



Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft Prof. Dr.-Ing. Silke Wieprecht

## Technischer Bericht Nr. 6/2005

# Alternative, naturnahe Ufersicherungen an schiffbaren Gewässern Internationale Literatur, Vorschriften und Erfahrungen

Auftraggeber: Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe (BAW)

Auftragnehmer: Institut für Wasserbau (IWS)

Lehrstuhl für Wasserbau und Wassermengenwirtschaft

Verfasser: Thusyanthan Kengatharam, M.Sc.

Dipl.-Ing. Jörg Franke

Prof. Dr.-lng. S. Wieprecht T. Kengatharam, M.Sc. Dipl.-lng. J. Franke

Stuttgart, 13.5.2005

Pfaffenwaldring 61 Tel.: +49 (0)711/685-4752 70569 Stuttgart Tax: +49 (0)711/685-4746

E-mail: wieprecht@iws.uni-stuttgart.de Internet: http://www.iws.uni-stuttgart.de

## Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung			3		
	1.1	Grund	llagen	3		
	1.2	Ziele.		3		
2	Methode & Ergebnisse der Recherche			4		
	2.1	Literat	turrecherche in Bibliotheken	4		
		2.1.1	Vorgehensweise	4		
		2.1.2	Literatur nach Ländern	4		
	2.2	Intern	etrecherche	5		
		2.2.1	Vorgehensweise	5		
		2.2.2	Internetseiten nach Ländern	5		
	2.3	Direkt	er Kontakt mit Institutionen, Universitäten und Organisationen	6		
		2.3.1	Vorgehensweise	6		
		2.3.2	Kontakte nach Ländern	7		
3	Naturnahe Bauweisen an Wasserstraßen im Ausland13					
	3.1	Frank	reich	13		
		3.1.1	Rundholzkisten zur kompletten Böschungssicherung	13		
		3.1.2	Lagenweise Stecklinge zur kompletten Böschungssicherung	14		
		3.1.3	Weidenstecklinge zur Ufersicherung	15		
		3.1.4	Astlagen zur Ufersicherung	16		
		3.1.5	Geflochtene Weiden zur Böschungsfußsicherung	17		
		3.1.6	Faschinen aus Weiden zur Böschungsfußsicherung	18		
		3.1.7	Wasserpflanzen	19		
	3.2	Großb	oritannien	21		
		3.2.1	Einleitung	21		
		3.2.2	Nicht-bauliche Vorgehensweisen	22		
		3.2.3	Konstruktive Methoden	26		
4	Zusammenfassung					
Anl	nang:	Kurzzu	sammenfassungen von ausgewählten Büchern	40		

## 1 Einleitung

## 1.1 Grundlagen

Die nachteiligen Auswirkungen von im Ingenieurbau gebräuchlichen Materialien wie Beton, Stahl, Holz, Steine, o.ä., haben Ingenieure und Forscher anderer Fachsparten dazu bewegt, nach umweltfreundlichen Methoden für Ingenieuraufgaben zu suchen.

Menschen in allen Lebenslagen wird die Notwendigkeit umweltverträgliche Lösungen für ingenieurtechnische Fragestellungen zu finden zunehmend bewusst. Umweltnahe Methoden sind nicht nur ein Gewinn für die Landschaft sondern können auch kosteneffektiv sein. Im Gegensatz dazu beeinträchtigen konservative Methoden meist die Lebensgrundlage für Flora und Fauna sowie die Wasserqualität und das Landschaftsbild.

Biologische Bauweisen werden als die umweltverträglichste Möglichkeit zur Lösung von Erosionsproblemen angesehen. Da die Rolle der Vegetation im Ingenieurwesen bislang noch nicht umfassend erforscht ist und biologische Bauweisen in der Praxis nur quantitativ angewendet werden, ist es erforderlich Richtlinien zu erarbeiten, die diese Konstruktionsmethoden als effektives Werkzeug zur Erosionsvermeidung ausweisen. Deshalb sollten auch an Wasserstraßen umweltfreundliche Wege gefunden werden die Ufer vor dem Strömungs- und Wellenangriff durch die Schifffahrt zu schützen.

Das Institut für Wasserbau wurde deshalb von der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) beauftragt eine Literaturstudie durchzuführen, um den aktuellen Stand der Technik in ausgewählten Ländern der Erde mit wichtigen Wasserstraßen im Bereich der naturnahen Ufersicherungen zu erfassen.

#### 1.2 Ziele

Das Hauptziel dieser wissenschaftlichen Studie ist es, herauszufinden, welche Maßnahmen zur Vermeidung von Erosion an Uferstreifen, hervorgerufen durch den Schifffahrtsbetrieb, in verschiedenen Teilen der Welt eingesetzt wurden bzw. werden. Die Länder auf die ein spezielles Augenmerk gelegt wurde sind die Vereinigten Staaten von Amerika, Großbritannien, Niederlande, Frankreich, Österreich, Schweiz, Russland, Ukraine, Ungarn, Rumänien und China. Die Studie befasst sich mit den folgenden Aufgabenbereichen:

- Sammeln und Sichten vorhandener Literatur
- Anfragen bei den Wasser- und Schifffahrtsbehörden der jeweiligen Länder, mit der Bitte um Auskunft über Erfahrungen, Anwendungsbeispiele und Forschung zu alternativen Ufersicherungen in ihren Ländern
- Anfragen bei Universitäten und Forschungseinrichtungen zu theoretischen Überlegungen, durchgeführten Modellversuchen oder praktischen Anwendungen (z. B. Pilotversuche)
- Auswerten der Unterlagen und Katalogisieren der verschiedenen Methoden
- Zusammenfassen und Bewerten der vorhandenen Erfahrungen, sortiert nach den kategorisierten Methoden

## 2 Methode & Ergebnisse der Recherche

Die Untersuchungen basieren hauptsächlich auf den folgenden drei Methoden Informationen zu recherchieren:

- (1) Literaturrecherche in Bibliotheken
- (2) Internetrecherche
- (3) Direkter Kontakt mit Institutionen, Agenturen, Universitäten und Organisationen

#### 2.1 Literaturrecherche in Bibliotheken

## 2.1.1 Vorgehensweise

Begonnen hat die Studie mit der Durchsicht von in Bibliotheken verfügbarer Literatur über Methoden zur Vermeidung von Erosion. In der Bibliothek der Universität Stuttgart und der der Bundesanstalt für Wasserbau in Karlsruhe wurde vor Ort gesucht, in allen weiteren deutschen Bibliotheken wurde über das Internet recherchiert. Die Suche umfasste sowohl Publikationen als auch Bücher. Die Liste der gefundenen Bücher ist im Anhang aufgelistet. Die in den Büchern behandelten Themen beziehen sich jedoch hauptsächlich auf die allgemeinen Methoden biologischer Bauweisen wie Ufererosionsprozesse, Konstruktion, Bewertung von Erosionsproblemen o.ä.. Literatur für die eigentliche Problemstellung, der naturnahen Ufersicherungen speziell an Wasserstraßen, wurde nicht gefunden.

#### 2.1.2 Literatur nach Ländern

#### 2.1.2.1 Deutschland

BERGMANN & SCHIECHTL, H M, 1989: Ingenieurbiologie – Handbuch zum naturnahen Wasserund Erdbau, Bauverlag.

PATT, H, JÜRGING, P, KRAUS, W, 1997: Naturnaher Wasserbau – Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern, Springer Verlag, Berlin u.a..

SCHIECHTL, H M UND STERN, R, 2001 Naturnaher Wasserbau – Anleitung für ingenieurbiologische Bauweisen.

SCHIECHTL, H M UND STERN, R, 1996: Ground Bioengineering Techniques for Slope Protection and Erosion Control. Blackwell Science Ltd.

SCHLÜTER, U, 1986: Pflanze als Baustoffe: Ingenieurbiologie in Praxis und Umwelt, Patzer Verlag, Berlin – Hannover.

## 2.1.2.2 Großbritannien

Waterway Bank protection – A guide to erosion assessment and management (Environment Agency, British Waterways 1999, UK).

COPPING, N J UND RICHARDS, I G, 1990: Use of Vegetation in Civil Engineering CI-RIA/Butterworth, London.

#### 2.1.2.3 Indonesien

BUDINETRO, H S: Low-cost Treatment of River Bank Erosion, Surkarta.

#### 2.1.2.4 Niederlande

DE VRIES, W S, DE WIT, J A W, BOETERS, R E A M, 2003: Ecologically sound banks – from policy to reality, WW Conference, Kyoto.

DUJIN, P, Nature friendly banks along Waterways in The Netherlands.

#### 2.1.2.5 Österreich

SCHIECHTL, H M UND STERN, R,1994: Water Bioengineering Techniques for Watercourse, Bank and Shoreline Protection. Österreichischer Agrarverlag, Klosterneuburg, Österreich.

#### 2.1.2.6 Vereinigte Staaten von Amerika

GRAY, D H UND LEISER, 1982: Biotechnical Slope Protection and Erosion Control, Van Nostrand Reinhold Company, New York, NY.

GRAY, D H UND SOTIR, R B, 1996: Biotechnical and bioengineering slope stabilisation: A practical guide for erosion control. Wiley, New York.

ELLIS, A, 2001: Marine Department Riverbank Management Plan – Port of Portland, Portland, Oregon.

#### 2.2 Internetrecherche

## 2.2.1 Vorgehensweise

Es gibt eine Reihe von Internetseiten die sich mit der Kontrolle von Erosionsprozessen befassen. Die Webseiten von Umweltkommissionen, Universitäten, Forschungseinrichtungen und anderen auf diesem Feld tätigen Organisationen veröffentlichen vielfach ihre Arbeiten über das Internet. Die Information gleicht meist den entsprechenden Büchern, häufig sind jedoch auch nur Kurzfassungen im Internet zu finden. Meist sind auf den Webseiten die Kontaktadressen der an diesen Themen arbeitenden Mitarbeiter zu finden. Diese Personen wurden dann im Rahmen dieses Projektes per elektronischer oder konventioneller Post angeschrieben. Lange Wartezeiten auf eine Antwort waren die Regel. Trotz mehrmaligem Versuch der Kontaktaufnahme, haben die Meisten jedoch gar nicht geantwortet. Bei einigen Firmen ist der Kontakt mit dem Unternehmen nur über im Internet auszufüllende Formulare möglich. Jedoch auch dann gab es kaum bzw. keine Rückmeldung.

#### 2.2.2 Internetseiten nach Ländern

Die folgenden Internetseiten stellen einen Ausschnitt relevanter Internetseiten zum Thema Uferbefestigungen an Wasserstraßen dar.

#### 2.2.2.1 Australien

http://www.rivers.gov.au (Australien Government, Land & Water Australia)

#### 2.2.2.2 Europa

http://www.inlandnavigation.org (Inland Navigation Europe)

http://eu.wiley.com (Bücher)

#### 2.2.2.3 Frankreich

http://www.vnf.fr (voies navigables de France)

#### 2.2.2.4 Großbritannien

http://www.bgs.ac.uk (British Geological Survey, Natural Environment Research Council)

http://www.britishwaterways.co.uk (British Waterways)

http://www.environment-agency.gov.uk (The Environment Agency)

http://www.land-water.co.uk (Land & Water Group Ltd)

http://www.sepa.org.uk (Scottish Environment Protection Agency)

http://www.visitthames.co.uk (e.g. Thames User guide)

#### 2.2.2.5 Kanada

http://www.slv2000.gc.ca (Saint Laurent Vision 2000)

#### 2.2.2.6 Niederlande

http://www.verkeerenwaterstaat.nl (Ministerium für Verkehr, Wasserwirtschaft und öffentliche Arbeiten)

#### 2.2.2.7 Vereinigte Staaten von Amerika

http://www.flypdx.com (Port of Portland)

http://www.iwr.usace.army.mil (US Army Corps of Engineers, Institute for Water Resources)

http://www.nps.gov (US Department of the Interior, National Park Service)

http://www.tellusnews.com/ahr/report\_chapter2.html

(Greater Detroit American Heritage River Initiative and Partners)

http://www.usace.army.mil (US Army Corps of Engineers)

http://www.usgs.gov (US Geological Survey)

http://www.webtecgeos.com (Geotextilien)

## 2.3 Direkter Kontakt mit Institutionen, Universitäten und Organisationen

#### 2.3.1 Vorgehensweise

Experten auf dem Gebiet von Ufersicherungen an schiffbaren Gewässern mehrerer Länder wurden per Post um Mithilfe gebeten. In einigen Fällen kam zusätzlich auch eine telefonische Kontaktaufnahme zu Stande, um die relevanten Arbeiten zu recherchieren. Ebenso wurden die Botschaften der entsprechenden Länder in Deutschland angeschrieben mit der Bitte die Kontaktadressen von auf diesem Gebiet arbeitenden Personen oder Behörden zu übermitteln. Wenn nach einigen Wochen keine Antwort erfolgte, wurde mit einem Erinnerungsbrief nochmals um die Beantwortung der Anfrage gebeten. Eine Liste der Personen und jeweiligen Organisationen verschiedener Länder ist im Anhang abgedruckt.

## 2.3.2 Kontakte nach Ländern

## 2.3.2.1 China

Organisation	Kontakt	Post / Email	Reaktion
Embassy in Germany	Educational Embassy office jych-berlin-de@t-online.de	Email	ist kein Thema in China

#### 2.3.2.2 Frankreich

Organisation	Kontakt	Post / Email	Reaktion
Voies navigables de France	le Directeur Général Olivier Matrat 175 rue Ludovic-Boutleux boite postale 820 62408 Béthune cedex	Post	Zusendung von umfangreichem Material über Vor- gehensweisen und Beispiele
M. Ingénieur en Chef des Ponts et Chaus- sées	Conseil Général des Ponts et Chaussées 144 rue Garilbaldi, BP 6130 69469 LYON CEDEX, France	Post	weitergeleitet an CETMEF cetmef @equipement.gouv.fr
Division fluviaux et de la navigation Intérieure (DOFNI)	Département Ports Maritimes et voies navigables (DPMVN) Fabrice Daly (Chef de Division) Cedex fabrice.daly@equipement.gouv.fr	-	Antwort über kon- struktive Methoden und die Absicht, 2005 / 2006 Versu- che zu schiffsindu- zierten Wellenbe- lastungen durchzu- führen

## 2.3.2.3 Großbritannien

Organisation	Kontakt	Post / Email	Reaktion
Environment Agency	Internet-Kontaktformular ausgefüllt www.environment-agency.gov.uk	Web &	
Environment Agency	lengym@environment-agency.gov.uk	Email	Liste von Literatur- stellen

Scottish Environment protection Agency	SEPA Corporate Office Erskine Court Castle Business Park STIRLING FK9 4TR Tel: 01786 457700 Fax: 01786 446885	Post	
Scottish Environment Protection Agency	Internet-Kontaktformular ausgefüllt	Web &	Empfehlung, die "environment a- gency" zu kontak- tieren
Scottish Environment Protection Agency	Rob Morris Erskine Court Castle Businesspark Stirling SK 94 TR UK		
British Waterways	Myles Andrews British waterways Fearns Wharf Neptune Street Leeds LS9 8PB UK	Post	
British Waterways	Paul Beckwith  Head of Environment  Paul.Beckwith@britishwaterways.co.uk	Email	hat dem IWS einige Beispiele / Fotos zugesandt

## 2.3.2.4 Niederlande

Organisation	Kontakt	Post / Email	Reaktion
Ministerie van Verkeer en Waterstaat	Den Haag, Gebouw ,De Korte- naer, Postbus 20907 2500 EX DEN HAAG	Post	
Ministerie van Verkeer en Waterstaat	Gebouw van Biologisch Centrum Haren, Postbus 207, 9750 AE HAREN Nethelands	Post	Kann nicht helfen. Empfehlung, "Dienst Weg- en Waterbouwkunde" zu kontaktieren
Ministerie van Verkeer en Waterstaat	Gebouw Arnestein, Postbus 8039 4330 EA Middelburg Netherlands	Post	

Ministerie van Verkeer en Waterstaat	Veldlaboratorium Kamperland	Post	
Ministry of Transport, Public Works an Water Management	Directorate-General of Public Works an Water Management Johan de Wittlaan 3 P.O. Box 20906 2500 EX Den Haag, Nethelands	Post	
Ministry of Transport, Public Works an Water Management	Directorate-General of Public Works an Water Management AVV Transport Research Boompjes 200 P.O. 1031 3000 BA Rotterdam	Post	haben die Anfrage an "Dienst Weg- en Waterbouwkunde" weiter geleitet
Dienst Weg- en Wa- terbouwkunde	Postbus 5044 2600 GA Delft dwwmail@dww.rws.minvenw.nl	Email	haben Papers und Software "DIPRO+" (DImensioning PROtections) ge- schickt; Software für konstruktive Bauweisen

## 2.3.2.5 Rumänien

Organisation	Kontakt	Post / Email	Reaktion
Embassy in Germany	info@ungarische-botschaft.de	Email	
Embassy in Germany	Ro-amb.berlin@t-online.de	Email	

## 2.3.2.6 Schweiz

Organisation	Kontakt	Post / Email	Reaktion
Versuchsanstalt für	ETH – Zentrum	Post &	
Wasserbau, Hydro-	8092 Zürich	Email	
logie und Glaziologie	Switzerland		
(VAW)	info@vaw.baug.ethz.ch		

## 2.3.2.7 Vereinigte Staaten von Amerika

Organisation	Kontakt	Post / Email	Reaktion
Colorado Water Re-	CWRRI - CSU	Email	
sources Research In-	E102 Engineering		
stitute	Fort Collins, CO 80523-2033		
	Gloria.Blumanhourst@colostate.edu		

Indiana, Water Resources Research Centre	Indiana Water Resources Research Centre Purdue University West Lafayette, IN 47907 esei@ecn.purdue.edu	Email
Massachusetts Water Resources Research centre	Blaisdell House 310 Hicks Way University of Massachusetts Amherst, MA 01003 reckhow@ecs.umass.edu	
US Army Corps of Engineers  Navigation	Waterway Navigation David.M.Varner @mvr02.usace.army.mil	Email
US Army Corps of Engineers  Navigation	William.T.Gretten @mvr02.usace.army.mil	Email
US Army Corps of Engineers  Navigation	CEMVR- PA@mvr02.usace.army.mil	Email
US Army Corps of Engineers	US Army Corps of Eng. Institute of Water Resources Navigation Data Centre 7701 Telegraph Road Alexandria VA 22315 USA	Post
Environmental Protection Agency	Region 1 (CT, MA, ME, NH, RI, VT) Environmental Protection Agency 1 Congress St. Suite 1100 Boston, MA 02114-2023	Post
Environmental Protection Agency	Environmental Protection Agency 290 Broadway New York, NY 10007-1866	Post
Environmental Protection Agency	Environmental Protection Agency 1650 Arch Street Philadelphia, PA 19103-2029	Post

Environmental Protection Agency	Environmental Protection Agency Atlanta Federal Center 61 Forsyth Street, SW Atlanta, GA 30303-3104	Post
Environmental Protection Agency	Environmental Protection Agency 77 West Jackson Boulevard Chicago, IL 60604-3507	Post
Environmental Protection Agency	U.S. EPA 26 Martin Luther King Drive Cincinnati, Ohio 45268	Post
Environmental Protection Agency	U.S. EPA National Enforcement Investigations Center Laboratory Box 25277, Bldg. 53 Denver Federal Center Denver, CO 80225	Post
Environmental Protection Agency	National Risk Management Research Laboratory (NRMRL) Subsurface Protection and Remediation Division	Post
Environmental Protection Agency	National Risk Management Research Laboratory (NRMRL) Water Supply and Resources Division Urban Watershed Management Branch 2890 Woodbridge Avenue (MS-104) Edison, NJ 08837	Post
Environmental Protection Agency	National Risk Management Research Laboratory (NRMRL) Air Pollution Prevention and Control Division Mail Code E343-04	Post
Environmental Protection Agency	Environmental Protection Agency Fountain Place 12th Floor, Suite 1200 1445 Ross Avenue Dallas, TX 75202-2733	Post
Environmental Protection Agency	Environmental Protection Agency 999 18th Street Suite 500 Denver, CO 80202-2466	Post

Environmental Protection Agency	Environmental Protection Agency 75 Hawthorne Street San Francisco, CA 94105	Post	
Environmental Protection Agency	77 West Jackson Boulevard, Chicago, IL 60604- 3507, USA	Post	
US Army Corps Engineers	State district office 111 North canal Suit 600 Chicago IL 60606-7206	Post	
US Army Corps Engi- neers	Office of the Chief of Army Engineers 441 G.Street, NW Washington, DC 20314-1000	Post	
US Army Corps Engi- neers	District Engineer PO Box 2004 Rock Island IL 61204-2004	Post	
US Geological Survey	es wurden 7 Ansprechpartner angeschrieben unter anderem: Daniel S. Soeder, Director 1289 McD Dr. Dover, DE 19901-4907 jmdenver@usgs.gov	Post	kann nicht helfen, hat an USACE verwiesen

#### 3 Naturnahe Bauweisen an Wasserstraßen im Ausland

Aufgrund des schlechten Rücklaufes unserer Anfragen an die im oben stehenden Abschnitt angeschriebenen Personen sowie der häufig gegebenen Antwort, dass es augenblicklich keine Aktivitäten im Bereich der naturnahen Ufersicherungen gibt, können Erfahrungen mit naturnahen Bauweisen an Wasserstraßen nur für Frankreich und Großbritannien wiedergegeben werden.

#### 3.1 Frankreich

Die französische Wasserstraßenverwaltung "voies navigables de France" hat dem IWS umfangreiches Material zukommen lassen mit beispielhaft dargestellten Konstruktionsmethoden für naturnahe Ufersicherungen an schiffbaren Gewässern sowie ausgeführten Beispielen mit Erfahrungswerten und Kostenschätzungen. Insbesondere hervorzuheben sind die Angaben über Schiffsbelastungen, denen die Uferläufe ausgesetzt sind. Die Erfahrungen der französischen Wasserstraßenverwaltung mit naturnahen Ufersicherungen können durchweg als gut bezeichnet werden. Interessant ist, dass sich die französische Wasserstraßenverwaltung von den ausführenden Baufirmen meist eine Garantie auf das Anwachsen der Pflanzen von zwei bis drei Jahren geben ließ.

Nachfolgend sollen die einzelnen Bauweisen anhand von Prinzipskizzen und Anwendungsbeispielen erläutert werden.

## 3.1.1 Rundholzkisten zur kompletten Böschungssicherung

#### 3.1.1.1 Charakteristika

Kosten: 200 – 350 € / lfm

Merkmale: - sehr widerstandsfähige Bauweise

- ähnlich wie eine Grainerwand, allerdings aus Holz
- Weidenzweige, Sträucher, Stecklinge;
- für starke Gefälle

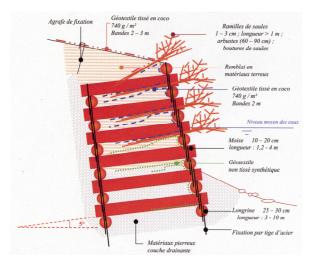




Abb. 3.1: Rundholzkisten

## 3.1.1.2 Anwendungsbeispiel "Sur la Deule, Département de Nord"

Länge: mehrere Testbauweisen auf 100 m Länge

Einbau: 1995

Problem: starke Erosion des Ufers mit Auswirkungen auf den Treidelpfad

Belastung: 200 Handelsschiffe / Jahr und wenige Ausflugsschiffe / Jahr

Kosten: 300 € / Ifm

Ergebnis: - sehr gute Entwicklung

- das Bauwerk selbst ist mittlerweile zugewachsen

- keine Auswaschung zu erkennen

## 3.1.2 Lagenweise Stecklinge zur kompletten Böschungssicherung

#### 3.1.2.1 Charakteristika

Kosten: 15 – 25 € / Ifm / Lage

Merkmale: - Weidenzweige

- mit Saatgut versehenes Kiesgemisch

- Steinpackung oder Faschine am Böschungsfuß möglich

- für steile Gefälle (5H:1V bis 1H:2V)

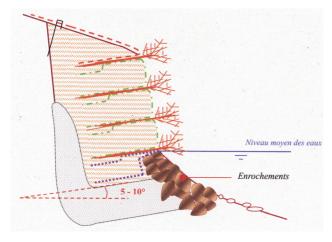


Abb. 3.2: Stecklinge zur Böschungssicherung

## 3.1.2.2 Anwendungsbeispiel "Canal de Colmar, Direction Interrégionale de Strasbourg"

Länge: 500 m

Einbau: 2000 – 2002

Problem: Böschungsstabilität

Belastung: 1.800 Schiffe / 6 Monate, größtenteils Yachten

Kosten: 150 €/ lfm

Ergebnis: - noch kein Resultat in der Broschüre abgedruckt

- Baufirma hat 2 Jahre Garantie auf das Anwachsen der Vegetation gegeben

## 3.1.3 Weidenstecklinge zur Ufersicherung

#### 3.1.3.1 Charakteristika

Kosten: 1,2 – 2,2 €/ Stück + 4 – 7 €/ m² für das Geotextil (ohne Verlegung)

Merkmale: - Weidenstecklinge

- für weniger steile Böschungen (< 3H:2V)

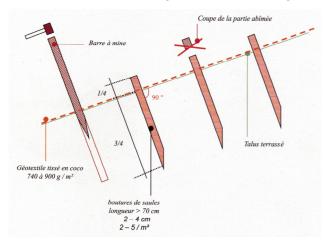


Abb. 3.3: Weidenstecklinge

## 3.1.3.2 Anwendungsbeispiel "Sur la Lys, Département du Nord"

Länge: 100 m

Einbau: 1995

Problem: Erosion, Gefahr für den Uferweg

Belastung: 12.500 Handelsschiffe / Jahr und Ausflugsschiffe

Kosten: 76,20 €

Ergebnis: die Erosion wurde stark verlangsamt bzw. gestoppt

## 3.1.4 Astlagen zur Ufersicherung

#### 3.1.4.1 Charakteristika

Kosten: 50 – 75 € / Ifm

Merkmale: - Widerstand nach Einbau: 50 N/m²

- Widerstand nach drei Jahren: > 300 N/m²

- lebende Weidenzweige

- schichtenweise Weidenmatten

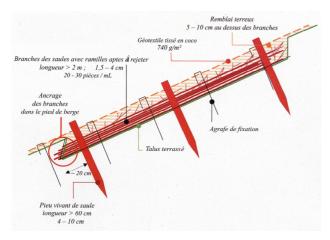




Abb. 3.4: Astlagen zur Ufersicherung

## 3.1.4.2 Anwendungsbeispiel "Sur la Deule, Département de Nord"

Länge: 100 m

Einbau: 1995

Problem: Erosion

Belastung: 12.500 Handelsschiffe / Jahr und Ausflugsschiffe

Kosten: - 61 €/ Ifm für die Faschine und 76,20 € für die Bettung etc.

- Steckling 2,30 € / Stück

Ergebnis: die Pflanzen sind gut angewachsen und die Erosion wurde gestoppt

## 3.1.5 Geflochtene Weiden zur Böschungsfußsicherung

#### 3.1.5.1 Charakteristika

Kosten: 40 – 50 € / Ifm

Merkmale: - Widerstand: 180 N/m² (sollte in einem großskaligen Modell überprüft werden)

- schichtenweise Weidenmatten

- totes und lebendiges Holz

- Gesamthöhe: 40- 60 cm, 30 - 40 cm über dem Wasserspiegel

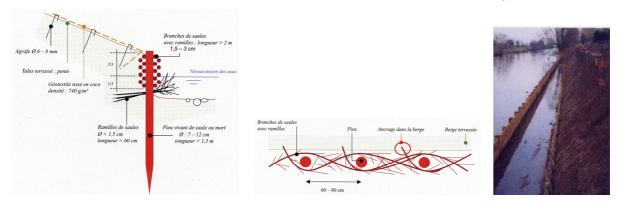


Abb. 3.5: Geflochtene Weiden (Schnitt und Aufsicht)

## 3.1.5.2 Anwendungsbeispiel "Sur la Lys, Département du Nord"

Einbau: 1995

Problem: Ufererosion und Gefährdung des Uferweges

Kosten: 46 € / Ifm

Ergebnis: sehr gute Entwicklung

## 3.1.6 Faschinen aus Weiden zur Böschungsfußsicherung

#### 3.1.6.1 Charakteristika

Kosten: 50 – 75 € / Ifm

Merkmale: - Widerstand: 250 N/m<sup>2</sup>

- schichtenweise Weidenmatten

- mit Saatgut versehenes Kiesgemisch

- wirksame Schutzhöhe: 30 - 50 cm

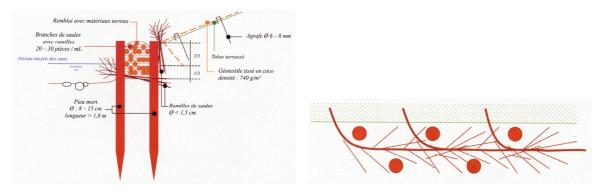


Abb. 3.6: Faschinen zur Böschungsfußsicherung (Schnitt und Aufsicht)

## 3.1.6.2 Anwendungsbeispiel "Canal de la Marne au Rhin, Direction Interrégionale du Nord-Est"

Länge: 300 m (2 Abschnitte von 50 und 250 m)

Einbau: April 1998

Problem: - reduzierte Wassertiefe durch Ufererosion

- Eisbruch

Belastung: 2.000 – 4.000 Ausflugsschiffe / Jahr und 600 Handelsschiffe / Jahr

Kosten: 57,5 € / Ifm

Ergebnis: Die Pflanzen haben sich gut entwickelt.

## 3.1.7 Wasserpflanzen

Für den Einsatz von Wasserpflanzen als Uferschutz gibt es eine Reihe von Anwendungsund Ausführungsmöglichkeiten. In Frankreich wurde eine recht große Anzahl von Versuchsstrecken gebaut.

#### 3.1.7.1 Faschinen und Wasserpflanzen

#### Charakteristika

Kosten: linkes Bild - 50 – 75 € / Ifm für die Faschine ohne Gründungsvorbereitung

- 2,5 – 5 € / Stück für die Wasserpflanzen

rechtes Bild - 70 - 160 € / Ifm

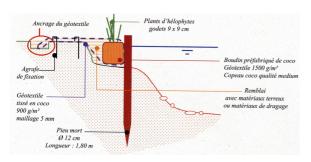






Abb. 3.7: Faschinen und Wasserpflanzen

## Anwendungsbeispiel "Moselle canalisée, Direction Interrégionale du Nord-Est"

Länge: 180 m

Einbau: 2001

Problem: Erosion durch Schifffahrt, Wasserskifahrer, Hochwasser, Strömung

Belastung: 1.300 Ausflugsschiffe / Jahr und 3700 Handelsschiffe / Jahr

Kosten: 125 € / Ifm

Ergebnis: sehr gute Entwicklung der Pflanzen, Stoppen der Erosion

## 3.1.7.2 Wasserpflanzen als Uferböschungsbewuchs

#### Charakteristika

Kosten: 100 – 160 €/ Ifm plus 20 – 45 €/ Ifm für die Gründung

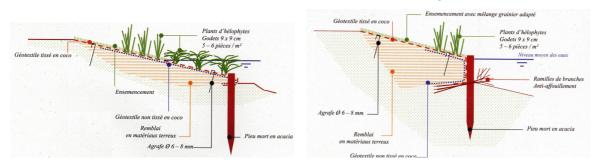


Abb. 3.8: Wasserpflanzen als Uferböschungsbewuchs

## Anwendungsbeispiel "Canal de la marne á la Saone, Subdivision de Chaumont, Délégation locale de la Haute Marne"

Einbau: 1999 – 2000

Problem: Erosion durch Schifffahrt, Uferweg in Gefahr

Belastung: 450 Ausflugsschiffe / Jahr und 450 Handelsschiffe / Jahr

Kosten: 60 – 75 € / Ifm

Ergebnis: Hang ist stabilisiert, Erosion gestoppt

#### 3.1.7.3 Wasserpflanzen hinter einer Schutzlinie

#### Charakteristika

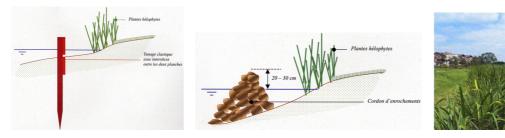


Abb. 3.9: Wasserpflanzen hinter einer Schutzlinie

## Anwendungsbeispiel "Sur la Deule, Département du Nord"

Einbau: 1998 – 1999

Problem: Erosion durch Schifffahrt
Belastung: liegt am Hafen von Lille

Ergebnis: Die Wasserpflanzen sind gut entwickelt, keine Erosion mehr

#### 3.2 Großbritannien

Paul Beckwith, Head of Environment, British Waterways hat dem IWS – und in gleichem Zuge der BAW – einige Fotos und Bauweisen zu naturnahen Uferverbauten in loser Reihung per Email zugesandt. Da die Informationen nur sehr bruchstückhaft versandt wurden, geht der Zusammenhang über Schiffsbelastungen oder Erfahrungen nicht eindeutig aus den Fotos oder Beispielskizzen hervor. Auch ist nicht direkt zu erkennen, ob es sich um Ufergestaltungsmaßnahmen an Schifffahrtsstraßen oder an anderen Fließgewässern handelt. Zudem sind viele Beispiele dabei, die unter die Kategorie "konstruktive Bauweisen" fallen (z.B. viele Spundwandverbauten), die nicht Teil dieser Literaturrecherche sind.

Interessant ist im Kontext dieser Studie v.a. eine Seite aus dem Waterway bank protection guide von "British Waterways", die in Abb. 3.10 wiedergegeben ist.

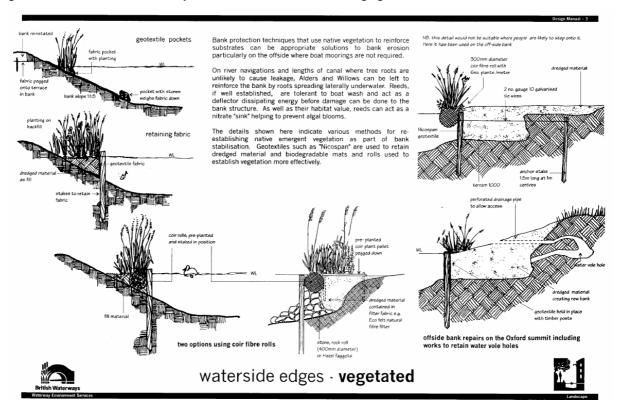


Abb. 3.10: Ausschnitt aus dem "Waterway bank protection guide"

Dieses Handbuch, das von der "Environment Agency" im Jahr 1999 in Auftrag gegeben und von der Cranfield University ausgearbeitet wurde, liegt dem IWS auch in gedruckter Form vor.

Davon ausgehend stellen die folgenden Abschnitte eine Zusammenfassung weiterer internationaler Literatur zu naturnahen Bauweisen an Wasserstraßen dar.

## 3.2.1 Einleitung

Die in den Bibliotheken gefundenen Bücher und Publikationen zeigen hauptsächlich sechs verschiedene Lösungsmöglichkeiten zur Vermeidung von Erosion an Wasserstraßen auf: Management, natürliche Sukzession, Standortverlagerung, biologische Bauweisen, bio-

technisches Ingenieurwesen und konstruktiven Ingenieurbau. Maßnahmen des konstruktiven Ingenieurbaus kommen insbesondere bei Lösungen die ein geringes Risiko fordern zum Einsatz. Sie sind jedoch meist nicht umweltfreundlich, daher sollte versucht werden, die Anwendung alternativer, naturnaher Bauweisen für ein breiteres Spektrum an Aufgaben nutzbar zu machen. Bio-technische Bauweisen kombinieren den konstruktiven Ingenieurbau und biologische Bauweisen und sind wegen der Verwendung von nicht primär umweltfreundlichen Materialien ebenso nicht wünschenswert. Die anderen vier Methoden können als umweltfreundliche Lösungsmöglichkeiten zum Schutz der Wasserstraßen vor von Schiffen hervorgerufener Erosion angesehen werden. Im Weiteren werden die folgenden vier Strategien behandelt:

- natürliche Sukzession
- Management
- Standortverlagerung
- biologische Bauweisen

## 3.2.2 Nicht-bauliche Vorgehensweisen

Bis auf die biologischen Bauweisen sind alle vier Strategien nicht-bauliche Vorgehensweisen mit meist eingeschränkten Anwendungsmöglichkeiten. In Großbritannien werden die strategischen, nicht baulichen Maßnahmen als erste Wahl für bestimmte Situationen gehalten und den baulichen vorgezogen, da sie im Normalfall einen geringeren Eingriff in die Umwelt darstellen und im Hinblick auf den Umweltschutz meist besser begründet werden können. Außerdem können sich Kostenvorteile ergeben. Alle drei nicht-baulichen Lösungsmöglichkeiten beruhen auf der Wirkung geomorphologischer und ökologischer Prozesse zur Erlangung eines natürlichen, stabilen, dynamischen Gleichgewichts des Flusses und des Ufers. Erosion und Ablagerung wird zwar stattfinden, jedoch in einem unkritischen Umfang. In den nachstehenden Abschnitten folgt eine Kurzzusammenfassung dieser drei nicht-baulichen Herangehensweisen sowie eine Erläuterung der Einsatzspektren zum Schutz der Ufer an Wasserstraßen.

#### 3.2.2.1 Natürliche Sukzession

Die Strategie besteht dabei darin, die Wasserstraße sich selbst zu überlassen und so eine natürliche Sukzession im Wechselspiel zwischen Strömung, Morphologie und Vegetation zu erlauben. Diese Methode kann in Situationen anwendbar sein, wenn keine angrenzenden Bauten vorhanden sind. Das bedeutet jedoch auch, dass eine Anwendung in städtischen Gebieten nicht möglich ist. Zudem dürfen keine Forderungen wie z.B. nach einer Mindestwasserspiegellage oder einem genau definierten Querschnitt für die Schifffahrt vorhanden sein, die durch diesen natürlichen Anpassungsprozess beeinträchtigt werden könnten.

Es kann eine mögliche Methode in denjenigen Fällen sein, bei denen die natürlichen Prozesse eine Stabilisierung des Ufers erwarten lassen. Ausgehend von der Möglichkeit einer natürlichen Sukzession im Flussbett wird eine Entwicklung ermöglicht, bei der die Schifffahrtsstraße und deren Ufer von der jetzigen Situation in eine neue stabile Situation überführt werden. Es ist zu erwarten, dass sich die Neigung der Uferböschung zu einem flacheren Winkel

hin vermindert und anschließend durch die verstärkte Vegetation eine zusätzliche weitere Fixierung erfolgt.

Wenn diese Methode nicht anwendbar ist, z.B. durch limitierende Randbedingungen, können alternativ die beiden anderen nicht-baulichen Methoden in Erwägung gezogen werden. Diese ändern die bestehende Situation mittels einer Reduzierung der Belastung durch schädigende Prozesse, wodurch sich ein stabiler Zustand im Flussbett einstellen kann.

#### Ziel einer erlaubten natürlichen Sukzession

Mit einer natürlichen Sukzession gibt man dem Ufer die Möglichkeit nachzugeben bis sich das Flussbett selbst eingestellt hat und die Böschung einen stabilen Zustand erreicht hat. Diese Strategie basiert auf der Annahme, dass sich alle Flussläufe mit der Zeit ohne weiteres Zutun zu einem dynamischen Gleichgewichtszustand hin entwickeln werden. Eine Anwendung bietet sich besonders an, wenn das Flussbett bereits einen Gleichgewichtszustand erreicht hat, bzw. dem sehr nahe ist. Die Methode der natürlichen Sukzession ist die beste Strategie für den Fall, dass die Erosions- und Böschungsbruchprozesse sich selbst überlassen werden können. Die Vorteile dieser Herangehensweise sind:

- niedrige Kosten
- Erosion wird als natürlicher Prozess angesehen
- durch die Erosionsprozesse entstehen sowohl im Fluss als auch am Ufer wichtige ökologische Habitate

#### Bedingungen für die Anwendung dieser Methode

Diese Methode kann als zweckmäßig und Erfolg versprechend angesehen werden, wenn folgende Punkte erfüllt sind:

- Die Konsequenzen der fortschreitenden Erosion und Ufereinbrüchen sind kalkulierbar und akzeptierbar.
- Der Fluss muss eine gewisse Mindestbreite aufweisen innerhalb der die dynamischen Prozesse ablaufen können
- Wasserstraße (Kanal oder Fluss) und Ufer sollten innerhalb eines akzeptierbaren Zeitraums einem stabilen Gleichgewichtszustand entgegen streben.
- Monitoringprogramm, das sicherstellt, dass keine Verschlechterung des Zustandes auftritt und ggf. ein schnelles Eingreifen ermöglicht.
- Öffentlichkeitsarbeit, die die Akzeptanz der Maßnahme f\u00f6rdert.

Die Strategie ist daher nicht anwendbar, wenn:

- der Hochwasserschutz gefährdet ist
- die Stabilität des Kanals nicht erreichbar ist
- Abflussregulierende Bauten in Gefahr sind
- Straßen, Eisenbahnlinien, Rohrleitungen oder Kanalisationen geschädigt werden könnten
- Schifffahrt die Hauptursache der Erosion darstellt
- das betroffene Ufer stark bebaut ist

 die Ursache der Erosion in menschlicher oder tierischer Aktivität im Uferbereich begründet ist.

Eine Grundlage für die Schiffbarkeit einer Wasserstraße ist die Mindestfahrwassertiefe. Wenn sich aufgrund der natürlichen Sukzession eine Vergrößerung der Kanalbreite einstellt und ggf. Anlandungen im Flussbett auftreten, ergibt sich daraus eine Reduktion der Wassertiefe, die die Schifffahrt maßgeblich beeinträchtigen kann. Hier muss eine Abschätzung der zu erwartenden Wassertiefen durchgeführt werden und dieses Ergebnis mit den vorhandenen Anforderungen verglichen werden.

## 3.2.2.2 Management

Die Management-Methode hat den Ansatz, menschliche oder tierische Aktivität sowohl im Fluss als auch im Uferbereich zu kontrollieren und zu minimieren. In und um Kanalböschungen gibt es mehrere Aktivitäten, die zu Schäden führen können. Diese Prozesse gilt es zu kontrollieren und somit eine erhebliche Verminderung oder gar eine Vermeidung weiterer Erosionsprozesse zu ereichen. Diese Strategie ist nur dann anwendbar, wenn die menschlichen und tierischen Ursachen der Schädigungen wie folgt begrenzt werden können:

- Einführung einer Geschwindigkeitsbegrenzung für Boote und Schiffe die durch ihren Wellenschlag die größten Schäden am Ufer hervorrufen
- Begrenzung der Verkehrsdichte durch die Limitierung der Anzahl von Schiffen in gefährdeten Bereichen
- Einschränkung der Ankermöglichkeiten an gefährdeten Stellen
- Konstruktion von Schiffen, die weniger Wellenschlag verursachen und somit den Strömungsangriff verringern.
- Kontrolle von Tierhaltung am angrenzenden Ufer

Die Vorteile dieser Herangehensweise sind:

- zur Vermeidung der Probleme werden die Verursacher direkt angesprochen
- geringe Kosten
- die Erkenntnis, dass natürliche Erosionsprozesse wichtige ökologische Habitate sowohl im Fluss als auch am Ufer schaffen können

#### Ziele

- Gänzliches Beseitigen der Ursachen der Erosionsursachen
- Abmindern bzw. kontrollieren der Schädigungsursachen bis zu einem Grad bei dem die Konsequenzen der Erosion als akzeptierbar angesehen werden.

## Bedingungen für eine Anwendung dieser Methode

Die wichtigsten Anforderungen dieser Strategie sind:

- Die Erosion muss in Beziehung zu einer Ursache stehen die identifiziert, kontrolliert oder behoben werden kann.

- Die Flusssohle und die Böschungen müssen sich langfristig innerhalb eines akzeptierbaren Zeitrahmens in einem dynamisch stabilen Zustand befinden, bzw. nach Beseitigung der Erosionsursache ein solcher Zustand zeitnah einstellen.
- Öffentlichkeitsarbeit, die die Vorteile der Methode aufzeigt.
- Monitoringprogramm das sicherstellt, dass sich die Situation verbessert bzw. nicht verschlechtert

Die Strategie ist daher nicht anwendbar, wenn:

- der Hochwasserschutz gefährdet ist
- langfristig die Stabilität des Kanals nicht gewährleistet ist
- Straßen, Eisenbahnlinien, Rohrleitungen oder Kanalisation geschädigt werden könnten
- das betroffene Ufer stark bebaut ist
- das Problem aus Veränderungen in der Landnutzung resultiert, die nicht rückgängig gemacht oder verändert werden kann

## 3.2.2.3 Standortverlagerung

Die Methode der Standortverlagerung befasst sich ebenso wie das Management mit der Schädigung der Böschungen aufgrund menschlicher oder tierischer Handlungen. Die Strategie gründet auf der Verlagerung von Aktivitäten weg vom Uferbereich hin zu weniger gefährdeten Bereichen.

Die Vorteile sind:

- Die Ursachen des Problems werden direkt angegangen
- Es entstehen keine Begrenzungen menschlicher oder tierischer Handlungen sondern nur eine Verlagerung der Nutzungen an andere Stellen
- die Erkenntnis, dass natürliche Erosionsprozesse wichtige ökologische Habitate sowohl im Fluss als auch am Ufer schaffen können

## Bedingungen für eine Anwendung dieser Methode

Die wesentlichen Anforderungen für eine erfolgreiche Anwendung sind:

- Die Erosionsursachen müssen in Verbindung zu einer Ursache, die kontrolliert oder beseitigt werden kann, stehen.
- Das Flussbett und die Uferbereiche werden sich in einer angemessenen Zeitspanne stabilisieren sobald die Ursache des Problems entfernt wurde
- Es gibt entsprechende Flächen auf die die betreffenden Aktivitäten verlagert werden können, die keine nachteiligen Auswirkungen auf das Ufer hervorrufen

Abgesehen von der Umweltverträglichkeit dieser nicht-konstruktiven Methoden ist die Eignung dieser Strategien für Schifffahrtswege sehr begrenzt. Wenn die Wellenbeanspruchung gering und das Flussbett sehr breit ist, sodass keine schweren Schädigungen an den Ufern hervorgerufen werden, sind Methoden wie die natürliche Sukzession zu empfehlen. In

schmalen Wasserwegen kann die Forderung einer Mindestwassertiefe jedoch gegen die Anwendung dieser Methode sprechen, da das erodierte Material die Sohle aufhöht.

#### 3.2.3 Konstruktive Methoden

Die Studie der Cranfield University hatte zum Ziel, adäquate Methoden zum Umgang mit Erosionsprozessen an Wasserstraßen bei hoher Verkehrsdichte, bei der Kreuzung von im Gegenverkehr fahrenden sowie sich überholenden Schiffen zu finden. In diesen Situationen werden nicht-konstruktive Methoden nur bedingt anwendbar sein, stattdessen sind konstruktive Bauweisen zum Umgang mit Ufererosion zu untersuchen.

Drei Alternativen stehen zur Auswahl, wenn eine konstruktive Lösung des Erosionsproblems notwendig erscheint. Konstruktive Methoden sollten aufgrund der hohen Kosten und dem Eingriff in die Natur nicht die erste Wahl sein. Es werden drei Bereiche unterschieden:

- biologische Bauweisen
- bio-technologische Bauweisen
- Konstruktiver Ingenieurbau

Da der Fokus dieser Studie auf umweltfreundliche Herangehensweisen zur Sicherung von Wasserstraßen vor Erosion gerichtet ist, werden Lösungsansätze des konventionellen, konstruktiven Ingenieurbaus in der Untersuchung ausgespart. Bio-technische Methoden kombinieren den konstruktiven Ingenieurbau mit biologischen Bauweisen. Dieser Ansatz findet weite Verbreitung, da es beispielsweise unerlässlich ist, den Böschungsfuß zu sichern, unabhängig des damit verbundenen nachteiligen Einflusses auf die Umwelt.

#### 3.2.3.1 biologische Bauweisen

Biologische Bauweisen nutzen die lebendige Pflanzengemeinschaft und pflanzliche Materialien zum Schutz von Wasserstraßen vor Erosion. Diese Methode ist die behutsamste Art einer konstruktiven Herangehensweise und fördert dabei den ökologischen und ästhetischen Wert der Uferlinien. Bereits in der Vergangenheit wurden die Uferbereiche von Wasserstraßen durch Anpflanzungen (oder natürliche Sukzession) in einem relativ guten ökologischen Zustand gehalten. Aufgrund der am Böschungsfuß auftretenden hohen Belastungen sind reine biologische Bauweisen nicht immer erfolgreich. Da die Bepflanzung den dort herrschenden Strömungsverhältnissen durch die Schifffahrt nicht standhalten kann, empfehlen sich Mischverfahren zur Böschungsfußsicherung.

Es gibt eine breite Palette von pflanzlichen Materialien und Pflanzmethoden. Ein Kriterienkatalog über Belastungsgrenzen und Einsatzbereiche kann die Entscheidung für oder gegen einen Vegetationstyp unterstützen – je nach dem sind Bäume, Sträucher oder Gräser für bestimmte Verhältnisse speziell geeignet. Die Verfügbarkeit der Pflanzen, Kosten, Bodenart oder Strömungsangriff sind ebenso Entscheidungsfaktoren. Die für biologische Bauweisen verwendete Vegetation kann auf verschiedene Weise zur Schaffung eines ökologisch wertvollen Uferstreifens kombiniert werden. Die nachfolgende Diskussion der biologischen Bauweisen beinhaltet die jeweiligen Vorteile der Methode, die Eignung der Strategie, vorteilhafte Eigenschaften der Vegetation, verschiedene Konstruktionstechniken, Eignung des Bodens,

Auswahl von Arten, Einschränkungen dieser Methode, Folgeaufwand für die Pflege o.ä., Zeitplan des Pflanzens sowie langfristige Voraussetzungen.

Vorteile von biologischen Bauweisen:

- Bewahren des Flussbettes und des Ufers als ein natürliches System, das sich zu einem stabilen Zustand des dynamischen Gleichgewichtes hin entwickelt.
- Schützt die natürlich vorhandene Struktur und Dynamik der Strömung und Morphologie im Fluss
- Schützt und schafft Lebensräume für Tiere
- Passt sich dem natürlichen Landschaftsbild an
- Der Arbeitsaufwand bei biologischen Bauweisen ist relativ gering

#### Eignung

Biologische Bauweisen sind eine geeignete Konstruktionstechnik wenn die folgenden Randbedingungen gegeben sind:

- Management-Methoden sind nicht wirtschaftlich
- Es gibt vsl. keine Probleme mit dem Wachstum von "konstruktiv-wirksamen" Vegetationsarten
- Die Vegetation allein kann dem Strömungsangriff Stand halten
- Die Wurzeln der Pflanzen sollten eine Tiefe erreichen, sodass potenzielle Gleitfugen in den Uferböschungen unwirksam werden.
- Ein Langzeit-Monitoringprogramm kann entworfen und zum Einsatz gebracht werden.

#### Vorteilhafte Eigenschaften der Vegetation

Die entscheidenden Eigenschaften der Vegetationsschicht, die den Schutz des Uferstreifens vor Erosion erhöhen sind:

- die Pflanzen sind an das lokale Klima angepasst und die vorherrschenden Bodenverhältnisse geeignet
- die saisonalen Wachstumseigenschaften sind an die Perioden der maximalen Beanspruchung angepasst.
- Die Anforderungen an die Unterhaltung sowie die zu erwartenden menschlichen Eingriffe müssen abgeschätzt werden, um den Einfluss und ggf. Veränderungen an den Vegetationsstandorten einschätzen zu können.

Die Pflanzenwurzeln erhöhen die Zugfestigkeit des Bodens und unterstützen die Übertragung der Spannungen auf den Boden. Daraus resultiert eine etwas gleichmäßigere Verteilung der Spannungen im Untergrund und Spannungsspitzen werden vermieden. Diese Effekte werden z.B. beim Einbau von metallischen, synthetischen oder natürlichen Zugbändern nachempfunden. Die größte Steigerung der Beanspruchbarkeit bewirken feine Wurzeln (1-20 mm Durchmesser), die größeren Wurzeln haben keine bewehrende Wirkung. Die Haare auf den feinen Wurzeln bieten eine erheblich vergrößerte Oberfläche an der schluffige Parti-

kel haften bleiben. Durch die Schaffung einer zusätzlichen Zugfestigkeit reduzieren die Wurzeln die Gefahr der Bildung von Zugrissen durch Austrocknung.

Der Bewehrungseffekt der Wurzeln zeigt sich in einem Anstieg der effektiven Kohäsion des Bodens und kann die Festigkeit des Bodens mehr als verdoppeln. Wurzeln haben jedoch keinen oder nur einen begrenzten Einfluss auf den inneren Reibungswinkel. Ideale Wurzeln besitzen eine hohe Zugfestigkeit, so dass sie nicht brechen, wenn sie Scherbeanspruchungen ausgesetzt sind. Die Tiefe bis in die die Bewehrungswirkung der Wurzeln anhält hängt von der Länge der Wurzeln ab. Die Bewehrung ist bei Gräsern, Hülsenfrüchten und kleinen Sträuchern auf 0,75 – 1,5 m begrenzt, kann aber bei Bäumen mehr als 3 m erreichen. Die Höhe der Böschung zur Wurzeltiefe der Pflanzen ist daher genau zu vergleichen. Bei niedrigen Böschungen werden die Wurzeln mit einer größeren Wahrscheinlichkeit eine Scherfuge kreuzen und somit eine bessere Bewehrungsfunktion bieten als bei einer höheren Böschung. Wenn die Böschungshöhe größer als die Wurzeltiefe ist stellen sich daher eher Scherfugen ein, die unter Umständen zu einem Grundbruch führen. Die nachstehende Tabelle enthält Zugfestigkeiten von verschiedenen Pflanzenarten.

Tab. 3.1: Zugfestigkeit von Pflanzen

Pflanzenart	Zugfestigkeit (N/mm²)
Gras	5-25
Gerste	6-30
Kräuter	3-60
Weidenstrauch	10-70
Erle	4-75
Pappel	5-38
Douglasie	19-61
Silberahorn	15-30

Die von der Schifffahrt auf die Ufer übertragenen Zugkräfte können berechnet und danach aus Tab. 3.1 die entsprechende Pflanzenart ausgesucht werden. Ebenso gibt die nachfolgende Tab. 3.2 die Werte für die maximal zulässige mechanische Beanspruchung für verschiedene Arten sofort nach dem Pflanzen und nach 3-4 Jahren an.

Tab. 3.2: zeitabhängige Zugfestigkeit von Pflanzen

Baumaterial	Zugfestigkeit (N/mm²) di- rekt nach dem Bau	Zugfestigkeit (N/mm²) nach 3-4 Jahren
Rasen	10	100
Schilfrohr	5	30
Rollen aus Riet	30	60
geflochtener Zaun	10	50
Faschine	60	80
Rollen aus Weiden	20	140
Weidenmatte	50	300
Laubbäume	20	120
Astlage	100	300
Grober Schotter und Steine mit Stecklingen	50	250
Steinschüttung mit Aststecklingen	200	300
Trockenmauerwand		600

#### Eignung des Bodens für Vegetation

Jede Pflanze hat eine bestimmte Bodenart auf der sie am besten gedeiht. Die Eigenschaften des Untergrundes wie z.B. Korngröße, Lagerungsdichte, Hohlraumanteil und der Prozentsatz an organischem Material bestimmen das Wachstum und das Wurzelvermögen der Pflanzen. Die Dichte des Bodens bestimmt die Wurzeltiefe. Je größer die Dichte, desto schwieriger ist es für die Pflanzen, den Boden mit ihren Wurzeln zu Durchdringen. Die nachfolgende Tabelle beschreibt die Wellengeschwindigkeit, die verschiedene Bodenarten mit unterschiedlichen Böschungsneigungen und unterschiedlichem Bewuchs widerstehen können.

**Tab. 3.3:** Maximale Fließgeschwindigkeiten für Uferstreifen mit Bewuchs

erwartete Bewuchsdichte nach 2 Jahren	Maximale Fließgeschwindigkeit (m/s) bei Böschungsneigung (%)		
	0 – 5	5 – 10	>10
Leicht erodierendes Ufer- und Sohlenmaterial (Sand, sandiger Lehm, Schluff, lehmige Sande)			
- sehr guter Bewuchs (100 %)	1,8	1,5	1,2
- guter Bewuchs (88 %)	1,5	1,2	0,9
- mäßiger Bewuchs (30 %)	0,8	n.e.	n.e.
Erosionsbeständiges Ufer- und Sohlenmaterial (Lehm und Ton)			
- sehr guter Bewuchs (100 %)	2,4	2,1	1,8
guter Bewuchs (88 %)	2,1	1,8	1,5
- mäßiger Bewuchs (30 %)	1,1	n.e.	n.e.

Die Werte beziehen sich auf Fließgeschwindigkeiten dem das Ufer für mehr als 10 Stunden ausgesetzt ist.

n.e. - nicht zu empfehlen

#### Auswahl der Pflanzenarten

Pflanzenarten sollten anhand der folgenden Kriterien ausgewählt werden:

- heimische Arten, die für diesen Standort geeignet sind
- Fähigkeit den Belastungen stand zu halten
- Fähigkeit unter den lokalen Boden- und klimatischen Konditionen zu wachsen
- Fähigkeit zu einem vielfältigen ökologischen Habitat beizutragen

Die Auswahl sollte zu einer ökologischen Sukzession führen und daher folgende Arten enthalten:

- Pionierpflanzen, die in einem kurzen Zeitraum eine Bodenbedeckung liefern, normalerweise Gräser
- Pflanzenarten die die konstruktive Haltbarkeit des Böschungsbewuchses binnen zwei bis drei Jahren sichern
- Pflanzen, die über einen langen Zeitraum hinweg den Oberflächenbewuchs aufrecht erhalten und deren Wurzeln eine bewehrende Wirkung entwickeln
- Pflanzen, deren tiefe Wurzeln den Mutterboden mit den darunter liegenden Schichten verbinden
- Exotische (nicht heimische) Arten sollten nicht ausgewählt werden. Es gibt viele Beispiele, so z.B. auch in Großbritannien, wo eingeführte Pflanzen in das lokale Ökosystem eingegriffen und beträchtlichen Schaden angerichtet haben. Ein Beispiel aus jüngster Zeit ist die Einschleppung des japanischen Knöterichs (reynoutria japonica) der sich im letzten Jahrzehnt an den britischen Wasserstraßen ausbreitete.

## Einschränkungen der biologischen Bauweisen

An Stellen, die der Vegetation schlechte Verhältnisse für ihr Wachstum bieten, können biologische Bauweisen nicht zum Einsatz kommen. An manchen Wasserstraßen kann der Bewuchs durch hohe Grundwasserstände, hohe Fließgeschwindigkeiten und Wellenschlag behindert werden. Daher ist die Wahl der richtigen Art sorgfältig zu treffen. Ein Beobachtungsund Instandhaltungsprogramm ist notwendig, um Reparaturarbeiten oder Rehabilitationsmaßnahmen falls erforderlich ausführen zu können. Dies ist insbesondere im Hinblick auf Hochwasser und Niedrigwasserzeiten, wodurch Wachstumsprobleme hervorgerufen werden können, anzuraten.

## Nachsorge / Unterhaltung

Unter Nachsorge wird die Überwachung der Vegetation, insbesondere im Hinblick auf die Größe und die Gleichmäßigkeit der flächigen Verteilung und die Art und Anzahl auftretender Arten verstanden. Es ist notwendig sicherzustellen, dass die geplante Artensukzession nicht durch den Wildwuchs einiger nicht erwünschter (s.o.) Arten bedroht wird. Der Boden sollte ebenso beobachtet werden um sicher zu stellen, dass sich das Wurzelsystem richtig ausbildet und dass geeignete Bedingungen der Bodenstruktur, des Wasserspeichervermögens, des pH-Wertes und der Nährstoffversorgung erreicht werden, um die vorgesehenen Pflanzenarten zu versorgen. Bei Grasaussaat sollte auf nicht angewachsenen Flächen wieder Samen ausgebracht werden sowie ungewollte Arten entfernt werden.

Folgende Punkte sind für die Unterhaltung zu beachten:

- Die Bodenbedeckung mit Gräsern und Kräutern muss mindestens 50 % betragen
- Gehölze und Bäume müssen gleichmäßig verteilt sein
- die Diversität der Pflanzenarten sollte beim Entwurf bedacht werden
- die Grasnarbe sollte gut verwurzelt sein und sich nicht vom Boden abheben können
- Fehlpflanzungen von Bäumen und Sträuchern darf 30 % nicht überschreiten
- wieder austreibende Pflanzen, die als Faschinen, Flechtwerk oder Astlagen verwendet werden, müssen im Durchschnitt 2-5 Austriebe pro laufenden Meter aufweisen
- Staudenmatten müssen im Durchschnitt 5-10 Austriebe pro laufenden Meter zeigen

#### längerfristiges Management

Damit die Flora selbstständig nachhaltig existieren kann und ihrer Funktion als Böschungsbefestigung gerecht wird, sind laufende Unterhaltungsmaßnahmen notwendig.

- Lücken in der Bodenbedeckung schließen, um Erosion oder Böschungsinstabilitäten zu vermeiden
- Vermeiden, dass solitär stehende, hohe Bäume vorhanden sind, die unter Windbelastung umstürzen könnten
- Aufrechterhalten der Artenvielfalt und einer Streuung des Lebensalters der Vegetation
- Kontrolle oder Minimierung der Schädigung der Pflanzenwelt die häufigsten Ursachen sind Pflanzenschädlinge, Krankheiten, Trockenheit, Waldbrand und menschliche Eingriffe

- Gewährleistung eines gleichmäßigen Wachstums der Pflanzen, so dass die Vegetation keine Böschungserosion hervorruft
- Pflegearbeiten in jahreszeitlich günstigen Perioden ausführen

## Zeitplanung

Neben dem Bewusstsein für bestimmte Pflegearbeiten ist auch die zeitliche Planung von Pflanzungen, Rasenmahd, Bewässerung, Unkrautvernichtung, Rückschnitt und Durchforstung wichtig. Die nachstehende Tabelle gibt hierfür einen groben Zeitrahmen an.

Tab. 3.4: Zeitplanung von Pflegearbeiten biologischer Bauweisen (Schichtl & Stern, 1997)

Zeitraum	Maßnahme	
März – Juni	Rasenpflege	
Mai – September	Bewässerung, Einzäunung, Mähen, mechanische Unkrautvernichtung	
Oktober – April	Lücken aufforsten / wieder ansäen	
September – Dezember	Schutz vor Schäden durch Tiere	
Dezember – März	Schneiden von Gehölzen Entfernen unpassender Arten Durchforsten Entfernen von Krank- und Totholz Verjüngung	
ganzjährig	Entfernen unerwünschter Arten	

#### 3.2.3.2 Baumaterialien für biologische Bauweisen

Konstruktionsmaterialien für biologische Bauweisen können in fünf Kategorien eingeteilt werden. Bei der Auswahl der passenden Pflanzenart sind Faktoren wie die Fähigkeit der Pflanze den Zugkräften durch Wellenschlag auf der Uferböschung zu widerstehen, der vorhandene Bodentyp, der aquatische Lebensraum und die Verfügbarkeit von Pflanzenmaterial zu beachten. Exotische (nicht heimische) Pflanzenarten sollten und nur in begründeten Ausnahmefällen zum Einsatz kommen, da davon viele negative Effekte auf die Flora und Fauna ausgehen können. Im Folgenden sind die fünf Hauptgruppen von biologischen Bauweisen wiedergegeben.

- Rasenansaat
- Schilf und Röhrichte
- Lebendverbau als "Rollen" etc.
- Reisigbündel
- Pflanzung von Bäumen und Sträuchern

Nachfolgend werden diese Konstruktionsmethoden beschrieben.

## Rasenansaat / Rasenmatten

Bei der Rasenansaat wird die Erosion der Uferböschung durch Bodenfeuchteentzug, einem stabilisierenden Wurzelsystem, das bis unterhalb des Mutterbodens reicht, sowie der Beeinflussung der Fließgeschwindigkeit durch die erhöhte Rauheit reduziert. Diese Methode wird

schon sehr lange angewendet und ist v. a. für den höher gelegenen Teil der Böschung (über dem mittleren Sommerwasserstand) geeignet. Ein mit Gräsern bewachsener Boden kann über einen langen Zeitraum hinweg Fließgeschwindigkeiten von 1,8 m/s standhalten, für kürzere Zeiträume auch bis zu 4,5 m/s. Als nachteilig bei dieser Methode hat sich die schlechte Eignung für steile und vertikale Ufer erwiesen sowie die große Gefährdung durch Wellenschlag. Die folgenden Abbildungen sollen verdeutlichen, wie Rasenansaaten verwendet werden.

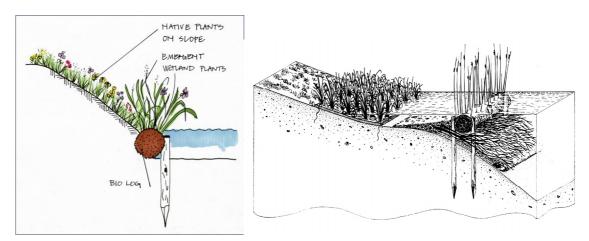


Abb. 3.11: Rasenansaat



Abb. 3.12: Einbau einer Rasenmatte

#### Konstruktion

Die Grassamen werden bis in eine Tiefe von 0,2 m bis 0,5 m in den Untergrund eingebracht. Um den Windabtrag der Samen zu verhindern, sollte der Untergrund feucht oder die Grassamen vor dem Einbringen befeuchtet sein. Benötigt werden 0,5 kg bis 2 kg Grassamen pro m².

#### Arbeitszeitplanung

Für das Keimen sind feucht-warme Bedingungen (>10°C) notwendig, daher ist es ratsam im April / Mai oder Anfang September (vor dem Winterfrost) zu säen.

#### Einschränkungen

Fehlender Schatten führt zu starker Vermehrung und Wachstum von Wasserpflanzen, die das Gras verdrängen könnten. Die Grasnarbe kann an Stellen wie Spalten, Tierhöhlen oder Viehwegen beschädigt werden.

#### Vorteile

- Anwachsen in kurzer Zeit möglich.
- Hohe Toleranz für große Fließgeschwindigkeiten
- Hohe Toleranz für Temperaturänderungen, Bodenverlust oder Sedimentablagerung
- Es sind keine erhöhten Wasserstände im Hochwasserfall zu erwarten. Die Rauheitserhöhung durch die Grasnarbe ist vernachlässigbar gering
- Bei sorgfältiger Wahl des Standorts bildet sich eine dichte Rasenfläche aus.
- Eine Uferbefestigung mit Rasen kann eine dämpfende Wirkung auf den Eintrag von landwirtschaftlichen Wässern haben und dabei die Phosphatkonzentration im Flusslauf reduzieren

### besondere Anforderungen

- Die Halme und Wurzeln müssen den mechanischen Kräften einen hohen Widerstand entgegen stellen können
- Die Pflanzen sollten schnell eine dichte Oberfläche bilden und krankheitsresistent sein

Der Einsatz verschiedener Pflanzenarten kann von Vorteil sein, wobei die Mischung standortspezifisch ausgewählt werden sollte, insbesondere im Hinblick auf die jeweils aus ingenieurbiologischen Gesichtspunkten geforderten Eigenschaften bezogen auf den vorherrschenden Bodentyp, Klima, Beschattung, Uferprofil, Salzgehalt, Boden-Wasserhaushalt, bestehende natürliche Pflanzengemeinschaft und geplante Unterhaltungsstrategie.

#### Ökologische Schlussfolgerung

- Uferstreifen, die monokulturartig mit Rasen bepflanzt sind haben einen relativ geringen ökologischen Wert
- nichtsdestotrotz sollte dem Fluss ein grünes Ufer geboten werden
- Selbsterhaltung der Pflanzen nach Ansaat und Anwachsen
- unbefristete Lebensdauer wenn die Vegetation gesund bleibt und keine Beweidung statt findet

#### Pflanzen von Schilf und Röhrichten

- Schilf und Röhrichte absorbieren (statt reflektieren) die Wellenenergie und den Wellenschlag
- Sich bildende Wurzelmatten schützen vor Unterspülung
- verdichtete Halme fördern eine Sedimentanhäufung

#### Vorsichtsmaßnahmen

- Schilf und Röhrichte nicht austrocknen lassen
- Pflanzen für den Transport in Sackleinen einpacken
- Schilf / Riet muss in die Übergangszone des Flussufers angepflanzt werden
- Schilf/Röhricht sollte den hydraulisch erforderlichen Querschnitt nicht verringern

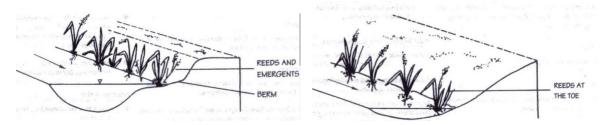


Abb. 3.13: Schilf/Röhricht an der Wasserlinie und am Böschungsfuß



Abb. 3.14: Schilf/Röhricht am Ufer

#### **Technische Eignung**

- geeignet für Flachlandgewässer mit weichen, schluffigen Böden aus Ton und Schlick
- begrenzt auf feinkörniges Geschiebe
- bevorzugt ruhiges / langsam fließendes Gewässer
- geeignet zum Schutz gegen Erosion, aber nicht zur Böschungsstabilisierung
- ist angepasst an max. einen Meter saisonale Wasserspiegelschwankung
- Die Dissipation der Bootswellen variiert mit der Pflanzenart und der Breite des Schilf-/ Röhrichtgürtels. Ein typischerweise ca. 2 m breiter Schilfgürtel absorbiert ca. 60 % der Wellenenergie

Schilf/Röhricht bevorzugt sonnige Standorte, daher sollte der Schattenwurf von Gehölzen und Bäumen minimiert werden.

#### Zeitplanung

Keimruhe bis Ende April

#### Einschränkungen

- Schilf/Röhricht kann leicht durch Erosion und Bodenverlust um den Wurzelstock geschwächt werden und ist deshalb nur bedingt einsetzbar in Gewässern mit erhöhten Fließgeschwindigkeiten bzw. größeren Belastungen aus Wellenschlag
- Die Zeit des Pflanzens ist beschränkt
- erst nach zwei bis drei Jahren vollständig wirksam

#### Vorteil

 reduziert Hochwasserschäden – durch den Hochwasserangriff legen sich die Halme flach und bilden so eine Pufferschicht, die den Boden vom Wasser trennt

## Ökologische Schlussfolgerungen

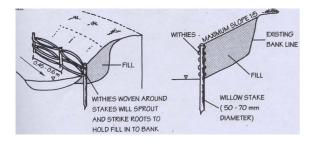
- Viele ursprüngliche Habitate wie Feuchtgebiete und Randstreifen sind durch Drainage verloren gegangen, daher ist ein Schilf-/ Röhrichtgürtel am Gewässer ein willkommener Standort
- Gewachsene Vegetation in diesen Randzonen kann als Puffer wirken und die Wasserqualität der landwirtschaftlichen Abflüssen verbessern
- vorteilhaft sind attraktive, natürliche Flussuferzonen speziell im Flachland

#### **Nachhaltigkeit**

- Schilf/Röhricht entwickelt und erhält seine eigene Stabilität
- Initialpflanzungen sind nicht immer notwendig, da z. T. schon Samen und Wurzeln von oberstrom liegenden Standorten zu natürlichem Wachstum führt

#### Lebendverbau

Lebendverbau bietet einen sofortigen Uferschutz. Einmal angewachsen binden die Wurzeln den Untergrund und zusätzlich bewehren und stabilisieren die Wurzeln die Böschung. Die Weiden bewirken eine Reduktion der Fließgeschwindigkeit nahe dem Ufer und verringern dadurch die erosiven Kräfte.



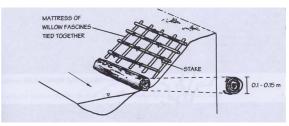


Abb. 3.15: Lebendverbau mit Flechtwerk und Faschinen

## **Technische Eignung**

- effektiver Schutz in den meisten Frischwassergewässern; Ausnahme: kiesige, grobsteinige Sohle
- angebracht für den Schutz von steilen und vertikalen Uferböschungen, jedoch nicht geeignet als einzige konstruktive Maßnahme zur Hangsicherung
- Weiden können das Eintiefen der Gewässersohle nicht verhindern; daher wird eine Fußsicherung benötigt, wenn die Gefahr der Unterspülung des Flussbettes besteht

#### Zeitplanung

Die Weidensicherung sollte von Oktober bis März in Zeiten geringerer Fließgeschwindigkeit gepflanzt und errichtet werden. Eine Anwuchszeit von ein paar Jahren kann notwendig sein bis der Schutz vollständig wirksam ist.

#### Vorteile

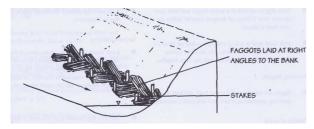
- Weiden können einer vollständigen Überflutung von acht Tagen bzw. mehreren Wochen teilweiser Überflutung standhalten
- ein Grundschutz gegen Bootswellen wird geboten
- Weiden bieten ein Nahrungsangebot für die Tierwelt
- Weiden bieten einen sehr guten Nestschutz für die Fauna
- Hoher Wert für Insekten über 250 Arten von Wirbellosen
- gute Schutzzone für Fische

#### **Nachhaltigkeit**

Die Bauweise ist selbst entwickelnd und für die Umwelt vorteilhaft. Die Lebensdauer von Weiden beträgt ungefähr 40 Jahre unter natürlichen Bedingungen. Wenn kein Konkurrenzdruck besteht und das Gehölz regelmäßig gepflegt wird kann die Lebensdauer auch 100 Jahre überschreiten.

## Reisigbündel

Reisigbündel fangen Schluff und Sedimente durch eine Erhöhung der Rauheit und dadurch einer Verminderung der Fließgeschwindigkeit des Wassers auf. Die Böschung wird durch Ablagerungen stabilisiert und Unterspülungen werden durch in den Boden gesteckte Äste vermindert. In den Reisigbündeln werden auch Pflanzensamen zurückgehalten, die mit dem Winterabfluss anlanden Nach einigen Jahren sind die Uferböschungen mit Schichten von Schluff und natürlicher Vegetation bedeckt. Bei Einsatz von wieder anwachsendem Material sollte darauf geachtet werden dass sich der Durchflussquerschnitt nicht unplanmäßig verringert.



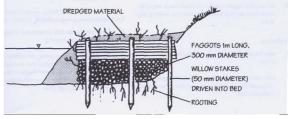


Abb. 3.16: Lebendverbau mit Reisigbündeln





Abb. 3.17: Lebendverbau mit Reisigmatten

## **Technische Eignung**

- schützt den Fuß bis zum mittleren Teil der Böschung
- geeignet für labilen Boden
- geeignet für leichten Strömungsangriff
- wieder anwachsende (Weiden-) Reisigbündel sind zur Uferstabilisierung breiter Flussbette geeignet
- nicht wiederanwachsende (Dornenzweig-) Reisigbündel sind besser für schmale Gewässer geeignet, bei denen ein Weidenbewuchs ein Hochwasserrisiko darstellen würde

#### Zeitplanung

Für wiederanwachsende Reisigbündel sollte das Material zwischen Oktober und März eingebaut werden. Nicht wieder anwachsende Reisigbündel sollten in einer für die Tierwelt (Insekten, Fische) unkritischen Zeit eingebaut werden, am besten bei Niedrigwasser.

## 4 Zusammenfassung

Das Ziel dieses Projektes war es, umweltfreundliche Methoden zu finden, die die Uferböschungen an Wasserstraßen vor Erosion durch den Schifffahrtsbetrieb schützen. Hierzu sollte eine Literaturstudie zu dieser Thematik außerhalb Deutschlands, speziell in den Ländern Vereinigte Staaten von Amerika, China, Russland, Ukraine, Schweiz, Ungarn, Rumänien, Niederlande, Frankreich und Großbritannien durchgeführt werden.

Bei der Durchführung der Studie wurden Bücher, Publikationen sowie das Internet durchsucht und Experten aus der ganzen Welt befragt.

Unter den vielen im Rahmen der Studie kontaktierten Personen waren nur wenige bereit, auf die Anfrage zu antworten. Falls doch Antworten gegeben wurden, waren sie meist nicht sachdienlich. Die häufigste Antwort lautete, dass auf diesem Gebiet bislang noch keine Arbeiten durchgeführt wurden oder aktuell im Gange sind. In einigen Fällen wurden von den angeschriebenen Personen Anleitungen zu konstruktiven Bauweisen oder allgemeine Beschreibungen zu biologischen Bauweisen zugesendet, die jedoch nur das bekannte Wissen aus der einschlägigen Fachliteratur wiedergaben.

Die chinesischen Behörden gaben als Antwort momentan wichtigere Themen als das der naturnahen Ufersicherungen zu bearbeiten. Manche Forschungseinrichtungen in den Vereinigten Staaten von Amerika antworteten, diesem Thema bislang noch keine große Beachtung gegeben zu haben. Die russischen Behörden gaben an, für solche Fälle deutsche Technologie zu importieren oder konstruktive Maßnahmen wie Geotextilien zu nutzen.

Die französische Wasserstraßenverwaltung "voies navigables de France" hat an einigen ausgewählten schiffbaren Gewässern erste Erfahrungen mit biologischen Bauweisen zur Ufersicherung gesammelt, die in der vorliegenden Studie vorgestellt sind.

In einer Studie der Cranfield University im Auftrag der "Environment Agency" in Großbritannien, werden umweltfreundliche Erosionsschutzmaßnahmen nicht nur baulich sondern auch strategisch definiert. Insgesamt lassen sich vier Strategie-Kategorien einteilen:

- 1) natürliche Sukzession
- 2) Management
- 3) Standortverlagerung
- 4) biologische Bauweisen

Neben diesen strategischen Methoden wurden auch biologische Bauweisen aus Büchern und anderen Publikationen behandelt und die maximalen Belastungen der einzelnen Pflanzenarten sowie deren Eignung nach Standort dargelegt. Im Anhang sind stichpunktartige Kurzzusammenfassungen ausgewählter Literaturstellen zu finden

Zusammenfassend kann konstatiert werden, dass der Einsatz von naturnahen Bauweisen an Wasserstraßen außerhalb Deutschlands nicht oder nur in sehr geringem Maße zum Einsatz kommt.

## Anhang: Kurzzusammenfassungen von ausgewählten Büchern

Die nachfolgenden Seiten geben Kurzzusammenfassungen und Schlagwörter von einigen Büchern über biologische Bauweisen an.

## Schiechtl & Stern:

## Water Bioengineering Techniques for Watercourses, Bank and Shoreline Protection.

- Planung und Ausführung (natürliches Entwässerungsschema, Flussdynamik, Instandhaltung des ursprünglichen Sohlniveaus, Küstenstreifen und Uferböschungen, Abflussregime etc.)
- Auswahl von Maschinen, Stabilität des Fließgewässers, Verwendung von Baumaterial, Vermeidung von Schäden im Bereich der mit Schilf/Röhricht bewachsenen Uferzonen etc.
- biologische Bauweisen
- geotechnische, ökologische, wirtschaftliche und ästhetische Aspekte
- lebendes Baumaterial (Samen, Kräuter, Gehölze, Gras, etc.)
- Auswahl von Pflanzenarten
- Arbeitszeitplanung sowie Grenzen der Anwendbarkeit (biologisch oder technisch), Baukosten
- Verfahren zum Schutz des Bodens, Untergrundstabilisierungsmethoden,
- Saat-Methoden: Ausführung, Zeitplanung, Effektivität, Vorteile, Nachteile, Kosten, Unterhaltung und Nachsorge

## Waterway Bank protection – A guide to erosion assessment and management (Environment Agency, British Waterways 1999, UK).

- wesentliche Schutzstrategien für Uferböschungen
- natürliche Sukzession, biologische Bauweisen, biologisch-technische Bauweisen, Management, Standortverlagerung, konstruktiver Ingenieurbau
- Zusammenfassung des Ufererosionsprozesses
- Vorschlag eines Verfahrens zur Beurteilung des Ausmaßes und der Konsequenzen von Ufererosion
- Vorschlag für eine Strategie zur Steuerung / Verminderung der Ufererosion
- Gerinnetypen und -eigenschaften, aquatische Pflanzen, Gewässer-Abflussregime
- Schifffahrt als Grund für Erosion (Wellentypen)
- Ursachen von Ufererosion (grobe Annäherung, Arten des Versagens, Auswirkungen von Vegetation)

## Beurteilung des Böschungserosionsproblems (Verfahren zur Erhebung)

- konstruktiver und ökologischer Wert
- Nutzerbefragung
- Gerinnetypen, Flussufertypen, Flussufer-Geometrie
- Bewuchs des Flussufers
- Abflussregime, Fließgeschwindigkeit, Grundwasserspiegel
- bestehende Rehabilitationsmaßnahmen
- Geschichte des Einzugsgebietes
- Gründe für eine Ufererosion

#### Verfahren zum Uferschutz

- Hochwasserschutz
- Schifffahrt (Erhaltung einer minimalen Fahrwassertiefe, Schiffstypen, Häufigkeit der Vorbeifahrt, Ankern)
- Bauwerke
- Ökologie
- Ufernutzer
- gesetzliche Vorschriften
- Uferneigung, Zustand des Gerinnes, Gründe für Probleme am Ufer, Ufer-Geometrie

#### Auswahl von

- Schifffahrtsbestimmungen
- Rasenansaat
- Pflanzung von Schilf/Röhricht
- Lebendverbau
- Reisigbündel

## Bergmann & Schiechtl:

#### Ingenieurbiologie – Handbuch zum naturnahen Wasser- und Erdbau

- Biotechnische Eigenschaften von Pflanzen
- Biotechnische Leistungen
- Standort
- technische u. ökologische Erkenntnisse
- Baustoffe, Saatgut, Pflanzenbeschaffung, vegetative Bauelemente
- Messen und Berechnen der Fließgeschwindigkeit
- Schleppkraft von fließendem Wasser, Strömungsdruck
- Bauleistungen
- Ergänzungsbauweisen

#### Gray & Leiser:

## Biotechnical Slope Protection and Erosion Control

- Sohl- und Böschungserosion, Massentransport
- Rolle der Vegetation für die Stabilität und Bewehrung der Uferböschungen
- Biologische Bauweisen zur Böschungssicherung
- Konstruktive Bauweisen zur biotechnologischen Böschungssicherung

#### Anforderungen der Pflanzengemeinschaft

- Einschränkungen gesetzlicher, wirtschaftlicher und praktischer Art
- Standortanalyse, Mikro- und Makroklima, Vegetation, Übergangsarten, Boden, Topographie
- Artenauswahl

#### Gray & Stoir:

## Biotechnical and Soil Bioengineering Slope Stabilisation – A practical Guide for Erosion Control

- Historische Entwicklung
- Gründe für biologische Bauweisen
- Oberflächenerosion und Massentransport
- Arten von Auswaschungen
- Prognose der Böschungsstabilität (Berechnungen)

## Rolle der Vegetation für die Böschungsstabilität

- empfohlene Pflanzenarten
- Einfluss auf die Ufererosion
- Einfluss auf die Massenstabilität
- Morphologie und Festigkeit von Wurzeln
- Auswahl von Pflanzenarten
- Standortauswahl
- konstruktive Stabilität biologischer Bauweisen

#### Patt, Jürging & Kraus:

## Naturnaher Wasserbau – Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern

- Rechtlicher Rahmen
- Morphologie der Fließgewässer
- Lebensraum
- Gewässergüte, Gewässerstrukturgüte
- Hydrologische Grundlagen
- Hydraulische Nachweise
- Feststofftransport
- Gewässerentwicklungsplanung
- Naturnahe Gestaltung
- Baumaterialien im naturnahen Wasserbau