

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Paper, Published Version

**Fleischer, Petra**

## **Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/100853>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Fleischer, Petra (2012): Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen. In: 8. Kolloquium 'Bauen in Boden und Fels', 17. und 18. Januar 2012 in Ostfildern/Stuttgart. Ostfildern: Technische Akademie Esslingen. S. 205-211.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



# Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen

Petra Fleischer  
Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe

## Zusammenfassung

Seit Inkrafttreten der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie müssen bei der Planung und Ausführung von Ufersicherungen an Wasserstraßen neben den technischen Anforderungen in gleicher Weise ökologische Anforderungen berücksichtigt werden. Das bedeutet, dass verstärkt naturnahe technisch-biologische Ufersicherungen mit pflanzlichen Komponenten als Alternative zur klassischen Steinschüttung anzuwenden sind. Für deren Einsatz an Wasserstraßen gibt es bisher allerdings nur sehr wenig Erfahrungen und dementsprechend auch keine Regelwerke. Aus diesem Grund werden seit einigen Jahren intensive Untersuchungen zur hydraulischen Belastbarkeit und ökologischen Wirksamkeit technisch-biologischer Ufersicherungen mit dem Ziel durchgeführt, Bemessungsgrundlagen für deren Einsatz an Binnenwasserstraßen zu erarbeiten. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen, aber auf der Grundlage der bisherigen Erkenntnisse und Erfahrungen können bereits die Besonderheiten pflanzlicher Ufersicherungen hinsichtlich der an Wasserstraßen vorherrschenden Randbedingungen charakterisiert und erste Empfehlungen zur Anwendung gegeben werden.

## 1 Neue Anforderungen an Ufersicherungen für Wasserstraßen

Für die Unterhaltung und den Neubau von Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen gibt es aufgrund neuer gesetzlicher Vorgaben seit einigen Jahren veränderte Rahmenbedingungen. Bisher bestimmten überwiegend technische Aspekte die Planungen, d.h. Ziel war in erster Linie der Erhalt eines ordnungsgemäßen Zustandes der Wasserstraße zur Gewährleistung der Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs. Seit Einführung der Europäischen Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) im Jahr 2000 und dementsprechender Überarbeitung nationaler Regelungen – wie das Bundesnaturschutzgesetz, Wasserhaushaltsgesetz und das Wasserstraßengesetz – müssen in gleicher Weise sowohl technische als auch ökologische Aspekte berücksichtigt werden. Auch Maßnahmen ausschließlich für ökologische Verbesserungen im Uferbereich können zukünftig erforderlich werden. Das heißt, neue Konzepte für die Ufergestaltung sind gefragt – weg von der klassischen Steinschüttung, hin zu mehr „Grün“, zu mehr pflanzlichen, ökologisch wertvollen Ufersicherungen, um den gesetzlichen Anforderungen – Erhalt und Schaffung von Lebensraum für Pflanzen und Tiere – Rechnung zu tragen.

Für den Einsatz technisch-biologischer Ufersicherungen an Wasserstraßen, d.h. Ufersicherungen mit ausschließlich pflanzlichen Komponenten oder Kombinationen aus pflanzlichen und technischen Komponenten, gibt es bisher allerdings noch keine ausreichenden Erfahrungen und keine Regelwerke. Aus diesem Grund werden seit einigen Jahren im Rahmen eines gemeinsamen Forschungsprojektes der Bundesanstalt für

Wasserbau und Bundesanstalt für Gewässerkunde Untersuchungen zur hydraulischen Belastbarkeit und ökologischen Wirksamkeit technisch-biologischer Ufersicherungen unter Berücksichtigung der Schifffahrt mit dem Ziel durchgeführt, Anwendungsempfehlungen und Bemessungsgrundlagen für deren Einsatz an Binnenwasserstraßen zu erarbeiten. Neben theoretischen Untersuchungen und Modellversuchen werden Erfahrungen aus ersten praktischen Anwendungen an Wasserstraßen ausgewertet und Naturversuche durchgeführt. Die Untersuchungen sind noch nicht abgeschlossen. In dem folgenden Beitrag werden technische Grundsätze und Besonderheiten erläutert, die bei der Anwendung von Ufersicherungen mit pflanzlichen Komponenten an Wasserstraßen zu beachten sind. Ausgewählte Beispiele werden dargestellt.

## 2 Hydraulische Belastungen/ Uferstabilität

Die überwiegend geböschten Ufer von Binnenwasserstraßen sind hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt, in Flussstrecken zusätzlich infolge Hochwasserabflusses ausgesetzt. Ein mit einer bestimmten Geschwindigkeit durch die Wasserstraße fahrendes Schiff erzeugt durch die hydraulische Wechselwirkung zwischen Schiff und Wasserstraße lokale temporäre Veränderungen der Wasseroberfläche und der Strömungen unter und neben dem Schiff. Es entstehen Wellen, Wasserspiegelabsenk und schiffsinduzierte Strömungen, die als hydraulische Belastungen auf Ufer und Sohle des Gewässers wirken (Bild 1). Schädliche Folgen im Uferbereich können Oberflächenerosion und eine Gefährdung der Standsicherheit der Uferböschung sein. Die schiffsinduzierten Belastungen werden umso größer, je kleiner das Verhältnis des Wasserstraßen-

querschnitts zum eingetauchten Schiffsquerschnitt ist und je schneller und näher das Schiff am Ufer fährt.



*Bild 1: Hydraulische Uferbelastungen infolge Schifffahrt*

Oberflächenerosion im Uferbereich kann durch Heck- und Sekundärwellen sowie Rück- und Wiederauffüllungsströmung infolge Schifffahrt und durch natürliche Strömung, insbesondere bei Hochwasserabfluss, ausgelöst werden. Ein Schutz ist immer dann erforderlich, wenn der anstehende Boden selbst nicht erosionsstabil ist. Werden konventionell technische Deckwerke aus losen Wasserbausteinen angewendet, wird die erforderliche Einzelsteingröße bzw. das erforderliche Einzelsteingewicht so dimensioniert, dass die Einzelsteine bei allen auftretenden Belastungen lagestabil sind /GBB, 2004/.

Die Standsicherheit der Uferböschungen während einer Schiffs Passage wird durch Porenwasserüberdrücke im anstehenden Boden beeinflusst, die durch den Wasserspiegelabsenk hervorgerufen werden können. Der Porenwasserüberdruck und damit die Standsicherheit hängen neben der Größe des Wasserspiegelabsenks und der Absinkgeschwindigkeit maßgeblich vom anstehenden Boden, insbesondere von dessen Durchlässigkeit ab /Kayser, Holfelder, 2006/. Ist die Standsicherheit der vorhandenen ungeschützten Uferböschung nicht gegeben, sind Uferschutzmaßnahmen erforderlich. Bei Anwendung eines technischen Deckwerks aus Wasserbausteinen muss dieses mit einem entsprechenden Flächengewicht so bemessen werden, dass durch das zusätzliche Gewicht auf der Böschung ein böschungsparalleles Abgleiten in einer oberflächennahen Bodenschicht verhindert und auf diese Weise die Standsicherheit der Böschung trotz Porenwasserüberdrücken gewährleistet wird /GBB, 2004/.

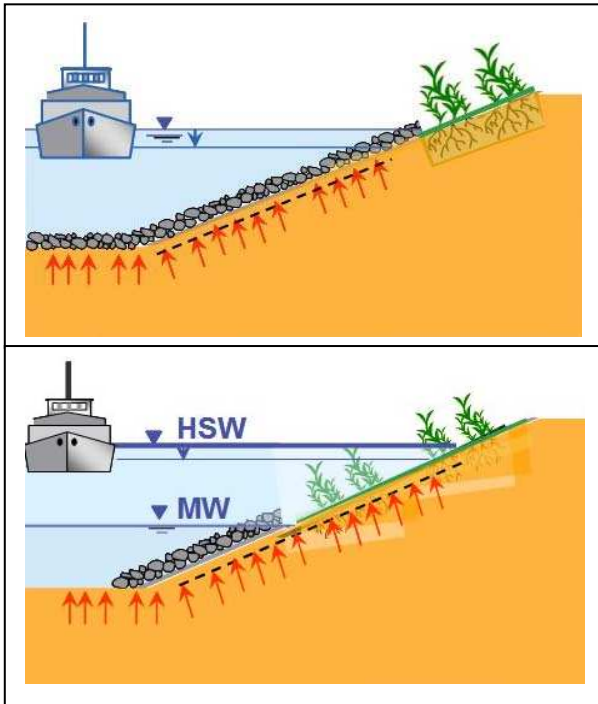
Technische Deckwerke aus Steinschüttungen sind in der Regel über die gesamte Böschungslänge von der Sohle bis zum höchst möglichen Wasserstand bzw. höchst möglichen Wellenauflauf erforderlich /MAR, 2008/. Ufersicherungen mit lebenden pflanzlichen

Komponenten können dagegen in der Regel nur oberhalb eines mittleren Wasserspiegels angewendet werden. Unterhalb dieses Wasserstands sind Deckwerke meist unverzichtbar. Das bedeutet, der Unterwasserschutz wird auch weiterhin überwiegend technischer Art bleiben. Zukünftige Ufersicherungen werden dementsprechend meistens aus zwei Teilen bestehen: der Steinschüttung als Sicherung der Unterwasserböschung und einer Ufersicherung im Überwasserbereich, die je nach Belastungen technisch-biologisch, d.h. rein pflanzlich oder als Kombination aus pflanzlichen und technischen Komponenten, oder gegebenenfalls auch nach wie vor rein technisch, zum Beispiel als Steinschüttung, ausgebildet wird.

Hinsichtlich der hydraulischen Belastung der technisch-biologischen Ufersicherungsarten, die in jedem Fall pflanzliche Komponenten enthalten, ist zu unterscheiden zwischen Anwendungen an Wasserstraßen mit quasi konstantem Wasserstand (z.B. Kanäle) und Wasserstraßen mit stark wechselnden Wasserständen (z.B. Flüsse). Im ersten Fall wird die oberhalb des Normalstaus angeordnete Ufersicherung nur durch Wellenauflauf und Wiederauffüllungsströmung belastet (Bild 2, oben) und muss dementsprechend lediglich einen ausreichenden Erosionsschutz für die Böschung bieten. Ein längerer Überstau der Ufersicherung ist planmäßig nicht zu erwarten. Andere Randbedingungen sind bei stark schwankenden Wasserständen gegeben (Bild 2, unten). In der Regel wird die pflanzliche Ufersicherung auch hier etwa oberhalb eines mittleren Wasserstandes (MW) angeordnet, so dass diese planmäßig bei höheren Wasserständen eingestaut wird. Bei Wasserständen bis zum höchsten schiffbaren Wasserstand (HSW) erfolgt zusätzlich eine schifffahrtsbedingte Belastung aus Wasserspiegelabsenk und Rückströmung. Die pflanzliche Ufersicherung muss in diesem Fall so ausgebildet sein, dass sie nicht nur vor Oberflächenerosion schützt, sondern auch die geotechnische Böschungsstandsicherheit gewährleistet, d.h. ein Abgleiten der Böschung infolge Porenwasserüberdrücken im Boden verhindert. Das bedeutet, die Anforderungen an die pflanzliche Ufersicherung sind in beiden Fällen unterschiedlich.

Hinsichtlich des Schutzes vor Oberflächenerosion kann zum Teil auf Erfahrungen mit kleineren Fließgewässern ohne Schifffahrt zurückgegriffen werden. Hier gibt es für verschiedene pflanzliche Bauweisen bereits empirische Grenzwerte für zugelassene Strömungsgeschwindigkeiten bzw. Schubspannungen /Gerstgraser, 2000/. Bei der Anwendung der Grenzwerte ist allerdings zu berücksichtigen, dass sich die Werte i. d. R. auf die Strömung im Hauptgerinne und nicht am Ufer beziehen. Fundierte Grenzwerte für zulässige Wellenhöhen, die aufgrund fehlender Erfahrungen an Wasserstraßen noch nicht vorliegen, werden zurzeit im Rahmen des Forschungsprojektes der BAW und BfG erarbeitet. Erosion wird insbesondere durch das Brechen

der am Ufer mitlaufenden Heckquerwelle verursacht. Für die Anwendung von biologischen bzw. technisch-biologischen Ufersicherungen an Wasserstraßen gibt es dementsprechend aber bereits erste Empfehlungen, wenn ausschließlich ein Schutz vor Oberflächenerosion erforderlich ist. Das gilt für alle Wasserstraßen mit quasi konstantem Wasserstand.



*Bild 2: Anordnung pflanzliche Ufersicherungen an einem Kanal mit konstanten Wasserständen (oben), an einem Fluss mit schwankenden Wasserständen (unten)*

Hinsichtlich der Wirksamkeit und Belastbarkeit pflanzlicher Ufersicherungen in Bezug auf die Böschungsstandsicherheit bei Auftreten von Porenwasserüberdrücken im anstehenden Boden sind die Untersuchungen der BAW und BFG noch nicht abgeschlossen. Ein entsprechendes Gewicht auf der Böschung - wie bei Steinschüttungen - wird mit den rein pflanzlichen Ufersicherungen nicht erreicht. Ein Abgleiten in einer oberflächennahen Gleitfläche im Boden kann durch eine entsprechende Verwurzelung durch Einzelwurzeln (z.B. einzelne Gehölze) im Sinne einer bodenmechanischen Vernagelung oder durch ein dichtes, verzweigtes, feines Wurzelsystem im Sinne einer Bodenkohäsion (z.B. Grasnarbe, Röhrichte) erzielt werden. Hierzu werden zurzeit im Rahmen des Forschungsprojektes spezielle Modellversuche in der BAW durchgeführt. Dabei geht es unter anderem um die Fragestellung, wie die Wurzeln die Durchlässigkeit und damit das Auftreten von Porenwasserdrücken im Boden und die Scherfestigkeit des Bodens beeinflussen. Ziel ist, die Belastbarkeit als Grundlage für erforderliche Bemessungsvorschriften zu quantifizieren.

Da die Untersuchungen noch nicht abgeschlossen sind, gibt es für pflanzliche Ufersicherungen an Wasserstraßen mit stark schwankenden Wasserständen, die auch die Böschungssicherheit bei Auftreten von Porenwasserüberdrücken im Boden gewährleisten müssen, derzeit noch keine Bemessungsgrundlagen. Deshalb sollten in diesen Fällen zum jetzigen Zeitpunkt noch keine rein pflanzlichen Ufersicherungen angewendet werden. Möglich sind in Abhängigkeit der hydraulischen Belastungen jedoch Kombinationen aus pflanzlichen und technischen Komponenten, bei denen die technischen Komponenten durch ein ausreichendes Flächengewicht auf der Böschung die geotechnische Standsicherheit garantieren.

### 3 Besonderheiten von Ufersicherungen mit pflanzlichen Komponenten

Für eine erfolgreiche Anwendung technisch-biologischer Ufersicherungen an Wasserstraßen sind zusätzlich zur Beurteilung deren Wirksamkeit als Uferschutz bei den zu erwartenden hydraulischen Belastungen verschiedene Besonderheiten zu beachten, die sich einerseits aus den speziellen Randbedingungen der Wasserstraße und andererseits aus der Verwendung von pflanzlichen Komponenten ergeben.

**Sofortige hydraulische Belastung:** Im Einflussbereich der Schifffahrt ist die Ufersicherung unmittelbar nach dem Einbau den schiffsinduzierten hydraulischen Belastungen ausgesetzt, da der Einbau in der Regel bei laufendem Schiffsbetrieb erfolgen muss. Bei einer Steinschüttung ist das kein Problem, da diese sofort in vollem Umfang als Ufersicherung fungiert und sich danach - von eventuellen Schäden abgesehen - nicht mehr verändert. Bei pflanzlichen Ufersicherungen müssen dagegen wachstumsbedingt unterschiedliche Entwicklungszustände betrachtet werden, wobei der Anfangszustand in der Regel der am meisten kritische Zustand ist. Eingebaute Pflanzen müssen sich erst entwickeln und ein verzweigtes Wurzelwerk bilden. Die Belastbarkeit der Ufersicherung nimmt entsprechend mit der Zeit zu. Ein ausreichender Erosionsschutz und die Uferstandsicherheit müssen jedoch sofort gewährleistet sein.

**Flächige Wirksamkeit:** Aus den vorher genannten Gründen muss bereits im Anfangszustand eine flächige Wirksamkeit der Uferschutzmaßnahmen gegeben sein. Möglich ist das z.B. durch flächig verlegte Weidenspreitlagen (Bild 3, oben) oder lückenlos eingebaute Kammerdeckwerke (Bild 3, Mitte). Sie müssen bei entsprechender Ausführung selbst von Anfang an erosionsstabil sein und gleichzeitig Materialaustrag aus dem anstehenden Boden verhindern. Nur punktuell oder auch linear wirkende Schutzmaßnahmen wie z.B. im Raster eingebaute Steckhölzer (Bild 3, unten) bzw. Faschinenreihen sind als alleinige Maßnahmen nicht ausreichend, wenn der anstehende Boden nicht erosi-



onsstabil ist. Der Boden wird in diesem Fall um die punktuellen und linearen Sicherungen erodiert. Langfristig wird dadurch auch die über die Wurzel vorhandene Verankerung der Einzelpflanze im Boden geschwächt, so dass diese nicht dauerhaft stabil erhalten bleiben kann.



*Bild 3: Flächig wirkende Ufersicherungen - oben: Spreitlagen, Mitte: Kammerdeckwerke; Punktuell wirkende Ufersicherungen - unten: Steckhölzer*

**Filterstabilität:** Die Filterstabilität im Böschungsbereich ist notwendig, um Materialaustrag aus der Böschung zu vermeiden. Das gilt besonders für den Einflussbereich möglicher Porenwasserüberdrücke im Boden infolge Wasserspiegelabsink, da dann eine senkrecht zur Böschungsoberfläche aus der Böschung heraus gerichtete Strömung auftritt. Kann mit den angeordneten Maßnahmen allein im Anfangszustand oder auch dauerhaft keine ausreichende Filterstabilität gewährleistet werden, müssen zusätzliche Filterschichten angeordnet werden. Das kann ein Mineralkornfilter oder ein Geotextil sein. Geht es nur um die Sicherung im Anfangszustand, sollte ein verwendetes Geotextil

aus ökologischen Gründen biologisch abbaubar sein. Auf diese Weise kann langfristig die Durchgängigkeit des Uferbereiches für Makrozoobenthos und andere Kleinlebewesen wieder hergestellt werden. Die Schwierigkeit besteht allerdings häufig darin, ein Geotextil zu finden, das als Filter in einer Ufersicherung mit pflanzlichen Komponenten alle Anforderungen gleichermaßen erfüllt: Filterstabilität zum anstehenden Boden, ausreichende Durchlässigkeit und Festigkeit, Durchwurzelbarkeit und biologische Abbaubarkeit. Handelsübliche Kokosmatten (Bild 4) beispielsweise sind gut durchwurzelbar und biologisch abbaubar, erfüllen aber meist nicht die Filterstabilität und haben nur sehr geringe Festigkeiten. Das bedeutet, dass sie im Wellenangriffsbereich leicht beschädigt und zerstört werden können. Auch Schafwollvliese (Bild 4) sind gut abbaubar, sie können gleichzeitig die Filterstabilität gewährleisten, sind jedoch nicht so gut durchwurzelbar wie Kokosmatten und besitzen keine großen Festigkeiten. Kunststoffvliese, die standardmäßig als Filter in technischen Deckwerken angewendet werden, sind hinsichtlich Filterstabilität und Festigkeit perfekt geeignet. Der entscheidende Nachteil ist, dass sie dauerhaft erhalten bleiben und auch langfristig nicht zersetzt werden. Es muss demzufolge in jedem Anwendungsfall genau geprüft werden, welche Eigenschaften Prioritäten haben müssen.

**Befestigungen/ Fußsicherung/ Übergänge:** Da pflanzliche Ufersicherungen erst mit der Zeit Wurzeln in den Untergrund entwickeln und auch erst dann ausreichend mit der Böschung verankert sind, kommt der Befestigung der Ufersicherung im Anfangsstadium eine besondere Bedeutung zu. Weidenspreitlagen müssen beispielsweise gut mit Pflöcken, Riegelhölzern und Drahtverspannungen befestigt werden, so dass sie bei hydraulischen Belastungen auch in der Anfangszeit lagestabil sind und eine gute Verbindung zum Untergrund als Voraussetzung für das Einwachsen der Wurzeln gegeben ist. Als Fußsicherung sollten die technisch-biologischen Ufersicherungen gut in die in der Regel unter Wasser befindliche Steinschüttung eingebunden werden, um bevorzugte Angriffspunkte für Welle und Strömungen zu vermeiden. Das gleiche gilt für Übergänge, Anschlüsse und Überlappungen. Einzelnen verlegte Deckwerksteile wie Röhrichtgabionen oder Kammerdeckwerke müssen einen guten Verbund untereinander und zu angrenzenden anderen Ufersicherungsarten bilden.



*Bild 4: Kokosmatte/ Schafwollvlies*

**Überstautoleranzen:** In Wasserstraßen mit stark schwankenden Wasserständen ist davon auszugehen, dass die pflanzlichen Ufersicherungen zeitweise immer wieder - ggf. auch längere Zeiten - überstaut werden. In der Regel nimmt die Belastbarkeit bei längeren Überstauzeiten ab. Ein Absterben der Pflanzen führt zum Versagen der Ufersicherung. Deshalb können in diesen Fällen nur überstauungsresistente Pflanzen angewendet werden /Florineth, 2004/.

**Hochwasserneutralität:** Nach dem Bundeswasserstraßengesetz (2010) muss für jede bauliche Maßnahme an Wasserstraßen deren Hochwasserneutralität nachgewiesen werden. Das gilt auch für technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen. Hier muss neben dem Anfangszustand insbesondere die Zielvegetation begutachtet werden. Aus den auf der Böschung verlegten Weidenspreitlagen beispielsweise erwächst langfristig ein Gehölzbestand, der bei kleinen Gewässerquerschnitten durchaus hochwasserrelevant sein könnte.

**Rauheit im Uferbereich:** Um Übergangsprobleme hinsichtlich der Gefahr von lokalen Erosionen zu vermeiden, sollten große Rauigkeitsunterschiede zwischen Sohle und Böschung und zwischen der Steinschüttung im Unterwasserbereich und der technisch-biologischen Ufersicherung im Überwasserbereich vermieden werden.

**Einbauzeiten/ Bauzustände:** Im Gegensatz zum Einbau von Wasserbausteinen werden die Einbauzeiten bei der Verwendung technisch-biologischer Ufersicherungen primär von der Art der verwendeten Pflanzen bestimmt. Ein optimales Anwachsen und Gedeihen der Pflanzen als Voraussetzung für einen stabilen Uferschutz ist nur möglich, wenn die erforderlichen Pflanzzeiten eingehalten werden. Die meisten pflanzlichen Bauweisen, wie z.B. Weidenspreitlagen und Steckhölzer, müssen in der Vegetationsruhezeit - hauptsächlich in den Monaten Oktober/ November und März/April - eingebaut werden.

**Unterhaltung:** Bei Steinschüttungen besteht die Unterhaltung in der Regel in der Ausbesserung von Schäden im Deckwerk durch Nachschütten von Steinen. Bei pflanzlichen Ufersicherungen ist in jedem Fall unabhängig von der erforderlichen Beseitigung möglicher Schäden eine generelle Unterhaltung von Anfang an erforderlich, um einerseits das Gedeihen der Pflanzen zu gewährleisten und andererseits die Ausbildung der Ufersicherung im Endzustand entsprechend der geplanten Zielvegetation zu fördern. Die Rauigkeit der Ufer und die Forderung nach Hochwasserneutralität erfordern ggf. ein starkes Zurückschneiden der sich entwickelnden Vegetation. Zum Unterhaltungsaufwand im Vergleich zu einer Steinschüttung können zum jetzigen Zeitpunkt noch keine Aussagen getroffen werden.

## 4 Anwendungsbeispiele für Ufersicherungsmaßnahmen an Wasserstraßen

Unter Berücksichtigung der bisherigen Ausführungen kommen für Anwendungen an Wasserstraßen in Abhängigkeit von den gegebenen hydraulischen Belastungen verschiedene technisch-biologischen Ufersicherungsmaßnahmen in Betracht. Beispielhaft sind im Folgenden drei mögliche Maßnahmen beschrieben.

### 4.1 Weidenspreitlagen

Weidenspreitlagen sind pflanzliche Ufersicherungen, bestehend aus austriebsfähigen Weidenruten, die meistens quer zur Fließrichtung flächig eng nebeneinander liegend auf der Uferböschung verlegt und mit Pflöcken und horizontalen Querriegeln oder Drahtverspannungen sicher am Boden befestigt werden. Wichtig ist, dass dabei keine Lücken bleiben, in denen der dort anstehende Boden bei hydraulischer Belastung nicht geschützt wäre. Die basalen Enden der Weidenäste müssen so angeordnet werden, dass sie ausreichend mit Wasser versorgt sind. Als Fußsicherung bietet sich eine Einbindung der Rutenenden in die in der Regel unter Wasser befindliche Steinschüttung an. Ist keine Steinschüttung vorhanden, muss der Fußbereich der Weiden durch Längsfaschinen oder andere alternative Maßnahmen gesichert werden. Durch Austreiben der Ruten erfolgt eine zunehmende Verwurzelung mit dem Untergrund. Langfristig ist das Ufer durch sich entwickelnde Gehölze gesichert. Eine planmäßige Unterhaltung ist aus den oben beschriebenen Gründen erforderlich. Die Material- und Herstellungskosten für die Ufersicherung sind vergleichsweise gering.



Bild 5: Weidenspreitlagen: Einbauzustand/ Zustand nach etwa 3 Monaten

Aus Erfahrungen an kleineren Fließgewässern ist bekannt, dass Weidenspreitlagen langfristig Schubspannungen von 150 bis 300 N/m<sup>2</sup> /Gerstgraser, 2000/ aufnehmen können. Das heißt, die Belastbarkeit ist sehr groß und nach heutigen Erkenntnissen vergleichbar mit der Belastbarkeit üblicher Steinschüttungen an Wasserstraßen. Zulässige Wellenhöhen für Anwendungen an Wasserstraßen liegen noch nicht vor. Eine Anwendung als ausschließlicher Erosionsschutz bei



Wasserstraßen mit quasi konstanten Wasserständen ist jedoch bereits jetzt in Abhängigkeit von den hydraulischen Belastungen möglich (Bild 2, oben). Aufgrund des fehlenden Gewichts der Ufersicherung ist gegenwärtig eine Anwendung in dem durch Wasserspiegelsunk belasteten Uferbereich jedoch noch nicht zu empfehlen (Bild 2, unten).

#### 4.2 Begrünte Kammerdeckwerke/ begrünte Gabionen

Bei Kammerdeckwerken und Gabionen handelt es sich um Ufersicherungen aus pflanzlichen und technischen Komponenten. Diese werden in den jeweils erforderlichen Abmessungen vorgefertigt und flächendeckend ohne Lücken auf der Böschung verlegt. Sie bestehen in der Regel aus einer festen Umhüllung aus unverrottbaren Kunststoffnetzen oder verzinktem Stahl. Im Innern befinden sich – gehalten durch ein Filtervlies – Steine und ggf. eingeschlammter Boden. Die Schichtdicke ist variabel herstellbar, üblich sind 20 bis 30 cm. Entweder die Pflanzen, z.B. Röhrichte oder Gräser, werden direkt auf den Kammerdeckwerken bzw. Gabionen vorgezogen, oder es werden nachträglich separat vorgezogene Pflanzmatten auf den Kammerdeckwerken bzw. Gabionen befestigt. Langfristig wird durch zunehmende Wurzelbildung ein fester Verbund mit dem Untergrund erreicht. Je nach Untergrundverhältnissen und konstruktiver Ausbildung der Kammerdeckwerke ist - ggf. nur für den Anfangszustand - ein Filter erforderlich, um schädlichen Bodenaustrag zu vermeiden. Eine zusätzliche Befestigung auf der Böschung ist in der Regel nicht notwendig. Als Fußsicherung ist auch hier eine gute Einbindung in die vorhandene Steinschüttung erforderlich. Die Material- und Herstellungskosten für diese Ufersicherung sind im Vergleich zur Spreitlage wesentlich höher.

Bild 6 zeigt Kammerdeckwerke beim Einbau an der Unteren Havel-Wasserstraße und bei einer Prüfung 4 Jahre später. Eine starke Verwurzelung und dementsprechend gute Verbindung der Kammerdeckwerke mit dem Untergrund konnten hier festgestellt werden.

Aus Erfahrungen an kleineren Fließgewässern ist bekannt, dass Kammerdeckwerke bei entsprechender konstruktiver Ausbildung langfristig Schubspannungen von 100 bis 150 N/m<sup>2</sup> /Begemann, Schiechl, 1994/ aufnehmen können. Das heißt, die Belastbarkeit ist relativ hoch. Zulässige Wellenhöhen für Anwendungen an Wasserstraßen liegen noch nicht vor. Aufgrund der technischen Komponenten besitzen diese Ufersicherungen zusätzlich ein gewisses Gewicht, so dass diese auch in Böschungsbereichen, die durch Wasserspiegelsunk belastet werden, eingesetzt werden können (Bild 2, rechts). Voraussetzung ist, dass das Gewicht für die gegebenen hydraulischen Belastungen ausreichend groß ist. Dies ist nach /GBB, 2004/ nachzuweisen.



Bild 6: Kammerdeckwerk: Einbauzustand/ Zustand nach 4 Jahren (Deckwerksaufnahme)

#### 4.3 Begrünte Steinschüttung

Eine begrünte Steinschüttung ist eine Ufersicherung aus pflanzlichen und technischen Komponenten. Die technische Komponente ist hier das entsprechend bemessene Deckwerk aus losen Wasserbausteinen, das durch Bepflanzung oder Begrünung ökologisch aufgewertet wird. Bepflanzung und Begrünung können bereits beim Bau der Steinschüttung oder auch nachträglich durchgeführt werden. Eine Bepflanzung kann mit Setzstangen erfolgen, die langfristig mit dem Untergrund verwurzeln (Bild 7). Für eine nachträgliche Begrünung können die Hohlräume der Steinschüttung mit einem zur Erhöhung der Erosionsstabilität hochtourig aufbereiteten Mutterboden-Alginatgemisch verfüllt und eine Ansaat aufgebracht werden. Da das Deckwerk aus Wasserbausteinen hinsichtlich aller auftretenden hydraulischen Belastungen gemäß /GBB, 2004/ bemessen ist, ist eine Anwendung aus technischer Sicht sowohl an Kanälen als auch an Flüssen mit großen Wasserspiegelschwankungen möglich. Die Material- und Herstellungskosten für diese Ufersicherung liegen etwa zwischen den Kosten für eine Spreitlage und für ein begrüntes Kammerdeckwerk.



Bild 7: Mit Steckhölzern begrünte Steinschüttung

## 5 Maßnahmen zur Verringerung der Uferbelastung

Aus ökologischer Sicht sind ungesicherte Ufer oder Ufersicherungen, die überwiegend aus Pflanzen bestehen, anzustreben. Aus diesem Grund sollte im Vorfeld zunächst nach Möglichkeiten gesucht werden, die Uferbelastungen infolge Schifffahrt zu verringern. Durch vorgelagerte bauliche Maßnahmen wie beispielsweise Parallelwerke oder Pfahlreihen kann das Ufer weitestgehend vor schiffsinduzierten Belastungen geschützt werden (Bild 8). Voraussetzung ist jedoch, dass im vorhandenen Wasserstraßenquerschnitt der notwendige Raum dafür gegeben ist. Als strategische Maßnahme sollte auch die Möglichkeit einer Begrenzung der zulässigen Schiffsgeschwindigkeit nicht außer Acht gelassen werden. Da die hydraulischen Belastungen exponentiell mit der Schiffsgeschwindigkeit unter ansonsten gleichen Randbedingungen zunehmen, können schon geringe Reduzierungen eine große Wirkung haben.



Bild 8: Pfahlreihe im Bereich der Unteren Havel-Wasserstraße

## 6 Ausblick

Die Untersuchungen im Rahmen des gemeinsamen Forschungsprojektes der BAW und BfG dauern gegenwärtig noch an. In der Wellenversuchsanlage der BAW werden derzeit Modellversuche mit verschiedenen Ufersicherungsmaßnahmen auf verschiedenen Bodenarten durchgeführt. Gemeinsam mit dem WSA Mannheim werden in einem Naturversuch am Rhein bei Worms neun unterschiedliche technisch-biologische Ufersicherungsmaßnahmen getestet. Der Einbau wird voraussichtlich im März 2012 abgeschlossen sein. Danach wird ein umfassendes Monitoring hinsichtlich Uferstabilität und ökologischer Wirksamkeit der Maßnahmen durchgeführt. Parallel werden bei neuen Ausbau- und Unterhaltungsprojekten an Wasserstraßen weitere Erfahrungen gesammelt. Sukzessiv werden alle Ergebnisse in die noch zu erarbeitenden Bemessungsvorschriften für technisch-biologische Ufersicherungen an Wasserstraßen einfließen. Bereits jetzt werden die bisher vorliegenden Resultate über ein Internetportal der BAW und BfG zu dieser Thematik zur Verfügung gestellt (<http://ufersicherung.baw.de>).

## Literatur

- GBB (2004): Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlsicherungen an Binnenwasserstraßen. Mitteilungsblatt Nr. 87, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- 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
- MAR (2008): Merkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Wasserstraßen. Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe
- Gerstgraser, C. (2000): Ingenieurbio-logische Bauweisen an Fließgewässern, Grundlagen zu Bau, Belastbarkeiten und Wirkungsweisen, Österreichischer Kunst- und Kulturverein Wien
- Florineth, F. (2004): Pflanzen statt Beton, Handbuch zur Ingenieurbio-logie und Vegetationstechnik, Patzer Verlag Berlin – Hannover
- Begemann, W., Schichtl, H. (1994): Ingenieurbio-logie: Handbuch zum ökologischen Wasser- und Erdbau, Bauverlag Wiesbaden