

BAWMerkblatt

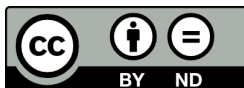
Anwendung von technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen – Planung und Bemessung (MTBU)

Ausgabe 2026

BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien

Herausgeber

Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
Kußmaulstraße 17, 76187 Karlsruhe
Telefon: +49 721 9726-0
E-Mail: info@baw.de
www.baw.de



creativecommons.org/licenses/by-nd/4.0/

Soweit nicht anders gekennzeichnet, stehen die Inhalte der Beiträge unter der Creative Commons Lizenz BY-ND 4.0 (Namensnennung – Keine Bearbeitungen 4.0 International). Bei anderweitiger Kennzeichnung unterliegen die entsprechenden Inhalte dem urheberrechtlichen Schutz und dürfen nicht weiterverwendet werden.

An der Merkblatterarbeitung Mitwirkende:

BEHRENDT, Katja	Bundesanstalt für Gewässerkunde Koblenz
BOGUMIL, Heide	Wasserstraßen-Neubauamt Berlin
BUCHHOLZ, Helga	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt
FLEISCHER, Petra	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe - Federführung
GESING, Carolin	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
HEINZNER, Kathrin	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt
JANAS, Simone	Naturschutzbund Deutschland e.V. (bis 2023 Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oberrhein)
KARREIS, Gerd	Wasserstraßen-Neubauamt Aschaffenburg
RÖMER, Frank	Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oberrhein
SCHLÜTER, Volker	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe
STELZER, Oliver	Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe

Inhaltsverzeichnis	Seite
1 Vorbemerkung	1
2 Technische Grundlagen	2
2.1 Technisch-biologische Ufersicherungen	2
2.2 Schiffsinduzierte Belastungen	5
2.3 Versagensmechanismen / Erforderliche Nachweise	7
2.4 Nutzung von GBBSoft+	10
3 Ökologische Grundlagen	12
4 Hinweise zum Klimaschutz und zur Berücksichtigung der Klimawandelfolgen	14
5 Rechtliche Grundlagen	17
6 Ziele von TBU-Maßnahmen	18
7 Planung einer TBU	20
7.1 Vorgehensweise	20
7.2 Standortspezifische Randbedingungen	23
7.2.1 Wasserstraßentyp	23
7.2.2 Geometrie/Böschungsneigung	24
7.2.3 Baugrund	25
7.2.4 Schifffahrt	26
7.2.5 Wasserstände und Abflüsse	27
7.2.6 Geländeverfügbarkeit/Gefährdungspotenzial	28
7.2.7 Umweltbelange	29
7.2.8 Vorhandener Bewuchs	32
7.2.9 Unterhaltung	33
7.3 Maßnahmen zur Reduzierung der hydraulischen Uferbelastungen	33
7.3.1 Administrative Maßnahmen	34
7.3.2 Konstruktive Maßnahmen (Indirekte Ufersicherungen)	34
7.4 Berücksichtigung von Synergieeffekten	39
7.5 Wahl eines Bemessungsstandards	40
7.6 Technische Bemessung einer direkten TBU	44
7.7 Auswahl der Bauweise	49
7.8 Dimensionierung und konstruktive Ausbildung	50
7.9 Pflanzenauswahl	51
7.10 Kombination mit Strukturelementen zur ökologischen Aufwertung von Ufersicherungen	55
7.10.1 Übersicht	55
7.10.2 Hinweise zur Anwendung von Totholz	56
7.11 Planung der Ausführung	58
7.12 Kosten	60
8 Bauausschreibung	62
9 Bauüberwachung	64
10 Fertigstellungs-, Entwicklungs- und Unterhaltungspflege	65

11	Erfolgskontrollen	67
12	Regelwerke/Literatur	72

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Übersicht – Ufergestaltungen und -sicherungen an Binnenwasserstraßen und deren unterschiedliche ökologische Wirksamkeit (qualitativ dargestellt)	4
Abbildung 2:	Hydraulische Uferbelastungen und ihre Auswirkungen auf Uferböschung und Pflanzen	5
Abbildung 3:	Schiffsinduzierte Belastungen infolge der Passage eines Binnenschiffs in einem Kanal (links) und Uferbelastungen infolge der Fahrt eines Sportboots in einem Fluss (rechts)	5
Abbildung 4:	Prinzipieller Verlauf der Wasserspiegellagenänderungen während der Passage eines typischen Binnenschiffs	6
Abbildung 5:	Schematische Darstellung der Versagensmechanismen an einer Uferböschung	8
Abbildung 6:	Schematische Darstellung der Bemessung mit GBBSOft+	11
Abbildung 7:	Übersicht der einzelnen Schritte einer TBU-Planung	21
Abbildung 8:	Einfluss der Anordnung der Bühnen auf Uferschutz und Verlandung	39
Abbildung 9:	Übersicht – Technische Bemessung einer direkten TBU	45
Abbildung 10:	links: Einbau einer Totholzfmaschine am Rhein bei Worms, rechts: Zweireihige Palisaden aus Holzpfählen mit zwischengelagerten Totholzfmaschinen am Neckar bei Ladenburg (Fotos: K. Behrendt, BfG)	56
Abbildung 11:	Lagestabil eingebautes Totholz an der Weser bei Jössen (Fotos: links BAW, rechts: WSA Weser)	56
Abbildung 12:	Einflüsse auf die Kosten der TBU	60
Abbildung 13:	Beispielhaftes Formblatt zur Datenerhebung im Rahmen der Erfolgskontrolle	68

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Klimatische Einflüsse und deren mögliche Auswirkungen auf die Wasserstraße mit Bezug auf TBU sowie zukünftige Planungsprozesse	16
Tabelle 2:	Übersicht – Verkehrliche und wasserwirtschaftliche Maßnahmen	17
Tabelle 3:	Ökologische Ziele/Potenziale der direkten und vorgelagerten indirekten Ufersicherungen sowie der strukturverbessernden Maßnahmen	19
Tabelle 4:	Qualitativer Vergleich der Randbedingungen der verschiedenen Wasserstraßentypen	24

Tabelle 5:	Erforderliche Bodenkennwerte für die Bemessung nach technischen Kriterien	25
Tabelle 6:	Schiffsbezogene Kennwerte für die Bemessung nach technischen Kriterien – Güterschiffe und große Fahrgastschiffe	27
Tabelle 7:	Übersicht indirekter, vorgelagerter Uferschutzmaßnahmen (Längsbauwerke)	35
Tabelle 8:	Lokale Voraussetzungen für die Wahl eines Bemessungsstandards	41
Tabelle 9:	Beispiele für Bemessungsannahmen bei Wahl des BS I und II	42
Tabelle 10:	Empfehlungen zum Ansatz von Schiffsgeschwindigkeit und Antriebsleistung	43
Tabelle 11:	Grenzwerte hinsichtlich Oberflächenerosion für ausgewählte TBU nach DWA-M 519 (2016)	47
Tabelle 12:	Ingenieurbologische Empfehlung für ausgewählte Maßnahmen an Kanälen / staugeregelten Flüssen / freifließenden Flüssen nach DWA-M 519 (2016) („+“ – zu empfehlen, „0“ – bedingt zu empfehlen, „-“ – nicht zu empfehlen)	48
Tabelle 13:	Strukturelemente zur ökologischen Aufwertung von Ufersicherungen	55

Anlagenverzeichnis

Anlage A:	Kurzbeschreibungen: Ausgewählte direkte und der Böschung vorgelagerte indirekte Ufersicherungen und strukturverbessernde Maßnahmen
Anlage B:	Steckbriefe (Beispielsammlung): Ausgeführte direkte und der Böschung vorgelagerte indirekte Ufersicherungen, strukturverbessernde Maßnahmen sowie ein Beispiel für eine freie Uferentwicklung
Anlage C:	Beispielhafte Bemessung einer direkten technisch-biologischen Ufersicherung
Anlage D:	Glossar und Abkürzungsverzeichnis

1 Vorbemerkung

Dieses Merkblatt dient als Werkzeug für die Anwendung, Planung und Bemessung von technisch-biologischen Ufersicherungen (TBU) an Binnenwasserstraßen in Deutschland. Die Empfehlungen im Merkblatt gelten für staugeregelte und freifließende Flüsse, seenartige Erweiterungen sowie Kanäle. Küsten und Ästuar werden im Merkblatt nicht behandelt.

Grundsätzlich ist die ökologisch beste Lösung zur Aufwertung von Ufern der ersatzlose Rückbau der überwiegend vorhandenen technischen Schüttsteindeckwerke und das Ermöglichen einer eigendynamischen Uferentwicklung. Das ist an Bundeswasserstraßen i. d. R. nicht oder nur sehr eingeschränkt möglich. Alternativ können die technischen Ufersicherungen, wenn Uferschutz weiterhin erforderlich ist, durch TBU ersetzt werden. Diese können rein pflanzliche Ufersicherungen oder eine Kombination aus Pflanzen und technischen Bestandteilen sein. Damit kann eine ökologische Aufwertung erreicht und gleichzeitig Uferschutz gewährleistet werden. Ziel sollte sein, so viel Uferschutz wie nötig und so viel Ökologie wie möglich zu realisieren.

Das Merkblatt behandelt primär direkte flächige technisch-biologische Uferschutzmaßnahmen als ökologisch optimierte Alternative zu rein technischen Schüttsteindeckwerken. Es werden außerdem Hinweise zu indirekten, der Böschung vorgelagerten Uferschutzmaßnahmen gegeben, die die hydraulischen Belastungen an der Uferböschung reduzieren und damit die Anwendungsmöglichkeiten von direkten TBU erhöhen oder erst ermöglichen und gleichzeitig ökologisch wertvolle, geschützte Wasserzonen schaffen. In dieser Kombination können auch die vorgelagerten Maßnahmen als technisch-biologische Ufersicherungen betrachtet werden. Ergänzend werden Maßnahmen zur weiteren ökologischen Aufwertung der Ufer beschrieben.

Voraussetzung für die technische und ökologische Wirksamkeit von TBU sind die in diesem Merkblatt dargestellte fachgerechte Dimensionierung, Auswahl und konstruktive Ausbildung der Maßnahmen. Zudem gibt das Merkblatt Hinweise bezüglich ökologischer Wirkfaktoren, Ausschreibung, Einbau, Unterhaltung sowie Kosten. In Anlage A sind direkte und indirekte vorgelagerte Ufersicherungen sowie strukturverbessernde Maßnahmen mit ihren Anwendungsmöglichkeiten und -grenzen an Wasserstraßen in Kurzbeschreibungen erläutert. Außerdem gibt es Steckbriefe mit Beispielen ausgeführter Maßnahmen (Anlage B), ein Bemessungsbeispiel (Anlage C) und ein Glossar und Abkürzungsverzeichnis (Anlage D). Das Merkblatt behandelt ausschließlich die naturnahe Sicherung von Ufern und gibt keine weiterführenden Hinweise zu anderen Bauweisen, die im Rahmen von Renaturierungsmaßnahmen, die eine eigendynamische Uferentwicklung fördern, umgesetzt werden können.

Aufgrund der Verwendung von lebendem Pflanzenmaterial kommen TBU überwiegend um und oberhalb Mittelwasser bzw. Normalstau zum Einsatz. Ergänzende Maßnahmen zur Fußsicherung der TBU oder mit dem Ziel der ökologischen Aufwertung können auch unterhalb Mittelwasser durchgeführt werden.

Seit Inkrafttreten des „Gesetzes über den wasserwirtschaftlichen Ausbau an Bundeswasserstraßen zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele der Wasserrahmenrichtlinie“ im Juni 2021 ist die Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) hoheitlich neben dem verkehrlichen Ausbau auch für den wasserwirtschaftlichen Ausbau der Binnenwasserstraßen des Bundes nach § 12 WaStrG zuständig, wenn dieser erforderlich ist, um die Bewirtschaftungsziele der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) zu erreichen. Es besteht darüber hinaus eine Pflicht zur Beachtung der Ziele der WRRL bei Unterhaltung und verkehrlichem Ausbau. TBU können zur Zielerreichung der WRRL beitragen, indem sie die Strukturvielfalt an Wasserstraßen erhöhen und Uferlebensräume für Pflanzen und Tiere fördern. TBU können außerdem einen Beitrag zum Klimaschutz und zur Stärkung der Klimaresilienz der Bundeswasserstraßen leisten. Es werden im Merkblatt Hinweise gegeben, welche Aspekte des Klimawandels bei der Planung von TBU zu berücksichtigen sind.

2 Technische Grundlagen

2.1 Technisch-biologische Ufersicherungen

TBU sind Ufersicherungen, die den Uferschutz gewährleisten und das Ufer im Vergleich zu rein technisch gesicherten Ufern ökologisch aufwerten können. Sie können in Wasserstraßenabschnitten angewendet werden, in denen aufgrund der Randbedingungen ein Uferschutz erforderlich ist, d. h. in denen eine natürliche eigendynamische Entwicklung des Ufers nicht zugelassen werden kann.

Das Merkblatt behandelt schwerpunktmäßig direkte Ufersicherungen. Das sind Ufersicherungen unter Verwendung von Pflanzen, die als Alternative zu den bisherigen technischen Schüttsteindeckwerken direkt auf der Uferböschung angeordnet werden. Für diese TBU-Maßnahmen wird die Bemessung nach den „Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB)“ (2011) und dem Merkblatt „Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Binnengewässern (DWA-M 519)“ (2016) unter Berücksichtigung der konkreten Randbedingungen dargestellt. Da die für den Uferschutz geeigneten Pflanzen um und oberhalb Mittelwasser bzw. Normalstau eingesetzt werden können, bleibt der darunter liegende Böschungsbereich bei Erfordernis in der Regel mit Schüttsteindeckwerken gesichert. Alternativ ist auch ein Senkrechtufer mit Uferspundwand oder Uferpfahlreihe möglich, dem sich oberhalb etwa Mittelwasser bzw. Normalstau eine mit TBU gesicherte Böschung anschließt. Eine Kombination verschiedener TBU-Maßnahmen ist in Abhängigkeit der Randbedingungen möglich und sinnvoll.

Pflanzen können mit ihren Eigenschaften technische Funktionen übernehmen. Die Wurzeln dringen in den Boden ein und führen zu einer Erhöhung der Bodenscherfestigkeit und damit zu einer Bodenstabilisierung. Böschungsrutschungen können so vermieden werden. Außerdem kann ein gut ausgebildetes oberflächennahes Wurzelgeflecht Materialaustritt aus der Böschung und Oberflächenerosion verhindern. Nach entsprechendem Wachstum sind die Wurzeln in der Lage, Filterstabilität zu gewährleisten. Auch die oberirdischen Pflanzenteile tragen zum Schutz vor Oberflächenerosion bei. Mit fortschreitendem Wachstum der Pflanzen erhöht sich zudem die Rauheit am Ufer, wodurch die hydraulischen Einwirkungen, z. B. die Strömungsgeschwindigkeiten, im Bereich der Böschung reduziert werden. Gleichzeitig können jedoch hoch aufgewachsene Pflanzen den Hochwasserabfluss unzulässig behindern. In diesem Fall kommt der Unterhaltung eine besondere Bedeutung zu. Langfristig ist die Fähigkeit der Pflanzen zur Selbstregeneration ein wichtiger Vorteil gegenüber technischen Schüttsteindeckwerken.

Der Uferschutz wird entweder durch rein ingenieurblogische Bauweisen oder durch eine Kombination aus ingenieurblogischen und dauerhaft wirkenden technischen Komponenten gewährleistet. Bei ingenieurblogischen Bauweisen wird das Ufer langfristig nur durch Pflanzen gesichert. Sie werden in diesem Sinn auch als „rein pflanzliche Ufersicherungen“ bezeichnet. Bestandteil dieser Bauweisen können auch unbelebte Bauhilfsstoffe, wie z. B. Befestigungen, sein. Die rein pflanzlichen Ufersicherungen besitzen kein signifikantes Flächengewicht. Sie sind dementsprechend weniger belastbar als Ufersicherungen mit technischen Komponenten und werden in der Regel angewendet, wenn nur ein Schutz gegenüber Oberflächenerosion erforderlich ist. Beispiele sind Weidenspreitlagen (Anlagen A1, B1.1, B1.2, B1.3) und vorkultiivierte Pflanzmatten (Anlagen A2, B1.4).

Bei Ufersicherungen aus ingenieurblogischen und technischen Bestandteilen tragen letztere dauerhaft zusätzlich, z. B. durch ihr Flächengewicht, zum Uferschutz bei und werden auch bei der Dimensionierung in den zu führenden geotechnischen Nachweisen berücksichtigt (Kapitel 2.3). Sie werden bei stärkeren hydraulischen Einwirkungen angewendet, insbesondere wenn neben dem Schutz vor Oberflächenerosion auch ein Schutz vor Böschungsrutschungen infolge von schiffsinduzierten Porenwasserüberdrücken im Boden erforderlich ist (Kapitel 2.3). Beispiele sind begrünte Kammerdeckwerke (Anlagen A3, B1.5) und begrünte Steinschüttungen (Anlagen A4, B1.6).

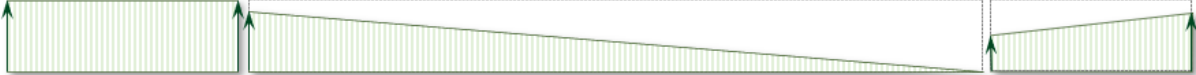
Im Gegensatz zur Verwendung von Schüttsteinen, die von Anfang an ihre volle Funktionsfähigkeit besitzen, gibt es nach dem Einbau der TBU einen kritischen Anfangszustand. Die Pflanzen müssen die für den Uferschutz erforderlichen Wurzeln und Sprosse erst ausbilden, die hydraulischen Belastungen infolge Schifffahrt und natürlicher Strömung, ggf. Hochwasser, wirken dagegen sofort. Häufig sind deshalb zeitlich begrenzt konstruktive Zusatzmaßnahmen, z. B. spezielle Befestigungen und temporäre Filter, erforderlich, die ein schnelles und zuverlässiges Wurzelwachstum in den Untergrund ermöglichen und in dieser Phase gleichzeitig zum Uferschutz beitragen. Außerdem können die Uferbelastungen in der Anfangszeit durch verkehrsregelnde Maßnahmen reduziert werden (Kapitel 7.3.1).

Bei der Anwendung von TBU im Bereich von Dammstrecken ist das Merkblatt „Standssicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen (MSD)“ (2025) zu beachten. Darin ist der zulässige Bewuchs auf Dämmen in Abhängigkeit der Dammzonen und der vorhandenen Dichtung definiert. Bei durchwurzelungsgefährdeten Oberflächendichtungen (z. B. Tondichtungen) sind beispielsweise nach MSD-Tabelle 8 im Bereich der wasserseitigen Böschung (Zone 1 nach MSD (2025)) Gehölze, Röhrichte und feuchte Hochstauden nicht zugelassen.

Außerdem werden im vorliegenden Merkblatt dem Ufer vorgelagerte, indirekte Uferschutzmaßnahmen (Kurzbeschreibung in Anlage A5) – z. B. vorgelagerte Pfahlreihen (Anlagen B2.1 und B2.2), Spundwände (Anlagen B2.3 und B2.4), Schüttsteinwälle (Anlagen B2.6 und B2.7) und Gabionen (Anlage B2.5)) – vorgestellt (Kapitel 7.3.2). Die Bemessung der technischen Elemente erfolgt nach den einschlägigen Regelwerken. Vorgelagerte Maßnahmen können die hydraulischen Einwirkungen am Ufer reduzieren, sodass die Anwendung von direkten TBU auf der Böschung erleichtert wird oder ggf. sogar auf einen direkten Uferschutz verzichtet werden kann. Außerdem entstehen durch vorgelagerte Maßnahmen strömungs- und wellenberuhigte Wasserzonen, die zu einer ökologischen Aufwertung im aquatischen Bereich führen. Voraussetzung für die Anwendung indirekter Bauweisen ist, dass der dafür erforderliche Raum in der Wasserstraße zur Verfügung steht. Dann ist eine Kombination aus indirekten und direkten Uferschutzmaßnahmen in der Regel sinnvoll.

Abbildung 1 zeigt eine Übersicht zu möglichen Ufergestaltungen und -sicherungen an Binnenwasserstraßen, orange unterlegt sind die Ufersicherungen, die im Merkblatt behandelt werden. Zusätzlich ist grob qualitativ die unterschiedliche ökologische Wirksamkeit im Bereich zwischen maximaler bzw. bester und keiner ökologischen Wirksamkeit unter der Übersicht dargestellt. Ein Ufer ohne Befestigung ist ökologisch am besten. Bei Ufersicherungen nimmt die ökologische Wirksamkeit mit Zunahme der technischen Bestandteile ab. Indirekte vorgelagerte Ufersicherungsmaßnahmen bestehen in der Regel aus technischen Komponenten, können jedoch in unterschiedlichem Ausmaß zur ökologischen Aufwertung des Bereichs zwischen Maßnahme und Ufer und direkt am Ufer beitragen.

Keine Ufersicherung	Direkte Ufersicherung auf geböschtem Ufer			Indirekte Ufersicherung
	technisch-biologisch		technisch	
Ufer ist nicht stabil Zulassen einer natürlichen Uferentwicklung	Rein ingenieurbiologische Ufersicherung	Ufersicherung aus ingenieurb biologischen und technischen Bestandteilen	Ufersicherung nur aus technischen Bestandteilen	Der Böschung vorgelagerte Maßnahmen
Ufer ist stabil Naturbelassene, stabile Böschung	Uferschutz nur durch Pflanzen bzw. Pflanzenteile, kein relevantes Flächengewicht auf der Böschung	Uferschutz durch Pflanzen und dauerhaft wirksame technische Komponenten, Flächengewicht durch technische Komponenten	Uferschutz/ Flächengewicht durch technische Komponenten	Uferschutz durch Reduzierung der hydraulischen Einwirkungen
	Spreitlagen, vorkultivierte Pflanzmatte, ...	Begrüntes Kammerdeckwerk, begrünte Steinschüttung, ...	Schüttstein-Deckwerk, ...	Lahnung, Spundwand, Steinwall, ...



Qualitative Bewertung der Zustände bzw. Maßnahmen zwischen „maximaler“ und „keiner ökologischen Wirksamkeit“

Abbildung 1: Übersicht – Ufergestaltungen und -sicherungen an Binnenwasserstraßen und deren unterschiedliche ökologische Wirksamkeit (qualitativ dargestellt)

Ergänzend werden Maßnahmen beschrieben, mit denen TBU und bestehende technische Schüttsteindeckwerke ökologisch aufgewertet werden können (Anlage A6, Kapitel 7.10). Diese haben in der Regel selbst keine Uferschutzfunktion. Ein Beispiel ist die Anordnung von Totholz als Strukturelement im terrestrischen und insbesondere aquatischen Bereich, z. B. zur Förderung von Fischhabitaten (Anlagen B3.1 und B3.2).

In der Anlage A sind Kurzbeschreibungen zu an Binnenwasserstraßen bereits erprobten, anwendbaren direkten und indirekten vorgelagerten Ufersicherungsmaßnahmen und Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung zusammengestellt. Sie enthalten u. a. Hinweise zum Aufbau, zu speziellen Anforderungen, zur ökologischen Wirksamkeit und Anwendungsgrenzen.

In der Anlage B werden in der WSV ausgeführte Beispielmaßnahmen in Steckbriefen mit ihren wichtigsten Randbedingungen, der konstruktiven Ausführung und den Erfahrungen vorgestellt. Dabei ist am Schluss ergänzend ein Beispiel für ein ungesichertes Ufer enthalten (B4.1). Wenn es die Randbedingungen zulassen, ist eine natürliche eigendynamische Uferentwicklung aus ökologischer Sicht einer TBU vorzuziehen. Deshalb sollte in jedem Anwendungsfall vorab geprüft werden, ob eine Ufersicherung tatsächlich erforderlich ist.

2.2 Schiffsinduzierte Belastungen

In Gewässern mit Schiffsverkehr gibt es verschiedene Auslöser für die Entstehung hydraulischer Belastungen, die mit ihren möglichen Auswirkungen auf die Uferstabilität und die Pflanzenvitalität in Abbildung 2 dargestellt sind. Windinduzierte Wellen sind in der Regel nur in Seebereichen relevant und werden deshalb hier nicht weiter betrachtet. Hinweise zur Berücksichtigung von Windwellen gibt GBB (2004).

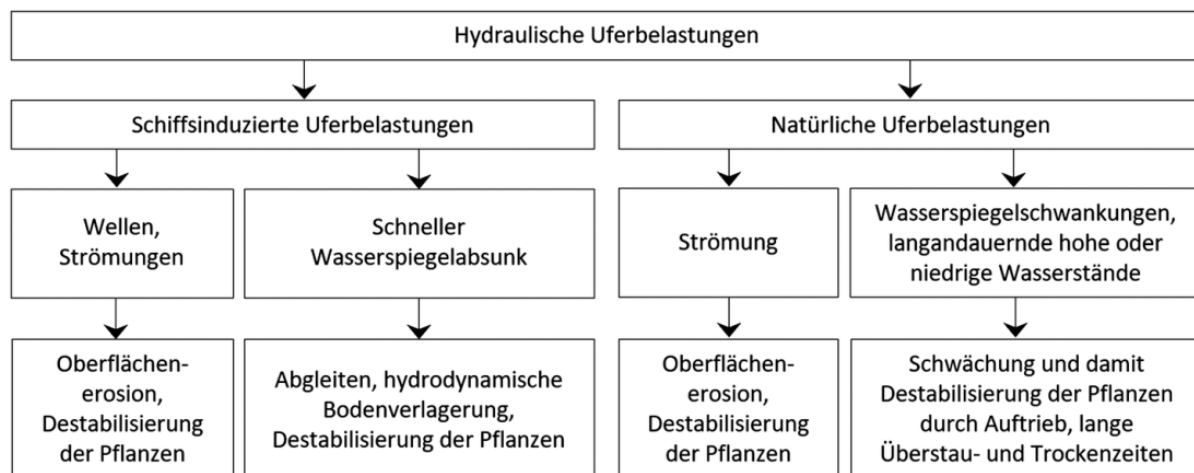


Abbildung 2: Hydraulische Uferbelastungen und ihre Auswirkungen auf Uferböschung und Pflanzen

Schiffsinduzierte Belastungen auf Sohle und Ufer entstehen bei der Fahrt eines Schiffs durch ein Gewässer aus den lokalen und temporären Veränderungen der Wasseroberfläche und der Strömungen um das Schiff herum. Sie lassen sich in die drei Komponenten Primärwellenfeld, Sekundärwellenfeld und Propellerstrahl unterteilen.



Abbildung 3: Schiffsinduzierte Belastungen infolge der Passage eines Binnenschiffs in einem Kanal (links) und Uferbelastungen infolge der Fahrt eines Sportboots in einem Fluss (rechts)

Das Primärwellenfeld setzt sich aus der Bug- und Heckwelle, dem Wasserspiegelabsenk sowie der Rück- und Wiederauffüllungsströmung zusammen (Abbildung 3). Direkt vor dem Schiff bildet sich ein lokaler Bugstau, der sich seitlich ausbreitet und Teil der Bugwelle wird. Das fahrende Schiff reduziert den Abflussquerschnitt um den Schiffsquerschnitt und löst damit eine Verdrängungsströmung entlang des Schiffs nach hinten aus. Im Bereich des Schiffsrumpfs dominiert die Rückströmung. Sie wirkt bis zu einer Schiffslänge um das Schiff herum. Aufgrund von Energie- und Massenerhaltung bewirkt der beschleunigte Abfluss eine Absenkung des Wasserspiegels neben dem Schiff, den Absenk. Am Heck des Schiffes findet ein Ausgleich der Abflussverhältnisse statt, der einhergeht mit einer Wasserspiegelanhebung, der Heckquerwelle. In der Heckquerwelle läuft die Wiederauffüllungsströmung mit, die die Absenkmulde wieder „auffüllt“. Im Extremfall (Fahrt in Ufernähe oder in der Nähe der kritischen Schiffsgeschwindigkeit) ist sie häufig als mitlaufender Rollbrecher zu erkennen. Die kritische Schiffsgeschwindigkeit v_{krit} ist die Schiffsgeschwindigkeit im beschränkten Fahrwasser, bei der das vom Schiff verdrängte Wasser nicht mehr vollständig im strömenden Zustand entgegen der Fahrtrichtung nach hinten abgeführt werden kann. Eine Fahrt im Bereich der kritischen Schiffsgeschwindigkeit hat einen starken Anstieg von Rückströmung und Absenk zur Folge, was Instabilitäten, z. B. durch Ansaugeffekte an die Sohle, hervorrufen kann. Zudem ist diese Geschwindigkeit für Binnenschiffe sehr unwirtschaftlich, da der Energieaufwand für eine geringe Steigerung der Schiffsgeschwindigkeit sehr hoch wird.

In Abbildung 4 ist der prinzipielle Verlauf der Wasserspiegellagenänderung am Ufer während einer Schiffspassage dargestellt. Die Abfolge aus Bugwelle, Absenkmulde und Heckwelle hat den Charakter einer einzelnen Welle und wird als Primärwelle bezeichnet. Sie schreitet mit dem Schiff fort. Ihre Wellenlänge entspricht in etwa der Schiffslänge. Die Primärwelle ist unmittelbar am Schiff am höchsten und nimmt mit zunehmendem Abstand vom Schiff ab. Beträgt der Uferabstand mehr als eine Schiffslänge, kann der Einfluss des Primärwellenfeldes auf das Ufer in der Regel vernachlässigt werden (DWA-M 519 2016, Anhang C).

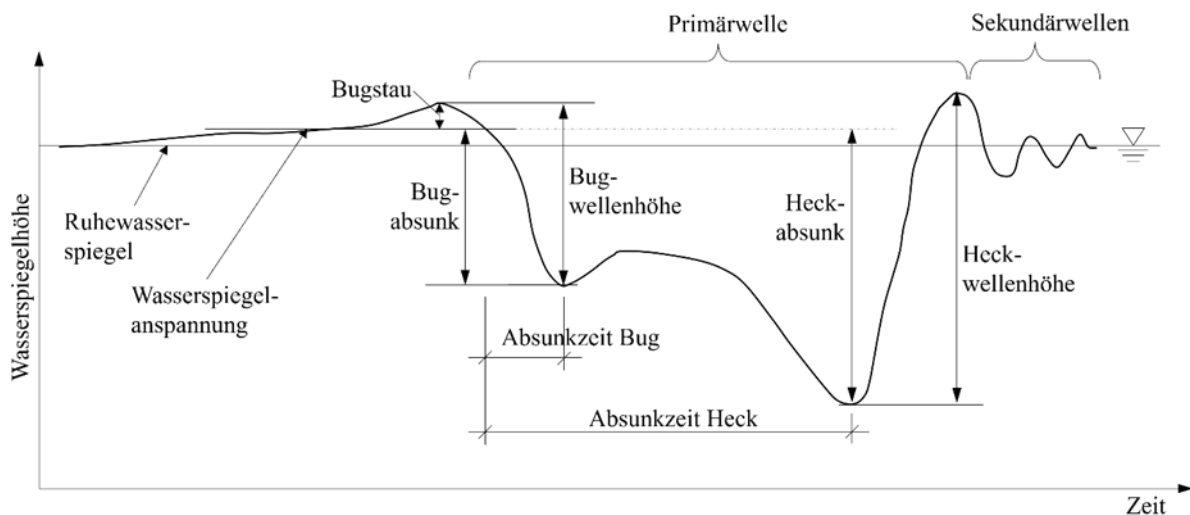


Abbildung 4: Prinzipieller Verlauf der Wasserspiegellagenänderungen während der Passage eines typischen Binnenschiffs

Aufgrund der Konturänderungen am Schiffsrumpf entstehen regelmäßige, kurzperiodische Wellen, die das Sekundärwellensystem bilden (Abbildung 3 und Abbildung 4). Die Schräg- und Querwellen breiten sich vom Schiff aus, überlagern sich und bilden markante Interferenzlinien aus. Ihr Wellencharakter entspricht dem von Tiefwasserwellen, weswegen ihre Wellenhöhe im Gegensatz zu den Primärwellen nur wenig mit dem

zurückgelegten Weg abnimmt. Bei größer werdendem Uferabstand, mit dem der Einfluss des Primärwellensystems abnimmt, können die Sekundärwellen bemessungsrelevant werden. Besonders groß können Sekundärwellen von Sportbooten werden, wenn diese im Bereich der Gleitgeschwindigkeit fahren.

Die Bug-, Heck- und Sekundärwellen sowie die Rück- und Wiederauffüllungsströmung, aber auch die natürliche Strömung können zu Oberflächenerosion im Uferbereich (Kapitel 2.3) und zu einer Destabilisierung der Pflanzen einer TBU führen (Abbildung 2). Die schiffsinduzierten Strömungen werden hierbei ggf. von den natürlichen Strömungen überlagert. Für die Bemessung der Ufersicherung hinsichtlich eines oberflächennahen Abgleitens der Böschung und hydrodynamischer Bodenverlagerung (Kapitel 2.3) ist der schnelle Wasserspiegelabsink entscheidend.

Die Belastungen aus den Antriebsorganen der Schiffe sind meist nur in Manöversituationen (z. B. An- und Ablegen an Liegestellen oder in Vorhäfen) bemessungsrelevant. In diesen Bereichen sind TBU aufgrund der sehr großen hydraulischen Belastung in der Regel nicht anwendbar.

Grundsätzlich sind die schiffsinduzierten Uferbelastungen umso größer, je geringer der Uferabstand des Schiffes, je größer die Schiffsgeschwindigkeit und je kleiner das Querschnittsverhältnis (Quotient aus Wasserstraßenquerschnitt und eingetauchtem Schiffsquerschnitt) sind.

Die Ermittlung der Belastungsgrößen kann entweder mithilfe von Schiffsbeobachtungen und Messungen in der Natur oder durch geeignete Berechnungsverfahren erfolgen. Schiffsinduzierte Belastungen können nach GBB (2011), die Belastungen aus natürlicher Strömung mithilfe hydrodynamisch-numerischer Modelle berechnet werden. Dabei sind alle relevanten Wasserstände zu berücksichtigen (Kapitel 7.2.5).

Der Einfluss der Wasserspiegelschwankungen auf die Entwicklung und dauerhafte Vitalität der Pflanzen ist nach biologischen Kriterien zu berücksichtigen (Kapitel 7.9).

2.3 Versagensmechanismen / Erforderliche Nachweise

Bei der Untersuchung der Standsicherheit von Uferböschungen wird zwischen Gesamtstandsicherheit (globaler Standsicherheit), lokaler Standsicherheit, Erosionssicherheit und Filterstabilität unterschieden. Für den Nachweis der Gesamtstandsicherheit werden tiefliegende Bruchmechanismen untersucht, die ein Versagen der gesamten Böschung zur Folge haben (Abbildung 5). Für die lokale Standsicherheit sind gemäß GBB (2011) oberflächennahe Vorgänge wie böschungsparalleles Abgleiten und hydrodynamische Bodenverlagerung maßgebend. Zusätzlich wird die Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion bei den gegebenen hydraulischen Belastungen überprüft. Das Vermeiden von Materialtransport erfolgt über den Nachweis der Filterstabilität für die Ufersicherung selbst und zwischen Ufersicherung und anstehendem Untergrund.

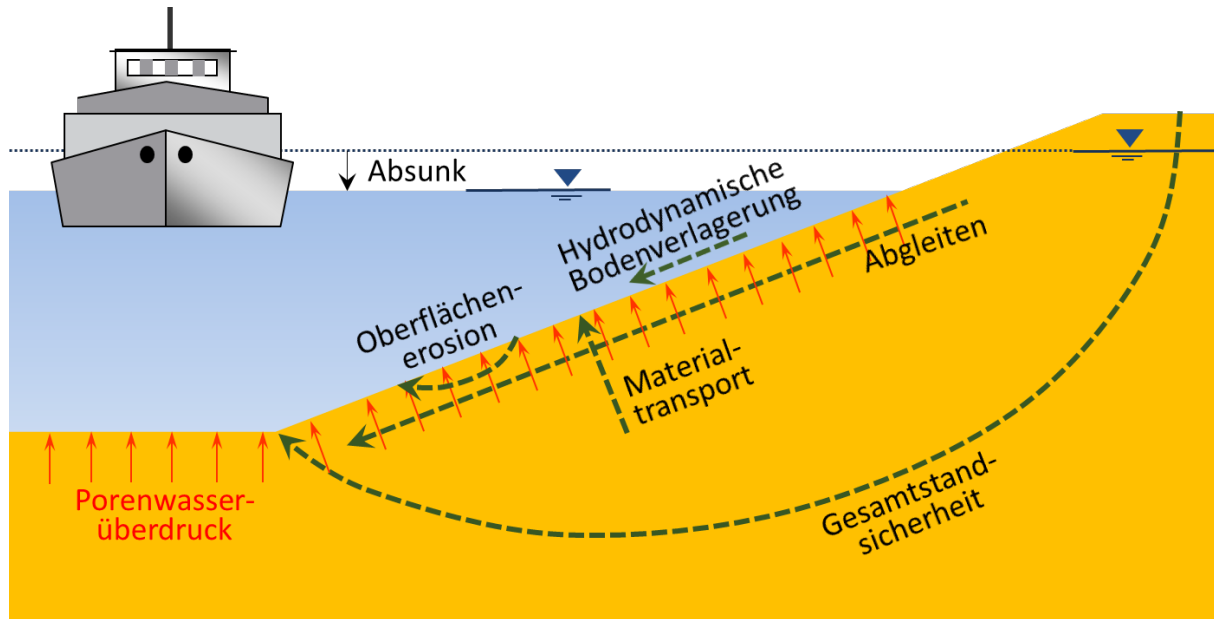


Abbildung 5: Schematische Darstellung der Versagensmechanismen an einer Uferböschung

Die Gesamtstandsicherheit der Uferböschung ist für alle relevanten Bemessungssituationen entsprechend DIN EN 1997-1 in Verbindung mit DIN EN 1997-1/NA, DIN 1054, DIN 4084 und BAWMerkblatt GBB (2011) nachzuweisen. Die Nachweisführung ist nicht Bestandteil des vorliegenden Merkblattes.

Die Nachweise zur lokalen Standsicherheit und zur Erosionssicherheit sind für TBU-Maßnahmen auf der Grundlage des GBB (2011) und des DWA-M 519 (2016) zu erbringen. Die Versagensmechanismen werden nachfolgend kurz beschrieben. Für die Nachweisführung steht für direkte flächige TBU, die als Alternative für technische Schüttsteindeckwerke angewendet werden, die Software GBBSoft+ zur Verfügung (Kapitel 2.4 und Anlage C). Die Vorgehensweise bei der technischen Bemessung von TBU wird in Kapitel 7.6 genauer erläutert.

Böschungsparalleles Ableiten und hydrodynamische Bodenverlagerung

Der schnelle Wasserspiegelabsenk neben dem Schiff (Kapitel 2.2, Abbildung 3 und Abbildung 4) kann infolge instationärer Effekte im anstehenden quasi-wassergesättigten Boden Porenwasserüberdrücke erzeugen und dadurch die lokale Standsicherheit der Uferböschung bei Schiffsvorbeifahrt herabsetzen. Die physikalischen Grundlagen dazu werden z. B. in Fleischer et al. (2021) erläutert. Durch den Porenwasserüberdruck können die effektiven Spannungen im Boden und damit die haltenden Reibungskräfte soweit reduziert werden, dass die Uferböschung in einer oberflächennahen böschungsparallelen Bruchfläche abrutscht. Ist der Porenwasserüberdruck größer als die effektiven Spannungen, gehen die Korn-zu-Korn-Spannungen verloren, und es kommt bei kohäsionslosen Böden zu einer Bodenverflüssigung, die im oberflächennahen Böschungsbereich zu böschungsabwärts gerichteten hydrodynamischen Bodenverlagerungen führen kann. Um dies zu vermeiden, wird nach GBB (2011) eine flächige Auflast auf der Böschung bemessen, die erforderlich ist, um die effektiven Spannungen so weit zu erhöhen, dass Ableiten und hydrodynamische Bodenverlagerungen verhindert werden (Kapitel 7.6).

Der beschriebene Versagensmechanismus betrifft den Böschungsbereich unterhalb des infolge Schifffahrt abgesenkten Wasserspiegels. Für die in der Regel um und oberhalb Mittelwasser bzw. Normalstau angeordneten TBU ist der schnelle Wasserspiegelabsenk nur dann relevant, wenn die TBU durch höhere Wasserstände eingestaut sind und gleichzeitig durch Schifffahrt belastet werden. Das betrifft primär

freifließende und staugeregelte Flüsse. Hier ist der Absunk im Bereich der TBU maximal bis zum Höchsten Schiffahrtswasserstand (HSW) relevant.

Bei technischen Böschungssicherungen besteht die erforderliche flächige Auflast in der Regel aus einer Deckschicht aus Wasserbausteinen. Bei TBU wird zwischen Bauweisen mit und ohne relevantem Flächengewicht unterschieden (Kapitel 2.1). Auch bei Bauweisen ohne Flächengewicht können die Pflanzenwurzeln einen Beitrag zur lokalen Standsicherheit leisten, indem sie die Scherfestigkeit des Bodens erhöhen. Diese Mechanismen sind jedoch Gegenstand aktueller Forschung und für Bemessungszwecke noch nicht ausreichend quantifizierbar. Die Wirkung der Wurzeln wird daher bislang nicht in den Nachweisen berücksichtigt. Das heißt, wenn ein Flächengewicht erforderlich ist, muss die TBU dieses durch entsprechende technische Bestandteile gewährleisten.

Oberflächenerosion

Die hydraulischen Belastungen aus schiffsinduzierten Bug-, Heck- und Sekundärwellen, Rück- und Wiederauffüllungsströmung sowie aus natürlicher Strömung können zu Oberflächenerosion am Ufer führen. Ein Schutz ist erforderlich, wenn der anstehende Boden selbst nicht erosionsstabil ist (Nachweis siehe Kapitel 7.6).

Bei technischen Schüttsteindeckwerken bilden die Wasserbausteine die erosionsstabile Deckschicht. Werden TBU angewendet, müssen diese ebenfalls die Erosionsstabilität gewährleisten. Für den Nachweis stehen für verschiedene Bauweisen zulässige Strömungsgeschwindigkeiten, Schubspannungen und Wellenhöhen nach DWA-M 519 (2016) zur Verfügung (Kapitel 7.6).

Materialaustrag aus der Böschung (Nachweis der Filterstabilität)

Der Wasserspiegelabsunk bei einer Schiffspassage kann zu Porenwasserüberdrücken und in der Folge zu senkrecht zur Böschungsoberkante gerichteten Porenwasserströmungen führen. Sind die Strömungskräfte ausreichend groß, kann Materialtransport im Boden in Form von Suffosion und Erosion auftreten (MMB 2013). Ein Austritt von Boden ist durch einen filterstabilen Aufbau der Ufersicherungen selbst und des Übergangs zum Untergrund zu verhindern (Kapitel 7.8). Bei technischen Ufersicherungen werden Geotextil- oder Kornfilter verwendet und nach den BAWMerkblättern „Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG)“ (2021) und „Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK)“ (2013) bemessen. Diese können grundsätzlich auch bei direkten TBU angewendet werden. Allerdings wird ein Filter bei Ufersicherungen mit Pflanzen in der Regel nur für den Anfangszustand nach dem Bau der Ufersicherung benötigt, bis sich ausreichend Wurzeln gebildet haben, die dann selbst die Filterfunktion übernehmen können. Aus diesem Grund sind hier nur temporäre Filter erforderlich. Dies können zum Beispiel biologisch abbaubare Geotextilvliese sein, die innerhalb der ersten 3 Jahre nach Einbau die erforderlichen Filtereigenschaften besitzen und sich danach vollständig biologisch abbauen (Fleischer et al. 2022). Sie bieten den Vorteil, dass langfristig die Durchgängigkeit im Uferbereich für Makrozoobenthos und andere Kleinstlebewesen erhalten bleibt. Ebenso bleiben die physikochemischen Eigenschaften der Uferböden erhalten, die den Wasser-, Luft- und Stoffaustausch im Übergangsbereich zwischen den aquatischen und semiterrestrischen Lebensräumen gewährleisten.

Weitere Aspekte, die zum Versagen einer TBU führen können, sind zum Beispiel Eisdruck, insbesondere bei Eisstau und -versetzungen, aber auch Einwirkungen durch Wild- und Nutztiere sowie Freizeitaktivitäten der Menschen. Diese können bei den Nachweisen nicht berücksichtigt werden. Letztere können ggf. durch konstruktive Maßnahmen (z. B. dichte Hecken, Zäune) begrenzt werden. Entstandene Schäden müssen beobachtet und bei Erfordernis durch Unterhaltung behoben werden.

2.4 Nutzung von GBBSoft+

GBBSoft+ ist eine Software zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen für Anwendungsfälle, die nicht durch Regelbauweisen der „Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (MAR)“ (2008) abgedeckt sind. Sie wurde 2008 im Geschäftsbereich der WSV per Erlass eingeführt und basiert auf dem erstmals 2004 von der BAW herausgegebenen Mitteilungsblatt Nr. 87 "Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB)" (2004). Seit 2011 liegt eine umfangreich überarbeitete Fassung des GBB (2004) vor, die als BAWMerkblatt (GBB 2011) auf der Homepage der BAW zur Verfügung steht und deren Berechnungsansätze und Bemessungskonzepte in die Software implementiert wurden.

Nach einer umfangreichen funktionalen Weiterentwicklung können auf Grundlage des 2016 erschienenen Merkblatts DWA-M519 mit GBBSoft+ auch ausgewählte direkte TBU bemessen und auf dieser Basis Vorschläge für anwendbare Maßnahmen übersichtlich und mit überschaubarem Zeitaufwand erarbeitet werden.

GBBSoft+ ermittelt die hydraulischen Belastungen auf Uferböschungen, die aus dem Primär- und Sekundärwellenfeld von typischen Binnenschiffen (z. B. Motorgüterschiff, Schubverband, Sportboot) in stationärer, uferparalleler Streckenfahrt in einem kanalähnlichen, prismatischen, trapezförmigen Gewässerquerschnitt mit einer konstanten Böschungsneigung resultieren. Unter vereinfachten Annahmen zum Wasserstraßenquerschnitt ist die Anwendung auch für Flussstrecken möglich. Außerdem können propulsionsbedingte Belastungen auf Sohle und Böschung aus dem Schraubenstrahl des Hauptantriebs oder des Bugstrahlruders für Manöversituationen mit vernachlässigbarer Schiffsgeschwindigkeit bei beliebiger Strahlrichtung berechnet werden.

Auf Grundlage der schiffsinduzierten Belastungen erfolgt alternativ die Bemessung einer technischen Ufersicherung nach GBB (2011) oder einer TBU sowohl nach GBB (2011) als auch nach DWA-M 519 (2016) (Abbildung 6). Das Vorgehen bei der Bemessung von TBU wird in Kapitel 7.6 beschrieben. Die Nutzung von GBBSoft+ wird an einem Beispiel in Anlage C ausführlich gezeigt.

In der Software wurden die meist empirischen und semi-empirischen Algorithmen des GBB (2011) nutzerorientiert umgesetzt. GBBSoft+ wird mit wachsendem Erkenntnisstand sukzessive weiterentwickelt. Die Software bietet eine grafische Benutzeroberfläche mit Windows-typischen Strukturen. Die grafische Benutzeroberfläche dient der Kontrolle, der Visualisierung und der vereinfachten Interpretation aller Eingabe- und Ausgabedaten, der ausgewählten Annahmen und der Bemessungsgrundlagen. Es werden Standard-Bemessungsfälle hinsichtlich Schiffstypen, Antriebsorganen, Wasserstraßenquerschnitten und Bodentypen nach dem BAWMerkblatt „Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (MAR)“ (2008) bereitgestellt, die der Nutzer aus Katalogen zusammenstellen kann. Die Ein- und Ausgabedaten werden auf Sinnfälligkeit geprüft, um Fehler leichter zu erkennen. Es werden Hinweise zur Parameterwahl gegeben. Die Software ist dafür ausgelegt, eine große Anzahl von Varianten zu betrachten, die Ergebnisse in wenigen Minuten zu berechnen und programmintern darzustellen. Zur weiteren Verarbeitung der Ergebnisse außerhalb der Software werden zudem Schnittstellen zu Standard-Software angeboten.

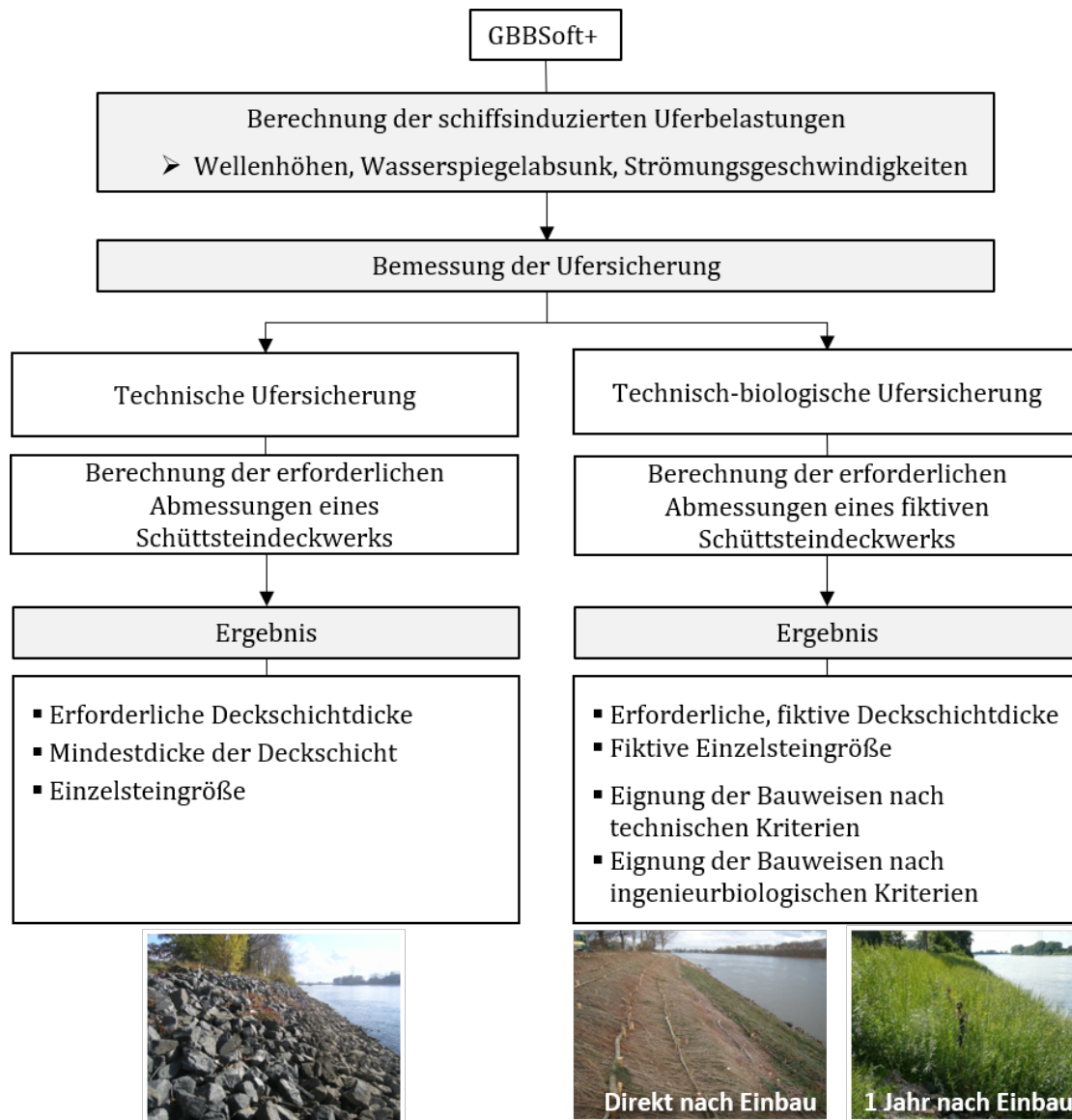


Abbildung 6: Schematische Darstellung der Bemessung mit GBBSoft+

3 Ökologische Grundlagen

Naturbelassene Flusslandschaft

Eine intakte natürliche Flusslandschaft – wie sie heutzutage beispielsweise noch an der Vjosa, Albanien, anzutreffen ist – ist geprägt durch eine vielfältige Gewässer- und Auendynamik. Dabei führen Schwankungen der Wasserstände und vielfältige Strömungsmuster zu ständigen Erosions-, Transport- und Sedimentationsprozessen. Biologische, chemische und physikalische Milieufaktoren – wie z. B. Wasseraustausch, Strömung, Temperatur- und Lichtverhältnisse, Substratbeschaffenheit, Sauerstoffgehalt, anorganische Stoffe (insbesondere Nährstoffe), die Nahrungskette oder organische Strukturen – verändern sich dadurch kontinuierlich (DWA-M 519 2016).

Wasserkörper und die vom Wechsel der Wasserstände geprägten Uferlebensräume sind durchgehend vernetzt. Sie stehen somit in Längs- und Querrichtung durch hydro-morphodynamische Prozesse miteinander im Stoff-, Energie- und Organismenaustausch. Sie sind „ökologisch durchgängig“. Das raum-zeitliche Auftreten von Niedrig- und Hochwasserphasen und deren charakteristische Strömungsenergie beeinflussen die Zusammensetzung und Mächtigkeit der Sohl- und Ufersubstrate und deren räumliches Verteilungsmuster (z. B. Entstehung von lokalen Kies- und Sandbänken). Kleinräumig wechseln sich trockene bis nasse Standorte mit unterschiedlichem Substrat und Reifegrad ab. Auf diesen unterschiedlichen Standorten mit ihren jeweiligen Wuchsbedingungen sind verschiedene Entwicklungsstadien spezialisierter Pflanzen- und Tiergemeinschaften anzutreffen. Diese bilden ein vielfältiges Biotopmosaik mit einer Fülle an Lebens- und Funktionsräumen. Die dort vorkommenden Lebensgemeinschaften sind an Überschwemmungen, Niedrigwasser und Grundwasserschwankungen angepasst. Als Beispiel sind die für Fließgewässer typischen Weiden (insbesondere Silber-, Bruch-, Mandel- und Korb-Weide) zu nennen, deren bevorzugte Standorte in der Weichholzaue liegen. Dort können sie periodisch wiederkehrende Überflutungen tolerieren.

Am Beispiel der Weide lassen sich vielfältige funktionale Beziehungen skizzieren: Die Wurzelgeflechte und -bärte der Uferbäume, aber auch abgestorbene Pflanzenteile und im Wasser liegendes Holz erhöhen in natürlichen Gewässern und Uferbereichen die organische Strukturvielfalt. Die Weiden bieten zugleich Lebensraum und/oder Nahrungsgrundlage für viele holzbewohnende oder holzfressende Organismen. Gleichzeitig bieten sie vielen Arten einen Schutz bei Hochwasser. Sie dienen Jungfischen als Kinderstube und vielen wirbellosen Tieren als Wohn-, Fress-, Fortpflanzungs-, Eiablage- und Verpuppungsräume.

Auf das Vorhandensein solcher spezieller Funktionsbiotope sind viele Arten in bestimmten Entwicklungsphasen angewiesen. Funktionsbiotope lassen sich beispielsweise in Auen finden, in denen Altgewässer (Auetümpel), Auebäche und Flachwasserrinnen diese durchsetzen. Sie werden z. B. von bestimmten Amphibienarten als Fortpflanzungs- und Überwinterungshabitate genutzt. Über Wanderkorridore oder das Nahrungsnetz bestehen auch zu den außerhalb liegenden terrestrischen Ökosystemen vielfache Wechselbeziehungen.

Aktuell vorhandene ökologische Defizite an Bundeswasserstraßen

Die intensive Umgestaltung der Gewässer zu Bundeswasserstraßen hat erhebliche ökologische Defizite zur Folge.

Im Fluss errichtete Querbauwerke (Wehre, Schleusen, Kraftwerke, Sperrwerke etc.) zerschneiden die Gewässerlandschaften und beeinflussen die Strömungsverhältnisse und damit auch die Sohl- und Uferstruktur des Gewässers. Dadurch kann die Durchgängigkeit vermindert oder vollständig unterbrochen werden. Die Migration wassergebundener Organismen, wie beispielsweise wandernde Fischarten und Muscheln, sowie Stoff-, Energie- und Sedimenttransport werden stark eingeschränkt. Die einzelnen Flussabschnitte längs des gesamten Gewässers stehen nicht mehr oder nur noch stark eingeschränkt in Wechselwirkung

zueinander. Austauschvorgänge werden unterbunden, Laich- und Aufwuchshabitate können nicht mehr erreicht werden. Der Nachwuchs bleibt aus.

Eine Fließgewässerbegradigung, die meist mit einem Längsverbau der Ufer sowie einer Laufverkürzung einhergeht, führt zu einer Erhöhung des Gefälles. Dies hat eine Eintiefung des Flusses zur Folge. Durch das Absinken der Wasserspiegellagen bleiben die früher natürlicherweise häufigeren Überschwemmungen in der Aue aus. Die Grundwasserstände sinken, den Wasserspiegellagen des Fließgewässers folgend, ebenfalls ab. Mit der Austrocknung der Aue und ihrer Nutzbarmachung für die Landwirtschaft sind gravierende Standortveränderungen verbunden. Auentypische Lebensräume mit den daran angepassten, spezialisierten Tier- und Pflanzenarten gehen verloren. Die gewässertypischen Lebensraumtypen und spezialisierten Arten sind daher in ihrem Bestand gefährdet.

Neben der verkehrlichen Nutzung des Flusses hat auch die zunehmende Besiedlung bis an den Fluss heran dazu geführt, dass die Uferböschung bis zur Gewässersohle i. d. R. mit einem technischen Deckwerk gesichert ist. Damit ist die natürliche Umgestaltungsdynamik des Ufers mit Erosions-, Transport- und Sedimentationsprozessen weitgehend unterbunden. Aufgrund steiler Böschungen und des häufig fehlenden Raumentwicklungspotenzials im angrenzenden Hinterland (z. B. durch Deiche) ist die Ausbildung einer flusscharakteristischen Pflanzenzonierung (Quervernetzung) weitgehend eingeschränkt (Kapitel 7.9). Stattdessen prägen ein überwiegend einheitlicher Bewuchs aus standortfremden „Allerweltsarten“ (Ubiquisten) und ein hoher Anteil gebietsfremder, eingewanderter und teils dominant auftretender Pflanzen- und Tierarten (Neobiota) die Uferböschungen und verdrängen die auf Uferstandorte spezialisierten, heimischen Arten.

Der Schiffsverkehr erzeugt hydraulische Belastungen (Kapitel 2.2). Wasserpflanzengesellschaften und Flussröhrichte, die natürlicherweise im flachen aquatischen Bereich (unterhalb MNW) und der Röhrichtzone (zwischen MNW und SoMW) vorkommen, reagieren darauf empfindlich. Dadurch werden diese bedeutsamen Biotope in ihrer Funktion als Laich- und Jungfischhabitat, geschützter Rückzugsraum, Brut-, Nahrungs- und Jagdrevier geschwächt. Im Rahmen der verkehrlichen Unterhaltung werden ufernahe abgängige und überhängende Bäume oder Treibholz regelmäßig entfernt, um die Sicherheit und Leichtigkeit der Schifffahrt und den ordnungsgemäßen Abfluss zu gewährleisten. Dadurch besteht ein Mangel an Totholzstrukturen. In der Folge sind die auf Totholz spezialisierten Lebensgemeinschaften streckenweise durch das Fehlen von Lebens-, Fress-, Eiablage und Verpuppungsraum verschwunden und zum Teil vom Aussterben bedroht (Kail und Gerhard (2003) zitiert in Patt et al. (2018)).

Zusammenfassend ist das Ergebnis aller menschlichen Nutzungen und damit einhergehenden Standortveränderungen, dass ehemals reich strukturierte Fließgewässerlandschaften mit ihrer natürlichen, naturraumtypischen Entwicklung und den vielfältigen, spezialisierten Pflanzen- und Tierartengemeinschaften heute durch eine vergleichsweise große Artenverarmung gekennzeichnet sind. Dies ist Folge des Verlusts an Dynamik und Strukturvielfalt und der qualitativen Verschlechterung fluss-aue-typischer Lebensräume bei fehlender Vernetzung in Längs- und Querrichtung.

Aus diesen Gründen werden Uferrenaturierungen angestrebt. Dort, wo weiterhin ein Uferschutz erforderlich ist, können TBU einen Beitrag zur ökologischen Aufwertung der bisher rein technisch gesicherten Ufer leisten.

4 Hinweise zum Klimaschutz und zur Berücksichtigung der Klimawandelfolgen

TBU leisten sowohl einen Beitrag zum Klimaschutz als auch zur Stärkung der Klimaresilienz der Bundeswasserstraßen, sind aber auch selbst von den Folgen des Klimawandels betroffen.

Beitrag zum Klimaschutz

TBU können dazu beitragen, dem Fortschreiten des Klimawandels entgegenzuwirken. Zu nennen sind insbesondere folgende Aspekte:

- Sparen von Ressourcen im Laufe des Lebenszyklus (Herstellungsprozess, Bau, Betrieb und Rückbau) von Ufersicherungen (nachhaltiges Bauen):
 - Pflanzen als nachwachsende Baustoffe (CO₂-Einsparung bei der Herstellung der Baustoffe)
 - Verwendung lokal wachsender Pflanzen (Sparen von Energie durch keine bzw. kurze Transportwege)
 - langlebige, selbstheilende Bauweisen mit Pflanzen
- Speicherung von CO₂ in den pflanzlichen Bestandteilen

Beitrag zur Stärkung der Klimaresilienz der Bundeswasserstraßen (BWaStr)

TBU können durch ihre biotechnischen Eigenschaften dazu beitragen, die Wasserstraßen an die Folgen des Klimawandels anzupassen und so deren Resilienz zu erhöhen. Wichtige Aspekte sind unter anderem:

- Verhindern von Bodenerosion (Uferbereich) bei Überflutung oder Überschwemmung infolge von Starkregen, Sturzfluten oder Hochwasser durch die mechanische Funktion der Wurzeln und schützende Funktion der oberirdischen Pflanzenteile sowie Rückhalt von Schweb- und Schadstoffeinträgen aus dem Einzugsgebiet bei Starkregenereignissen durch Bewuchs
- Regeneration nach Überflutung oder Überschwemmung infolge von Starkregen, Sturzfluten oder Hochwasser durch langlebige, selbstheilende Bauweisen mit Pflanzen
- Verringerung der Erwärmung des Gewässers bei Zunahme der heißen Tage, Trockenheit und Dürre durch Beschattung
- Steigerung der Resilienz gegenüber Hitze im Uferbereich und Verbesserung des Mikroklimas durch Bewuchs
- Verbesserung von Lebensraum und Schutz für Pflanzen und Tiere

Träger öffentlicher Aufgaben haben gemäß Klimaanpassungsgesetz des Bundes vom 20. Dezember 2023 bei ihren Planungen und Entscheidungen das Ziel der Klimaanpassung fachübergreifend und integriert zu berücksichtigen. Dabei sind sowohl die bereits eingetretenen als auch die zukünftig zu erwartenden Auswirkungen des Klimawandels zu berücksichtigen.

Betroffenheit durch Klimawandel

Das gesetzliche Berücksichtigungsgebot gilt auch für die Auswirkungen des Klimawandels auf TBU. Sie müssen bei deren Planung und Ausführung daher beachtet werden. Auch wenn diese Auswirkungen qualitativ immer besser eingeschätzt werden können, sind sie aufgrund vieler Einflussfaktoren heute noch nicht ausreichend quantifizierbar. Es gibt erste grundsätzliche qualitative Untersuchungen darüber, welche klimabedingten Prozesse welche Auswirkungen auf das System Binnenwasserstraße haben können. Auf dieser Grundlage wurde das „Handbuch WSV – Klimaanpassung“ (GDWS 2025) erarbeitet – als Ergänzung der aktuell geltenden Verwaltungsvorschriften und technischen Regelwerke. Darin werden die fachlichen und rechtlichen Anforderungen bei der Überprüfung der Folgen des Klimawandels in Planungsprozessen beschrieben. Klimawirkungen und -risiken im Bereich der Bundeswasserstraßen werden erläutert und Hinweise zur Planung und zur Entwicklung von Anpassungsmaßnahmen gegeben.

Hinweise zu den sich durch den Klimawandel voraussichtlich verändernden Wasserständen und Abflüssen gibt aktuell der „DAS-Basisdienst Klima und Wasser“, ein Daten- und Beratungsdienst des BMV-Ressorts, der eine verlässliche, abgestimmte bundesweite Datengrundlage zur Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels in der Planung bietet. Zusätzlich sind u. a. Informationen zu sich verändernden Parametern der Lufttemperatur (z. B. zu Hitze) und des Niederschlags (z. B. zu Starkregen) verfügbar.

Gegenstand der aktuellen Forschung sind die Auswirkungen des Klimawandels auf die einzelnen Infrastrukturelemente Wasserkörper, Sohle, Ufer, Ufersicherungen, Vorländer, Grundwasser, Bauwerke und Schiffe, um diese noch besser zu verstehen und wenn möglich, quantifizieren zu können. Ziel ist es, diese bei Neuplanungen sowie bei Betrieb und Unterhaltung konkreter berücksichtigen und rechtzeitig Anpassungsoptionen für den Bestand erarbeiten zu können (Scharf und Hämmerle 2024; Scharf et.al 2023).

Für die Anwendung und Planung von TBU sind folgende klimatische Einflüsse relevant:

- veränderte Abflüsse und Wasserstände (zeitlich und quantitativ)
- zunehmender Starkniederschlag
- zunehmender Sturm
- zunehmende Erwärmung (extreme, lange Hitzeperioden)
- häufigere Dürren (extreme und lange Trockenperioden)

Da der Hauptbestandteil der TBU lebende, unter heutigen Bedingungen standortheimische Pflanzen sind und deren dauerhafte Vitalität Voraussetzung für den Uferschutz ist, sind zukünftig Auswirkungen der Folgen des Klimawandels auf TBU zu erwarten. Auch wenn diese bisher nur qualitativ zu erfassen sind, sollten die Prozesse und deren mögliche Auswirkungen bei der Planung von TBU sowie bei Betrieb und Unterhaltung langfristig mit bedacht werden. Hinweise dazu gibt die Tabelle 1.

Tabelle 1: Klimatische Einflüsse und deren mögliche Auswirkungen auf die Wasserstraße mit Bezug auf TBU sowie zukünftige Planungsprozesse

Klimatische Einflüsse	Mögliche Auswirkungen auf die Wasserstraße mit Bezug auf TBU	Hinweise für zukünftige Planungsprozesse
Veränderte Abflüsse und Wasserstände (zeitlich und quantitativ)	Zunahme von Extremen: Hochwasser – Längere Einwirkungszeiten der hydraulischen Belastungen auf TBU – TBU öfter und länger eingestaut Niedrigwasser – TBU öfter und länger trockenliegend Gefahr für Vitalität der Pflanzen, ggf. Absterben der Pflanzen und damit Versagen der Ufersicherung (besonders im kritischen Anfangszustand)	– für die Bemessung maßgebende geänderte Wasserstände (MW, HSW, BHW) beachten – länger andauernde Einwirkungen beachten – Pflanzenauswahl anpassen – kritischen Anfangszustand gesondert betrachten – ggf. höherer Unterhaltungsaufwand
Zunehmender Starkniederschlag	– verstärkter Oberflächenabfluss aufgrund begrenzter Sickerraten – Gefahr von lokal starker Erosion	– derzeit keine Bemessungsgrundlagen für die Auswirkungen von Starkregen auf die TBU – kritischen Anfangszustand gesondert betrachten – ggf. zusätzliche Maßnahmen erforderlich (Annahme: nach dem Merkblatt bemessene TBU im angewachsenen Zustand langfristig gegenüber Starkregen stabil)
Zunehmender Sturm	– Gefahr für Bäume – Instabilitäten bis hin zum Umstürzen einschließlich Wurzelteller, Bäume könnten in die Wasserstraße gelangen und Schifffahrt beeinflussen	– Kontrolle der Bäume nach Sturmereignissen (Bäume innerhalb TBU eher die Ausnahme) – höherer Unterhaltungsaufwand
Zunehmende Erwärmung	Extreme und lange Hitzeperioden: – Gefahr des Absterbens der Pflanzen und damit des Versagens der Ufersicherung (besonders im kritischen Anfangszustand)	– Pflanzenauswahl anpassen
Häufigere Dürren	Lange Trockenphasen: – Gefahr des Vertrocknens und Absterbens der Pflanzen und damit des Versagens der Ufersicherung (besonders im kritischen Anfangszustand) – Entstehung und Mobilisierung (bei HW) von Totholz (vertrocknete oder abgestorbene Pflanzenteile) mit Gefährdung der Schifffahrt und ggf. des HW-Abflusses (Verklausungen)	– Durchführung von Wässerungen zum Pflanzenerhalt, besonders im kritischen Anfangszustand – Totholz ausreichend befestigen oder aus dem Überflutungsbereich entnehmen – höherer Unterhaltungsaufwand – Pflanzenauswahl anpassen

Bei der Planung sind Anpassungsstrategien der WSV zu beachten. Dabei ist auch auf lokale Anpassungsstrategien, z. B. der Länder und Kommunen, Rücksicht zu nehmen.

5 Rechtliche Grundlagen

An Bundeswasserstraßen sind der Aus- und Neubau sowie die Unterhaltung Aufgabe der WSV. Dabei sind neben der Sicherstellung verkehrlicher Anforderungen auch wasserwirtschaftliche und ökologische Ziele umzusetzen. An den Ufern können sowohl beim Neu- und Ausbau als auch bei der Unterhaltung TBU-Maßnahmen zum Einsatz kommen. Entsprechend ihres Ziels können Ufersicherungsmaßnahmen in wasserwirtschaftliche Maßnahmen und verkehrliche Maßnahmen und nach ihrem Umfang in Unterhaltungsmaßnahmen und Ausbaumaßnahmen unterschieden werden. Ausbaumaßnahmen sind nach § 12 WaStrG Maßnahmen, die über die Unterhaltung hinausgehen. Somit ergeben sich für die Anwendung von TBU vier Kategorien, die in Tabelle 2 dargestellt sind. Seit Änderung des Wasserstraßengesetzes im Juni 2021 ist die WSV für die Durchführung der Maßnahmen aller Kategorien zuständig.

Tabelle 2: Übersicht – Verkehrliche und wasserwirtschaftliche Maßnahmen

	Verkehrliche Maßnahmen		Wasserwirtschaftliche Maßnahmen	
	Unterhaltung	Ausbau	Unterhaltung	Ausbau
Rechtsgrund- lage	WaStrG §§ 7, 8	WaStrG § 12, Abs. 1 und Abs. 2, Nr. 1.	WHG §§ 39, 40 und Landeswasserge- setze	WaStrG § 12, Abs. 1 und Abs. 2, Nr. 3
Hauptzweck	Erhaltung eines ordnungsgemäßen Zustandes für den Wasserabfluss und die Erhaltung der Schiffbarkeit (WaStrG § 8, Abs. 1)	wesentliche Umgestaltung mit Veränderung der Schifffahrtsbedingungen sowie Neu- und Rückbau	Pflege und Entwicklung des Gewässers	wesentliche Umgestaltung zur Erreichung der Bewirtschaftungsziele gemäß WRRL inkl. Neubau von Gewässerteilen
Art der Aufgabe	hoheitlich	hoheitlich	öffentlich-rechtliche Verpflichtung als Eigentümer*	hoheitlich
Genehmigungen	keine Genehmigungen, sondern Einvernehmen mit Wasserwirtschaft und Landeskultur, Benehmen mit Natur- sowie Denkmalschutz	Planfeststellung bzw. Plangenehmigung einschließlich Einvernehmen mit Wasserwirtschaft und Landeskultur	alle nach Bundes- oder Landesrecht erforderlichen Genehmigungen	Planfeststellung bzw. Plangenehmigung einschließlich Einvernehmen mit Wasserwirtschaft und Landeskultur

* Werden bei einer verkehrlichen Unterhaltung wasserwirtschaftliche Belange mit umgesetzt, ist die WSV insgesamt hoheitlich tätig.

Welcher Kategorie nach Tabelle 2 eine TBU-Maßnahme zuzuordnen ist, unterliegt einer Einzelfallprüfung auf Grundlage der jeweils gegebenen Randbedingungen. Eine pauschale Einordnung anhand von Umfang oder Typ der Maßnahmen ist nicht rechtssicher möglich.

6 Ziele von TBU-Maßnahmen

Generell wird durch TBU eine Verknüpfung von verkehrlichen, ökologischen und wasserwirtschaftlichen Zielen und ggf. Zielen anderer Wasserstraßennutzer möglich.

Ökologische Ziele

Aus den aktuell an den Bundeswasserstraßen erkennbaren ökologischen Defiziten (Kapitel 3) ergibt sich Handlungserfordernis für die WSV für die ökologisch-wasserwirtschaftliche Aufwertung der Bundeswasserstraßen. Im Sinne einer ökologischen Gewässerentwicklung gilt es, u. a. die Strukturvielfalt an Wasserstraßen zu erhöhen, naturnahe Lebensräume für Pflanzen und Tiere zu schaffen, die laterale und longitudinale Vernetzung zu fördern und Austauschprozesse zu initiieren. Das Erreichen dieser Ziele gelingt i. d. R. am ehesten über den ersatzlosen Rückbau der technischen Ufersicherungen und das Zulassen von Flusssdynamik und natürlicher Ufersukzession. In den Bereichen, in denen aus verschiedenen Gründen nicht auf einen Uferschutz verzichtet werden kann (Kapitel 7.2.6), können die in diesem Merkblatt dargestellten technisch-biologischen Ufersicherungen und strukturverbessernden Maßnahmen die ökologischen Defizite abmildern und die Ufer ökologisch aufwerten.

Beim Einsatz von TBU gibt es hinsichtlich der ökologischen Ziele Schnittstellen zu den Zielen der WRRL. Die Verbesserung der Ufer- und Gewässerstruktur mittels TBU zur Förderung der Fischfauna, des Makrozoobenthos und der Makrophyten kann somit einen Beitrag zur ökologischen Zielerreichung gemäß WRRL leisten (z. B. LAWA-BLANO-Maßnahmentyp 73 „Maßnahmen zur Habitatverbesserung im Uferbereich“).

Die ökologischen Ziele und die ökologische Wirkung der TBU sind in Tabelle 3 zusammengestellt.

Tabelle 3: Ökologische Ziele/Potenziale der direkten und vorgelagerten indirekten Ufersicherungen sowie der strukturverbessernden Maßnahmen

TBU / strukturverbessernde Maßnahmen	Ökologische Ziele	Ökologische Wirkung im Detail
Direkte Ufersicherungen und/oder strukturverbessernde Maßnahmen auf geböschtem Ufer (Einbringen von überwiegend pflanzlichen Ufersicherungen) Beispiele: – Weidenspreitlagen – Röhrichtgabionen – Vorkultivierte Pflanzmatten – Begrünte Steinschüttung – Busch-, Heckenlagen – Lebendfaschinen (Kapitel 2.1)	Initiierung/Förderung und Entwicklung von standortheimischem Uferbewuchs und Bereitstellung ufertypischer Habitate für Pflanzen und Tiere	Schaffung flussufertypischer Habitate und Besiedlungsstrukturen
		Erhöhung der Struktur- und Artenvielfalt am Gewässer
		Verhinderung/Verminderung des Aufkommens von Neophyten
		Stärkung verschiedener Ökosystemdienstleistungen (Habitatbereitstellung, Bodenbildung, Kohlenstoffspeicherung, Erosionsschutz, Sedimentregulation, Bild und Erholungswert der Landschaft etc.)
	Förderung/Entwicklung von Trittsteinbiotopen	Vernetzung unterschiedlicher Lebensräume (Biotopverbund)
Indirekte, der Böschung vorgelagerte Ufersicherungen Beispiele: – Pfahlreihe – Spundwand – Schüttsteinwall – Gabionenreihe (Kapitel 7.3.2)	Abschirmung hydraulischer Uferbelastungen Schaffung von strömungsberuhigten Wasserzonen Initiierung/Förderung und Entwicklung von standortheimischem Uferbewuchs und Bereitstellung ufertypischer Habitate für Pflanzen und Tiere	Erhöhung des Raumentwicklungspotenzials für Wasserpflanzen-, Pionier- und Röhrichtgesellschaften
		Schaffung geschützter Laich- und Aufwuchshabitate für Fische und aquatische Organismen (Makrozoobenthos)
		Entlastung des Ufers, ggf. Verzicht auf Ufersicherung im Böschungsbereich möglich → eingeschränkte Uferdynamik
		Erhöhung der Erfolgsaussichten bei Anlage von TBU auf der Uferböschung und im Flachwasserbereich
		Verminderung von Neozoen
	Förderung/Entwicklung von Trittsteinbiotopen insb. bei der Kombination mit direkten TBU oder bei ersatzlosem Rückbau von technischen Schüttsteindeckwerken	Förderung der Quervernetzung und des Austauschs von Organismen in allen Uferzonen vom Wasser über den amphibischen bis hin zum terrestrischen Uferbereich (Bereitstellung von Wanderkorridoren)
		Vernetzung unterschiedlicher Lebensräume (Biotopverbund)
Strukturverbessernde Maßnahmen (auch im aquatischen Bereich) als Ergänzung der TBU, Kombination lebender und toter Bauweisen Beispiele: – Totholz (Baumstämme mit Wurzelteller und Krone, Totholzfaschinen etc.) – Einbringen unterschiedlicher Substrate (Kies, Sand, Steine) (Kapitel 7.10)	Erhöhung der Strukturvielfalt im und am Gewässer (Maßnahmen haben selbst nicht zwingend eine Uferschutzfunktion)	Schaffung von Lebensraumvielfalt, Nahrungsangebot und Rückzugsraum
		Förderung von spezialisierten Arten und Habitaten (z. B. kieslaichende Fische, Makrozoobenthos, totholzbewohnende Insekten, Pilze etc.)
		Verminderung von Neozoen
		Vernetzung zwischen aquatischem und terrestrischem Lebensraum

Technische und weitere Ziele

TBU können bei entsprechenden Randbedingungen in Uferbereichen eingesetzt werden, in denen eine eigendynamische Uferentwicklung nicht zugelassen werden kann, sondern das Ufer vor Erosion und Böschungsrutschungen geschützt werden muss. Demzufolge sollen mit den TBU folgende technische Ziele erreicht werden:

- Gewährleistung der Uferstabilität – je nach gewähltem Bemessungsstandard (Kapitel 7.5), dies wird durch die Planung und Bemessung nach Kapitel 7.6 sichergestellt
- Begrenzung des Uferschutzes auf das unter den gegebenen Randbedingungen unbedingt Notwendige zur Erreichung einer größtmöglichen ökologischen Uferaufwertung
- ggf. Reduzierung der Uferbelastungen durch vorgelagerte indirekte Uferschutzmaßnahmen (Kapitel 7.3.2), dadurch kann an der Uferböschung ggf. der Uferschutz entfallen oder eine ökologisch höherwertige direkte TBU, z. B. nur aus Pflanzen, ermöglicht werden

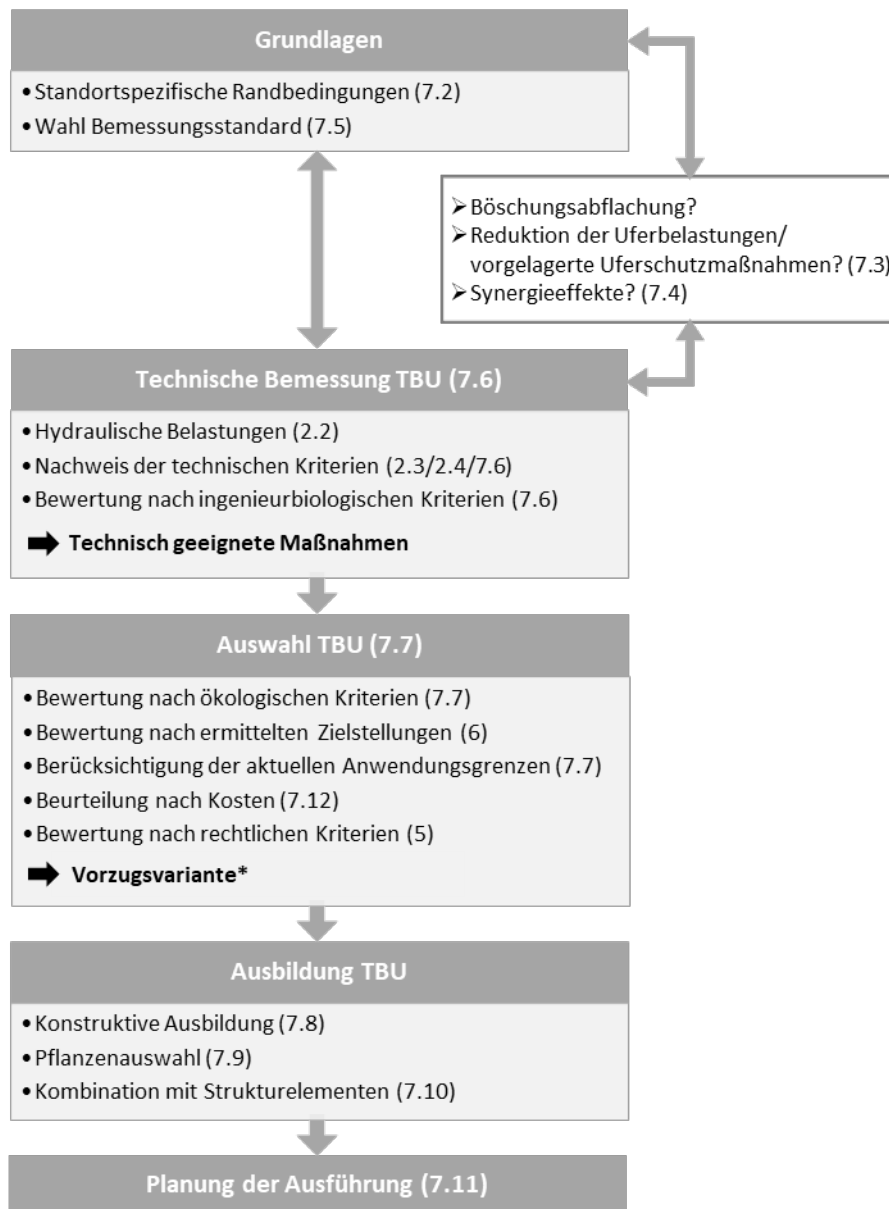
Neben den ökologischen und technischen Zielen können weitere Ziele mit der Planung und Gestaltung von TBU erreicht werden:

- ästhetische und an die Umgebung angepasste Gestaltung des Landschaftsbildes durch TBU im Vergleich zum technischen Schüttsteindeckwerk – dies kann durch Anordnung und Wahl der Maßnahmenart und der Pflanzen, die gleichzeitig die Anforderungen an Uferschutz und Ökologie erfüllen, oder auch von Totholz optimiert werden (Kapitel 7.9 und 7.10)
- Förderung von naturbetontem Wassertourismus, Freizeitsport und Erholung – die gewünschte Zugänglichkeit und Nutzung des Wasserstraßenabschnittes land- und wasserseitig kann durch TBU verbessert und optimiert werden; mögliche Synergieeffekte mit anderen Nutzern sind bei der Planung zu berücksichtigen (Kapitel 7.4)
- Besucherlenkung – durch Anordnung und Wahl der Maßnahmenart und der Pflanzen können Besucher gezielt in bestimmte Uferbereiche gelenkt werden, andere schützenswerte Bereiche werden dadurch abgeschirmt
- Beitrag zum Klimaschutz (Kapitel 4), z. B. durch CO₂-Speicherung in der Vegetation der TBU (BAW/BfG/WSA Oberrhein 2020)

7 Planung einer TBU

7.1 Vorgehensweise

Nachdem die Ziele, die mit der TBU erreicht werden sollen, nach ökologischen, technischen und anderen Aspekten entsprechend Kapitel 6 definiert und priorisiert wurden, beginnt die eigentliche Planung der TBU-Maßnahme. Zunächst werden ähnliche Schritte wie bei der Planung eines technischen Schüttsteindeckwerkes durchlaufen. Im ersten Schritt werden die wichtigsten Kennwerte der standortspezifischen Randbedingungen ermittelt und ein Bemessungsstandard gewählt. Beides bildet die Grundlage für die anschließende technische Bemessung der TBU. Ergebnis der Bemessung sind die im konkreten Fall technisch anwendbaren TBU-Maßnahmen. Nach Prüfung der aktuellen Anwendungsgrenzen und unter Berücksichtigung weiterer Kriterien hinsichtlich Ökologie und Kosten wird die optimale Maßnahme als Vorzugsvariante ermittelt. Für diese erfolgen im nächsten Schritt die konstruktive Ausbildung, die Pflanzenauswahl und ggf. die Planung von zusätzlichen Strukturelementen zur weiteren ökologischen Aufwertung und am Schluss die Planung der Ausführung. Die gesamte Vorgehensweise ist in einer Übersicht in Abbildung 7 mit entsprechenden Kapitelverweisen für weitere Informationen zu den einzelnen Aspekten dargestellt.



* Zusätzlich ist außerhalb des Merkblattes der Nachweis der Gesamtstandsicherheit der Uferböschung unter Berücksichtigung der ausgewählten TBU und der ggf. unterhalb MW vorhandenen technischen Ufersicherung nach den einschlägigen Regelwerken entsprechend Kapitel 2.3 zu führen.

Abbildung 7: Übersicht der einzelnen Schritte einer TBU-Planung

Unter der Maßgabe, nur so viel Uferschutz wie nötig und so viel ökologische Aufwertung wie möglich zu erreichen, sind folgende Aspekte im Rahmen von Vorüberlegungen zu bedenken:

Anforderungen an die Uferstabilität

Anhand der konkreten Randbedingungen (Kapitel 7.2.6) ist zu entscheiden, ob Uferverformungen temporär oder dauerhaft zugelassen werden können. Dies könnte bedeuten, dass es zu Böschungsabbrüchen und Erosion kommt. Daher ist vorab zu bewerten, welche Auswirkungen landseitig auf das angrenzende Gelände und wasserseitig auf die Schifffahrt möglich sind. Dazu ist zu prüfen, ob unmittelbar an das Ufer eine Be-

bauung, Verkehrswege, Deiche oder ähnliche sicherheitsrelevante Anlagen anschließen, die stabile Ufer erfordern. Auch die Eigentumsverhältnisse sind relevant. Hinsichtlich möglicher Auswirkungen Richtung Wasserstraße ist zu klären, ob sich erodiertes Ufermaterial in der Fahrrinne ablagern und so die Schifffahrt unzulässig behindern könnte. Hierbei spielt auch der mögliche Unterhaltungsaufwand eine Rolle. Auf dieser Grundlage wird ein Bemessungsstandard gewählt, der ggf. Abstriche an die Uferstabilität bei der Bemessung der Ufersicherung berücksichtigen kann. Mehr Details dazu gibt das Kapitel 7.5.

Maßnahmen zur Reduzierung der hydraulischen Uferbelastungen

Je größer die hydraulischen Ufereinwirkungen sind, desto stärkere Schutzmaßnahmen sind in der Regel erforderlich, um das Ufer im erforderlichen Umfang zu schützen. Zur Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten von TBU oder auch zur Ermöglichung eines vollständigen Verzichts auf Uferschutz ist es sinnvoll, vorab zu prüfen, ob Maßnahmen zur temporären oder dauerhaften Reduzierung der Uferbelastungen ergriffen werden können. Das können administrative Maßnahmen (Kapitel 7.3.1) oder konstruktive Maßnahmen (Kapitel 7.3.2) sein.

Möglichkeiten einer Uferabflachung

Die Böschungsneigung hat großen Einfluss auf die Uferstandsicherheit. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, vorab zu prüfen, ob die Böschung abgeflacht werden kann (Kapitel 7.2.2). Das hängt insbesondere von der Flächenverfügbarkeit, d. h. der Nutzung und den Eigentumsverhältnissen des angrenzenden Geländes ab. Flache Ufer erweitern die Möglichkeiten, das Ufer nur mit Pflanzen zu sichern oder eventuell sogar auf einen Uferschutz zu verzichten und so ökologisch höherwertige Lösungen zu realisieren.

Qualitative Vorauswahl möglicher Ufersicherungsmaßnahmen

Bereits vorliegende Erfahrungen mit TBU-Bauweisen unter ähnlichen Randbedingungen können bei der Planung sehr hilfreich sein (siehe Steckbriefe ausgeführter Maßnahmen in Anlage B). Weitere Maßnahmen-sammlungen, wie z. B. die WSV-Sammlung der BAW und BfG unter <https://ufersicherung-baw-bfg.baw.de/binnenbereich/de/massnahmen> oder die Sammlung von Steckbriefen weltweit an Wasserstraßen umgesetzter direkter TBU allein oder in Kombination mit vorgelagerten indirekten Ufersicherungsmaßnahmen in der PIANC-Schrift 128 „Technical-biological bank protections on inland waterways (PIANC)“ (2025) geben hier Hilfestellung. Die PIANC-Schrift offeriert zusätzlich verschiedene Methoden, mit denen für bestimmte Randbedingungen und Anforderungen im Rahmen einer Vorauswahl passende ausgeführte Beispiele aus der bereitgestellten Maßnahmen-sammlung gefunden werden können.

Synergieeffekte

In jedem Fall ist zu prüfen, ob und wie mit der Umsetzung von TBU-Maßnahmen Synergien mit anderen Maßnahmen genutzt werden können, z. B. mit Stromregelungsmaßnahmen oder als Beitrag zur Zielerreichung der WRRL (Kapitel 7.4).

7.2 Standortspezifische Randbedingungen

7.2.1 Wasserstraßentyp

Die Binnenwasserstraßen in Deutschland weisen teilweise große Unterschiede auf und sind verschiedenen Typen zuzuordnen: freifließender Fluss, staugeregelter Fluss, Fluss mit seenartigen Aufweitungen und Kanal. Dementsprechend unterschiedlich können die Randbedingungen sein, die es bei der Planung und Anwendung von TBU zu berücksichtigen gilt.

Freifließende Flüsse (z. B. Mittelelbe) besitzen keine Staustufen, ihr Flusslauf ist durch Prall- und Gleithänge gekennzeichnet. Die Uferböschungen sind mit unterschiedlichen Neigungen ausgebildet. In den einzelnen Flussabschnitten treten zum Teil stark differierende Fließgeschwindigkeiten auf, und es kommt sowohl bei Niedrig- als auch bei Hochwasserabflüssen zu großen, häufig sich rasch einstellenden Wasserspiegelschwankungen, an die u. a. in besonderem Maße die Pflanzenauswahl bei der Planung von TBU anzupassen ist (Kapitel 7.2.8 und Kapitel 7.9).

Je nach Breite der Gewässerabschnitte ist der Fahrrinnenabstand zum Ufer mal größer und mal kleiner, damit verbunden kann die Intensität der schiffsinduzierten Uferbelastungen variieren. Auch der möglicherweise vorhandene Raum für vorgelagerte Uferschutzmaßnahmen ist in der Regel abhängig von der Breite der einzelnen Gewässerabschnitte.

An einem staugeregelten Fluss (z. B. Main) sind Prall- und Gleithänge teilweise noch vorzufinden, die Laufstruktur ist aber aufgrund der eingeschränkten Strömungsdynamik mehr oder weniger stark vereinheitlicht. Die Fließgeschwindigkeiten in den einzelnen Flussabschnitten differieren nicht mehr so stark. Die Wasserspiegelschwankungen bei Niedrig- und Hochwasserabflüssen sind deutlich reduziert und treten in der Regel langsamer und insgesamt schwächer auf. Auf den ersten Kilometern oberhalb einer Staustufe ist der staugeregelte Fluss meist noch breiter und der Fahrrinnenabstand zum Ufer größer, wodurch die Intensität der schiffsinduzierten Uferbelastungen tendenziell geringer ist. In diesem Gewässerabschnitt kann es Raum für vorgelagerte Uferschutzmaßnahmen geben, die wegen der geringen Wasserstandsschwankungen dort besonders wirksam sind. Mit zunehmender Entfernung zur Staustufe nimmt die Flussbreite ab, der Fahrrinnenabstand zum Ufer wird kleiner und die schiffsinduzierte Uferbelastung dadurch größer. Der Raum für vorgelagerte Uferschutzmaßnahmen wird kleiner.

In einem Fluss mit seenartigen Aufweitungen (z. B. Unterhavel) treten abschnittsweise noch natürliche Laufstrukturen auf, jedoch ist die Strömungsdynamik durch die häufigen Aufweitungen stark reduziert. Die jahreszeitlichen Wasserspiegelschwankungen werden stark gepuffert und treten kaum in Erscheinung. Aufgrund der sehr stark schwankenden Gewässerbreiten sind neben Abschnitten mit geringen Abständen der Fahrrinne zum Ufer auch lange Abschnitte vorhanden, in denen die Fahrrinne einen großen Uferabstand hat und die schiffsinduzierten Uferbelastungen eher gering sind. Raum für vorgelagerte Uferschutzmaßnahmen ist abschnittsweise ausreichend vorhanden.

Ein Kanal (z. B. Mittellandkanal) weist keine natürliche Laufstruktur auf. Seine Ufer sind meist naturfern und einheitlich ausgebildet, eine Strömungsdynamik ist nicht vorhanden. Die Wasserstände verändern sich im Jahresverlauf kaum. Die Kanalbreite ist in der Regel gleichbleibend gering und damit auch der Abstand der Fahrrinne zum Ufer, wodurch die schiffsinduzierten Uferbelastungen meist hoch sind. Raum für vorgelagerte Uferschutzmaßnahmen ist kaum vorhanden.

In Tabelle 4 sind die für den Einsatz von TBU relevanten Randbedingungen an den einzelnen Wasserstraßentypen vergleichend gegenübergestellt.

Tabelle 4: Qualitativer Vergleich der Randbedingungen der verschiedenen Wasserstraßentypen

	freifließend	staugeregelt	seenartig aufgeweitet	Kanal
Fließgeschwindigkeit	gering bis groß	gering bis mittel	gering	sehr gering
Wasserspiegelschwankungen	gering bis groß	gering bis mittel	gering	sehr gering
Schiffsinduzierte Belastungen	gering bis groß	mittel bis groß	gering	groß
Raum für vorgelagerte Maßnahmen	mittel bis groß	mittel bis groß	groß	gering
Sonstiges			ggf. Windwellen	ggf. Dichtung, Dammlage

7.2.2 Geometrie/Böschungsneigung

Die Anwendbarkeit von TBU-Maßnahmen hängt wesentlich von der Gewässer- und Ufergeometrie im zu betrachtenden Wasserstraßenabschnitt ab. Die Böschungsneigung hat einen maßgebenden Einfluss auf die Uferstandsicherheit und damit auf die Anwendbarkeit und Bemessung der TBU. Je flacher ein Ufer geneigt ist, desto größer sind die Möglichkeiten, naturnähere Böschungssicherungen einzusetzen, selbst bei ungünstigen Bodeneigenschaften. Grundsätzlich sind flache Uferböschungen bei sonst gleichen Randbedingungen stabiler als steile.

Flache Uferböschungen begünstigen zudem die Förderung einer standorttypischen Vegetation, da breitere Vegetationszonen entstehen, in denen sich natürliche Pflanzenbestände etablieren können. Damit bieten sich wiederum erweiterte Lebensgrundlagen für zahlreiche Tiergruppen. Insgesamt nehmen die ökologischen Entwicklungsmöglichkeiten solcher Uferbereiche zu. Daher sollten in jedem Fall die Möglichkeiten geprüft werden, flachere Ufer herzustellen. Hierbei wird häufig die Frage nach zusätzlichem Grunderwerb zu stellen sein. Für Böschungsabflachungen kann auch eine wasserseitige Flächenverfügbarkeit genutzt werden.

Auch ein abschnittsweises Absenken der Uferspundwand an einem senkrechten Kanalufer kann bereits Möglichkeiten für eine naturnähere Böschungsentwicklung eröffnen (z. B. KRT-Profil am MLK, Anlage B1.7). Zudem können dem Ufer vorgelagerte Wasserzonen, die durch indirekte Ufersicherungen wie Parallelwerke aus Wasserbausteinen, Holzpfehlreihen oder auch Spundwänden zur Fahrrinne hin abgetrennt werden, zu einer deutlichen ökologischen Aufwertung beitragen (z. B. Parallelwerk mit geschützter Wasserzone am Main (Anlage B2.6), Doppelpfehlreihe mit Flachwasserzone am Neckar (Anlage B2.2) und Spundwand mit Flachwasserzone an der SOW (Anlagen B2.3 und B2.4)).

Für die Prüfung der Anwendbarkeit und die Bemessung der TBU ist es in jedem Fall erforderlich, über geeignete Vermessungsdaten zu verfügen. Aktuelle Querprofile über den gesamten zu betrachtenden Wasserstraßenquerschnitt einschließlich der Landanschlüsse am relevanten Ufer sowie Angaben zur Geometrie des anschließenden Hinterlandes werden als Planungsgrundlage benötigt. Bei der Erhebung der Vermessungsdaten kann auf eine große Bandbreite an Messmethoden zurückgegriffen werden. Sonar, Laserscanning, GPS-gestützte Verfahren oder Photogrammetrie können neben der traditionellen Landvermessung zum Einsatz kommen.

7.2.3 Baugrund

Die bodenmechanischen Eigenschaften des Baugrunds beeinflussen maßgeblich die Standsicherheit der Uferböschung. Deshalb ist die Kenntnis der Bodenschichtung und der Bodeneigenschaften eine wichtige Grundlage für die Planung und Bemessung von Ufersicherungen. Relevant ist der Boden im Böschungs- und Sohlbereich. Die zu berücksichtigende Sohlbreite und Tiefe unterhalb der Sohle richtet sich nach den geplanten Maßnahmen und möglichen Bruchkörpern. Tabelle 5 zeigt die für die Standsicherheitsnachweise und die Bemessung einer TBU (Kapitel 7.6) erforderlichen Bodenkennwerte.

Tabelle 5: Erforderliche Bodenkennwerte für die Bemessung nach technischen Kriterien

Bodenkennwerte	Symbol [Einheit]	Relevanz für folgende Nachweise (Kapitel 2.3)
Effektiver Reibungswinkel des dränierten Bodens	φ' [°]	Gesamtstandsicherheit Abgleiten / hydrodynamische Bodenverlagerung (erforderliches Flächengewicht)
Effektive Kohäsion des dränierten Bodens	c' [kN/m ²]	
Wichte des feuchten Bodens	γ [kN/m ³]	
Wichte des Bodens unter Auftrieb	γ' [kN/m ³]	
Durchlässigkeitsbeiwert	k_f [m/s]	Oberflächenerosion/Materialtransport/Filterstabilität
Kornverteilungskurve Mittlere Korngröße	- d_{50} [m]	

Wenn keine Informationen zum Baugrund vorliegen, ist die Durchführung von Baugrunduntersuchungen (Bohrungen und ggf. Sondierungen) zu empfehlen. Dabei ist auch auf Reste alter Ufersicherungen im Untergrund (z. B. alte Wasserbausteine) zu achten, die den Einbau und die Befestigung einer neuen TBU beeinträchtigen könnten. Da Baugrunduntersuchungen relativ aufwändig sind, können im ersten Schritt Informationen aus umliegenden Bereichen oder aus geologischen Karten herangezogen und daraus Bodenkennwerte abgeschätzt werden. Mit diesen können im Rahmen von Voruntersuchungen zum Beispiel unter Variation der Kennwerte die Möglichkeiten der Anwendung von TBU ausgelotet werden.

Eine weitere Orientierung kann dabei die Einteilung der Böden in die Bodentypen B1 bis B5 nach MAR (2008) geben. Für diese Böden sind die zur Deckwerksbemessung wichtigsten Baugrundkennwerte in der Tabelle 3.4-1 des MAR (2008) aufgeführt. Maßgebend für die Zuordnung des anstehenden Bodens zu den Bodentypen B1 bis B5 ist der jeweilige Feinanteil des Bodens (d_5 , d_{10} , d_{15}), der hauptsächlich die Durchlässigkeit des Bodens bestimmt. Diese Bodentypen sind auch zur Auswahl in GBBSOft+ hinterlegt (Anlage C).

Bei der Festlegung der Bodenkennwerte für die Bemessung sollten einige Aspekte beachtet werden. Für die Bemessung der Ufersicherungen hinsichtlich Abgleiten und hydrodynamischer Bodenverlagerung ist neben der Scherfestigkeit insbesondere die Durchlässigkeit des Bodens maßgebend. Je geringer durchlässig der anstehende Boden ist, desto größer ist der Porenwasserüberdruck bei einer bestimmten hydraulischen Belastung. Durchlässigkeitsbeiwerte können insbesondere bei kohäsionslosen Böden nur schwer genau im Labor ermittelt werden. Für die Bemessung von TBU sind sie auf der sicheren Seite am unteren Ende des möglichen Wertespektrums (= geringste Durchlässigkeit) festzulegen. Zum Vergleich: Bei der Dimensionierung von Dränagen werden sie an der oberen Grenze verwendet.

Bei Böden mit Kohäsion kann aufgrund der Haftkräfte zwischen den Körnern keine hydrodynamische Bodenverlagerung auftreten. Die Kohäsion wirkt sich zudem stabilisierend hinsichtlich Abgleiten aus. Eine Kohäsion darf nur dann berücksichtigt werden, wenn sie auch unter Wasser dauerhaft wirksam ist. Ungünstig hinsichtlich Abgleiten der Böschung und hydrodynamischer Bodenverlagerung sind gering durchlässige Böden ohne wirksame Kohäsion (z. B. schluffige Sande und Schluffe).

Die Scherfestigkeitserhöhung des Bodens infolge der Pflanzenwurzeln (z. B. in Form einer Wurzelkohäsion) wird aktuell bei der Bemessung von TBU nicht berücksichtigt. Die Forschungen zur langfristigen Wurzelentwicklung verschiedener Pflanzen und deren stabilisierender Wirkung in Abhängigkeit der Tiefe unter der Böschungsoberkante dauern noch an, so dass noch keine belastbaren Ergebnisse vorliegen. Außerdem gibt es in jedem Fall einen kritischen Anfangszustand ohne Wurzeln. Langfristig sind mit dieser Vorgehensweise Sicherheitsreserven vorhanden.

Im Bemessungsverfahren für Böschungssicherungen, d. h. in den Formeln des GBB (2011) und der Software GBBSoft+, kann bislang nur eine Bodenschicht berücksichtigt werden. Liegen mehrere verschiedene Bodenschichten im relevanten Bereich vor, erfolgen die Berechnungen separat für jede Bodenschicht. Der ungünstigste Fall ist maßgebend. Bodenschichten mit geringer Mächtigkeit (≤ 1 m) können i. d. R. vernachlässigt werden. Liegen deutlich unterschiedliche Scherfestigkeitsparameter bzw. Durchlässigkeitsbeiwerte vor, kann ggf. auch eine über die Böschungslänge gemittelte Scherfestigkeit bzw. Durchlässigkeit gewählt werden.

Im Rahmen der Bemessung einer direkten TBU nach Kapitel 7.6 ist auch eine Einschätzung nach Tabelle 11 erforderlich, inwieweit die Anwendung der TBU am vorgesehenen Standort nach ingenieurb biologischen Kriterien zu empfehlen ist. Hierzu sind u. a. die anstehenden Böden zusätzlich qualitativ nach DWA-M 519 (2016) auf Grundlage von Stowasser (2011) in folgende drei Kategorien einzuteilen:

- steinig-blockig: Korngröße > 63 mm
- kiesig-sandig: Korngröße 0,063 mm bis 63 mm
- lehmig-schluffig: Korngröße < 2 mm

Zusätzlich muss der oberflächennah anstehende Boden hinsichtlich seiner Eignung für die Entwicklung der vorgesehenen Pflanzen beurteilt werden.

7.2.4 Schifffahrt

Die schiffsinduzierten Belastungen werden maßgeblich durch die Schiffsflotte und deren Fahreigenschaften bestimmt. Daher hat die Wahl des Bemessungsschiffs bzw. der Bemessungsschiffe direkte Auswirkungen auf die Uferbelastungen und die Bemessung der Böschungssicherung. Neben den Schiffsabmessungen sind auch der Abstand der Schiffe zum Ufer und die Schiffsgeschwindigkeit bestimmende Größen für die Uferbelastungen. Die Belastungen auf das Ufer steigen, je näher das Schiff am Ufer fährt, je größer die Schiffsgeschwindigkeit und je kleiner das Querschnittsverhältnis (Quotient aus Wasserstraßenquerschnitt und eingetauchtem Schiffsquerschnitt) ist (Kapitel 2.2).

Informationen über die maximal zugelassene Flotte sind in Abhängigkeit von der Wasserstraßenklasse z. B. auf der Karte der GDWS zur Klassifizierung der Binnenwasserstraßen des Bundes (https://www.gdws.wsv.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Karten/Karten/w161k_Klassifizierung.pdf?__blob=publicationFile&v=4) oder im Teil 2 der BinSchStrO bei zusätzlichen Bestimmungen für einzelne Binnenschiffahrtsstraßen zu finden. Darüber hinaus sollte zu den im Wasserstraßenabschnitt maximal zugelassenen Fahrzeugen auch immer die tatsächlich verkehrende Flotte ermittelt werden. Beides

kann voneinander abweichen. Deshalb muss in Abhängigkeit vom gewählten Bemessungsstandard (Kapitel 7.5) entschieden werden, welche Fahrzeuge die Bemessungsflotte darstellen. An Wasserstraßen, in denen hauptsächlich Freizeit- und nur noch wenig Güterverkehr stattfindet, kann der Einfluss von kleineren Fahrzeugen, wie z. B. von WSV-eigenen Wasserfahrzeugen, kleinen Fahrgastschiffen oder Sportbooten, bemessungsrelevant sein. Zu beachten ist außerdem, dass oberhalb des Höchsten Schifffahrtswasserstands (HSW) die Schifffahrt eingestellt wird. Bei Betrachtung höherer Wasserstände als HSW sind Schiffe daher nicht zu berücksichtigen.

Ist die Bemessungsflotte festgelegt, sind Informationen über die typischen Motorisierungen und Antriebssysteme der gewählten Fahrzeuge einzuholen. Kennwerte für typische Binnenschiffe finden sich in GBB (2011), der VBW-Schrift „Fahrdynamik von Binnenschiffen“ (VBW 2013) und in (Pianc 2015). Die installierte Leistung der Schiffe ist ein begrenzender Faktor für die erreichbare Schiffs geschwindigkeit.

Zur Ermittlung der Uferbelastungen sind zudem nähere Informationen zum Uferabstand der Schiffe im jeweiligen Querprofil einzuholen. Güterschiffe und Sportboote sollten hierbei getrennt voneinander betrachtet werden. Güterschiffe sind je nach Abladetiefe und Wasserstand auf die Fahrrinne bzw. das Fahrwasser angewiesen. Sportboote können aufgrund ihres geringen Tiefgangs auch sehr nah am Ufer fahren. Liegen AIS-Daten von Güterschiffen vor, kann im Einzelfall auch eine Auswertung von Fahrkorridoren für Berg- und Talfahrt sinnvoll sein.

In Tabelle 6 sind die für die TBU-Bemessung nach technischen Kriterien relevanten schiffsbezogenen Kennwerte zusammengefasst (v_{krit} = kritische Schiffs geschwindigkeit und $v_{Rück}$ = Rückströmungsgeschwindigkeit). In der Software GBBSoft+ sind Standardwerte sowohl für Güter- als auch für Freizeitschiffe hinterlegt (Anlage C).

Tabelle 6: Schiffsbezogene Kennwerte für die Bemessung nach technischen Kriterien – Güterschiffe und große Fahrgastschiffe

Kennwerte	Relevant für...	Auswirkungen auf ...
Schiffsabmessungen (Länge, Breite, Tiefgang)	Querschnittsverhältnis	Je kleiner das Querschnittsverhältnis, desto kleiner v_{krit} und desto größer $v_{Rück}$
Lage der Fahrrinne, Fahrkorridor, Fahrweg, Fahrwasser	Uferabstand	Je kleiner der Uferabstand, desto größer die Uferbelastungen
Motorisierung	Schiffs geschwindigkeit	Je stärker die Motorisierung, desto größer die erreichbare Schiffs geschwindigkeit (nie größer als v_{krit})

7.2.5 Wasserstände und Abflüsse

Ufer an Binnenwasserstraßen sind auch ohne den Einfluss der Schifffahrt hydraulischen Belastungen ausgesetzt. Sie resultieren u. a. aus der natürlichen Strömung und den Wasserspiegelschwankungen und sind direkt an die vorherrschenden Wasserstände und Abflüsse geknüpft. Bei der Überlegung, welche Wasserstände für die Bemessung einer TBU wichtig sind, muss der Wasserstraßentyp berücksichtigt werden (Kapitel 7.2.1). Für alle Wasserstraßentypen ist Mittelwasser (MW) bzw. Normalstau (NoSt) bei der TBU-Planung eine bestimmende Größe, da für den Uferschutz geeignete Pflanzen meist nur um und oberhalb dieses Wasserstands wachsen. D. h. für die Bemessung einer direkten TBU mit lebenden Pflanzen (Kapi-

tel 7.6) sind alle relevanten Wasserstände im Bereich und oberhalb MW/NoSt zu berücksichtigen. Das können an Flüssen zum Beispiel der Mittelwasserstand (MW), der Höchste Schifffahrtswasserstand (HSW), bordvoller Abfluss und ein Bemessungshochwasser (BHW) sein. Bei Kanälen und staugeregelten Flüssen sind aufgrund der geringeren Wasserstandsschwankungen in der Regel weniger Wasserstände zu betrachten als an frei fließenden Strecken. Für vorgelagerte indirekte Ufersicherungsmaßnahmen müssen ggf. auch Wasserstände unterhalb MW berücksichtigt werden (Kapitel 7.3.2).

Die Höhe der Wasserstände und die Wasserstandsschwankungen beeinflussen nicht nur den Ort des Einbaus der TBU auf der Böschung, sondern auch die Pflanzenauswahl (Kapitel 7.9). Neben der Höhe der Wasserstände ist auch deren Dauer ein Faktor, der das Wachstum und die Stabilität der Pflanzen beeinflusst. Lange Trockenzeiten und lange Überstauzeiten stellen für Pflanzen eine besondere Belastung dar. Insbesondere für das Verständnis, warum eine Maßnahme oder eine Pflanzenwahl möglicherweise nicht funktioniert hat, ist eine kontinuierliche Aufzeichnung der Wasserstandsdaten hilfreich (Kapitel 11).

Informationen zu den kennzeichnenden Wasserständen am jeweiligen Bezugspegel können auf PEGELONLINE, dem gewässerkundlichen Informationssystem der WSV, kostenfrei eingeholt werden. Außerdem können hier hochaufgelöste Wasserstands- und Abflussreihen der gewässerkundlichen WSV-Pegel tagesaktuell und rückwirkend bis zum 1.1.2000 heruntergeladen werden. Es handelt sich bei den bereitgestellten Daten um Rohdaten. Für plausibilisierte und geprüfte Daten ist Kontakt mit der Gewässerkunde des zuständigen Wasserstraßen- und Schifffahrtsamtes (WSA) aufzunehmen. Auch bei der Festlegung der kennzeichnenden Wasserstände ist dies hilfreich.

Zusätzlich zu den Wasserstandsschwankungen kommt der Einfluss der natürlichen Strömung hinzu. Hier ist für jeden betrachteten Wasserstand die Strömungsgeschwindigkeit im Bereich der Fahrrinne bzw. mittig in der Wasserstraße und die ufernahe Strömungsgeschwindigkeit zu ermitteln. Die Geschwindigkeit mittig im Querschnitt beeinflusst die gefahrenen Schiffsgeschwindigkeiten. Die ufernahe Geschwindigkeit stellt eine direkte, andauernde Belastung der Böschung und damit der Ufersicherung und insbesondere der Pflanzen dar, die sich mit den auftretenden schiffsinduzierten Strömungsgeschwindigkeiten überlagert. Sie geht in die Bemessung der TBU hinsichtlich Oberflächenerosion ein. Fließgeschwindigkeiten im Querschnitt und am Ufer sind durch Messungen oder aus hydrodynamisch-numerischen Modellen erhältlich. Ansprechpartner hierfür sind die WSÄ, BAW, BfG und die für die Wasserwirtschaft bzw. den Hochwasserschutz zuständigen Behörden der Bundesländer.

Sowohl bei der Frage, wie weit eine TBU in Richtung Böschungsfuß installiert werden kann, als auch bei der Pflanzenauswahl wird der Klimawandel eine Rolle spielen (Kapitel 4).

7.2.6 Geländeverfügbarkeit/Gefährdungspotenzial

Wenn an Binnenwasserstraßen der Schutz vor Hochwassergefahren, von Grundeigentum und vorhandener Infrastruktur und nicht zuletzt der Schutz vielfältiger menschlicher Tätigkeiten prioritär ist, dann sind grundsätzlich stabile Ufer erforderlich. Unter bestimmten standortspezifischen Randbedingungen kann es jedoch möglich sein, bei der Planung und Bemessung von TBU von diesen Maximalanforderungen an die Uferstabilität abzuweichen. Damit vergrößern sich die Möglichkeiten, naturnähere TBU anzuwenden und ökologisch höherwertige Ufer zu entwickeln.

Die Beantwortung der Frage, ob und wieviel Abweichungen von der generellen Uferstabilität zugelassen werden können, hängt neben den Eigentums- und Nutzungsverhältnissen im landseitig angrenzenden Bereich maßgeblich vom Gefährdungspotenzial ab, das von einem nicht standsicheren Ufer infolge Erosion und/oder Böschungsrutschungen ausgeht. Wenn anschließend an das Ufer ausreichend Fläche zur Verfügung steht, der Uferböschung keine Hochwasserschutzfunktionen zukommt, keine sicherheitsrelevante

Infrastruktur (z. B. Gebäude, Brücken, Wege, Deiche) gefährdet ist und berechnete Belange der Anrainer mit zugehörigen Nutzungen nicht unangemessen beeinträchtigt werden, können die Anforderungen an die Uferstabilität reduziert werden. In diesem Fall kann bei der Bemessung von TBU ein Bemessungsstandard nach Kapitel 7.5 gewählt werden, der Uferinstabilitäten zulässt. Dabei ist auch zu berücksichtigen, in welchem Umfang ein dann möglicher Materialeintrag aus der Uferböschung in die Fahrrinne mit Auswirkungen auf die Schifffahrt und ggf. höherem Baggeraufwand toleriert werden kann.

Da die TBU mit fortschreitender Vegetationsentwicklung in der Regel an Stabilität gewinnen, kann es sich bei den möglicherweise auftretenden Beeinträchtigungen durch Erosion und/oder Böschungsrutschungen ggf. um temporäre Effekte handeln. Ein anfangs erforderlicher höherer Kontroll- und Unterhaltungsaufwand kann sich in diesem Fall im Laufe der Zeit reduzieren.

Bei der Planung von TBU ist auch die Nutzung der ufernahen Flächen durch Landwirtschaft (z. B. fehlende Gewässerrandstreifen, Weidewirtschaft) oder durch Freizeitaktivitäten des Menschen relevant. Wenn bundeseigene Flächen nicht in ausreichendem Umfang vorhanden sind, sollte ein möglicher Grunderwerb in Erwägung gezogen werden.

Außerdem ist die wasserseitige Flächenverfügbarkeit zu prüfen. Wenn ausreichend Platz zur Fahrrinne vorhanden ist, können vorgelagerte Maßnahmen (z. B. Pfahlreihen, Spundwände) die hydraulischen Belastungen am Ufer reduzieren und damit die Anwendbarkeit von TBU erhöhen. Gleichzeitig können damit auch ökologisch wertvolle Wasserzonen geschaffen werden, die zusätzlich zu einer naturnäheren Gewässerentwicklung beitragen (Kapitel 7.3.2).

7.2.7 Umweltbelange

Beim Einsatz von TBU können verschiedene ökologische Belange betroffen sein. Da sich daraus Konflikte ergeben können, muss die Überprüfung der Umweltbelange (ggf. auch durch eine Umweltverträglichkeitsprüfung) unter folgenden Aspekten erfolgen:

- Wasserrahmenrichtlinie
- Natura 2000-Gebiete
- Nationale Schutzgebiete und gesetzlich geschützte Biotope
- Naturschutzrechtliche Eingriffsregelung
- Allgemeiner und besonderer Artenschutz
- Verwendung gebietseigener Pflanzen

In Abhängigkeit davon, ob der Bau einer TBU im Rahmen der Unterhaltung oder als Ausbau mit Planfeststellungs- bzw. -genehmigungsverfahren umgesetzt wird, unterscheiden sich die Anforderungen an die Abstimmungsprozesse und ggf. die zu erbringenden Unterlagen. Es bedarf der jeweils geltenden Beteiligungspflichten (Einvernehmens-/Benehmensherstellung, Kapitel 5).

Wasserrahmenrichtlinie

Der Schutz und die Verbesserung des Zustandes aquatischer Ökosysteme gehören zu den übergeordneten Zielen der WRRL. Dabei gelten das Verschlechterungsverbot (§ 27 Abs. 1 Nr. 1, Abs. 2 Nr. 1 WHG) und das Zielerreichungsgebot (§ 27 Abs. 1 Nr. 2, Abs. 2 Nr. 2 WHG), jeweils bezogen auf den ökologischen Zustand / das ökologische Potenzial und den chemischen Zustand von Oberflächenwasserkörpern. Grundwasserkörper sind bei TBU i. d. R. nicht betroffen und werden hier nicht weiter behandelt. Die zentralen Elemente bei der Bewirtschaftung der Gewässer gemäß WRRL sind die Bewirtschaftungspläne einschließlich der Maßnahmenprogramme der Bundesländer und der Flussgebietsgemeinschaften. Die darin enthaltenen Maßnahmen sind auf die Behebung bestehender Defizite im Gewässer ausgerichtet.

Die WSV muss bei verkehrlichen Ausbau- und Unterhaltungsmaßnahmen sowie bei wasserwirtschaftlichen Ausbaumaßnahmen die nach §§ 27 bis 31 WHG maßgebenden Bewirtschaftungsziele beachten (vgl. § 12 Abs. 7 und § 8 Abs. 1 Satz 5 WaStrG sowie § 14b Abs. 1 Satz 2 WaStrG i. V. m. § 68 Abs. 3 WHG). Wasserwirtschaftliche Unterhaltungsmaßnahmen müssen sich an den Bewirtschaftungszielen nach Maßgabe der §§ 27 bis 31 ausrichten und dürfen die Erreichung dieser Ziele nicht gefährden (vgl. § 39 Abs. 2 WHG).

Demnach müssen bei der Umsetzung von TBU-Maßnahmen sowohl bei genehmigungspflichtigen Vorhaben als auch bei Unterhaltungsaktivitäten deren Auswirkungen auf die Belange der WRRL geprüft werden. Hilfestellung gibt der „Leitfaden zur Erstellung des Fachbeitrags WRRL bei Vorhaben der WSV an Bundeswasserstraßen (BMVI)“ (2019b).

Natura 2000-Gebiete

Der hohe ökologische Wert vieler Bundeswasserstraßen wird durch die Ausweisung zahlreicher Natura 2000-Gebiete belegt. Auch im Rahmen der TBU-Planung kann es diesbezüglich zu vermehrtem Untersuchungs- und Abstimmungsbedarf kommen, wenn der Maßnahmenbereich in einem Natura 2000-Gebiet liegt. Eine Verschlechterung der natürlichen Lebensräume und der Habitate von Arten sowie Störungen von schutzwürdigen Arten, die in diesen Gebieten vorkommen, sind unzulässig, sofern solche Störungen sich im Hinblick auf die FFH-Richtlinie und die Vogelschutz-Richtlinie erheblich auswirken können. Ausnahmen sind nur unter bestimmten Voraussetzungen möglich.

Im Rahmen einer Plangenehmigung bzw. einer Planfeststellung ist eine FFH-Vor- oder eine FFH-Verträglichkeitsprüfung erforderlich. Auch im Rahmen der Unterhaltung kann eine Untersuchung der FFH-Verträglichkeit erforderlich werden. Hilfestellung geben der „Leitfaden zur FFH-Verträglichkeitsprüfung beim Aus- und Neubau von Bundeswasserstraßen“ (BMVI 2019a) bzw. der Leitfaden „Umweltbelange bei der Unterhaltung von Bundeswasserstraßen“ (BMVI 2015). Wenn Zweifel bestehen, ob eine FFH-Vor- oder FFH-Verträglichkeitsprüfung erforderlich ist, oder wenn die zuständige Naturschutzbehörde im Rahmen der Benehmenserstellung eine solche Prüfung fordert, wird nach der Verfügung der GDWS vom 03.08.2023 (Unterhaltungsmaßnahmen der WSV als Projekte im Sinne der FFH-Richtlinie 92/43/EWG, Az.: R20-421.01/19-002/2) um Bericht an die GDWS gebeten.

Für die Natura 2000-Gebiete sind unter anderem die Standarddatenbögen maßgeblich, die die jeweils geschützten Lebensräume und Arten auflisten. Häufig liegen auch bereits Natura 2000-Management-/Bewirtschaftungspläne mit festgelegten Entwicklungszielen für diese Gebiete vor. Bei der Beurteilung möglicher Auswirkungen sind diese heranzuziehen.

Nationale Schutzgebiete und gesetzlich geschützte Biotop

Uferabschnitte, für die TBU geplant werden, können durch Schutzgebiete (z. B. Naturschutzgebiete (NSG), Landschaftsschutzgebiete (LSG)) nach § 20 BNatSchG verlaufen. Die Kenntnis der im Maßnahmengebiet bestehenden Schutzgebiete ist somit essentiell und die in den Schutzgebietsverordnungen enthaltenen Gebote und Verbote sind grundsätzlich zu beachten. Die Umsetzung der TBU kann dazu beitragen, die Schutzziele zu befördern.

Weiterhin können nach § 30 BNatSchG (und ggf. Landesgesetzgebung) gesetzlich geschützte Biotop von der baulichen Maßnahme betroffen sein. Es handelt sich dabei um bestimmte ökologisch wertvolle Biotop (z. B. Röhrichte, Gebüsche trockenwarmer Standorte, Auenwälder, Magerrasen), die auch ohne formelle Ausweisung geschützt sind. Die Abgrenzung kartierter § 30-Biotop findet sich meist in den Geoportalen der Länder. In Zweifelsfällen können die Naturschutzbehörden bei der Klärung, ob es sich um ein § 30-Bio-

top im Maßnahmenbereich handelt, unterstützen. Eine erhebliche Beeinträchtigung oder Zerstörung solcher Biotope durch die Umsetzung der TBU ist grundsätzlich verboten. Hingegen können § 30-Biotope im Maßnahmenbereich durch die TBU-Maßnahme selbst gefördert werden.

Naturschutzrechtliche Eingriffsregelung

Die Ausführung einer TBU im Rahmen des wasserwirtschaftlichen Ausbaus kann einen Eingriff im Sinne von § 14 BNatSchG darstellen. Die dabei erforderliche Bestimmung der Erheblichkeit erfolgt grundsätzlich einzelfallbezogen. Fällt die TBU-Maßnahme unter die Eingriffsregelung, ist vom WSA zu prüfen, ob die Beeinträchtigungen durch eine Modifikation der Maßnahme oder Wahl der Arbeitsweise auf ein unerhebliches Ausmaß minimiert werden können. Sind erhebliche Beeinträchtigungen nicht vermeidbar, sind diese durch Ausgleichs- und Ersatzmaßnahmen zu kompensieren.

Allgemeiner und besonderer Artenschutz

Bei der Planung und Umsetzung von TBU sind der allgemeine Schutz wildlebender Tiere und Pflanzen (§ 39 BNatSchG) sowie die Vorschriften für besonders geschützte Tier- und Pflanzenarten (§ 44 BNatSchG) zu berücksichtigen. So ist es z. B. grundsätzlich verboten, Bäume, Gebüsche und andere Gehölze, aber auch Röhrichte in der Zeit vom 1. März bis zum 30. September abzuschneiden, auf den Stock zu setzen oder zu beseitigen. Belange des Artenschutzes können weiterhin z. B. berührt werden, wenn sich Höhlenbäume im Maßnahmenbereich befinden, die bei einer Uferrückverlegung entfernt werden müssten oder Eidechsen im Bereich eines rückzubauenden Uferdeckwerks siedeln. Hilfestellung hinsichtlich der Thematik Artenschutz kann bei der Planung von Maßnahmen (im Rahmen des Ausbaus) der „Leitfaden zur Berücksichtigung des Artenschutzes bei Aus- und Neubau von Bundeswasserstraßen (BMVI)“ (2020) geben. Darin dargestellt sind die Anforderungen an die Datengrundlage für die Erstellung eines Fachbeitrags Artenschutz, das zu betrachtende Artenspektrum sowie die zu prüfenden Verbotstatbestände des besonderen Artenschutzes. Außerdem werden die Voraussetzungen zur Erteilung einer Ausnahme beschrieben und Hinweise zu „Artenschutz-Maßnahmen“ gegeben. Bei der Planung von TBU-Maßnahmen, die im Rahmen der Unterhaltung durchgeführt werden, liefert der Leitfaden „Umweltbelange bei der Unterhaltung von Bundeswasserstraßen“ (BMVI 2015) eine wertvolle Arbeitshilfe. Auch für alle Unterhaltungsmaßnahmen muss vom Grundsatz her sichergestellt werden, dass durch ihre Durchführung die Zugriffsverbote nach § 44 Abs. 1 BNatSchG für besonders und streng geschützte Arten nicht verletzt werden oder eine Ausnahme möglich ist (vgl. § 45 BNatSchG).

Verwendung gebietseigener Pflanzen

TBU bestehen überwiegend aus lebenden Pflanzen, deren biotechnische Eigenschaften man sich im Uferschutz zu Nutzen macht. Hierbei ist zu beachten, dass grundsätzlich gebietseigenes Saat- und Pflanzgut zu verwenden ist, um einer Florenverfälschung und dem Verlust der biologischen Vielfalt entgegen zu wirken (vgl. § 40 BNatSchG). Bei der Planung von TBU ist somit frühzeitig zu erkunden, ob lokales Saat- oder Pflanzgut projektspezifisch gewonnen werden kann oder lieferbar ist. Um Materialengpässen entgegen zu wirken, empfiehlt sich die Anzucht gebietseigener Pflanzen auf WSV-eigenen Spenderflächen mit einer Vorlaufzeit von mindestens 2-3 Jahren. Sollen ausnahmsweise nicht gebietseigene Pflanzen verwendet werden, ist eine enge Abstimmung mit den zuständigen Naturschutzbehörden und ggf. eine Ausnahmegenehmigung erforderlich.

Datenbasis

Zur Einschätzung der möglichen Betroffenheit von Umweltbelangen durch TBU-Maßnahmen an Binnenwasserstraßen und ggf. zur notwendigen Abstimmung der Maßnahme mit anderen Trägern öffentlicher Belange sind im Grundsatz u. a. die folgenden Datengrundlagen zweckmäßig bzw. notwendig:

- topographische Karte
- digitale Bundeswasserstraßenkarte (DBWK)
- Luftbilder
- Biotop(typen)kartierung der Länder
- Schutzgebietsausweisungen und -verordnungen
- Artenkataster der Länder
- Standarddatenbögen / vollständige Gebietsdaten der FFH- und Vogelschutzgebiete der Länder
- Management-/Bewirtschaftungspläne für Natura 2000-Gebiete
- Daten aus Ausbauprojekten (z. B. Einzelgutachten, UVP-Bericht, LBP)
- Steckbriefe geschützter Tier- und Pflanzenarten
- WRRL-Maßnahmenprogramme und Bewirtschaftungspläne
- Gewässerentwicklungskonzepte (GEK)
- Biotoppflege- und -entwicklungspläne
- Artenschutzfachplanungen
- Kompensationsmaßnahmen
- WSV-eigene Unterhaltungspläne

Liegen keine ausreichenden Daten vor, können auch eigene Kartierungen erforderlich werden. Weitere Informationen können den Geoinformationsdiensten der Länder oder dem WSV-Portal entnommen werden. Mit Blick auf die Datenrecherche und die generell erforderlichen Abstimmungen ist es empfehlenswert, möglichst frühzeitig im Planungsprozess Kontakt mit den zuständigen Landesbehörden aufzunehmen (Naturschutz, Wasserwirtschaft, Fischerei). Das erleichtert auch die jeweils erforderliche Einvernehmens- bzw. Benehmensherstellung.

7.2.8 Vorhandener Bewuchs

Der vorhandene Bewuchs am Maßnahmenstandort kann Aufschluss über die Standortqualität, das Besiedlungspotenzial, erhaltenswerte Biotope und Arten oder vorhandene ökologische Defizite geben. Daraus können ökologische Entwicklungsziele abgeleitet werden, die es mit der Planung, Dimensionierung und Auswahl einer TBU zu berücksichtigen und umzusetzen gilt.

Bewuchsdefizite sind beispielsweise dort erkennbar, wo überwiegend anspruchslose, unspezialisierte Pflanzenarten (sog. Ubiquisten) oder gebietsfremde Arten (sog. Neophyten) auf meist konventionell gesicherten Uferböschungen wachsen. Für letztere sind als prominente Beispiele die Gehölze Hybrid-Pappel, Eschen-Ahorn, Götterbaum, Robinie aber auch die Stauden Goldrute, Topinambur, Indisches Springkraut, Riesen-Bärenklau und Japan-Staudenknöterich (https://www.bafg.de/DE/3/Beraet/4/Exp_oekologie/Neophyten_U3/neophyten_node.html) zu nennen. Eine zielgerichtete Bewuchsentwicklung mittels standorthemischer Pflanzen als Bestandteil einer neu aufzubauenden TBU kann hier eine ökologische Zielstellung sein (Kapitel 6). In Ausnahmefällen können dominant auftretende Bestände invasiver Neophyten (z. B. Japan-Staudenknöterich) im Maßnahmenbereich selbst oder in näherer Umgebung den Erfolg einer TBU auch stark beeinträchtigen. Insbesondere im Anfangszustand können die noch konkurrenzschwachen eingebrachten Pflanzen leicht wieder überwachsen, ausgeschattet und verdrängt werden, was es bei der Planung und Festlegung einer TBU bzw. bei dem festzulegenden künftigen Pflegeintervall zu berücksichtigen gilt (Kapitel 10).

Weiterhin ist fehlender Uferbewuchs im Bereich um und oberhalb der Mittelwasserlinie bzw. des Normalstaus ein Defizit. Solche Verhältnisse deuten auf ungünstige Standort- und Randbedingungen hin, die bei der Planung und Umsetzung einer TBU entsprechend verbessert werden müssen, um das Besiedlungspotenzial für Pflanzen zu fördern bzw. den Anwuchserfolg einer Pflanzmaßnahme überhaupt zu gewährleisten. Beispielhaft kann hier das Abschirmen der hydraulischen Belastung auf das Ufer mittels indirekter Ufersicherungen (Kapitel 7.3.2) oder das Abflachen einer steilen Uferböschung (bei entsprechenden Platzverhältnissen) genannt werden.

Umgekehrt kann der Bewuchs in einem potenziellen Maßnahmenbereich bereits hochwertig ausgeprägt sein und als ökologisch wertvoll gelten. Zu nennen sind beispielsweise vorkommende § 30-Biotope oder FFH-Lebensraumtypen wie Röhrichte, einjährige Uferfluren, Weidengehölze oder ein Mosaik aus typischen Vertretern der unterschiedlichen Uferzonen. Solche spezialisierten Arten und Pflanzengesellschaften sind optimal an die vorherrschenden Randbedingungen angepasst und können dabei Orientierung für projektspezifisch geeignete Pflanzen geben (Kapitel 7.9). Auch ein einzelner alter Baum mit Habitatstrukturen kann wertvoll und erhaltenswert sein. All dies gilt es bei der Planung einer TBU zu berücksichtigen. Vorrangig sollten solche bereits vorhandenen Vegetationseinheiten oder Habitatstrukturen erhalten, integriert und gefördert werden.

7.2.9 Unterhaltung

Bei der Planung und Auswahl einer TBU sind die Anforderungen an die künftige Unterhaltung der zu planenden TBU im Maßnahmenbereich zu berücksichtigen (Kapitel 10). Dabei ist zu empfehlen, die Unterhaltung im Vorfeld mit dem ABz abzustimmen. Der realisierbare künftige Unterhaltungsaufwand hat maßgebenden Einfluss auf die Wahl des Bemessungsstandards (Kapitel 7.5) und die Wahl der TBU-Bauweise sowie der Pflanzenarten (Zielvegetation).

Der ökologische Nutzen einer TBU rechtfertigt ggf. auch einen Mehraufwand bei der Unterhaltung. Sind die Unterhaltungsmöglichkeiten eines Amtes jedoch von vorn herein beschränkt, kann z. B. eine mögliche Konsequenz bei der Planung von TBU sein, in Bereichen mit Hochwasserabfluss auf Bauweisen und Pflanzen zu verzichten, die sich zu dichten oder hochwüchsigen Strauch-/Baumbeständen entwickeln, was über Jahre hinweg regelmäßige Pflegeschnitte erfordern würde (Kapitel 7.9).

Grundsätzlich ist auch die künftige Zugänglichkeit der TBU für erforderliche Unterhaltungsarbeiten bereits bei der Planung zu berücksichtigen. Für vorgelagerte indirekte Maßnahmen ist zum Beispiel die Erreichbarkeit der geschützten Wasserzonen vorab zu prüfen.

7.3 Maßnahmen zur Reduzierung der hydraulischen Uferbelastungen

An einigen Standorten kann es aufgrund von zu hohen hydraulischen Uferbelastungen schwierig sein, eine direkte TBU zu installieren. Ist die Schifffahrt der Auslöser, können administrative Maßnahmen zur Reduzierung der Uferbelastungen führen und so die Anwendung von TBU ermöglichen. Konstruktive Maßnahmen, die dem Ufer vorgelagert sind, wie Längsbauwerke oder Buhnen, können sowohl natürliche als auch schiffsinduzierte Strömungen und Wellen verringern. Sie bieten einen indirekten Uferschutz, so dass ein Verzicht auf weitere Ufersicherungen oder die Nutzung von TBU als direkte Ufersicherung und die Entstehung strömungsberuhigter Wasserzonen möglich werden können.

7.3.1 Administrative Maßnahmen

Verkehrsregelnde Maßnahmen können temporär oder dauerhaft zu einer Verringerung der schiffsinduzierten Belastungen führen. Zwei Einflussgrößen liegen hierbei im Fokus: Die Schiffsgeschwindigkeit und der Abstand der Schiffe zum Ufer.

Eine Reduzierung der schiffsinduzierten Uferbelastungen von Güter- und großen Fahrgastschiffen kann prinzipiell durch eine Beschränkung der Schiffsgeschwindigkeiten erzielt werden. Für Sportboote gilt dies nur bis zum Erreichen der Gleitgeschwindigkeit, darüber hinaus sinken die Belastungen wieder. Insbesondere bei frei fließenden Gewässern mit stark wechselnden Strömungsgeschwindigkeiten muss bei Güterschiffen darauf geachtet werden, dass die nautische Mindestgeschwindigkeit dadurch nicht unterschritten wird bzw. grundsätzlich die Manövrierfähigkeit der Schiffe erhalten bleibt.

Eine Einengung oder Verlegung der Fahrrinne (ggf. auch temporär z. B. durch Austonnen in der kritischen Anwachsphase von TBU) sowie ein Überhol- und Begegnungsverbot können dazu beitragen, dass die Fahrzeuge einen größeren Uferabstand einhalten.

Eine weitere Möglichkeit zur Begrenzung der Belastungen besteht in der Nutzung von Schifffahrtszeichen wie z. B. dem Tafelzeichen „Sog und Wellenschlag vermeiden“. Dies kann gerade in der Initialphase einer TBU eine Möglichkeit sein, das Bewusstsein für eine aufmerksamere, belastungsminimierende Fahrweise sowohl von Güterschiffen als auch von Sportbooten und Jetskis zu schärfen.

Generell ist jedoch für die Wirksamkeit der administrativen Maßnahmen entscheidend, dass sich die Schifffahrt an die Regelungen hält. Administrative Maßnahmen können auch zu einer Behinderung der Schifffahrt führen. Begegnungsverbote können Wartezeiten erhöhen, Geschwindigkeitsbegrenzungen verlängern die Fahrzeiten, und Abstandsregelungen können unter Umständen die Navigation erschweren. Ob derartige Einschränkungen hinsichtlich des Schiffsverkehrs vertretbar sind, ist mit dem Schifffahrtsbüro des zuständigen WSA abzuklären, das ggf. die erforderlichen schifffahrtspolizeilichen Anordnungen nach Binnen- oder Seeschifffahrtsstraßenordnung oder weiteren geltenden Verkehrsvorschriften erlässt und das Aufstellen der erforderlichen Schifffahrtszeichen veranlasst.

Alle administrativen Maßnahmen stehen generell unter der Vorgabe, dass Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs gewährleistet bleiben.

7.3.2 Konstruktive Maßnahmen (Indirekte Ufersicherungen)

Konstruktive Maßnahmen sind dem Ufer vorgelagerte Längsbauwerke oder Buhnen. Buhnen und relativ weit vor der Uferböschung gelegene Parallelwerke dienen vorrangig der Stromregelung. Sie können ebenso wie ufernahe Längsbauwerke die hydraulischen Uferbelastungen verringern, sodass am Ufer je nach Randbedingungen ein reduzierter direkter Uferschutz möglich wird oder ggf. ganz auf Schutzmaßnahmen verzichtet werden kann. Dabei können die konstruktiven Maßnahmen eine indirekte Uferschutzfunktion übernehmen. Gleichzeitig entsteht bei Längsbauwerken eine strömungs- und wellenberuhigte Wasserzone zwischen Ufer und vorgelagerter Maßnahme, die zu einer ökologischen Aufwertung insbesondere im aquatischen, aber auch im terrestrischen Bereich führen kann. Auch strömungsberuhigte Buhnenfelder können als Sekundärhabitate einen ökologischen Wert besitzen.

Eine Bewertung, ob und welche Sicherungsmaßnahmen am eigentlichen, durch indirekte konstruktive Maßnahmen geschützten Ufer erforderlich sind, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Maßgebend sind neben der Böschungsgeometrie und den Bodenparametern am Ufer die schiffsinduzierten und natürlichen

hydraulischen Belastungen hinter dem Längsbauwerk bzw. innerhalb der Bühnenfelder, die wiederum von den Wasserstandsschwankungen als zentrale Einflussgröße abhängen. Weitere Einflussfaktoren sind die Abmessungen und die Gestaltung der konstruktiven Maßnahmen und deren Abstand zur Fahrrinne und zum Ufer.

Längsbauwerke

In Tabelle 7 sind verschiedene Arten von Längsbauwerken, die in der WSV Anwendung finden, mit ihren Besonderheiten zusammengestellt. Auf Beispiele konkreter Maßnahmen der WSV wird verwiesen (Steckbriefe in Anlage B). Die Bemessung erfolgt nach geltendem Regelwerk und örtlichen Erfahrungen. Hinweise zu Pfahl-längen für Lahnungen und Palisaden geben das DWA-Merkblatt M519, Kapitel 9.3 (DWA-M 519 2016) und Pianc (2025).

Tabelle 7: Übersicht indirekter, vorgelagerter Uferschutzmaßnahmen (Längsbauwerke)

Maßnahme	Beschreibung	Besonderheiten	Beispiele in Anlagen B2.1 bis B2.7
Lahnung	doppelte Holzpfa-hreihe mit dazwischen liegenden Faschinen, Raubäumen, Kies oder Steinen	geringer Platzbedarf, Anordnung und Verlauf sehr variabel, Einbau-Wassertiefen bis max. 1,5 m (bei MW/NoSt), Öffnungen generell möglich, nachträgliche Öffnungen über gesamte Höhe einfach realisierbar, begrenzte Haltbarkeit (Unterhaltung)	Neckar, km 57,80, linkes Ufer (B2.2)
Palisade	Reihe aus eng neben-einander stehenden Holzpählen		UHW, km 20,00–32,70, rechtes Ufer (B2.1)
Spund-wand	Wand aus Stahl-spundwandprofilen nach statischem Erfordernis	geringer Platzbedarf, bei größeren Wassertiefen anwendbar, lokale Öffnungen in der Wand und veränderbare Öffnungen möglich, aufwändig hinsichtlich Einbau und Kosten	SOW, km 5,0–5,3, rechtes Ufer (B2.3) SOW, km 0,221–0,403, rechtes Ufer (B2.4)
Gabionen-reihe	Wand aus mit Was-serbausteinen gefüll-ten Drahtbehältern	lokale und veränderbare Öffnungen mög-lich, relativ einfach einzubauen, Vorfertigung und nach Einbau Verbinden der Einzelelemente erforderlich, ggf. Statik erforderlich	HOW, km 73, linkes Ufer (B2.5)
Steinwall	aus losen Wasserbau-steinen geschütteter Wall	ggf. Nutzung anfallender Wasserbau-steine bei Deckwerksrückbau (Syner-gien), großer Platzbedarf für den Steinwall selbst, Anordnung von veränderbaren Öffnun-gen schwierig	Main, km 287,4–287,6, linkes Ufer (B2.6) Oder, km 604,6–605,5, linkes Ufer (B2.7)

Generelle Voraussetzung für die Realisierung vorgelagerter Uferschutzmaßnahmen ist ausreichend Platz in der Wasserstraße (Notwendige Abstände zwischen Schiff und Ufer für Kanäle siehe „Richtlinien für Regel-querschnitte von Binnenschifffahrtskanälen (RiReBSK)“ (2011), für große Wasserstraßen siehe (Pianc 2019)). Anordnung und Gestaltung der Längsbauwerke sollten sowohl im Zusammenhang mit den Anforderungen an den Uferschutz als auch mit ggf. vorhandenen ökologischen Anforderungen an die entstehende

Wasserzone betrachtet werden. Dabei ist der Einfluss von Hochwasser zu berücksichtigen, das zur Überflutung des Längsbauwerkes und entsprechenden hydraulischen Belastungen des Ufers führt. Gleichzeitig ist eine Erhöhung des Hochwasserrisikos durch die Längsbauwerke auszuschließen.

Die **technische Wirksamkeit** der konstruktiven Maßnahme hängt entscheidend von den möglichen Wasserständen und Wasserstandsschwankungen in der Wasserstraße ab. Primäres Ziel ist es, die Wellenhöhen und die Strömungsgeschwindigkeiten am Ufer zu reduzieren. Das ist am besten möglich, wenn die schiff-fahrtsrelevanten Wasserstände nicht oder nur wenig über die Oberkante des Längsbauwerkes reichen. Mit steigenden Wasserständen über die Oberkante der Maßnahmen hinaus nimmt die wellen- und strömungs-reduzierende Wirkung ab. Dementsprechend sind die vorgelagerten Maßnahmen hydraulisch am effektivsten an Wasserstraßen mit geringen Wasserstandsschwankungen bis etwa 1 m anwendbar (Pianc 2025). Aber auch bei größeren Wasserspiegelschwankungen kann die Anordnung eines Längsbauwerkes sinnvoll sein, wenn zwar die wellen- und strömungsberuhigende Wirkung geringer ist, aber gleichzeitig Synergieeffekte zum Beispiel mit Stromreglungsmaßnahmen genutzt werden können (Beispiel: Parallelwerk an der Oder, Anlage B2.7).

Einfluss auf die Reduzierung der Uferbelastungen haben auch die Breite und Tiefe der entstehenden Wasserzone hinter dem Längsbauwerk. Die herstellbare Breite der Wasserzone zwischen Längsbauwerk und Ufer richtet sich primär nach dem vorherrschenden Platzangebot. In schmalen und flachen Wasserzonen sind die schiffsinduzierten Strömungen am Ufer wesentlich größer als in vergleichsweise breiten und tieferen Wasserzonen.

Außerdem beeinflussen in den Längsbauwerken ggf. vorgesehene Uferanschlüsse und Öffnungen, die u. a. aus ökologischen Gründen angeordnet werden, die hydraulischen Belastungen am Ufer. Die Öffnungen können je nach Konstruktion und Funktion unterschiedlich in ihrer Lage und Abmessung vorgesehen werden. Bei der Planung sind die technischen Ziele (u. a. verringerte Uferbelastungen, Begrenzung der Verlandung) und die ökologischen Ziele (optimaler ökologischer Zustand in der Wasserzone) zu berücksichtigen und im Einzelfall gegeneinander abzuwägen.

Die hydraulische Wirkung der Öffnungen hängt von deren Anzahl, Abstand und Querschnittsgrößen sowie von deren Höhenlage ab. Je kleiner die Anzahl und die Größe der Öffnungen sind, desto mehr werden die schiffsinduzierten Belastungen in der Wasserzone und am Ufer hinter dem Längsbauwerk reduziert. Hinsichtlich der ökologischen Funktionalität der Wasserzone können dagegen auch mehr und größere Öffnungen sinnvoll sein, um einen ausreichenden Wasser-, Sediment- und Biomasseaustausch mit der Wasserstraße zu gewährleisten und damit u. a. stehendes Wasser zu vermeiden und unerwünschte Sedimentation und zu starken Bewuchs zu verhindern bzw. zu reduzieren. Dimensionierung und Anordnung dieser Öffnungen sollten auf die Belastungen der verkehrenden Schiffe abgestimmt werden. Zur Variierbarkeit der hydraulischen Verhältnisse in den Flachwasserzonen können anpassbare Öffnungen sinnvoll sein. Bei Spundwänden kann z. B. durch die Anordnung von herausnehmbaren Gabionen der Durchströmungsquerschnitt in Tiefe und Breite reguliert werden, wobei eine geringere Breite stärker wirkt als eine kleinere Tiefe (Barth et al. 2026). Veränderbare Öffnungen sind auch vor dem Hintergrund des Klimawandels zu empfehlen, da zukünftig zu erwartende Wasserstände und Fließgeschwindigkeiten heute noch nicht vorhergesagt werden können (Kapitel 4). Zudem kann der Unterhaltungsaufwand in verlandungsgefährdeten Bereichen mit anpassbaren Öffnungen (z. B. zur Ermöglichung einer temporären Längsdurchströmung) grundsätzlich begrenzt werden (Beispiel: Vorgelagerte Spundwand mit strukturreicher Flachwasserzone an der SOW – Anlage B2.4.).

Aufgrund bislang fehlender Bemessungsansätze zur genauen Ermittlung der Wellen- und Strömungsbelastung am Ufer hinter verschiedenen Längsbauwerken bzw. zur Dimensionierung von Längsbauwerken einschließlich Öffnungen und der Unsicherheiten hinsichtlich der zukünftig tatsächlich auftretenden

hydraulischen Belastungen (künftige Wasserstände, Schiffsflotte, Verkehr, Häufigkeit) sowie der sedimentologischen Randbedingungen wird empfohlen, pragmatische Lösungen auf Grundlage von lokalen Erfahrungen zu suchen und mit der Beobachtungsmethode (DIN EN 1997-1) zu arbeiten. Wichtig sind dabei die Anforderungen an die Uferstabilität, die mit der Wahl eines Bemessungsstandards nach Kapitel 7.5 festgelegt werden können. Die Stabilität des Ufers hinter dem Längsbauwerk wird durch regelmäßige Beobachtung kontrolliert. Bei Bedarf können die hydraulischen Uferbelastungen im Betriebszustand, z. B. durch veränderbare Öffnungen im Längsbauwerk, angepasst werden. Damit können gleichzeitig die Uferstabilität hinter dem Längsbauwerk und die ökologische Entwicklung in der FWZ langfristig gewährleistet werden.

Die **ökologische Wirksamkeit** der vorgelagerten, indirekten Maßnahmen bezieht sich auf die anwendbare direkte Ufersicherung, die als TBU ausgeführt oder auf die im besten Fall ganz verzichtet werden kann. Vor allem aber bringen die entstehenden wellen- und strömungsberuhigten Wasserzonen zwischen Längsbauwerk und Ufer einen ökologischen Mehrwert mit sich (Kapitel 6). Die geschützten Wasserzonen können im Zuge der Umsetzung der WRRL eine für die Zielerreichung geforderte ökologische Aufwertung im aquatischen Bereich ermöglichen (LAWA-BLANO Maßnahmentyp Nr. 71). Um diese Aufwertung zu optimieren, ist zu empfehlen, neben dem direkten Uferschutz auch die naturnahe Gestaltung und Entwicklung der Wasserzone bei der Planung der Längsbauwerke zu berücksichtigen. Dazu werden aufgrund der Bedeutung dieser Maßnahme hinsichtlich der Umsetzung der WRRL an Bundeswasserstraßen im Folgenden weitere Hinweise gegeben.

Durch die reduzierten hydraulischen Einwirkungen können sich spontan oder durch aktive Gestaltung ökologisch wertvolle Bereiche (Habitate) in der geschützten Zone entwickeln. Insbesondere im urbanen Raum mit geringer Flächenverfügbarkeit kann die Entwicklung naturnaher Wasserzonen im vorhandenen Profil einen Beitrag zur Erreichung des guten ökologischen Zustands bzw. Potenzials leisten. Die Kombination von Maßnahmen – wie Ufersicherung modifizieren, Wasservegetation fördern, Röhrichte und Großseggenriede erhalten / entwickeln, Ufergehölze erhalten / naturnah pflegen / entwickeln, Totholz einbringen / belassen und die ökologisch verträgliche / angepasste Gewässerunterhaltung (SenUVK Berlin 2021a) – kann mit der Anlage eines strömungsberuhigten Bereichs einhergehen. Zum Beispiel werden aufgrund der stark eingeschränkten Platzverhältnisse im städtischen Bereich im Land Berlin Maßnahmen zur Herstellung von „strömungs- und wellenschlagberuhigter Flachwasserbereiche mit Wasserpflanzen“ (SenUVK Berlin 2021a) sowie das lagestabile Einbringen von „gut durchlüfteten, sauerstoffreichen sandig-kiesige Substraten“ in strömungsberuhigte Bereiche (SenUVK Berlin 2021b) als Schlüsselmaßnahmen zur Zielerreichung des guten ökologischen Potenzials präferiert.

In Hinblick auf die Kosten ist es besonders effizient, breitere Wasserzonen zu realisieren, wenn der bauliche Aufwand (in Abhängigkeit von der Wassertiefe) weitgehend gleich ist, die ökologische Wirksamkeit aber mit zunehmender Breite überproportional zunimmt (SenUVK Berlin 2021a).

Je nach ökologischer Zielstellung können in Wasserzonen bestimmte Sedimente und in Abhängigkeit von der Wassertiefe Pflanzen (z. B. Röhrichte, auch in Form von Pflanzmatten, Beispiel: Doppelpfahlreihe mit Flachwasserzone am Neckar – Anlage B2.2) oder zusätzliches Totholz eingebracht werden (Beispiel: Vorgelagerte Spundwand mit strukturreicher Flachwasserzone an der SOW– Anlage B2.4). Totholz kann auch direkt am oder im Längsbauwerk befestigt werden. Bei entsprechender Ausbildung und Anordnung können Totholz und langfristig auch der Bewuchs Strömung und Wellen in der Wasserzone und am Ufer zusätzlich reduzieren. Wenn standort- und naturraumtypisches Sohlsubstrat hinter dem Längsbauwerk eingebracht wird, ist dieses entsprechend der hydraulischen Belastungen so zu wählen, dass es bei den zu erwarteten Belastungen weitgehend lagestabil ist. Wird das als Laichsubstrat für kieslaichende Fischarten notwendige, teilweise umlagerungsfähige Material in Wasserzonen eingebracht, muss dieses ggf. von Zeit zu Zeit reaktiviert werden.

Aus ökologischer Sicht ist meist eine möglichst weitreichende Abschirmung der Flachwasserzone und des Ufers gegenüber schiffsinduzierten Belastungen anzustreben (BfG 2007, Collas et al. 2018). In bestimmten Fällen kann jedoch auch ein größerer Wasseraustausch mit der Wasserstraße erforderlich sein, z. B. um Verlandungs- und Eutrophierungstendenzen entgegen zu wirken oder auch zur Förderung strömungsliebender Organismen. Dazu können die Längsbauwerke mit entsprechenden Öffnungen, wie im vorherigen Abschnitt zur technischen Wirkung beschrieben, ausgeführt werden. Für die besonderen Randbedingungen der urbanen Gewässer Berlins mit kleinen Wasserstandsschwankungen, großen Wassertiefen und geringen Fahrwasserbreiten haben sich Längsbauwerke aus Spundwänden mit dahinter liegenden Flachwasserzonen als Uferschutz- und ökologische Maßnahmen bewährt (Barth et al. 2026). Als günstig für diese Randbedingungen erwiesen sich dabei Öffnungsbreiten, die in etwa der Breite der Wasserzone entsprechen (mindestens ca. 6–8 m), damit die induzierten Strömungen die gesamte Wasserzone erfassen. Bewährte Tiefen dieser Öffnungen liegen für geringe Wasserstandsschwankungen bei ca. 0,3 m unter MNW. Dies gewährleistet, dass auch bei Niedrigwasserverhältnissen die Wasserzone gut durchströmt ist und Sekundärwellen, insbesondere von Sportbooten, noch stark gedämpft werden. Die nicht abgesenkten Bereiche sollten insbesondere während der Vegetationsperiode nur selten überströmt werden. Die Wassertiefe in der Wasserzone sollte unter Berücksichtigung des Absunks zumindest in einzelnen Bereichen nie weniger als 0,1 bis 0,2 m betragen (DWA-M 519 2016). Diese Bereiche sollten von Fischen noch in Richtung Hauptstrom verlassen werden können, um Fischsterben in sauerstoffarmen und sich schnell überhitzenden Restwasserflächen möglichst auszuschließen.

Generell kann für die oben genannten besonderen Randbedingungen mit einzelnen großen Öffnungen, insbesondere durch das temporäre Absunkfeld vorbeifahrender Schiffe, mehr Durchströmung in der Wasserzone erreicht werden. Hierzu sollten die Öffnungen in größeren Abständen von ca. $\frac{1}{2}$ bis $\frac{1}{3}$ der Schiffslänge angeordnet werden, um Strömungen hinter dem Längsbauwerk von Öffnung zu Öffnung zu induzieren. Kurz hintereinander angeordnete Öffnungen erzeugen meist nur lokal begrenzte Strömungseffekte.

Falls zu viel Erosion oder zu viel Sedimentation oder unerwünschte ökologische Entwicklungen stattfinden, können die schon erwähnten veränderbaren Öffnungen eine Anpassung der Prozesse ermöglichen. Ein besonderer Schutz neu angelegter Vegetation in der Wasserzone ist durch temporär kleinere Öffnungen während der kritischen Anwuchsphase möglich. Auch zum Schutz sensibler Organismen und Altersstadien, wie Libellenlarven und Fischbrut, vor Schifffahrtsbelastungen sind möglichst kleine Öffnungen im Vergleich zum charakteristischen Querschnitt der jeweiligen Wasserzone zu empfehlen. Je nach Randbedingungen und vorhandener Fischfauna kann es sinnvoll sein, zusätzlich sohlnahe „Fischfenster“ für eine bessere Fischzugänglichkeit anzuordnen. Generell besteht das ökologische Ziel darin, möglichst abwechslungsreiche Habitats mit unterschiedlichen Strömungsverhältnissen, Substraten, Böschungsneigungen und Wassertiefen zu entwickeln.

Mehr Informationen zur Gestaltung der Längsbauwerke und möglicher Öffnungen geben für vorgelagerte Spundwände (Mozer 2020), (BAW 2020), (BAW 2021), (Barth et al. 2026), (Söhngen 2026) oder auch für andere vorgelagerte Maßnahmen mit Praxisbeispielen (PIANC 2025), Teil 1, Kapitel 3.1.

Buhnen

Buhnen dienen wie Parallelwerke vornehmlich der Flussregelung, reduzieren aber gleichzeitig die hydraulischen Uferbelastungen innerhalb der Buhnenfelder aus dem natürlichen Strömungsfeld und der Schifffahrt. Wie bei Parallelwerken vergrößern sie den Abstand Schiff – Ufer, wodurch geringere Uferbelastungen infolge Schifffahrt vorhanden sind. Ansonsten hängt die Wirkung der Buhnen auf den Uferbereich von deren Anordnung in der Wasserstraße und den vorherrschenden Wasserständen ab.

Aus Abbildung 8 ist ersichtlich, dass besonders in Buhnenfeldern mit inklinanten, stromaufwärts gerichteten Buhnen aufgrund des Strömungsfeldes Anlandungen auftreten. Das heißt, dass die Uferbelastungen hier

vergleichsweise gering sind und sich diese Bereiche besonders zum Verzicht auf Ufersicherungen oder zur Anwendung von TBU eignen. Auch Uferbereiche in Bühnenfeldern mit orthogonal ausgerichteten Bühnen sind dafür geeignet. Bühnenfelder mit deklinant, stromabwärts ausgerichtete Bühnen weisen dagegen höhere Uferbelastungen und damit eine geringere Verlandungstendenz auf und bieten die ungünstigsten Randbedingungen für den Verzicht auf Ufersicherungen oder die Anwendung von TBU.

Da auch hier die Einschätzung der Uferbelastungen innerhalb der Bühnenfelder von vielen Einflussfaktoren abhängig ist, wird ebenfalls die Anwendung der Beobachtungsmethode wie bei den Längsbauwerken empfohlen.

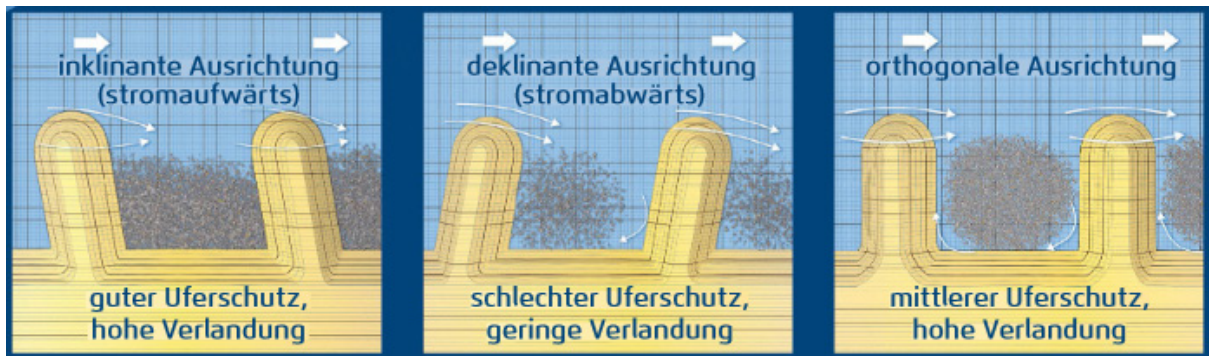


Abbildung 8: Einfluss der Anordnung der Bühnen auf Uferschutz und Verlandung

Hinsichtlich eines ökologischen Uferschutzes kann eine Anpassung bestehender Bühnen sinnvoll sein, um diese naturnäher (z. B. Bühnen unter Verwendung von Totholz) und in unterschiedlichen Formen (Kerb-, Knick-, Hakenbühnen) zu gestalten und so die Diversität von Strömung und Uferhabitaten zu fördern (Kleinwächter et al. 2017) oder auch ein Ersatz von Bühnen durch Längsbauwerke bzw. deren Kombination (Beispiel: Parallelwerk Reitwein an der Oder in Anlage B2.7).

Wenn die Oberkante der konstruktiven Maßnahmen bei schiffbaren Wasserständen unter Wasser liegen kann, ist eine Kennzeichnung der Längsbauwerke und Bühnen erforderlich, um Schiffsanfahrten zu verhindern. Bei Einsatz von Längsbauwerken vor senkrechten Ufersicherungen (z. B. Spundwänden) sollte die Notwendigkeit einer Landzugänglichkeit für Tier und Mensch geprüft werden.

7.4 Berücksichtigung von Synergieeffekten

TBU können neben ihrer technischen Schutzwirkung und ökologischen Funktion weitere positive Nebeneffekte aufweisen. Diese stellen ein Synergiepotenzial dar, das bei der Planung von TBU an Bundeswasserstraßen gezielt ausgeschöpft werden kann.

Ein möglicher Synergieeffekt ist die Wirkung als „ökologischer Trittstein“ über die lokale Habitatfunktion hinaus. Hierbei werden die Maßnahmen nicht nur punktuell zum Uferschutz angewandt, sondern in einem größeren Kontext als ökologisches Funktionselement entlang einer Bundeswasserstraße eingesetzt. Ziel ist eine Verknüpfungswirkung und die Schaffung von Wanderkorridoren für am Ufer lebende Arten (z. B. Libellen, Laufkäfer, Amphibien, Vögel etc.). Bei einer ökologisch-wasserwirtschaftlichen Gewässerentwicklung sollten TBU-Maßnahmen daher Berücksichtigung finden.

Insbesondere in Bereichen, in denen keine großräumige eigendynamische Entwicklung von Fluss und Ufer zugelassen werden kann, können TBU-Maßnahmen gezielt eingesetzt werden. Durch sie können diese Ge-

wässerstrecken ökologisch soweit aufgewertet werden, dass eine Durchwanderung und ein zeitweiser Aufenthalt in ihnen möglich sind. Je nach Zielart sind hierbei unterschiedliche TBU-Maßnahmen sowie verschiedene Größen und Abstände zwischen den Maßnahmen anzusetzen. Für die Fischfauna kann beispielsweise überhängende Vegetation, besonders in Kombination mit dem Einbau von Totholz im aquatischen Bereich, Rast- und Versteckmöglichkeiten schaffen.

TBU-Maßnahmen können darüber hinaus zur Vereinbarkeit und Synergie von verkehrlichen und wasserwirtschaftlichen Zielen beitragen. Speziell vorgelagerter Uferschutz, beispielsweise in Form von Längsbauwerken, ist hierfür geeignet. Muss aus verkehrlichen Gründen oder Standsicherheitsgründen eine Ufersicherung erhalten, erneuert oder eingebracht werden, ermöglicht eine vorgelagerte Sicherung, z. B. Lahnung (Beispiel: Vorgelagerte Doppelpfahlreihe mit Flachwasserzone am Neckar – Anlage B2.2) oder Spundwand (Beispiele: Vorgelagerte Spundwände mit Flachwasserzonen an der SOW – Anlagen B2.2 und B2.3), neben dem Schutz vor Wellenschlag aus sicherungstechnischen Gründen außerdem die Etablierung einer naturnahen Wasserzone.

Ein weiteres Beispiel ist die gezielte Strömungslenkung zur Fahrrinnenfreihaltung bei gleichzeitiger ökologischer Aufwertung durch vorgelagerte indirekte Ufersicherungen. Ein naturnahes Parallelwerk als vorgelagerter Uferschutz, z. B. aus Senkfaschinen zwischen Pfahlreihen, kann den Querschnitt lokal einengen und die Strömung in Richtung Fahrrinne lenken. Hierdurch werden Erosionsprozesse an der Sohle und damit einhergehend die Freihaltung der Fahrrinne gefördert. Zugleich entsteht durch die geminderten hydraulischen Einwirkungen auf das Ufer eine strömungsberuhigte, ökologisch hochwertige Wasserzone. In dieser können Sedimentations- und Sukzessionsprozesse wieder stattfinden, was sowohl die Profileinengung als auch die natürliche Sicherungsfunktion des Ufers durch Pflanzen weiter verstärkt. Ein anderes Beispiel für Synergieeffekte in Verbindung mit vorgelagerten Maßnahmen und erforderlichen Stromregelungsmaßnahmen zeigt der Steckbrief zu einem Parallelwerk an der Oder (Anlage B2.7).

Durch die Initiierung von gewünschten Anlandungs- oder Erosionsprozessen sowie durch die Sicherungs- und Regenerationsfähigkeit der Pflanzen kann zudem ein Synergieeffekt hinsichtlich der Reduzierung des Unterhaltungsaufwands erzielt werden.

Ein weiterer Synergieeffekt bei der Verwendung von TBU als Ersatz für technische Böschungssicherungen ist die Aufwertung des Landschaftsbildes. Gleichzeitig ist eine Besucherlenkung durch eine gezielte Maßnahmen- und Pflanzenauswahl möglich. In Bereichen, die von Erholungssuchenden aus sicherheitsrelevanten oder naturschutzfachlichen Gründen unangetastet bleiben sollen, kann durch eine besonders dichte Vegetation der Nutzungsdruck minimiert werden. Geeignet sind hierfür beispielsweise kompakte Maßnahmen wie Flechtzäune, Setzstangen oder die Pflanzung von einheimischen Hecken und Feldgehölzen.

Im Rahmen der europaweit zunehmenden Anforderungen an die Verbesserung der Gewässerstrukturen werden gerade an Binnenwasserstraßen künftig immer häufiger auch Planungsvorhaben Dritter (z. B. Kommunen, Verbände) zu beachten sein. Hier kann der Einsatz von TBU zusätzliche Möglichkeiten und Synergien eröffnen. Es sollte frühzeitig geprüft werden, inwieweit die verschiedenen Planungen sinnvoll miteinander zu verbinden oder zusammenzuführen sind.

7.5 Wahl eines Bemessungsstandards

Im Gegensatz zur Bemessung von technischen Schüttsteindeckwerken nach GBB (2011) sieht das Bemessungskonzept für direkte TBU in Anlehnung an DWA-M 519 (2016) verschiedene Bemessungsstandards mit unterschiedlichen Sicherheitsanforderungen an den Uferbereich vor. Neben den Bemessungsstandards BS I, II und III wurde ein neuer BS 0 definiert, der keine Bemessung erfordert. Dieser wird angewendet, wenn aufgrund der Randbedingungen direkt eine freie Uferentwicklung zugelassen werden kann. Auch das

ist ein mögliches Resultat des Planungsprozesses. Ein Beispiel für ein ungesichertes, dynamisches Ufer zeigt der Steckbrief zum Rhein, km 474,7–476,3 (Anlage B4.1).

Die Wahl des Bemessungsstandards und die Definition der konkreten Bemessungsrandbedingungen obliegen dem zuständigen WSA.

Mit den verschiedenen Bemessungsstandards ist für jeden Anwendungsfall eine differenzierte Dimensionierung von TBU möglich – je nachdem, ob ein stabiles Ufer gewährleistet werden muss oder ob Uferverformungen in unterschiedlichem Ausmaß zugelassen werden können oder sogar erwünscht sind. Maßgebend sind dabei das vorhandene Gefährdungspotenzial infolge Ufererosion und die Unterhaltungsmöglichkeiten des zuständigen WSA. Tabelle 8 erläutert die lokalen Voraussetzungen für die Wahl der einzelnen Bemessungsstandards.

Tabelle 8: Lokale Voraussetzungen für die Wahl eines Bemessungsstandards

	BS 0	BS I	BS II	BS III
Anforderungen an Uferstabilität	Keine Anforderung; Uferinstabilitäten (Ufererosion bzw. Böschungsverformungen) unbegrenzt, auch in großem Ausmaß, zulässig bzw. erwünscht; Ziel: unbegrenzte natürliche Entwicklung des Ufers	Uferinstabilitäten (Ufererosion bzw. Böschungsverformungen) begrenzt, ggf. auch in größerem Umfang, zulässig bzw. erwünscht; natürliche Entwicklung begrenzt zulässig	Uferinstabilitäten (Ufererosion bzw. Böschungsverformungen) nur begrenzt in geringem Umfang zulässig (z. B. in der kritischen Anfangsphase, ggf. Ausgleich durch Beobachtung und ggf. mehr Unterhaltung)	Gewährleistung der Uferstabilität ohne Abstriche; Ufererosion und Böschungsverformungen nicht zulässig
Mögliche Randbedingungen für die Anwendung (beispielhaft)	Uferbereiche ohne jegliche Sicherheitsrelevanz, ohne HW-Schutzfunktion	Uferbereiche ohne signifikante Sicherheitsrelevanz, ohne HW-Schutzfunktion	Uferbereiche mit geringer Sicherheitsrelevanz, ohne HW-Schutzfunktion	Uferbereiche mit hoher Sicherheitsrelevanz (z. B. ufernahe Bebauung, HW-Schutzfunktion)
	Flächenverfügbarkeit* generell gegeben	Flächenverfügbarkeit* im erforderlichen, auch größeren, Umfang gegeben	Flächenverfügbarkeit* im erforderlichen Umfang gegeben	Keine Flächenverfügbarkeit* gegeben
	Materialeintrag in Fahrrinne unkritisch und zulässig	Materialeintrag in Fahrrinne zulässig, keine negativen bzw. nur begrenzte Auswirkungen auf Schifffahrt zu erwarten (ggf. höherer Baggeraufwand)	Geringer Materialeintrag in Fahrrinne zulässig (ggf. höherer Baggeraufwand)	Kein Materialeintrag in Fahrrinne zulässig

* Kriterien für Flächenverfügbarkeit: Eigentumsverhältnisse, landwirtschaftliche oder verkehrliche Nutzung (z. B. Straßen und Wege), Bebauung, Deiche, schützenswerte Ökosysteme.

Im Bemessungsstandard BS III werden TBU analog zu den rein technischen Schüttsteindeckwerken nach den Vorgaben des GBB (2011) bemessen. Die Uferstabilität ist ohne Abstriche zu gewährleisten. Das bedeutet, alle Schiffe werden in ungünstiger Fahrweise (ufernahe Fahrt mit einer Geschwindigkeit von 97 % v_{krit}) bei der Bemessung berücksichtigt. Damit werden auch die extrem fahrenden Schiffe erfasst, die in der Regel maßgebend für die Bemessung sind. Außerdem sind die Grenzwerte hinsichtlich Oberflächenerosion (Kapitel 7.6, Tabelle 11) einzuhalten.

Mit der Wahl von BS I oder II wird von dem Ziel „stabile Ufer“ abgewichen. Im Gegensatz zu BS III werden Uferinstabilitäten in unterschiedlichem Ausmaß temporär oder auch dauerhaft zugelassen. Das bedeutet, dass in der kritischen Anfangsphase und möglicherweise auch darüber hinaus eine verstärkte Beobachtung der Ufersicherungen eingeplant werden sollte, um rechtzeitig zu erkennen, ob und wann Unterhaltung erforderlich ist. Dieses Vorgehen basiert u. a. auf der Tatsache, dass die Stabilität der TBU mit zunehmendem Wurzel- und Sprosswachstum zunimmt. Da die Wurzeln in dem aktuellen Bemessungskonzept noch nicht berücksichtigt werden, sind bei erfolgreicher Entwicklung der Maßnahmen langfristig Sicherheitsreserven vorhanden.

Für BS I und II kann daher im Unterschied zu BS III von den ungünstigen Annahmen für die Randbedingungen abgewichen werden. Tabelle 9 gibt Hinweise, welche Bemessungsannahmen für BS I und II getroffen werden können und welche Konsequenzen das haben kann.

Tabelle 9: Beispiele für Bemessungsannahmen bei Wahl des BS I und II

	Bemessungsannahmen	Auswirkungen auf die	
		Bemessungswerte	Uferstabilität
1	Nichtberücksichtigung selten fahrender, für die Bemessung ansonsten maßgebender Schiffe	Geringer errechnete Uferbelastungen als bei BS III	Die wenigen, nicht berücksichtigten Schiffe können zu Schäden am Ufer führen.
2	Nichtberücksichtigung der extrem fahrenden Schiffe (Schiffsgeschwindigkeit < 0,97 v_{krit} und keine ufernahe Fahrt)	Geringer errechnete Uferbelastungen als bei BS III	Extrem fahrende, nicht berücksichtigte Schiffe können zu Schäden am Ufer führen.
3	Zulassen von Grenzwertüberschreitungen hinsichtlich Oberflächenerosion	Abweichung von vorgegebenen Grenzwerten	Größere hydraulische Belastungen zulässig, können zu Schäden am Ufer führen.

Mit der Wahl eines BS I bzw. II kann die Anwendbarkeit von TBU an Wasserstraßen dort, wo keine freie Uferentwicklung wie im BS 0 zugelassen werden kann, erhöht werden. Es werden eher rein pflanzliche Ufersicherungen ohne signifikantes Flächengewicht oder auch ein genereller Verzicht auf Ufersicherungen möglich und damit eine bessere ökologische Aufwertung der Ufer erreicht.

Erläuterungen zu Zeile 1 (Tabelle 9)

An Wasserstraßen mit wenig Verkehr fahren häufig überwiegend nur Sport- und Fahrgastschiffe, selten Güterschiffe (Netzkategorie D bis F). Hier besteht zum Beispiel die Möglichkeit, diese wenigen Schiffe bei der Bemessung im BS I bzw. II nicht zu berücksichtigen. Analog dazu können an viel befahrenen Wasserstraßen selten fahrende, ansonsten für die Bemessung maßgebende Schiffe nicht berücksichtigt werden. Auch wenn schon ein einziges Schiffseignis zu Schäden am Ufer führen kann, nehmen die Wahrschein-

lichkeit und das Ausmaß von Schäden mit der Anzahl der relevanten Ereignisse zu. Möglicherweise auftretende Schäden durch die wenigen, nicht berücksichtigten Schiffe werden in diesem Fall je nach Randbedingungen hingenommen oder durch Unterhaltung kompensiert.

Erläuterungen zu Zeile 2 (Tabelle 9)

Die hydraulischen Einwirkungen beeinflussen maßgebend die Uferstabilität. Die Uferbelastungen (Wellenhöhe, Absenk und Strömungsgeschwindigkeit) nehmen mit zunehmender Schiffsgeschwindigkeit exponentiell zu. Das heißt, werden Schiffe mit den maximalen Schiffsgeschwindigkeiten nicht berücksichtigt, sind die errechneten Uferbelastungen deutlich kleiner. Verschiedene Schiffsbeobachtungen haben gezeigt, dass die Mehrheit der Schiffe in der Regel nicht mit 97 % v_{krit} fahren, wie im BS III berücksichtigt. Deshalb wird als eine Option empfohlen, die Schiffsgeschwindigkeit im BS I bzw. II auf 85 % bzw. 90 % der kritischen Schiffsgeschwindigkeit für die Berechnungen zu reduzieren.

In größeren Wasserstraßenquerschnitten ist für Schiffe oft nicht die kritische Geschwindigkeit v_{krit} die maßgebende Grenze für die maximal erreichbare Schiffsgeschwindigkeit, sondern die Antriebsleistung der Schiffe. In diesem Fall wird im BS I und II zusätzlich auch die Leistung reduziert berücksichtigt. In allen drei Bemessungsstandards ist die sich aus beiden Kriterien ergebende minimale Schiffsgeschwindigkeit maßgebend für die Bemessung. Tabelle 10 zeigt die für die Bemessung empfohlenen Geschwindigkeiten bzw. Antriebsleistungen der Schiffe für die Bemessungsstandards I, II und III. Grundlage für die Festlegung der empfohlenen Antriebsleistungen sind Ergebnisse des Entwicklungszentrums für Schiffstechnik und Transportsysteme e. V. Duisburg (DST) (Broß und Henn 2012). Für BS III sind die Werte nach Tabelle 10 in jedem Fall einzuhalten. Für BS I und II kann von den in Tabelle 10 empfohlenen Schiffsgeschwindigkeiten und Antriebsleistungen abgewichen werden. Die Schiffsgeschwindigkeit könnte für BS II bis minimal 85 % v_{krit} herabgesetzt werden. Für BS I könnte die Schiffsgeschwindigkeit im sinnvollen Bereich auch kleiner als die empfohlenen 85 % v_{krit} gewählt werden, die erforderlichen nautischen Mindestgeschwindigkeiten sind dabei zu beachten.

Tabelle 10: Empfehlungen zum Ansatz von Schiffsgeschwindigkeit und Antriebsleistung

Bemessungsstandard	Geschwindigkeit der Schiffe	Antriebsleistung der Schiffe
BS I	85 % v_{krit}	50 % Leistung in der Bergfahrt 30 % Leistung in der Talfahrt
BS II	90 % v_{krit}	90 % Leistung in der Bergfahrt 50 % Leistung in der Talfahrt
BS III	97 % v_{krit}	100 % Leistung in der Bergfahrt 100 % Leistung in der Talfahrt

Auch der Uferabstand des Schiffes beeinflusst die schiffsinduzierten Uferbelastungen. Ufernahe Fahrten am Fahrrinnenrand erzeugen größere Einwirkungen als mittige bzw. uferferne Fahrten. Deshalb besteht, je nach Randbedingungen, die Möglichkeit, im BS I bzw. BS II bei den Berechnungen nur mittige Fahrten anzusetzen. Eine Anwendung ist z. B. denkbar, wenn nur wenige Schiffe verkehren, die dann aufgrund seltener Begegnungen meistens mittig fahren.

Die reduzierte Geschwindigkeit bzw. Leistung der Schiffe und/oder die mittige Fahrt sind dann maßgebend für die Bemessung. Schiffe, die schneller bzw. mit mehr Leistung oder ufernäher fahren als angenommen, werden in der Bemessung nicht berücksichtigt. Die dadurch möglicherweise am Ufer auftretenden Erosionen bzw. Böschungsruhrschungen werden akzeptiert. Sollen die Uferveränderungen begrenzt werden, muss von vornherein ein erhöhter Unterhaltungsaufwand eingeplant werden. Um mögliche Auswirkungen auf die Uferstabilität bei der Wahl eines BS I oder II abschätzen zu können, kann es sinnvoll sein, parallel eine Bemessung nach BS III durchzuführen und die Ergebnisse zu vergleichen. Entscheidend sind die ermittelten Flächengewichte und die Erfüllung der Grenzwerte hinsichtlich Oberflächenerosion nach Kapitel 7.6, Tabelle 11.

Wenn eine Statistik über die Schiffsflotte und deren gefahrene Geschwindigkeiten und Fahrweisen (z. B. aus Schiffsbeobachtungen, AIS-Daten) für den Planungsbereich vorliegt, kann diese eine gute Grundlage für die Festlegung der Randbedingungen nach Tabelle 9 in den Bemessungsstandards I bzw. II sein. Damit kann abgeschätzt werden, wie viele Schiffe durch die getroffenen Annahmen bei der Bemessung nicht berücksichtigt werden.

Erläuterungen zu Zeile 3 (Tabelle 9)

Eine weitere Möglichkeit, einen BS I oder II zu berücksichtigen, ist das Zulassen von Grenzwertüberschreitungen hinsichtlich Oberflächenerosion – zum Beispiel im Anfangszustand einer TBU-Maßnahme (Kapitel 7.6, Tabelle 11). Da die Belastbarkeit der Ufersicherungen mit zunehmendem Wurzel- und Sprosswachstum größer wird, können die anfänglichen Defizite durch Beobachtung und ggf. mehr Unterhaltung in der Anwachsphase ausgeglichen werden.

Grundsätzlich sollten im Zusammenhang mit der Wahl des Bemessungsstandards auch die Möglichkeiten administrativer oder konstruktiver Maßnahmen zur temporären oder auch dauerhaften Reduzierung der Uferbelastungen nach Kapitel 7.3 geprüft werden.

7.6 Technische Bemessung einer direkten TBU

Sind die standortspezifischen Randbedingungen ermittelt (Kapitel 7.2), Maßnahmen zur Reduzierung der Uferbelastungen (Kapitel 7.3), Möglichkeiten von Böschungsabflachungen und mögliche Synergieeffekte (Kapitel 7.4) geprüft und ein Bemessungsstandard gewählt (Kapitel 7.5), kann die eigentliche Bemessung erfolgen. Da TBU nur um und oberhalb Mittelwasser bzw. Normalstau angewendet werden, muss die Dimensionierung für den Unterwasserbereich (i. d. R. ein Schüttsteindeckwerk) separat durchgeführt werden.

Für die technische Bemessung steht die Software GBBSoft+ zur Verfügung (Kapitel 2.4), die zur Anwendung empfohlen wird. Mit dieser können zunächst die hydraulischen Uferbelastungen ermittelt und danach neben rein technischen Schüttsteindeckwerken nach GBB (2011) auch TBU nach DWA-M 519 (2016) und GBB (2011) dimensioniert werden. Die Anwendung von GBBSoft+ wird in der Anlage C anhand eines Bemessungsbeispiels erläutert.

Abbildung 9 zeigt eine Übersicht zur Vorgehensweise bei der technischen Bemessung einer direkten TBU.

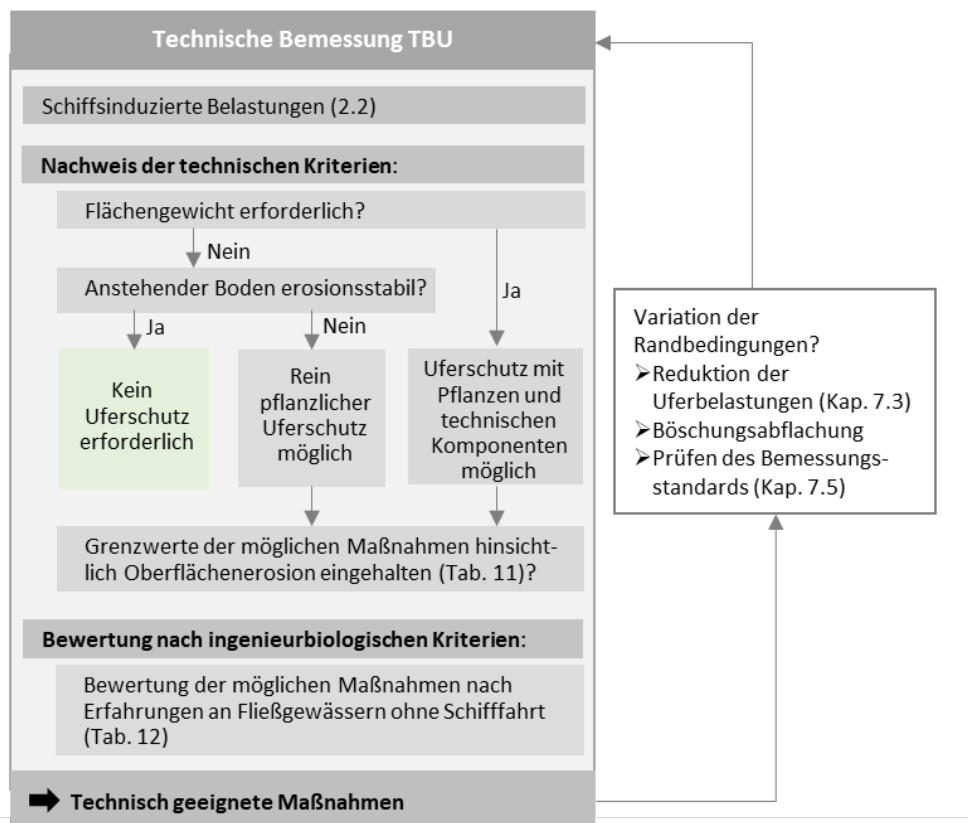


Abbildung 9: Übersicht – Technische Bemessung einer direkten TBU

Nachweis der technischen Kriterien

Wenn eine unbegrenzte natürliche Uferentwicklung nicht zugelassen werden kann (siehe Tabelle 8), muss die durch natürliche und schiffsinduzierte Strömungen und Wellen sowie den Wasserspiegelabsenk belastete Uferböschung entsprechend dem gewählten Bemessungsstandard erosionsstabil und sicher gegen oberflächennahes Abgleiten der Böschung, hydrodynamische Bodenverlagerung und Oberflächenerosion sein (Kapitel 2.3).

Um dies für den konkreten Fall nachzuweisen, wird im Rahmen der „technischen Kriterien“ zunächst geprüft, ob überhaupt ein Uferschutz erforderlich ist und wenn ja, Art und Umfang einer Ufersicherung ermittelt. Im ersten Schritt wird dazu nach Abbildung 9 untersucht, ob ein Flächengewicht auf der Böschung zur Vermeidung von Abgleiten und hydrodynamischer Bodenverlagerung bei Auftreten von Porenwasserüberdrücken im Boden erforderlich ist (Kapitel 2.3). Dazu wird ein fiktives, unter den gegebenen Randbedingungen erforderliches loses Schüttsteindeckwerk mit einem quasi gewichtslosen Geotextilfilter nach GBB (2011) bemessen. Die rechnerisch erforderliche Deckschichtdicke zeigt, ob und in welcher Größe die zu planende TBU ein Flächengewicht aufweisen muss. Ist kein Flächengewicht notwendig, wird nach Abbildung 9 im zweiten Schritt geprüft, ob der im Bereich der Uferböschung anstehende Boden ohne Bewuchs eine ausreichende Sicherheit gegen Oberflächenerosion aufweist. Aufgrund vieler Einflussfaktoren ist diese Prüfung auch unter vereinfachten Annahmen (z. B. einer uferparallelen Strömung) sehr komplex.

Für nichtbindige Böden kann zur Abschätzung der Erosionsstabilität die nach GBB (2011), Kapitel 6.1 bis 6.7, für das fiktive lose Schüttsteindeckwerk ermittelte erforderliche mittlere Einzelsteingröße D_{50} herangezogen werden. Ist diese größer als die mittlere Korngröße des Bodens ($d_{50, \text{Boden}}$), ist davon auszugehen, dass der Boden nicht erosionsstabil ist. Dies ist ein auf der sicheren Seite liegender, konservativer Ansatz,

der neben Strömungsbelastungen auch Einwirkungen aus Wellen berücksichtigt. Für genauere Analysen, z. B. bei Berücksichtigung ungleichförmiger Böden bzw. bei einer natürlichen Deckschichtbildung, die detailliertere Randbedingungen, ggf. zusätzliche Untersuchungen und spezielle Fachkunde erfordern, wird auf die einschlägige Literatur verwiesen – z. B. Dittrich (1998), DVWK (1997), Chang (1987).

Bei bindigen Böden führt die kohäsive Bindung zwischen den Partikeln zu einer Erhöhung der Erosionsstabilität. Da diese von vielen verschiedenen Einflussfaktoren abhängig ist und daher keine allgemein gültigen Bemessungsformeln und entsprechende Kennwerte vorliegen, müssten sie standortspezifisch ermittelt werden (z. B. durch Natur- bzw. Laborversuche). Für eine erste Einschätzung können typische Bandbreiten der kritischen Strömungsgeschwindigkeit und kritischen Schubspannung für den Bewegungsbeginn abhängig von der Bodenart der Literatur entnommen werden – z. B. Briaud et al. (2017), Hoffmans und Verheij (2021).

Weitere Anhaltswerte für kritische Strömungsgeschwindigkeiten und Schubspannungen auch für nichtbindige Böden liefern (Bollrich 2000) und für kritische Strömungsgeschwindigkeiten und Wellenhöhen (PIANC 2025), Teil 1, Kapitel 3.4 und 3.5. Zudem gibt (PIANC 2025), Teil 3, Kapitel C1.2 weitere Hinweise zur Prüfung, ob ein Uferschutz erforderlich ist. All diese Betrachtungen können in der Regel eine detaillierte Prüfung unter Einbeziehung der örtlichen Erfahrungen (z. B. durch Naturversuche) nicht ersetzen. Es sei denn, die Literaturdaten zur Erosionsstabilität sind unter Beachtung der Unsicherheiten deutlich kleiner bzw. größer als die vorhandenen Belastungen.

Ergeben die vorgenannten Betrachtungen, dass die Böschung ohne Uferschutz erosionsstabil ist und kein Flächengewicht erforderlich ist, kann ganz auf eine Ufersicherung verzichtet und möglicherweise vorhandene Sicherungen zurückgebaut werden. Das Ufer ist in diesem Fall ohne Uferschutz entsprechend dem Bemessungsstandard ausreichend stabil (Abbildung 9).

Ist die ungeschützte Böschung nicht erosionsstabil, ist eine Ufersicherung erforderlich. Je nach Notwendigkeit eines Flächengewichtes auf der Böschung ist entweder eine TBU ohne technische Komponenten oder mit technischen Komponenten anwendbar. Nur wenn rechnerisch kein Flächengewicht erforderlich ist, können nach derzeitigem Kenntnisstand rein ingenieurbioökologische Ufersicherungen angewendet werden, bei denen der Uferschutz dauerhaft nur durch Pflanzen gewährleistet wird (z. B. Weidenspreitlagen oder vorkultivierte Pflanzmatten, Kurzbeschreibungen in den Anlagen A1 und A2). Bei Maßnahmen mit technischen Komponenten muss das rechnerisch erforderliche Flächengewicht dauerhaft gewährleistet werden (z. B. Röhrichtgabionen oder begrünte Steinschüttungen, Kurzbeschreibungen in den Anlagen A3 und A4). Unter bestimmten Randbedingungen, z. B. bei sehr großen Uferbelastungen, können die Nachweise auch ergeben, dass ein konventionelles Schüttsteindeckwerk erforderlich ist.

Grundsätzlich sind nur Maßnahmen anwendbar, die die genannten technischen Kriterien – Flächengewicht bei Erfordernis und Sicherheit gegen Oberflächenerosion – unter den für den Bemessungsstandard gewählten Randbedingungen erfüllen.

Die Prüfung, ob die nach dem Kriterium Flächengewicht anwendbaren TBU im konkreten Fall ausreichende Sicherheit gegen Oberflächenerosion aufweisen, erfolgt auf der Grundlage der im DWA-M 519 (2016) zusammengestellten Grenzwerte für zulässige ufernahe Strömungsgeschwindigkeiten, Schubspannungen und Wellenhöhen. Die im DWA (2016) angegebenen Wertespektren basieren überwiegend auf Erfahrungen an Fließgewässern ohne Schifffahrt. Diese Werte wurden unter Berücksichtigung der Streubreite der Erfahrungswerte und neuerer Erfahrungen z. B. am Rhein (BAW/BfG/WSA Oberrhein 2020) an die Gegebenheiten von Wasserstraßen angepasst. Tabelle 11 zeigt die Grenzwerte für bereits an Wasserstraßen erprobte TBU. Grenzwerte für weitere TBU-Maßnahmen (Anlage C, Tabelle C2), für die bisher noch wenig Erfahrungen an Wasserstraßen vorliegen, sind auch in (DWA-M 519 2016) verfügbar und in GBBSoft+ hinterlegt.

Im Rahmen der technischen Bemessung werden die in DWA-M 519 (2016) angegebenen unteren Grenzwerte für den kritischen Anfangszustand, Mittelwerte für den Zustand der Maßnahme etwa ein Jahr nach Einbau und die Maximalwerte für den langfristig besten Zustand verwendet. Hiermit wird die zeitliche Entwicklung der Pflanzen berücksichtigt. Mit zunehmendem Wurzel- und Sprosswachstum werden die Maßnahmen widerstandsfähiger.

Die jeweiligen Grenzwerte für die TBU-Maßnahmen (Tabelle 11) werden mit den im konkreten Fall vorherrschenden ufernahen Belastungen (maximale Wellenhöhe, Strömungsgeschwindigkeit und Schubspannung) verglichen. Die schiffsinduzierten Belastungen können nach GBB (2011) oder mit Hilfe der Software GBBSOFT+ berechnet oder auch aus Naturmessungen bestimmt werden. Natürliche hydraulische Belastungen können aus hydrodynamisch-numerischen Modellen oder Messungen ermittelt werden. Da die geotechnischen Nachweise nach GBB (2011) mit auf der sicheren Seite liegenden Lastansätzen geführt werden und das Schadenspotenzial der lokalen Versagensmechanismen relativ gering ist, ist nur der Grenzgleichgewichtszustand nachzuweisen (Kapitel 2.3). Das heißt, die ufernahen Belastungen sollten die Grenzwerte nach Tabelle 11 nicht überschreiten.

Tabelle 11: Grenzwerte hinsichtlich Oberflächenerosion für ausgewählte TBU nach DWA-M 519 (2016)

Bauweise	Belastungsgrenzwerte gegenüber Oberflächenerosion (Werte im Bereich der Ufersicherung)									Bemerkung
	Strömungsgeschwindigkeit v [m/s]			Schubspannung τ [N/m²]			Wellenhöhe H [m]			
	A	1 J.	L	A	1 J.	L	A	1 J.	L	
Röhrichtmatte mit Vegetationswalze	1,3	1,9	2,3	25	45	65	0,15	0,30	0,55	Mit stabilem Geotextil für flächigen Erosionsschutz
Spreitlage mit Steinschüttung als Fußsicherung	2,0	2,3	2,5	50	100	240	0,40	0,55	0,80	–
Begrüntes Kammerdeckwerk / begrünte Gabionen	2,6	2,9	3,2	-*	-*	-*	1,00	1,00	1,00	Pflanzenauswahl entscheidend
Begrünte (lose) Steinschüttung (Steine ≥ LMB _{5/40})	2,1	2,4	2,6	70	90	110	0,90	1,00	1,00	Belastungsgrenzen abhängig von Steingrößen**

A – kritischer Anfangszustand, 1 J. – Zustand etwa nach 1 Jahr, L – langfristig bester Zustand

* keine Werte vorhanden, ** Prüfung der Erosionsstabilität der Einzelsteine erfolgt nach GBB (2011)

Bewertung nach ingenieurb biologischen Kriterien

Zusätzlich können „ingenieurb biologische Kriterien“ nach DWA-M 519 (2016) als weitere Entscheidungshilfe herangezogen werden. Dabei erfolgt eine Bewertung der technisch anwendbaren Maßnahmen nach qualitativen ingenieurb biologischen Kriterien. Das Ziel ist, bevorzugt die unter den gegebenen Randbedingungen vergleichsweise naturnächste Maßnahme zu empfehlen, die z. B. möglichst wenig technische Komponenten besitzt. Dazu muss der anstehende Boden für den konkreten Anwendungsfall zusätzlich qualitativ den Eigenschaften „steinig-blockig“, „kiesig-sandig“ oder „lehmig-schluffig“ zugeordnet werden (Kapitel 7.2.3). Die Böschungsneigung wird als „steil“ (steiler als 1:3) oder „flach“ (1:3 oder flacher) eingeschätzt.

Die schiffsinduzierte Uferbelastung kann grob anhand der Kriterien Uferabstand, Wellenhöhe und Absunkgröße nach DWA-M 519 (2016) als „hoch“, „mittel“ oder „gering“ eingestuft werden. Für diese qualitativen Randbedingungen liegen Erfahrungen von Fließgewässern ohne Schifffahrt vor, die auf Kanäle, staugeregelte und freifließende Flüsse übertragen wurden (DWA-M 519 2016).

Tabelle 12 zeigt die Bewertung für die bereits an Wasserstraßen erprobten TBU-Maßnahmen für die Anwendung an einem freifließenden und staugeregelten Fluss sowie an einem Kanal. Daraus ist ersichtlich, in wieweit die nach technischen Kriterien anwendbaren Maßnahmen aus ingenieurbilogischer Sicht unter den gegebenen Randbedingungen zu empfehlen (+), bedingt zu empfehlen (0) oder nicht zu empfehlen (-) sind. Dabei ist zu berücksichtigen, dass hier nicht die Eignung der Maßnahmen eingeschätzt wird. Kammerdeckwerke werden beispielsweise bei kiesig-sandigem Boden und flachen Böschungen am frei fließenden Fluss nur bei hohen und mittleren Belastungen empfohlen, nicht aber bei geringen Belastungen. Hier wären sie prinzipiell auch geeignet. Aus ingenieurbilogischer Sicht werden unter diesen Bedingungen jedoch vorzugsweise Maßnahmen ohne technische Komponenten, z. B. Röhrichtmatten, empfohlen. Weitergehende Erläuterungen können (DWA-M 519 2016) entnommen werden.

Bewertungen für weitere TBU-Maßnahmen (Anlage C, Tabelle C2), für die bisher noch wenig Erfahrungen an Wasserstraßen vorliegen, sind in DWA-M 519 (2016) verfügbar und in GBBSOft+ hinterlegt.

Tabelle 12: Ingenieurbilogische Empfehlung für ausgewählte Maßnahmen an Kanälen / staugeregelten Flüssen / freifließenden Flüssen nach DWA-M 519 (2016) („+“ – zu empfehlen, „0“ – bedingt zu empfehlen, „-“ – nicht zu empfehlen)

Boden-substrat	Böschung-neigung	Belastungs-klasse	Röhrichtmatte mit Vegetations-walze	Spreitlage mit Steinschüttung als Fußsiche-rung	Begrüntes Kammerdeck-werk / Gabio-nen	Begrünte Steinschüttung (Steine LMB _{5/40})
steinig-blockig	steil	hoch	- / - / -	+ / 0 / 0	0 / 0 / 0	+ / + / +
		mittel	- / - / -	0 / - / -	- / 0 / 0	+ / + / +
		gering	- / - / -	- / - / -	- / - / -	- / - / 0
	flach	hoch	- / - / -	0 / 0 / 0	+ / + / +	+ / + / +
		mittel	- / - / -	0 / - / 0	0 / 0 / +	+ / + / 0
		gering	0 / 0 / -	- / - / -	- / - / -	- / - / 0
kiesig-sandig	steil	hoch	- / - / -	+ / + / +	0 / 0 / 0	+ / + / +
		mittel	- / - / -	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0	+ / + / 0
		gering	0 / - / -	- / - / -	- / - / -	- / - / 0
	flach	hoch	- / - / -	+ / + / +	+ / + / +	+ / + / +
		mittel	- / - / -	0 / 0 / 0	0 / 0 / +	0 / 0 / +
		gering	+ / + / 0	- / - / -	- / - / -	- / - / -
lehmig-schluffig	steil	hoch	- / - / -	+ / + / +	0 / 0 / -	0 / 0 / 0
		mittel	- / - / -	0 / 0 / 0	- / - / -	0 / 0 / 0
		gering	0 / 0 / -	- / - / -	- / - / -	- / - / -
	flach	hoch	- / - / -	+ / + / +	0 / 0 / 0	0 / 0 / 0
		mittel	0 / - / -	0 / 0 / 0	0 / - / 0	0 / 0 / -
		gering	+ / + / 0	- / - / -	- / - / -	- / - / -

Nach Prüfung der technischen und ingenieurbioologischen Kriterien stehen die technisch anwendbaren Maßnahmen fest, die unter den gegebenen Randbedingungen und dem gewählten Bemessungsstandard den erforderlichen Uferschutz gewährleisten können. Maßgebend für die Wahl einer TBU sind in erster Linie die technischen Kriterien. Diese entscheiden, ob eine Ufersicherungsmaßnahme mit einem Flächengewicht erforderlich ist und wie groß dieses sein muss, und ob die Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion in dem geforderten Maße erfüllt wird. Die ingenieurbioologischen Kriterien führen zu ergänzenden qualitativen Empfehlungen.

Entsprechend der Vorgehensweise nach Kapitel 7.1, Abbildung 7 können mehrere verschiedene Berechnungen durchgeführt werden, um alternative Maßnahmen zur Reduzierung der hydraulischen Uferbelastungen (Kapitel 7.3) oder Böschungsabflachungen in ihrer Wirksamkeit zu prüfen oder verschiedene Bemessungsstandards zu untersuchen. So gelangt man iterativ zu den bestmöglichen, technisch geeigneten Maßnahmen.

7.7 Auswahl der Bauweise

Aus der technischen Bemessung (Kapitel 7.6) können sich für die konkreten standortspezifischen Randbedingungen eine oder mehrere technisch anwendbare TBU ergeben. Für die Auswahl der anzuwendenden Bauweise sind im nächsten Schritt weitere Kriterien zu berücksichtigen:

- Anwendungsgrenzen
- Ökologische Wirksamkeit
- Kosten

Anwendungsgrenzen

Bei bisherigen Anwendungen von TBU in der Praxis und insbesondere bei einer Versuchsstrecke am Rhein bei Worms (BAW/BfG/WSA Oberrhein 2020) konnten die Grenzen für den Einsatz verschiedener direkter TBU-Maßnahmen aktualisiert und präzisiert werden. Anwendungsbeschränkungen können sich zum Beispiel an freifließenden Flüssen mit häufigen, langanhaltenden Überflutungen bei gleichzeitigen schiffsinduzierten Belastungen ergeben. Die wichtigsten Anwendungsgrenzen sind in den Kurzbeschreibungen für ausgewählte Maßnahmen in Anlage A zusammengestellt. Zusätzlich sind Anwendungsgrenzen in verschiedenen Unterlagen dokumentiert (DWA-M 519, Anhang A.2 (2016), Kennblätter (BAW/BfG 2018), Monitoringbericht zur Versuchsstrecke am Rhein, Anlage 3 (BAW/BfG/WSA Oberrhein 2020)).

Ökologische Wirksamkeit

Aus den technisch anwendbaren TBU-Maßnahmen sollen möglichst diejenigen Maßnahmen und die Pflanzen (Kapitel 7.9) ausgewählt werden, die die ökologische Zielstellung (Kapitel 6) unter den gegebenen Randbedingungen am besten erfüllen können. Dazu werden die vorhandenen ökologischen Defizite, das standorttypische Besiedlungspotenzial des betrachteten Uferbereichs und die sich daraus ergebenden ökologischen Anforderungen an die Ufersicherungen im Vorfeld bestimmt.

Zur ökologischen Wirksamkeit der verschiedenen TBU an Binnenwasserstraßen gibt es bisher noch relativ wenig Erkenntnisse. Grundsätzliche ökologische Potenziale von TBU und strukturverbessernden Maßnahmen sind im Kapitel 6, Tabelle 3 dargestellt. In Anlage A des vorliegenden Merkblattes sind bereits an Wasserstraßen erprobte TBU in Kurzbeschreibungen zusammengestellt, die auch Hinweise zur ökologischen Wirksamkeit der einzelnen Maßnahmen beinhalten. Eine erste sehr grobe Experteneinschätzung zur ökologischen Wirksamkeit verschiedener TBU im Vergleich zu einem losen Schüttsteindeckwerk ist im DWA-M 519 (2016), Tabelle 11 enthalten. Fundiertere Erkenntnisse zu verschiedenen Bauweisen wurden in der Versuchsstrecke am rechten Rheinufer (km 440,6 bis km 441,6) nach einem achtjährigen Monitoring ge-

wonnen. Im Monitoringbericht (BAW/BfG/WSA Oberrhein 2020) sind detaillierte Auswertungen zur ökologischen Wirksamkeit der getesteten TBU enthalten. Dabei wurden die Bauweisen nach unterschiedlichen Kriterien beurteilt (Vegetation, Fauna, Heterogenität, verwendete Materialien, CO₂-Speichervermögen).

Kosten

Auch Kosten sind zu beachten und können für die Auswahl der TBU-Maßnahme relevant sein. Hinweise gibt Kapitel 7.12.

7.8 Dimensionierung und konstruktive Ausbildung

Wenn die direkte TBU-Maßnahme, die ausgeführt werden soll, nach Kapitel 7.7 ausgewählt wurde, ist diese entsprechend der Berechnungsergebnisse (Kapitel 7.6) endgültig zu dimensionieren und konstruktiv auszubilden. Dazu gehören folgende Schritte:

- Realisierung des berechneten Flächengewichtes (falls erforderlich)
- Vermeidung von Materialaustrag durch filterstabilen Aufbau
- Auswahl der anwendbaren Pflanzen (Kapitel 7.9)
- Auswahl der Befestigungselemente
- Gestaltung möglicher Übergänge
- Prüfen der Möglichkeit der Anordnung zusätzlicher Strukturelemente zur weiteren ökologischen Aufwertung (Kapitel 7.10)

Die sich aus dem rechnerisch erforderlichen Flächengewicht ergebende Schichtdicke der Ufersicherung ist durch die TBU-Maßnahme zu gewährleisten. Das heißt, die Schichtdicke ist z. B. für ein begrüntes Kammerdeckwerk oder eine begrünte Steinschüttung nach den Berechnungsergebnissen festzulegen. Dabei ist bei einer begrünten losen Steinschüttung auch die Steinklasse nach der ermittelten erforderlichen Einzelsteingröße auszuwählen und die Minstdicke nach GBB (2011), Kapitel 6.9 – u. a. zur Gewährleistung einer ausreichenden Verzahnung der Einzelsteine – zu berücksichtigen. Für ein Kammerdeckwerk ist das nicht erforderlich, da die Steine in einem Netz oder Drahtkorb gehalten werden. Ist rechnerisch nur ein geringes Flächengewicht erforderlich, könnte eine pflanzliche Ufersicherung wie z. B. Weidenspreitlagen auch in Kombination mit einer dünnen erosionsstabilen Kiesschicht als technische Komponente angewendet werden. Voraussetzung ist, dass die Kiesschüttung den Weidenaufwuchs nicht nachteilig beeinträchtigt.

Die Filterstabilität im Uferbereich ist konstruktiv zu gewährleisten. Hierzu ist der Aufbau der Ufersicherungsmaßnahme dahingehend zu prüfen, ob ein filterstabiler Aufbau zum anstehenden Boden und innerhalb der Ufersicherung selbst gegeben ist. Ist das nicht der Fall, sind zusätzliche Filter anzuordnen. Pflanzmatten können beispielsweise auf einem vorzugsweise temporären, abbaubaren Geotextil verlegt werden, das nach MAG (2021) auf den anstehenden Boden bemessen wird (Fleischer et al. 2022). Das gilt auch für Weidenspreitlagen, um Bodenaustrag zu vermeiden, wenn keine flächendeckende Verlegung der Weidenäste erreicht werden kann. Langfristig können bei erfolgreicher Pflanzenentwicklung die Wurzeln die Filterfunktion übernehmen.

Begrünte Steinschüttungen werden bei Bedarf vorzugsweise auf einem Kornfilter eingebaut. Dabei ist zu beachten, dass das Gewicht eines nach MAK (2013) dimensionierten Kornfilters nach GBB (2011) neben der Deckschicht auch zum erforderlichen Flächengewicht beiträgt. Das bedeutet, dass eine geringere Deckschichtdicke erforderlich ist, als mit Geotextil für das fiktive Schüttsteindeckwerk ermittelt wurde. In dem Fall ist eine Neuberechnung notwendig.

Wichtig ist auch die Wahl und Anordnung der passenden und statisch ausreichenden Befestigungselemente, z. B. Pflöcke und Querriegel, sowie die Realisierung einer ausreichenden Fußsicherung an der Unterkante

der TBU. Hier kann meist eine Einbindung in die unter Wasser verbleibende Steinschüttung erfolgen. Alternativ sind Fußsicherungen, z. B. bestehend aus Doppelpfahlreihen mit Faschinen (Beispiel: Weidenspreitlagen und Faschinenmatten an der Donau, Anlage B1.3) oder aus Holzpfehlreihen (Beispiel: Vorkultivierte Pflanzmatten am Storkower Gewässer, Anlage B1.4), oder nur aus Faschinen möglich, die auch in Übergangsbereichen zwischen unterschiedlichen Maßnahmen angewendet werden können.

Die Übergänge zwischen dem Maßnahmenbereich und dem Bestandsufer sowie zwischen unterschiedlichen TBU-Maßnahmen auf der Böschung sind fließend und ohne Lücken herzustellen. Ziel ist es, Fehlstellen in der Böschungssicherung und der Vegetation sowie Böschungssprünge zu vermeiden, da diese häufig Angriffspunkte für die Strömung und damit verbundene Uferschäden darstellen.

Hinweise zur Pflanzenauswahl und zu Möglichkeiten einer zusätzlichen ökologischen Aufwertung der TBU geben die Kapitel 7.9 bzw. Kapitel 7.10.

Anlage B zeigt Steckbriefe von an Binnenwasserstraßen bereits ausgeführten TBU-Maßnahmen, die als Beispiele auch die konstruktiven Details der Ausführung zeigen. Weitere Hinweise geben die Kurzbeschreibungen in Anlage A und die Kennblätter der BAW und BfG (BAW/BfG 2018) für verschiedene bereits erfolgreich an Binnenwasserstraßen getestete TBU (Weidenspreitlagen, vorkultivierte Pflanzmatten, begrünte Kammerdeckwerke und begrünte Steinschüttungen).

7.9 Pflanzenauswahl

Die Pflanzenauswahl ist abhängig vom Projektziel, der Zielvegetation, den Standortansprüchen der Pflanzen, der Bauweise selbst, der Herkunft/Gewinnung des Pflanzenmaterials und dem erforderlichen Unterhaltungsaufwand unter Berücksichtigung der Verkehrssicherheit und Hochwasserneutralität.

Pflanzenauswahl nach Projektziel

Die Auswahl geeigneter, standortgerechter Pflanzen für eine TBU erfolgt primär in Abhängigkeit von den Anforderungen an den Uferschutz (Kapitel 7.5 bis 7.8) und/oder der angestrebten ökologischen Funktion der Zielvegetation (Kapitel 6).

Müssen die Pflanzen vorrangig Uferschutzfunktion übernehmen, sollten diese bestimmte biotechnische Eigenschaften besitzen. Zu nennen sind ein schnelles Wachstum (kurzes Initialstadium), ein elastischer Bau (Biegsamkeit), Überflutungstoleranz, ein hohes (vegetatives) Austriebsvermögen, zugfähige Wurzeln sowie die Fähigkeit zur schnellen Regeneration. Mit diesen biotechnischen Eigenschaften sind die Pflanzen in der Lage, den Boden zu durchwurzeln, mechanisch zu stabilisieren und zu festigen, ggf. zur Erhöhung der Filterstabilität beizutragen, die Strömungsbelastung zu reduzieren und durch flächige Begrünung zum Erosionsschutz beizutragen.

Aus ökologischer Sicht sollte es bei der Pflanzenauswahl vorrangig um die Behebung bestehender Bewuchsdefizite, die Erhaltung und Neuanpflanzung einer standortgerechten Ufervegetation (siehe auch § 39 WHG) und/oder eine strukturelle Aufwertung gehen (Kapitel 3 und Kapitel 6). Dabei sind grundsätzlich standortheimische Pflanzen zu verwenden. Sie sind optimal an die klimatischen, bodenkundlichen und hydrologischen Bedingungen am Standort angepasst. Sie versprechen damit gute Erfolgsaussichten, innerhalb der Maßnahme anzuwachsen, den Belastungen Stand zu halten und eine stabile und gesunde Vegetation zu initiieren, die Uferschutz- und Habitatfunktion übernimmt. Zudem erfüllen sie die gesetzlichen Vorgaben nach § 40 BNatSchG (Kapitel 7.2.7).

Pflanzenauswahl nach Zielvegetation und Standortansprüchen der Pflanzen

Die Festlegung der Zielvegetation innerhalb einer TBU erfolgt in Abhängigkeit des Projektziels (Uferschutz und/oder ökologische Aufwertung). Durch die Wahl der Pflanzen, ihrer Wuchsformen, der Bauweise und durch die künftige Pflege kann die Entwicklung von Gehölzen (Baum-, Strauchbestand), Röhrichten, Seggenrieden, Hochstauden oder Rasen (Gräser/Kräuter) als Zielvegetation initiiert und gefördert werden. Dabei sollte die Zielvegetation möglichst die natürlichen Vegetationszonen im Gewässerquerschnitt abbilden, was zum einen den Erfolg der ufersichernden Wirkung durch angepasste Pflanzen, gleichzeitig aber auch deren ökologische Wirkung unterstützt.

Überflutungshöhe und -dauer, aber auch die hydraulische Belastung und das Bodensubstrat bestimmen maßgeblich die Artenzusammensetzung der Pflanzengesellschaften und die unterscheidbaren Vegetationszonen. Weitere Standortfaktoren wie Lichtverhältnisse, Klima, Nährstoffe, Konkurrenz etc. spielen ebenfalls eine Rolle. Ihr Einfluss auf die Ufervegetation wird jedoch umso geringer, je stärker der Einfluss des Wassers zeitlich und räumlich ist (Bittmann 1965). Eine Übersicht der typischen Ufer- und Vegetationszonierung an Gewässern mit und ohne ausgeprägten Niedrigwasserphasen (z. B. an staugeregelten Flüssen, Kanälen und Seenstrecken) und die groben Richtwerte für die mittlere Überflutungsdauer (Tage/Jahr) lassen sich im DWA-M 519 (2016) finden.

Grob vereinfacht ordnet sich die Vegetation der Wasserstraßen morphologisch nach dem Uferprofil und hydrologisch nach der Abhängigkeit vom Wasserdargebot in gehölzfreie Pflanzengesellschaften der Laichkraut- und Röhrichtzone und gehölzreiche Pflanzengesellschaften der Weich- und Hartholzzzone. Dabei gilt, dass die einzelnen Zonen mit ihren charakteristischen Pflanzen umso schmaler ausgebildet sind, je steiler die Uferböschung und je geringer die Wasserstandsschwankungen sind (DWA-M 519 2016). Unter staugeregelten Bedingungen mit fehlenden Niedrigwasserphasen und an Kanälen ist die vollständige Ausbildung der skizzierten Vegetationszonierung somit nur selten vorhanden. Ufer-Pionierfluren, niedrigwüchsige Flutrasen und Röhrichte sind oberhalb des hydrostatischen Staus bzw. des Betriebswasserstandes gegenüber der Gehölzvegetation langfristig nicht konkurrenzfähig. In diesen Bereichen können Bruchwaldarten wie bspw. Grau-Weide und Schwarz-Erle gegenüber fließgewässertypischen Weidenarten und der standortheimischen Schwarz-Pappel konkurrenzstärker sein, was es bei der Pflanzenwahl zu berücksichtigen gilt (DWA-M 519 2016).

Orientierung für projektspezifisch geeignete Pflanzenarten können ggf. im Projekt- oder Flusseinzugsgebiet bereits vorhandene gut ausgeprägte Vegetationszonen mit den jeweils charakteristischen Pflanzenarten geben. Aufgrund vorhandener Vegetationsstrukturen lassen sich zudem die Bezugshöhen zu den maßgebenden Wasserständen zur Ermittlung der Vegetationszonen einschätzen. Ein hilfreiches Indiz zur groben Einordnung der Grenze zwischen Hart- und Weichholzauenniveau ist auf unterhaltungsbedingt gehölzfreien Ufern der Verlauf der Brombeergrenze (DWA-M 519 2016). Aufschluss über die Standortansprüche der Pflanzen bezüglich Feuchte, Licht, Temperatur, Kontinentalität, Bodenreaktion, Nährstoff- und Salzgehalt, können zudem die Zeigerwerte nach Ellenberg (1974) geben. Weitere Hinweise enthalten BfG (2023), BfG (2024) und <https://www.floraweb.de/> des Bundesamtes für Naturschutz (BfN).

Generell werden Ufersicherungen mit lebenden Pflanzen um und oberhalb eines mittleren Wasserstandes angewendet, da darunter die Wassertiefen, hydraulischen Belastungen und ggf. Trübung das Pflanzenwachstum erschweren. Wenn die hydraulischen Belastungen gering sind, z. B. bei Anordnung eines vorgelegerten Strömungs- und Wellenschutzes (Kapitel 7.3.2), ist der Einsatz von Pflanzen der Laichkraut- und Röhrichtzone bis in die aquatische Zone möglich (DWA-M 519 2016).

Uferböschungen an Fließgewässern, die besonders flach geneigt sind, bieten entsprechend mehr Raum für die Entwicklung charakteristischer Vegetationszonen (auch über Pflanzungen). Gleichzeitig erhöhen sich die Möglichkeiten bei der Wahl der Bauweise(n) und bei der Festlegung des Zielbewuchses und somit der

in Frage kommenden Pflanzenarten und Pflanzengesellschaften. Damit steigt die ökologische Wirksamkeit. Beim Ausbringen von Pflanzen und Pflanzenmaterial ist unbedingt darauf zu achten, dass keine gebietsfremden oder invasiven Arten verwendet werden (Kapitel 7.2.7).

Pflanzenauswahl nach TBU-Bauweise

Bei der Pflanzenwahl ist zu beachten, dass sich diese für eine vorgesehene TBU-Bauweise (eine bestimmte Ansiedlungsmöglichkeit oder Art der Bauweise) und die damit vorgesehene Uferschutzfunktion (Kapitel 7.5 und 7.6) eignen müssen. Die Eignung kann abhängig sein von der Pflanzenart, den biotechnischen Eigenschaften (s. o.) und dem Wuchs- und Ausbreitungsverhalten. Gehölze wie beispielsweise der Feld-Ahorn, die keine bewurzelungs- und ausschlagfähigen Äste hervorbringen, können nicht als flächige Astlage zum Aufbau eines direkten Uferschutzes verwendet werden. Viele Weidenarten hingegen eignen sich hierfür besonders, da sie die oben beschriebenen biotechnischen Eigenschaften aufweisen und zudem natürlicherweise auf Standorten der Flussufer und -auwälder mit periodisch schwankenden Wasserständen im Bereich der Weichholzaue wachsen. Für den Einsatz als TBU werden sie in Form von Weidenspreitlagen (flächiger Uferschutz), Weidensetzstangen/-steckhölzer (punktueller Uferschutz) oder als Lebendfaschinen und Buschlagen (linearer oder flächiger Uferschutz) eingesetzt. Letztere können auch zur ökologischen Aufwertung bestehender Steinschüttungen angewendet werden. Häufig werden Weiden aufgrund ihres schnellen Wachstums, ihrer Biegsamkeit und ihrer Fähigkeit, aus abgetrennten Ruten und starken Ästen neue Wurzeln bilden zu können, auch in Böschungszonen oberhalb der Weichholzzone (außerhalb ihrer natürlichen Wuchszone) eingesetzt.

Gräser sollten überwiegend als Vegetationsstücke/Soden verpflanzt oder mittels Saatgut ausgebracht werden, womit meist eine flächige Begrünung und Uferschutzfunktion erreicht werden. Viele krautige Hochstauden oder Röhrichte können zudem als Rhizom- oder Ballenpflanzung, z. B. in Vegetationswalzen, in vorkultivierten Vegetationsmatten oder auch im Lückensystem von Steinen (begrünte Steinschüttung, Röhrichtgabionen) eingebracht werden und somit flächigen und/oder punktuellen Uferschutz erfüllen. Bei den häufig zum Einsatz kommenden Arten Schilf und Rohr-Glanzgras ist eine Pflanzung von Halmstecklingen möglich.

Werden verschiedene Pflanzenarten mit ihren unterschiedlichen Wurzelsystemen und Wuchsformen innerhalb einer Maßnahme kombiniert, erhöht dies zum einen die angestrebte Biodiversität, aber auch die Erfolgsaussichten, einen stabilen und vitalen Bewuchs aufzubauen. Es ist auch hierbei darauf zu achten, dass sich möglichst natürliche Pflanzengesellschaften in den dafür typischen Uferzonen entwickeln können und keine schädliche Konkurrenz, z. B. um Licht, entsteht. Zu berücksichtigen sind die Böschungsneigung und Platzverhältnisse, die die laterale Ausdehnung von Vegetationszonen maßgeblich beeinflussen (Kapitel 7.2.2).

Pflanzenauswahl nach Herkunft/Gewinnung und Einbauzeit des Pflanzenmaterials

Der Aspekt Herkunft/Gewinnung von Pflanzenmaterial kann ebenfalls Einfluss auf die Pflanzenauswahl haben. Gibt es im näheren Umfeld eines Maßnahmenbereichs geeignete Spenderflächen für die Gewinnung von standortheimischen Pflanzenarten (Gehölze oder krautige Blütenpflanzen) sollten die zur Verfügung stehenden Arten gegenüber einer Anzucht beworbener Pflanzenarten in einem Pflanzbetrieb oder einer Baumschule bevorzugt werden. Dabei werden die bewurzelungsfähigen Pflanzenteile (Äste, Soden oder Rhizomstücke) in der Vegetationsruhezeit – nicht bei Frost – aus gesunden Pflanzenbeständen gewonnen (unter Beachtung der naturschutzrechtlichen Vorgaben – Kapitel 7.2.7 und ggf. einzuholender Genehmigungen – Kapitel 7.11). Saatgut kann über das Ernten von Blütenständen mit reifen Samen auf Spenderflächen gewonnen werden. Weiterhin gibt es die Möglichkeit, die Vermehrung gebietseigenen Saatgutes in Anbaubetrieben zu beauftragen (Skowronek et al. 2023).

Um künftig Planungs- und Pflanzengewinnungsprozesse bei der Anwendung von TBU erleichtern und beschleunigen zu können, empfiehlt sich die Anlage und Pflege solcher Spenderflächen („Pflanzgärten“) auf WSV-eigenen Flächen. Die zur Anzucht vorgesehenen Pflanzen oder Pflanzenbestände müssen dabei die in Kapitel 7.2.7, 7.9 und 7.11 beschriebenen Anforderungen erfüllen.

Neben der Gewinnung von Pflanzenmaterial aus dem Einzugsgebiet des Gewässers kann alternativ Forst-, Baumschul- oder Pflanzbetriebsware mit gesicherter Herkunft Verwendung finden (Kapitel 7.2.7). Die Vorlaufzeit für die Anzucht geeigneter Pflanzenarten sollte mindestens eine Vegetationsperiode betragen. Pflanzen können dabei in Form von Saatgut, Soden, wurzelnackten Pflanzen, Containerpflanzen und austriebsfähigen Ästen/Zweigen/Ruten/Stecklingen bezogen werden. Hinweise zur Lagerung und optimalen Einbauzeit von Pflanzenmaterial sind Kapitel 7.11 und 9 zu entnehmen.

Pflanzenauswahl nach Unterhaltungsaufwand

Bei der Festlegung des Zielbewuchses und der Pflanzenwahl sind die Anforderungen an den Unterhaltungsaufwand im Maßnahmenbereich zu berücksichtigen. Hochaufwachsende Gehölze können für die Verkehrssicherheit und den Hochwasserabfluss relevant werden, was einen regelmäßigen Pflegeeingriff bedeutet. Hier kann zum Beispiel beim Einsatz von Weiden die Verwendung kleinwüchsigerer Strauchweiden (z. B. Purpur-, Mandel- und Korb-Weide) zweckdienlich sein. Mit Blick auf die Widerstandsfähigkeit des Gehölzbestandes empfiehlt sich eine Mischung unterschiedlicher Weidenarten und Geschlechterverhältnisse und ggf. das Einmischen einiger Baumweidenarten (Silber-Weide, Fahl-Weide), um der Entwicklung einer Weidenmonokultur entgegenzuwirken. Zudem wird mit einem standortgerechten Gehölzbestand mit verschiedenen Baum- und Straucharten unterschiedlicher Altersklassen der erforderliche Pflegeaufwand verringert (DWA-M 519 2016). In höher liegenden, seltener überfluteten Böschungsbereichen sollten strauchartige Gehölze, wie beispielsweise Hartriegel, Pfaffenhütchen, Wasser-Schneeball, Trauben-Kirsche, Liguster, Feld-Ahorn, Hasel und Weißdorn gegenüber den typischen Baumarten der Hartholzaue (Stiel-Eiche, Esche, Flatter- und Feld-Ulme, Berg-Ahorn) bevorzugt werden.

Die Wahl von Gras-/Kräuterarten zur Entwicklung rasenartiger Pflanzenbestände führt zu einem intensiveren Unterhaltungsaufwand als die Verwendung von Arten der Röhricht- und Hochstaudenfluren. Damit die rasenartigen Pflanzenbestände längerfristig artenreich bleiben und die Pflanzen in Wurzelmasse investieren, müssen diese regelmäßig gemäht und ggf. durch Abtransport des Mahdgutes ausgehagert werden. Nur so bleiben sie gegenüber einem Gehölzaufwuchs längerfristig konkurrenzfähig.

Hilfestellung und Orientierung zu den potenziell für TBU geeigneten Pflanzenarten, ihren Standortansprüchen, ihrer Eignung für verschiedene Bauweisen und ihrer biotechnischen Eigenschaften kann die gängige ingenieurb biologische Fachliteratur (u. a. DWA-M 519 (2016), Ingenieurb biologische Bauweisen an Fließgewässern – Teil 1 (DWA-M 620-1 2020), Ingenieurb biologische Bauweisen an Fließgewässern – Teil 2 (DWA-M 620-2 2022), (Patt 2018), (Hacker und Johansson 2011)) in Form tabellarisch gelisteter Informationen über bodenfestigende Gehölze, Röhrichte, Hochstauden, Binsen, Kräuter sowie Süß- und Sauergräser geben. Eine Listung der wichtigsten Wasser-, Ufer- und Auenpflanzen, zusätzliche Informationen über deren Vorkommen, Verbreitung, Vergesellschaftung, Standort und Verwendung im Wasserbau ist zudem in Bittmann (1965) zu finden. Fachkundige Beratung wird empfohlen und kann von der BfG eingeholt werden.

7.10 Kombination mit Strukturelementen zur ökologischen Aufwertung von Ufersicherungen

7.10.1 Übersicht

TBU-Maßnahmen und technische Schüttsteindeckwerke können durch Strukturelemente ohne Uferschutzfunktion zusätzlich ökologisch aufgewertet werden. Dabei kann die Anordnung der Strukturelemente sowohl im aquatischen als auch terrestrischen Bereich das Habitatspektrum für die Besiedlung mit Pflanzen und Tieren erhöhen, Rückzugsraum und Schutz bieten und somit einen wertvollen Beitrag zur Förderung der Lebensraumvielfalt leisten. Die zusätzlichen Strukturelemente sind grundsätzlich in Abhängigkeit von den hydraulischen und geotechnischen Randbedingungen und mit Blick auf den Unterhaltungsaufwand zu wählen bzw. zu dimensionieren. Die Tabelle 13 zeigt beispielhaft verschiedene Strukturelemente, die in der Regel gut mit Ufersicherungen kombinierbar sind.

Tabelle 13: Strukturelemente zur ökologischen Aufwertung von Ufersicherungen

Mögliche Strukturelemente	Ergänzende Hinweise
Lebende Pflanzenteile standortheimischer Arten: - lebende Setzstange, Steckholz, Faschine (meist Weidengehölze) - lebender Wurzelstock - Ballenpflanzung (z. B. Röhrichte) - ...	Dabei ist neben der strukturellen Aufwertung des Standortes und der Erhöhung der Habitatfunktion des Ufers bei guter und langfristiger Entwicklung der Lebendelemente und ihrer Wurzeln ggf. eine zusätzliche Uferstabilisierung möglich.
(Lagestabiles) Totholz (Kapitel 7.10.2): - Totfaschine - Baumstamm mit Wurzelteller - Baumstamm mit Krone - Wurzelstock - Reisig - Raubbaum - Packwerk aus toten Ästen - Elemente in Form von Palisaden, Lahnungen oder buhnenähnlich fixierten Einzelbäumen oder Baumbündeln - ...	Totholz ist ein wichtiger Bestandteil naturnaher Fließgewässer und kann zahlreiche Funktionen im Fluss-Ufer-Lebensraum erfüllen. Beispielhaft zu nennen sind: Steigerung der Strömungsdiversität, Strömungslenkung, morphodynamische Wirkung (Initiieren von Um- und Ablagerungsprozessen), wichtige Nahrungsgrundlage für verschiedenste Organismengruppen (insb. das Makrozoobenthos und daher bedeutend für die Produktivität des Gewässers), Retention von organischem Material wie driftende Äste und Laub (Driftholz ist ein wichtiges Ausbreitungsmedium für viele Insekten – fördert den genetischen Austausch zwischen Populationen und die Wiederbesiedlung von Lebensräumen), wichtiges Besiedlungssubstrat für Organismen des Makrozoobenthos und Mikroorganismen, Schutz und Rückzugsgebiet für Fische.
Vorgelagerte konstruktive Maßnahmen (Kapitel 7.3.2): - Lahnung - Palisade - Spundwand - Gabionenreihe - Steinwall - Buhne - ...	Der Böschung vorgelagerte Strukturelemente (Parallelwerke, Buhnen) mit u. a. abschirmender oder lenkender Wirkung schiffsinduzierter Belastungen und natürlicher Strömungen / zur Erzeugung beruhigter (Flach-)Wasserzonen, welche durch einen kombinierten Einbau der oben genannten Strukturelemente (z. B. Einbringen von Totholz) ökologisch bereichert werden können. Im Schutz von Strömungen und Wellen können beispielsweise Jungfische, Wasserpflanzen und Uferföhrichte gefördert werden.
Substrat: - Ein-/Aufbringen von natürlichen Substraten (Sand, Kies, Steine) - Gestaltung von Kiesbänken - ...	Zusätzliches Substrat kann auf TBU, technischen Schüttsteindeckwerken, ungesicherten Ufern oder bei entsprechenden Randbedingungen auch im Sohlbereich eingebracht werden. Damit kann insbesondere die Breiten- und Tiefenvarianz, die Strömungs- und Substratvielfalt erhöht werden, um z. B. Laichhabitate für Fische und Besiedlungssubstrat für Uferpioniere (Pflanzen und Tiere) bereitzustellen oder auch zur Erosionsstabilität beizutragen.

Die Abbildung 10 und Abbildung 11 zeigen beispielhaft eingebaute Strukturelemente.



Abbildung 10: links: Einbau einer Totholzfaschine am Rhein bei Worms, rechts: Zweireihige Palisaden aus Holzpfählen mit zwischengelagerten Totholzfaschinen am Neckar bei Ladenburg (Fotos: K. Behrendt, BfG)



Abbildung 11: Lagestabil eingebautes Totholz an der Weser bei Jössen (Fotos: links BAW, rechts: WSA Weser)

7.10.2 Hinweise zur Anwendung von Totholz

Totholz bezeichnet Äste, Stämme oder ganze Bäume, die sich am Ufer permanent oder temporär, ganz oder teilweise im Wasser oder auch über Wasser befinden. Es hat vielfältige positive Effekte auf die Gewässerökologie (Kapitel 7.10.1, Tabelle 13). Gleichzeitig kann es Auswirkungen auf den Wasserabfluss, die technischen Anlagen und die Schifffahrt haben. Daher kann in Wasserstraßen meist nur lagestabiles Totholz zugelassen werden. Befestigtes Totholz bietet die Möglichkeit, einerseits die positiven ökologischen Effekte zu erzielen und andererseits die Sicherheit auf der Wasserstraße zu gewährleisten. Hierzu sind bei der Planung mögliche Auswirkungen auf die Schifffahrt und auf andere Belange zu berücksichtigen.

Um eine Behinderung der Schifffahrt zu vermeiden, darf Totholz nicht innerhalb der Fahrrinne eingebaut werden. Außerhalb der Fahrrinne ist ein Einbau nur in den Bereichen möglich, die nicht von der durchgehenden Schifffahrt genutzt werden. Neben der Güterschifffahrt sind auch die motorisierte und nichtmotorisierte Freizeitschifffahrt zu berücksichtigen. Als Einbauorte eignen sich insbesondere strömungsberuhigte Bereiche wie Buhnenfelder und geschützte Wasserzonen.

Kennzeichnung

Aus Gründen der Verkehrssicherungspflicht sind Schifffahrtshindernisse auch außerhalb der Fahrrinne zu kennzeichnen (Frießecke et al. 2020, § 8 RN 29ff). Allerdings gehört es „nicht zur Erhaltung der Schiffbarkeit, dass Sportboote den Böschungsbereich eines Flusses, also nicht die eigentliche Fahrrinne, ungehindert befahren können. Sie müssen dort immer mit irgendwelchen »Unreinheiten« rechnen“ (Frießecke et al. 2020, § 8 RN 32). Inwieweit eine gesonderte Kennzeichnung des Totholzes erforderlich ist, ist daher im Einzelfall zu prüfen.

Befestigung

Grundsätzlich ist an Wasserstraßen eine Sicherung von Totholz gegen Verdriften erforderlich. Nur in unkritischen Bereichen, z. B. in Altarmen, kann ggf. auf eine Befestigung des Totholzes verzichtet werden. Das sind Bereiche, in denen die Belastungen entsprechend gering sind oder keine schädlichen Auswirkungen von schwimmendem Totholz zu erwarten sind. Zur Befestigung von Totholz gibt es in Abhängigkeit der hydraulischen Belastungen und der Größe und Form des Totholzes verschiedene Möglichkeiten:

- Beschwerung durch eine Konstruktion aus Wasserbausteinen (bei geringen hydraulischen Belastungen)
- Eingraben in Uferdeckwerke, Buhnen oder Parallelwerke aus Schüttsteinen (Nachteil: Austausch von Totholz relativ aufwändig)
- Befestigung mit Drahtseilen oder Ketten an Gewichten (einfacher Austausch möglich, besonders geeignet für tiefe Einbaustellen, z. B. in Kolken) – siehe Beispiel zur Anwendung von Totholz an der Weser, Anlage B3.1
- Befestigung mit Ketten an Stahlträgern oder Holzpfählen, die in den Untergrund eingebracht werden (relativ aufwändig, sinnvoll bei großen hydraulischen Belastungen, einfacher Austausch möglich) – siehe Beispiel zur Anwendung von Totholz am Niederrhein, Anlage B3.2

Bemessung

Auf das Totholz wirken die schiffsinduzierten und natürlichen hydraulischen Belastungen bei unterschiedlichen Wasserständen: Wasserdruck, Auftriebskraft, Strömung und Wellen. Die Ermittlung dieser Größen im Bereich des Totholzes ist aufgrund der erforderlichen dreidimensionalen Betrachtung sehr aufwändig und schwierig. Aus diesem Grund werden gegenwärtig zur Bemessung der Befestigungen lokale Erfahrungen und überschlägige Abschätzungen herangezogen. Grundsätzlich wird eine regelmäßige Kontrolle der Lagestabilität des Totholzes empfohlen. Ein Monitoring zur Überprüfung der ökologischen Wirksamkeit kann bei Bedarf durchgeführt werden. Mögliche Bemessungsansätze können den Veröffentlichungen von Liefveld (2015), der Grün Blauen Rhein Allianz (2021) oder Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu (2016) entnommen werden. Bei Auswahl und Dimensionierung möglicher Befestigungen berät zudem die BAW.

7.11 Planung der Ausführung

Für Maßnahmen ohne bauordnungsrechtliche Relevanz und mit geringem Schwierigkeitsgrad und Finanzumfang, zu denen TBU-Maßnahmen häufig zählen, wird in der Regel ein „Technischer Bericht“ aufzustellen sein. Für umfangreichere TBU-Maßnahmen oder TBU-Maßnahmen, die in größere Baumaßnahmen eingebunden sind, müssen ggf. andere Entwürfe wie E-HU (Entwurf Haushaltsunterlage) und E-AU (Entwurf Ausführungsunterlage) aufgestellt werden. Die Inhalte der jeweiligen Entwürfe regelt die VV-WSV 2107.

Nachfolgend wird neben den standortspezifischen Randbedingungen (Kapitel 7.2) auf TBU-spezifische Besonderheiten bei der Maßnahmenplanung hingewiesen. Damit alle kostenrelevanten Faktoren frühzeitig erfasst werden und eine Maßnahmenumsetzung innerhalb des vorgesehenen Zeitrahmens gelingt, sollte die Bauausführung bereits von Beginn des Projektes an in einem iterativen Prozess mitbedacht werden.

Standortverhältnisse

Für jeden Gewässertyp und mitunter für jeden Flussabschnitt können die zu berücksichtigenden Randbedingungen unterschiedlich sein. Wichtig sind dabei unter anderem:

- Geometrie und Böschungsneigung
- Baugrund- und Bodenverhältnisse
- Wasserstände und Abflüsse
- Geländeverfügbarkeit und Vulnerabilität von Infrastruktur
- Witterungseinflüsse und Exposition

Die Verhältnisse vor Ort (z. B. Zugänglichkeit, Eigentumsverhältnisse, Schutzgebiete) haben u. a. Einfluss auf den möglichen Maschineneinsatz sowie auf die Art des Materialtransportes (land- oder wasserseitig).

Bauvorbereitung

Für die Ausführung der Maßnahmen und deren Bauvorbereitung sind zeichnerische Darstellungen in Form von Lageplänen, Schnitten und Pflanzplänen (großmaßstäblich) sowie ggf. technische Berechnungen (GBBSoft+, Statik) unverzichtbar. Hierzu stellt das Merkblatt für die direkten TBU-Maßnahmen Bemessungsgrundlagen und für direkte und indirekte Maßnahmen und Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung Kurzbeschreibungen (Anlage A) und Steckbriefe (Anlage B) sowie ein Bemessungsbeispiel (Anlage C) zur Verfügung.

Bei Anwendung einer direkten TBU auf Uferböschungen (z. B. Weidenspreitlagen) ist im Vorfeld neben der vorhandenen alten Ufersicherung auch häufig der vorhandene Bewuchs zu entfernen. Ist die Böschung von Neophyten bewachsen, sind diese mit größter Sorgfalt fachgerecht zu entnehmen und zu entsorgen. Sind Sträucher oder Bäume zu entfernen, müssen die entsprechenden gesetzlichen Regelungen (Zeiträume, artenschutzrechtliche Verbotstatbestände) berücksichtigt werden (Kapitel 7.2.7). Bäume und Wurzelstöcke können als strukturverbessernde Maßnahme (Totholz) wiederverwendet werden.

Umgang mit Pflanzenmaterial

Beim Umgang mit lebendem Pflanzenmaterial ist eine schnelle und zeitlich abgestimmte Ausführung besonders wichtig. Dafür sind die einschlägigen Vorschriften des Wasser- und Landschaftsbaus (z. B. ZTV-W LB 207, ZTV-W LB 210, ZTV La-StB 18, DIN 19657, DIN 18916, DIN 18320) zu beachten. Bei Lieferung ist die Qualität des Pflanzenmaterials (Vitalität, Austriebfähigkeit) zu prüfen und eine fachgerechte Lagerung zu gewährleisten. Dafür ist bei der Planung sicherzustellen, dass entsprechende Vorschriften berücksichtigt

werden und eine fachgerechte Beurteilung vor Ort mit entsprechend geeignetem Personal erfolgt. Bei Maßnahmen mit einer längeren Bauzeit oder einem höheren Risiko für eine Bauunterbrechung sind ggf. zeitlich versetzte (Teil-)Lieferungen einzuplanen.

Damit der gesetzlichen Vorschrift zur Verwendung von standortheimischen Pflanzen in der freien Natur (§ 40 BNatschG) nachgekommen wird, kann es erforderlich sein, gebietseigenes Pflanzenmaterial aus entsprechend geeigneten Spenderflächen zu verwenden. Notwendige Genehmigungen und Abstimmungen sowie Vorlaufzeiten für die Pflanzengewinnung und ggf. Vorkultivierungen sind im Planungsprozess zeitlich einzukalkulieren. Bei einer rechtzeitigen Planung ist es möglich, kostensenkend Synergien zu nutzen, indem z. B. notwendige Maßnahmen zur Weidenverjüngung zur Materialgewinnung dienen.

Wichtig bei der Planung des Einbaus der Pflanzen ist neben der Berücksichtigung der optimalen Pflanzzeiträume die Beachtung der hydrologischen Verhältnisse vor Ort (Hoch- und Niedrigwasserereignisse). In der Regel können Pflanzen nur in der Vegetationsruhezeit an frostfreien Tagen eingebaut werden. Optimal ist der Einbau im März/April, je nach Lage und Witterung auch noch im Mai. Dann beginnt sofort nach Einbau das Wurzelwachstum. Bedingt geeignet sind auch die Monate Oktober/November mit einem verzögerten Wurzelwachstum aufgrund der jahreszeitlich kalten Bedingungen. In Abhängigkeit des vorherrschenden gewässertypischen Abflussverhaltens (z. B. Winterhochwasser) müssen eingeschränkte Einbauzeiten berücksichtigt werden.

Besonderheiten bei der Bauablaufplanung

Hochwasserereignisse können zu Bauunterbrechungen und Böschungsschäden führen und ggf. Sanierungen erforderlich machen. Daher sollte in der Bauablaufplanung durch die Wahl optimaler Zeitfenster und durch abschnittsweise Ausführung der Arbeiten das Schadensrisiko möglichst verringert werden. Der Zeitraum zwischen dem Abschluss der vorbereitenden Erdarbeiten und dem Einbau der Pflanzen zur Böschungssicherung sollte so kurz wie möglich gehalten werden. Es kann erforderlich sein, Baubehelfe oder Bauzwischenzustände mit einzuplanen, bei denen beispielsweise ein statisch nachzuweisender temporärer Verbau oder eine zwischenzeitliche Ufersicherung mit Wasserbausteinen erfolgen muss.

Kritische Anfangsphase

Zur Berücksichtigung der kritischen Anfangsphase des Pflanzenwachstums ist bei der Planung die Kenntnis der hydraulischen und hydrologischen Verhältnisse von großer Bedeutung. Hinsichtlich der hydraulischen Belastungen der Ufer infolge Schifffahrt ist je nach der Situation vor Ort zu prüfen, inwieweit diese in der Anfangsphase temporär durch schifffahrtspolizeiliche Regelungen, wie z. B. Geschwindigkeitsbegrenzung, reduziert werden können (Kapitel 7.3.1). Trockenheit kann durch Wässerungen in ausreichender Anzahl im Rahmen der Fertigstellungs- und Entwicklungspflege begegnet werden (Kapitel 10). Der Ausfall von Pflanzenmaterial, auch durch Schädlingsbefall, und die dann notwendige Neubeschaffung müssen bei der Planung mitberücksichtigt werden. Daher sollte schon bei der Vergabe darauf geachtet werden, dass der Auftragnehmer nachweislich in der Lage ist, das erforderliche autochthone Pflanzenmaterial kurzfristig in ausreichender Menge nachzuliefern. Hinweise dazu gibt die ZTV La-StB 18.

Je nach örtlicher Situation, insbesondere im urbanen Bereich, ist mit mutwilliger Beschädigung (Vandalismus) der frisch ausgeführten TBU-Maßnahmen zu rechnen. Hier ist es ratsam, das Baufeld durch einen Bauzaun oder andere Maßnahmen zu sichern.

7.12 Kosten

Die Angabe absoluter Kosten für die Anwendung von TBU ist aufgrund der großen Variabilität nicht möglich. Auch unterliegen die Preise einer ständigen Änderung und sind der unternehmerischen Kalkulation vorbehalten. Selbst unter vergleichbaren Bedingungen, wie z. B. bei einer Versuchsstrecke am Rhein (BAW/BfG/WSA Oberrhein 2020), ist es schwierig, ein charakteristisches Kostenspektrum für die unterschiedlichen Arten der TBU abzuleiten. Außerdem können aufgrund der bisher relativ geringen Anwendungsfälle von TBU im Vergleich zu herkömmlichen Ufersicherungen noch keine allgemeingültigen Aussagen zu den Kosten getroffen werden.

Abbildung 12 zeigt eine Übersicht der verschiedenen Einflussfaktoren auf die Kosten, die im Folgenden näher erläutert werden.

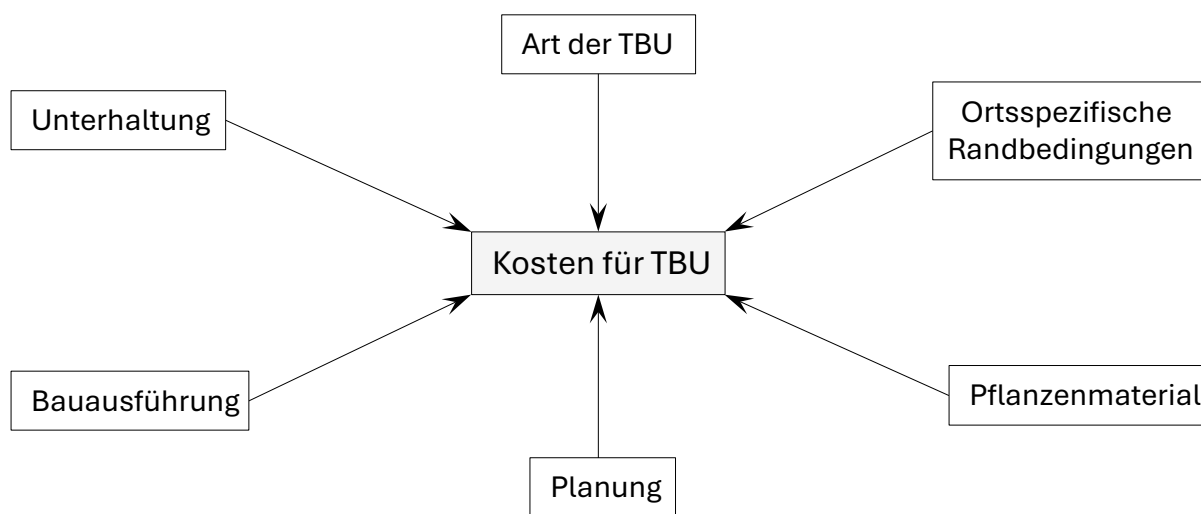


Abbildung 12: Einflüsse auf die Kosten der TBU

Art der TBU (Kapitel 2.1)

Allgemein bestimmen u. a. die Art der TBU, Umfang, Komplexität, Ausführungsdauer und Materialien die Kosten. Bei unterschiedlichen TBU können folgende Aspekte kostenbestimmend sein:

- bei direkten flächigen TBU-Maßnahmen (z. B. Weidenspreitlagen und begrünte Steinschüttung): Erdarbeiten und Böschungsvorbereitung
- bei indirekten vorgelagerten Maßnahmen (z. B. Holzpfahlreihe, Stahlspundwand oder Steinwälle): Material und Abmessungen, insbesondere die Pfahl- oder Spundwandlängen infolge der vorherrschenden Gewässertiefen und Baugrundcharakteristiken
- bei Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung (z. B. Totholzeinbau): Art der Gewinnung und der Befestigung
- bei Verzicht auf Uferschutz: ggf. Kosten für Rückbau, beobachtende Unterhaltung und mögliche Folgemaßnahmen

Ortsspezifische Randbedingungen (Kapitel 7.2)

Folgende Aspekte können kostenrelevant sein:

- je nach Wasserstraßentyp (z. B. frei fließend oder staugeregelt) unterschiedliche Querschnitte und hydrologische (z. B. Wasserstandsschwankungen) und morphologische Eigenschaften, die die Art der TBU und die Bauausführung beeinflussen
- Baugrund- und Bodenverhältnisse bestimmen Art und Abmessungen der TBU
- Geländeverfügbarkeit und Gefährdungspotenzial beeinflussen den Bemessungsstandard (Kapitel 7.5) und damit die Art der TBU
- Vorhandensein von Schadstoffen und Kampfmitteln

Pflanzenmaterial (Kapitel 7.11)

Folgende Aspekte können kostenrelevant sein:

- Verfügbarkeit/Gewinnung von Pflanzmaterial: vor Ort verfügbar oder Erwerb in Baumschulen oder Sonderanfertigungen wie z. B. Pflanzenmatten
- Prüfung der Eignung von Spenderflächen, Nutzung von Synergien bei der Materialbeschaffung (Vorlaufzeit)
- ggf. Vorkultivierung von Pflanzmaterial (Vorlaufzeit und Extrakosten)
- Anforderung an Herkunft
- höhere Anforderungen an Transport und Lagerung von Lebendmaterial
- Anforderungen an Bewässerung, Pflanzenschutz, Verbiss- und Vertrittschutz
- Ausfallrisiko durch Unvorhergesehenes: z. B. Hochwasser, Trockenheit, Schädlingsbefall, Vandalismus

Planung, Bauausführung und Unterhaltung

Folgende Aspekte können kostenrelevant sein:

- Planung: erhöhter Planungsaufwand durch Verwendung von Lebendmaterialien als Baustoff (rechtzeitige Planung von Materialbezug und -transport wegen möglicher Beschränkungen, Genehmigungen und Klärung der artenschutzrechtlichen Belange (Kapitel 7.2.7 und Kapitel 7.11))
- Bauausführung: in Eigenregie oder im Rahmen einer öffentlichen Vergabe, anspruchsvollere Anforderungen durch Lebendmaterial, Spezialwissen und ggf. Spezialgeräte erforderlich, ggf. Bauzeitverlängerung durch Bauunterbrechung bei Hochwasser, danach ggf. Nachbesserungen bzw. Sanierung von Schäden im kritischen Anfangszustand erforderlich (Kapitel 7.11)
- Bauüberwachung (Kapitel 9)
- Umfang der Fertigstellungs- und Entwicklungspflege, u. a. abhängig von Witterungsverhältnissen (z. B. Hochwasser, Hitze, Trockenheit) (Kapitel 10)
- Zielsetzung der Unterhaltung (Kapitel 10)

Aufgrund der Verwendung von Lebendmaterial und dessen Abhängigkeit von den standortspezifischen Randbedingungen ist bei einer TBU in der Regel von höheren Risiken auszugehen und daher höhere Kostenpositionen für Unvorhergesehenes einzuplanen.

8 Bauausschreibung

Allgemeines

Bauleistungen für TBU-Maßnahmen werden in der Regel auf Grundlage der VOB vergeben. Neben der Fertigstellungspflege sollte nach Möglichkeit auch bereits die Entwicklungspflege für die ersten Jahre mit vergeben werden. Eine daran anschließende, ggf. zu vergebende Unterhaltungspflege erfolgt auf Grundlage der VgV und UVgO. Bei der Wahl des Vergabeverfahrens und bei der Aufstellung der Vergabeunterlagen sind grundsätzlich die Verwaltungsvorschriften der WSV (VV-WSV 2102, VV-WSV 2104) zu beachten. Zu den Vergabeunterlagen gehören zur Beschreibung der auszuführenden TBU-Maßnahmen insbesondere folgende Dokumente:

- Baubeschreibung (BB)
- Leistungsverzeichnis (LV) einschließlich Bieterangabenverzeichnis
- Anlagen (Pläne, Zeichnungen, Gutachten, ...)
- Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen (ZTV)

Baubeschreibung

Die Baubeschreibung enthält die allgemeine Darstellung der Bauaufgabe. Insbesondere sind hier die spezifischen Angaben, Anforderungen und Bedingungen für die Ausführung der Maßnahme zu beschreiben. Bei TBU-Maßnahmen können dabei nachfolgend aufgeführte Angaben von besonderer Bedeutung sein:

- Beschreibung der TBU-Maßnahme (z. B. Skizzen, Querprofile, Lagepläne, Pflanzpläne)
- detaillierte Beschreibung der standortspezifischen Randbedingungen, wie z. B.
 - Aufbau der Böschung (Kapitel 7.2.2),
 - Untergrund- und Bodenbeschaffenheit (Kapitel 7.2.3),
 - Charakteristik der Wasserstände und -abflüsse (Kapitel 7.2.5),
 - erhaltenswerte Vegetationsbestände (Kapitel 7.2.8),
 - Vorkommen von Neophyten, die ggf. zu entfernen und fachgerecht zu entsorgen sind (Kapitel 7.2.8),
 - zeitlicher Vorlauf für die Gewinnung von Pflanzenmaterial und damit verbunden eine ggf. erforderliche Zwischenlagerung.
- Herkunftsnachweise für das Saatgut/Pflanzenmaterial, da grundsätzlich standortheimische Pflanzen zum Einsatz kommen müssen (Kapitel 7.9)
- Vorbereitung der Böschungsbereiche, dazu gehören ggf.
 - Aufnahme des alten Deckwerks und dessen Wiederverwendung bzw. Verwertung oder Entsorgung,
 - Gehölzfällungen und Rodungen unter Beachtung des Natur- und Artenschutzes (Kapitel 7.2.7), die dadurch möglicherweise mit längeren Vorlaufzeiten verbunden sind,
 - Aufnahme und fachgerechte Zwischenlagerung von Oberboden.
- Neumodellierung der Uferböschung zur Optimierung der Standortverhältnisse für die einzubringenden Pflanzen (Kapitel 7.9)
- wasser- oder landseitige Bauausführung und ein evtl. vorzugebender Geräteeinsatz
- Schutz/Erhalt wertvoller Vegetationsbestände (u. a. § 30-Biotope) und ggf. Zwischenlagerung und Wiedereinbau (Kapitel 7.2.7)
- Totholzgewinnung bei geplanten Baumfällungen (Vorgehensweise, ggf. Zwischenlagerung und Einbau) (Kapitel 7.10.2)
- detaillierte Vorgaben zum Einbauort der Pflanzen entsprechend ihrer Zonierung (Pläne) (Kapitel 7.9)
- temporäre Sicherungen für den kritischen Anfangszustand der Pflanzungen und ggf. das Beseitigen dieser Sicherungen nach Anwachsen der Pflanzen

- Fertigstellungs- und Entwicklungspflege (Kapitel 10)

Leistungsverzeichnis (Bieterangabenverzeichnis)

Die Erstellung des LV erfolgt grundsätzlich mit Standardleistungstexten aus den STLK für die entsprechenden Leistungsbereiche (LB). Einschlägig für TBU-Maßnahmen sind hierbei

- STLK Böschungs- und Sohlensicherungen (LB 210),
- STLK Landschaftsbau (LB 207).

Im STLK LB 210 (2025) sind vier TBU-Maßnahmen enthalten: Weidenspreitlagen, vorkultivierte Pflanzmatten, Vegetationsgabionen und begrünte Steinschüttungen (Anlagen A1 bis A4). Im STLK LB 207 (2024) sind überwiegend ingenieurbioologische Einzelelemente wie z. B. Setzstangen und Faschinen aufgeführt, aus denen TBU zusammengesetzt oder ergänzt werden können. Für Leistungen, die nicht mit Standardleistungstexten beschrieben werden können, sind freie Texte nach den Regeln der STLK zu formulieren.

Für spezifische Anforderungen bei den Leistungen für die TBU-Maßnahmen können die Vorbemerkungen bei mehreren Ordnungszahlen des LV genutzt werden, z. B. für Forderungen von Herkunftsnachweisen für Pflanzen oder für das Einhalten zusätzlicher Vorschriften. Das Bieterangabenverzeichnis als Bestandteil des LV kann für die Abfrage von Materialien und Herstellerangaben, wie z. B. Bodenverbesserungsmittel, Substrat oder Saatgut, genutzt werden.

Da es sich bei TBU-Maßnahmen um sehr spezifische wasserbauliche Maßnahmen handelt, empfiehlt es sich, Wert darauf zu legen, dass der Bieter bereits Erfahrung mit entsprechenden Maßnahmen nachweisen kann und über ausreichend geeignetes Personal mit den erforderlichen Fähigkeiten und Kenntnissen sowie über die entsprechenden Geräte verfügt.

Anlagen

Neben einer entsprechenden Beschreibung der geplanten TBU-Maßnahmen sind auch aussagekräftige Pläne und Skizzen erforderlich. In kleinmaßstäblichen Lageplänen sollte die genaue Lage der einzubauenden Pflanzen dargestellt sein. Aussagekräftige Prinzipskizzen können helfen, dass die notwendige Durchführungsweise im Voraus durch den Bieter richtig eingeschätzt wird. Darüber hinaus können eventuell vorliegende Gutachten zu den Untergrundverhältnissen, der Bestandsvegetation oder der möglicherweise vorkommenden Tierarten weitere wichtige Informationen für die Planung der Durchführung geben.

Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen

Einschlägige ZTV für die Ausschreibung von TBU-Maßnahmen sind:

- ZTV-W Erdarbeiten (LB 205)
- ZTV-W Landschaftsbau (LB 207)
- ZTV-W Böschungs- und Sohlensicherungen (LB 210)

Die ZTV-W, LB 210 enthält auch Hinweise zu TBU, die als Alternative zum Schüttsteindeckwerk an Wasserstraßen anwendbar sind.

9 Bauüberwachung

Die Bauüberwachung dient der vertragsgemäßen Ausführung eines Bauwerks und ist Bestandteil der Qualitätssicherung. Grundsätzlich soll durch die Bauüberwachung sichergestellt werden, dass Ziele einer baulichen Maßnahme, die meist über einen Bauvertrag mit Baubeschreibung und Leistungsverzeichnis formuliert sind, erreicht werden. Der Bauvertrag muss die Forderungen aus Planfeststellungsbeschlüssen oder Plangenehmigungen (Anordnungen und Nebenbestimmungen) oder Forderungen aus den Abstimmungen mit Landesbehörden (Einvernehmen und Benehmen) inkludieren. Darüber hinaus muss die Bauüberwachung überprüfen, dass die für die Baumaßnahme gültigen einschlägigen Gesetze und Rechtsvorschriften eingehalten werden (z. B. Naturschutzrecht (Kapitel 7.2.7), Wasserrecht, Arbeitsschutzrecht, Gefahrstoffrecht, Abfallrecht).

Besonders für Arbeiten am Wasser ist darauf zu achten, dass die über das gesetzliche Mindestmaß hinausgehenden Arbeitsschutzvorschriften des Bundes auch für Unternehmerleistungen gelten (Arbeitsschutzmanagementsystem AMS 2.0 (BMDV 2023)). Die Bauüberwachung kontrolliert zudem, dass die ausgeschriebenen Bau- und Lieferleistungen vertragsgemäß erbracht werden.

Die bauaufsichtliche Verantwortung obliegt der Leitung des WSA/WNA. Diese überträgt Aufgaben für die Wahrnehmung der bauaufsichtlichen Verantwortung an fachlich geeignete Beschäftigte oder auch Dritte, wie z. B. geeignete sachverständige Personen und Ingenieurinnen und Ingenieure, die durch die örtliche Bauüberwachung unterstützt werden (VV-WSV 2110). Ggf. ist eine ökologische Baubegleitung (ÖBB) hinzuzuziehen – z. B. in Schutzgebieten oder bei Anforderung aus der Planfeststellung.

Bei TBU gibt es einige Besonderheiten zu beachten. Die Bauüberwachung beginnt nicht erst beim Einrichten der Baustelle. Da viele lebende Baustoffe wie Pflanzmatten, Weiden oder Röhrichte eingebaut werden, ist es erforderlich, bereits den Anwuchs bzw. die Gewinnung des Pflanzmaterials in regelmäßigen Abständen zu überprüfen, um später die geforderten Qualitäten einbauen zu können. Fehlentwicklungen können so rechtzeitig erkannt werden. Durch Gegensteuern kann qualitativ minderwertiges oder ungeeignetes Material auf der Baustelle vermieden werden. Schlechte Qualitäten beim Pflanzmaterial können die Baustellen erheblich verzögern, da ein Ersatz oft nicht schnell zu beschaffen ist.

Beim Einbau lebender Pflanzen muss die örtliche Bauüberwachung auf einen sorgsamen Umgang mit den Pflanzen und insbesondere den Einbaustandort achten. Dieser muss zu den Ansprüchen der vorgesehenen Pflanzenarten passen und geht aus den Ausführungsunterlagen hervor. Häufig sind die Pflanzen zoniert einzubringen. Der Herkunftsnachweis der Pflanzen (einschließlich Saatgut) ist im Rahmen der Auftragsvergabe zu erbringen. Die Nachweise sind bei der Lieferung von der örtlichen Bauüberwachung zu überprüfen. Da das lebende Baumaterial nicht immer komplett am Liefertag einbaut werden kann, ist eine geeignete Zwischenlagerung notwendig. So können z. B. Weiden für Weidenspreitlagen zum Teil mit feuchter Erde abgedeckt (eingeschlagen) werden. Es ist darauf zu achten, dass die Pflanzen nicht in der prallen Sonne vertrocknen und regelmäßig bei Bedarf gegossen werden. Die örtliche Bauüberwachung kontrolliert die fachgerechte Umsetzung der vertraglich vereinbarten Leistungen.

Die wichtigsten Unterlagen für die örtliche Bauüberwachung sind aussagekräftige Ausführungsunterlagen (Kapitel 8). Darin sind alle wichtigen Angaben enthalten, die die örtliche Bauüberwachung überprüft. Hierzu gehören z. B. die genauen Einbauzonen des Pflanzmaterials, die Art der Befestigung des Materials inklusive der vorgeschriebenen Abstände und Einbindetiefen von Befestigungspflöcken. Falls einige Angaben in den Ausführungsunterlagen nicht abschließend geklärt sind oder aus nicht vorhersehbaren technischen Problemen beim Einbau Komplikationen auftreten, werden diese Fragestellungen im Rahmen der regelmäßig stattfindenden Baubesprechungen angesprochen und geregelt.

Technisch-biologische Maßnahmen basieren auf alten Kulturtechniken. Die praktische Anwendung sowie die damit verbundenen ökologischen Kenntnisse werden im Rahmen einer Fortbildung und in der Ausbildung von Wasserbauerinnen/Wasserbauern vermittelt. Diese sind damit für die örtliche Bauüberwachung bestens geeignet. Die Vergabe an eine Firma (z. B. Garten- und Landschaftsbaubetrieb) mit Zusatzqualifikation bezüglich TBU ist ebenfalls denkbar, sofern diese mit den spezifischen (hydraulischen und hydrologischen) Gegebenheiten an Wasserstraßen vertraut ist.

10 Fertigstellungs-, Entwicklungs- und Unterhaltungspflege

Fertigstellungspflege

Die Fertigstellungspflege nach DIN 18916 schließt bei TBU unmittelbar nach Abschluss der Pflanzung an. Vor der Fertigstellungspflege wird die ordnungsgemäße Ausführung der Leistung in einer Teilabnahme/Zustandsfeststellung dokumentiert, falls es im Bauvertrag nicht anders geregelt ist. Final kann die Leistung erst abgenommen werden, wenn sichergestellt ist, dass die Maßnahme erfolgreich war (ZTV-W, LB 207 für Landschaftsbau und ZTV-W, LB 210 für Böschungs- und Sohlensicherungen). Der Erfolg ist erst geraume Zeit später zu erkennen, wenn die Pflanzen geschlossen angewachsen sind. Der Zeitraum der Fertigstellungspflege beträgt in der Regel ca. 1 Jahr. Er variiert in Abhängigkeit von der Art der Pflanzmaßnahme und dem Zeitpunkt der Pflanzung.

Mit der Fertigstellungspflege gewährleistet der Auftragnehmer, dass die Maßnahme erfolgreich abgeschlossen wird und abgenommen werden kann. Die Abnahme erfolgt meistens am Ende einer Vegetationsperiode im September oder Oktober. Die Leistungen der Fertigstellungspflege sind keine Nebenleistungen, sondern müssen entsprechend beauftragt und vergütet werden.

Je nach Standort, Jahreszeit und Pflanzenauswahl können verschiedene Maßnahmen notwendig sein, um den abnahmefähigen Zustand zu erreichen. Beispielhaft sind zu nennen:

- Überprüfung und ggf. Wiederherstellung von Pflanzenverankerungen und Pflanzenbefestigungen
- Entfernung von Wildwuchs und Unrat
- Bewässern der Flächen
- Mähen der Flächen
- Entfernung vertrockneter und beschädigter Pflanzenteile
- Bekämpfung von invasiven Neophyten
- Ersatz ausgefallener Pflanzen
- Erziehungs- und Pflegeschnitte
- Nährstoffzufuhr bei Bedarf
- Kontrolle des Schutzes gegen Tierverschädigung oder -vertritt

Falls der Auftraggeber die Fertigstellungspflege nicht beauftragt, sondern selbst durchführt, kann der Auftragnehmer die Gewährleistung für den Erfolg der Maßnahme ablehnen. Die Verantwortung für den Erfolg geht dann an den Auftraggeber über. Es ist deshalb zu empfehlen, die Fertigstellungspflege zu beauftragen. Gerade in der Anfangszeit einer Pflanzung kann regulierend eingegriffen und unerwünschten Entwicklungen frühzeitig entgegengewirkt werden.

Entwicklungspflege

An die Fertigstellungspflege sollte die Entwicklungspflege nahtlos anschließen. Sie hat zum Ziel, die Pflanzung in einen gewünschten und funktionsfähigen Zustand zu überführen. Die Dauer der Entwicklungspflege beträgt 2 bis 3 Jahre in Abhängigkeit der Pflanzmaßnahme.

Unterhaltungspflege

Die Unterhaltungspflege beginnt, wenn der gewünschte, funktionsfähige Zustand der TBU erreicht ist. Sie dient der langfristigen Erhaltung dieses Zustandes. In der Regel wird sie vom ABz durchgeführt.

Im Rahmen der verkehrlichen Unterhaltung und der Verkehrssicherungspflicht sind typische Unterhaltungsmaßnahmen das Freihalten oder die Wiederherstellung des notwendigen Abfluss- und Lichtraumprofils, die Gehölzpflege, Mäharbeiten, die Beseitigung von Schäden im Uferbereich und die Gewährleistung von Bauwerksfunktionen. Liegt der Maßnahmenbereich in einem weniger verkehrlich und verkehrssicherheitsrelevanten Uferbereich und ist die Flächenverfügbarkeit gegeben, sind die Anforderungen an die Unterhaltung entsprechend geringer.

In Maßnahmenbereichen, die als „freie Landschaft“ (§ 60 BNatSchG) definiert sind, hat die WSV keine Verkehrssicherungspflicht (BMVI 2020), und das Betreten erfolgt auf eigene Gefahr. Der Fokus liegt hier auf der ökologisch-wasserwirtschaftlichen Unterhaltung, der „Pflege und Entwicklung“ eines Gewässers und dem Erhalt und der Förderung der ökologischen Funktionsfähigkeit des Gewässers, insbesondere als Lebensraum für Tiere und Pflanzen.

Grundsätzlich erfordern TBU durch die Verwendung von Pflanzen für den Uferschutz z. T. eine andere Unterhaltung als die herkömmlichen rein technischen Schüttsteindeckwerke. Bei der Durchführung der Unterhaltungspflege können verschiedene Aspekte relevant sein, die sich entsprechend der konkreten Randbedingungen aus den ggf. unterschiedlichen technischen, ökologischen und sonstigen Zielstellungen der Uferschutzmaßnahmen (Kapitel 6) ergeben. Mögliche, ggf. zu vereinbarende Zielstellungen sind:

- Gewährleistung des Uferschutzes entsprechend des gewählten Bemessungsstandards, d. h. Erhalt der Stabilität der TBU-Maßnahmen und der Vitalität der Pflanzen, Erreichen einer optimalen Wurzelentwicklung
- Gewährleistung der Schifffahrt, Vermeidung von unzulässigem Materialeintrag in die Fahrrinne, Vermeidung einer Gefährdung der Schiffe durch erodierte Bäume oder Totholz
- Verhinderung einer unzulässigen Beeinträchtigung des Hochwasserschutzes durch flächig hoch aufwachsende Vegetation
- Ermöglichung von Naherholung, Besucherlenkung
- Erreichung der Zielvegetation und der vorgesehenen Arten- und Strukturvielfalt
- Vernetzung des terrestrischen und aquatischen Bereichs
- Förderung der Fauna
- Beitrag zum Klimaschutz, z. B. durch maximale CO₂-Speicherung in der Vegetation (Erreichen von viel Biomasse)

Da diese Ziele zum Teil gegensätzliche Anforderungen an die Unterhaltung stellen (z. B. Begrenzung der Biomasse hinsichtlich Hochwasserschutz vs. Förderung von möglichst viel Biomasse hinsichtlich CO₂-Speicherung), muss im Einzelfall durch entsprechende Priorisierung die optimale Unterhaltungsstrategie für jeden Wasserstraßenabschnitt festgelegt werden. Auch der Umfang der Unterhaltung kann unterschiedlich sein und ist entsprechend des gewählten Bemessungsstandards und der Zielstellungen festzulegen. Geringere Unterhaltungsaufwendungen können sich zum Beispiel in Uferbereichen einstellen, die durch vorgelegte indirekte Uferschutzmaßnahmen geschützt sind. Umfallende Bäume müssen hier nicht beseitigt werden, sondern können als Totholz in der geschützten Wasser- bzw. Uferzone verbleiben.

11 Erfolgskontrollen

TBU kommen in der WSV noch vergleichsweise wenig zum Einsatz. Daher ist es wichtig und notwendig, Erfahrungen zu sammeln, die neuen Erkenntnisse auszuwerten und weiterzugeben. Bereits bei der Planung und Vorbereitung entsprechender Ufersicherungsmaßnahmen sollten geeignete Kontrolluntersuchungen vorgesehen werden, wobei deren Durchführung nicht für jede TBU in gleich großem Umfang erforderlich sein wird. Gemäß den „Empfehlungen für Erfolgskontrollen zu Kompensationsmaßnahmen beim Ausbau von Bundeswasserstraßen (BMVBS)“ (2006) dient die Erfolgskontrolle dazu festzustellen, ob und in welchem Ausmaß die durchgeführten Maßnahmen erfolgreich waren.

Die Erfolgskontrolle kann in die Herstellungs- und die Funktionskontrolle unterteilt werden. Eine grundsätzliche Verpflichtung der WSV, neben der Herstellungskontrolle eine Funktionskontrolle durchzuführen, besteht nicht. Für den WSV-eigenen Erkenntnisgewinn ist die Funktionskontrolle jedoch sinnvoll und zu empfehlen. Werden TBU im Rahmen eines Ausbaus umgesetzt, können zusätzlich aus dem Planfeststellungs- oder Plangenehmigungsbeschluss Auflagen für die Durchführung der Funktionskontrolle bestehen.

Bei der Herstellungskontrolle wird überprüft, ob die Maßnahmen in der geplanten Weise und im geplanten Umfang umgesetzt worden sind („Bauabnahme“). Ausführungen zur Herstellungskontrolle enthält Kapitel 9 (Bauüberwachung).

Die Funktionskontrolle dient dazu, das Erreichen der mit der durchgeführten Maßnahme geplanten Ziele zu überprüfen und bei Bedarf die weiterführende Unterhaltung zielgerichtet zu steuern. Dabei ist der Umfang der erreichten Wirksamkeit der Maßnahmen mittel- und ggf. langfristig in einem festzulegenden Turnus zu prüfen. Häufig ist es sachgerecht, am Anfang der Funktionskontrolle ein engeres zeitliches Raster aufzusetzen, während im späteren Verlauf durchaus in größeren zeitlichen Abständen untersucht werden kann. Die räumliche Festlegung der Untersuchungsbereiche kann ggf. über den Bereich der eigentlichen Maßnahme hinausgehen, wenn es z. B. erforderlich ist, Referenzbereiche oder auch angrenzende Randbereiche mit in die Kontrolluntersuchungen einzubeziehen.

Bei TBU sind sowohl technische als auch ökologische Fragestellungen bei den Funktionskontrollen zu betrachten. Ziel sollte es immer sein, möglichst einfach zu kontrollierende Parameter auszuwählen, die in einem ersten Schritt durch Sichtprüfung beurteilt werden können. Wenn erforderlich, können dann weitere Schritte mit tiefer gehenden Untersuchungen durchgeführt werden.

Technische Wirksamkeit

Die hierbei erforderlichen Kontrollen und Datenerfassungen können (und sollen) in der Regel von dem für die Unterhaltung zuständigen ABz/WSA durchgeführt werden. Dies vereinfacht die Erfassung und sichert eine Regelmäßigkeit über die Jahre hinweg. Wichtig dabei ist, dass vorlaufend ein konkretes Untersuchungsprogramm aufgestellt und abgestimmt wird. Die Erarbeitung oder Verwendung eines entsprechenden Formblattes vereinfacht die Datenerhebung und sichert eine nachvollziehbare Dokumentation. Ein Beispiel für ein anwendbares Formblatt zur Datenerhebung bei Anwendung von direkten TBU im Böschungsbereich zeigt Abbildung 13. Das Formblatt ist als Excel- und PDF-Datei zur Nutzung auch auf dem BAW/BfG-Internetportal zur Anwendung von TBU an Binnenwasserstraßen unter „Arbeitshilfen“ online abrufbar (<https://ufersicherung-baw-bfg.baw.de/binnenbereich/de/arbeitshilfen/monitoring>).

Formblatt zur Datenerhebung im Rahmen der Erfolgskontrolle bei Anwendung von direkten TBU					
Maßnahme:					
Bearbeiter:			Wetter:		
Datum:			Lufttemperatur:		
Uhrzeit:			Wasserstand Pegel :		
Fotos: Foto zur Gesamtübersicht (immer gleicher Standpunkt, ggf. Vorgabe einer Übersichtsskizze) und Detailfotos					
Markierung Übersichtsskizze: Auffälligkeiten bitte dort (möglichst genau) einzeichnen!					
Zustand	trifft zu	trifft nicht zu	nicht erkennbar	Erläuterungen, Beschreibungen, z. B. prozentuale Betroffenheit	
Lagestabilität der TBU					
Schadhafte, lockere, fehlende Befestigungen (z.B. herausgezogene Pflöcke)					
Keine flächige, feste Verbindung zwischen TBU und Untergrund vorhanden					
TBU ist nicht lagestabil, Hinweise auf Verlagerungen, Rutschungen oder andere Instabilitäten der TBU					
Stabilität der Uferböschung mit TBU					
Schäden (Erosion, Rutschungen, andere Böschungsinstabilitäten) erkennbar					
Materialaustrag feststellbar					
Uferlinie hat sich verlagert					
Böschungsoberkante hat sich verlagert					
Anlandungen sichtbar					
Entwicklung der eingebrachten Pflanzen					
Defizite bei der Pflanzenvitalität					
Abgestorbene Pflanzen vorhanden					
Flächige Bewuchslücken vorhanden					
Hinweise auf unzureichende Wurzelbildung					
Schädlingsbefall feststellbar					
Überwuchern des Zielbewuchses durch Neophyten erkennbar					
Kein zusätzliches Aufkommen gebietsheimischer Arten erkennbar					
Sonstiges					
Treibgut vorhanden				wenig ☐	mittel ☐ viel ☐
Faunistische Auffälligkeiten/ Tierbeobachtung					
Erhöhte Besucherfrequenz/ Vandalismus erkennbar					
Einfluss von Wühltieren erkennbar					
Weitere Bemerkungen/sonstige Auffälligkeiten:					
Querprofileinmaße zu Vergleichszwecken vorhanden? Weitere erforderlich?					
Gesamtbewertung:			unkritisch:		
			sofortiger Handlungsbedarf:		
			ggf. längerfristiger Handlungsbedarf:		
Handlungsbedarf:					

Abbildung 13: Beispielhaftes Formblatt zur Datenerhebung im Rahmen der Erfolgskontrolle

Die nachfolgend aufgeführten Kontrollen und Prüfungen stellen Vorschläge dar, die Liste kann je nach Maßnahmenart ergänzt werden:

- Lagestabilität der Sicherungsmaßnahme (TBU)

Es ist zu prüfen, inwieweit die eingesetzten Böschungssicherungen (z. B. Weidenspreitlagen, Pflanzmatten) lagestabil vor Ort verbleiben. Eine optische Prüfung kann Aufschluss darüber geben, ob eine ausreichende Verbindung der TBU mit dem Untergrund erfolgt (z. B. Wurzelbildung gegeben? Befestigungselemente noch vorhanden und wirksam?). Hierbei ist es von Vorteil, durch das Setzen fester und wieder auffindbarer Messpunkte die Lage der Sicherungsmaßnahmen unmittelbar nach Fertigstellung zu dokumentieren und diese Messpunkte in der Folgezeit als Bezugspunkte zu nutzen.

- Stabilität der Uferböschung mit TBU

Es ist zu prüfen, inwieweit sich die Uferlinie und die Böschungsoberkante in ihrer Lage verändern und ob es im Maßnahmenbereich dadurch zu Flächenverlusten kommt. Kennzeichnend dafür können Böschungsrutschungen oder Materialaustrag sein. Eine fortlaufende Fotodokumentation der Uferbereiche als einfache Methode ist zu empfehlen. Auch hierbei kann es von Vorteil sein, durch das Setzen fester Messpunkte die ursprüngliche Lage der Böschungsoberkante zu dokumentieren. Auf die Dokumentation des jeweiligen Wasserstandes ist dabei besonders zu achten.

Bei Bedarf kann es auch erforderlich werden, Querprofile im Maßnahmenbereich aufzunehmen, um Abtragungen und Ablagerungen im Bereich der Uferböschung festzustellen. Diese Profilaufnahmen sollten zur Sicherstellung der Vergleichbarkeit verschiedener Aufnahmejahre immer an derselben Stelle erfolgen. Als Referenz ist es wichtig, auch den Zustand der Uferböschung unmittelbar nach Fertigstellung der TBU entsprechend aufzunehmen.

- Entwicklung der eingebrachten Pflanzen

Es ist zu prüfen, wie sich die Pflanzen der Böschungssicherungen entwickeln. Sind beispielsweise flächige Bewuchslücken in einer Weidenspreitlage oder einer Pflanzmatte festzustellen, die die Böschungsstabilität kritisch beeinflussen könnten? Betreffen diese Bewuchslücken einzelne Pflanzenarten oder ganze Pflanzenbestände? Lässt sich erkennen, ob die Pflanzen aufgrund der Standortbedingungen nicht anwachsen konnten oder ob sie z. B. auf Grund eines Extremereignisses (längerer Überstau oder Trockenperiode) abgestorben sind?

Auch die Vitalität der eingebrachten Pflanzen ist zu überprüfen. Ist beispielsweise ein starker Schädlingsbefall (Fraßspuren, Gespinste, glänzende, klebrige, welke oder deformierte Blätter) oder sind Mangelerscheinungen im Wachstum der Pflanzen (kümmerlicher Wuchs, gelbe Blattverfärbungen, abgestorbene Blattränder) feststellbar? Auch ein starkes Aufkommen von Neophyten kann wichtige Hinweise auf die Entwicklung der Böschungssicherungen geben. Breiten sich insbesondere konkurrenzstarke, invasive Neophyten aus, besteht die Gefahr einer Überwucherung oder Verdrängung des Zielbewuchses und damit ggf. einer Schwächung der Böschungssicherung. Hinweise zur Bestimmung der invasiven Pflanzenarten, die an Bundeswasserstraßen am häufigsten vorkommen und Empfehlungen in Bezug auf Vorbeugung und Bekämpfung lassen sich u. a. den entsprechenden Steckbriefen und Arbeitsblättern der BfG entnehmen (https://www.bafg.de/DE/3_Beraet/4_Exp_oekologie/Neophyten_U3/neophyten_node.html).

Beitrag zur ökologischen Zielerreichung

Durchgeführte Ufersicherungsmaßnahmen können neben ihrer eigentlichen Sicherungsfunktion zusätzlich einen Beitrag zur ökologischen Entwicklung der Bundeswasserstraßen und somit zur Erfüllung neuer rechtlicher Erfordernisse leisten (Kapitel 3 bis 6). Es ist davon auszugehen, dass TBU per se zur Erhöhung der Strukturvielfalt und der Biodiversität in einem Oberflächenwasserkörper beitragen. Die ökologische Wirksamkeit einer Einzelmaßnahme auf den ökologischen Zustand bzw. das ökologische Potenzial gemäß WRRL und damit der Beitrag zur Zielerreichung für den Oberflächenwasserkörper, in dem die Maßnahme umgesetzt wurde, wird sich allerdings auch aufgrund der notwendigen Entwicklungszeiträume kaum nachweisen lassen. Insbesondere wird eine Einzelmaßnahme in der Regel keinen Klassensprung in der Zustandsbewertung eines Oberflächenwasserkörpers verursachen. Im Wesentlichen geht es darum, ob und in welchem Ausmaß die Lebensbedingungen für Pflanzen und Tiere an den Ufern der Wasserstraßen verbessert werden können. Im Rahmen der regelmäßigen Kontrollen kann daher geprüft und festgehalten werden, ob in den Maßnahmenbereichen ein Ansiedeln und Entwickeln von standortheimischen Pflanzen- und Tiergemeinschaften zu beobachten ist.

Regelmäßige Beobachtungen vor Ort durch das WSA

Häufig kann es schon ausreichen, dass entsprechend eingewiesene Beschäftigte des WSA jährlich wiederkehrende Begehungen der Böschungsbereiche durchführen und auf das Vorkommen zuvor festgelegter Pflanzenarten überprüfen. Dabei ist es in jedem Fall wichtig, als Grundlage sämtlicher Bewertungen den Ausgangszustand des Uferbereiches vor Maßnahmenumsetzung sowie den Zustand unmittelbar nach Bauabschluss zu dokumentieren. Dies sollte immer durch eine ausführliche Fotodokumentation ergänzt werden.

In der Regel wird für Ufersicherungsmaßnahmen, mit denen auch eine ökologische Zielerreichung verfolgt wird, die entsprechende Zielvegetation vorab festgelegt (Kapitel 7.9). Häufig werden auch bestimmte Tiergruppen benannt, für die eine Verbesserung der Lebensraumstrukturen erreicht werden soll. Daran orientieren sich dann die festzulegenden projektspezifischen Indikatoren und Zielwerte. An Binnenwasserstraßen geht es bei einer ökologischen Entwicklung darum, die durch eine eingeschränkte Dynamik häufig verarmte Strukturvielfalt am und im Gewässer zu bereichern und die meist fehlende oder stark eingeschränkte Vernetzung zwischen Gewässer und Uferlandschaft zumindest teilweise wiederherzustellen (Kapitel 3). Diesbezüglich sind vorrangig solche Tier- und Pflanzengruppen Gegenstand der Untersuchungen, die typisch für naturnahe Gewässerabschnitte oder für ökologisch funktionierende Übergangsbereiche zwischen Wasser und Land sind. Folgende Fragestellungen können hierbei z. B. Grundlage für einen geeigneten Untersuchungsumfang sein:

Vegetationskundliche Aspekte:

- Welche Pflanzenarten bilden den Weidengebüsch-Saum, das Röhricht und die Uferstaudenflur?
- Wie artenreich sind die Vegetationsbestände?
- Gibt es seltene, gefährdete oder geschützte Pflanzenarten?
- Wie verändert sich die Artenzusammensetzung im Laufe der Zeit?
- Welche Arten von Neophyten treten auf? Gibt es entsprechende Ausbreitungstendenzen?

Faunistische Aspekte:

- Finden sich Brutvorkommen der festgelegten Zielvogelarten?
- Sind die zu erwartenden Libellenarten im Gebiet zu finden?
- Können Fortpflanzungsnachweise für diese Libellenarten (Fund von leeren Larvenhüllen) erbracht werden?

Je nach vorgesehenem Entwicklungsziel ist es wichtig, geeignete Indikatorgruppen, die typisch für die angestrebten Lebensräume sind, als Untersuchungsobjekte zu wählen. Dabei können unterstützend auch die Arten-Steckbriefe der BfG herangezogen werden (BfG 2023), (BfG 2024).

Weitergehende Untersuchungen durch zu beauftragende Fachbüros

Es kann erforderlich sein, dass weitergehende biologische Untersuchungen durchzuführen sind (z. B. durch planrechtliche Forderungen oder zum weiteren Erkenntnisgewinn). Damit werden in der Regel entsprechende Fachbüros beauftragt. Die jeweiligen spezifischen Untersuchungsumfänge und Methoden werden zuvor aufgestellt und abgestimmt. Meist werden solche Untersuchungen über mehrere Jahre durchzuführen sein, da es sich bei biologischen Entwicklungen um längerfristige Prozesse handelt.

Die zusammenfassende Auswertung der Kontrolluntersuchungen sowie die daraus zu ziehenden Schlussfolgerungen sollten auf jeden Fall in der Verantwortung des Vorhabensträgers liegen. In den einzelnen Untersuchungsberichten zu den Funktionskontrollen können und sollten von den jeweiligen Bearbeitern Vorschläge zur Optimierung der Uferentwicklung (wenn erforderlich) gemacht werden. Die Umsetzung solcher Optimierungsvorschläge ist allerdings nicht mehr Gegenstand der Erfolgskontrolle. Bei Bedarf wird der Vorhabensträger entsprechende Handlungsanweisungen für die weitere Unterhaltung und Entwicklung der Uferabschnitte aufstellen.

Zur Erhöhung der Akzeptanz für TBU bei den Naturschutz- und Wasserwirtschaftsbehörden empfiehlt es sich, diese bereits vor Durchführung der Böschungssicherungsmaßnahmen mit einzubeziehen und auch bei der Erstellung der Untersuchungskonzepte mit einzubinden. Insbesondere bei Erfolgskontrollen, die Qualitätskomponenten nach WRRL (LAWA 2020) beinhalten, ist eine Abstimmung mit den Landesbehörden sinnvoll.

12 Regelwerke/Literatur

Regelwerke

BMVBS (2006)	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.) (2006): Empfehlungen für Erfolgskontrollen zu Kompensationsmaßnahmen beim Ausbau von Bundeswasserstraßen. Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
RiReBSK (2011)	Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (Hg.) (2011): Richtlinien für Regelquerschnitte von Binnenschifffahrtskanälen (RiReBSK). Bonn: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung.
BMVI (2015)	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2015): Leitfaden Umweltbelange bei der Unterhaltung von Bundeswasserstraßen – VV-WSV 2201 Handbuch Umwelt. Bonn: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
BMVI (2019a)	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2019a): Leitfaden zur FFH-Verträglichkeitsprüfung an Bundeswasserstraßen – VV-WSV 2201 Handbuch Umwelt. Bonn: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
BMVI (2019b)	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2019b): Leitfaden zur Erstellung des Fachbeitrags WRRL bei Vorhaben der WSV an Bundeswasserstraßen – VV-WSV 2201 Handbuch Umwelt. Bonn: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
BMVI (2020)	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2020): Leitfaden zur Berücksichtigung des Artenschutzes bei Aus- und Neubau von Bundeswasserstraßen – VV-WSV 2201 Handbuch Umwelt. Bonn: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
BMDV (2023)	Bundesministerium für Digitales und Verkehr (Hg.) (2023): Arbeitsschutzmanagementsystem AMS 2.0, Sicherheit und Gesundheit im Ressort des BMDV. Bonn: Bundesministerium für Digitales und Verkehr.
DIN 1054	Baugrund – Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau – Ergänzende Regelungen zu DIN EN 1997-1 (1054:2021-04).
DIN EN 1997-1	Eurocode 7 – Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln (1997-1:2014-03).
DIN EN 1997-1/NA	Nationaler Anhang – National festgelegte Parameter – Eurocode 7: Entwurf, Berechnung und Bemessung in der Geotechnik – Teil 1: Allgemeine Regeln (EN 1997-1/NA:2010-12).
DIN 4084	Baugrund – Geländebruchberechnungen (4084:2021-11).
DIN 18320	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen – Teil C: Allgemeine Technische Vertragsbedingungen für Bauleistungen (ATV) – Landschaftsbauarbeiten (18320:2019-09).

DIN 18916	Vegetationstechnik im Landschaftsbau – Pflanzen und Pflanzarbeiten (18916:2016-06).
DIN 19657	Sicherungen von Gewässern, Deichen und Küstendünen (19657:2023-12).
DGGT (2010)	Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. (Hg.) (2010): Empfehlungen für den Entwurf und die Berechnung von Erdkörpern mit Bewehrungen aus Geokunststoffen, Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V. 2. vollst. überarb. u. erw. Ausgabe. Berlin: Ernst & Sohn.
DVWK (1997)	Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau (Hg.) (1997): Maßnahmen zur naturnahen Gewässerstabilisierung. Bonn: Verlagsgesellschaft Gas und Wasser mbH (Schriftenreihe des Deutschen Verbandes für Wasserwirtschaft und Kulturbau, 118).
DWA-M 519 (2016)	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hg.) (2016): Merkblatt DWA-M 519 Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Binnengewässern. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA-Regelwerk).
DWA-M 620-1 (2020)	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hg.) (2020): Merkblatt DWA-M 620-1 Ingenieurb biologische Bauweisen an Fließgewässern – Teil 1: Grundlagen und Bauweisenauswahl. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA-Regelwerk).
DWA-M 620-2 (2022)	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (Hg.) (2022): Merkblatt DWA-M 620-2 Ingenieurb biologische Bauweisen an Fließgewässern – Teil 2: Planung, Umsetzung und Erfolgskontrolle. Hennef: Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA-Regelwerk).
GBB (2004)	Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2004): Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAWMitteilungen, 87).
GBB (2011)	Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2011): BAWMerkblatt Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (GBB 2010). Version 2011. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien). Online verfügbar unter https://izw.baw.de/publikationen/merkblaetter/0/BAWMerkblatt_Grundlagen_Bemessung_Binnenwasserstrassen_GBB_2010.pdf , zuletzt geprüft am 01.07.2026.
GDWS (2025)	Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (Hg.) (2025): Handbuch WSV-Klimaanpassung – Berücksichtigung der Folgen des Klimawandels in Planungsprozessen. 1. Auflage, Version 1.1. Bonn: Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt, Dezernat U10 Ökologische Entwicklung der Bundeswasserstraßen.
LAWA (2020)	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser (Hg.) (2020): Handbuch Verfahrensempfehlung zur Erfolgskontrolle hydromorphologischer Maßnahmen in und an Fließgewässern. Version 3.1. Potsdam: Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser.

MAG (2021)	Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2021): BAWMerkblatt Anwendung von geotextilen Filtern an Wasserstraßen (MAG). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).
MAR (2008)	Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2008): BAWMerkblatt Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen (MAR). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).
MAK (2013)	Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2013): BAWMerkblatt Anwendung von Kornfiltern an Wasserstraßen (MAK). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).
MMB (2013)	Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2013): BAWMerkblatt Materialtransport im Boden (MMB). Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).
MSD (2025)	Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.) (2023): BAWMerkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-Merkblätter, -Empfehlungen und -Richtlinien).
PIANC (2015)	The World Association for Waterborne Transport Infrastructure - PIANC (Hg.) (2015): Guidelines for protecting berthing structures from scour caused by ships. Brüssel: PIANC. Report No. 18.
PIANC (2019)	The World Association for Waterborne Transport Infrastructure - PIANC (Hg.) (2019): Design guidelines for inland waterway dimensions. Brüssel: PIANC Report No. 141.
PIANC (2025)	The World Association for Waterborne Transport Infrastructure - PIANC (Hg.) (2025): Technical-biological bank protections for inland waterways. Brüssel: PIANC. InCOM WG report No. 128.
STLK LB 207 (2024)	Bundesministerium für Verkehr (Hg.) (2024): STLK LB 207: Landschaftsbau (Standardleistungskatalog – Wasserbau).
STLK LB 210 (2025)	Bundesministerium für Verkehr (Hg.) (2025): STLK LB 210: Böschungs- und Sohlensicherungen (Standardleistungskatalog – Wasserbau).
ZTV-W LB 205 (2025)	Bundesministerium für Verkehr (Hg.) (2025): ZTV-W LB 205: Erdarbeiten (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau).
ZTV-W LB 207 (2026)	Bundesministerium für Verkehr (Hg.) (2026): ZTV-W LB 207: Landschaftsbau (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau).
ZTV-W LB 210 (2025)	Bundesministerium für Verkehr (Hg.) (2025): ZTV-W LB 210: Böschungs- und Sohlensicherungen (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Wasserbau).
ZTV-La-StB 18 (2018)	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Hg.) (2018): ZTV-La-StB 18: Landschaftsbauarbeiten im Straßenbau. Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen – Landschaftsbau).

Literatur

Barth, Heike; Bogumil, Heide; Gesing, Carolin; Söhngen, Bernhard (2026): Flachwasserzonen für Binnenwasserstraßen im urbanen Raum – Projektbeispiele und hydraulische Auslegung. 49. Dresdner Wasserbaukolloquium 2026 „Wasserbau zwischen Technik und Natur: Multifunktionale Lösungen für die Zukunft“.

BAW (Hg.) (2020): Stellungnahme zur Auslegung der Öffnungen in den Spundwänden für die Flachwasserzone Spreeschanze (E-AU1) – Zusammenfassung der Ergebnisse der Besprechung im WNA-Berlin vom 30.07.2020. B3953.02.06.10189, 11/2020. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

BAW (Hg.) (2021): Stellungnahme zum Einfluss von Sekundärwellen – Interpretation von Messergebnissen zum Transmissionskoeffizienten bei der Spundwand Passage von Sekundärwellen mit Anwendung auf die FWZn Charlottenburg und Spreeschanze sowie Schlussfolgerungen für die Planung weiterer FWZn. B3953.02.06.10189, 10/2021. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau.

BAW/BfG (Hg.) (2018): Kennblätter zu bereits an Binnenwasserstraßen angewendeten technisch-biologischen Ufersicherungen. Karlsruhe: Bundesanstalt für Wasserbau, Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde. Online verfügbar unter <https://ufersicherung-baw-bfg.baw.de/binnenbereich/de/arbeitshilfen/kennblaetter>, zuletzt geprüft am 01.07.2026.

BAW/BfG/WSA Oberrhein (Hg.) (2020): Versuchsstrecke mit technisch-biologischen Ufersicherungen, Rhein-km 440,6 bis km 441,6, rechtes Ufer – Abschlussbericht der Monitoringphase 2012 bis 2017. Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde, Freiburg: Wasserstraßen- und Schifffahrtsamt Oberrhein. Online verfügbar unter https://izw.baw.de/publikationen/alu/0/Abschlussbericht_Versuchsstrecke_Rhein_31-08-2020.pdf, zuletzt geprüft am 01.07.2026.

BfG (Hg.) (2007): Untersuchungen zur ökologischen Wirksamkeit landschaftspflegerischer Kompensationsmaßnahmen an der Mosel. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG-Bericht 1541, 118 S. und Anhang.

BfG (Hg.) (2023): Steckbriefe Wasserpflanzen, Röhrichte, Stauden für die Unterhaltung an Bundeswasserstraßen. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde.

BfG (Hg.) (2024): Steckbriefe Gehölze für die Unterhaltung an Bundeswasserstraßen. Koblenz: Bundesanstalt für Gewässerkunde.

Bittmann, Ernst (1965): Grundlagen und Methoden des biologischen Wasserbaus. In: Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hg.): Der biologische Wasserbau an den Bundeswasserstraßen. Stuttgart: Eugen Ulmer, S. 17–47.

Bollrich, Gerhard (2000): Technische Hydromechanik 1– Grundlagen. 5., veränd. Auflage. Berlin: Verlag Bauwesen.

Briaud, Jean-Louis; Govindasamy, Anand V.; Shafii, Iman (2017): Erosion Charts for Selected Geomaterials. In: Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering 143 (10). DOI: [10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0001771](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0001771).

Broß, H.; Henn, R. (2012): Entwicklung eines standardisierten Verfahrens zur Abschätzung der Energieeinsparungspotenziale von Binnenschiffen. Duisburg: DST-Entwicklungszentrum für Schiffstechnik und Transportsysteme e.V. (DST-Bericht, 2076).

Chang, Howard H. (1987): Fluvial processes in river engineering. New York: Wiley.

Collas, F. P. L.; Buijse, A. D.; van den Heuvel, L.; van Kessel, N.; Schoor, M. M.; Eerden, H.; Leuven, R. S. E. W. (2018): Longitudinal training dams mitigate effects of shipping on environmental conditions and fish density in the littoral zones of the river Rhine. In: Science of the Total Environment (619–620), S. 1183–1193.

Dittrich, Andreas (1998): Wechselwirkung Morphologie/Strömung naturnaher Fließgewässer. Habilitationsschrift. Karlsruhe: Technische Universität Fridericiana (TH). (Mitteilungen des Instituts für Wasserwirtschaft und Kulturtechnik der Universität Karlsruhe (TH), 198).

Ellenberg, Heinz (1974): Zeigerwerte mitteleuropäischer Gefäßpflanzen. (Scripta Geobotanica IX). E. Goltze (Göttingen).

Fleischer, Petra; Borelbach, Pia; Duhme, Mona; Schlüter, Volker (2022): Entwicklung eines biologisch-abbaubaren Geotextilfilters für umweltfreundliche Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen. In: Korrespondenz Wasserwirtschaft 15 (3), S.163–169.

Fleischer, Petra; Gesing, Carolin; Stelzer, Oliver (2021): Technisch-biologische Ufersicherungen – Bemessungskonzept für die Ingenieurpraxis an Binnenwasserstraßen. In: geotechnik 44, (3), S. 178–190. DOI:[10.1002/gete.202000039](https://doi.org/10.1002/gete.202000039).

Friesecke, Albrecht; Heinz, Beate; Reinhardt, Michael (2020): Bundeswasserstraßengesetz – Kommentar. 7. Auflage. Köln: Carl Heymanns Verlag.

Grün Blaue Rhein Allianz (Hg.) (2021): Abwägung zum Einbringen von Flussholz. Ein Leitfaden für Projektträger und Ausführende. Übersetzte Version der Broschüre „Afwegingen bij het plaatsen van Rivierhout“, herausgegeben von Rijkswaterstaat en Ministerie van Infrastructuur en Milieu Nederland, 2016.

Hacker, Eva; Johannson, Rolf (2011): Ingenieurbiologie. 1. Auflage. Stuttgart: Ulmer Verlag.

Hoffmans, Gijs J. C. M.; Verheij, Henk J. (Hg.) (2021): Scour manual. Current-related erosion. 1. Auflage. London: CRC Press. DOI: [10.1201/b22624](https://doi.org/10.1201/b22624).

Kail, J.; Gerhard, M. (2003) Totholz in Fließgewässern – eine Begriffsbestimmung. In: Wasser und Boden 55 (1+2), S. 49–55.

Kleinwächter, Meike; Schröder, Uwe; Rödiger, Silke; Hentschel, Bernd; Anlauf, Andreas (Hg.) (2017): Alternative Buhnenformen in der Elbe – hydraulische und ökologische Wirkungen. Stuttgart: Schweizerbart. (Konzepte für die nachhaltige Entwicklung einer Flusslandschaft, 11).

Liefveld, W. M. (2015): Pilot rivierhout. Verslag van het ontwerpproces 2013–2015. Culemborg: Bureau Waardenburg.

Mozer, J. (2020): Hydraulische Belastungen in Flachwasserzonen hinter geöffneten Spundwänden an Binnenwasserstraßen am Beispiel Flachwasserzone Berlin Charlottenburg. Masterarbeit, Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Studiengang Bauingenieurwesen, 14.5.2020.

Naturkapital Deutschland - TEEB DE (Hg.) (2012): Der Wert der Natur für Wirtschaft und Gesellschaft - Eine Einführung. München: ifuplan; Leipzig: Helmholtz-Zentrum für Umweltforschung - UFZ; Bonn: Bundesamt für Naturschutz.

Patt, Heinz; Jüring Peter; Kraus, Werner (Hg.) (2018): Naturnaher Wasserbau: Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern. 5. Auflage. Wiesbaden: Springer Vieweg.

Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu (Hg.) (2016): Afwegingen bij het plaatsen van Riviervierhout. Den Haag: Rijkswaterstaat Ministerie van Infrastructuur en Milieu.

Scharf, Lisa; Hämmerle, Martin (2024): Wirkungen veränderter klimatischer Randbedingungen auf die Bundeswasserstraßen, Im Rahmen des BMDV-Experten Netzwerks „Wissen – Können – Handeln“, in: Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Forschungskompodium Verkehrswasserbau 2024, S. 153. <https://hdl.handle.net/20.500.11970/114387>.

Scharf, Lisa; Hämmerle Martin; Patzwahl Regina (2023): Information for decision-makers: compiling and providing expertise on climate change impacts on waterways. Unveröffentlichter Vortrag. Adaptation Futures 2023, 02.–06.10.2023, Montreal.

SenUVK Berlin (2021a): Herleitung des hydromorphologischen Maßnahmenbedarfs zur Erreichung des guten ökologischen Potenzials in den innerstädtischen Kanälen und der Spree in Berlin. Berlin: Senatsverwaltung für Umwelt Verkehr und Klimaschutz (4/2021).

SenUVK Berlin (2021b): Ergänzender Länderbericht Berlins zur Aktualisierung des Bewirtschaftungsplans und des Maßnahmenprogramms der Flussgebietsgemeinschaft Elbe für den Zeitraum 2022 bis 2027, Berliner Bericht zur Umsetzung der WRRL. Berlin: Senatsverwaltung für Umwelt Verkehr und Klimaschutz (12/2021).

Skowronek, Sandra; Eberts Christiane; Blanke Philipp; Metzling Detlev (2023): Leitfaden zur Verwendung von gebietseigenem Saat- und Pflanzgut krautiger Arten in der freien Natur Deutschlands. Hinweise zur Umsetzung des § 40 Abs. 1 BNatSchG. Bonn: Bundesamt für Naturschutz (BfN-Schriften, 647). DOI: [10.19217/skr647](https://doi.org/10.19217/skr647).

Söhngen, Bernhard (2026): Flachwasserzonen für Binnenwasserstraßen im urbanen Raum. Vortrag zum 49. Dresdner Wasserbaukolloquium 2026. Online verfügbar unter <https://izw-campus.baw.de/goto.php/cat/17352>, zuletzt geprüft am 01.07.2026.

Stowasser, Andreas (2011): Potenziale und Optimierungsmöglichkeiten bei der Auswahl und Anwendung ingenieurbioologischer Bauweisen im Wasserbau. Dissertation, Schriftenreihe Institut für Umweltplanung, Leibniz Universität Hannover, Band 5.

VBW (Hg.) (2013): Fahrdynamik von Binnenschiffen. Fahrverhalten auf Binnenwasserstraßen. Hamburg: Hansa Verlag.

Links

Bundesanstalt für Wasserbau; Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hg.): Internetportal "Technisch-biologische Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen". Online verfügbar unter: <https://ufersicherung-baw-bfg.baw.de/binnenbereich/de/>, zuletzt geprüft am 01.07.2026.

Bundesamt für Naturschutz (Hg.): Daten und Informationen zu Wildpflanzen Deutschlands. Online verfügbar unter: <https://www.floraweb.de/>, zuletzt geprüft am 01.07.2026.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hg.): Neophyten. Online verfügbar unter: https://www.bafg.de/DE/3/Berat/4/Exp_oekologie/Neophyten_U3/neophyten_node.html, zuletzt geprüft am 01.07.2026.

Bundesanstalt für Wasserbau (Hg.): Sammlung von bereits an Binnenwasserstraßen ausgeführten Maßnahmen. Online verfügbar unter <https://ufersicherung-baw-bfg.baw.de/binnenbereich/de/massnahmen>, zuletzt geprüft am 01.07.2026.

Bundesanstalt für Wasserbau; Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hg.): Monitoring zur Erfassung und Dokumentation der technischen-biologischen Ufersicherung. Online verfügbar unter: <https://ufersicherung-baw-bfg.baw.de/binnenbereich/de/arbeitshilfen/monitoring>, zuletzt geprüft am 01.07.2026.

Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (Hg.): Karte zur Klassifizierung der Binnenwasserstraßen des Bundes. Online verfügbar unter https://www.gdws.wsv.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Karten/Karten/w161k_Klassifizierung.pdf?__blob=publicationFile&v=4, zuletzt geprüft am 01.07.2026.

Anlage A: Kurzbeschreibungen

Ausgewählte direkte und der Böschung vorgelagerte indirekte Ufersicherungen und strukturverbessernde Maßnahmen

A1 Weidenspreitlagen

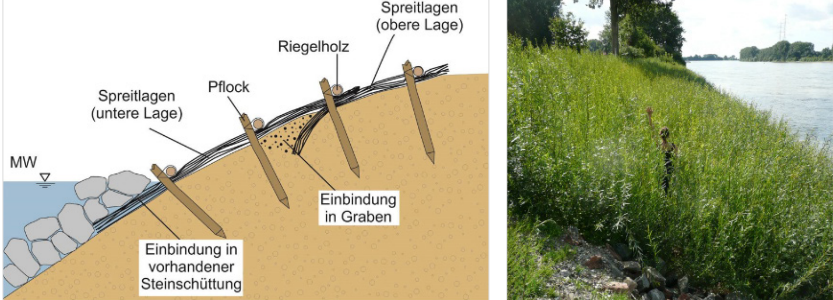
A2 Vorkultivierte Pflanzmatten

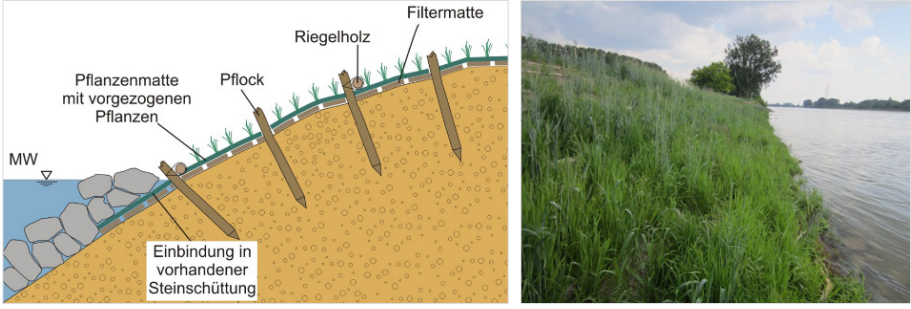
A3 Vorkultivierte Kammerdeckwerke

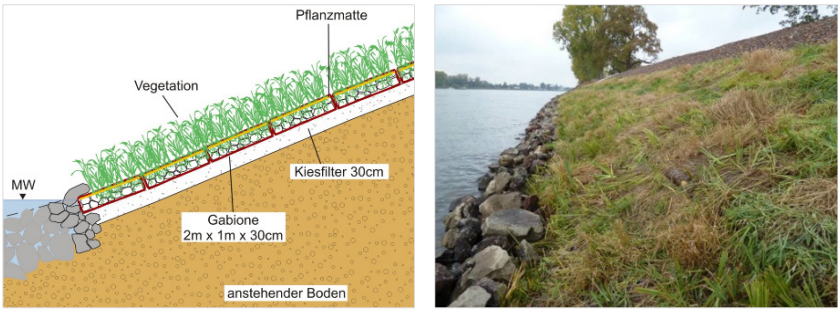
A4 Begrünte Steinschüttungen

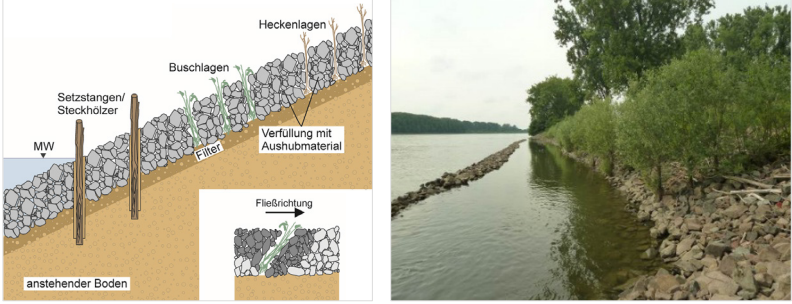
A5 Der Böschung vorgelagerte Ufersicherungsmaßnahmen

A6 Anordnung von Totholz

Anlage A1	Kurzbeschreibung Weidenspreitlagen
Art der Maßnahme	direkte Ufersicherung auf der Böschung
Allgemeine Infos	– rein pflanzliche Ufersicherung ohne signifikantes Flächengewicht – Bemessung mit GBBSOft+ möglich
Kurze Beschreibung	bodendeckende Lage aus austriebsfähigen elastischen Weidenästen (bevorzugt Strauchweiden), die lückenlos, in der Regel senkrecht zur Uferlinie auf der Böschung verlegt, mit Pflocken und Riegelhölzern flächig fest auf dem Boden verankert und übererdet werden
Skizze/Foto	
Spezielle Anforderungen	– flächendeckende Verlegung der Weidenäste, ggf. auf einem biologisch abbaubaren Geotextil (Filterstabilität) – engmaschige Befestigung der Weidenäste für dichten, flächigen Bodenkontakt als Voraussetzung für Wurzelbildung (Abstand Riegelhölzer: max. 50 cm) – Fußsicherung durch Einbindung der unteren Weidenäste in vorhandene Steinschüttung – ggf. in der Anfangsphase Erneuerung der Erdüberdeckung nach Hochwasser – regelmäßige Pflegeschnitte zur Erhaltung der Funktionsfähigkeit
Vorteile	– keine speziellen Geräte beim Einbau erforderlich – rasche Wurzelbildung und Begrünung aufgrund schnell wachsender, austriebsstarker Weiden
Nachteile	– zeitlich eingeschränkte Bauphase (Weidengewinnung und Einbau nur in Vegetationsruhezeit) – ggf. eingeschränkte Verfügbarkeit von gebietseigenem Weidenmaterial – hoher und dichter Gehölzbewuchs kann abflussrelevant sein
Ökologische Wirksamkeit	– Entwicklung einer standorttypischen Gehölzvegetation – Erhöhung der Struktur- und Artenvielfalt am Gewässer (auch durch Verhinderung/-minderung eines Neophytenaufkommens) – Schaffung von Lebens- und Rückzugsraum, u. a. für Gehölzbesiedler
Anwendungsgrenzen, besondere Hinweise	– anwendbar, wenn kein Flächengewicht erforderlich ist (bei nur geringem erforderlichen Flächengewicht ggf. in Kombination mit einer dünnen erosionsstabilen Kiesschicht als technische Komponente anwendbar) – anwendbar im Bereich um und oberhalb etwa des mittleren Wasserstands (Bereich Weichholzaue) – anwendbar auf flachen Böschungen (1 : 3 und flacher) – über längere Strecken nur anwendbar, wenn Beeinflussung auf HW-Abfluss ausgeschlossen werden kann (z. B. durch Unterhaltung) – Gefahr der Monokultur – im Rahmen der Unterhaltung nur mäßige Rückschnitte bis ca. 30 bis 50 cm über dem Boden und möglichst keine großflächigen Rückschnitte
Maßnahmensteckbriefe in Anlage B	B1.1: Weidenspreitlagen, Rhein, km 476,300–476,350 B1.2: Weidenspreitlagen und -faschinen, Main, km 310,1–311,1 B1.3: Weidenspreitlagen und Faschinenmatten Donau, km 2285,4

Anlage A2	Kurzbeschreibung Vorkultivierte Pflanzmatten
Art der Maßnahme	direkte Ufersicherung auf der Böschung
Allgemeine Infos	– rein pflanzliche Ufersicherung ohne signifikantes Flächengewicht – Bemessung mit GBBSoft+ möglich
Kurze Beschreibung	mit geeigneten krautigen Pflanzen vorkultivierte und durchwurzelte Pflanzmatten, die lückenlos auf der Uferböschung verlegt und mit Pflöcken und Riegelhölzern flächig fest auf dem Untergrund verankert werden
Skizze/Foto	
Spezielle Anforderungen	– flächendeckende Verlegung der Pflanzmatten, ggf. auf einem biologisch abbaubaren Geotextil (Filterstabilität) – engmaschige Befestigung der Matten für dichten, flächigen Bodenkontakt als Voraussetzung für Wurzelbildung (Abstand Riegelhölzer: max. 50 cm) – Fußsicherung der unteren Mattenenden z. B. durch Einbindung in vorhandene Steinschüttung oder Befestigung durch Faschinen oder Holzpfahlwand
Vorteile	– keine speziellen Geräte beim Einbau erforderlich – rasche Begrünung durch vorkultivierte, im Verbund eingebrachte standorttypische Pflanzen
Nachteile	– lange Vorlaufzeit durch Vorkultivierung (mindestens eine Vegetationsperiode) erforderlich – zeitlich eingeschränkte Bauphase (Empfohlener Einbau im zeitigen Frühjahr (März, April)) – Gesamterfolg in starkem Maße abhängig von der richtigen Auswahl und Lieferqualität der vorkultivierten Pflanzen
Ökologische Wirksamkeit	– Erhöhung der pflanzlichen Struktur- und Artenvielfalt – Förderung der natürlichen Sukzession durch Initialpflanzung – Erhöhung des Habitatangebotes, besonders für boden- und pflanzenbewohnende Tierarten (Insekten, Spinnen, bodenbrütende Vögel)
Anwendungsgrenzen, besondere Hinweise	– anwendbar, wenn kein Flächengewicht erforderlich ist – anwendbar im Bereich um und oberhalb etwa des mittleren Wasserstands – anwendbar bei Böschungsneigungen von 1 : 3 und flacher – mit den dargestellten Pflöcken und Riegelhölzern als Befestigung nur anwendbar in nicht oder nur selten eingestauten Uferbereichen (Alternative Befestigung der Pflanzmatten mit einer Steinlage)
Maßnahmensteckbriefe in Anlage B	B1.4: Vorkultivierte Pflanzmatten mit Holzpfahlreihe, Storkower Gewässer, km 10,752–11,050

Anlage A3	Kurzbeschreibung Vorkultivierte Kammerdeckwerke
Art der Maßnahme	direkte Ufersicherung auf der Böschung
Allgemeine Infos	– Ufersicherung aus pflanzlichen und technischen Bestandteilen; mit Flächengewicht – Bemessung mit GBBSoft+ möglich
Kurze Beschreibung	Drahtkörbe, mit Geotextil ausgekleidet und kleinen Wasserbausteinen und Lava-Granulat oder Boden gefüllt und mit einer vorkultivierten Pflanzmatte an der Oberseite, die lückenlos auf der Uferböschung verlegt werden
Skizze/Foto	
Spezielle Anforderungen	– Gewährleistung des erforderlichen Flächengewichts durch Steinfüllung – flächendeckende Verlegung der Kammerdeckwerke, ggf. auf einem biologisch abbaubaren Geotextil oder Kornfilter (Filterstabilität) – Drahtkörbe aus korrosionsbeständigem, verzinktem und gedriltem Stahldraht oder alternativ Kunststoffnetzen – Fußsicherung durch Einbindung der unteren Gabionen in vorhandene Steinschüttung – bei größeren hydraulischen Belastungen besondere Anforderungen an die Pflanzenauswahl
Vorteile	– gute Lagestabilität durch Eigengewicht – keine zusätzlichen Befestigungen erforderlich – sofortige Gewährleistung des Uferschutzes
Nachteile	– hoher Anteil künstlicher Materialien (Draht, Kunststoff) – lange Vorlaufzeit durch Vorkultivierung (mindestens eine Vegetationsperiode) erforderlich – zeitlich eingeschränkte Bauphase (empfohlener Einbau im zeitigen Frühjahr (März, April)) – Gesamterfolg in starkem Maße abhängig von der richtigen Auswahl und Lieferqualität der vorkultivierten Pflanzen – abgestorbene Pflanzen können nicht nachgepflanzt werden
Ökologische Wirksamkeit	– Erhöhung der pflanzlichen Struktur- und Artenvielfalt – Förderung der natürlichen Sukzession durch Initialpflanzung – Erhöhung des Habitatangebotes, besonders für boden- und pflanzenbewohnende Tierarten (Insekten, Spinnen, bodenbrütende Vögel)
Anwendungsgrenzen, besondere Hinweise	– bevorzugte Anwendung, wenn Flächengewicht erforderlich ist – anwendbar im Bereich um und oberhalb etwa des mittleren Wasserstands – anwendbar auf flachen Böschungen (1 : 3 und flacher)
Maßnahmensteckbriefe in Anlage B	B1.5: Vorkultivierte Kammerdeckwerke, Untere Havel-Wasserstraße, km 35,7

Anlage A4	Kurzbeschreibung Begrünte Steinschüttung
Art der Maßnahme	direkte Ufersicherung auf der Böschung
Allgemeine Infos	– Ufersicherung aus pflanzlichen und technischen Bestandteilen; mit Flächengewicht – Bemessung mit GBBSoft+ möglich
Kurze Beschreibung	nachträglich oder bereits beim Bau mit z. B. Weidensetzstangen, Lebendfaschinen, Hecken- und/oder Buschlagen bepflanzt Schüttsteindeckwerk aus losen Wasserbausteinen
Skizze/Foto	
Spezielle Anforderungen	– Gewährleistung des erforderlichen Flächengewichts durch Schüttsteindeckwerk unabhängig von der Bepflanzung – Filterstabilität bei Erfordernis durch Kornfilter – nachträgliche Bepflanzung über Pflanzgräben oder Pflanzlöcher in der Steinschüttung
Vorteile	– ökologische Aufwertung auch bei großen hydraulischen Uferbelastungen – ggf. Gewinnung von Lebendmaterial vor Ort möglich
Nachteile	– zeitlich eingeschränkte Bauphase (Pflanzengewinnung und Einbau nur in Vegetationsruhezeit) – nachträgliche Begrünung aufwändiger als bei Deckwerksherstellung – hoher und dichter Gehölzbewuchs kann abflussrelevant sein
Ökologische Wirksamkeit	– Entwicklung einer standorttypischen Gehölzvegetation – Erhöhung der Struktur- und Artenvielfalt am Gewässer – Schaffung von Lebens- und Rückzugsraum, u a. für Gehölzbesiedler
Anwendungsgrenzen, besondere Hinweise	– bevorzugte Anwendung, wenn Flächengewicht erforderlich ist – Pflanzungen im Bereich um und oberhalb etwa des mittleren Wasserstands – anwendbar bei Böschungsneigungen von 1 : 2,5 und flacher – über längere Strecken nur anwendbar, wenn Beeinflussung auf HW-Abfluss ausgeschlossen werden kann (z. B. durch Unterhaltung)
Maßnahmensteckbriefe in Anlage B	B1.6: Begrünte Steinschüttung, Rhein, km 358,840–359,240

Anlage A5		Kurzbeschreibung Der Böschung vorgelagerte Ufersicherungsmaßnahmen	
Art der Maßnahme		indirekte Ufersicherung	
Allgemeine Infos		Bemessung der Konstruktionselemente nach geltendem Regelwerk und örtlichen Erfahrungen	
Kurze Beschreibung		parallel zum Ufer verlaufendes, linien- oder bogenförmiges Bauwerk (z. B. Spundwand, Pfahlreihe, Steinwall, Gabionenwand) zur Reduzierung der hydraulischen Uferbelastungen und/oder Herstellung einer wellen- und strömungsberuhigten Wasserzone zur ökologischen Aufwertung; ggf. mit Öffnungen für Wasseraustausch und Fischzugänglichkeit	
Skizze/Foto			
Spezielle Anforderungen		– ausreichend Platz zwischen Fahrrinne und Ufer – Anpassung der Öffnungsgrößen und deren Lage an lokale Bedingungen und Anforderungen – beachten: an Wasserstraßen mit großen Wasserspiegelschwankungen nur bis zu bestimmten Wasserständen wirksam	
Vorteile		– durch Reduzierung der Uferbelastungen ggf. Verzicht auf Sicherung am Ufer oder Anwendung rein pflanzlicher Ufersicherungen möglich – ökologische Aufwertung im aquatischen Bereich	
Nachteile		– häufig aufwändige technische Maßnahmen erforderlich (z. B. Spundwand, Gabionenwand) – ggf. kostenintensiv (z. B. Spundwand) – ggf. Unterhaltung erforderlich (z. B. Holzpflahlreihe)	
Ökologische Wirksamkeit		– Erhöhung des Besiedlungspotenzials für wellenschlags- und strömungsempfindliche Wasserpflanzen und Röhrichte – Schaffung geschützter Rückzugsräume, von Laich- und Aufwuchshabitaten für (Jung-)fische und andere aquatische Organismen (z. B. Makrozoobenthos) – Vernetzung in der Übergangszone Wasser – Land	
Anwendungsgrenzen, besondere Hinweise		– gut geeignet für urbane Bereiche ohne landseitige Geländeverfügbarkeit	
Maßnahmensteckbriefe in Anlage B		B2.1: Holzpflahlreihen mit geschützter Wasserzone, SPK, km 20,0–32,7 B2.2: Doppelpflahlreihe mit Flachwasserzone, Neckar, km 57,80 B2.3: Spundwand mit Flachwasserzone und begrünter Steinschüttung, SOW, km 5,0–5,3 B2.4: Spundwand mit strukturreicher Flachwasserzone, SOW, km 0,221–0,403 B2.5: Gabionenreihe mit Flachwasserzone, HOW, km 73 B2.6: Parallelwerk mit geschützter Wasserzone, Main, km 287,4–287,6 B2.7: Parallelwerk mit Flachwasserzone und eigendynamischer Uferentwicklung, Oder, km 604,6–605,5	

Anlage A6 Kurzbeschreibung Anordnung von Totholz	
Art der Maßnahme	strukturverbessernde Maßnahme zur ökologischen Aufwertung
Allgemeine Infos	ohne Uferschutzfunktion
kurze Beschreibung	Befestigung von Totholz (Bäume mit Wurzelteller und/oder Krone oder auch Pflanzenteile, z. B. Faschinen) auf einer TBU oder einem vorhandenen Schüttsteindeckwerk – über oder unter Wasser, oder auf einer ungeschützten Böschung oder der Gewässersohle, z. B. in einem Buhnenfeld, mit Seilen oder Ketten und Gewichten oder in den Untergrund eingebrachten Stahlträgern oder durch Einbau im Ufer oder in einer Buhne
Skizze/Foto	
Spezielle Anforderungen	– Festlegung der Lage des Totholzes nach vorhandenen Strömungsrichtungen (Vermeidung von unerwünschten übermäßigen Kolken und Anlandungen) – bei ganzen Bäumen Baumkrone möglichst stromab anordnen – Auswahl und Bemessung der Befestigungen in Abhängigkeit der gegebenen Randbedingungen, insbesondere der hydraulischen Belastungen (Vermeidung, dass Totholz in die Fahrrinne gelangt) – Kennzeichnung des Totholzes für Berufs- und Freizeitschifffahrt – Konstruktion sollte leichten Ersatz des Totholzes ermöglichen
Vorteile	– Nutzung von geborgenem Treibholz oder Windwurf – ökologische Aufwertung, auch und gerade im aquatischen Bereich
Nachteile	– Ersatz des Totholzes nach entsprechender Zeit erforderlich (abhängig von Einbauort und Wasserständen) – z. T. aufwändige Befestigungen
Ökologische Wirksamkeit	– Erhöhung der Strukturvielfalt im und am Gewässer – Steigerung der Strömungsdiversität, -lenkung, morphodynamischen Wirkung – Schaffung von Lebensraumvielfalt, Nahrungsangebot und Rückzugsraum – Förderung totholzspezialisierter Organismengruppen – Vernetzung zwischen aquatischem und terrestrischem Lebensraum
Anwendungsgrenzen, besondere Hinweise	– anwendbar, wenn durch das Totholz keine unzulässige Beeinträchtigung des Abflusses bzw. der Strömung und der Schifffahrt zu erwarten ist – nicht geeignet in Bereichen mit aktiver Freizeitnutzung durch Badende (Gefahrenquelle)
Maßnahmensteckbriefe in Anlage B	B3.1: Totholzeinbau, Mittelweser, km 217,3–218,7 B3.2: Totholzeinbau, Niederrhein, km 849,2–849,9

Anlage B: Steckbriefe (Beispielsammlung)

Ausgeführte direkte und der Böschung vorgelagerte indirekte Ufersicherungen, strukturverbessernde Maßnahmen sowie ein Beispiel für eine freie Uferentwicklung

B1 Direkte Ufersicherungen auf der Böschung als Alternative zum technischen Schüttsteindeckwerk

- B1.1 Weidenspreitlagen: Rhein, km 476,300–476,350
- B1.2 Weidenspreitlagen und -faschinen: Main, km 310,1–311,1
- B1.3 Weidenspreitlagen und Faschinenmatten: Donau, km 2285,4
- B1.4 Vorkultivierte Pflanzmatten mit Holzpfehlreihe: Storkower Gewässer, km 10,752–11,050
- B1.5 Vorkultivierte Kammerdeckwerke: UHW, km 35,7
- B1.6 Begrünte Steinschüttung: Rhein, km 358,840–359,240
- B1.7 Begrünte technische Deckwerke im KRT-Profil: MLK, km 189,6–190,1

B2 Indirekte vorgelagerte Ufersicherungen zur Reduzierung der Uferbelastungen und ökologischen Aufwertung

- B2.1 Vorgelagerte Holzpfehlreihen mit geschützter Wasserzone: SPK, km 20,0–32,7
- B2.2 Vorgelagerte Doppelpfehlreihe mit Flachwasserzone: Neckar, km 57,80
- B2.3 Vorgelagerte Spundwand mit Flachwasserzone und begrünter Steinschüttung: SOW, km 5,0–5,3
- B2.4 Vorgelagerte Spundwand mit strukturreicher Flachwasserzone: SOW, km 0,221–0,403
- B2.5 Vorgelagerte Gabionenreihe mit Flachwasserzone: HOW, km 73
- B2.6 Vorgelagertes Parallelwerk mit geschützter Wasserzone: Main, km 287,4–287,6
- B2.7 Vorgelagertes Parallelwerk mit Flachwasserbereich und eigendynamischer Uferentwicklung: Oder, km 604,6–605,5

B3 Strukturverbessernde Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung von Ufersicherungen

- B3.1 Totholzeinbau: Mittelweser, km 217,3–218,7
- B3.2 Totholzeinbau: Niederrhein, km 849,2–849,9

B4 Kein Uferschutz, Zulassen einer freien Uferentwicklung

- B4.1 Ungesichertes, dynamisches Ufer: Rhein, km 474,7–476,3

B1.1 Weidenspreitlagen

Beispiel: Rhein, km 476,300 bis km 476,350



Zustand Sommer 2021 (Quelle: WSA Oberrhein)

Maßnahmenbeschreibung

- Entwicklung naturnaher Uferstrukturen
- Entwicklung der Ufervegetation
- Weidenspreitlagen oberhalb der Mittelwasserlinie

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- Umbau des mit bis zu einem Meter Höhe mit Schüttsteinen bedeckten und mit alten Pflasterungen durchsetzten Ufers mit einer Böschungsneigung von 1:3
- Entwicklung einer naturnahen Böschung, um neue Lebensräume für Flora und Fauna zu schaffen
- Förderung der Vielfalt an Ufern und auenähnlicher Strukturen im Naturschutzgebiet

Eckdaten

Wasserstraße: Rhein
km: 476,300 – 476,350
Uferseite: rechts
Fertigstellung: November 2020
Zuständigkeit: WSA Oberrhein / Standort Mannheim



Rechtliche Randbedingungen

- Modellprojekt im Rahmen des Bundesprogramms Blaues Band Deutschland
- Unterstützung verschiedener naturschutzfachlicher Erhaltungs- und Entwicklungsziele

Technische Randbedingungen

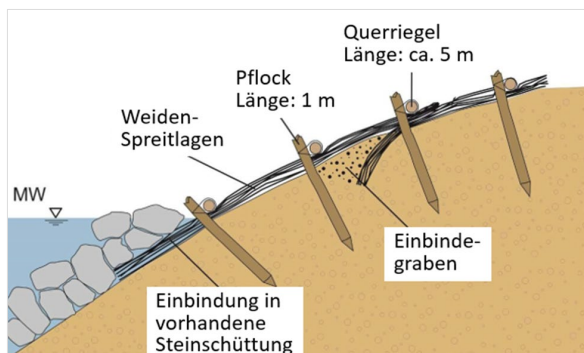
- freifließender Fluss
- Gleithanlage
- hohes Aufkommen an Güterschifffahrt, Fahrgastschifffahrt, Freizeitschifffahrt
- Fahrrinnenrand ca. 120 m vom Ufer entfernt
- schiffsinduzierte Wellen, Strömung, Wasserspiegelabsenk

Ökologische Randbedingungen

- kiesgeprägter Strom
- Lage im Naturschutzgebiet „Kühkopf-Knoblochsau“
- Lage im VS- und FFH-Gebiet „Kühkopf-Knoblochsau“
- Teil des GEO-Naturparks „Bergstraße/Odenwald“



Zustand vor der Baumaßnahme 2016
(Quelle: WSA Oberrhein)



Prinzipskizze – Profilschnitt Weidenspreitlage
(Quelle: BAW/BfG, WSA Oberrhein)



Zustand nach Bauabschluss 11/2019 (Quelle: BAW)



Weidenspreitlage mit ersten Austrieben 05/2020
(Quelle: WSA Oberrhein)

Bauweise und Materialeinsatz

- Belassen der Schüttsteine LMB_{10/60} unterhalb der Mittelwasserlinie
- Herstellen der Weidenspreitlagen oberhalb Mittelwasserlinie bis Böschungsoberkante mit Material aus Silberweide
- Weidengewinnung in unmittelbarer Nähe, landseitige Materialanlieferung
- Herstellen der Weidenspreitlage ohne Geotextilfilter
- mehrreihige Anpflanzung wurzelnackter heimischer Gehölze entlang der Böschungsoberkante
- Ufergestaltung und Einbau der Spreitlagen vom Land aus mit Bagger bei niedrigen Wasserständen
- wasserseitiger Abtransport von Material (z. B. Wasserbausteine)

Arbeitsschritte

- Fällen der Hybridpappeln am Ufer
- wasserseitige Entnahme der Wasserbausteine und der Pflasterung
- Entnahme der Wurzelstöcke und Geländeprofilierung: Abflachen der Uferböschung von 1:3 auf 1:4
- Gewinnung des Weidenmaterials in unmittelbarer Nähe direkt vor dem Einbau
- Einbringen der Holzpflocke
- Aufbringen der Weidenruten für Spreitlagen
- Einbinden der unteren Enden der Weidenruten in unter MW vorhandene Steinschüttung und zusätzlich in Einbindegräben auf der Böschung
- Befestigen der Weidenruten mittels Querriegel in engem Abstand zum Erreichen eines flächigen Bodenkontakts
- Befestigen der Querriegel mittels Stahldraht an den Pflocken
- Anschütten von Oberboden über Weidenspreitlagen in dünner Schicht
- Pflanzen versetzter Buschreihen an der Böschungsoberkante

Pflege und Unterhaltung

- externe Vergabe der Entwicklungspflege
- häufige intensive Wässerung mit visueller Kontrolle der Vegetationsentwicklung, besonders in den trockenen Sommerwochen zur Unterstützung des natürlichen Austriebs
- händische Entfernung der schmarotzenden Nesselseide (*Cuscuta europaea*)
- Ausbesserung kleiner Schäden nach erstem Hochwasserereignis
- erst nach mehreren Jahren erste Gehölzschnitte zur Verjüngung des Weidenbestandes geplant

Erfahrungen

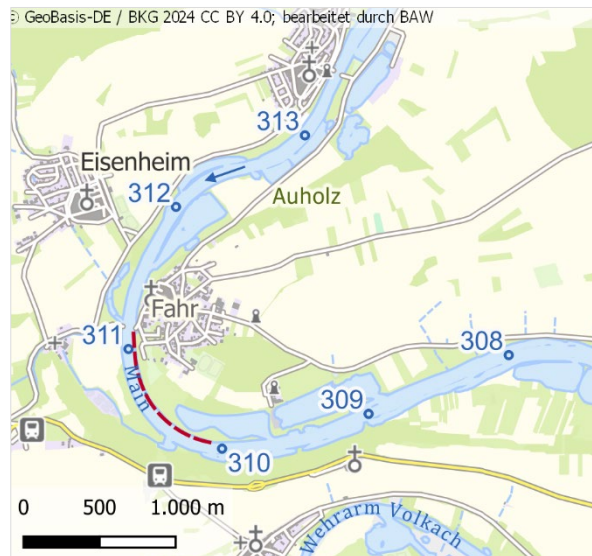
- An frei fließendem Fluss sind Hoch- und Niedrigwasser zeitlich begrenzend und riskante Faktoren, auf diese muss alles ausgerichtet werden, z. B. besser mehrere kurze Abschnitte, die schnell fertig gestellt werden können.
- Bewährt hat sich ein Arbeiten „im Fluss“, d.h. Tagesration an Material wird nur für einen Tag im Voraus geliefert, der Vorteil: geringe Lagerflächen im überschwemmungsgefährdeten Gebiet, schnelle Räumung möglich.
- intensive und ausreichend lange anhaltende Bewässerung besonders in Dürrezeiten erforderlich
- auf Weiden schmarotzende Nesselseide frühzeitig entfernen (Weidenausfälle)
- Weidengewinnung mit Schnitt der Kopfweiden in benachbarten Strecken (Unterhaltung) zeitlich kombinieren (Win-Win-Situation)
- Nach Hochwasser muss besonders in der kritischen Anfangsphase mit Nacharbeiten, insbesondere Erdarbeiten, gerechnet werden.
- Abräumen der Wasserbausteine sollte so erfolgen, dass der zur Wiederverwendung vorgesehene Teil einfach aussortiert werden kann.
- Weitere Verwendungsmöglichkeiten für nicht mehr in der WSV einzusetzende Wasserbausteine können kostensenkend wirken.
- Uferschutz ist durch Weidenspreitlage gegeben.

B1.2 Weidenspreitlagen und -faschinen

Beispiel: Main, km 310,1 bis km 311,1



Uferbereich, zehn Jahre nach Fertigstellung 2022
(Quelle: WNA Aschaffenburg)



Maßnahmenbeschreibung

- Gestaltungsvarianten neu hergestellter Uferböschungen durch Bermen mit kiesigem Substrat, Faschinen und Spreitlagen
- Weidenspreitlagen oberhalb Mittelwasserlinie
- Berme mit kiesigem Substrat
- Böschungsübergang mit Faschinen

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- Uferzurücknahme durch Fahrrinnenausbau
- naturnähere Gestaltung der neuen Uferböschung zur Erhöhung der Strukturvielfalt
- Verbesserung der Habitateigenschaften für Fisch-, Laufkäfer- und Avifauna

Eckdaten

Wasserstraße: Main
km: 310,1 – 311,1
Uferseite: links
Fertigstellung: 2012
Zuständigkeit: WSA Main
WNA Aschaffenburg

Rechtliche Randbedingungen

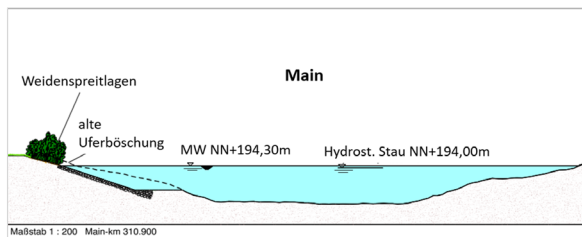
- Planfeststellung Fahrrinnenausbau
- Lagestabilität der Uferlinie muss gewährleistet bleiben

Technische Randbedingungen

- Wasserstraßenklasse Vb
- staugeregelter Abschnitt (Stauhaltung Gerlachshausen)
- Gleithanglage
- Güterschiffahrt, Freizeitschiffahrt
- Abstand Fahrrinnenrand ca. 10 m
- schiffsinduzierte Strömung, Wellen, Wasserspiegelabsenk

Ökologische Randbedingungen

- sand- und kiesgeprägter Strom
- Lage im Landschaftsschutzgebiet „Volkacher Mainschleife“
- Lage im FFH-Gebiet „Mainaue zwischen Grafenrheinfeld und Kitzingen“
- WRRL: mäßiges ökologisches Potenzial, auch für die Qualitätskomponenten Makrozoobenthos und Fischfauna



Planungsskizze (Quelle: WNA Aschaffenburg)

Bauweise und Materialeinsatz

- Herstellen der neuen Uferböschung (1:3)
- Steinschüttung von Böschungsfuß bis Mittelwasserlinie
- ab Mittelwasserlinie Anlegen einer 5 m breiten Berme
- Weidenfaschinen zur Sicherung des Böschungsabsatzes
- Aufbringen von kiesigem Substrat
- Herstellen Weidenspreitlagen oberhalb Mittelwasserlinie
- Antransport Materialien mit LKW
- Ufergestaltung wasserseitig mit Baggerschiff
- Einbau Faschinen und Spreitlagen landseitig

Arbeitsschritte

- Gewinnung Weidenmaterial vor Ort
- Einbringen Holzpflocke
- Aufbringen der Spreitlagen und Fixieren mittels Stahldraht
- Anschütten von Oberboden über Weidenspreitlagen in dünner Schicht
- Einbau der Faschinen an mit Bagger hergestellter Böschungskante
- Aufbringen von Kiessubstrat auf Berme mittels Baggerschiff



Vorbereitung der Weidenspreitlagen 2012 (Quelle: WNA Aschaffenburg)



Uferbereich, ein Jahr nach Fertigstellung 2013 (Quelle: WNA Aschaffenburg)

Pflege und Unterhaltung

- natürlicher Austrieb des eingebrachten Weidenmaterials
- anfangs häufigere visuelle Kontrolle des neuen Uferabschnittes
- nach mehreren Jahren erste Gehölzschnitte zur Verjüngung des Weidenbestandes
- bislang auch nach Hochwasser Lagestabilität des eingebrachten Kiessubstrates

Erfahrungen

- Stahldraht sehr langlebig, Stolperfalle im Gehölzbestand
- schneller Weidenaustrieb und damit gute Ufersicherung

B1.3 Weidenspreitlagen und Faschinenmatten

Beispiel: Donau, km 2285,4



Blick auf die Maßnahme 07/2025
(Quelle: WSA Donau MDK)



Maßnahmenbeschreibung

- Doppelpfahlreihe, mit Reisigbündel gepackt, (Buschkiste) am Böschungsfuß 20 cm über MNW
- zwei Felder auf der Böschung oberhalb Buschkiste: ein Feld mit Weidenspreitlagen und ein Feld mit Faschinenmatten aus Weidenwippen, Länge des Abschnittes insgesamt ca. 150 – 200 m, Böschungseigung 1:3 bis 1:3,5
- Steinschüttung unterhalb Buschkiste bis NW
- unterhalb Steinschüttung keine Ufersicherung erforderlich (hier sehr flache Böschung durch vorgelagerte Kiesbank)

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- Ersatz des gepflasterten Deckwerks durch naturnahe direkte Ufersicherungen zur Flächensicherung
- optische Aufwertung des Ufers für die Landesgartenschau Deggendorf 2014
- Infotafeln und Beobachtung des Aufwuchses der naturnahen Ufersicherung als Umweltbildung für die Besucher der Landesgartenschau
- ökologische Aufwertung des Donauufers

Eckdaten

Wasserstraße: Donau
km: 2285,4
Uferseite: links
Fertigstellung: März 2014
Zuständigkeit: WSA Donau MDK
ABz Deggendorf

Rechtliche Randbedingungen

- verkehrliche Unterhaltung
- Uferschutz und damit Sicherung der Bundeswasserstraße Donau

Technische Randbedingungen

- freifließende Strecke
- mittleres Aufkommen an Güter-, Fahrgast-, Freizeitschiffahrt
- linker Fahrrinnenrand ca. 50 m vom Ufer entfernt
- moderate schiffsinduzierte Belastungen (schiffsinduzierte Strömung, Wellen und Wasserspiegelabsenk)

Ökologische Randbedingungen

- FFH-Gebiet und Vogelschutzgebiet Donauauen zwischen Straubing und Vilshofen: Abschnitt der relativ frei fließenden naturnahen Donau mit Überflutungsdynamik und Auwäldern, Altwassern und Feuchtwiesenresten
- Fließgewässertyp 10: Kiesgeprägte Ströme
- natürlicher Wasserkörper in einem mäßigen ökologischen Zustand nach WRRL



Einbau der Faschinen, bestehend aus Reisigbündeln, in die Doppelpfahlreihe 2014
(Quelle: WSA Donau/MDK)



Herstellung der Weidenspreitlage und anschließende Überdeckung mit Bodenmaterial 2014 (Quelle: WSA Donau/MDK)



Faschinenmatten aus Faschinenbündeln (Weidenwippen) 2014
(Quelle: WSA Donau/MDK)

Bauweise und Materialeinsatz

Lebendfaschinen

- Reisigbündel von 2,5–3 m Länge und 30 cm Durchmesser, Weide/Haselnuss
- Stammenden jeweils nicht dicker als 3–4 cm
- alle 30 cm mit Bindendraht gebunden

Weidenäste für Spreitlage

Buschkiste

- Pfähle 10–15 cm Durchmesser, 3 m Länge, Reisigbündel (Totholz)

Steinschüttung

- Wasserbausteine LMB_{10/60}

Arbeitsschritte

Buschkiste

- Doppelpfahlreihen setzen
- mit Faschinen auffüllen, verdichten und mit Draht oder Seil (wiederverwendbar) sichern

Spreitlage

- Weidenäste quer zur Stromrichtung verlegen und mit Weidenwippen (Faschinenbündeln) sichern, anschließend mit Erdschicht bedecken

Faschinenmatten aus Weidenwippen

- Wippen in Fließrichtung verlegen, mit Pfählen und Draht verankern oder alternativ mit diagonalen Weidenwippen sichern, mit Erdschicht bedecken

Steinschüttung

- Einbau vom Wasser aus

Pflege und Unterhaltung

- seit 2013 keine Unterhaltung notwendig
- Pflege: Rückschnitt der gesamten Fläche alle 2 Jahre bis 20 cm über dem Boden, Fläche dient als Faschinatplantage
- momentan Verwendung des geworbenen Faschinats für Fischunterstände
- schnelles Austreiben der Weiden nach Rückschnitt
- bisher keine Schäden durch Hochwasser
- langfristig Ersatz des verrotteten Faschinats in Buschkiste
- Schautafeln zu Maßnahmen vor Ort, großes Interesse der Öffentlichkeit

Erfahrungen

- Ausführungsdauer ca. 2 Monate inkl. Reisig ernten und Faschinen/Wippen binden
- Steinpackung unterhalb der Buschkiste am Böschungsfuß war nicht zwingend notwendig, diente als Anschauung einer Steinvorfußsicherung für die Besucher der Landesgartenschau 2014
- kein Unterschied in der Entwicklung der Weidenspreitlagen und der Faschinenmatten
- Uferschutz ist gewährleistet

B1.4 Vorkultivierte Pflanzmatten mit Holzpfähldreihe

Beispiel: Storkower Gewässer, km 10,752 bis km 11,050



Zustand 9/2023 (Quelle: WSA Spree-Havel)

Maßnahmenbeschreibung

- Böschungssicherung im Wasserwechselbereich mittels vorkultivierter Pflanzmatten auf ca. 300 m Uferlänge
- Fußsicherung durch Unterwasserholzpfähldreihe

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- Schadensbild der vorhandenen Ufersicherung: Steinschüttung mit Rutschungen, Fehlstellen und Ausspülungen
- verkehrliche Unterhaltung mit wasserwirtschaftlicher Aufwertung (Instandsetzung und -revitalisierung einer baufälligen Uferbefestigung)
- Wiederherstellung der Standsicherheiten der Uferwände und Kanalböschungen
- Reduktion des Materialeintrages ins Gewässer infolge der Ufererosion
- Verbesserung der Hydromorphologie und Aufwertung der Habitatqualität durch gewässertypische Vegetation (z. B. Röhrichtgesellschaften, Gräser, Kräuter)

Eckdaten

Wasserstraße: Storkower Gewässer (5510)
km: 10,752 - 11,050
Uferseite: links
Fertigstellung: 07/2023
Zuständigkeit: WSA Spree-Havel

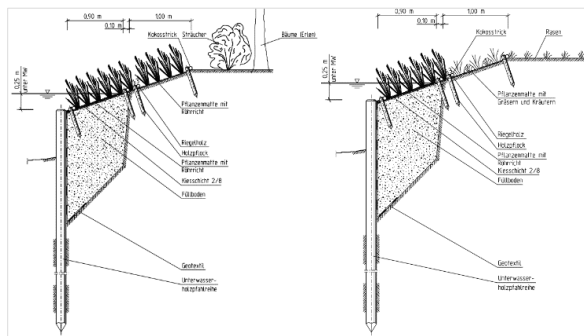


Rechtliche Randbedingungen

- Erhalt der Schiffbarkeit und Instandsetzung der Ufer der Bundeswasserstraße SkG nach §§ 7-11 in Verbindung mit § 48 WaStrG
- Verknüpfung mit Zielen d. Wasserwirtschaft §§ 27-31 WHG (Verbesserungsgebot und Verschlechterungsverbot gem. WRRL)

Technische Randbedingungen

- Wasserstraßenklasse 1 (außerhalb Kernnetz)
- Querschnitt: Muldenprofil
- Stau einfluss: Rückstau
- geringe Bedeutung für Güterverkehr (< 50.000 T/a) und Fahrgastschifffahrt (< 20 Stk./a), mittleres bis hohes Aufkommen motorisierter Freizeitschifffahrt (> 5000 Stk./a)
- geringe Wasserspiegelschwankungen
NW: 34,53 m ü. NHN
MW: 34,85 m ü. NHN
HW: 35,19 m ü. NHN
- Breite des Gewässerabschnitts: 13 - 21 m
- schiffsinduzierte Wellen, Strömung, Wasserspiegelabsenk



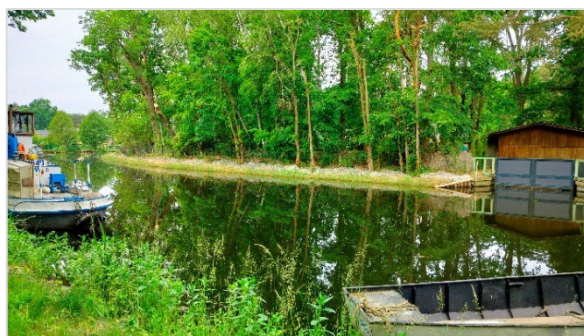
Querschnitte Teilbereiche 1 und 2 (Quelle: WSA Spree-Havel)



Einbau der Kiefernholzpfähle 02/2023 (Quelle: WSA Spree-Havel)



Einbau der Pflanzmatten 04/2023 (Quelle: WSA Spree-Havel)



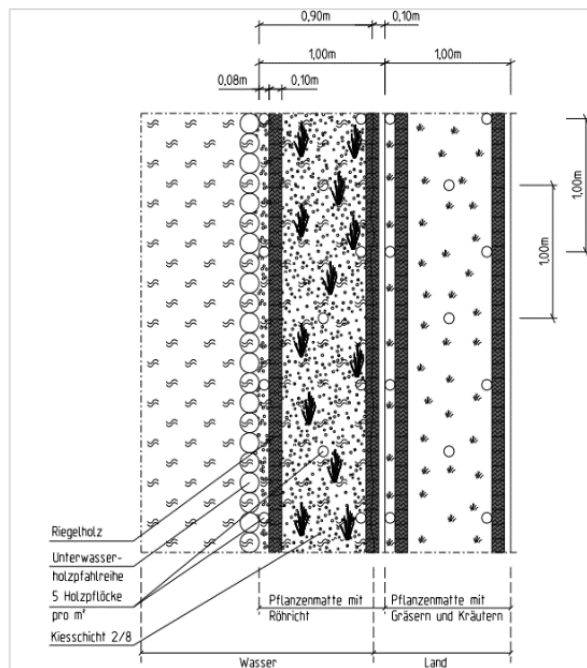
Initialstadium während erster Vegetationsperiode 06/2023 (Quelle: WSA Spree-Havel)

Ökologische Randbedingungen

- erheblich veränderter Oberflächenwasserkörper (HMWB)
- Gewässertyp nach Referenzbedingungen: Seeausflussgeprägte Fließgewässer (LAWA-Typcode: 21)
- geringe Fließgeschwindigkeit bei geringem Gefälle
- natürlicher Röhrichtbestand am Ufer
- Lage im Landschaftsschutzgebiet und gleichnamigen Naturpark Dahme-Heideseen

Bauweise und Materialeinsatz

- Anlieferung und Lagerung aller Materialien sowie Durchführung der Arbeiten vom Wasser aus
- Kiefernholzpfähle (GK II) dicht an dicht, lotrecht, Spitze am Zopf (Durchmesser: Pfahlmitte ca. 0,2 m; Länge: 6,0 m)
- vorkultivierte Pflanzmatten: (Länge: 5 m; Breite: 1 m; Dicke: ca. 0,05 m)
- Pflanzmatten sind mit standortheimischen Pflanzen der Ufer- und Röhrichtzone (Norddeutsches Tiefland) bepflanzt, vorkultiviert über eine Vegetationsperiode und durchwurzelt (Mattenränder mit anstehendem Boden angleichen, Bodenschluss der Matten gewährleisten, Pflanzmatten vor Austrocknung schützen und ggf. wässern.)
- Zielvegetation: an Nutzung des Hinterlandes im oberen Böschungsbereich (ca. 1 m) angepasst (Hinterland Rasen → Zielvegetation Gräser und Kräuter; Hinterland Gehölze → Zielvegetation Röhricht); Sonnenexposition und Lichtbedarf abgleichen: Nordufer für Sonne aus Süden
- Fixierung der Matten mit Holzpflocken/ Holznägeln (L: 0,5 m; 5 Stk./m²) auf vorbereitetem Planum; Entgegen Zeichnung keine Verwendung von uferparallelen Quer-/ Riegelhölzern im Projekt
- Kieseinbau (Mächtigkeit: ca. 0,05 m) als zusätzliches Flächengewicht gegen Auftrieb im Unterwasserbereich der Pflanzmatten



Draufsicht Teilbereich

Arbeitsschritte

- Flächenvorbereitung des Böschungsbereiches (Aufwuchsbeseitigung, Ausholungsarbeiten)
- Ausbau der alten Wasserbausteine
- Einbringen der Holzpfahlreihe 0,25 m u. MW, bestehend aus Einzelpfählen als Fußsicherung
- Verlegen Geotextilfilter bis auf Endtiefe 0,3 m unter Gewässersohle
- Hinterfüllen der Pfahlreihe bis ca. 0,1 m unter Oberkante der Holzpfähle (Füllboden = BM-0)
- Böschungsprofilierung max. 1:3 (Nassbaggerung)
- Einbau Pflanzmatten zur Böschungssicherung auf ca. 600 m² inkl. Sicherungsbauteile

Pflege und Unterhaltung

- jährliche Kontrolle der Pflanzmatten in den ersten 5 Jahren kurz vor Beginn der Vegetationsperiode auf Fehlstellen, ggf. nachpflanzen
- Aufkommen von Neophyten prüfen und aus dem Bestand nehmen

Erfahrungen

- idealer Einbauzeitraum März/April/Mai (frostfrei), um sofortiges Wurzelwachstum zu gewährleisten
- rechtzeitig vor Einbau der Pflanzmatten Muster vorlegen lassen
- Böschungsprofilierung und abschnittsweiser Einbau der Pflanzmatten, um lange Lagerungszeiten der Pflanzmatten und Verformungen der ungesicherten Böschung zu vermeiden
- idealer Einbaubereich der Pflanzmatten unter den gegebenen Randbedingungen von ca. 10 cm unter MW bis 30 cm über MW
- Beschädigung der Pflanzen beim Kieseinbau vermeiden (umsetzbar durch vorsichtiges Rütteln der Baggerschaufel und Verteilen mit Harke)
- ggf. Schutz vor Fraßdruck prüfen/gewährleisten

B1.5 Vorkultivierte Kammerdeckwerke

Beispiel: Untere Havel-Wasserstraße, km 35,7



Zustand Juli 2024 (Quelle: BAW)



Maßnahmenbeschreibung

- vorkultivierte Kammerdeckwerke („vegetative Deckwerke“) auf 1:3 geneigter Böschung auf einer Uferlänge von 60 m
- südliche Seite einer 300 m langen und 20 bis 30 m breiten Insel
- Versuchsstrecke mit 4 verschiedenen Füllungen der Kammerdeckwerke

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- Versuchsstrecke auf Initiative des WSA Brandenburg und der WSD Ost zum Erproben pflanzlicher Ufersicherungen für den Einsatz an Kanal- und Flusstrecken
- Beratung durch BAW in der Anfangszeit
- längerfristiges ökologisches Monitoring durch BfG

Eckdaten

Wasserstraße: Untere Havel-Wasserstraße (UHW)
km: 35,7
Uferseite: rechts (Insel)
Fertigstellung: 11/1993
Zuständigkeit: WSA Spree-Havel (ehemals WSA Brandenburg)

Rechtliche Randbedingungen

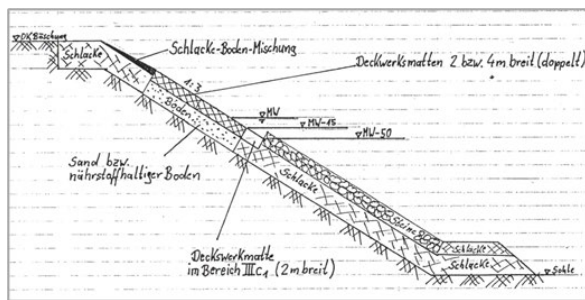
- Durchführung der Maßnahmen im Rahmen der Unterhaltung

Technische Randbedingungen

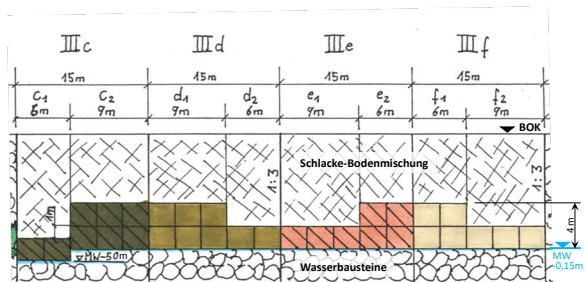
- Wasserstraßenklasse IV
- seenartige Aufweitung des Fließgewässers
- geringe Wasserspiegelschwankungen
- geringe natürliche ufernahe Fließgeschwindigkeiten
- Fahrrinnenrand ca. 30 m vom Ufer entfernt
- Güter-, Fahrgast- und Sportschifffahrt
- schiffsinduzierte Strömung, Wellen, Absunk

Ökologische Randbedingungen

- reich strukturiertes Flusseensystem der mittleren Havel (FFH- und Vogelschutzgebiet "Mittlere Havelniederung")
- Teil des Landschaftsschutzgebietes "Ketziner Bruchlandschaft"



Skizze der Ufersicherung im Querschnitt
(Quelle: BfG/BAW)



Lageskizze der 4 Versuchsfelder IIIc – IIIf
(Quelle: BfG)



Einbau der Kammerdeckwerke (KDW) 1993
(Quelle: BAW)



Zugversuch: Nachweis der sehr guten Durchwurzelung bis in den Untergrund hinein – 3 Jahre nach Einbau (große Kräfte erforderlich, um die KDW anzuheben) (Quelle: BAW)



Zustand 8 Jahre nach Einbau - gut entwickelter lückenloser Bewuchs (Quelle: BAW)

Bauweise und Materialeinsatz

- 30 Kammerdeckwerke (KDW) mit der Größe von jeweils 2 m x 3 m x 0,18 m
 - Füllung: Schottersteine aus Lava oder Metallhüttenschlacke (NA-Schlacke) und Lavagranulat/ Boden; Ummantelung mit einem Polyamid-Netz (Maschenweite: 45 mm) und innenliegendem Textilvlies
 - mindestens eine Vegetationsperiode vorkultiviert mit Pflanzen der Ufer- und Röhrlichtzone (zu gleichen Teilen Rohrglanzgras, Sumpf-Schwertlilie, Schlank-Segge, Sumpf-Segge, Ufer-Segge), je KDW gemischt, ohne Zonierung, zusätzlich 8 Wochen vor Einbau Gräseruntersaat (u. a. verschiedene Schwingelarten, Weißes Straußgras)
 - Varianten:
 - IIIc: KDW mit Lava-Füllung auf schlammhaltigem Baggerboden
 - IIId: KDW mit NA-Schlacke auf schlammhaltigem Baggerboden
 - IIIe: KDW mit Lava-Füllung auf Sand
 - IIIf: KDW mit NA-Schlacke auf Sand
- Zusätzlich Variation der Anzahl und z. T. der Lage der KDW (siehe Lageskizze)

Arbeitsschritte

- Rückbau der alten Schüttsteindeckwerke mit zum Teil vorhandenem Bewuchs (Weidengebüsch und Schilf)
- Herstellung eines Planums (Neigung 1:3)
- Verlegung der vorkultivierten Kammerdeckwerke (KDW) auf Stoß ohne Lücke, je nach Variante auf schlammhaltigem Baggerboden oder Sand, z. T. auf geotextilem Filter
- Nutzung eines Hebegerätes mit Rahmentraverse
- Einbau bis etwa MW-15 cm (28 KDW) (2 KDW bis etwa MW-50 cm)
- oberhalb der KDW Andeckung mit Schlacke-Bodenmischung
- Einbindung am unteren Ende in Wasserbausteine, am oberen Ende in Schlackesteine bzw. Schlacke-Bodenmischung und seitlich in Schlacke- bzw. Wasserbausteine
- Fixierung der Kammerdeckwerke mit Eichenholzpfehlen

Pflege und Unterhaltung

- vom Hersteller empfohlene Bewässerung der Kammerdeckwerke in der Anfangszeit erfolgte nicht
- bisher keine Unterhaltung erforderlich

Erfahrungen

BfG-Monitoring (Bericht 2006)

- im ersten Sommer z. T. Schäden durch Austrocknung, da keine Wässerung erfolgte
- lokal Ausspülung von feinkörnigem Material
- langfristig bis 2006 insgesamt Entwicklung einer „artenreichen Ufervegetation“, Ausbildung einer für Gewässerufer typischen Zonierung mit jeweils mehr Feuchtigkeit bzw. Trockenheit liebenden Pflanzenarten (gewässernah: Segge, Schwertlilie, Blutweiderich, Ufer-Wolfstrapp, Salz-Teichsimse, Schilf u. a.; gewässerfern: Große Brennnessel, Segge, Schwingel, Schilf u. a.)
- sehr gute Verwurzelung der Pflanzen mit dem Untergrund
- geringfügiger Tierfraß
- 2006: gut entwickelter lückenloser Bewuchs in allen 4 Versuchsfeldern
- keine signifikanten Unterschiede zwischen den verschiedenen KDW-Varianten

2024:

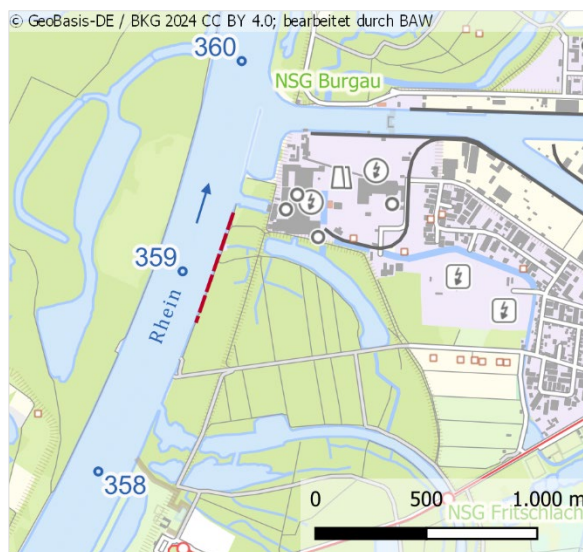
- üppiger Uferbewuchs aus Pflanzen der Röhrichtzone und Feuchten Hochstauden im wassernahen Böschungsbereich (+/- MW) und Pflanzen der nährstoffreichen Stauden und ausdauernden Unkrautfluren in höher gelegenen Böschungsbereichen auf der gesamten Teststrecke, aber auch in den benachbarten Steinschüttungsbereichen
- insgesamt nach 30 Jahren kaum ein Unterschied zwischen dem Bewuchs der Teststrecke und dem Bewuchs der angrenzenden Uferbereiche feststellbar
- Uferschutz in allen 4 Versuchsfeldern gewährleistet
- negativ: Florenverfälschung, da Pflanzenmaterial aus Pinneberg (Fa. Bestmann) verwendet wurde; Netz-Ummantelung aus Polyamid verrottet nicht

B1.6 Begrünte Steinschüttung

Beispiel: Rhein, km 358,840 bis km 359,240



Zustand 2020 (Quelle: BfG, Behrendt)



Maßnahmenbeschreibung

- Herstellung einer mit Setzstangen und inklinant angeordneten Buschlagenreihen begrünten Steinschüttung oberhalb MW und lokal mit einem Fischunterstand

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- verkehrliche und wasserwirtschaftliche Unterhaltung
- vorhandene Böschung (Pflasterdeckwerk oberhalb MW) wies auf einer Länge ca. 500 m erhebliche Schäden auf
- Förderung des Weidenbewuchses (begrünte Steinschüttung) sowie der Fischfauna (Fischunterstand)
- Wiederherstellung der Ufersicherung

Eckdaten

Wasserstraße: Rhein
km: 358,840 - 359,240
Uferseite: rechts
Fertigstellung: Dezember 2018
Zuständigkeit: WSA Oberrhein

Rechtliche Randbedingungen

- Lagestabilität des Ufers muss gewährleistet sein
- Sanierungsmaßnahme

Technische Randbedingungen

- freifließender Fluss
- Maßnahme liegt an einem langgezogenen Prallufer
- hohe natürliche hydraulische Belastung auf Grund des starken Sohlgefälles
- hohes Aufkommen an Güter-, Fahrgast- und Freizeitschifffahrt
- Fahrrinnenrand ca. 20 m – 70 m vom Ufer entfernt
- schiffsinduzierte Wellen, Strömung, Wasserspiegelabsenk

Ökologische Randbedingungen

- Lage im FFH-, Naturschutz- und europäischen Vogelschutzgebiet
- kiesgeprägter Strom
- Einstufungen gemäß WRRL: erheblich veränderter Wasserkörper (HMWB), Zustandsklasse der Qualitätskomponenten: Makrophyten und Makrozoobenthos: mäßig,
- ökologischer Gesamtzustand
Oberflächenwasserkörper: mäßig



Einbau der Setzstangen in die Steinschüttung 2018
(Quelle: WSA Oberrhein, Neubert)



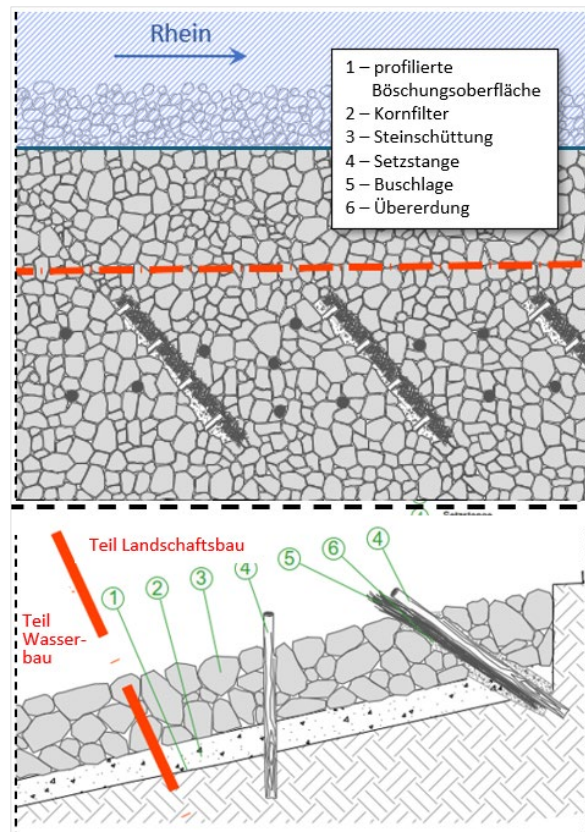
Einbau der Buschlagen in die Steinschüttung 2018
(Quelle: WSA Oberrhein, Neubert)



Fertiger Fischunterstand (bei km 359,000) 2019
(Quelle: BfG, Behrendt)

Bauweise und Materialeinsatz

- Ausführung der Baumaßnahme von Land und z. T. vom Wasser aus
- Gewinnung, Lieferung und Einbau von Lebendmaterial (Buschlagen, Weidenetzstangen) erfolgte durch eine beauftragte Firma mit Unterstützung des ABz Karlsruhe
- Gewinnung des Weidenmaterials von WSV-eigenen Fläche (Bereich Au am Rhein)
- Steinschüttung aus losen Wasserbausteinen LMB_{10/60}, Schichtdicke: 80 cm, Material: Granit
- LMB_{40/200} (zusätzlich als leichte buhlenartige Erhöhung der Steinschüttung im Bereich der Buschlagen und generell am Fischunterstand), Schichtdicke: max. 100 cm, Material: Granit
- Filterschicht aus Granit, Schichtdicke: 30 cm
- Böschungsneigung: 1:3 bis 1:7, lokal 1:2 (Fischunterstand)
- unterhalb MW: alte Steinschüttung bleibt erhalten



Schematischer Grundriss und Querschnitt der Maßnahmen (WSA Oberrhein)

Arbeitsschritte

Entfernen der Pflasterung und Einbau der neuen Steinschüttung und Filterschicht oberhalb MW durch beauftragte Firma
Aussparung der Bereiche für Setzstangen und Buschlagen

Herstellung Buschlage:

- Herstellung einer 30 Grad zur Böschung geneigten Berme in Höhe MW
- Berme ca. 20 cm in die Böschung hinein fortsetzen, so dass eine Auflagefläche für die Buschlage von rund 150 cm Länge entsteht, dabei das Aushubmaterial auf der Berme einplanieren, Schichtdicke des Aushubmaterials ca. 5 cm
- nach Einbau der Buschlagen auf der Berme Übererdung mit dem beim Aushub angefallenen Material, Andecken der Steine, nochmalige Übererdung

Herstellung Weidensetzstangen:

- Einbau der Weidensetzstangen durch den ABz Karlsruhe
- Einbau von Kornfilter und Steinschüttung zwischen den Weidensetzstangen durch beauftragte Firma

Herstellung Fischunterstand:

- waagerechter Einbau von Weidenästen in die 1:2 geneigte Steinschüttung in Höhe MW



Zustand 2024 (Quelle: WSA Oberrhein, Neubert)

Pflege und Unterhaltung

- planmäßige Unterhaltung

Erfahrungen

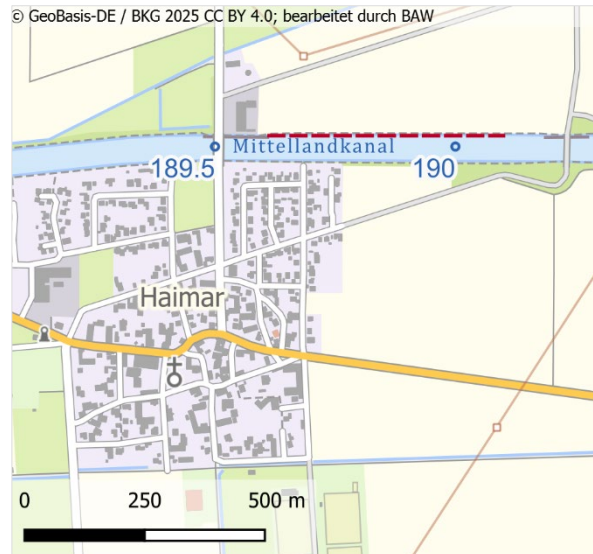
- begrünte Steinschüttung mit Weiden hat sich an der Bundeswasserstraße Rhein bewährt
- sanierte Böschung ist stabil
- einzelne Ausfälle in der Weidenbepflanzung
- insgesamt sehr gute Entwicklung der Weiden
- Fischunterstand: Totholzstrukturen tragen dazu bei, dass wieder vermehrt heimische Fischarten auftreten und der Anteil der invasiven Grundelarten tendenziell zurückgeht; für eine dauerhafte Wirksamkeit ist eine entsprechende Einbautiefe unterhalb MW notwendig (Quelle: BfG-2070, 2021)

B1.7 Begrünte technische Deckwerke im KRT-Profil

Beispiel: Mittellandkanal, km 189,6 bis km 190,1



Aktueller Zustand 7/2025 (Quelle: WSA MLK/ESK)



Maßnahmenbeschreibung

- kombiniertes Rechteck-Trapezprofil (KRT) mit anschließender Böschung
- OK Spundwand liegt abwechselnd 10 cm über und 30 cm unter Normalstau (NoST)
- anschließende Böschung unterschiedlich technisch gesichert (12 Versuchsfelder)
- zwischen Spundwand und Böschung entsteht eine geschützte schmale, etwa 1 m breite Flachwasserzone
- Begrünung oberhalb NoST

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- verkehrlicher Ausbau
- Versuchsstrecke zum Testen von naturnäheren Bauweisen in engen Kanalprofilen für städtische Bereiche (z. B. Hannover)
- ökologische Aufwertung der Uferspundwand durch Begrünung in kleiner Flachwasserzone
- Förderung der Entwicklung von (Schilf)-Röhricht, Großseggen und Uferstauden
- Schaffung von Übergängen zwischen aquatischem und terrestrischem Lebensraum in Bereichen mit abgesenkter Spundwand

Eckdaten

Wasserstraße: Mittellandkanal (MLK)
km: 189,6 - 190,1
Uferseite: links (Nordufer)
Fertigstellung: 1989
Zuständigkeit: WSA MLK/ESK

Rechtliche Randbedingungen

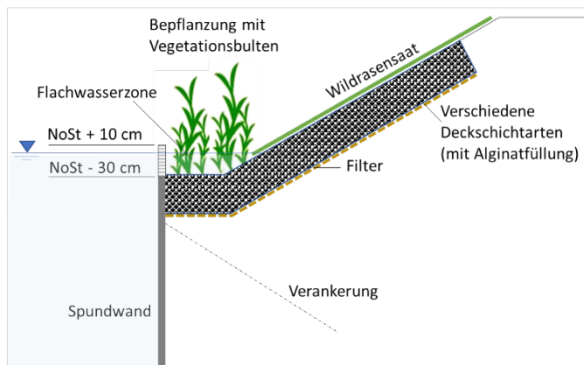
- Einrichtung der Versuchsstrecke im Rahmen des verkehrlichen Ausbaus

Technische Randbedingungen

- Kanal der Wasserstraßenklasse Vb
- enges Querprofil, gerade Strecke
- hohes Aufkommen an Güter-, Fahrgast-, Freizeitschifffahrt
- Fahrrinnenrand ca. 4 m vom Ufer entfernt
- große Uferbelastungen durch schiffsinduzierte Strömung, Wellen und Wasserspiegelabsenk

Ökologische Randbedingungen

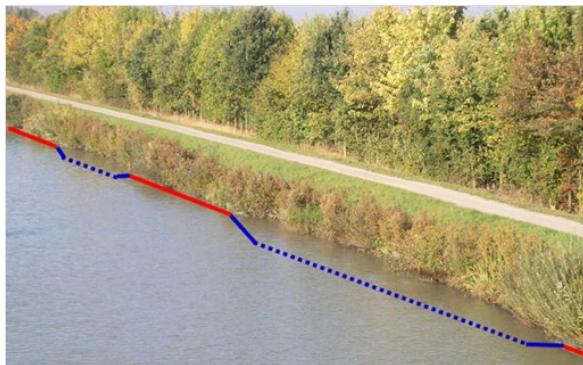
- Maßnahmenbereich liegt außerhalb von Schutzgebieten
- künstlicher Wasserkörper (Daten zum ökologischen Potenzial sind "nicht verfügbar / nicht anwendbar / unklar" (vgl. Wasserkörpersteckbrief zum 3. Bewirtschaftungsplan))



Schematischer Uferquerschnitt (Quelle: BAW)



Üppiger Bewuchs hinter der Spundwand 10/2005 (Quelle: BAW)



Verlauf der Spundwand mit wechselnder OK unter und über NoSt 2005 (Quelle: BAW)



Blick auf das Nordufer 2005 (Quelle: BAW)

Bauweise und Materialeinsatz

- verankerte Uferspundwand (OK abwechselnd über und unter NoSt, Abschnittsbreite jeweils 19,20 m)
- luftseitig anschließende Böschungsdeckwerke mit Geotextilfilter
- verschiedene Deckschichtarten auf unterschiedlichen Böschungsneigungen
- insgesamt 12 Versuchsfelder (VF) :
VF 1/2: Terrafixdeckwerk – Neigung 1:2,5
VF 3/4: mit Beton verklammerte Wasserbausteine Kl. II – Neigung 1:3
VF 4/5: mit Bitumen verklammerte Wasserbausteine Kl. II – Neigung 1:3
VF 7/8: Drahtschottermatten – Neigung 1:3/1:4
VF 9/10: lose Wasserbausteine Kl. III – Neigung 1:3
VF 11/12: lose Wasserbausteine Kl. III – Neigung 1:2,5
- Natriumalginatmischung zum Füllen der Deckwerkshohlräume
- Vegetationsbulte (Pflanzen für Wasserwechselzone (Flutterbinse, Rohrglanzgras, Schilf, Schlanksegge, Sumpfschwertlilie, Wasserschwaden))
- Wildrasensaat auf der Böschung

Arbeitsschritte

- Rammen und Verankern der Spundwand
- Herstellen des Planums für den Einbau von Filter und Deckwerk
- in den Bereichen mit einer Spundwand-OK von 10 cm über NoSt Einbau von seitlichen Querriegeln aus Bruchsteinen an beiden Enden, so dass hier eine ca. 1 m breite geschützte Flachwasserzone entsteht
- Einbringen einer Natriumalginatmischung in die Deckwerkshohlräume und in einer ca. 10 cm dicken Schicht auf der Deckschicht zur Stabilisierung gegen Erosion
- Bepflanzung der Deckwerke oberhalb von NoSt mit Vegetationsbulten, zweireihig (Abstand der Reihen 40 cm) mit seitlichen Abständen von ca. 40 cm – insgesamt etwa 10 Pflanzen auf 2 m Uferlänge
- oberhalb des Pflanzstreifens Wildraseneinsaat

Pflege und Unterhaltung

- regelmäßige Unterhaltung aufkommender Gehölze
- Mähen des Böschungsbereichs je nach Bedarf meistens 2 x jährlich
- ufernahe Vegetationsfläche (Uferbewuchs, Schilf, Röhricht etc.) zwischen Spundwand und Böschung wird im Wechsel (nach Raster) jeweils nur einmal jährlich geschnitten, um Begrünung möglichst üppig zu halten und Vegetation zu fördern

Erfahrungen

Monitoring durch BfG

- Schilf hat sich hier, wie auch an vergleichbaren Streckenabschnitten, weitgehend durchgesetzt und bildet maßgeblich den uferparallelen Röhrichtstreifen (Ergebnis der Vegetationskartierung 2006)
- deutliche Unterschiede im Bewuchs zwischen geschützten und nicht geschützten Spundwandabschnitten
- in geschützten Bereichen im Vergleich bessere Standortbedingungen für Bewuchs und höhere Strukturvielfalt und Besiedlungsdichte
- Ablagerung von Feinsedimenten hinter hochgezogenen Spundwänden (förderlich für Pflanzenausbreitung)
- spontane Ansiedlung weiterer Arten (Korbweide, Zaunwinde, Wolfstrapp, Wasser-Sumpfkresse und Zottiges Weidenröschen)
- keine großen Bewuchsunterschiede zwischen den einzelnen VF mit verschiedenen Deckwerksarten; längerfristig kräftigerer, dichter Röhrichtbewuchs in Deckwerksbauweisen, die möglichst viel mit Alginat/Boden gefüllten Wurzelraum bieten
- Uferschutz in allen Testfeldern gewährleistet
- insgesamt gute Möglichkeit der ökologischen Aufwertung der Ufer in engen Kanälen mit großen schiffsinduzierten Belastungen (z. B. in städtischen Gebieten)
- Mit den Erfahrungen aus der Versuchsstrecke wurden bei Folgemaßnahmen in städtischen Bereichen die Abschnitte mit hochgezogener Spundwand deutlich verlängert, um mehr Vegetation zu fördern (kurze abgesenkte Bereiche dazwischen ausreichend, um den Wasseraustausch hinter der Spundwand zu gewährleisten). Außerdem wurde der gesamte Böschungsbereich bepflanzt (z. B. MLK-Stadtstrecke Wolfsburg).

B2.1 Vorgelagerte Holzpfahlreihen mit geschützter Wasserzone

Beispiel: Sacrow-Paretzer-Kanal, km 20,0 bis km 32,7



Fertiggestellter Bereich (2. Bauabschnitt) 2019
(Quelle: WNA Berlin)



Maßnahmenbeschreibung

- vorgelagerte Holzpfahlreihen mit geschützter Wasserzone und Durchströmungsöffnungen

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- verkehrlicher Ausbau der Sacrow-Paretzer-Kanals (SPK)
- Verbesserung des ökologischen Istzustands
- Schutz des vorhandenen Naturufers einschließlich der Röhrichtbestände
- Förderung der Flachwasserbereiche für eine weitere naturnahe Bewuchsentwicklung (Wasserpflanzen und Röhrichte) sowie für die Förderung von Fischfauna und Makrozoobenthos (MZB)

Eckdaten

Wasserstraße: Sacrow-Paretzer-Kanal
Teil der Unteren Havel-
Wasserstraße (UHW)
km: 20,0 – 32,7 (in Teilbereichen)
Uferseite: rechts
Fertigstellung: 2020
Zuständigkeit: WSA Spree-Havel
WNA Berlin

Rechtliche Randbedingungen

- Durchführung im Rahmen des Ausbaus des SPK als Kompensationsmaßnahmen
- Lagestabilität des Ufers muss gewährleistet sein

Technische Randbedingungen

- Summe der Ausdehnung der Pfahlreihen ca. 2600 m
- staugeregelter Bereich in der Stauhaltung Brandenburg
- geringes Gefälle und geringe Fließgeschwindigkeiten
- geringe Wasserstandsschwankungen ca. 0,5 m (zwischen Bwu und Bwo)
- mittleres Aufkommen an Güter-, Fahrgast-, Freizeitschiffahrt
- Fahrrinnenrand ca. 15 – 300 m entfernt
- schiffsinduzierte Wellen, Strömung, Wasserspiegelabsenk

Ökologische Randbedingungen

- Lage z. T. im FFH- und Naturschutzgebiet
- sand- und kiesgeprägter Strom
- Einstufung des ökologischen Potenzials gem. WRRL: HMWB
Qualitätskomponenten der WRRL:
insgesamt unbefriedigend - schlecht
MZB: unbefriedigend - schlecht
Fischfauna: unbefriedigend
aquatische Flora: gut – mäßig



Einbau der Pfahlpakete (1. Bauabschnitt) 2015
(Quelle: WNA Berlin)



Bereich UHW-km 32 (1. Bauabschnitt) nach Einbau 2015 (Quelle: WNA Berlin)



Zustand Sommer 2019 (Quelle: WNA Berlin)

Bauweise und Materialeinsatz

- Ausführung aller Baumaßnahmen vom Wasser aus
- Herstellen der 6-er Pfahlpakete (Durchmesser 0,15 m, Kiefer) mit der Pfahlpaketmaschine
- Rammen der Holzpfahl-Pakete (Pfahllängen: ca. 3 m) in die Höhenlinien 1 m unter MW
- OK Pfahlreihe +15 cm über MW
- Unterbrechung der Pfahlreihe durch 2,5 – 3m breite Öffnungen (pfahlfrei) alle 30 m und z. T. nutzungsbedingte breitere Öffnungen

Arbeitsschritte

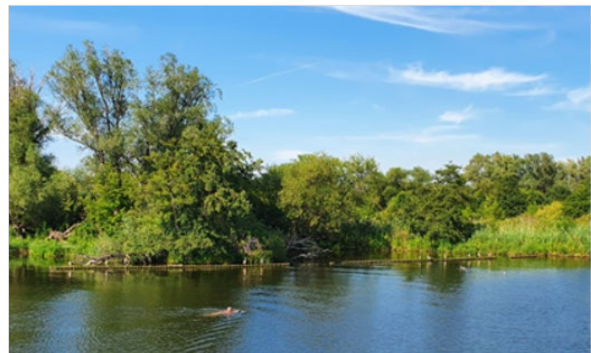
- Kampfmittelsuche im Bereich der Rammtrasse
- maschinelle Herstellung der Pfahlpakete (Verbindung von 6 Holzpfählen mittels Stahlprofil ca. 0,5 m unterhalb OK zur Anbindung an Nachbarpfahlpakete ca. 25 cm links und rechts überstehend, im unteren Bereich 0,5 m über UK Verbindung der Pfähle mittels an den Enden abgewinkelter Rundstähle)
- Transport der Pfahlpakete zum Einbauort
- Einbau der Pfahlpakete durch Rammen

Pflege und Unterhaltung

- keine planmäßige Unterhaltung

Erfahrungen

- in einem Teilbereich infolge ungünstigen Baugrunds (Mudde) Aufschwimmen der Pfähle, Einbau von ca. 2 m längeren Pfählen
- Pfahlanhebungen durch Eisgang in Teilbereichen
- Schutzfunktion ist erfüllt, Vergrößerung der Röhrichtbereiche



Zustand 2024 (Quelle: BAW)

B2.2 Vorgelagerte Doppelpfahlreihe mit Flachwasserzone

Beispiel: Neckar, km 57,80



Blick auf die Maßnahme 08/2023
(Quelle: WSA Neckar)



Maßnahmenbeschreibung

- Flachwasserzone mit vorgelagerter Doppelpfahlreihe
- Packung Doppelpfahlreihe, bestehend aus Schüttsteinen, Ufermaterial, Kies und Reisig

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- verkehrliche Unterhaltung des Neckars (Ufererosion durch Hochwasser und Beschattung durch Gehölzaufwuchs)
- Schutz des vorhandenen Naturufers vor Wellen- und Strömungsangriffen
- Förderung des vorhandenen Auenwalds durch Schilfstreifen und Zurückdrängen stark aufkommender Neophyten
- Schaffung von Flachwasserbereichen für eine naturnahe Bewuchsentwicklung (Teichrose, Flussröhricht, Teichbinse)
- Wiederansiedlung von Wasserfröschen und stark bedrohter Vogelfauna (Teichrohrsänger, Rohrammer, Eisvogel)

Eckdaten

Wasserstraße: Neckar
km: 57,80
Uferseite: links
Fertigstellung: 08/1997
Zuständigkeit: WSA Neckar
(ehem. WSA Heidelberg)

Rechtliche Randbedingungen

- Initiative des örtlichen Naturschutzbundes und der Stadtverwaltung, unterstützt durch das WSA, Außenstelle Ebersbach
- Erhalt und Sicherung des vorhandenen Röhrichtbestands als flächenhaftes Naturdenkmal
- Uferschutz und damit Sicherung der Bundeswasserstraße Neckar

Technische Randbedingungen

- Länge der Doppelpfahlreihen ca. 100 m
- staugeregelter Bereich in der Stauhaltung Hirschhorn
- Wasserspiegelschwankungen ca. 0,3 m, bei Hochwasser 4 bis 7 m möglich
- mittleres Aufkommen an Güter-, Fahrgast-, Freizeitschifffahrt
- Fahrrinnenrand ca. 20 bis 50 m vom Ufer entfernt
- schiffsinduzierte Wellen, Strömung und Wasserspiegelabsenk

Ökologische Randbedingungen

- geringe Fließgeschwindigkeit bei geringem Gefälle, sand- und kiesgeprägter Fluss
- ausgewiesenes Schutzgebiet im Stadtgebiet als Naturdenkmal
- starkes Vorkommen an Indischem Springkraut und Topinambur (invasive Neophyten)



Einbau der Faschinen, bestehend aus Reisigbündeln, in die Doppelpfahlreihe 08/1997
(Quelle: Stadt Eberbach)



Flachwasserzone und Doppelpfahlreihe mit bewachsenem Uferstreifen 08/1999
(Quelle: Stadt Eberbach)



Setzungen der Schüttsteine und der Faschinen in der Doppelpfahlreihe (Unterhaltung) 07/2003
(Quelle: Stadt Eberbach)



Flachwasserzone und Doppelpfahlreihe weitgehend ohne Unterhaltung 08/2013
(Quelle: WSA Heidelberg)

Bauweise und Materialeinsatz

- Anlieferung der Pflanzen und Umsetzung der Maßnahmen, Fläche ca. 8.000 m², vom Wasser aus
- heimisches Saatgut und Rhizome bereits zwei Jahre zuvor geerntet, Schilfrhizome auf 1 m² großen Pflanzmatten aus Kokos vorkultiviert
- Herstellen der Doppelpfahlreihe, Abstand Reihen ca. 0,90 m, durch Rammen von 3 m langen Eichenpfählen bis ca. 0,40 m über Mittelwasser
- Flachwasserzone zwischen Uferbereich und Pfahlreihe mit Substrat bis ca. 0,10 m unter Mittelwasser aufgefüllt

Arbeitsschritte

- Eichenpfähle, in Stärke 0,15 bis 0,20 m in einer Breite von 0,90 m, als Doppelpfahlreihe eingebracht
- Bereich zwischen Ufer und Pfahlreihe bis 0,10 m unter Mittelwasser mit Neckarsubstrat aufgefüllt und auf Teilbereich, ca. 300 m², Pflanzmatten verlegt
- Doppelpfahlreihe bis ca. 0,30 m über Mittelwasser mit Schüttsteinen, Ufermaterial, Kies und Reisig befüllt

Pflege und Unterhaltung

- Aufkommen von Neophyten prüfen und aus dem Bestand nehmen
- Schüttsteine in der Doppelpfahlreihe prüfen und bei Bedarf nachpacken

Erfahrungen

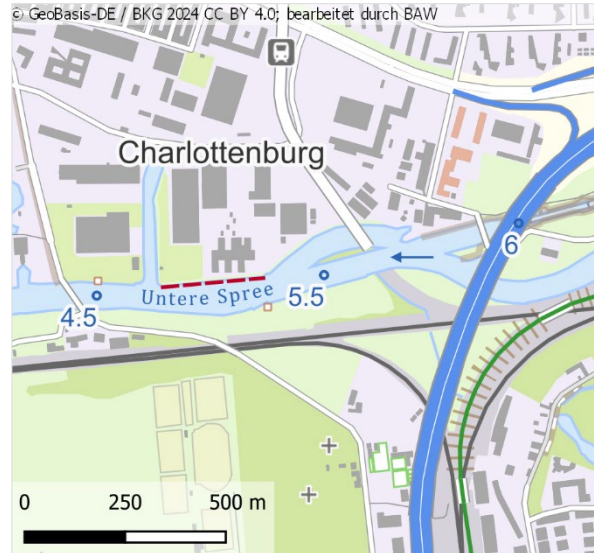
- Ausführungsdauer ca. 3 Jahre einschließlich Vorziehen der Schilf-Pflanzmatten
- Fraßschäden an Jungpflanzen durch Tiere wie Bisams sind ausgeblieben
- zeitweise Eutrophierung der Flachwasserzone durch Entenkot
- Schilfbewuchs trotz zahlreicher Hochwasser gut entwickelt
- regelmäßige Kontrolle mit geringen Unterhaltungsarbeiten erforderlich
- vorgelagerte Doppelpfahlreihe effektiver Schutz der Flachwasserzone und des Ufers vor Wellenschlag und Strömungsangriffen

B2.3 Vorgelagerte Spundwand mit Flachwasserzone und begrünter Steinschüttung

Beispiel: Spree-Oder-Wasserstraße, km 5,0 bis km 5,3



Zustand 2018 (Quelle: WNA Berlin)



Maßnahmenbeschreibung

- vorgelagerte Spundwand mit Durchströmungsöffnungen
- Anlage eines ca. 4 m breiten Flachwasserbereichs (Berme mit Wasserbausteinen)
- Ufersicherung mit begrünter Steinschüttung (Initialbepflanzung durch Pflanzbulte im Deckwerk)

Rechtliche Randbedingungen

- Durchführung im Rahmen des Neubaus der Schleuse Charlottenburg als Kompensationsmaßnahme
- Lagestabilität des Ufers muss gewährleistet sein, da Fahrrinne direkt angrenzend

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- Bau der westlichen Zufahrt zur Schleuse Charlottenburg
- Schaffung eines naturnäheren Lebensraumes insbesondere für Fischfauna und Makrozoobenthos (MZZ)
- Verbesserung der Gewässerstruktur zur Erhöhung der Selbstreinigungskraft der Spree

Technische Randbedingungen

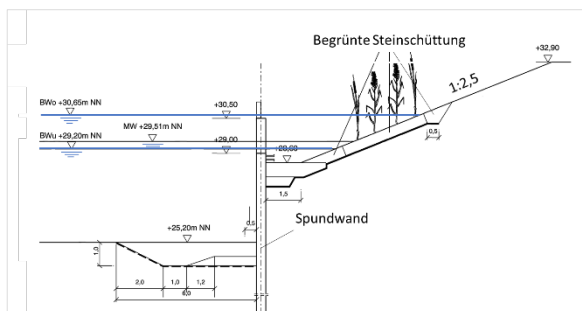
- Abgrabung des Bestandsufers für die Linienführung der Schleusenzufahrt
- staugeregelter Bereich unterhalb der Schleuse Charlottenburg
- geringes Gefälle und geringe Fließgeschwindigkeiten
- geringe Wasserstandsschwankungen ca. 0,8 m (zwischen Bwu und Bwo)
- mittleres Aufkommen an Güter-, Fahrgast-, Freizeitschifffahrt
- Fahrrinnenrand ca. 2 m entfernt
- schiffsinduzierte Wellen, Strömung und Wasserspiegelabsenk

Eckdaten

Wasserstraße: Spree-Oder-Wasserstraße
km: 5,0 – 5,3
Uferseite: rechts
Fertigstellung: 2004, Umbau 2013
Zuständigkeit: WSA Spree-Havel
WNA Berlin

Ökologische Randbedingungen

- sand- und kiesgeprägter Strom
- urbaner Bereich ohne nutzbares Hinterland
- HMWB Wasserkörper
- Einstufung des ökologischen Potenzials gem. WRRL
MZB und Fischfauna: unbefriedigend
Makrophyten: schlecht
Phytoplankton- und -benthos: mäßig
Gewässerstrukturgüte: überwiegend vollständig verändert
- keine Ufervegetation im Ausgangszustand



Querschnitt (Quelle: WNA Berlin)



Bauzustand 2003 (Quelle: WNA Berlin)



Entwicklungszustand 2005 (Quelle: WNA Berlin)

Bauweise und Materialeinsatz

- Ausführung aller Baumaßnahmen vom Wasser aus
- Erd- und Abrissarbeiten zum Herstellen der Böschung mit Bagger vom Arbeitsponton
- Einbringen der Spundwand mit Vibrationsrammen vom Seilbagger
- Einbau von Steingabionen quer zum Fluss und Herstellen eines Deckwerks aus losen Wasserbausteinen LMB_{5/40} auf geotextilem Filter auf der Uferböschung mit Bagger vom Arbeitsponton
- händischer Einbau der Pflanzbulte ins Deckwerk (Wasserpflanzen, Röhricht)
- Teilverguss des Schüttsteindeckwerkes mit Alginatgemisch mit Betonpumpe
- Herstellen der Öffnungen in der Spundwand durch Brennschnitte über und unter Wasser (z. T. mit Taucher)
- Baumpflanzung und Begrünung oberhalb des Deckwerkes

Arbeitsschritte

- Anzucht der Röhricht- und Uferpflanzen für die Pflanzbulte
- Abräumen des Bewuchses im Baubereich
- Bodenabgrabung einschließlich Abriss der alten Uferwand
- Spundwandeinbau
- Profilierung der Böschung (1:2,5)
- stufenförmiger Einbau der Steingabionen in Böschung in drei Lagen auf Filter
- Deckwerks- und Filtereinbau von Böschungsfuß bis Bwo einschließlich auf 2 m breiter Unterwasserberme
- Einbau der Pflanzbulte mit Röhrichtarten in die MW-Linie und bis 40 cm oberhalb sowie mit Wasserpflanzen unterhalb BWu
- Einbau von Oberboden auf Oberböschung
- Teilverguss des Deckwerks mit Alginat
- Herstellen der Spundwandöffnungen bis zur Sohle des Flachwasserbereiches (ca. 0,9 m unter MW)
- Herstellung der Spundwandabdeckung
- Begrünung und Bepflanzung der Oberböschung

Pflege und Unterhaltung

- Monitoring mit Vegetationsaufnahmen durch BfG 2005
- Im weiteren Verlauf war nach Bewuchs keine weitere Unterhaltung erforderlich.
- Monitoring Leibnitz-Institut für Geoökologie und Binnenfischerei 2009
- Umbau 2013 (Herstellung weiterer Öffnungen oder Vergrößerung, Einkürzen der Spundwand, Herausnahme von Gabionen, Herstellen von Sedimentationsöffnungen)



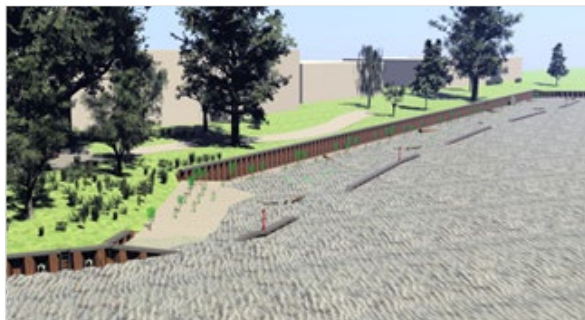
Flachwasserzone im Juni 2024 (Quelle: WNA Berlin)

Erfahrungen

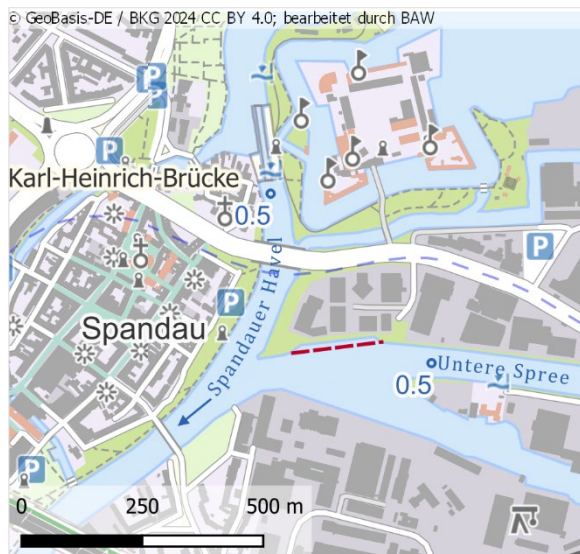
- geringe bis keine Ufersicherung hinter Spundwand notwendig
- geringe bis keine Bepflanzung erforderlich, da sich viele Pflanzenarten spontan angesiedelt haben, die nicht gepflanzt wurden
- besser flachere Ufer, insbesondere im Bereich der MW-Linie zur Röhrichtentwicklung
- wenn möglich, unregelmäßig geschwungene Ufer mit unterschiedlichem Gefälle
- Einkürzen der OK Spundwand zur Verbesserung des Landschaftsbildes bei Erhalt der hydraulischen Schutzwirkung (OK der Spundwand beruhte noch auf alten, nicht mehr eintretenden Bemessungswerten)
- nach ca. 5 Jahren: Verkrautung und Verlandung des Wasserbereiches sowie schlechte Sauerstoffverhältnisse im Hochsommer, deshalb Verbesserung der Durchströmbarkeit durch Herstellung zahlreicherer oder größerer Öffnungen in der Spundwand und Entnahme der strömungsberuhigenden Steingabionen
- außerdem Sedimentationsöffnungen auf Sohlhöhe in die Spundwand gebrannt, um so abgelagerte Feinsedimente wieder in Bewegung zu bringen und auszutragen
- Variation der Wassertiefen und Wasserbreiten von Flachwasserbereichen ist zu empfehlen
- keine krautige Neophytenansiedlung

B2.4 Vorgelagerte Spundwand mit strukturreicher Flachwasserzone

Beispiel: Spree-Oder-Wasserstraße, km 0,221 bis km 0,403



Darstellung der Planung der Spundwand mit Flachwasserzone (Quelle: WNA Berlin)



Maßnahmenbeschreibung

- vorgelagerte Spundwand mit in Breite und Tiefe veränderbaren Durchströmungsöffnungen (größte Breite: 10 m, größte Tiefe: 1,3 m unter MNW, Standardtiefe: 0,3 m unter MNW)
- Anlage einer 10 - 15 m breiten strukturreichen Flachwasserzone (FWZ) einschließlich Tierausstieg zwischen vorgelagerter Spundwand und Bestandsspundwand (alte Wartestelle)
- Integrierung der Spree-Radweg-Planung

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- verkehrlicher Ausbau der Spree-Oder-Wasserstraße (SOW) und Unteren Havel-Wasserstraße (UHW) – Fahrrinnenanpassung Berliner Nordtrasse
- Verbesserung der Gewässerstruktur und Habitatqualität
- Schaffung eines wellenberuhigten Flachwasserbereiches insbesondere für Fischfauna und Makrozoobenthos (WRRL)

Eckdaten

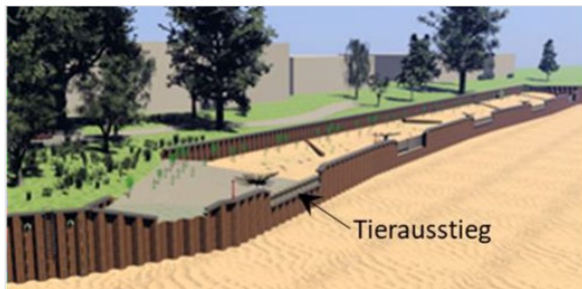
Wasserstraße: Spree-Oder-Wasserstraße
km: 0,221 – 0,403
Uferseite: rechts
Fertigstellung: 2025
Zuständigkeit: WSA Spree-Havel
WNA Berlin

Rechtliche Randbedingungen

- Durchführung im Rahmen der Ausbaumaßnahme Fahrrinnenanpassung der Berliner Nordtrasse (FA BLN)
- eine von 7 Ausgleichsmaßnahmen für die Eingriffe der FA BLN, insbesondere für die Abgrabung des Spandauer Horns einschließlich Gehölzverlust
- Maßnahme dient der Umsetzung des Maßnahmenprogramms zur Zielerreichung nach WRRL

Technische Randbedingungen

- ehemalige Wartestelle (nautisch nicht mehr nutzbar)
- staugeregelt im oberen Bereich der ca. 60 km langen Staustufe Brandenburg
- geringes Gefälle und geringe Fließgeschwindigkeiten
- geringe Wasserstandsschwankungen ca. 0,8 m (zwischen BWu und BWo)
- mittleres Aufkommen an Güter-, Fahrgast-, Freizeitschifffahrt
- Fahrrinnenrand ca. 5 m entfernt
- mittelstarke schiffsinduzierte Wellen, Strömung, Wasserspiegelabsenk
- größte Belastungen durch Fahrgastschiffe (Sekundärwellen, Besonderheit Berliner Stadtgewässer) und kürzere Frachtschiffe sowie Sonderfahrzeuge wie einzeln fahrende Schubboote und Schlepper



Darstellung der FWZ-Planung ohne Wasser
(Quelle: WNA Berlin)



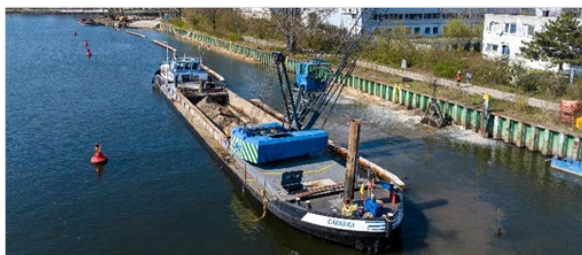
Spandauer Horn und alte Wartestelle,
Ausgangszustand 2019 (Quelle: WNA Berlin)



Zwischenlager Baumwurzeln im Baufeld 11/2022
(Quelle: WNA Berlin)



Bauzustand – eingebrachte vorgelagerte Wellenschutzspundwand 10/2024 (Quelle: WNA Berlin)



Bauzustand - Auffüllung der FWZ mit Sand aus dem Baufeld 04/2025 (Quelle: WNA Berlin)

Ökologische Randbedingungen

- sand- und kiesgeprägter Strom
- urbaner Bereich ohne nutzbares Hinterland
- Einstufung des ökologischen Potenzials gem. WRRL:
erheblich veränderter Wasserkörper (HMWB)
MZB und Fischfauna: unbefriedigend
Makrophyten: schlecht
Phytoplankton/-benthos: schlecht
Gewässerstrukturgüte: überwiegend vollständig verändert

Bauweise und Materialeinsatz

- Anlieferung der Materialien und Ausführung der Arbeiten überwiegend vom Wasser aus
- Einpressen der Wellenschutzwand:
Stahlspondbohlen AZ 28-700, OK 0,5 m über BWu, L=14 m/13 m; Wassertiefe 3,50 unter BWu
- Sandgewinnung (schadstofffrei) für FWZ aus geeigneten Baggermassen der laufenden Baumaßnahme, z. T. Zwischenlagerung in Schuten
- Herstellen der Öffnungen in der Spundwand durch Brennschnitte über und unter Wasser (z. T. mit Tauchern)
- für veränderbare Öffnungen: Steingabionen bzw. Dammbalken
- Auffüllung und Modellierung
- FWZ: mit vor Ort gewonnenem Sand des Bereiches zwischen Ufer (bis MW) und vorgelagerter Spundwand (ca. 12 m x 180 m) sowie lokaler Substrateinbau (Grobkies) in hydraulisch exponierten Bereichen
- Habitatverbesserung durch Totholzeinbau: mit vor Ort gewonnenem Material aus Baumfällungen (Wurzelstubben und Stämme)
- Einbringen der Wurzelstubben in die Sandauffüllung im Bereich der Spundwandöffnungen auch als hydraulische Bremse und Ablegen der Stämme und Befestigung an der Spundwand mit Stahlseilen als Sicherung gegen Abtreiben
- Initialpflanzung: standorttypisches und gebietsheimisches Pflanzmaterial (Schwimblattvegetation, Röhricht, Strauchweiden)

Arbeitsschritte

- Einbringen der Wellenschutzspundwand
- Herstellen der Durchströmungsöffnungen in der Spundwand
- Rückbau alter Dalben der ehem. Liegestelle
- Auffüllung der Zone zwischen Ufer und Wellenschutzwand mit Sand aus Sohlbaggerung sowie lokaler Substrateinbau (Grobkies) in hydraulisch exponierten Bereichen
- Stahlbau zur Verschleißbarkeit der Öffnungen
- Herstellung der Spundwandabdeckung
- Montage der Verschlusselemente (Steingabionen, Dammbalken)
- Teilrückbau (kürzen um ca. 0.5 m) der Bestandsuferspundwand im Bereich des Tierausstiegs für Böschungsanschluss
- Modellierung der Böschungen (1:4 bis 1:6) innerhalb der Flachwasserzone sowie Kieseinbau in hydraulisch exponierte Bereiche (30 cm Schichtdicke)
- Transport der Totholz-Stämme aus dem Zwischenlager (Altarm) sowie der Wurzelstubben aus dem Baufeldrand
- Einbau des Totholzes
- Einpflanzen von Strauchweiden und Röhrichten um die MW-Linie sowie von Wasserpflanzen unterhalb BWu
- Herstellen des Eisvogelquartiers

Pflege und Unterhaltung

- Fertigstellungs- und Entwicklungspflege im Rahmen des Bauvertrags
- Bekämpfung aufkommender Neophyten
- Monitoring und Erstellung eines Unterhaltungsplanes gemäß LBP vorgeschrieben
- Monitoring für Vegetation, Fauna (Fische, MZB), Gewässerstruktur, Morphologie (Peilung) und hydraulische Parameter (Wellenhöhen) für 10 Jahre
- Abstimmung mit dem Land Berlin und Einbindung des Monitorings in die Erfolgskontrollen gem. LAWA-Handbuch im Rahmen der Umsetzung WRRL

Erfahrungen

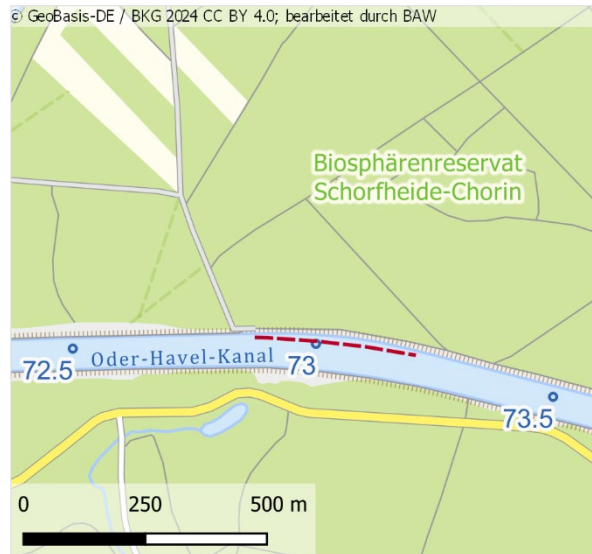
- Erfahrungen aus der FWZ Charlottenburg wurden hier umgesetzt (siehe Anlage B2.3)
- Bau aller Maßnahmen (Abgrabung Spandauer Horns, Wartestelle, Sohlbaggerung, FWZ) in einem Baulos ermöglichte synergetische Lösungen für Totholz- und Sandgewinnung
- Naturversuche zeigen, zusammen mit theoretischen Untersuchungen der BAW, dass die Breite der Öffnungen einen stärkeren Einfluss auf die Dämpfung der Sekundär-Schrägwellen hat als die Tiefe der Öffnungen (Barth et al. 2026). In der Anwachsphase sollte deshalb nicht nur die Tiefe der Öffnungen, sondern auch deren Breite reduziert werden.

B2.5 Vorgelagerte Gabionenreihe mit Flachwasserzone

Beispiel: Havel-Oder-Wasserstraße, km 73



Luftaufnahme 2014 (Quelle: WSA Oder-Havel)



Maßnahmenbeschreibung

- Flachwasserzone (max. Breite bei NoSt: 7 m) mit vorgelagerter Gabionenreihe
- Gabionenreihe, bestehend aus 2 m x 3 m großen Gabionenblöcken (Höhe 2 m), mit 1 m Abstand, aufgestellt als Abgrenzung zum Fahrwasser
- Länge der Gabionenreihe ca. 330 m

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- Anlass ist die Umsetzung einer Minimierungsmaßnahme aus der Planfeststellung zum Ausbau der HOW im Los H.
- Ziel ist, Migrationsreize wie Strukturwechsel und zusätzliche Nahrungsrefugien wiederherzustellen und somit einer drohenden Artenverarmung entgegenzuwirken.
- verbesserte Bedingungen für heimische aquatische Arten durch geschützte Flachwasserzone (Stillwasser- und Laichbereiche für Fische und Amphibien)
- langfristiger Trittstein im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Unterhaltung

Eckdaten

Wasserstraße: Havel-Oder-Wasserstraße
km: 73
Uferseite: links, Nordufer
Fertigstellung: 2014
Zuständigkeit: WSA Oder-Havel

Rechtliche Randbedingungen

- Maßnahme im Landschaftspflegerischen Begleitplan zum Ausbau der HOW im Los H
- Umsetzung von Vorschlägen aus der UVS

Technische Randbedingungen

- staugeregelter Bereich in der Scheitelhaltung der HOW
- gesamtes Kanalprofil mit Ton gedichtet
- durch abfallendes Gelände nur am Südufer deutliche Dammlage, nicht am Nordufer (GOK $\approx$ BWu)
- mittleres Aufkommen an Güter-, Fahrgast-, Freizeitschifffahrt
- Fahrrinnenrand ca. 8 bis 20 m vom Ufer entfernt
- schiffsinduzierte Strömung, Wellen und Wasserspiegelabsenk

Ökologische Randbedingungen

- Wasserspiegelschwankungen max. 0,5 m zwischen oberem und unterem Betriebswasserstand
- kein Hochwasser
- keine Fließgeschwindigkeit, kein Gefälle
- durch die erneuerte Dichtung und das Deckwerk aus losen Wasserbausteinen relativ arme Vegetation und Tierwelt im Kanal



Zusammenbau einer Gabionenkiste 01/2013
(Quelle: WSA Oder-Havel)



Fertige Gabionenreihe ohne zusätzliche Substrateinfüllung in Flachwasserzone nach 10 Jahren 02/2023 (Quelle: WSA Oder-Havel)



Musterhaft aufgebauter Gabionenblock aus 6 Gabionenkisten 03/2013
(Quelle: WSA Oder-Havel)



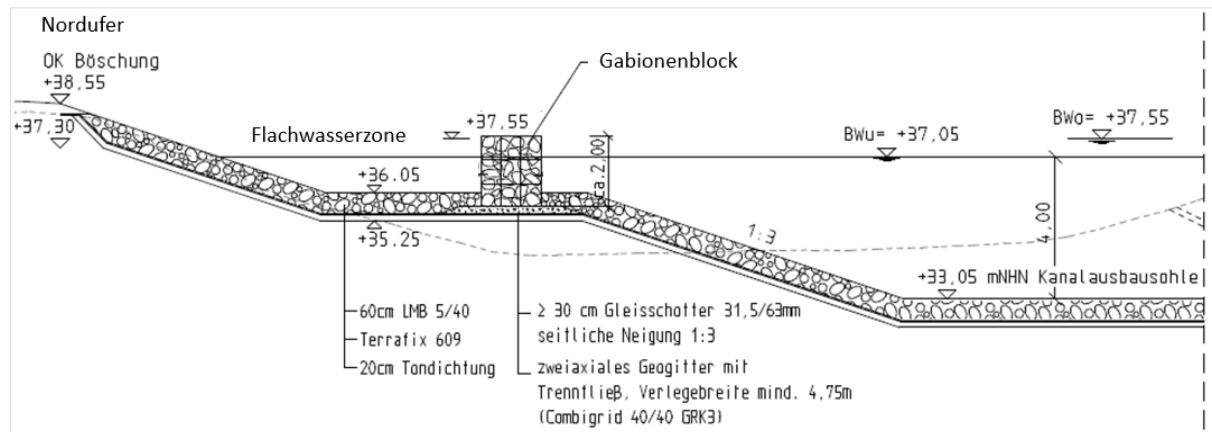
Spontane Vegetationsentwicklung in einem ähnlich gestalteten Bereich mit Substrateinfüllung bei der Herstellung der Flachwasserzone, Zustand nach ca. 15 Jahren (HOW, km 65)
(Quelle: WSA Oder-Havel)



Absetzen einer Gabionenkiste im Wasser 07/2013
(Quelle: WSA Havel-Oder)

Bauweise und Materialeinsatz

- Ein Gabionenblock besteht aus 6 Gabionenkisten.
- Gabionenkisten bestehen aus korrosionsbeständigen Gitterelementen, die mittels Steckelementen verbunden werden (Einzelkiste: 2 m x 1 m x 1 m (B x L x H)).
- Füllung mit Wasserbausteinen CP_{63/180}, auf Maschenweite der Gitterelemente (5 cm x 10 cm) abgestimmt
- Einzelne Gabionenkisten werden im Wasser nicht miteinander verbunden, um bei eventuellen Unterhaltungsarbeiten die einzelnen Kisten mit dem Gerät der WSV aufnehmen und bewegen zu können (eine einzelne Kiste wiegt ca. 3 t).



Querschnitt (Quelle: WSA Havel-Oder)

Arbeitsschritte

- durch Anordnung einer Berme waagerechtes Planum für die Stellfläche im Gewässer schaffen – Schotterbett auf dem Deckwerk
- Zusammenbau und Füllen der Gabionenelemente (idealerweise an Land mit Kontrollmöglichkeit der Befüllung)
- Aufstellen und Ausrichten der einzelnen Gabionenkisten auf der Berme
- Beschilderung „Abstand halten“ für Schifffahrt an Gabionen befestigen
- Bei diesem Projekt erfolgte bei der Herstellung keine Substrateinfüllung in der Flachwasserzone und auch keine Initialbepflanzung.

Pflege und Unterhaltung

- Kontrolle der Gabionen auf Schäden
- hinsichtlich einer natürlichen Bewuchsentwicklung bisher keine Unterhaltung erforderlich

Erfahrungen

- Beim Ausschreiben des Drahtgittermaterial fordern, dass Gabionenkisten an Land gefüllt und anschließend ins Wasser gestellt werden.
- Draht ist mit ausreichendem Durchmesser und auf die Steinklasse abgestimmte Maschenweite sowie einer Mittelwand für die Körbe erforderlich, bei Gefahr von Zink-Korrosion ist Edelstahlmaterial zu empfehlen. Dies ist in einer Vorbemerkung zur STLK-Position aufzuführen.
- Auf das Verschließen der Gabionenkisten ist besonders Wert zu legen, sonst droht Vandalismus oder Diebstahl.
- Das Setzen der einzelnen Körbe ist aufwendig, auch um ein optisch ansprechendes Bild zu erreichen.

Erfahrungen

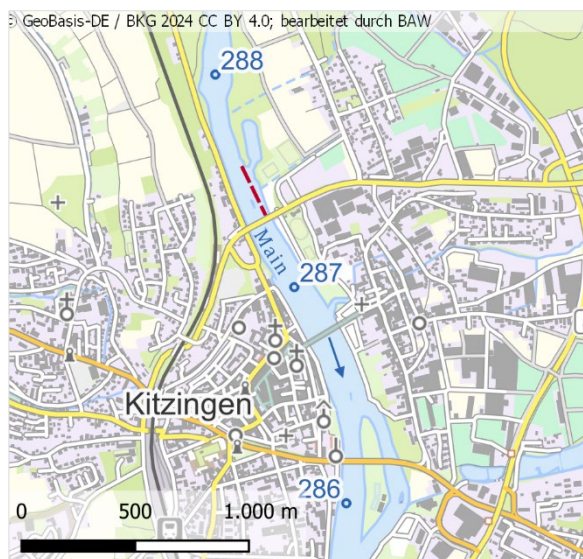
- Körbe sollten nicht unmittelbar am Rand der Berme stehen, sondern mit ca. 0,5 m Abstand, um ein Ausspülen des Schotterbettes zu verhindern.
- zu schmal gebaute Reihen anfällig für Schäden durch Schiffsanfahrungen oder auch Eisdruck (ab 2 m Breite ausreichend robust)
- in den letzten 9 Jahren keine Unterhaltungsarbeiten an den Gabionen erforderlich
- ohne Substrateinfüllung bisher keine spontane Vegetationsentwicklung
- ähnliche Maßnahme bei HOW-km 65: hier gute ufertypische Vegetationsentwicklung nach Substrateinfüllung (siehe Abbildung), obwohl Einbau von Pflanzenbulten zur Vegetationsförderung nicht erfolgreich war
- kein Monitoring der Flachwasserzone, deshalb bisher noch kein Nachweis der ökologischen Wirksamkeit hinsichtlich der aquatischen Fauna
- Fazit: gut geeignete Maßnahme zur Schaffung strömungs- und wellenberuhigter Bereiche in Kanälen; bei Anwendung dieser Maßnahme in gedichteten Bereichen in Dammlagen ist hinsichtlich des Bewuchses im Uferbereich und in der Flachwasserzone das MSD (2025) zu beachten; Erhöhung der ökologischen Wirksamkeit durch ausreichend Substrateinfüllung im Flachwasserbereich zur Förderung einer ufertypischen Vegetationsentwicklung (deshalb grundsätzlich besser geeignet in ungedichteten Kanalstrecken) oder durch eine im Vergleich zur Steinschüttung naturnähere Bauweise im geschützten Bereich der Flachwasserzone
- anwendbar grundsätzlich auch an Flüssen

B2.6 Vorgelagertes Parallelwerk mit geschützter Wasserzone

Beispiel: Main, km 287,4 bis km 287,6



Parallelwerk im Jahr 2025
(Quelle: WNA Aschaffenburg)



Maßnahmenbeschreibung

- Längsbauwerk aus Wasserbausteinen
- unregelmäßige Linienführung
- Varianz bei Kronenbreite
- Uferabstand Parallelwerk ca. 30 m
- geschützte Wasserzone mit ober- und unterstromiger Öffnung zum Main

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- Ausgleich von Eingriffen in aquatische Lebensräume durch Fahrrinnenausbau
- Verbesserung der Gewässerstruktur und Habitatqualität
- Schaffung von wellenberuhigten Wasser- und Uferbereichen für Fische, Makrozoen und Wasserpflanzen

Eckdaten

Wasserstraße:	Main
km:	287,4 – 287,6
Uferseite:	links
Fertigstellung:	2010
Zuständigkeit:	WSA Main WNA Aschaffenburg

Rechtliche Randbedingungen

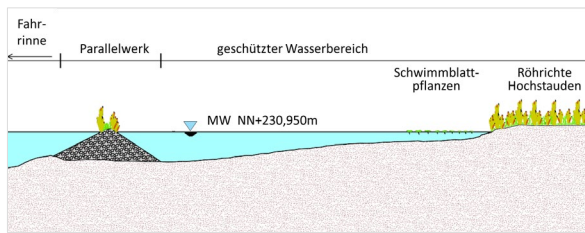
- Planfeststellung Fahrrinnenausbau
- Kompensationsmaßnahme

Technische Randbedingungen

- Wasserstraßenklasse Vb
- staugeregelter Abschnitt (Stauhaltung Kitzingen)
- Güterschifffahrt, Freizeitschifffahrt
- Abstand zum Fahrrinnenrand ca. 14 m
- schiffsinduzierte Strömung, Wellen, Wasserspiegelabsenk

Ökologische Randbedingungen

- sand- und kiesgeprägter Strom
- Lage angrenzend an FFH-Gebiet „Mainaue zwischen Grafenrheinfeld und Kitzingen“
- WRRL: mäßiges ökologisches Potenzial, auch für die Qualitätskomponenten Makrozoobenthos und Fischfauna
- gut entwickelte Ufergehölze im Ausgangszustand



Prinzipiskizze Parallelwerk
(Quelle: WNA Aschaffenburg)

Bauweise und Materialeinsatz

- Ausführung aller Baumaßnahmen vom Wasser aus
- Anschütten der Wasserbausteine flussseitig an noch vorhandene Parallelwerksreste aus der Zeit vor Stauregelung
- Kernschüttung mit alten Wasserbausteinen (alte Größenklasse III-IV) aus Uferzurücknahme
- Böschungsneigung zur Landseite 1:2, zur Fahrrinnenseite 1:2,5
- Kronenbreite zwischen 2 und 5 m
- Höhe des Parallelwerks bis ca. 50 cm über Mittelwasser
- Wassertiefe zwischen Parallelwerk und Ufer ca. 1,80 - 0,50 m
- Mischung der neuen Wasserbausteine (50% LMB_{5/40}, 50% LMB_{10/60}) zur Schaffung eines Lückensystems im Parallelwerk

Arbeitsschritte

- Schüttung eines Kernkörpers aus alten Wasserbausteinen (Uferzurücknahmen)
- Aufschütten des Parallelwerkskörpers unter ökologischer Baubegleitung zur Sicherstellung einer unregelmäßigen Struktur
- abschnittsweises Aufbringen von Kiessubstrat auf Parallelwerkskrone zur Förderung der Strukturvielfalt



Parallelwerk, zwei Jahre nach Fertigstellung 2012
(Quelle: WNA Aschaffenburg)

Pflege und Unterhaltung

- Kontrolle des Bereiches zwischen Parallelwerk und Ufer; bei zu starken Ablagerungen sind Wassertiefen wiederherzustellen
- Beobachten der auf dem Parallelwerk natürlich aufkommenden Vegetation
- bei Bedarf sind stark aufwachsende Gehölze zu entfernen (Standssicherheit des Parallelwerks)
- keine regelmäßige Unterhaltung vorgesehen; Sukzession erwünscht

Erfahrungen

- keine Bepflanzung des Parallelwerks erforderlich, da Spontanansiedlung standortgeeigneter Pflanzenarten nachhaltiger
- Kontrolluntersuchung 2017: in geschützter Wasserzone neben stagnophilen Fischarten finden abschnittsweise auch rheophile Arten geeignete Habitatbedingungen, gute Entwicklung verschiedener, meist strömungstoleranter Makrophytenarten
- bislang keine Unterhaltungsbaggerungen zwischen Parallelwerk und Ufer erforderlich
- wenn Parallelwerk ab bestimmten Abflusshöhen für Schifffahrt nicht mehr sichtbar, dann über Kennzeichnung (z. B. Baken) nachdenken
- für hohe ökologische Funktionswirkung ist größtmögliche Tiefen- und Substratvarianz des Wasserbereichs zwischen Parallelwerk und Ufer vorteilhaft
- Parallelwerk stellt sicheren Uferschutz gegenüber Schifffahrtseinwirkungen dar

B2.7 Vorgelagertes Parallelwerk mit Flachwasserbereich und eigendynamischer Uferentwicklung

Beispiel: Oder, km 604,6 bis km 605,5



Ausgangssituation bei Niedrigwasser (Quelle: WSA Oder-Havel)

Maßnahmenbeschreibung

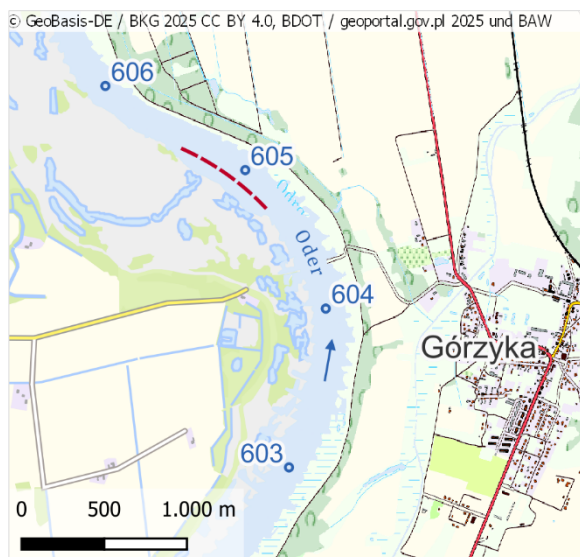
- Ersatz zerstörter Buhnen durch ein gegliedertes, hinterströmtes Parallelwerk (PW)
- Fünf PW-Segmente, etwa 50–250 m lang (Gesamtlänge 540 m+70 m Einlaufbereich), Breite der Öffnungen rd. 20 m
- Bauwerkssollhöhe orientiert am Entwurfsmittelwasser (EMW)
- Böschungsneigungen 1 : 3, Kronenbreite 2 m, Kopfvorlagen 1 : 10
- Material: Sandcontainer, Schüttsteine und Pflaster aus Granit
- Keine Ufersicherung hinter dem PW

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- verkehrliche Unterhaltung der Oder (Buhnen infolge militärischer Übungen zerstört, Aufweitung des Abflussquerschnitts mit Ablagerungen im Fahrwasser)
- Wiederherstellung der Regelungsfunktion, Eintiefung der Sohle
- Erhalt und Schutz des Flachwasserbereichs mit durchströmten Sanden
- Erhalt des Habitats für den Baltischen Goldsteinbeißer (*Sabanejevia baltica*)
- Zulassen von eigendynamischer Uferentwicklung hinter dem PW (indirekter Uferschutz)

Eckdaten

Wasserstraße: Oder
 km: 604,6 – 605,5
 Uferseite: links
 Fertigstellung: 04/2019, Abnahme 12/2020
 Zuständigkeit: WSA Oder-Havel (ehemals Eberswalde)



Rechtliche Randbedingungen

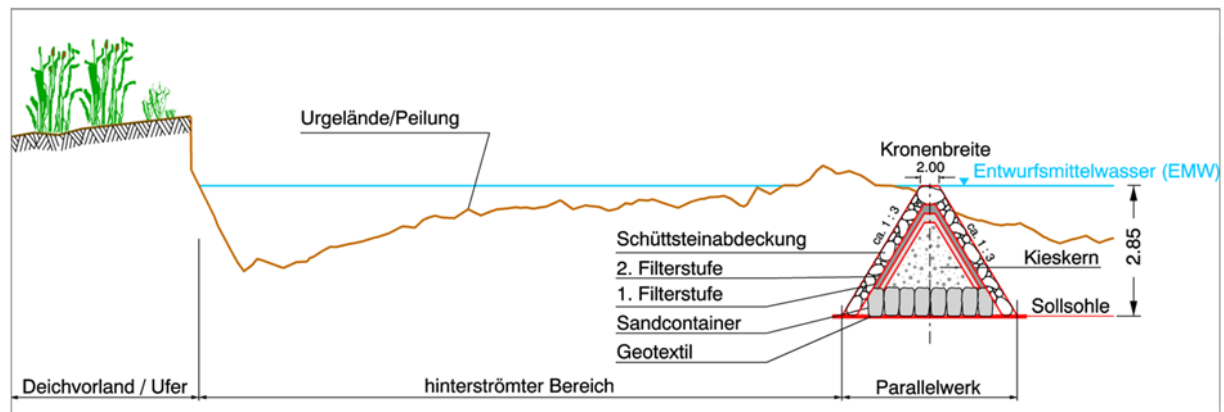
- Planfeststellungsverfahren, mit UVU
- FFH-Abweichungsprüfung
- Prioritäre Maßnahme gemäß Artikel 4 des DE/PL-Abkommens vom 27.04.2015

Technische Randbedingungen

- geringes Aufkommen an Güter-, Fahrgast-, Freizeitschifffahrt
- Mittelwasserausbau mit Buhnen vor rd. 100 Jahren
- geringe Wassertiefen, lange Niedrigwasserperioden, Hochwasser und Gefahr von Eisversatz
- Kampfmittelbelastung aus dem 2. Weltkrieg und militärischer Nutzung der Ufer als Übungsgebiet (bis 1990)

Ökologische Randbedingungen

- Regen-Schneetyp, mit langanhaltenden Niedrigwasserperioden im Sommer und Herbst, Frühjahrs- und Sommerhochwasser
- Typ 20/sand- und kiesgeprägter Fluss
- FFH- und Vogelschutzgebiet
- Habitat für den Baltischen Goldsteinbeißer (Anhang II FFH-RL), bis 2020 das einzige bekannte Vorkommen in Deutschland (inzwischen wurden weitere Populationen entdeckt)



Prinzipische Vorplanung (km 604,95) (Quelle: WSA Oder-Havel)



Parallelwerk Reitwein, im Jahr der Fertigstellung bei Niedrigwasser 09.07.2019 (Quelle: WSA Oder-Havel)



Parallelwerk Reitwein, Wasserstand: 24 cm unter Mittelwasser 23.04.2024 (Quelle: WSA Oder-Havel)



Parallelwerk Reitwein, Wasserstand: leicht über Mittelniedrigwasser 23.08.2024 (Quelle: WSA Oder-Havel)

Bauweise und Materialeinsatz

- Aufbau der Buhnen und PW-Segmente orientiert sich an Oder-Regelbuhne
- Materialien: Oderkies und Sandcontainer (Geotextil), Wasserbausteine LMB_{10/60} (Granit)
- 6 Kopfvorlagen am Standort der früheren Buhnen
- Pflasterabdeckung am Einlaufbereich, Köpfen an den Enden der PW-Segmente und Kopfvorlagen sowie Kerbbuhne
- Initialpflanzung von Schilfröhricht auf einem PW-Segment

Arbeitsschritte

- Kampfmittelräumung (erfolgt je Bauabschnitt vorab)
- Materialanlieferung über die Wasserstraße, Zwischenlagerung in unterstrom angrenzenden Buhnenfeldern
- Instandsetzung Buhne 605/09 und Umbau zu Kerbbuhne
- Instandsetzung Buhne 604/11
- Herstellung der Gründung (Sandcontainer) und Errichtung von fünf Parallelwerk-Segmente (unterstrom beginnend)

Pflege und Unterhaltung

- Erfolgskontrolle und Monitoring über 10 Jahre (MZB, Fische, Laufkäfer, Vegetation, Grundwasser, Morphologie, Topographie, Hydromorphologie, Abflussmessungen, Wasserspiegelfixierungen)
- Beobachtung von Sedimentab- und -umlagerungen im Hinterströmungsbereich



Einlaufbereich, große Insel und Hinterströmungsbereich 12.06.2023 (Quelle: WSA Oder-Havel)



Böschungsabbrüche am Ufer hinter dem Parallelwerk 26.08.2025
(Quelle: WSA Oder-Havel)

Erfahrungen

- Abschnittsweise Umsetzung von unterstrom beginnend ist äußerst schwierig.
- Kampfmittelbelastung und ungünstige Wasserstände haben zu erheblichen Verzögerungen und Mehrkosten geführt.
- Initialpflanzung mit Schilfröhricht bei wechselnden Wasserständen an einem frei fließenden Fluss schwierig, Sukzession hingegen hat gut funktioniert.
- Aussagen zum Unterhaltungsbedarf sind noch nicht möglich.
- Bauweise sollte geändert werden (Vermeidung von Geotextil aus Plastik).

B3.1 Totholzeinbau

Beispiel: Mittelweser, km 217,3 bis km 218,7



Totholzstamm bei Niedrigwasser (MW-114 cm)
09/2020 (Quelle: WSA Weser)



Maßnahmenbeschreibung

- Einbau von lagestabilem Totholz unter Mittelwasser (MW) in Eigenregie durch den ABz
- Befestigung der Totholzstämmen durch in der Sohle eingebundene Betonklötze
- Einbau wechselnd inklinant, deklinant und rechtwinklig

Rechtliche Randbedingungen

- Durchführung im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Unterhaltung
- Lagestabilität und Sichtbarkeit (Beschilderung) des Hindernisses unter Wasser muss gewährleistet sein.

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- Modellprojekt „Weserschleifen“ im Rahmen des Bundesprogramms Blaues Band Deutschland, Teilprojekt „Gleituferentwicklung Jössen“
- aus ökologischen Gründen durchgeführt zur Erhöhung der Strömungsdiversität und Strukturvielfalt im Flachwasserbereich
- Verbesserung der Habitatqualität für Makrozoobenthos und Fischfauna

Technische Randbedingungen

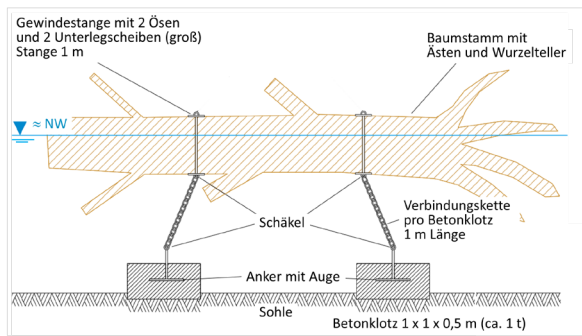
- Lage im Wehrarm Petershagen in einem freifließenden Abschnitt
- nur Freizeitschiffahrt im Wehrarm
- sandig bis kiesige Ufersohle
- Gleithanglage mit geringen Uferbelastungen
- stark schwankende Wasserstände
- Abtreiben des Totholzes kann zu einer Gefährdung der Schifffahrt in der Hauptstrecke führen

Eckdaten

Wasserstraße: Mittelweser
km: 217,3 – 218,7
Uferseite: links
Fertigstellung: Oktober 2018
Zuständigkeit: WSA Weser
Links: www.blaues-band.bund.de

Ökologische Randbedingungen

- sand- und kiesgeprägter Strom
- Lage im Naturschutzgebiet und EU Vogelschutzgebiet „Weseraue“
- überwiegend offene Stromtal-Kulturlandschaft, nur vereinzelt Ufergehölze
- unbefriedigender ökologischer Zustand nach WRRL, auch für die Qualitätskomponenten Makrozoobenthos und Fischfauna (Stand 2020)
- Mangel an Totholz im Gewässer



Eingebautes Totholz im Querschnitt (Quelle: WSA Weser 2018)

Bauweise und Materialeinsatz

- 12 reich verzweigte Stämme von Esche, Erle und Pappel, Länge ca. 10 m, Stammdurchmesser 50–100 cm
- pro Stamm je zwei 0,5 m³ große Betonklötze und Schalungsmaterial
- Befestigung der Betonklötze mit Ketten, Ankerstangen, Bewährung und Ringmuttern (Auge zum Befestigen)
- Antransport der Stämme landseitig mit LKW und wasserseitig per Schiff



Totholzeinbau 11/2018 (Quelle: WSA Weser)



Überspülter Totholzstamm (MW-19 cm) 01/2020 (Quelle: WSA Weser)

Arbeitsschritte

- Ermittlung des Materialbedarfs
- Beschaffung des Totholzes vom Klosterwald Loccum
- Anbringen des Befestigungsmaterials an zwei Punkten an den Totholzstämmen
- Schalungsbau für die Ankersteine: Die Schalung wurde für eine Mehrfachnutzung gebaut, Betonierung erfolgte in mehreren Schritten.
- Einbau vor Ort bei extremem Niedrigwasser, daher Antransport des Materials mit LKW
- vor Ort Verladung des Totholzes auf die Schute und Bewegen der Schute mittels Peilflieger zum Einbauort (siehe Foto)
- Einbau der Ankersteine und des Totholzes gewässerseitig mit einem 5-Tonnen-Bagger
- Personalbedarf:
Materialbeschaffung: 1 Wasserbaumeister, Schalungsbau/Montage Anschlagpunkte: 1 Wasserbauer, 1 Azubi, Transport/Einbau: 1 LKW-Fahrer, 1 Baggerfahrer, 1 Wasserbauer/Bauaufsicht, 1 Bediener Peilflieger, 1 Decksmann Peilflieger

Pflege und Unterhaltung

- Ein Auge an einem Betonklotz musste in 2021 erneuert werden.
- Nach Hochwasserereignissen müssen die Stabilität kontrolliert und ggf. Müll und Treibgutansammlungen entfernt werden.
- Bei fortschreitendem Verrottungszustand muss das Totholz zur Gewährleistung der Lagestabilität ersetzt werden.

Erfahrungen

- Aufgrund der stark schwankenden Wasserstände liegt das Totholz im Sommer häufig oberhalb der Wasserlinie.
- Totholz ist noch vollständig und lagestabil vorhanden (Stand 2022).
- Die Einbauweise mit Ankerstein 0,5 m³, Ketten und Anschlagpunkten (durchgehende Bolzen durch den Stamm) hat sich bewährt.
- Für eine optimale ökologische Funktion sollte möglichst reich verzweigtes Totholz verwendet und beim Transport darauf geachtet werden, dass die Krone und der Wurzelteller nicht beschädigt werden.

B3.2 Totholzeinbau

Beispiel: Niederrhein, km 849,2 bis km 849,9



Lage Totholzstamm etwa bei MW + 45 cm (2023)
(Quelle: WSA Rhein)

Maßnahmenbeschreibung

- Einbau von lagestabilem Totholz im Bereich Mittelwasser und darunter in Eigenregie durch den ABz
- Befestigung der Totholzstämmen durch in der Sohle eingebundene HE-A-Profile
- Einbau längs zur Fließrichtung

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

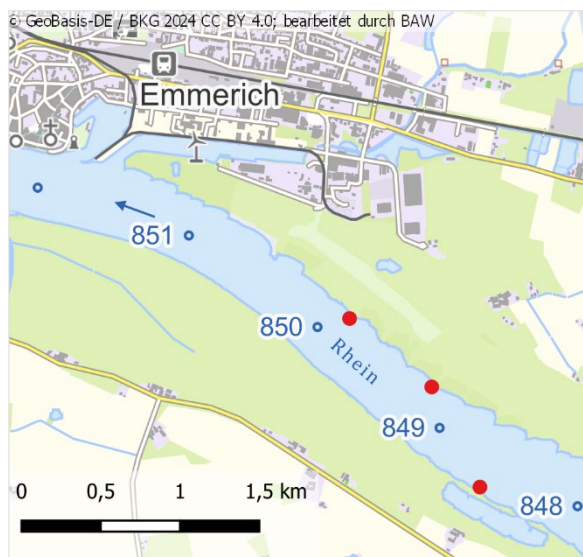
- Kooperationsprojekt „Schutz und Förderung natürlich entstandener Auen-Pionierwälder im Deichvorland des Unteren Niederrheins“, Teilprojekt „Sicherungsmethoden“
- aus ökologischen Gründen zur Erhöhung der Strukturvielfalt im Biotop durchgeführt

Eckdaten

Wasserstraße: Rhein
km: 849,2 – 849,9
Uferseite: rechts und links
Fertigstellung: September 2023
Zuständigkeit: WSA Rhein
Links: www.nz-kleve.de

Rechtliche Randbedingungen

- Durchführung im Rahmen der wasserwirtschaftlichen Unterhaltung
- Lagestabilität muss gewährleistet sein.



Technische Randbedingungen

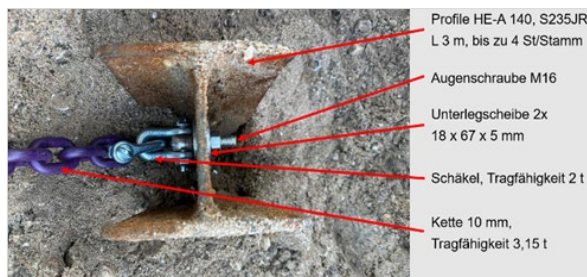
- freifließender Abschnitt
- sandig bis kiesige Ufersohle
- gerader Streckenabschnitt innerhalb von Bühnenfeldern
- stark schwankende Wasserstände, Hochwasserlagen bis zu 5 m über den gesicherten Totholzstämmen
- Abtreiben des Totholzes kann zu einer Gefährdung der Schifffahrt und der Hochwasserschutzanlagen führen
- Abstand des Totholzes zur Fahrrinne: 100 bis 180 m
- hohes Aufkommen an Güter-, Fahrgast- und Freizeitschifffahrt
- schiffsinduzierte Wellen, Strömung und Wasserspiegelabsenk



Lage Totholzstamm bei MW + 100 cm (2023)
(Quelle: WSA Rhein)

Ökologische Randbedingungen

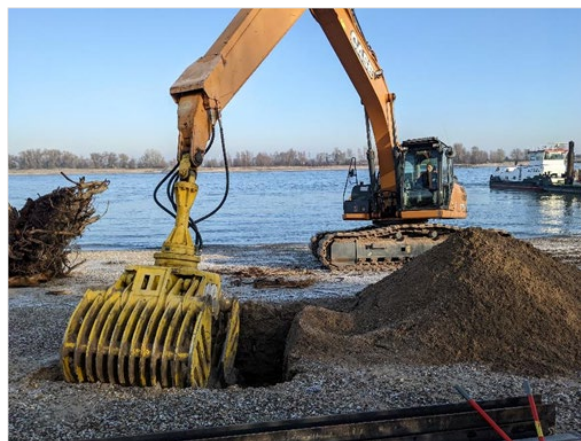
- sand- und kiesgeprägter Strom
- Lage im Naturschutzgebiet „NSG Dornicksche Ward“, Vogelschutzgebiet „Unterer Niederrhein“ und FFH-Gebiet "Rhein-Fischschutzzonen zwischen Emmerich und Bad Honnef"
- Buhnenfelder überwiegend frei von Bewuchs
- unbefriedigender ökologischer Zustand nach WRRL, auch für die Qualitätskomponenten Makrozoobenthos und Fischfauna (Stand 2020) und weitere auen- und auwaldtypische Arten
- Mangel an Totholz im Gewässer und der Gewässerränder als verbindende Elemente zwischen fragmentierten und isolierten Auwaldbeständen



Befestigung der Ketten am HE-A-Profil 2023
(Quelle: WSA Rhein)

Bauweise und Materialeinsatz

- Stammhölzer verschiedener Arten, teilweise mit Wurzelteller, Länge bis 11 m, Stammdurchmesser 40–100 cm
- pro Stamm bis zu vier HE-A 140, L = 3 m
- Verbindung der HE-A-Profile und Stämme mit Ketten, Schäkeln, Augenschrauben und Unterlegscheiben
- Stämme mit Ketten 1,5 mal umwickelt
- Antransport der Stämme mit schwimmenden Fahrzeugen
- Einbau der HE-A-Profile mit Hydraulikbagger
- (Personalbedarf:
Materialbeschaffung: 1 Wasserbaumeister
Vorbereitung HE-A-Profile: 1 Wasserbauer
Transport/ Einbau: 1 Wasserbauer,
1 Baggerfahrer, 1 Schiffsführer,
1 Bootsmann)



Bodenaushub für HE-A-Profil 2022
(Quelle: WSA Rhein)

Arbeitsschritte

- Bemessung des Sicherungsmaterials
- Ermittlung Materialbedarf/Beschaffung
- Beschaffung des Totholzes (hier: Bergung bei Hochwasser, Zwischenlagerung beim ABz, Transport zum Sicherungsort)
- Bodenaushub für HE-A-Profil (ca. 1 m), Einpressen HE-A-Profil mit Baggerschaufel
- Anbringen der Ketten und des Befestigungsmaterials an zwei Punkten an den Totholzstämmen
- Einbau vor Ort bei Niedrigwasser

Pflege und Unterhaltung

- Ein Stamm musste im Herbst 2023 vom Wurzelteller getrennt und entfernt werden, weil dieser locker war.
- Aufgrund der stark schwankenden Wasserstände liegt das Totholz meist oberhalb der Wasserlinie.
- Nach Hochwasserereignissen muss kontrolliert werden, ob die Verbindungen noch fest sind und ob das Stammholz keine strukturellen Schäden aufweist.
- Bei fortschreitendem Verrottungszustand muss das Totholz zur Gewährleistung der Lagestabilität ersetzt werden.

Erfahrungen

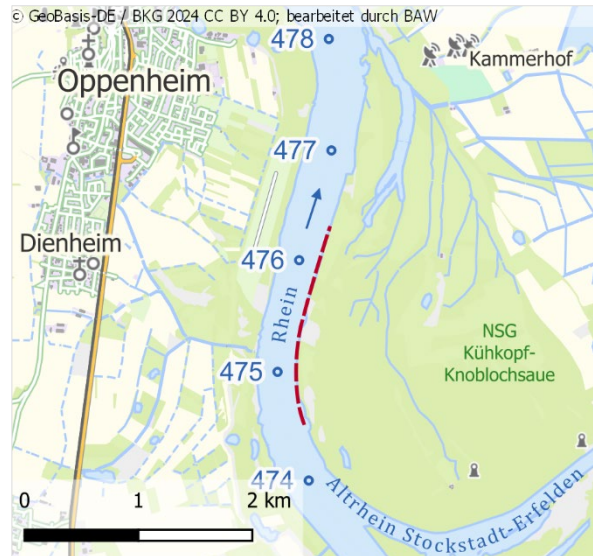
- bisher (Stand 2025) erfolgreiche lagestabile Sicherung des Totholzes

B4.1 Ungesichertes, dynamisches Ufer

Beispiel: Rhein, km 474,7 bis km 476,3



Zustand nach Umbau 2021
(Quelle: WSA Oberrhein)



Maßnahmenbeschreibung

- Rückbau der Ufersicherung aus Schüttsteinen und alter Pflasterung oberhalb und abschnittsweise auch unterhalb Mittelwasser (MW)
- keine neue Ufersicherung, Zulassen einer eigendynamischen Entwicklung

Anlass und Zielstellung der Maßnahme

- Förderung der Vielfalt von Ufer- und Auenstrukturen im Naturschutzgebiet
- Entwicklung einer naturnahen Böschung, um neue Lebensräume für Flora und Fauna zu fördern

Eckdaten

Wasserstraße: Rhein
km: 474,7 – 476,3
Uferseite: rechts
Fertigstellung: April 2020
Zuständigkeit: WSA Oberrhein

Rechtliche Randbedingungen

- Modellprojekt im Rahmen des Bundesprogramms Blaues Band Deutschland
- Unterstützung verschiedener naturschutzfachlicher Erhaltungs- und Entwicklungsziele

Technische Randbedingungen

- freifließender Fluss, Gleithanlage
- hohes Aufkommen an Güter-, Fahrgast- und Freizeitschifffahrt
- Fahrrinne nahe der gegenüberliegenden Uferseite
- schiffsinduzierte Wellen, Strömung, Wasserspiegelabsenk
- für Maßnahme geeignete hydraulische Bedingungen

Ökologische Randbedingungen

- kiesgeprägter Strom
- Lage im Naturschutzgebiet „Kühkopf-Knoblochsau“
- Lage im VS- und FFH-Gebiet „Kühkopf-Knoblochsau“
- Teil des GEO-Naturparks „Bergstraße/Odenwald“



Zustand vor der Baumaßnahme 2016
(Quelle: WSA Oberrhein)

Bauweise und Materialeinsatz

- landseitige Entnahme der Ufer- und Sohlbefestigung inkl. Wasserbausteine sowie der Bruchsteine mit Hydraulikbagger mit Langarm und Sieblöffel bei niedrigen Wasserständen
- wasserseitige Entnahme der Ufersicherung (Wasserbausteine und Pflasterung) mit Seilbagger auf Kranschiff bei entsprechend hohen Wasserständen
- wasserseitiger Abtransport des entnommenen Materials mittels Ponton mit Schubboot und Schubleichter
- Sortieren der Wasserbausteine zur Wiederverwendung durch das WSA



Entnahme der Wasserbausteine mit Langarmbagger 2019 (Quelle: WSA Oberrhein)



Eingang einer Eisvogel-Nisthöhle im Uferbereich (Quelle: WSA Oberrhein)

Arbeitsschritte

- Prüfen auf Kampfmittelverdachtsfläche
- Versetzen des Betriebsweges ins Landesinnere
- Versatz/Rückbau der Hektometersteine und Sichtzeichen inkl. Fundament
- Fällen ufernaher überalterter Hybridpappeln
- Entnahme des Böschungsbewuchses
- Entnahme und Sortieren der Wasserbausteine zur Wiederverwendung
- Entnahme der stellenweise vorhandenen alten Pflasterung einschließlich der Bruchsteine
- wasserseitiger Abtransport des Materials – wasserstandabhängig!

Pflege und Unterhaltung

- geringer Pflege- und Unterhaltungsaufwand
- Kontrolle und gegebenenfalls Sicherung ufernaher Bäume nach lange anhaltendem Hochwasserereignis

Erfahrungen

- Gewünschte eigendynamische Entwicklung findet statt.
- Risikofaktoren Hoch- und Niedrigwasser sind bei der Bauausführung am frei fließendem Fluss zu beachten.
- Besonders bei Arbeiten am Gleithang (flache Ufer) sind längere Phasen mit höheren Wasserständen erforderlich, wenn nur ein wasserseitiger Materialtransport möglich ist.
- Weitere Verwendungsmöglichkeiten für nicht mehr in der WSV einsetzbarer Wasserbausteine wirken kostensenkend.
- kostengünstige Maßnahme zur Entwicklung auentypischer strukturreicher Uferlebensräume für Flora und Fauna, wenn auf Uferschutz verzichtet werden kann

Anlage C: Beispielhafte Bemessung einer direkten TBU

Anlage C Beispielhafte Bemessung einer direkten TBU

Die Bemessung und Auswahl einer direkten technisch-biologischen Ufersicherung (Kapitel 2.1, Abbildung 1) anhand des vorliegenden Merkblattes wird im Folgenden an einem konkreten Beispiel gezeigt. Grundlage ist das Ablaufdiagramm in Kapitel 7.1, Abbildung 7. Für die Bearbeitung des Beispiels wird die von der BAW zur Verfügung stehende Software GBBSoft+ verwendet, mit der neben technischen Schüttsteindeckwerken auch TBU dimensioniert werden können (Kapitel 2.4). Schwerpunkte des hier dargestellten Bemessungsbeispiels sind die benötigten Eingangsdaten für die Software GBBSoft+, die Wahl des Bemessungsstandards sowie die mit der Software erzielten Bemessungsergebnisse, deren Interpretation und die Auswahl der anwendbaren TBU. Für die konkrete Handhabung der Software wird die Teilnahme an den regelmäßig von der BAW angebotenen Schulungen empfohlen und auf das Softwarehandbuch verwiesen.

C1 Projektbeschreibung

Das Projektbeispiel basiert auf den Randbedingungen eines Elbe-Abschnittes etwa 30 km oberhalb Dresdens. Hier soll von Elbe-km 25,5 bis km 25,8 das linke Ufer, aktuell mit einer schadhaften losen Steinschüttung gesichert, instandgesetzt werden. Abbildung C1 zeigt ein Luftbild des Projektgebietes.

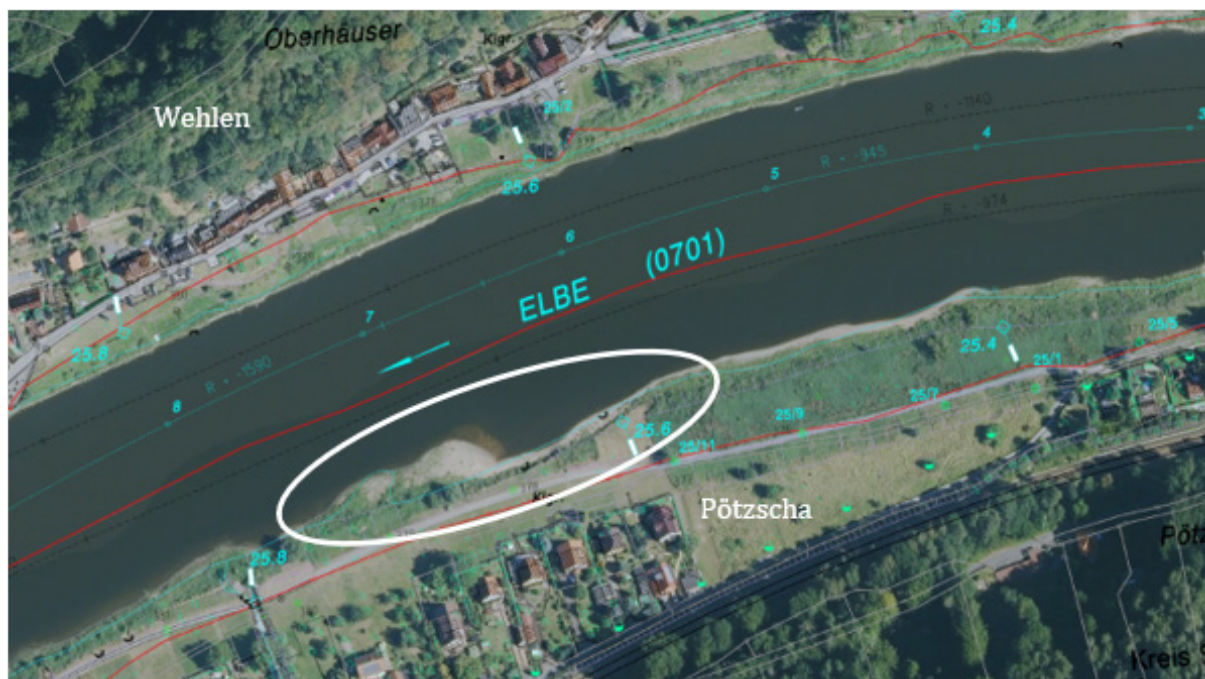


Abbildung C1: Projektgebiet Elbe-km 25,5–25,8 (Geobasisdaten: © GeoBasis-DE / BKG (2024); Nutzungsbedingungen: https://sg.geodatenzentrum.de/web_public/nutzungsbedingungen.pdf und Fachstelle für Geodäsie und Geoinformatik der WSV, zur Verfügung gestellt gemäß GeoNutzV, weiterverarbeitet durch die BAW)

Der Bereich liegt am Gleithang einer leichten Linkskurve. Für die neue Ufersicherung ist eine Böschungseigung von 1 : 3 vorgesehen. Unterhalb Mittelwasser (MW) soll eine neue lose Steinschüttung mit Fußvorlage, oberhalb MW eine TBU geplant werden. Beide Ufersicherungen sind getrennt zu bemessen. Das Projektbeispiel beinhaltet nur die Bemessung der direkten TBU, vorgelagerte indirekte Ufersicherungsmaßnahmen zur Reduzierung der Uferbelastungen (Kapitel 7.3.2) sind nicht vorgesehen.

C2 Standortspezifische Randbedingungen (Kapitel 7.2)

Wasserstraßentyp (Kapitel 7.2.1)

- freifließender Fluss
- leichte Linkskurve (Krümmungsradius etwa 1000 m)
- Gleithangufer

Geometrie/Böschungsneigung (Kapitel 7.2.2)

- da kurzer Bereich von 300 m – Auswahl eines repräsentativen Querprofils ausreichend: Elbe-km 25,525 (Abbildung C2)
- geplante Böschungsneigung: 1 : 3

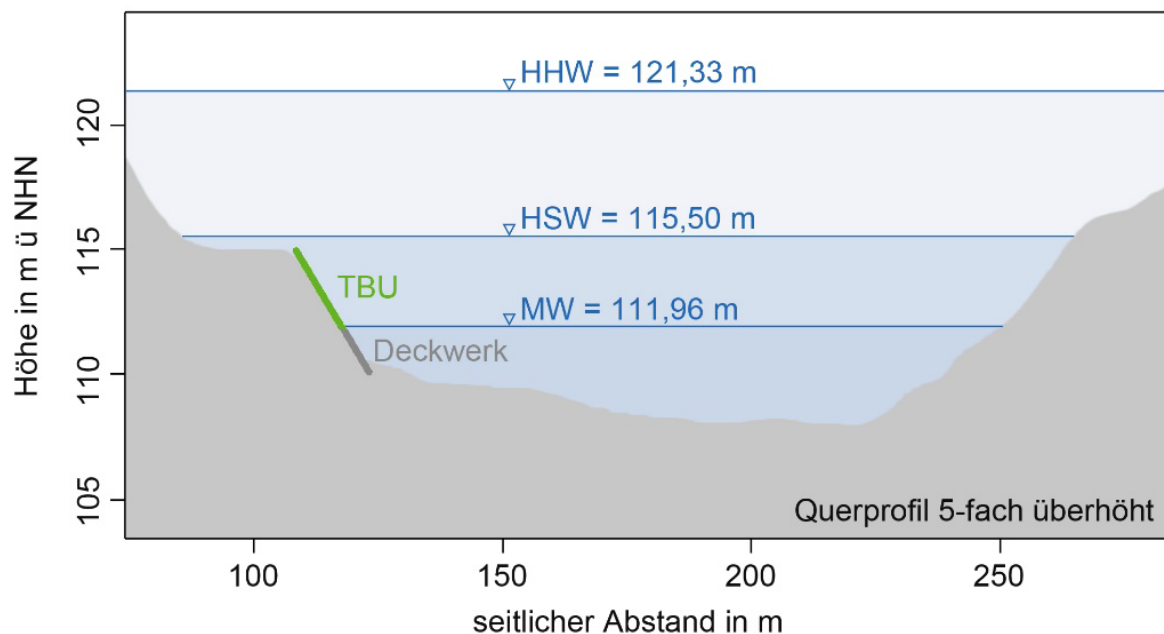


Abbildung C2: Querprofil Elbe-km 25,525 mit Anwendungsbereich der geplanten Ufersicherung

Baugrund (Kapitel 7.2.3)

- sandig-kiesiger Boden im Bereich der TBU ($d_{50} \approx 1 \text{ mm}$)
- Boden entspricht Boden B1 (MAR 2008) mit folgenden Kennwerten:
 $\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$, $\gamma' = 11 \text{ kN/m}^3$, $\Phi' = 35^\circ$, $c' = 0 \text{ kN/m}^2$, $k_f = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m/s}$ (Kennwerte sind in GBBSOft+ hinterlegt)

Schifffahrt (Kapitel 7.2.4)

- Verkehr von Güterschiffen, Fahrgastschiffen und Sportbooten
- Schiffsflotte ausgewählt entsprechend der BinSchStrO und ergänzt mit typischerweise verkehrenden Fahrzeugen (siehe inkl. Schiffsabmessungen und Antriebe in Tabelle C1)
- keine maximal zulässige Schiffsgeschwindigkeit vorgegeben
- Fahrrinne (lt. Plan des WSA Elbe):
Abstand zur linken Solluferlinie (GIW2010): ca. 43 m
Fahrrinnenbreite: ca. 47 m

Tabelle C1: Für Berechnungen relevante Schiffsflotte

Typ	Länge	Breite	Nennleistung Hauptantrieb	Propellerdurchmesser
Einzelfahrer ($\triangleq$ GMS)	110,00 m	11,45 m	1200 kW	1,60 m
Schubverband	137,00 m	11,45 m	2 x 500 kW	0,85 m
Einzelfahrer klein ($\triangleq$ ES)	85,00 m	9,50 m	550 kW	1,60 m
Fahrgastschiff	33,90 m	6,58 m	2 x 178 kW	0,80 m
Sportboot Typ 4	5,35 m	2,24 m	99,3 kW	0,39 m

Wasserstände und Abflüsse (Kapitel 7.2.5)

- relevante Wasserstände im unteren und oberen Bereich der TBU mit Belastungen aus Schifffahrt (Abbildung C2): MW (111,96 mNHN) und HSW (115,50 mNHN)
- natürliche Strömungsbelastung bei höheren Wasserständen als HSW (ggf. Bemessungshochwasser (BHW)): im Beispiel höchste Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich der TBU bei bordvollem Abfluss (entspricht etwa HSW (115,50 mNHN))
- mittlere Strömungsgeschwindigkeiten im Flussschlauch:
MW: 0,88 m/s, HSW: 1,57 m/s
- ufernahe Strömungsgeschwindigkeiten: automatische Berechnung in GBBSOFT+

Geländeverfügbarkeit/Gefährdungspotenzial (Kapitel 7.2.6)

- angrenzende zu schützende Infrastruktur vorhanden (Radweg und Bebauung)
- landseitig kein Gelände verfügbar: keine Böschungsabflachung möglich
- Festlegung: keine bzw. bei vorhandenen Unterhaltungskapazitäten begrenzte Ufererosion zulässig

Umweltbelange (Kapitel 7.2.7)

Diese Aspekte sind für die technische Bemessung nicht relevant und werden deshalb hier im Beispiel nicht näher erläutert. Sie sind für die Planung der Bauausführung und Bauüberwachung jedoch zu berücksichtigen.

Bewuchs als Randbedingung (Kapitel 7.2.8)

Vor der Uferumgestaltung ist die Vegetation zu begutachten. Der ggf. vorhandene Bewuchs, aber auch Bewuchsdefizite können Hinweise zur Standortqualität und zum Besiedlungspotenzial des Uferabschnittes geben. Außerdem ist zu prüfen, ob vorhandener wertvoller Bewuchs erhalten und in die neue TBU-Maßnahme integriert werden kann. Dies wird im Beispiel hier nicht behandelt.

Unterhaltung als Randbedingung (Kapitel 7.2.9)

- gute Zugänglichkeit des Bereiches für Unterhaltungsarbeiten gegeben
- regelmäßige Unterhaltung grundsätzlich möglich, auch eine vermehrte Unterhaltung im kritischen Anfangszustand (Rücksprache mit ABZ ist erfolgt)
- durch Unterhaltung Verhinderung einer unzulässigen Beeinträchtigung des Hochwasserabflusses durch Bewuchs der TBU möglich

C3 Festlegung der Kennwerte für das fiktive Schüttsteindeckwerk

Für die nach Kapitel 7.6, Abbildung 9 notwendige Prüfung, ob eine TBU mit Flächengewicht erforderlich ist, muss zunächst ein fiktives loses Schüttsteindeckwerk auf der Grundlage der ermittelten hydraulischen Belastungen bemessen werden. Dazu ist wegen der iterativen Vorgehensweise im Programm GBBSoft+ vorab ein Schüttsteindeckwerk zu wählen.

Für das Beispiel werden folgende Parameter für das Schüttsteindeckwerk festgelegt:

- Steinklasse: LMB_{5/40} (mittlere Einzelsteingröße $D_{50} = 0,20 \text{ m}$)
- Rohdichte der Wasserbausteine: $2,65 \text{ t/m}^3$
- Filter: Geotextil

Es wird immer zunächst ein Geotextil gewählt, das quasi gewichtslos ist, sodass sich das erforderliche Flächengewicht nur aus der ermittelten geotechnisch erforderlichen Deckschichtdicke ergibt.

- Fußstützung: Fußvorlage nach MAR (2008) mit einer Länge von 2,40 m (Das entspricht der Fußvorlage, die für das neue Schüttsteindeckwerk unterhalb MW ermittelt wurde.)

Bei gleichzeitigem Neubau des Schüttsteindeckwerkes unterhalb MW können – so wie hier im Beispiel – die sich aus der Bemessung ergebenden Abmessungen der Fußstützung auch für die Berechnung der TBU übernommen werden. Bei verbleibenden alten standsicheren Schüttsteindeckwerken kann, wenn die Fußstützung nicht bekannt ist, eine Fußeinbindung mit einer Einbindetiefe von 1,50 m (nach MAR (2008)) gewählt werden.

Für die TBU-Bemessung sind folgende Erkenntnisse aus der Bemessung des fiktiven Schüttsteindeckwerks relevant (siehe Kapitel C5.2):

- Die für das fiktive Schüttsteindeckwerk ermittelte Deckschichtdicke zeigt, ob und wieviel Flächengewicht in der zu planenden TBU erforderlich ist. Je nach Ergebnis ist entweder eine rein pflanzliche TBU oder eine TBU aus Pflanzen und technischen Bestandteilen zur Gewährleistung des erforderlichen Flächengewichtes notwendig.
- Die für das fiktive Schüttsteindeckwerk ermittelte Einzelsteingröße D_{50} kann zur Abschätzung der Erosionsstabilität des anstehenden Bodens herangezogen werden. Wenn am Schluss der Bemessung als TBU eine begrünte lose Steinschüttung angewendet werden sollte, ist die berechnete Einzelsteingröße auch für deren Dimensionierung relevant.

Kommt bei einer TBU mit Flächengewicht statt des angenommenen Geotextils ein Kornfilter zur Anwendung, müssen die Eingaben angepasst und erneut gerechnet werden. Das Gewicht eines nach MAK (2013) dimensionierten Kornfilters trägt nach GBB (2011) auch zum erforderlichen Flächengewicht bei. Das bedeutet, dass eine geringere Deckschichtdicke, als mit Geotextil ermittelt, erforderlich ist.

C4 Festlegung eines Bemessungsstandards (Kapitel 7.5)

Aufgrund der angrenzenden Infrastruktur (Radweg und Bebauung) ist ein stabiles Ufer erforderlich. Deshalb wird nach Kapitel 7.5, Tabelle 8 Bemessungsstandard III gewählt, der zu einer TBU-Bemessung nach GBB (2011) ohne Abstriche an die Uferstandsicherheit führt. Nach Kapitel 7.5, Tabelle 10 wird dabei für die Güter- und Fahrgastschiffahrt eine maximale Geschwindigkeit von $97 \% v_{\text{krit}}$ bzw. eine Fahrt mit 100% der Nennleistung zugrunde gelegt. Da die Fahrzeuge die gesamte Fahrrinne nutzen können, wird als ungünstigste Schiffsposition die ufernahe Fahrt am linken Fahrrinnenrand angenommen. Es werden alle nach BinSchStrO zugelassenen Fahrzeuge in der Berechnung berücksichtigt (Schiffe nach Tabelle C1).

Da vom ABz regelmäßige Unterhaltung und auch eine vermehrte Unterhaltung im kritischen Anfangszustand durchgeführt werden können, wird die Berechnung zum Vergleich entsprechend Kapitel 7.5 zusätzlich für den Bemessungsstandard II durchgeführt. D. h. für das Beispiel, dass nach Tabelle 10 für Güterschiffe

eine maximale Schiffsgeschwindigkeit von 90 % v_{krit} oder 50 % Leistungseinsatz in der Talfahrt bzw. 90 % Leistungseinsatz in der Bergfahrt und eine Fahrt in Fahrrinnenmitte angesetzt werden. Es werden auch hier alle nach BinSchStrO zugelassenen Fahrzeuge in der Berechnung berücksichtigt (Schiffe nach Tabelle C1). Auch ist es möglich, die Grenzwerte für Oberflächenerosion (Kapitel 7.6, Tabelle 11) in der kritischen Anfangsphase in begrenztem Maße zu überschreiten. Damit werden Abstriche an die Uferstabilität zugelassen. Einzelne schneller fahrende Schiffe können u. U. zu Schäden am Ufer führen, die durch Unterhaltung jedoch wieder beseitigt werden können, sodass keine unzulässigen Beeinträchtigungen der angrenzenden Infrastruktur zu erwarten sind.

Auf der Grundlage der vergleichenden Bewertung der Ergebnisse für beide Bemessungsstandards kann am Schluss entschieden werden, welcher der beiden zu Grunde gelegt wird.

C5 Technische Bemessung mit GBBSoft+ (Kapitel 7.6)

C5.1 Vorgehensweise

Bevor die Bemessung beginnt, werden die Möglichkeiten einer Böschungsabflachung und von Maßnahmen zur Reduzierung der Uferbelastungen (Kapitel 7.3) geprüft. Unter den gegebenen Randbedingungen ist eine Böschungsabflachung nicht realisierbar. Vorgelagerte indirekte Uferschutzmaßnahmen sind im Projektbeispiel nicht vorgesehen (siehe Kapitel C1). Außerdem sind mögliche Synergien (Kapitel 7.4) zu bedenken, auf die hier nicht näher eingegangen wird.

Die Bemessung wird entsprechend Kapitel 7.6, Abbildung 9 für den als repräsentativ ausgewählten Wasserstraßenquerschnitt bei Elbe-km 25,525 (Abbildung C2) durchgeführt. In anderen Fällen, z. B. bei längeren Wasserstraßenabschnitten, kann die Berechnung auch für mehrere Querschnitte erforderlich werden.

Für die technische Bemessung der TBU nach GBB (2011) und DWA-M 519 (2016) steht die Software GBBSoft+ zur Verfügung. Die Software bietet u. a. folgende für die Nutzung vorteilhafte Funktionen:

- Bearbeitung mehrerer Bemessungsfälle (d. h. mehrerer Wasserstände in einem Querprofil) in einer Datei
- standardisierte System-Stammdaten für z. B. verschiedene Schiffstypen, Böden, Steinklassen und Fußstützungen zur Verwendung und ggf. projektbezogenen Anpassung
- Import aktueller Querprofile als ASCII-Datei im XYZ-Format direkt ins Programm möglich
- Ausgabe der Ergebnisse für zehn im Programm hinterlegte TBU-Bauweisen aus dem Merkblatt DWA-M 519 (2016) – Tabelle C2
- Weiterverarbeitung und Darstellung der Ergebnisse durch Export im CSV-Format
- einfache Handhabung und kurze Rechenzeiten – Möglichkeit, in kurzer Zeit verschiedene Varianten zu rechnen, z. B. mit unterschiedlichen Bemessungsstandards oder mit variierten Parametern, um deren Einfluss auf die anwendbaren TBU zu ermitteln

Die Anlage des Projektes, die Dateneingabe, die Erstellung und die Berechnung der Bemessungsfälle im Programm GBBSoft+ werden hier nicht erläutert. Im Folgenden werden nur die Ergebnisse vorgestellt und analysiert.

C5.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse werden innerhalb der Software aufbereitet und dargestellt. Die Ausgabe gliedert sich in fünf Teile:

- Darstellung der berechneten Querprofile (Reiter „Übersicht“)
- Übersicht über die Eingangsgrößen (Reiter „Eingangsdaten“)
- berechnete hydraulische Belastungen und daraus resultierende Ergebnisse für das fiktive Schüttsteindeckwerk (Reiter „Kompakt“)
- Eignung der TBU-Bauweisen (Reiter „TBU“)
- Protokoll der Berechnungen, Detailgrad vorab wählbar (Reiter „Protokoll“)
- übergeordnete Projektinformationen (Reiter „Beschreibung“)

Das Programmfenster von GBBSoft+ mit den verschiedenen Ergebnisreitern ist in Abbildung C3 dargestellt.

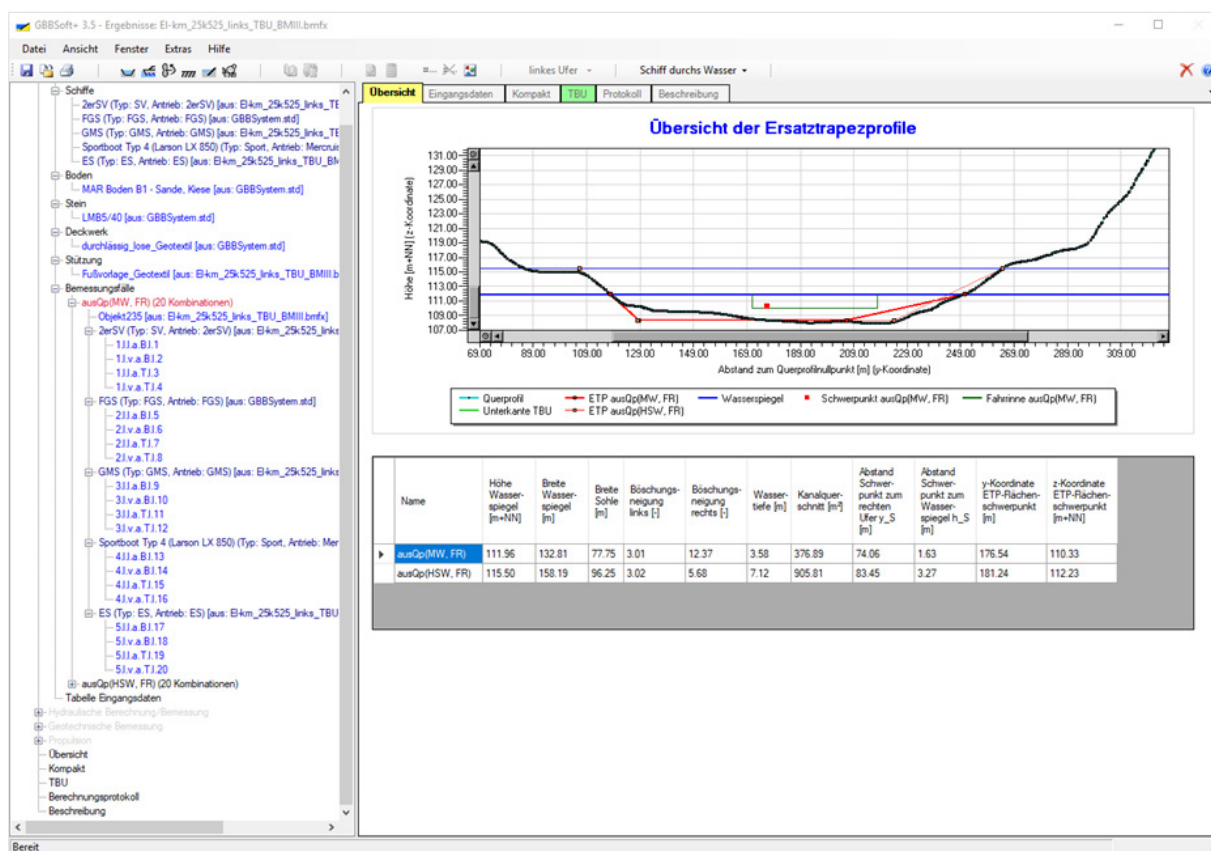


Abbildung C3: Programmfenster von GBBSoft+ für die Ergebnisreiter, dargestellt ist der Inhalt des Reiters „Übersicht“

Die Ergebnisse und deren Auswertung werden im Folgenden für das Beispiel sowohl für Bemessungsstandard III als auch für Bemessungsstandard II (vgl. Kapitel C4) ausführlicher dargestellt und diskutiert. Abbildung C4 zeigt den Reiter „Kompakt“ mit den maßgebenden Ergebnissen aus allen Bemessungsfällen (MW und HSW) für beide Bemessungsstandards.

Bemessungsstandard III

Nr	Parameter	Info	Relevante Bemessungswerte
1	Erforderliche Deckschichtdicke gegen Abgleiten ohne Fußstützkraft erf d_D abgleiten [m]	①	Nachweis nicht maßgebend
2	Erforderliche Deckschichtdicke gegen Abgleiten mit Fußstützkraft für Bruchmechanismus 1 erf d_D.BM1 [m]	①	0,00
3	Erforderliche Deckschichtdicke gegen Abgleiten mit Fußstützkraft für Bruchmechanismus 2 erf d_D.BM2 [m]	①	0,00
4	Erforderliche Deckschichtdicke gegen hydrodynamische Bodenverlagerung erf d_D.hB [m]	①	0,00
5	Mindestdicke min d_D [m]	①	0,60
6	Maßgebende Deckschichtdicke ohne Berücksichtigung der Mindestdicke (Bauweise 7) [m]	①	0,00
7	Maßgebende Deckschichtdicke unter Berücksichtigung der Mindestdicke (Bauweisen 9 und 10) [m]	①	0,60
8	Die Berechnungen wurden mit folgendem Filter durchgeführt:	①	Geotextil
9	Schubspannung im Uferbereich beim Bemessungshochwasser tau_BHW [N/m²]	①	n. def.
10	Erforderliche Steingröße (max aus D_50,bem und D_50,BHW) [m]	①	0,15
11	Heckwellenhöhe H_u,Heck,StBem [m]	①	0,53
12	Sekundärwellenhöhe (max aus H_Sek, H_Sek,q) [m]	①	0,60
13	Strömungsgeschwindigkeit (max aus v_dach_rück,u,StBem, u_max,StBem, v_BHW) [m/s]	①	1,34
14	Absunk (max aus z_a,Bug, z_a,Heck) [m]	①	0,33

Bemessungsstandard II

Nr	Parameter	Info	Relevante Bemessungswerte
1	Erforderliche Deckschichtdicke gegen Abgleiten ohne Fußstützkraft erf d_D abgleiten [m]	①	Nachweis nicht maßgebend
2	Erforderliche Deckschichtdicke gegen Abgleiten mit Fußstützkraft für Bruchmechanismus 1 erf d_D.BM1 [m]	①	0,00
3	Erforderliche Deckschichtdicke gegen Abgleiten mit Fußstützkraft für Bruchmechanismus 2 erf d_D.BM2 [m]	①	0,00
4	Erforderliche Deckschichtdicke gegen hydrodynamische Bodenverlagerung erf d_D.hB [m]	①	0,00
5	Mindestdicke min d_D [m]	①	0,60
6	Maßgebende Deckschichtdicke ohne Berücksichtigung der Mindestdicke (Bauweise 7) [m]	①	0,00
7	Maßgebende Deckschichtdicke unter Berücksichtigung der Mindestdicke (Bauweisen 9 und 10) [m]	①	0,60
8	Die Berechnungen wurden mit folgendem Filter durchgeführt:	①	Geotextil
9	Schubspannung im Uferbereich beim Bemessungshochwasser tau_BHW [N/m²]	①	n. def.
10	Erforderliche Steingröße (max aus D_50,bem und D_50,BHW) [m]	①	0,11
11	Heckwellenhöhe H_u,Heck,StBem [m]	①	0,26
12	Sekundärwellenhöhe (max aus H_Sek, H_Sek,q) [m]	①	0,42
13	Strömungsgeschwindigkeit (max aus v_dach_rück,u,StBem, u_max,StBem, v_BHW) [m/s]	①	1,10
14	Absunk (max aus z_a,Bug, z_a,Heck) [m]	①	0,15

Abbildung C4: Reiter „Kompakt“ – Maßgebende Gesamtergebnisse aus allen Bemessungsfällen (MW und HSW) für Bemessungsstandard III (links) und Bemessungsstandard II (rechts)

Berechnete Kennwerte des fiktiven Schüttsteindeckwerkes

Die oberen sieben Zeilen in Abbildung C4 enthalten jeweils die Angaben zu den für verschiedene Versagensmechanismen ermittelten Deckschichtdicken des fiktiven Schüttsteindeckwerkes. Die sich daraus ergebende geotechnisch erforderliche und damit für das Flächengewicht maßgebende Deckschichtdicke (Zeile 6) ohne Berücksichtigung der Mindestdicke ist für das Projektbeispiel sowohl für Bemessungsstandard II als auch III gleich Null. Somit ist in beiden Fällen eine TBU ohne signifikantes Flächengewicht anwendbar. Die Mindestdicke (Zeile 5) nach GBB (2011), Kapitel 6.9 ist nur relevant, wenn die erforderliche Deckschichtdicke größer Null ist und als TBU-Maßnahme eine begrünte lose Steinschüttung gewählt wird.

Zeile 10 zeigt die erforderliche mittlere Einzelsteingröße D_{50} des fiktiven losen Schüttsteindeckwerkes. Sie beträgt im BS III 0,15 m und im BS II 0,11 m. Diese Werte sind relevant für den Nachweis der Erosionsstabilität des anstehenden Bodens und wenn im Ergebnis der Bemessung als TBU eine begrünte lose Steinschüttung zur Anwendung kommen soll. Im Beispiel könnte die gewählte Steinklasse ($LMB_{5/40}$) optimiert werden, da deren mittlere Einzelsteingröße mit $D_{50} = 0,20$ m größer ist als die rechnerisch erforderliche. Hierfür ist die Berechnung mit einer kleineren Steinklasse erneut durchzuführen.

Hydraulische Uferbelastungen

Die Zeilen 11 bis 14 in Abbildung C4 enthalten die berechneten hydraulischen Uferbelastungen. Die Wellenhöhen, Strömungsgeschwindigkeiten und ggf. Schubspannungen sind Ausgangsgrößen zur Beurteilung der von der TBU aufnehmbaren Belastungen. Schubspannungen (Zeile 9) werden nicht in GBBSoft+ berechnet, können aber für die weitere Bemessung händisch eingegeben werden, wenn sie bekannt sind. Der ermittelte Absunk (Zeile 14) geht in die Berechnung der geotechnisch erforderlichen Deckschichtdicke (Zeile 6) ein. Zudem ist er eine wichtige Kenngröße für den erforderlichen Nachweis der Gesamtstandsicherheit der Uferböschung, der außerhalb von GBBSoft+ zu führen ist (Kapitel 2.3 und Kapitel 7.1, Abbildung 7) und hier im Beispiel nicht behandelt wird. Für das Beispiel sind die berechneten hydraulischen Uferbelastungen im Bemessungsstandard II deutlich geringer als im BS III. Die ermittelte Heckwellenhöhe und auch der Absunk sind im BS II nur etwa halb so groß wie im BS III.

Sicherheit des anstehenden Bodens gegenüber Oberflächenerosion

Eine Abschätzung der Erosionsstabilität des anstehenden Bodens erfolgt entsprechend Kapitel 7.6 anhand der für das fiktive Schüttsteindeckwerk berechneten erforderlichen mittleren Einzelsteingröße D_{50} . Diese beträgt 0,15 m (BS III) bzw. 0,11 m (BS II) (Zeilen 10 in Abbildung C4). Da diese sehr viel größer sind als der

mittlere Korndurchmesser des anstehenden Bodens (hier $d_{50} \approx 1 \text{ mm}$), ist davon auszugehen, dass der anstehende Boden nicht erosionsstabil ist. Daher ist eine Ufersicherung als Schutz vor Oberflächenerosion erforderlich.

Sicherheit der TBU gegenüber Oberflächenerosion

Im Programm GBBSOft+ sind aktuell die zehn TBU-Bauweisen, die im Anhang des Merkblattes DWA-M 519 (2016) beschrieben sind, hinterlegt. Für diese Bauweisen wird die Eignung zur Anwendung unter den gegebenen Randbedingungen ermittelt. Eine Auflistung der Bauweisen mit ergänzenden Hinweisen zur Anwendung an Wasserstraßen gibt die Tabelle C2.

Tabelle C2: In GBBSOft+ hinterlegte TBU-Bauweisen 1 bis 10 aus DWA-M 519 (2016)

Nr.	TBU-Bauweise nach Anhang A.2 DWA-M519 (2016)	Kurze Erläuterung	Flächengewicht	Erfahrungen an Binnenwasserstraßen	Hinweise zur Anwendung Verweis auf Anlagen A und B
1	Vegetationswalze mit anschließender Röhrichmatte	Pflanzmatten, vorkulti- viert mit verschiedenen Pflanzenarten, mit Ve- getationswalze als Fuß- sicherung	nein	ja	für gehölzfreie Zone, Kurzbeschreibung in An- lage A2 und Steckbrief in Anlage B1.4
2	Begrünte Böschungsschutz- matte mit Rasen	Böschungsschutzmat- ten, mit verschiedenen Pflanzenarten begrünt,	nein	nein	für gehölzfreie Zone
3	Begrünte Böschungsschutz- matte mit Stechköl- zern	mit Wasserbausteinen als Fußsicherung	nein	nein	Anwendung mit Gehölzen
4	Flechtzaun	um Befestigungspfähle zaunartig, geflochtene Weidenruten	nein	nein	eher lineare Bauweise für geringe Böschungshöhen und steile Böschungen
5	Faschine auf Lagenbauten (Weidenwippe)	abwechselnder Einbau von Lebend-, Totfaschi- nen, Heckenlagen	nein	nein	für begrenzte Platzverhält- nisse und steile Böschun- gen
6	Begrünter Geotextilkörper mit Buschlagen	mit Kunststoffgeotextil bewehrte Böschung mit eingelegten Buschlagen	nicht relevant*	nein	für steile Böschungen, zusätzliche Nachweise er- forderlich (keine Bemes- sung nur mit GBBSOft+)
7	Begrüntes Kammerdeckwerk	Kammern aus Draht- oder Kunststoffgeflecht, die Wasserbausteine, Boden und vorkulti- vierte Pflanzen enthalten	ja	ja	Kurzbeschreibung in An- lage A3 und Steckbrief in Anlage B1.5
8	Spreitlage mit Steinschüttung als Fußsicherung	bodendeckende Lage aus austriebsfähigen elastischen Weiden- ästen	ja	ja	Kurzbeschreibung in An- lage A1 und Steckbriefe in Anlagen B1.1, B1.2 und B1.3
9	Begrünte Steinschüttung	nachträglich oder be- reits beim Bau be- pflanztes Schüttstein- deckwerk aus losen Wasserbausteinen	ja	ja	Kurzbeschreibung in An- lage A4 und Steckbrief in Anlage B1.6
10	Nachträglich begrünte Steinschüttung		ja	ja	

* Sonderform, durch andere Wirkungsweise auch bei erforderlichlichem Flächengewicht anwendbar

In den Abbildung C5 und C6 sind die Ergebnisse auf dem „TBU“-Reiter für den BS III bzw. BS II zusammengestellt. Die einzelnen Spalten zeigen für die zehn TBU-Bauweisen, inwieweit diese

- die Sicherheit gegen Oberflächenerosion gewährleisten können (technisches Kriterium) – Spalte 2 bis 10,
- die Anforderung an ein Flächengewicht erfüllen (technisches Kriterium) – Spalte 12,
- nach qualitativen ingenieurb biologischen Kriterien zu empfehlen sind – Spalte 14.

Bauweise nach Steckbriefen	Erfüllungsgrad [%] Eignung der Bauweise hinsichtlich											erf d_D	Hinweise	ingenieurbiologische Kriterien
	Oberflächenerosion (technisch)									erf D_50 (GBBSof) [%]				
	(v_Str.zul / v_Str.vorh) · 100%			(τ_zul / τ_vorh) · 100%			(H_zul / H_vorh) · 100%							
	Kritischer Anfangszustand	Eingewachsener Zustand (1 Jahr)	Bester Zustand	Kritischer Anfangszustand	Eingewachsener Zustand (1 Jahr)	Bester Zustand	Kritischer Anfangszustand	Eingewachsener Zustand (1 Jahr)	Bester Zustand					
gewählte Bauweise:														
8	149	171	186	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	67	92	134	n.r.	+			o
äquivalente Bauweisen (selbe Rauheit (1 Jahr)) [für die Wahl dieser Bauweisen ist ggf. eine Neuberechnung erforderlich]:														
4	119	141	141	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	17	25	42	n.r.	+			o
5	97	156	186	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	25	75	101	n.r.	+			o
6*	141	156	171	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	67	84	101	n.r.	+		[1]	o
andere Bauweisen (abweichende Rauheit (1 Jahr)) [für die Wahl dieser Bauweisen ist eine Neuberechnung erforderlich]:														
1	97	141	171	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	25	50	92	n.r.	+			-
2	82	97	104	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	17	34	34	n.r.	+			o
3	112	119	141	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	34	42	59	n.r.	+			o
7	194	216	238	n.r.	n.r.	n.r.	168	168	168	n.r.	+		[2]	+
9	156	179	194	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	151	168	168	137	+		[3], [4]	+
10	156	179	194	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	151	168	168	137	+		[3], [4]	+
ohne Ufersicherung (ungeschützte Böschung):														
	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	14	n.r.			n.r.

Abbildung C5: Reiter „TBU“ (Ausschnitt) – Ergebnisse zur Eignung der TBU-Bauweisen unter den gegebenen Randbedingungen für BS III (Bauweisen 1 – 10 siehe Tabelle C2)

Bauweise nach Steckbriefen	Erfüllungsgrad [%] Eignung der Bauweise hinsichtlich											erf d_D	Hinweise	ingenieurbiologischer Kriterien
	Oberflächenerosion (technisch)									erf D_50 (GBBSof) [%]				
	(v_Str.zul / v_Str.vorh) · 100%			(τ_zul / τ_vorh) · 100%			(H_zul / H_vorh) · 100%							
	Kritischer Anfangszustand	Eingewachsener Zustand (1 Jahr)	Bester Zustand	Kritischer Anfangszustand	Eingewachsener Zustand (1 Jahr)	Bester Zustand	Kritischer Anfangszustand	Eingewachsener Zustand (1 Jahr)	Bester Zustand					
gewählte Bauweise:														
8	182	210	228	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	96	132	192	n.r.	+		o	
äquivalente Bauweisen (selbe Rauheit (1 Jahr)) [für die Wahl dieser Bauweisen ist ggf. eine Neuberechnung erforderlich]:														
4	146	173	173	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	24	36	60	n.r.	+		o	
5	119	191	228	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	36	108	144	n.r.	+		o	
6*	173	191	210	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	96	120	144	n.r.	+	[1]	o	
andere Bauweisen (abweichende Rauheit (1 Jahr)) [für die Wahl dieser Bauweisen ist eine Neuberechnung erforderlich]:														
1	119	173	210	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	36	72	132	n.r.	+		-	
2	100	119	128	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	24	48	48	n.r.	+		o	
3	137	146	173	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	48	60	84	n.r.	+		o	
7	237	264	292	n.r.	n.r.	n.r.	240	240	240	n.r.	+	[2]	+	
9	191	219	237	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	216	240	240	183	+	[3], [4]	+	
10	191	219	237	n. vorh.	n. vorh.	n. vorh.	216	240	240	183	+	[3], [4]	+	
ohne Ufersicherung (ungeschützte Böschung):														
	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	n.r.	19	n.r.		n.r.	

Abbildung C6: Reiter „TBU“ (Ausschnitt) – Ergebnisse zur Eignung der TBU-Bauweisen unter den gegebenen Randbedingungen für BS II (Bauweisen 1 – 10 siehe Tabelle C2)

In der obersten Zeile sind die Ergebnisse für eine im Programm gewählte TBU ausgewiesen. Da die 10 TBU-Bauweisen unterschiedliche Rauheiten aufweisen, muss vorab eine TBU ausgewählt werden, mit deren Rauheit die Berechnungen begonnen werden. In den darunter liegenden drei Zeilen finden sich die Bauweisen mit einer äquivalenten Rauheit und in den weiteren Zeilen sechs Bauweisen mit von der gewählten Bauweise abweichenden Rauheiten. Für die zuletzt Genannten sind erneute Berechnungen mit angepasster Rauheit durchzuführen, wenn diese zur Anwendung kommen sollen (iterative Vorgehensweise). Für beide Bemessungsstandards wurde zur besseren Vergleichbarkeit eine Weidenspreitlage (Bauweise Nr. 8 nach Tabelle C2) gewählt.

Die Eignung der TBU-Bauweisen hinsichtlich Oberflächenerosion nach DWA-M 519 (2016) wird anhand des prozentualen Erfüllungsgrads bewertet (Spalten 2 bis 10 in Abbildung C5 und C6). Dieser errechnet sich aus dem Verhältnis von zulässigem Belastungsgrenzwert zum vorhandenen Belastungswert (Reiter „Kompakt“, Abbildung C4). Dabei werden für die TBU entsprechend dem Entwicklungsstand unterschiedliche Grenzwerte für den kritischen Anfangszustand, den Zustand etwa nach einem Jahr und den langfristig besten Zustand angesetzt (Kapitel 7.6, Tabelle 11 und DWA-M 519 (2016)). Erfüllungsgrade kleiner als 100 % werden im Programm als „nicht erfüllt“ rot markiert.

Für den BS III und den BSII ergeben sich nur für die Bauweisen begrüntes Kammerdeckwerk (Bauweise 7) und begrünte Steinschüttungen (Bauweise 9 und 10) in allen Kategorien Erfüllungsgrade größer/gleich 100 % (Abbildung C5 und C6). Das Ergebnis wird auch bei der erforderlichen Neuberechnung mit den für diese Bauweisen zutreffenden und von der Weidenspreitlage abweichenden Rauheiten bestätigt. Für die untersuchte Weidenspreitlage (Bauweise 8) zeigen sich Unterschiede hinsichtlich der Einwirkungen durch Wellen. Für den langfristig besten Zustand werden die Anforderungen zwar in beiden Fällen erfüllt, aber im BS III wird der erforderliche Erfüllungsgrad im kritischen Anfangszustand mit 67 % und nach dem ersten Jahr mit 92 % zum Teil deutlich unterschritten. Im BS II ist dagegen nur der kritische Anfangszustand mit 96 % nicht erfüllt. Die Abweichung ist jedoch gering und kann, insbesondere da hier der BS II betrachtet wird, zugelassen werden. Ein ähnliches Ergebnis ergibt sich noch für den begrünten Geotextilkörper (Bauweise 6). D. h. im BS II können die Anforderungen hinsichtlich Oberflächenerosion auch bei der Weidenspreitlage und dem begrünten Geotextilkörper als erfüllt angesehen werden.

Die Ergebnisse in Spalte 11 sind zusätzlich für die Erosionsstabilität der begrünten losen Steinschüttungen relevant. Hier wird als prozentualer Erfüllungsgrad das Verhältnis von der vorab gewählten Steingröße der fiktiven Steinschüttung ($D_{50} = 0,20$ m, Kapitel C3) zu der berechneten erforderlichen Einzelsteingröße ($D_{50} = 0,15$ m (BS III) bzw. $0,11$ m (BS II)), jeweils Zeile 10 in Abbildung C4) angegeben. An diesem Wert ist erkennbar, ob die gewählte Steinklasse ausreichend oder ggf. über- oder unterdimensioniert ist. Im vorliegenden Beispiel sind die Erfüllungsgrade deutlich größer als 100 % (137 % im BS III und 183 % im BS II), sodass die Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion auch mit kleineren Steinen gewährleistet werden könnte.

Erfüllung der Anforderung Flächengewicht durch TBU

Die Spalte 12 in den Abbildung C5 und C6 zeigt auf Grundlage der Ergebnisse in der Tabelle Abbildung C4, ob die Bauweisen das Kriterium Flächengewicht erfüllen („+“: erfüllt, „-“: nicht erfüllt). Da kein Flächengewicht erforderlich ist, erfüllen alle Bauweisen das Kriterium in beiden Bemessungsstandards.

TBU-Empfehlung nach ingenieurb biologischen Kriterien

Die Bewertung nach ingenieurb biologischen Kriterien erfolgt nach Merkblatt DWA-M 519 (2016), für Bauweisen mit Erfahrungen an Binnenwasserstraßen entsprechend Tabelle C2, Spalte 5 siehe auch Kapitel 7.6, Tabelle 12. Die Kriterien beruhen auf Erfahrungen an kleineren Gewässern ohne Schifffahrt und haben nur empfehlenden Charakter. Maßgebend sind hier im Beispiel die Kriterien für einen freifließenden Fluss (Elbe: kiesig-sandiges Bodensubstrat, flache Böschungsneigung (1 : 3), mittlere Belastungsklasse in BS II und III). Die Spalte 14 der Abbildung C5 und C6 gibt Auskunft, inwieweit die Bauweisen nach ingenieurb biologischen

Kriterien zu empfehlen („+“) oder bedingt („o“) oder nicht („-“) zu empfehlen sind. Hier ist das Ergebnis für beide Bemessungsstandards gleich. Zu empfehlen sind begrünte Kammerdeckwerke und begrünte Steinschüttungen. Nicht zu empfehlen ist die Bauweise 1 (Vegetationswalze mit anschließender Röhrichmatte). Die übrigen Bauweisen sind bedingt zu empfehlen.

Am Schluss müssen alle Ergebnisse zusammen bewertet und auf dieser Grundlage entschieden werden, welche TBU-Bauweisen unter den gegebenen Randbedingungen aus technischer Sicht nach GBB (2011) und aus ingenieurbilogischer Sicht auf Basis von qualitativen Kriterien nach DWA-M 519 (2016) anwendbar sind.

C6 Ermittlung der technisch anwendbaren TBU

Die GBBSOft+-Berechnungen haben gezeigt, dass eine TBU nur zur Gewährleistung der Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion benötigt wird. Ein Flächenwicht zur Vermeidung eines Abgleitens der Böschung oder hydrodynamischer Bodenverlagerungen ist nicht erforderlich.

Tabelle C3 zeigt in der Zusammenfassung, welche der untersuchten zehn TBU-Bauweisen im Ergebnis der GBBSOft+-Berechnung im BS III und im BS II nach technischen Kriterien die Sicherheit gegenüber Oberflächenerosion gewährleisten können und nach ingenieurbilogischen Kriterien zu empfehlen sind.

Tabelle C3: Aufgrund der Bemessung anwendbare TBU-Maßnahmen im Bemessungsstandard III und II

Bemessungsstandard (BS) III		Bemessungsstandard (BS) II	
anwendbare TBU-Bauweisen			
nach technischen Kriterien	nach ingenieurbio- logischen Kriterien	nach technischen Kriterien	nach ingenieurbio- logischen Kriterien
7: Begrüntes Kam- merdeckwerk	zu empfehlen (+)	7: Begrüntes Kam- merdeckwerk	zu empfehlen (+)
9/10: Begrünte Steinschüttungen	zu empfehlen (+)	9/10: Begrünte Steinschüttungen	zu empfehlen (+)
		6: Begrünter Geo- textilkörper*	bedingt zu empfehlen (o)
		8: Weidenspreitlage	bedingt zu empfehlen (o)

* vorbehaltlich der noch zusätzlich zu führenden Nachweise

Im BS III wird mit den Bauweisen begrüntes Kammerdeckwerk und begrünte Steinschüttung das Ziel – „ein stabiles Ufer“ – erreicht. Diese Bauweisen sind auch ingenieurbilogisch zu empfehlen.

Auch im BS II können die Maßnahmen des BS III angewendet werden. Im Gegensatz zum BS III sind zusätzlich ein begrünter Geotextilkörper und eine Weidenspreitlage technisch anwendbar. Allerdings ist der begrünte Geotextilkörper als „bewehrte Erde“ eine Sonderbauweise, für die zusätzlich spezielle Nachweise erbracht werden müssen (DGGT 2010). Aus ingenieurbilogischer Sicht sind diese beiden Bauweisen bedingt zu empfehlen (siehe hierzu Kapitel 7.6).

Im BS II können einzelne Schiffe, die schneller und dichter am Ufer fahren als in der Bemessung berücksichtigt, ggf. zu Schäden am Ufer führen - insbesondere im kritischen Anfangszustand. Diese müssen bei Anwendung dieser Maßnahmen durch entsprechende Unterhaltung beseitigt werden, so dass die angrenzende Infrastruktur nicht beeinträchtigt wird.

C7 Auswahl und konstruktive Ausbildung der TBU (Kapitel 7.7 bis 7.10)

Aus den als technisch anwendbar ermittelten TBU-Bauweisen (Tabelle C3) werden zur weiteren Auswahl der für die Randbedingungen optimalen Bauweisen entsprechend Kapitel 7.7 weitere Kriterien herangezogen:

- Anwendungsgrenzen
- ökologische Wirksamkeit
- Kosten (werden hier im Beispiel nicht berücksichtigt)

Hinsichtlich der Anwendungsgrenzen (Anlage A; BAW/BfG (2018), BAW/BfG/WSA Oberrhein (2020), DWA-M 519 (2016)) spricht nichts gegen den Einbau eines begrünten Kammerdeckwerks, einer begrünten Steinschüttung und einer Weidenspreitlage im Beispielprojekt an der Elbe. Der begrünte Geotextilkörper wird unabhängig von den noch erforderlichen technischen Nachweisen für das Anwendungsbeispiel aus ökologischer Sicht aufgrund des Kunststoffgeotextils nicht favorisiert. Da die Maßnahme an steilen Böschungen angewendet werden kann, wird sie in der Regel dort bevorzugt, wo andere TBU-Maßnahmen nicht möglich sind (Tabelle C2).

Ökologisch wäre der Weidenspreitlage als rein pflanzliche Bauweise ohne technische Komponenten gegenüber dem begrünten Kammerdeckwerk, der begrünten Steinschüttung und dem Geotextilkörper der Vorzug zu geben, zumal kein Flächengewicht erforderlich ist. Hier muss das zuständige Amt entscheiden, ob es eine TBU entsprechend dem Berechnungsergebnis nach BS II umsetzt. Dafür spricht, dass auch im BS III kein Flächengewicht erforderlich ist und die Weidenspreitlage im langfristig besten Zustand ausreichend sicher gegen Oberflächenerosion ist. Mit einer intensiveren Unterhaltung ist daher vorrangig in den ersten Jahren zu rechnen. Eine temporäre Begrenzung der Schiffsgeschwindigkeit als administrative Maßnahme nach Kapitel 7.3.1 könnte den Unterhaltungsaufwand reduzieren.

Wird zum Vergleich der BS I mit den Einwirkungen nach Kapitel 7.6, Tabelle 10 (Fahrt der Güter- und Fahrgastschiffe mit 85 % v_{krit} oder 50 % bzw. 30 % der Antriebsleistung in der Berg- bzw. Talfahrt) zugrunde gelegt (z. B. unter der Annahme, dass der Radweg landeinwärts verlegt wird und damit mehr Uferverformungen zugelassen werden könnten), ist trotzdem ein Uferschutz hinsichtlich Oberflächenerosion erforderlich. Die technischen Anforderungen werden zusätzlich zu den oben genannten Maßnahmen auch von einer begrünten Böschungsschutzmatte mit Steckhölzern (Bauweise 3 nach Tabelle C2) erfüllt. Hiermit könnte ggf. eine höhere ökologische Wirksamkeit erzielt bzw. durch Kombination mit einer ausgewählten Saatgutmatte eine bestimmte Zielvegetation angesiedelt werden. Es sind auch für diese Bauweise die Anwendungsgrenzen zu berücksichtigen. Nach DWA-M 519 (2016) sind die mit Steckhölzern punktuell befestigten Böschungsschutzmatten ähnlich wie die Pflanzmatten (Kurzbeschreibung siehe Anlage A2) an frei fließenden Flüssen nur für selten eingestaute Uferbereiche geeignet. Aus diesem Grund ist diese hier vorzugsweise im oberen Böschungsbereich anwendbar. Eine Kombination mit einer anderen anwendbaren Maßnahme im unteren Böschungsbereich wäre hier zum Beispiel denkbar.

Eine Anwendung des BS 0 ist hier im Beispiel aufgrund der Randbedingungen (angrenzende zu schützende Infrastruktur) nicht möglich. Voraussetzung für BS 0 wäre nach Kapitel 7.6, Tabelle 8, dass eine freie unbegrenzte Uferentwicklung zugelassen werden kann. In diesem Fall wäre eine Berechnung nicht erforderlich.

Für die konstruktive Ausbildung der ermittelten optimalen Bauweise einschließlich Filterwahl und -bemessung und für die Pflanzenauswahl wird auf Kapitel 7.8, Kapitel 7.9, die entsprechenden Kurzbeschreibungen und Steckbriefe der Anlagen A und B und zusätzlich auf die Kennblätter der BAW und BfG (BAW/BfG 2018) und das Merkblatt DWA-M 519 (2016) verwiesen.

Unabhängig von der Bauweise ist am Schluss zu prüfen, ob zusätzliche Strukturelemente zur ökologischen Aufwertung eingebaut werden können. Es könnte beispielsweise Totholz auf der Böschung oberhalb oder bevorzugt unterhalb Mittelwasser zur Förderung der aquatischen Fauna angeordnet und befestigt werden (siehe hierzu Kapitel 7.10, Anlage A6 und Anlagen B3.1 und B3.2).

Nach Kapitel 7.1, Abbildung 7 erfolgt im nächsten Schritt die Planung der Ausführung, auf die hier im Beispiel nicht näher eingegangen wird.

Anlage D: Glossar und Abkürzungsverzeichnis

D1 Glossar

D2 Abkürzungsverzeichnis

Anlage D1: Glossar

Begriff	Erklärung	siehe auch
AIS-Daten	AIS $\triangleq$ „Automatic Identification System“ (Automatisches Schiffsidentifizierungssystem); regelmäßig vom Schiff gesendete Daten wie z. B. Schiffsname, Gesamtlänge und -breite des Fahrzeugs, Amtliche Europäische Schiffsnummer (ENI-Nummer), Schiffsgeschwindigkeit und -position	https://www.el-wis.de/DE/Service/Telematikanwendungen/Info-AIS.pdf?blob=publication-File&v=3
Beobachtungsmethode	Kombination der üblichen geotechnischen Untersuchungen und Berechnungen (Prognosen) mit der laufenden messtechnischen Kontrolle des Bauwerkes und des Baugrundes während dessen Herstellung und gegebenenfalls auch während dessen Nutzung, wobei kritische Situationen durch die Anwendung geeigneter technischer Maßnahmen beherrscht werden müssen	DIN EN 1997-1, Eurocode 7 (2014)
Besiedlungspotenzial	Potenzial bezüglich günstiger oder ungünstiger Standortfaktoren, um eine Ansiedlung von Pflanzen oder Tieren zu fördern bzw. zu hemmen	
Bewirtschaftungsplan (WRRL)	Für jede Flussgebietseinheit aufzustellen; Bewirtschaftungspläne für die Einzugsgebiete enthalten u. a. folgende Angaben: Merkmale der Flussgebietseinheit, signifikante Belastungen und anthropogene Einwirkungen auf den Zustand von Oberflächengewässern und Grundwasser, Umweltziele, Zusammenfassung der Maßnahmenprogramme	Artikel 13 WRRL und Anhang VII WRRL § 83 WHG
Bewirtschaftungsziele (WRRL)	Für oberirdische Gewässer ist eine Verschlechterung ihres ökologischen und chemischen Zustands/Potenzials zu vermeiden und ein guter ökologischer und chemischer Zustand/Potenzial nach WRRL zu erhalten oder zu erreichen; daraus folgen ein Verschlechterungsverbot und Verbesserungsgebot.	§§ 27 bis 31 und 44 WHG
Fahrrinne	An Binnenschiffahrtsstraßen der Teil des Fahrwassers, in dem für den durchgehenden Schiffsverkehr bestimmte Breiten und Tiefen vorhanden sind, deren Erhaltung (im Rahmen des Möglichen und Zumutbaren) angestrebt wird	BinSchStrO RheinSchPV MoselSchPV
Fahrwasser	An Binnenschiffahrtsstraßen der Teil der Wasserstraße, der den örtlichen Umständen nach vom durchgehenden Schiffsverkehr benutzt wird	BinSchStrO RheinSchPV MoselSchPV

Begriff	Erklärung	siehe auch
FFH-Lebensraumtypen	Natürliche Lebensräume von EU-gemeinschaftlichem Interesse, für die nach der Flora-Fauna-Habitat-Richtlinie besondere Schutzgebiete auszuweisen sind	in Anhang I der Richtlinie 92/43/EWG (FFH-Richtlinie) gelistet
freie Landschaft	Unbesiedelte Flächen, auch innerhalb des Stadtgebietes bzw. im Geltungsbereich eines Bebauungsplans (mit naturtypischen Gefahren) Ob eine Fläche zur freien Landschaft gehört, ist unter Berücksichtigung des tatsächlichen Zustandes sowie des äußeren Erscheinungsbildes zu klären. Auch Betriebswege entlang von Bundeswasserstraßen werden häufig als solche angesehen.	i. S. d. §§ 59/60 BNatSchG Leitfaden Baumkontrolle
Gefährdungspotenzial	Ausmaß aller möglichen Gefährdungen bzw. Schäden infolge eines versagenden Ufers oder einer versagenden Ufersicherung im Bereich des angrenzenden Geländes und der angrenzenden Wasserstraße (im Merkblattkontext)	
Grenzgleichgewichtszustand	Treibende und haltende Kräfte sind im Gleichgewicht (Sicherheit = 1)	
gutes ökologisches Potenzial/Zustand	Das gute ökologische Potenzial beschreibt den Zustand eines erheblich veränderten oder künstlichen Wasserkörpers, der nach den einschlägigen Bestimmungen des Anhangs V der WRRL entsprechend eingestuft wurde (CELEX_02000L0060 2014). Der ökologische Zustand beschreibt die Qualität von Struktur und Funktionsfähigkeit aquatischer, in Verbindung mit Oberflächengewässern stehender Ökosysteme gemäß der Einstufung nach Anhang V der WRRL. Der „gute“ ökologischer Zustand beschreibt den Zustand eines entsprechenden Oberflächenwasserkörpers gemäß der Einstufung nach Anhang V.	https://eur-lex.europa.eu/re-source.html?uri=celar:5c835afb-2ec6-4577-bdf8-756d3d694eeb.0003.02/DOC_1&format=PDF
hydrodynamisch-numerisches Modell	Ein-, zwei- oder dreidimensionale Modellierungswerkzeuge zur Berechnung von Strömungsparametern	
hydromorphodynamische Prozesse	Erosions-, Transport- und Anlandungsprozesse aufgrund der sowohl räumlichen als auch zeitlichen Interaktion zwischen Wasser und Sedimenten in Fließgewässern	
hydrostatischer Stau	Stauhaltungsbezogener und planfestgestellter Niedrigwasserspiegel an staugeregelten Bundeswasserstraßen, der im Regelfall nicht unterschritten wird und den Bezugswasserspiegel für die Solltiefe der Fahrrinne darstellt	

Begriff	Erklärung	siehe auch
invasive Neophyten	Gebietsfremde Pflanzen mit starker Ausbreitungstendenz, von denen eine Gefährdung der heimischen Lebensgemeinschaften ausgeht; darüber hinaus können sie nachteilige Auswirkungen auf die menschliche Gesundheit und die Wirtschaft verursachen	§ 7 (2) Nr.9 BNatSchG
Lastansätze	Ansätze zur Ermittlung der Belastungen: getroffene Annahmen / gewählte Formeln zur Berechnung der Einwirkungen bzw. Belastungen, z. B. der Wellenhöhen und des Wasserspiegelabsinks	
LAWA-BLANO- Maßnahmentyp nach Maßnahmenkatalog	Maßnahmentyp: Zuordnung der Maßnahmen der WRRL auf Grundlage des LAWA-BLANO-Maßnahmenkatalogs LAWA-BLANO-Maßnahmenkatalog: Tabelle mit standardisierten Maßnahmenbezeichnungen als gemeinsame Grundlage der Länder für die Erstellung der Maßnahmenprogramme und das anschließende elektronische Reporting	https://www.lawa.de/documents/lawa-blando-massnahmenkatalog_1594133389.pdf
Makrophyten	Höhere Wasserpflanzen, einschließlich der Armleuchteralgen (Characeen)	
Makrozoobenthos	Am Gewässergrund lebende, mit bloßem Auge sichtbare (> 1 mm) wirbellose Tiere, „Bodenfauna“ in Gewässern	
Maßnahmenprogramme (WRRL)	Für jede Flussgebietseinheit ist ein Maßnahmenprogramm aufzustellen, um die Bewirtschaftungsziele nach WRRL zu erreichen.	§ 82 WHG
natürliche Deck-schichtbildung	Durch Sortierungsvorgänge im Flussbett, bei denen in Abhängigkeit der hydraulischen Einwirkungen die kleineren Korngrößen des anstehenden Bodens erodiert werden und die größeren, nicht mehr bewegbaren Korngrößen zurückbleiben, entsteht eine erosionshemmende Schutzschicht.	
Ökosystemdienstleistungen	„Bezeichnet direkte und indirekte Beiträge von Ökosystemen zum menschlichen Wohlergehen, das heißt Leistungen und Güter, die dem Menschen einen wirtschaftlichen, materiellen, gesundheitlichen oder psychischen Nutzen bringen [...]“	Naturkapital Deutschland - TEEB DE (2012)
Pioniergesellschaft	Pflanzengesellschaft, die in neue oder noch nicht besiedelte Gebiete vordringt und deren Pflanzenarten, die oft dort herrschende Extrembedingungen tolerieren können	

Begriff	Erklärung	siehe auch
Resilienz	Fähigkeit eines Ökosystems, einer Pflanzengesellschaft, einer Pflanzenart etc., Umweltveränderungen und Störungen durch bestimmte Strategien/ Anpassungen/ Regenerationsvermögen abzufedern	
Sekundärhabitat	Nicht natürlich entstandener, sondern vom Menschen geschaffener Lebensraum (z. B. angelegte Flachwasserzone, Buhnenfeld), der häufig eine Ausweichmöglichkeit für Tiere und Pflanzen bietet, denen andernorts der natürliche Lebensraum entzogen wird	
standortheimisch	Fasst die Begriffe „standorttypisch“ und „gebietsheimisch“ zusammen; Pflanzen der entsprechenden Herkunftsregion, die den Standort natürlicherweise besiedeln würden und an die Standortbedingungen angepasst sind	
Sukzessionsprozesse/ natürliche Ufersukzession	Abfolge verschiedener Pflanzengesellschaften an einem Wuchsort (Ufer) im Laufe der Zeit entsprechend der Änderung der Umweltverhältnisse	
Uferpionier	Erstbesiedler am Ufer, meist mit besonderen Anpassungsfähigkeiten und hoher Reproduktionsrate	
vegetativ	Fortpflanzung auf ungeschlechtlichem Weg (z. B. Bildung von Ausläufern)	
Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)	Mit Einführung der WRRL am 22. Dezember 2000 wird europaweit angestrebt, alle Flüsse, Seen, das Grundwasser und die Küstengewässer bis spätestens 2027 in einen "guten Zustand" zu überführen. Die WRRL ist in Deutschland im Wasserhaushaltsgesetz (WHG), in der Verordnung zum Schutz der Oberflächengewässer (OGewV) und in der Grundwasserverordnung (GrwV) verankert. Die 10 Flussgebietseinheiten Donau, Eider, Elbe, Ems, Maas, Oder, Rhein, Schlei/Trave, Warnow/Peene und Weser bilden die nationalen Planungsräume zur Umsetzung der WRRL.	https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/die-wasserrahmenrichtlinie-gewaesser-in-deutschland

Anlage D2: Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Erklärung	siehe auch
AIS	„Automatic Identification System“ (Automatisches Schiffsidentifizierungssystem)	
AMS Handbuch	Handbuch zum Arbeitsschutzmanagementsystem der WSV	https://intra-net.res.bund.de/Shared/Arbeitsschutz/11_handbuecher/Anlagen_Alt/AMS_Handbuch_WSV.html
BHW	Bemessungshochwasser	
BWaStr	Bundeswasserstraße	
GBBSoft+	Bemessungssoftware für Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen	
D ₅₀	Steingröße (Schüttsteindeckwerk) bei 50 % Massendurchgang der Summenlinie	(GBB 2011)
d ₅₀ , d _{50,Boden}	Korndurchmesser der Bodenpartikel bei 50 % Massendurchgang der Summenlinie	DIN 18123
HSW	Höchster Schifffahrtswasserstand	
LAWA-BLANO	Bund/Länderarbeitsgemeinschaft Wasser (LAWA) und Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Nord- und Ostsee (BLANO)	https://www.lawa.de https://mitglieder.meereschutz.info/de/blano/allgemeines.html
LMB _{5/40}	Light Mass Category B, Wasserbausteinklasse nach DIN 13383	DIN 13383
MNW	Mittleres Niedrigwasser (mittlerer niedrigster Wert der Wasserstände in einer Zeitspanne)	
MW	Mittelwasser (Mittelwert der Wasserstände in einer Zeitspanne)	
NoSt	Normalstau	
SoMW	Sommermittelwasser (Mittelwert der Wasserstände einer Zeitspanne zwischen 01. Mai und 31. Oktober)	DIN 4049
STLK	Standardleistungskatalog	
TBU	Technisch-biologische Ufersicherungen	

Abkürzung	Erklärung	siehe auch
UVgO	Unterschwellenvergabeordnung	https://www.verwaltungs-vorschriften-im-internet.de/bsvwvbund_02022017_IB6261902.htm
VgV	Verordnung über die Vergabe öffentlicher Aufträge	https://www.gesetze-im-internet.de/vgv_2016/
V _{krit}	Kritische Schiffsgeschwindigkeit	(GBB 2011)
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen	
VV-WSV	Verwaltungsvorschrift der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung	
WaStrG	Bundeswasserstraßengesetz	https://www.gesetze-im-internet.de/wastrg/
WRRL	Europäische Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG)	https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2000/60/oj/deu?locale=de
ZTV-W	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen - Wasserbau	