BAW-Kolloquium "Technisch-biologische Ufersicherungen - ein Baustein für ökologisches Bauen an Wasserstraßen" Karlsruhe, 14./ 15. Mai 2024











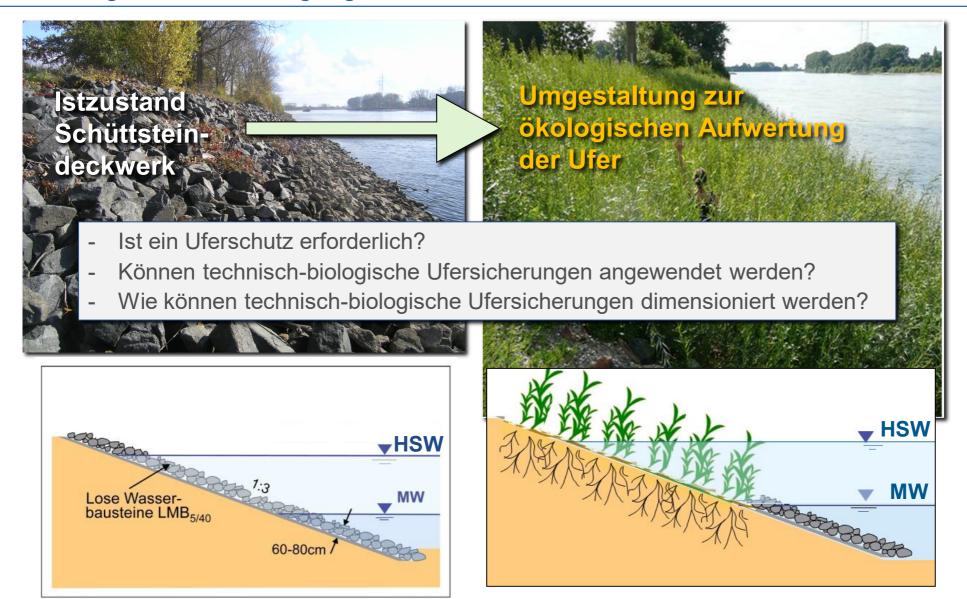
Bemessung und konstruktive Ausbildung von technisch-biologischen Ufersicherungen (TBU)

Oliver Stelzer

Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Referat Erdbau und Uferschutz

Bemessung von TBU - Ausgangssituation





Bauweisen – direkte technisch-biologische Uferschutzmaßnahmen



Uferschutz nur durch Pflanzen

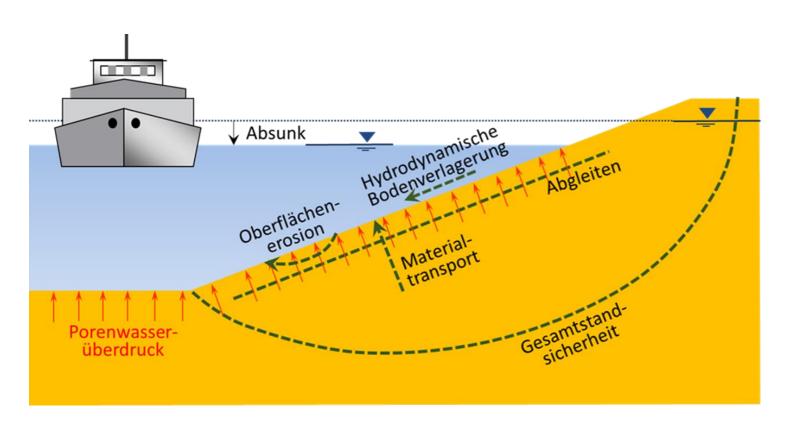


Uferschutz durch Pflanzen und technische Komponenten



Technische Grundlagen - Versagensmechanismen Uferböschung





Gesamtstandsicherheit:

• EC7, DIN 4084, GBB

Lokale Versagensmechanismen (Abgleiten, hydrodynamische Bodenverlagerung, Oberflächenerosion):

- BAW-Merkblatt: "Grundlagen zur Bemessung von Böschungs- und Sohlensicherungen an Binnenwasserstraßen", GBB 2010
- DWA-Merkblatt: "Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Gewässern". Merkblatt M519, 2016

Filterstabilität/Materialtransport:

BAW- Merkblätter MAK, MAG, MMB

Versagensmechanismen Uferböschung - Oberflächenerosion





Schiffsinduzierte Belastungen

- Heckwelle
- Wiederauffüllungsströmung
- Rückströmung

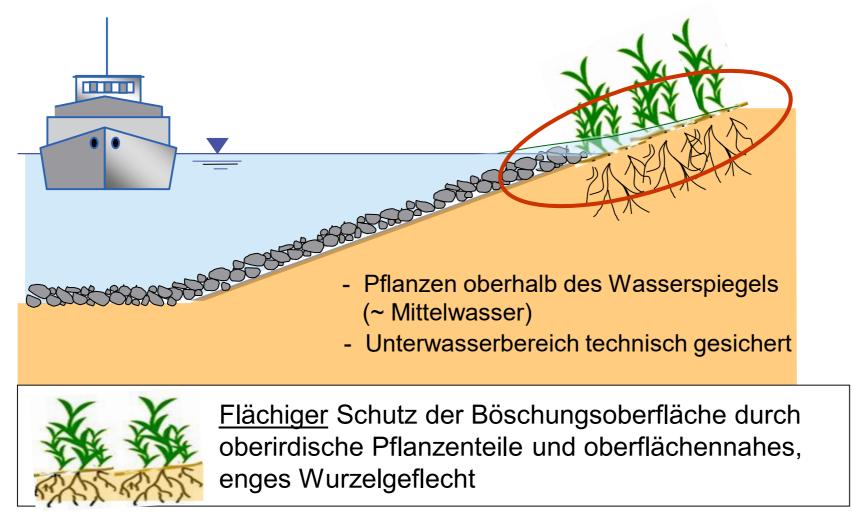
Natürliche Strömung

→ Oberflächenerosion

Uferschutz erforderlich, wenn anstehender Boden nicht erosionsstabil! Uferschutzmaßnahme (TBU) selbst muss erosionsstabil sein!

Versagensmechanismen Uferböschung – Schutz vor Oberflächenerosion durch Pflanzen

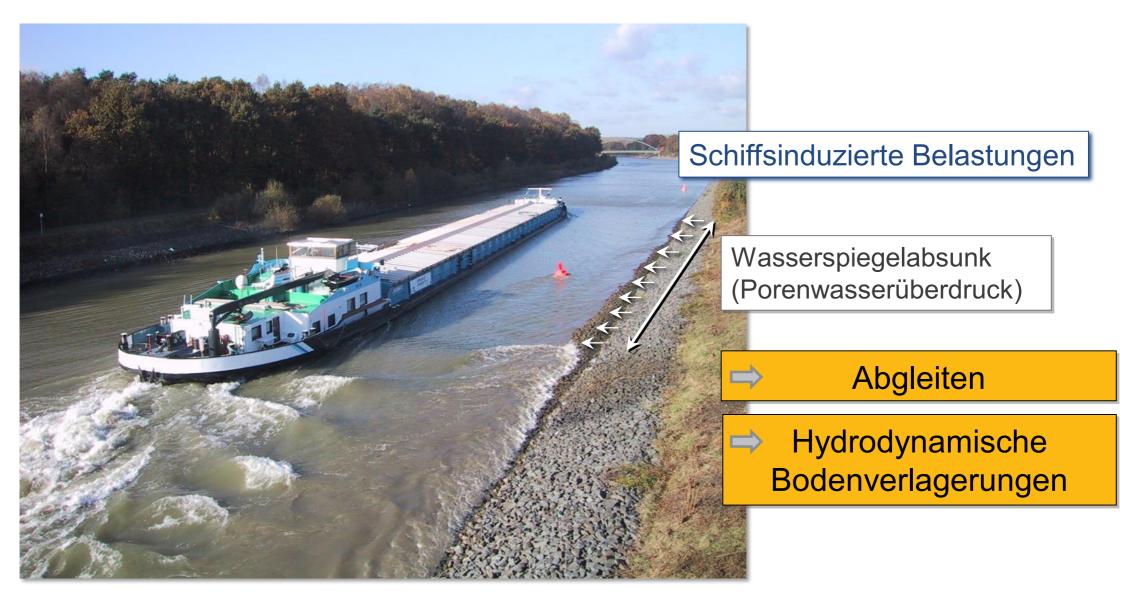




Erfahrungen aus kleineren Fließgewässern (zul. v, τ) liegen vor (DWA-M 519)

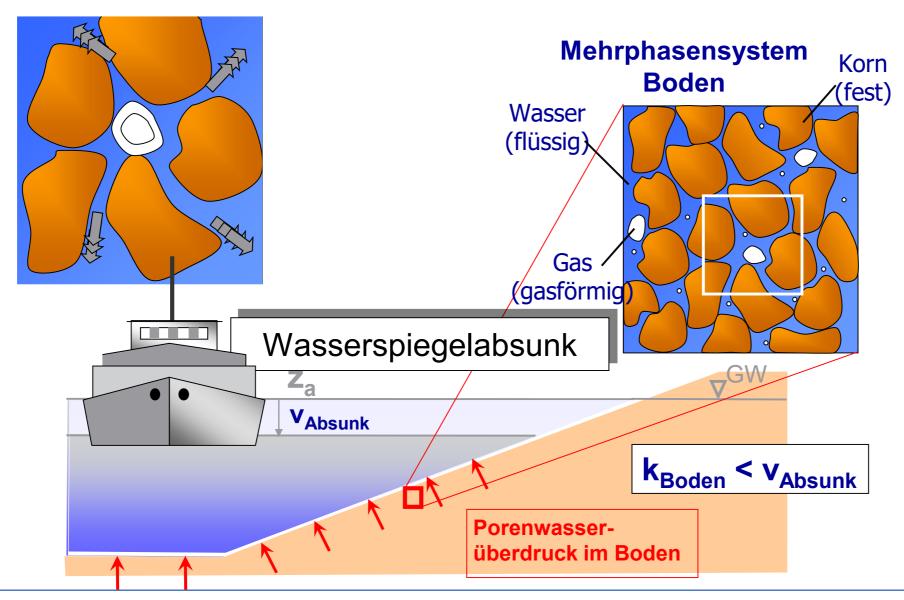






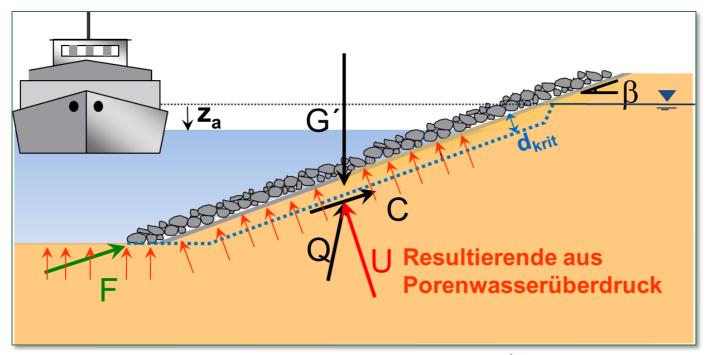






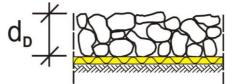
Versagensmechanismen Uferböschung - Abgleiten





- 1. Scherfestigkeit des Bodens
- 2. Böschungswinkel
- 3. Durchlässigkeit des Bodens
- 4. Hydraulische Belastung

Erforderliches Flächengewicht

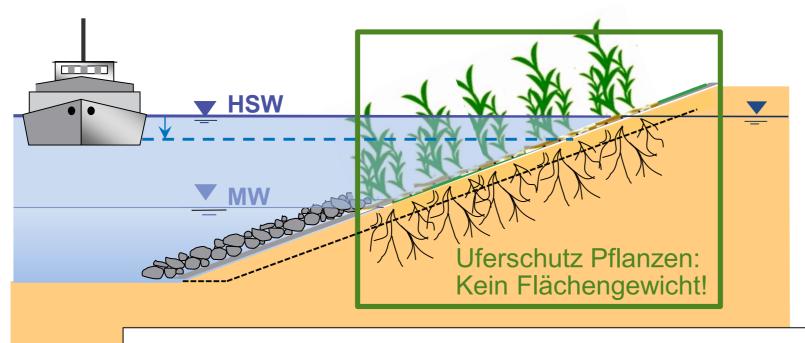


[GBB]
$$\gamma'_{D}d_{D} \geq \frac{\Delta u tan(\varphi)(c) - \tau_{F}}{\cos(\beta tan(\varphi) - \sin(\beta)} - \gamma'_{F} d_{F} - \gamma' d_{krit}$$

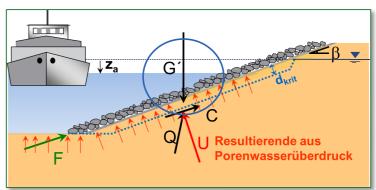
$$\Delta u(z) = \gamma_{W} \cdot z_{a} \left(1 - a \cdot e^{-b \cdot z}\right)$$

Versagensmechanismen Uferböschung - Abgleiten





Zum Vergleich: Schüttsteindeckwerk





Gewährleistung der lokalen Standsicherheit durch verzweigtes, ausreichend tiefreichendes Wurzelsystem

Veränderung der Bodeneigenschaften (Erhöhung der Scherfestigkeit, Bodenrückhalt)

Bemessung: Bisher keine Berücksichtigung der Wurzeln beim Nachweis gegenüber Abgleiten. Wenn Flächengewicht erforderlich, ist es mit TBU zu gewährleisten.

Überblick Vorgehensweise bei der Bemessung von TBU



Grundlagen

- standortspezifische Randbedingungen
 - Festlegung Bemessungsstandard



Technische Bemessung

Ergebnis: technisch geeignete Maßnahmen



Auswahl TBU

Berücksichtigung weiterer Kriterier Ergebnis: Vorzugsvariante



Konstruktive Ausbildung TBU

Überblick Vorgehensweise bei der Bemessung von TBU



Grundlagen

- standortspezifische Randbedingungen
 - Festlegung Bemessungsstandard



Technische Bemessung

Ergebnis: technisch geeignete Maßnahmen



Auswahl TBU

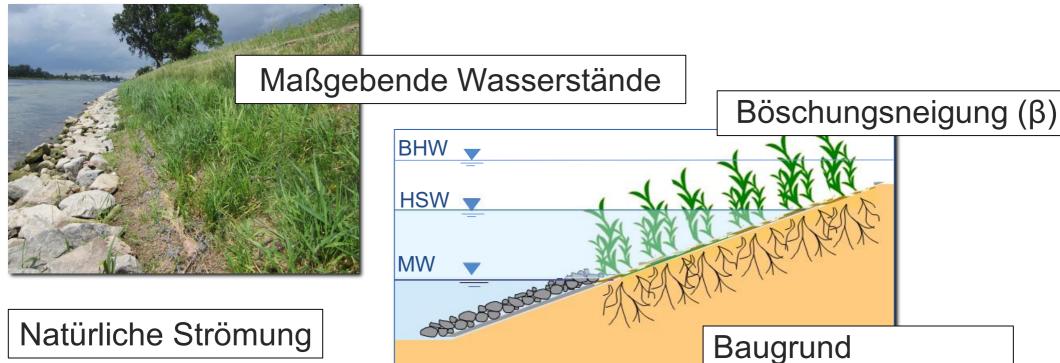
Berücksichtigung weiterer Kriterier Ergebnis: Vorzugsvariante



Konstruktive Ausbildung TBU







Natürliche Strömung

Schiffsinduzierte Belastungen (Schiffe, Abladetiefen, Schiffsgeschwindigkeiten, Uferabstände, ...)

 $(\phi', c', \gamma/\gamma', d_{50}, k_{f...})$





| | Bemessungsstandard (BS) | | | | | | | | |
|--|---|---|--|-----------------------------------|--|--|--|--|--|
| | BS 0 | BS I | BS II | BS III | | | | | |
| Anforderung an Uferstabilität (Erosion, Abflachungen) | keine Anforderungen: Uferinstabilitäten unbegrenzt zulässig bzw. erwünscht | Uferinstabilitäten begrenzt, ggf. auch in größerem Umfang zugelassen | Uferinstabilitäten in geringem Umfang zulässig | Uferinstabilitäten nicht zulässig | | | | | |

Zulassen von Uferverformungen?

Gefährdungspotential?

Flächenverfügbarkeit?

Beeinträchtigung der Schifffahrt?





| | | Bemessu | ingsstandard (BS) | |
|---|---|---|--|---|
| | BS 0 | BSI | BS II | BS III |
| Anforderung an Uferstabilität (Erosion, Abflachungen) | keine Anforderungen: Uferinstabilitäten unbegrenzt zulässig bzw. erwünscht | Uferinstabilitäten begrenzt, ggf. auch in größerem Umfang zugelassen | Uferinstabilitäten in geringem Umfang zulässig | Uferinstabilitäten nicht zulässig |
| Bemessungs- annahmen | keine Bemessung erforderlich | stark abgeminderter WSV-Standard (z.B. V _{Schiff} = 0,85 v _{krit}) | abgeminderter WSV- Standard (z.B. $V_{Schiff} = 0.9 v_{krit}$) | WSV-Standard für Deckwerke nach GBB (ufernahe Fahrt, $V_{Schiff} = 0.97 v_{krit}$) |
| Mögliche Randbedingungen im Uferbereich (beispielhaft) | keine Sicherheits- relevanz, unbegrenzte Flächenverfügbarkeit | keine signifikante Sicherheitsrelevanz, ohne HW- Schutzfunktion, Materialeintrag in Fahrrinne zulässig | geringe Sicherheitsrelevanz, ohne HW- Schutzfunktion, geringer Materialeintrag in Fahrrinne zulässig | hohe Sicherheitsrelevanz (z.B. ufernahe Bebauung, HW-Schutzfunktion, Materialeintrag in Fahrrinne unzulässig), keine Flächenverfügbarkeit |

Überblick Vorgehensweise bei der Bemessung von TBU



Grundlagen

- standortspezifische Randbedingungen
 - Festlegung Bemessungsstandard



Technische Bemessung

Ergebnis: technisch geeignete Maßnahmen



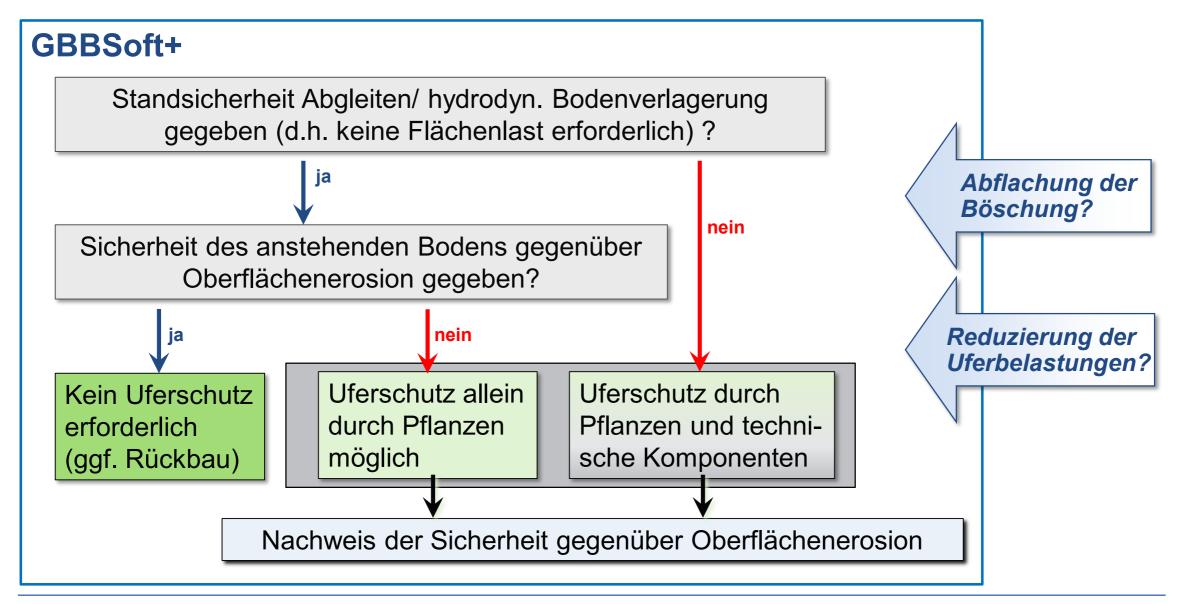
Auswahl TBU

Berücksichtigung weiterer Kriterien Ergebnis: Vorzugsvariante



Konstruktive Ausbildung TBU





Bemessung mit der Software GBBSoft+ - technische Kriterien

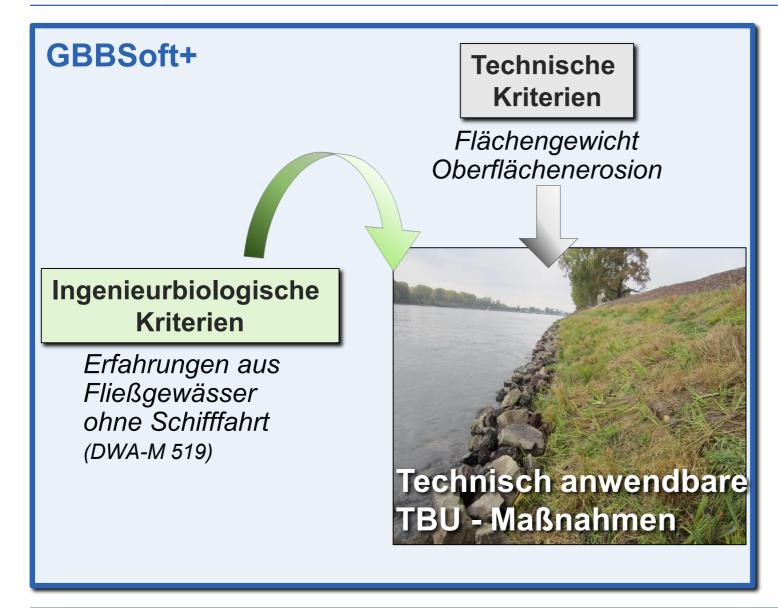


| Belastungsgrenzen gegenüber Oberflächenerosion | | | | | | | | | | | |
|--|--------------------------------------|--------|-----|---------------|---------------------|-----|------|------|-------------------------------------|----------------------------------|--------------|
| Bauweise | (Werte im Bereich der Ufersicherung) | | | | | | | | 1 | Bemerkung | |
| Dauweise | C+ | | | | | | | | ho | | fongozuatand |
| | | römung | _ | Schubspannung | | | | nie | A - Kritischer Anfangszustand | | |
| | geschwindigkeit v | | | τ | | H | | | 1J. - Eingewachsener Zustand | | |
| | | [m/s] | | | [N/m ²] | | [m] | | | L - Langfristiger Zustand | |
| | A | 1 J. | L | A | 1 J. | L | A | 1 J. | L | L Eariginouger | Lactaria |
| Röhrichtmatte | | | | | | | | | | Mit stabilem Geo- | |
| mit Vegetations- | 1,3 | 1,9 | 2,3 | 25 | 45 | 65 | 0,15 | 0,30 | 0,55 | textil für flächigen | |
| walze | | | | | | | | | | Erosionsschutz | |
| Spreitlage mit | | | | | | | | | | | |
| Steinschüttung als | 2,0 | 2,3 | 2,5 | 50 | 120 | 240 | 0,40 | 0,65 | 1,10 | - | |
| Fußsicherung | | | | | | | | | | | |
| Begrüntes Kam- | | | | | | | | | | Bemessung der | |
| merdeckwerk/be- | 2,6 | 2,9 | 3,2 | _* | _* | _* | 1,00 | 1,00 | 1,00 | Gabione | |
| grünte Gabionen | | | | | | | | | | entscheidend | |
| Begrünte (lose) | | | | | | | | | | Belastungsgren- | |
| Steinschüttung | 2,1 | 2,4 | 2,6 | 70 | 90 | 110 | 0,90 | 1,00 | 1,00 | zen abhängig von | |
| (Steine LMB _{5/40}) | | | | | | | | | | Steingrößen [1] | |

Auszug aus Tabelle 5, DWA-M519

(Grundlage: Erfahrungen an Fließgewässern ohne Schifffahrt)









Matrix zur qualitativen Bewertung der Bauweisen (nach 3 Kriterien)

Eingaben in GBBSoft+:

1. Böschungsneigung:

- steil (steiler als 1:3)
- flach (1:3 und flacher)

2. Bodensubstrat:

- steinig-blockig (Korngröße 63 bis 200 mm und größer)
- kiesig-sandig (Korngröße 0,063 bis 63 mm)
- lehmig-schluffig (Korngröße kleiner als 0,063 mm)

| 3. Belastungskategorien | | | | | | | | |
|--------------------------------------|-----------|--|--|--|--|--|--|--|
| Abstand Schifffahrt - Wasserlinie | Punkte | | | | | | | |
| ≤ Schiffsbreite | 4 | | | | | | | |
| ≤ 3 x Schiffsbreite | 3 | | | | | | | |
| ≤ Schiffslänge | 2 | | | | | | | |
| > Schiffslänge | 1 | | | | | | | |
| Sekundärwellenhöhe (nach Bild 19) | Punkte | | | | | | | |
| > 20 cm | 2 | | | | | | | |
| ≤ 20 cm | 1 | | | | | | | |
| Absunk (nach Bild 19) | Punkte | | | | | | | |
| > 40 cm | 2 | | | | | | | |
| ≤ 40 cm | 1 | | | | | | | |
| Berechnung | Punkte | | | | | | | |
| Max Summe | 8 | | | | | | | |
| Min Summe | 3 | | | | | | | |
| Belastungskategorien | Punktzahl | | | | | | | |
| Gering | 3 - 4 | | | | | | | |
| Mittel | 5 - 6 | | | | | | | |
| Hoch | 7 - 8 | | | | | | | |





| | | | BW 1 | BW 2 | BW 3 | BW 4 | BW 5 | BW 6 | BW | 7 BW 8 | BW 9 | BW |
|----------------------|-------|--------|---------|--|----------------|------|---------|---|-----------|---|----------|-------|
| Matrix fre | | | | | | | 8 WB | Spreitlage mit Steinschüt- tung als Fußsicherung | | | | |
| | steil | hoch | - | - | - | - | - | - | | Begrünte Steinschüttung | | |
| | | mittel | - | - | - | 0 | - | 0 | 9 WBW | | | |
| steinig- | | gering | - | - | - | - | - | - | | | | |
| blockig | | hoch | - | - | - | - | - | - | 10 | Nachträglich begrünte Steinschüttung | | |
| | flach | mittel | - | - | - | 0 | - | 0 | Stellisti | | lutturig | |
| | | gering | - | - | - | - | - | - | - | | 0 | 0 |
| | steil | hoch | - | - | - | - | - | - | 0 | (+) | (+) | (+) |
| kiesig- | | mittel | - | - | - | 0 | + | + | 0 | 0 | 0 | 0 |
| | | gering | - | 0 | - | 0 | 0 | - | - | - | 0 | 0 |
| sandig | flach | hoch | - | - | - | - | - | - | + | + | + | + |
| | | mittel | - | | | 0 | 0 | 0 | + | 0 | + | + |
| | | gering | 0 | (+) | (+) | - | - | - | - | - | - | - |
| lehmig- schluffig | steil | hoch | - | - |) - | - | - | - | - | + | 0 | 0 |
| | | mittel | | Begrünte Böschungsschutz- | | + | + | - | 0 | 0 | 0 | |
| | | gering | BW 2 | | itte mit Rasen | | 0 | - | - | - | - | - |
| | flach | hoch | | | | | | - | 0 | + | 0 | 0 |
| | | mittel | ω BW | Begrünte Böschungs matte mit Steckhölze | | | 0 | - | 0 | 0 | - | 0 |
| | | gering | | matte mit stecknowern | | | | - | - | - | - | - |

(Tab. 10, DWA-M519)

Analoge Tabellen für staugeregelte Flüsse und Kanäle

Tabellen in GBBSoft+ integriert

Bemessung mit der Software GBBSoft+





Technische Kriterien

Flächengewicht Oberflächenerosion

Ingenieurbiologische Kriterien

Erfahrungen aus Fließgewässer ohne Schifffahrt (DWA-M 519)



Am Schluss:

Auswahl der technisch anwendbaren Maßnahme mit der maximalen ökologischen Wirksamkeit

Prüfung "händisch"

Ökologische Kriterien

(ökologische Wirksamkeit der anwendbaren TBU)

- DWA-M 519
- Bericht Versuchsstrecke
 Rhein (Internetportal)

Erfahrungen

(Anwendungsgrenzen nach aktuellen Erfahrungen)

- DWA-M519
- TBU Kennblätter und Bericht Versuchsstrecke Rhein (Internetportal)



Optimale TBU-Maßnahme

Konstruktive Ausbildung

Realisierung Flächengewicht (wenn erforderlich)

Erforderliche
Schichtdicke
z.B. Röhrichtgabionen



Gewährleistung eines filterstabilen Aufbaus

Kornfilter (MAK)
Geotextil (MAG)
(biologisch abbaubar)



Auswahl der anwendbaren Pflanzenarten

Zonierung, Überstau (DWA-M519, Pflanzenkundler)



Details: Vortrag Katja Behrendt, BfG Prüfen der Möglichkeit der Anordnung zusätzlicher Strukturelemente zur ökologischen Aufwertung

Totholz - auch im Unterwasserbereich Substrat Einzelpflanzen





- Bemessungskonzept (GBB/ DWA-M 519), integriert in Software GBBSoft+ (BAW)
- Vorgehen bei der Planung und Bemessung detailliert beschrieben im neuen Merkblatt M-TBU
- Einheitliche Grundlagen für die Planung von technisch-biologischen Ufersicherungen an Binnenwasserstraßen
- Sammlung praktischer Erfahrungen mit Bemessung und Ausführung









Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Bundesanstalt für Wasserbau 76187 Karlsruhe

www.baw.de