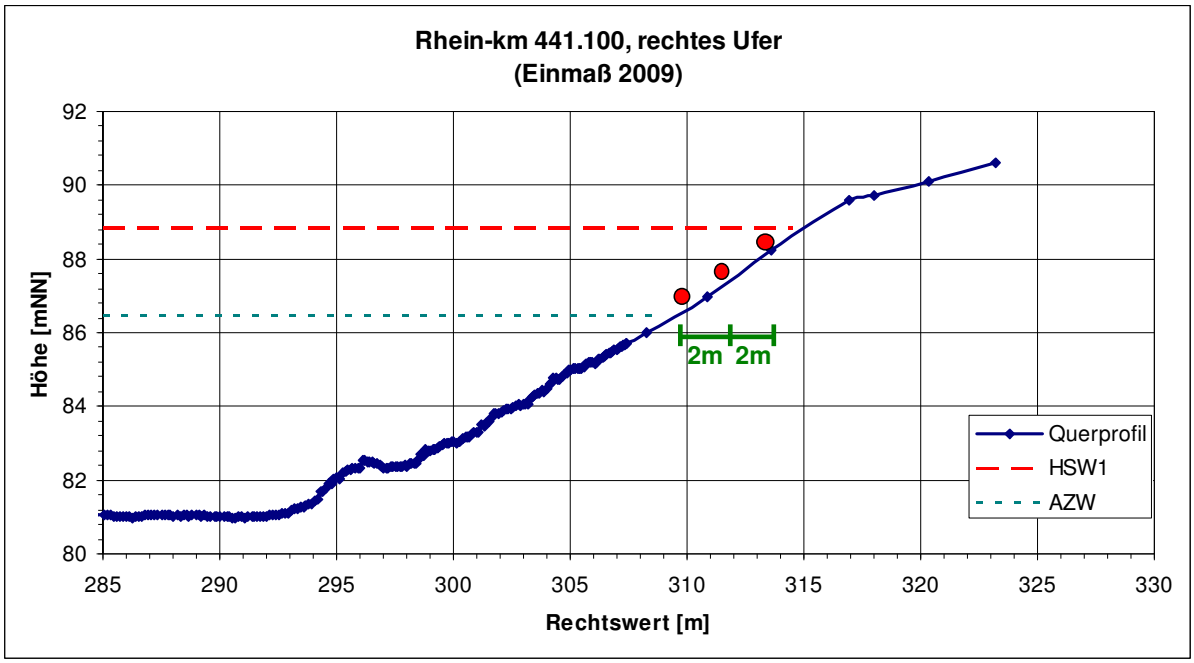
		Durchführung der einzelnen Monitoringmaßnahmen					
		2012	**2013**	**2014**	**2015**	**2016**	**Bemerkungen**
Uferstabilität	**Uferinspektion**	Vierteljährliche Inspektionen, zusätzliche Inspektionen nach Extremereignissen (z.B. Hochwasser, Starkregen, Trockenzeiten)					
	Fotodokumentation	Bei allen Uferinspektionen					
	Panoramaaufnahmen	2 bis 3 Aufnahmen pro Jahr, ggf. zusätzliche Aufnahmen nach Extremereignissen (z.B. Hochwasser, Starkregen, Trockenzeiten)					
	Vermessung	1 Vermessung pro Jahr, ggf. zusätzliche Vermessungen nach Extremereignissen (z.B. Hochwasser, Starkregen, Trockenzeiten)					
	PWD-Messungen	1 Messung pro Jahr und bei allen Messungen zur hydraulischen Uferbelastung					
Hydraulische Belastungen	**Schiffsinduzierte Belastungen**	2 Messungen bei Wasserständen über AZW (HSWI, HSWII)			2 Wiederholungsmessungen bei Wasserständen über AZW (HSWI, HSWII)		
	Natürliche Belastungen	2 Messungen bei Wasserständen über AZW (HSWI, HSWII)			2 Wiederholungsmessungen bei Wasserständen über AZW (HSWI, HSWII)		
Klimadaten		Kontinuierliche Aufzeichnung und Auswertung					
Vegetation		Mehrere Begehungen pro Jahr, Zeitintervalle werden während der Monitoringphase festgelegt					
Fauna		Untersuchung Fische (2 Kam-	Untersuchung Fische (2 Kam-	Untersuchung Fische (2 Kam-		Untersuchung Fische (2 Kam-	

	pagnen)	pagnen) Brutvögel (5 Begehungen), Laufkäfer, Spinnen (3 Fangperioden), Reptilien (3 Begehungen), Makrozoobenthos	pagnen) Brutvögel (5 Begehungen), Laufkäfer, Spinnen (3 Fangperioden), Reptilien (3 Begehungen), Makrozoobenthos		pagnen) Brutvögel (5 Begehungen), Laufkäfer, Spinnen (3 Fangperioden), Reptilien (3 Begehungen), Makrozoobenthos	
Pflegemaßnahmen	Erfassung und Dokumentation aller Pflege- und Entwicklungsmaßnahmen, die in den Untersuchungsjahren durchgeführt werden (müssen).					
Schäden	Kontinuierliche Dokumentation bei Erfordernis					
Sanierungsmaßnahmen	Kontinuierliche Dokumentation bei Erfordernis					

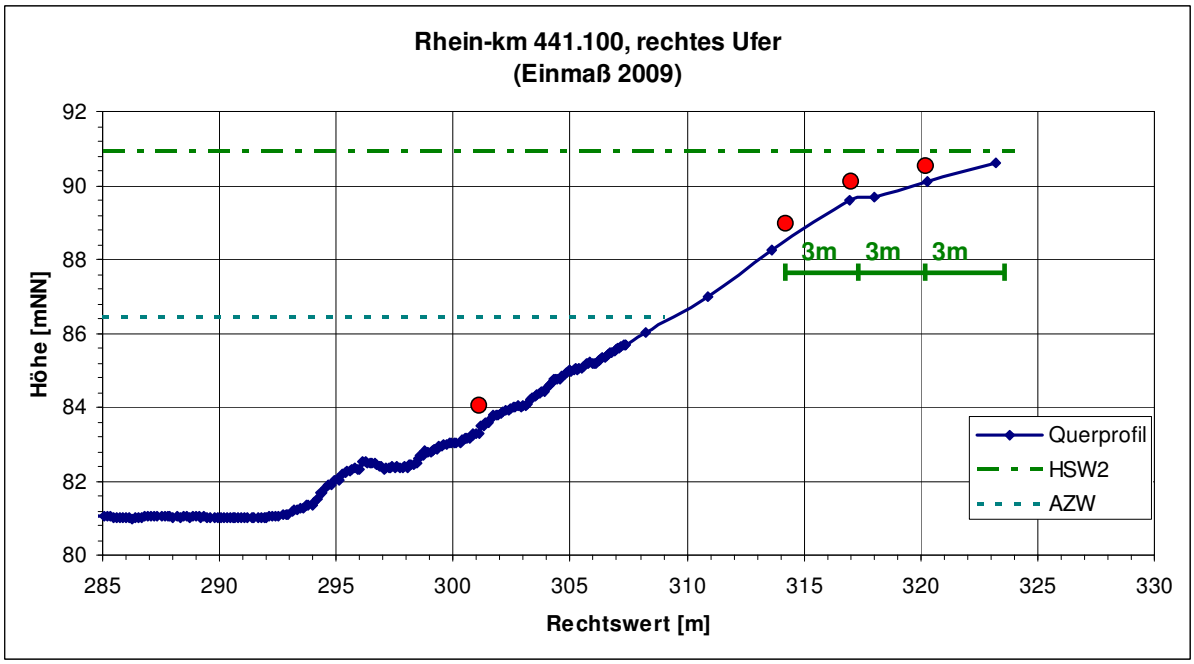
Anlage 3: Anordnung der Porenwasserdruckgeber im Versuchsfeld 3



Anlage 4: Anordnung der Druckmessdosen und Geschwindigkeitssonden bei Messungen zur hydraulischen Uferbelastung infolge Schifffahrt



Anordnung der Druckdosen bei HSW1



Anordnung der Geschwindigkeitssonden bei HSW2