

Technisch-biologische Ufersicherungen als ökologische Alternative zum Schüttsteindeckwerk an Binnenwasserstraßen – Forschungsergebnisse zur Belastbarkeit und Bemessung

Petra Fleischer
Renald Soyeaux

Technisch-biologische Ufersicherungen können als Alternative zum Schüttsteindeckwerk die ökologische Situation im Uferbereich von Binnenwasserstraßen verbessern. Der vorliegende Beitrag stellt bisherige Forschungsergebnisse aus technischer Sicht zur Belastbarkeit und Bemessung der naturnäheren Ufersicherungen unter Verwendung von Pflanzen vor. In einem separaten Beitrag werden erste Ergebnisse zur ökologischen Wirksamkeit dieser Ufersicherungen gezeigt (*Liebenstein, 2016*).

1 Einleitung

Seit Einführung der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahr 2000 sind an Bundeswasserstraßen neben den technischen Anforderungen zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs vermehrt ökologische Aspekte zu berücksichtigen. Ziel ist, die Wasserstraßen wieder naturnäher zu gestalten, um Lebensräume für Tiere und Pflanzen zu schaffen bzw. zu erhalten. Eine Möglichkeit für ökologische Aufwertungen im Uferbereich ist der Rückbau der überwiegend vorhandenen technischen Ufersicherungen (i.d.R. Schüttsteindeckwerke) oder deren Ersatz durch technisch-biologische Ufersicherungen, d. h. durch Ufersicherungen unter Verwendung von Pflanzen. Unter welchen Bedingungen dies möglich ist, wie alternative Ufersicherungen unter Berücksichtigung der schiffsinduzierten Belastungen geplant und ausgeführt werden können und wie sie ökologisch zu bewerten sind, damit beschäftigt sich seit einigen Jahren ein interdisziplinäres Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) und der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG). Ziel ist es, Empfehlungen und Bemessungsgrundlagen für die Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen und Kriterien für deren ökologische Bewertung zu erarbeiten und damit Grundlagen zu schaffen für eine

höhere Akzeptanz und breitere Anwendung dieser Ufersicherungen an Wasserstraßen.

2 Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen

2.1 Grundsätzliches zur Uferstandsicherheit

Die Standsicherheit der überwiegend geböschten Ufer von Binnenwasserstraßen ist in erster Linie von den hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt und ggf. Hochwasser abhängig. Zu den schiffsinduzierten Einwirkungen gehören Strömungen (Rückströmung und Wiederauffüllungsströmung), Wellen (Bug-, Heck- und Sekundärwellen) und der Wasserspiegelabsenk (GBB, 2010), zu den hochwasserbedingten Belastungen Strömungen und Wasserspiegelschwankungen. Strömungen und Wellen können am Ufer zu Oberflächenerosionen führen. Infolge eines schnellen Wasserspiegelabsenk können im Boden Porenwasserüberdrücke entstehen, die die Böschung soweit destabilisieren, dass es zu hydrodynamischen Bodenverlagerungen und einem böschungsp parallelen Abgleiten im Uferbereich kommt (Holfelder & Kayser, 2006). Porenwasserüberdrücke treten auf, wenn die Absenkgeschwindigkeit größer ist als die Durchlässigkeit des Bodens, d. h. wenn der Wasserspiegel innerhalb der Uferböschung nicht in gleicher Weise dem Absenk vor der Böschung folgen kann. Besonders gefährdet sind dementsprechend Ufer, die aus gering durchlässigen, nicht kohäsiven Böden bestehen.

Zur Gewährleistung der Uferstabilität sind in der Regel konstruktive Schutzmaßnahmen erforderlich. Bisher übliche technische Schüttsteindeckwerke bestehen im Bereich der überwiegend 1:3 geneigten Uferböschungen in der Regel aus einer 40 cm bis 80 cm dicken Schicht aus losen oder verklammerten Wasserbausteinen auf einem Geotextil- oder Mineralkornfilter. Sie werden mit einem ausreichenden Flächengewicht bemessen, so dass auch bei auftretenden Porenwasserüberdrücken die Böschungsstandsicherheit gewährleistet ist. Die Größe bzw. das Gewicht der Einzelsteine einer losen Steinschüttung sind so dimensioniert, dass sie bei den hydraulischen Belastungen lagestabil sind und im Verbund die Böschung vor Oberflächenerosion schützen (GBB, 2010).

2.2 Besonderheiten von Ufersicherungen mit Pflanzen

Technisch-biologische Ufersicherungen sind umweltfreundlichere Ufersicherungen unter Verwendung von Pflanzen. Dabei wird der Uferschutz langfristig in Abhängigkeit der hydraulischen Belastungen entweder nur durch Pflanzen (z. B. Weidenspreitlagen, begrünte Böschungsschuttmatten) oder durch eine Kombination aus pflanzlichen und technischen Komponenten (z. B. Röhricht-

gabionen, begrünte Steinschüttungen) gewährleistet. Rein pflanzliche Ufersicherungen besitzen in der Regel kein signifikantes Flächengewicht. Bei Auftreten von Porenwasserüberdrücken können sie das Ufer nur durch ihre Wurzeln stabilisieren, indem sie die Scherfestigkeit des Bodens erhöhen oder zu einer Art Bodenvernagelung führen. Wurzeln und oberirdische Sprosse können allein oder in Verbindung mit technischen Komponenten vor Erosion schützen.

Bei der Verwendung von Pflanzen als lebende Baustoffe müssen im Vergleich zur Steinschüttung eine ganze Reihe zusätzlicher Einflussfaktoren berücksichtigt werden. Pflanzen haben keine einheitlichen Eigenschaften, sie wachsen und verändern sich fortwährend. Es sind verschiedene Entwicklungszustände zu betrachten, insbesondere der kritische Anfangszustand nach dem Einbau, wenn sich die zum Uferschutz erforderlichen Wurzeln und Sprosse erst bilden müssen. In dieser Phase sind meist temporäre Hilfsmittel, z. B. Befestigungen oder temporäre Filter, erforderlich, da die hydraulischen Belastungen bereits unmittelbar nach dem Einbau wirken. Weitere Einflussfaktoren sind die Witterungs- und Lichtverhältnisse sowie veränderliche Wasserstände (Überflutungen, Trockenzeiten). Parasiten können die Pflanzen schädigen und dadurch den Uferschutz gefährden. Es gibt spezielle Anforderungen an die Unterhaltung, z. B. aus dem Hochwasserschutz.

2.3 Problemstellung

Dass Pflanzen das Ufer schützen können, zeigen insbesondere die Erfahrungen mit ingenieurbiologischen Bauweisen an kleineren Fließgewässern ohne Schifffahrt. Die Einflüsse der heute immer stärker motorisierten Schiffe führen jedoch zu zusätzlichen Belastungen und Versagensformen. Aus technischer Sicht sind deshalb die Mechanismen zu erforschen und zu quantifizieren, wie Pflanzen mit ihren Wurzeln und oberirdischen Teilen den Uferschutz bei Schifffahrtsbelastung im Anfangszustand und dauerhaft gewährleisten können (*Fleischer & Eisenmann, 2012*). Im Detail geht es um folgende Fragen:

- Wie entwickeln sich die Wurzeln verschiedener Pflanzen nach dem Einbau langfristig? Wie stabilisieren sie das Ufer bei Auftreten von Porenwasserüberdrücken? Wie verändert sich die Scherfestigkeit des durchwurzelten Bodens? Welche Bemessungsansätze sind daraus ableitbar?
- Wie können die oberirdischen Pflanzenteile, ggf. in Kombination mit technischen Komponenten, und die oberflächennahen Wurzeln vor Erosion schützen? Welche Strömungsgeschwindigkeiten und Wellenhöhen können verschiedene Bauweisen aufnehmen, ohne dass Erosion auftritt?
- Wie wird die Filterstabilität im Böschungsbereich im Anfangszustand und langfristig bei verschiedenen Bauweisen gewährleistet?

Die entsprechenden Standsicherheitsnachweise, die analog zur Bemessung von Schüttsteindeckwerken (*GBB*, 2010) für technisch-biologische Ufersicherungen geführt werden müssen, sind für den kritischen Anfangszustand und langfristige Zustände auszuarbeiten.

3 Untersuchungen und Ergebnisse

3.1 Vorgehensweise/ Untersuchungsmethoden

Die genannten technischen Fragestellungen zur Anwendbarkeit und Belastbarkeit technisch-biologischer Ufersicherungen werden seit einigen Jahren im Rahmen des Forschungsprojektes der BAW und BfG untersucht. Begonnen wurde mit Untersuchungen im Bestand zur Erfassung bisheriger Erfahrungen (Literaturrecherchen, Detailuntersuchungen vor Ort an den wenigen Wasserstraßenabschnitten, in denen bereits lokal Ufersicherungen mit Pflanzen eingebaut, die Erfahrungen damit jedoch nicht ausgewertet wurden). Parallel dazu wurde bereits mit der Konzipierung und Ausführung von verschiedenen Labor- und Modellversuchen in der BAW sowie eines Naturversuchs am Rhein in der Nähe von Worms begonnen. Die Ergebnisse werden laufend in einem dazu eingerichteten Internetportal veröffentlicht (<http://ufersicherung.baw.de/de/index.html>).

3.2 Labor- und Modellversuche

Die bisher in der BAW durchgeführten Laborversuche hatten das Ziel, das Wurzelwachstum verschiedener zum Uferschutz geeigneter Weidenarten und die damit einhergehende Scherfestigkeitserhöhung des Bodens quantitativ in Abhängigkeit von der Tiefe unter der Geländeoberkante zu ermitteln. Dazu wurden u. a. im März 2012 austriebsfähige Weidenäste (Purpur- und Korbweide) in 18 mit grobsandigem, feinkiesigem Mittelsand gefüllte Versuchskästen mit einer Grundfläche von 50 cm x 50 cm und einer Höhe von 1 m eingebaut. Nach 7 Monaten Wachstum wurden der Durchwurzelungsgrad und die Scherfestigkeit des durchwurzelten Bodens in 3 Tiefen unter der Astlage (16,5 cm, 49,5 cm und 82,5 cm) mit einem Großschergerät ermittelt. Zum Vergleich wurde die Scherfestigkeit einer Bodenprobe ohne Wurzeln unter denselben Versuchsbedingungen bestimmt.

Abbildung 1 zeigt die nach 7 Monaten Wachstum beispielhaft in einem Versuchskasten freigespülten Wurzeln der Korbweide. In dem Diagramm ist die ermittelte wurzelbedingte Scherfestigkeitserhöhung des Bodens gegenüber dem nicht durchwurzelten Boden in Abhängigkeit von der Tiefe unter der Asteinlage dargestellt. Wenn davon ausgegangen wird, dass sich der Reibungswinkel der

Sande durch die Wurzeln nicht ändert, kann die Scherfestigkeitserhöhung als zusätzliche „Wurzelkohäsion“ betrachtet werden.

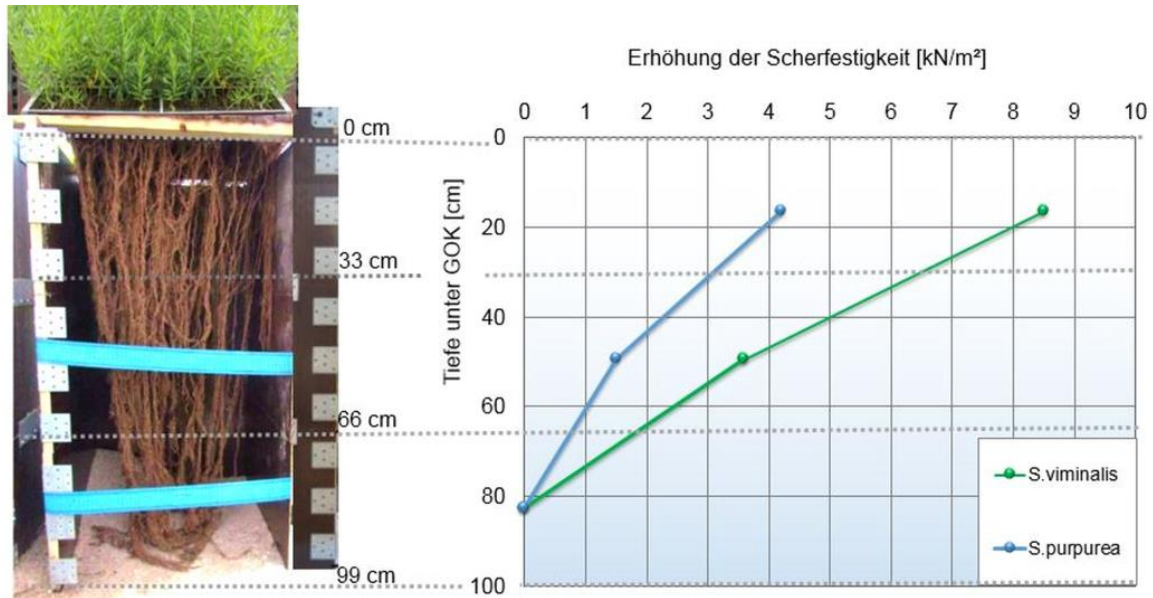


Abbildung 1: Scherfestigkeitserhöhung („Wurzelkohäsion“) infolge Wurzeln der Purpurweide (*S.purpurea*) und der Korbweide (*S.viminalis*) in Abhängigkeit von der Tiefe unter der Asteinlage (*Eisenmann, 2015*)

Erwartungsgemäß nimmt die „Wurzelkohäsion“ mit zunehmender Wurzelrockenmasse zu und dementsprechend mit der Tiefe unter der Asteinlage ab. Die Ergebnisse zeigen, dass die beiden Weidenarten unterschiedliche Wurzeleigenschaften besitzen. Sie zeigen aber auch, dass bereits nach einer Vegetationsperiode im relevanten Bodenbereich Erhöhungen der Scherfestigkeit des Bodens infolge Wurzeln in der Größenordnung nachweisbar sind, die für die Stabilisierung der Uferböschung bei Auftreten von Porenwasserüberdrücken erforderlich sind. Zum Beispiel wird bei einem Wasserspiegelabsenk von 90 cm, wie er an Binnenwasserstraßen der Klasse Vb auftreten kann, und einer hier üblichen Böschungsneigung von 1:3 ein böschungsparalleles Abgleiten vermieden, wenn der anstehende Boden eine Kohäsion von mindestens 3 kN/m² hat, bei einer Böschungsneigung von 1:8 würde bereits 1 kN/m² ausreichen. Die bisherigen Laborversuche sind in (*Eisenmann, 2015*) dokumentiert. Weitere Versuche mit anderen Weiden- bzw. Pflanzenarten sind erforderlich und werden gegenwärtig vorbereitet.

Parallel zu den Laborversuchen wurden 2011 bis 2013 erste Modellversuche mit einer Weidenspreitlage in einer Wellenanlage mit einem 8 m x 14 m großen Becken mit dem Ziel durchgeführt, die Belastbarkeit unter Absenk- und Welleneinfluss zu ermitteln. Dazu wurden Weidenäste (Korb- und Purpurweide) im

Wellenbecken auf einer 1:3 geneigten Böschung (aus Sand und Kies) verlegt und in verschiedenen Zeitabständen nach dem Einbau hydraulisch belastet, wobei die Belastungen allmählich gesteigert wurden. Gemessen wurden jeweils der Absink (die Wasserspiegelauslenkung) und die dazu gehörigen Porenwasserdrücke im Boden. Veränderungen der Böschungsgeometrie bei einem möglichen Versagen der Weidenspreitlage wurden über Neigungsmessketten dokumentiert. Nach einer Vegetationsperiode konnten die Weidenspreitlagen unter den gegebenen Bedingungen Absinkgrößen bis 68 cm trotz auftretender Porenwasserüberdrücke schadlos aufnehmen. Es wird zu diesem Zeitpunkt von einer ähnlichen Wurzelbildung und -wirkung im Boden wie in den oben beschriebenen, parallel angelegten Versuchskästen ausgegangen. Die Ergebnisse sind in (Eisenmann, 2015) dokumentiert.

Gegenwärtig werden weitere Modellversuche u. a. zur Filterstabilität von Weidenspreitlagen in verschiedenen Wachstumszuständen und zum Einfluss der oberirdischen Weidensprosse auf die einwirkenden Strömungsgeschwindigkeiten durchgeführt.

3.3 Naturversuch am Rhein

Seit 2011 wird in Zusammenarbeit mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt Mannheim ein großangelegter Naturversuch am rechten Rheinufer, km 440,6 bis km 441,6, in der Nähe von Worms durchgeführt. Hier werden neun verschiedene technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen unter Wasserstraßenbedingungen getestet. In 5 Versuchsfeldern wurde die ursprünglich vorhandene Steinschüttung oberhalb Mittelwasser entfernt und in 4 Feldern durch neue Ufersicherungen mit Pflanzen ersetzt (Weidenspreitlagen, Röhrichtgabionen, Steinmatratzen, begrünte Pflanzmatten). In einem Feld wurde die Böschung ohne Schutz belassen, um hier eine natürliche Sukzession zu ermöglichen. In weiteren 4 Feldern wurde die vorhandene lose Steinschüttung (LMB_{5/40}) erhalten und durch verschiedene Maßnahmen ökologisch aufgewertet (nachträglicher Pflanzeneinbau, Begrünung durch Alginat, mehr Struktur durch Kies und große Einzelsteine, konstruktiver Schutz von Röhrichten). Zur Förderung der Fischfauna entstand im ersten Versuchsfeld durch Errichtung eines vorgelagerten Steinwalls eine Flachwasserzone, in einem anderen Versuchsfeld wurden ins Wasser reichende Totholzfaschinen eingebaut. Die Randbedingungen und der Aufbau der Versuchsfelder sind in (Fleischer et al., 2012) dokumentiert.

Seit 2012 erfolgt ein umfangreiches Monitoring zur regelmäßigen Erfassung des Zustandes der Ufersicherungsmaßnahmen, möglicher Schäden und Veränderungen der Böschungsgeometrie, zur Messung der hydraulischen Uferbelastungen und der Porenwasserdrücke im Boden, zur Aufnahme der Vegetation und Fauna

sowie der Wetterdaten und Wasserstände. Zusätzlich werden langfristig verschiedene Unterhaltungsstrategien getestet.

Die technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen sind im Naturversuch jetzt seit 4 Jahren den hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt (ca. 120 Güterschiffe pro Tag) und verschiedenen Hochwassern mit Wasserspiegelschwankungen bis zu 6 m ausgesetzt. Die Randbedingungen und bisherigen Ergebnisse sind in verschiedenen Berichten der BAW und BfG unter <http://ufersicherung.baw.de/de/index.html> dokumentiert.

Umfangreiche Erfahrungen konnten bereits beim Einbau der pflanzlichen Ufersicherungen unter laufender Schifffahrt gesammelt werden. Unmittelbar nach Baufertigstellung trat das erste Hochwasser auf, das die neuen Ufersicherungsmaßnahmen längere Zeit bei gleichzeitiger Schifffahrtsbelastung einstaute. Seitdem wurden die Maßnahmen immer wieder durch z. T. wochenlang andauernde Hochwasser, teilweise mit Wasserständen bis über das angrenzende Gelände, belastet. Es gab lange Niedrigwasser- bzw. Trockenphasen und im Februar 2012 kurze Zeit nach Baufertigstellung strengen Frost bis -14°C ohne schützenden Schnee, insgesamt also relativ hohe Belastungen für die neuen Ufersicherungen mit Pflanzen, um die Anwendungsgrenzen der Bauweisen auszuloten.

Besonders deutlich hat sich gezeigt, dass die Anfangsphase, in der die eingebauten Pflanzen erst Wurzeln und Sprosse ausbilden müssen, eine sehr kritische Zeit ist. Hier traten lokal Schäden u. a. durch herausgezogene Befestigungspflöcke und Bodenerosion auf. Bei Einstau waren die Ufersicherungen mit Pflanzen gleichzeitig Auftrieb und Strömungen, Wellen und Wasserspiegelabsenkung ausgesetzt. Rein pflanzliche Uferschutzkonstruktionen ohne signifikantes Eigengewicht, wie z. B. Pflanzmatten mit nur punktuellen bzw. linienförmigen Befestigungen, konnten den Uferschutz in den unteren, sehr häufig eingestauten Böschungsbereichen nicht ausreichend gewährleisten. Der für das Wurzelwachstum in den Untergrund erforderliche permanente Bodenkontakt der Pflanzmatten war bei Überstau nicht zu realisieren (*Fleischer & Soyeaux, 2014*). Gute Erfahrungen gibt es unter diesen Bedingungen dagegen beispielsweise mit Weidenspreitlagen, die sich bereits innerhalb der ersten Vegetationsperiode sehr gut entwickeln konnten (Abbildung 2). Auch Steinmatratzen und Röhrichtgabionen konnten das Ufer bisher gut schützen. Langfristig hängt die Stabilität der Röhrichtgabionen sehr stark von den eingebauten Pflanzenarten ab. Als ausreichend überstauungsresistent haben sich im unteren, häufig eingestauten Bereich besonders verschiedene Seggenarten erwiesen (*Behrendt et al., 2015*).

Das Monitoring im Naturversuch am Rhein dauert noch an, fundierte Aussagen sind erst nach mehreren Vegetationsperioden möglich. 2017 erfolgt eine erste umfassende Auswertung aller Ergebnisse.



Abbildung 2. Weidenspreitmatte (links: nach Installation; rechts: nach einer Vegetationsperiode 07/2012 - Blickrichtung stromauf)

4 Erstes Bemessungskonzept

Aufgrund des steigenden Bedarfs an einheitlichen Planungsgrundlagen für technisch-biologische Ufersicherungen wurde parallel zum BAW/BfG-Forschungsprojekt bereits 2008 der Ausschuss WW1.5/ 2.5 der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) mit dem Ziel eingerichtet, den aktuellen Stand des Wissens zur Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen an schiffbaren Gewässern zusammenzutragen. Die Erfahrungen mit ingenieurbiologischen Bauweisen an Fließgewässern ohne Schifffahrt sollten zusammen mit den bisherigen Erkenntnissen an Wasserstraßen aus dem o. g. Forschungsprojekt Grundlage für ein Merkblatt sein, wohl wissend, dass noch keine endgültigen Erkenntnisse und keine Langzeiterfahrungen mit technisch-biologischen Ufersicherungen an Wasserstraßen vorliegen.

Das DWA-Merkblatt M519 (DWA, 2016) erscheint Anfang 2016 als Weißdruck. Darin wird eine Vorgehensweise aufgezeigt, wie aufgrund der bisher vorliegenden Erkenntnisse die Möglichkeit der Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen an großen und schiffbaren Gewässern geprüft und eine technisch-biologische Uferschutzmaßnahme geplant und bemessen werden kann. Es beinhaltet alle dafür wesentlichen rechtlichen, technischen, ingenieurbiologischen und ökologischen Planungsgrundlagen. Zur Bemessung der Ufersicherungen mit Pflanzen wird gegenwärtig noch ein auf der sicheren Seite liegendes Verfahren, basierend auf dem vorhandenen technischen Regelwerk (GKB, 2010), empfohlen. Im Anhang des DWA-Merkblattes werden 10 ausgewählte alternative Bauweisen in Steckbriefen vorgestellt und beschrieben, die aus heutiger Sicht prinzipiell zur Anwendung an großen und schiffbaren Gewässern geeignet erscheinen und ökologische Verbesserungen im Uferbereich erwarten lassen.

Derzeit sind allerdings aufgrund der noch laufenden Forschungen, insbesondere zur Quantifizierung der uferstabilisierenden Wirkung der Pflanzenwurzeln, noch Einschränkungen in der Dimensionierung und Anwendung notwendig. Wenn Porenwasserüberdrücke infolge Wasserspiegelabsenkung für die Bemessung der Ufersicherung maßgebend sind, muss das notwendige Flächengewicht auch mit einer technisch-biologischen Ufersicherung gewährleistet werden. In diesen Fällen können derzeit auf der sicheren Seite liegend nur Ufersicherungen aus Pflanzen in Kombination mit entsprechenden technischen Bestandteilen angewendet werden. Belastungsgrenzen für die einzelnen Ufersicherungsmaßnahmen hinsichtlich Oberflächenerosion (zulässige Strömungsgeschwindigkeiten und Wellenhöhen) wurden zunächst aus Erfahrungen an kleineren Fließgewässern ohne Schifffahrt abgeleitet. Sie müssen nach Vorliegen ausreichender Erfahrungen an Binnenwasserstraßen gegebenenfalls angepasst werden.

5 Zusammenfassung und Ausblick

Die Untersuchungen im Rahmen des Forschungsprojektes der BAW und BfG sind noch nicht abgeschlossen. Die bisher vorliegenden Ergebnisse zeigen, dass Ufersicherungen mit Pflanzen prinzipiell auch an Binnenwasserstraßen angewendet werden können. Der Einsatz hängt von der Größe der schiffsinduzierten und natürlichen hydraulischen Uferbelastungen ab. Sinnvoll sind deshalb zusätzliche dauerhafte oder temporäre (für die kritische Anfangsphase) indirekte Uferschutzmaßnahmen, die die hydraulischen Uferbelastungen durch konstruktive Maßnahmen (z. B. Parallelwerke) oder administrative Maßnahmen (z. B. Begrenzung der Schiffsgeschwindigkeit) verringern. Keine oder nur sehr geringe natürliche Wasserspiegelschwankungen und flache Böschungen erhöhen die Möglichkeiten der Anwendung pflanzlicher Ufersicherungen.

Ein erstes Bemessungskonzept steht mit dem DWA-Merkblatt M519 zur Verfügung (DWA, 2016). Mit diesem Merkblatt werden die Möglichkeiten der Planung und Anwendung von naturnäheren technisch-biologischen Ufersicherungen an großen und schiffbaren Gewässern wesentlich erweitert. Zunehmende Anwendungen führen zu mehr praktischen Erfahrungen an Wasserstraßen. Parallel werden weitere Erkenntnisse aus den noch laufenden Labor- und Modellversuchen und speziell aus dem Naturversuch am Rhein erwartet, so dass das bisherige Bemessungskonzept in den nächsten Jahren überarbeitet und präzisiert werden kann. Damit stehen gute Grundlagen für die Planung von alternativen Ufersicherungen, insbesondere für die im Rahmen des Bundesprogramms „Blau- es Band“ vorgesehenen Uferumgestaltungen an Binnenwasserstraßen in Deutschland, zur Verfügung.

6 Literatur

- Behrendt, K.; Fleischer, P.; Koop, J. (2015): Erste Ergebnisse eines Naturversuchs mit technisch-biologischen Ufersicherungen am Rhein bei Worms. KW Korrespondenz Wasserwirtschaft 2015 (8) Nr. 12.
- DWA (2016): Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Gewässern. DWA-Merkblatt M519.
- Eisenmann, J. (2015): Weidenspreitlagen an Binnenwasserstraßen, Untersuchungen zur geotechnischen Standsicherheit. Dissertation, Boku Wien 2015.
- Fleischer, P.; Eisenmann, J. (2012): Möglichkeiten und Grenzen pflanzlicher Ufersicherungen an Wasserstraßen. BAWMitteilungen Nr. 95, Juli 2012, S. 21-39.
- Fleischer, P.; Soyeaux, R.; Kleinwächter, M.; Schilling, K. (2012): Technisch-biologische Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen – Naturversuch am Rhein, km 440,600 bis km 441,600 (rechtes Ufer). Bundesanstalt für Wasserbau, BAW-Brief Nr. 05/2012.
- Fleischer, P.; Soyeaux, R. (2014): Ufersicherungen mit Pflanzen an großen Schifffahrtsstraßen, erste Ergebnisse zur Stabilität aus einem Naturversuch am Rhein. HTG-Kongress 2014, Tagungsband.
- Holfelder, T.; Kayser, J. (2006): Berücksichtigung von Porenwasserüberdrücken bei der Bemessung von Deckwerken an Wasserstraßen. Beiträge zum 5. Geotechnik-Tag in München, Schriftenreihe der TU München, Heft 38.
- GBB (2010): Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen. Bundesanstalt für Wasserbau, abrufbar unter http://www.baw.de/de/die_baw/publikationen/merkmale/index.php.html.
- Liebenstein, H. (2016): Technisch-biologische Ufersicherungen als Beitrag zur gewässerstrukturellen Entwicklung von Bundeswasserstraßen. TU Dresden, Wasserbauliche Mitteilungen, Heft 57, 2016.

Autoren:

Dipl.-Ing. Petra Fleischer

Dr.-Ing. Renald Soyeaux

Bundesanstalt für Wasserbau
Abteilung Geotechnik
Kussmaulstr. 17
76187 Karlsruhe

Bundesanstalt für Wasserbau
Abteilung Geotechnik
Kussmaulstr. 17
76187 Karlsruhe

Tel.: +49 721 9726 3570
Fax: +49 721 9726 4830
E-Mail: petra.fleischer@baw.de

Tel.: +49 721 9726 3650
Fax: +49 721 9726 4830
E-Mail: renald.soyeaux@baw.de