Senatsverwaltung
für Umwelt, Verkehr
und Klimaschutz

Berlin

Bild: BIUW Ingenieur GmbH

Wasserwirtschaft

Handlungsempfehlungen für ingenieurbiologischen Wasserbau im urbanen Raum am Beispiel Berlins

Auftraggeber: **Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin**
Abteilung Integrativer Umweltschutz
Brückenstraße 6
10179 Berlin

fachliche Betreuung: Antje Köhler, Leonie Goll

Auftragnehmer: **Büro für Ingenieurbiologie, Umweltplanung und Wasserbau**
BIUW Ingenieur GmbH
Elsternest 1
Tel.: 03987/2358220
Fax: 03987/2358219
info@umweltwasserbau.de

Autoren: Dr. Nicole Kovalev
Frank Spundflasch (bis März 2017)
Prof. Rolf Johannsen
Prof. Dr. Eva Hacker

Zeichnungen: Frank Spundflasch (bis März 2017)
Maxime Naedler

Februar 2019

Inhaltsverzeichnis

1 Veranlassung und Zielsetzung ... 17
1.1 Zielstellung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) ... 17
1.2 Kurzcharakteristik der Berliner Gewässer ... 18
1.3 Eingrenzen der Aufgabenstellung ... 21
2 Inhalt der Handlungsempfehlung ... 22
Teil 1: Planungsgrundsätze ... 23
3 Planung und Bemessung ingenieurbiologischer Maßnahmen ... 24
3.1 Grundsätzliche Wirkungen von ingenieurbiologischen Bauweisen ... 24
3.2 Entscheidungsablaufschema ... 25
3.3 Planungsprozesse in Anlehnung an die HOAI ... 29
3.3.1 Aufgabenstellung und Vorentwurf ... 30
3.3.2 Entwurf- und Genehmigungsplanung ... 31
3.3.3 Untersuchungen zur Umwelt- und Naturverträglichkeit ... 32
3.3.4 Ausführungsplanung und Vorbereitung der Vergabe ... 32
3.3.5 Ausführung und Bauüberwachung ... 33
3.3.6 Anwuchs- und Entwicklungspflege ... 33
3.4 Unterhaltung, Dokumentation und Evaluierung ... 34
3.5 Bautechnische Nachweise in der Entwurfs- und Ausführungsplanung ... 34
3.5.1 Abflüsse und Wasserspiegellagen ... 34
3.5.2 Böschungs- und Geländebruch ... 35
3.5.3 Erosionsstabilität ... 35
3.5.4 Sicherheit gegen Auftrieb und Verdriftung, Prüfung von Pfählen ... 35
Teil 2: Sicherungsbauweisen ... 36
4 Darstellung von verwendbaren Sicherungsbauweisen ... 37
4.1 Bauweisen mit Holz, Reisig, Pflanzenfasern ... 37
4.1.1 Baum mit Krone und Wurzeln als Wellenbrecher ... 37
4.1.2 Wurzelstöcke als Strukturelement ... 39
4.1.3 Rundholzpfähle in Sohle oder Ufer ... 39
4.1.4 Buhnenpackwerke als Strömungslenker ... 41
4.1.5 Stulpwand als Dichtungselement ... 42
4.1.6 Sohlstabilisierung durch Knüppellage und Baumwurzeln ... 43
4.1.7 Faschinen zur Ufersicherung ... 44
4.1.8 Lahnung ... 45
4.1.9 Geflecht, Flechtzaun ... 46
4.1.10 Reisig- und Astlagen aus Laub- bzw. Nadelholzreisig ... 46
4.1.11 Kokosnetz verlegen ... 47
4.1.12 Kokosmatte als Filter einbauen ... 47
4.1.13 Kokoswalze ... 48
4.2 Bauweisen mit Gräsern, Röhricht, Stauden ... 48
4.2.1 Normalsaat ... 48

4.2.2 Decksaat ... 49
4.2.3 Nasssaat ... 49
4.2.4 Ansaat in Fugen mit Lehmbrei-/ Samengemisch ... 49
4.2.5 Vegetationsschicht andecken ... 50
4.2.6 Rasensoden, Rasenplaggen oder Fertigrasen andecken ... 50
4.2.7 Fugenbepflanzung mit Kleinballen und Ballenteilen von Gräsern, Stauden und Röhricht ... 50
4.2.8 Ballenpflanzung von Röhricht, Seggen, Feuchtstauden ... 50
4.2.9 Einbau von Vegetationsstücken ... 51
4.2.10 Bepflanzte Kokoswalze ... 51
4.3 Ingenieurbiologische Bauweisen zur Initiierung von Gehölzbeständen ... 52
4.3.1 Steckholzpflanzung ... 52
4.3.2 Setzstangenpflanzung ... 53
4.3.3 Lebendfaschine ... 54
4.3.4 Spreitlage verlegen ... 54
4.3.5 Baumweidenstamm halb eingraben ... 56
4.3.6 Wurzelstockpflanzung ... 56
4.3.7 Pflanzung von Wurzelschnittlingen ... 56
4.3.8 Pflanzung wurzelnackter Pflanzen ... 57
4.3.9 Ballenpflanzung ... 57
4.3.10 Heckenlage ... 57
4.3.11 Buschlagen ... 59
4.4 Bauweisen mit Steinen und Erden ... 60
4.4.1 Steinschüttung ... 60
4.4.2 Stützschwellen aus Steinschüttung ... 62
4.4.3 Bau von Inseln aus Steinschüttungen ... 62
4.4.4 Steinsatz, Steinschlichtung, Drahtsteinkasten ... 63
4.4.5 Lehmschürze horizontal und geneigt bis 1:2,5 ... 66
4.5 Ergänzende Biotopstrukturen ... 67
4.5.1 Aufweitungen in Bach- und Flussläufen ... 67
4.5.2 Heckenpflanzungen ... 67
4.5.3 Fischunterstände in Steinschüttungen oder vor Ufermauern – Rohrstücke aus Beton, Ton oder Stahl ... 67
4.5.4 Vegetationstaschen in Uferwänden ... 67
4.5.5 Schwimmende Inseln ... 67
4.6 Schutz, Unterhaltung und Pflege ... 68
4.6.1 Grundsätzliches ... 68
4.6.2 Pflege von Ufergehölzen ... 68
4.6.3 Schutz und Pflege in der Anwuchs- und Entwicklungsphase ... 69
4.6.4 Laufende Pflege der Anlagen ... 70

Teil 3: Lösungsvorschläge für Berliner Gewässer ... 73

5 Lösungsvorschläge für typische Gewässersituationen in Berlin anhand ausgewählter Beispiele ... 74

5.1 Kleine, regenwassergeprägte Bäche ... 74

5.1.1 Allgemeine Hinweise ... 75
5.1.1.1 Gewässertyp 14 – sandgeprägter Tieflandbach ... 75
5.1.1.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes ... 76
5.1.1.3 Lösungshinweise zur Auswahl von Bauweisen ... 77
5.1.1.3.1 Gestaltung der Sohle, Sohlsicherungen ... 77
5.1.1.3.2 Auswahl der Ufersicherungen ... 78
5.1.1.3.3 Ökologische Verbesserungen ... 79
5.1.2 Beispielgewässer Hellersdorfer Graben ... 80
5.1.2.1 Spezielle Problemstellung ... 80
5.1.2.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes für den Hellersdorfer Graben ... 81
5.1.2.3 Lösungsvorschlag für den Hellersdorfer Graben ... 83
5.1.3 Beispielgewässer Rohrpfuhlgraben ... 85
5.1.3.1 Spezielle Problemstellung ... 85
5.1.3.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes für den Rohrpfuhlgraben ... 87
5.1.3.3 Lösungsvorschlag für den Rohrpfuhlgraben ... 88
5.2 Organische Bäche im Stadtrandgebiet ... 91
5.2.1 Allgemeine Hinweise ... 91
5.2.1.1 Referenzzustand Gewässertyp 11 – organischer Tieflandbach ... 91
5.2.1.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes ... 93
5.2.1.3 Lösungshinweise zur Auswahl von Bauweisen ... 93
5.2.1.3.1 Gestaltung der Sohle, Sohlsicherungen ... 93
5.2.1.3.2 Auswahl der Ufersicherungen ... 94
5.2.1.3.3 Ökologische Verbesserungen ... 95
5.2.2 Beispielgewässer Erpe (Neuenhagener Mühlenfließ) ... 96
5.2.2.1 Spezielle Problemstellung im Stadtrandgebiet ... 96
5.2.2.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes für die Erpe ... 97
5.2.2.3 Lösungen für das Beispielgewässer ... 99
5.3 Sandgeprägter Fluss – Umgang mit Wasserstraßen ... 104
5.3.1 Allgemeine Hinweise ... 104
5.3.1.1 Referenzzustand Fließ-Gewässertyp 15 – sand- und lehmgeprägter Tieflandfluss ... 104
5.3.1.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes ... 105
5.3.1.3 Lösungshinweise zur Auswahl von Bauweisen ... 106
5.3.1.3.1 Gestaltung der Sohle, Sohlsicherungen ... 106
5.3.1.3.2 Auswahl der Ufersicherungen ... 106
5.3.1.3.3 Ökologische Verbesserungen ... 106
5.3.2 Beispielgewässer Stadtspree ... 107
5.3.2.1 Spezielle Problemstellung ... 107
5.3.2.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes für die Spree im Innenstadtbereich 108
5.3.2.3 Lösungsvorschläge für die Stadtspree ... 108
5.4 Flussseen mit Schiffsverkehr und Freizeitnutzung ... 111
5.4.1 Allgemeine Hinweise ... 111
5.4.1.1 Referenzzustand See-Typ 12: Flusssee ... 111
5.4.1.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes ... 112
5.4.1.3 Lösungshinweise zur Auswahl von Bauweisen ... 112

5.4.1.3.1 Auswahl der Sicherung unterhalb des Mittelwassers 112
5.4.1.3.2 Auswahl der Ufersicherungen oberhalb MW 113
5.4.1.3.3 Ökologische Verbesserungen 115
5.4.2 Beispielgewässer Flussseen im Vorstadtbereich 115
5.4.2.1 Spezielle Problemstellung 115
5.4.2.2 Planungsleitbild Flussseen 116
5.4.2.3 Lösungen für Beispielgewässer: Dahmeseen im Stadtrandbereich, hier Grünanlage Grünau 117
5.4.2.4 Lösungen für Beispielgewässer: Spree im Bereich Plänterwald 119
5.5 Natürliche Seen im Berliner Stadtgebiet 122
5.5.1 Allgemeine Hinweise 122
5.5.1.1 Referenzzustand See-Typ 11: Polymiktischer Tieflandsee mit relativ großem Einzugsgebiet 122
5.5.1.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes 123
5.5.1.3 Lösungshinweise zur Auswahl von Bauweisen 123
5.5.2 Beispielgewässer Seen im periurbanen Raum 123
5.5.2.1 Spezielle Problemstellung stadtnahe Seen 123
5.5.2.2 Planungsleitbild Seen im Stadtrandbereich 124
5.5.2.3 Lösungen für Beispielgewässer: Müggelsee 124
5.5.2.3.1 Beispiel 1: Halbschatten 125
5.5.2.3.2 Bespiel 2: Beruhigung und Bepflanzung 125
5.5.2.3.3 Beispiel 3: Intensive Ufersicherung 126
5.5.2.3.4 Zusätzlicher Einbau von Totholz im Wasser 127
5.6 Stege und leicht zugängliche Uferpunkte für Freizeitnutzung und Wassersport ... 127
5.7 Initiieren von Eigendynamik an kleinen und mittleren Flachland-Bächen 131
5.7.1 Allgemeine Hinweise 132
5.7.2 Beispielmaßnahmen 134
5.7.2.1 Packwerksbuhnen 134
5.7.2.2 Einbau von Totholz 135
5.7.2.3 Einbau von Wurzelstöcken 136
5.7.2.4 Bau von Lahnungen 137
5.7.2.5 Steckhölzer 137
6 Literaturverzeichnis 139
Anhang 142
7 Anhang 143
7.1 Baustoffe 143
7.1.1 Lebende Baumaterialien 145
7.1.1.1 Bäume 145
7.1.1.1.1 Baumstamm, bewurzelungsfähig 146
7.1.1.1.2 Wurzelstock, bewurzelungsfähig 146
7.1.1.1.3 Steckholz 146
7.1.1.1.4 Setzstange 146
7.1.1.1.5 Ast 147
7.1.1.1.6 Rute 147

7.1.1.1.7 Lebendfaschine ... 147
7.1.1.1.8 Forstpflanze mit Herkunftsnachweis ... 148
7.1.1.2 Sträucher ... 148
7.1.1.2.1 Steckholz ... 148
7.1.1.2.2 Setzstange (nur *Salix vimminalis*) ... 148
7.1.1.2.3 Ast ... 149
7.1.1.2.4 Rute ... 149
7.1.1.2.5 Faschine ... 149
7.1.1.2.6 Forstpflanze z.T. mit Herkunftsnachweis ... 149
7.1.1.3 Röhricht, Seggen ... 149
7.1.1.3.1 Pflanzen mit Ballen ... 150
7.1.1.3.2 Vegetationsstück ... 150
7.1.1.3.3 Kokoswalzen (Röhrichtwalzen) ... 150
7.1.1.3.4 Rhizom- und Sprößlingsstücke ... 150
7.1.1.3.5 Samen ... 150
7.1.1.3.6 Gräser und Kräuter ... 151
7.1.2 Baustoffe und Bauteile ... 152
7.1.2.1 Holz und Reisig ... 152
7.1.2.1.1 Ganze Bäume mit Wurzelstubben und Starkästen oder Teile zur Strukturverbesserung, als Wellenbrecher ... 153
7.1.2.1.2 Rundholz, Derbstangen ... 154
7.1.2.1.3 Astgabeln, Holzhaken ... 155
7.1.2.1.4 Bohlen ... 156
7.1.2.1.5 Laub- und Nadelholzreisig ... 157
7.1.2.1.6 Reisigfaschinen, Reisigfaschinen mit Kokosmattenummantelung ... 157
7.1.2.2 Natursteine und Erden ... 157
7.1.2.2.1 Wasserbausteine nach DIN 13383 ... 157
7.1.2.2.2 Eiszeitliche Findlinge ... 159
7.1.2.2.3 Künstliche Steine ... 159
7.1.2.2.4 Mineralfilter ... 160
7.1.2.2.5 Schluff und Ton ... 160
7.1.2.3 Kunststoff ... 160
7.1.2.3.1 Pfähle und Bohlen ... 161
7.1.2.3.2 Netze und Schnüre aus Kunststoff sowie natürlichen Materialien ... 161
7.1.2.3.3 Kunststofffilter als Filter zur Vermeidung von Suffusion und Erosion ... 162
7.1.2.4 Stahl und andere Metalle ... 163
7.1.2.4.1 Spundwandprofile, Rammpfähle ... 163
7.1.2.4.2 Rohrstücke als Fischunterstände ... 163
7.1.2.4.3 Drahtgeflechte, Drahtsteinwalzen oder Drahtsteinkörbe ... 164
7.1.2.4.4 Bindedrähte – unbehandelt für vorübergehende Sicherungen ... 164
7.2 Sammlung umgesetzter Beispiele ingenieurbiologischer Bauweisen ... 165
7.2.1 Sandgeprägter Fluss - Uferstrukturierung in der Schnellen Havel ... 165
7.2.1.1 Ausgangssituation ... 165
7.2.1.2 Maßnahmen ... 166
7.2.1.3 Ergebnis und ökologische Aufwertung ... 171
7.2.2 See: Einbau von Totholz im Großen Mochowsee ... 171

7.2.2.1 Ausgangssituation ... 171
7.2.2.2 Befestigung des Totholzes am Ufer ... 174
7.2.2.3 Ergebnis und ökologische Aufwertung ... 177
7.2.3 Renaturierung der Föritz ... 178
7.2.3.1 Ausgangssituation ... 179
7.2.3.2 Umgesetzte Maßnahmen ... 180
7.2.3.3 Ergebnis und ökologische Aufwertung ... 182
7.3 Ingenieurbiologisch einsetzbare Arten mit ausgewählten Standortansprüchen und Hinweisen zur Verwendung ... 184
7.4 Empfehlungen der FLL 2014 zu regionalen Saatgutmischungen für den Raum Berlin ... 195
7.5 Grundlagen zur Bemessung ingenieurbiologischer Bauweisen ... 199
7.5.1 Abflüsse ... 199
7.5.2 Wasserspiegellagenberechnung ... 199
7.5.2.1 Fall 1: Überströmte Vegetation z.B. Rasen oder niedrige Sträucher ... 200
7.5.2.2 Fall 2: Umströmung einzelner starrer Gehölze oder Biotopstrukturen ... 200
7.5.2.3 Fall 3: Undurchlässige Vegetationsstruktur wie dichtes Gebüsch, Röhricht 201
7.5.3 Böschungs- und Geländebruch ... 202
7.5.4 Erosionsstabilität ... 202
7.5.4.1 FROUDE-Zahl ... 203
7.5.4.2 Schleppspannung ... 203
7.5.4.3 Bemessung einer Steinschüttung gegen Strömungserosion ... 206
7.5.5 Sicherheit gegen Auftrieb ... 207
7.5.6 Nachweis der Verdriftungssicherheit von Biotopstrukturen an Ufern ... 207
7.5.7 Prüfung von Pfählen ... 208
7.5.8 Bemessung von Ballast ... 209
7.6 Auswahl an Ausschreibungstexten ... 209
7.6.1 Lebend-Faschine liefern und einbauen ... 209
7.6.2 Spreitlage einbauen ... 209
7.6.3 Steckholz (Setzstange) liefern und einbauen ... 210
7.6.4 Vegetationsschicht lösen und andecken ... 210
7.6.5 Plaggen gewinnen und andecken ... 211
7.6.6 Holzpfähle liefern und einbauen ... 211
7.6.7 Holzhaken - Erdnägel liefern ... 211
8 Glossar ... 212

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht zu den Zuständigkeiten der Gewässer im Land Berlin 18
Tabelle 2: Referenzbedingungen für Typ 14 – sandgeprägte Bäche (Quelle: verändert nach BUNDESUMWELTAMT, 2014) 75
Tabelle 3: Referenzbedingungen für LAWA-Typ 11 – organisch geprägte Bäche 92
Tabelle 4: Natürliche Dauerhaftigkeit mitteleuropäischer Holzarten (HACKER/JOHANNSEN 2012) 152
Tabelle 5: Maße für Derbstangen und Rundhölzer 154
Tabelle 6: Netze und Schnüre aus Kunststoff und natürlichen Materialien (HACKER/JOHANNSEN 2014) 162
Tabelle 7: Aktuelle Gewässerstrukturgüte im Planungsgebiet 165
Tabelle 8: Kennzeichnung und Größe der geschädigten Bäume und Art der Sicherung 173
Tabelle 9: Baumarten mit ausgewählten Standortansprüchen und biotechnischen Eigenschaften 184
Tabelle 10: Straucharten mit ausgewählten Standortansprüchen und biotechnischen Eigenschaften 187
Tabelle 11: Röhrichte und Seggen mit ausgewählten Standortansprüchen und biotechnischen Eigenschaften 190
Tabelle 12: Arten für die Regionsaatgutmischung UG 4 – Ostdeutsches Tiefland (FLL 2014) 195
Tabelle 13: Arten für die Regionsaatgutmischung UG 22 – Uckermark mit Odertal (FLL 2014) 197
Tabelle 14: Unregelmäßigmäßigkeitsbeiwert α nach SCHRÖDER /RÖMISCH 2001 200
Tabelle 15: Verstärkungskoeffizient ε nach SCHRÖDER /RÖMISCH 2001 204
Tabelle 16: Belastbarkeit von Pflanzenbeständen an Ufern und Vorländern 205
Tabelle 17: Belastbarkeit von Böden und Substraten an Ufern und Vorländern 205
Tabelle 18: Belastbarkeit von ingenieurbiologischen Bauweisen an Ufern und Vorländern 206
Tabelle 19: Reibungswinkel φ in natürlichem Material nach SCHRÖDER/RÖMISCH 2001 207
Tabelle 20: Empfohlene Sicherheitsbeiwerte für Einwirkungen 208
Tabelle 21: Empfohlene Sicherheitsbeiwerte für Widerstände 208

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Überblick des Gewässernetzes im Land Berlin (Quelle: Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz) 19
Abb. 2: Verteilung der Fließgewässertypen und Flussseen sowie Messstellen des operativen Monitorings im Land Berlin (Quelle: Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz) 20
Abb. 3: Ablegen eines Baumes mit erheblichen Stammteilen oberhalb des Bemessungshochwassers (links), Festlegung eines gefällten Baumes durch Eingraben in die Uferböschung und Überschüttung mit Steinen (rechts) 38
Abb. 4: Totholzsicherung durch Ballaststeine und Stahlketten als Schutz vor Verdriftung 38
Abb. 5: Einbau von Wurzelstubben (Totholz) und Sicherung durch Steinschüttung als Maßnahme zur Sanierung von Tiefenerosion (links 2003, Mitte 2019, Fotos: Rolf Bostelmann); Befestigung eines Wurzelstockes mit Setzstangen (rechts, schematisch). Aus: BOSTELMANN / NADOLNY 2005 39
Abb. 6: Wirkprinzipien Buhnen in Anlehnung an BAW- Bundesanstalt für Wasserbau (BAW 2018) 40
Abb. 7: Deklinante Holzpfahlreihe (Palisade) an der Erpe zur Strukturverbesserung und Ableitung von Mähgut (Winter und Sommer) 41
Abb. 8: Entstehung einer Packwerksbuhne aus austriebsfähigen Faschinen 41
Abb. 9: Fertiggestellte Packwerksbuhnen 42
Abb. 10: Dichtungswand aus Eichenbohlen, doppelreihig mit Kopfbalken kurz nach Einbau und 3 Jahre später 43
Abb. 11: Knüppellage mit Erlenbepflanzung im Einbauzustand 43
Abb. 12: Knüppellage mit Erlenbepflanzung nach 10-15 Jahren 44
Abb. 13: Faschinen zur Stützung einer Vorschüttung, Abdeckung des Schüttbodens durch Mulch und Kokosnetz nach einer Ansaat, Sicherung durch Holzhaken (links, Foto Johannsen) und strömungsabweisende Faschinen mit Jutegewebe als Anfangssicherung (rechts) 45
Abb. 14: Beispiel für eine Lahnung 45
Abb. 15: Palisaden zum Schutz der Schilfgürtel an den Dahmeseen in Berlin 46
Abb. 16: Reisiglage aus Fichtenreisig zur Sicherung einer Pflanzfläche im häufig überströmten Vorland, Befestigung mit Holzpflöcken und Spanndraht (links, Foto Johannsen) und an einer steilen Böschung zur Anfangssicherung der vegetationsfreien Zwischenbereiche einer Heckenlage, Befestigung durch Derbstangen (rechts) 47
Abb. 17: Kokosmatte (links) und verschiedene Kokosnetze (Mitte und rechts) 48
Abb. 18: Kokoswalze mit eingepflanzten Röhrichtballen an einem flachen Ufer (Skizze in Anlehnung an ZEH 2007) 51
Abb. 19: Ufersicherung durch dichte Steckholzpflanzung, Böschungsfußsicherung durch Reisigfaschine (Foto R. Johannsen) 52

Abb. 20: Schematische Darstellung einer Setzstange mit Wurzelentwicklung (in Anlehnung an GEITZ 2000) ... 53
Abb. 21: Lebendfaschinen, Einbau am Hang mit Sicherung: Variante Steckholz und Stahlsstab ... 54
Abb. 22: Weidenspreitlage als Ufersicherung an einem Berglandfluss, Befestigung durch Holzpflöcke und Spanndraht, Fußsicherung durch Steinsatz (links), Fixierung durch Derbstangen und Rundholzpfähle), Fußsicherung durch Faschinen (rechts) (Fotos beide R. Johannsen) ... 55
Abb. 23: Schematische Darstellung einer Weidenspreitlage in Anlehnung an GEITZ 2000 ... 55
Abb. 24: Eingebauter Wurzelstubben mit ausgetriebenen Zweigen an der Taft (links, Thüringen) und kurz nach Einbau an der Nidda (rechts, Hessen) ... 56
Abb. 25: Heckenbuschlage in der Herstellung (links) und ca. 3 Jahre nach Fertigstellung (rechts) ... 58
Abb. 26: Schematische Zeichnung einer Heckenlage in einer ca. 1:2 geneigten Böschung ... 58
Abb. 27: Buschlage aus austriebsfähigen Weidenästen ... 59
Abb. 28: Grobkiesschüttung als Böschungsfusssicherung der Unterwasserböschung kombiniert mit Kurzbuhnen als Strömungsabweiser (links, Foto R. Johannsen) und Steinschüttung mit Lesesteinen auf Kunststofffilter (rechts) ... 61
Abb. 29: Mit Steckhölzern begrünte Steinschüttung in Anlehnung an GEITZ 2000, S. 102 ... 61
Abb. 30: Nicht maßstäbliche Prinzipskizze einer Schwellenstaffel mit verschiedenen Dichtungsmöglichkeiten, keine Fischdurchgängigkeit ... 62
Abb. 31: Inseln und Buhnen zur Strukturverbesserung eines für den Hochwasserschutz ausgebauten Gewässers in der Stadt (Assenheim, Hessen), links Buhnen nach dem Einbau, mit Kiesüberrieselung und rechts Insel nach 1 Jahr Entwicklung und höherem Abfluss (Fotos: Frank Spundflasch) ... 63
Abb. 32: Die Abbildung zeigt Fugenbegrünung in einem Steinsatz am Brückenprofil links nach der Keimung und rechts nach mehrjähriger Entwicklung (Fotos: Frank Spundflasch) ... 64
Abb. 33: Steinschlichtung als Ufersicherung in einer Ortslage (links), Steinschlichtung an einer Bundesstraße (rechts) (Fotos R. Johannsen) ... 64
Abb. 34: Abgedichteter Gewässerverlauf - an den Böschungen noch sichtbar - die Tondichtung, geschützt durch Mineralfilter und Steinschüttung – Bauphase mit Wasserhaltung (links) und in Trockenphase (rechts) ... 66
Abb. 35: Schutz eines Lehmkernes vor Abspülen durch fließendes Wasser, Schritt 1, 2 und 3, Schwelle ohne Nachbettsicherung, da von unten eingestaut ... 66
Abb. 36: Beispiel für Pflege- und Erziehungsschnitte an Ufergehölzen ... 69

Abb. 37: Hellersdorfer Graben mit Trapezprofil und Rasensteingitterplatten als Ufersicherung (links) und Wernergraben mit abwechselnder Profilgestaltung (rechts) im Stadtgebiet 74
Abb. 38: Referenzstrecke Typ 14 –Stierngraben bei Gerswalde (LK Uckermark) 76
Abb. 39: Hellersdorfer Graben entlang der U-Bahnlinie U5 zwischen U-Hellersdorf und U-Louis-Lewin-Straße – Ausgangssituation: Fotos oben Höhe U-Bahnhof Luis-Lewin-Straße; Zeichnung unten – schematischer Gewässerquerschnitt 81
Abb. 40: Vegetation am Hellersdorfer Graben 82
Abb. 41: Aufsicht Planungsvorschlag Hellersdorfer Graben 84
Abb. 42: Querschnitt eines ausgewählten Details im Regelprofil des Planungsvorschlages für den Hellersdorfer Graben 84
Abb. 43: Querschnitt eines ausgewählten Details in Gewässeraufweitung des Planungsvorschlages für den Hellersdorfer Graben 85
Abb. 44: Längsschnitt durch die Sohle mit Palisadenreihe zur Markierung der zu erhaltenden Sohlhöhe im Planungsvorschlag für den Hellersdorfer Graben .. 85
Abb. 45: Rohrpfuhlgraben zwischen B 1 und Hultschiner Damm: Fotos oben – Ausgangssituation mit aufgrund von Beschattung offener Böschung (links) und in sehr beengten Platzverhältnissen (rechts); Zeichnung unten – schematischer Gewässerquerschnitt im Bestand 86
Abb. 46: Elsenseezufluss vor Sanierung 87
Abb. 47: Querschnitte des Planungsvorschlages für den oberen Teil des Rohrpfuhlgrabens 89
Abb. 48: Schematisches Querprofil mit Details für den Einbau einer Kokoswalze mit Seggenhinterpflanzung 90
Abb. 49: Schematische Darstellung einer Heckenlage im unteren Rohrpfuhlgraben (rechte Böschung) und aktuelle Sanierungssituation am gleichen Grabenabschnitt wie vorher (linke Böschung) 91
Abb. 50: Referenzstrecke Typ 11 – organischer Bach –Oberlauf des Wuggel (links), Ressener Mühlenfließ kurz vor der Mündung in den Großen Schwielochsee (rechts) 93
Abb. 51: Befestigung von Totholz am Gewässerufer mit Hilfe von Setzstangen (Foto: E. Hacker) 95
Abb. 52: Ausgangszustand der Erpe im Bereich Friedrichshagen 97
Abb. 53: Vegetation an der Erpe im Ortsteil Friedrichshagen mit strömungsabweisenden Palisaden (links) und Massenentwicklung von Pestwurz in Höhe des Klärwerkszulaufes (rechts) 99
Abb. 54: Variante 1: Ufersicherung mit Uferabflachung , Kokoswalze mit Bepflanzung und Steckholzpflanzung auf der Nordseite 100
Abb. 55: Variante 2: Ufersicherung unter Nutzung der noch vorhandenen Pfähle mit Erstsicherung der Ufer durch Flechtzäune, Hinterpflanzung mit Röhricht, Ufersicherung mit Kokosmatte 101

Abb. 56: Variante 3: Ufersicherung unter Nutzung der noch vorhandenen Pfähle mit Kokoswalze und Hinterpflanzung mit Röhrichten 101
Abb. 57: Variante 4: Gewässeraufweitung mit Baumstammbündel und Hinterpflanzung mit Weidensteckhölzern (oben) 102
Abb. 58: Variante 4: Baumstammbündel und Pfahlreihe mit Kokoswalze und Bepflanzung zur Sicherung erosionsgefährdeter Böschungen (in Aufweitungen nicht erforderlich), Beispiel Totholzeinbau am Großen Mochowsee, Land Brandenburg (Bild oben)..... 103
Abb. 59: Variante 4: Alternative für die Gestaltung von langsam fließenden Gewässern zur Anreicherung der Gewässerstrukturen, hier Einbau einer Astlage mit Uferbepflanzung aus Seggen und Röhrichten..... 103
Abb. 60: Natürliches Laufbild eines Flusstyps 15 (Schnelle Havel bei Zehdenick, parallel dazu wurde der Vosskanal errichtet; Bild: L. Landgraf) 105
Abb. 61: Überhängende Vegetation (links) und Pflanzkästen (rechts) an der Ucker in Prenzlau 107
Abb. 62: Spree am Schlesischen Ufer (links) und am Schlosspark Charlottenburg (rechts)..... 107
Abb. 63: Erprobungsversuch mit lebenden Inseln auf dem Schollener See (Foto und Abbildung: Henning Günther) 109
Abb. 64: Öffnungen der Spundwand im Berliner Innenstadtbereich mit üppiger Vegetation (Foto: Eva Hacker) 110
Abb. 65: Regeneration einer Flatter-Ulme am Ostufer der Dahmeseen..... 114
Abb. 66: Havelufer im Vorstadtbereich (Bild: E. Hacker) 114
Abb. 67: Dahmesee mit Spundwand aus Stahlbeton und regem Schiffsverkehr..... 115
Abb. 68: Vegetation an natürlichen Ufern der Dahmeseen..... 117
Abb. 69: Auflösen der Uferspundwand durch Steinschüttung, Einbau von Fischunterständen unter Niedrigwasser 118
Abb. 70: Begrenzung der Steinschüttung durch Palisaden, Einbau von Steckhölzern 119
Abb. 71: Uferansichten der Spree am Plänterwald 119
Abb. 72: Querschnitt einer Bespielplanung für einen Bereich mit breiten Flachwasserabschnitten, die nicht als Fahrrinne dienen (Abschnitt Plänterwald), unten: Ausgangszustand, in Anlehnung an BEZIRKSAMT TREPTOW-KÖPENICK 2012 121
Abb. 73: Beispiel für ein Uferbild am Müggelsee, links: Badestrand Rahnsdorf, rechts: Waldufer..... 124
Abb. 74: Ufersicherung am Seeufer mit Reisigpacklage und Faschine sowie ggf. Hinterpflanzung mit halbschattenverträglichen Sträuchern..... 125
Abb. 75: Möglichkeit einer eigenständigen Uferbesiedlung mit Trittschutz..... 126
Abb. 76: Ufersicherung mit Faschine und Röhrichtwalzen sowie Totholz als Wellenbrecher..... 127
Abb. 77: Steg als Stahlkonstruktion mit Rundholzvorsatz..... 130

Abb. 78: Steg als Fischunterstand mit Reisigpackung 131
Abb. 79: Erlen am Ressener Mühlenfließ: An dem in den 70er Jahren begradigten Gewässer haben sich Erlen an der Mittelwasserlinie angesiedelt, die mit zunehmendem Dickenwachstum eine allmähliche Verlegung des Stromstriches auf das gegenüberliegende Ufer herbeiführen und das Gewässer dadurch allmählich umgestalten. 132
Abb. 80: Referenzstrecke am Tegeler Fließ (Bild: Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz) 133
Abb. 81: Beispiel für die Entstehung einer Packwerksbuhne aus Faschinen 135
Abb. 82: Totholzelemente als Totholzbuhne und Totholzinsel in der Schnellen Havel 136
Abb. 83: Totholzeinbau mit eingegrabenem Wurzelballen 137
Abb. 84: Beidseitig gepflanzte Erlen noch ohne Wirkungen auf die Gewässerentwicklung (Stierngraben, Brandenburg) 138
Abb. 85: Überlegungen zur Wirkung ingenieurbiologischer Sicherungen als Widerstände gegen Einwirkungen von fließendem Wasser 144
Abb. 86: Herstellung von Lebendfaschinen mit dem Dreibock im Bauseminar der FH Geisenheim (Foto: M. Tunkowski) 147
Abb. 87: Prinzipskizze Baumstamm mit Wurzelteller für den Antransport und Einbau im Gewässer als Strukturelement 154
Abb. 88: Große Rundholzpfähle zum Einbau in einen sandgeprägten Tieflandfluss, verschiedene Ausführungen 155
Abb. 89: Verschiedene Haken aus Stahl, vorgefertigt aus Holz sowie vor Ort hergestellte Astgabeln 156
Abb. 90: Bohlen aus Eiche, unten einseitig angeschrägt 156
Abb. 91: Ankersteine mit einbetonierter Öse 159
Abb. 92: Fischunterstand aus Recyclingmaterial mit Auflage aus Vegetationsstücken (links); Poller aus Kunststoff zur Abgrenzung einer Fahrspur an einem Durchlass (rechts). 161
Abb. 93: Offenliegender Kunststofffilter nach Versagen der Ufersicherung aus Totholz-Faschinen 162
Abb. 94: Prinzipskizze Uferabflachung mit Röhrichtbewuchs und Faschinensicherung am Böschungsfuß 167
Abb. 95: Materiallagerung Steckhölzer (links) und eingebautes, ausgetriebenes Steckholz (rechts) 167
Abb. 96: Kiesdepots bei extremen Niedrigwasser 168
Abb. 97: Beispiel für die Entstehung einer Packwerksbuhne aus Faschinen 169
Abb. 98: Eingebautes, verzweigtes Totholz mit Sicherung durch Ballaststeine (links oben) und eingraben (rechts) 169
Abb. 99: Frisch angeschlossener Altarm mit in Entstehung begriffener Mittelwasserschwelle im alten Hauptlauf, Prallhang und Packwerksbuhne zur Einengung und Lenkung des Stromstrichs. 170

Abb. 100: Bilder aus der Abnahme Pflege im Jahr 2016 – 1-2 Jahre nach Umsetzung der Maßnahme 171
Abb. 101: Bruchgefährdete Bäume am Großen Mochowsee mit Steganlage (linkes Foto) und Wanderweg (beide Fotos) im Hintergrund (Fotos Isabell Hiekel). 172
Abb. 102: Art der Ablage der gefällten Bäume auf dem Ufer des Großen Mochowsees, die Kronen liegen in der Flachwasserzone. 174
Abb. 103: Schematische Darstellung der Pfahlsicherung 175
Abb. 104: Pfahlsicherung nach Umsetzung am Großen Mochwosee 176
Abb. 105: Kettensicherung nach Umsetzung am Großen Mochowsee 176
Abb. 106: Schematische Darstellung der Kettensicherung 177
Abb. 107: Drahtsicherung nach Umsetzung am Großen Mochowsee, zu locker gebunden! 177
Abb. 108: Eindrücke vom Ufer des Sees nach Umsetzung der Maßnahme..... 178
Abb. 109: Ausgangszustand der Gewässerstruktur an der Föritz vor Maßnahmenumsetzung (Quelle JOHANNSEN & SPUNDFLASCH 2015) 180
Abb. 110: Auszug aus der Entwurfsplanung zur Renaturierung Föritz (JOHANNSEN/SPUNDFLASCH 2000) 181
Abb. 111: Selbstbegrünung durch Vegetationsandeckung unter Kokosnetz (links), leichte Sicherungen aus Faschinen, Steckhölzern und Jutegewebe zur Minderung zu starker Erosion am Anfang der Gewässerentwicklung (rechts)..... 182
Abb. 112: Gewässerstruktur an der Föritz 2005 nach Maßnahmenumsetzung (links) und 2013 nach ca. 10-jähriger Entwicklung (rechts), (Quelle JOHANNSEN & SPUNDFLASCH 2015)..... 183
Abb. 113: Bachbettentwicklung in ungesichertem Prallhangabschnitt (links), durch Steckhölzer hervorgerufene Entwicklungsdynamik (rechts, alles 2018, 15 Jahre nach Umsetzung) 183
Abb. 114: Berücksichtigung der Wirkung von einzelnen Bäumen, Sträuchern oder anderen Strukturen auf den Hochwasserabfluss nach ACHTEN 1998 (aus HACKER/JOHANNSEN 2014. Eugen Ulmer KG. Stuttgart) 201
Abb. 115: Berücksichtigung einer undurchlässigen Vegetationsstruktur durch eine fiktive Trennfläche (aus HACKER/JOHANNSEN 2014. Eugen Ulmer KG. Stuttgart) 202
Abb. 116: Darstellung der Sohl- τ_S und Böschungsschleppspannung $\tau_{S,P}$ eines Trapezprofils an einem Prallufer..... 204

Abkürzungsverzeichnis

BDB	Bund Deutscher Baumschulen
BNatSchG	Bundesnaturschutzgesetz
BIUW	Büro für Ingenieurbiologie, Umweltplanung und Wasserbau
BWG	Berliner Wassergesetz
DIN	Deutsches Institut für Normung
DPR	Proktor-Dichte
DVWK	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall (ältere Bezeichnung
DWA	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall
DWA-M	Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall- Merkblatt
EFIB	Europäische Föderation für Ingenieurbiologie
EN	Euronorm
EU	Europäische Union
FFH	Flora-Fauna-Habitat
FLL	Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V.
GIS	Geographisches Informationssystem
GW	Grundwasser
HMWB	Stark veränderte Gewässer (Haevily Modified Water Bodies)
HOAI	Honorarordnung für Architekten
HW	Hochwasser (gängige Größen sind etwa HW2, HW5, HW10, HW25, HW50, HW100, für statistisch 1-jährliches (jedes Jahr zu erwartendes), 2-, 5-, 10-, 25-, 50-, 100-jährliches Hochwasser)
HWRM-RL	Hochwasserrisikomanagementrichtlinie
k.A.	keine Angabe
LAWA	Bund/Länder-Arbeitsgemeinschaft Wasser
MNW	mittlere Niedrigwasser
MW	Mittelwasser
OGewVO	Oberflächengewässerverordnung
SenUVK	Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz Berlin
SPA	Special Protection Areas
UBA	Umweltbundesamt
UG	Ursprungsgebiet
UVP	Umweltverträglichkeitsprüfung
VOB	Vergabe- und Vertragsordnung für Bauleistungen
WHG	Wasserhaushaltsgesetz
WRRL	Wasserrahmenrichtlinie
ZTV-T	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Tragschichten
ZTV-W	Zusätzliche Technische Vertragsbedingungen für Wasserbauwerke

1 Veranlassung und Zielsetzung

Im urbanen Raum stellt die Herstellung und Erhaltung eines naturnahen Ufers aufgrund vielseitiger Nutzungsansprüche eine besondere Herausforderung dar. Ingenieurbiologische Grundprinzipien und Bauweisen sind geeignet, die Sicherungs-, Erlebnis- und Lebensraumfunktion an Gewässerufern zu unterstützen. Im Rahmen der vorliegenden Handlungsempfehlungen sollen Möglichkeiten beschrieben werden, mit deren Hilfe Ufer im urbanen Umfeld ökologisch gestaltet werden können.

Es wird an Hand konkreter Beispiele gezeigt, wie typische Probleme an Gewässerufern der Stadt Berlin mit Hilfe ingenieurbiologischer Bauweisen gelöst werden können. Gleichzeitig werden die dafür empfehlenswerten Pflanzenarten, ergänzende Hilfs- und Baustoffe sowie deren jeweilige Funktionen erläutert. Die Handlungsempfehlungen erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, sondern verstehen sich als Ideengeber für die im Detail immer andersartigen Problemstellungen im naturnahen Wasserbau.

1.1 Zielstellung der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)

Mit der Richtlinie 2000/60/EG[1] trat im Dezember 2000 ein Regelwerk innerhalb der Europäischen Union in Kraft, welches die Wasserpolitik in Europa nachhaltig gestaltet. Mit der sogenannten Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) wurde es möglich, das in zahlreiche Einzelrichtlinien zersplitterte Wasserrecht der EU in einer Richtlinie auf der Grundlage moderner Ansätze des Gewässerschutzes zu bündeln.

Die WRRL gilt als ein verbindliches Regelwerk einer gemeinsamen Gewässerschutzpolitik für alle Mitgliedsstaaten der Europäischen Union unabhängig von Verwaltungs- und Ländergrenzen. Die berichtspflichtigen Gewässer werden dabei als einheitliche Ökosysteme verstanden, die es Länder- und Staatsgrenzen überschreitend zu betreuen gilt. Die Mitgliedsstaaten der EU sind verpflichtet, eine Verschlechterung des aktuellen Zustands der Gewässer zu verhindern **(Verschlechterungsverbot)**.

Zudem regelt die WRRL, dass die Mitgliedstaaten alle natürlichen Oberflächengewässer schützen, verbessern und sanieren, um einen guten ökologischen Zustand zu erreichen **(Schutz-, Verbesserungs- sowie Sanierungsgebot)**. Analog dazu werden alle künstlichen sowie erheblich veränderten Gewässer geschützt, verbessert und saniert, um ein gutes ökologisches Potenzial zu gewährleisten.

Die EU- Wasserrahmenrichtlinie (Richtlinie 2000/60/EG) wurde mit der Novellierung des **Wasserhaushaltsgesetzes** (WHG)[2] im Juni 2002 erstmals in deutsches Recht übertragen. Konkretisierungen werden in den jeweiligen Landeswassergesetzen vorgenommen, sodass in Anlehnung an das bundesdeutsche WHG das **Berliner Wassergesetz** (BWG) vom 17. Juni 2005 ebenfalls die Forderungen der WRRL umsetzt.

[1] Richtlinie 2000/60/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik

[2] Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushalts (Wasserhaushaltsgesetz – WHG Ausfertigungsdatum 31.07.2009)

1.2 Kurzcharakteristik der Berliner Gewässer

Das Land Berlin verfügt über ein umfangreiches Gewässernetz, welches sich aus diversen Seen, Flussseen, Flüssen und Fließen sowie Kanälen und Gräben zusammensetzt. Diese unterteilen sich in Gewässer 1. und 2. Ordnung.

In Berlin ist für die Bundeswasserstraßen (schiffbaren Gewässer 1. Ordnung) das Wasser- und Schifffahrtsamt Berlin zuständig, für alle anderen Gewässer 1. Ordnung und Fließgewässer 2. Ordnung die Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz. Dabei liegt die Gewässeraufsicht bei der Wasserbehörde (Referat II D), die wasserwirtschaftlichen Grundlagen und die Koordination der Umsetzung der EU-WRRL sowie die Erstellung konzeptioneller Planungen beim Referat für Wasserwirtschaft, Wasserrecht und Geologie (Referat II B), die Unterhaltung beim Objektmanagement Wasser (V OW), die Planung und Ausführung von Wasserbauprojekten. Für die Erhaltung und die Pflege der stehenden Gewässer 2. Ordnung sind die für Naturschutz bzw. Grünflächen zuständigen Ämter der Bezirke verantwortlich.

Tabelle 1: Übersicht zu den Zuständigkeiten der Gewässer im Land Berlin

Art des Gewässers		**Zuständigkeit**
Gewässerordnung	Art	
Bundeswasserstraßen		
Gewässer 1. Ordnung	Fließgewässer	Unterhaltung und Durchgängigkeit: WSA Berlin Umsetzung WRRL, Unterhaltung landeseigener Ufer und Müllbeseitigung: SenUVK
	Flussseen von Dahme, Havel und Spree	
	durchflossene Seen (Großer Müggelsee)	
Landesgewässer		
Gewässer 2. Ordnung	Seen > 50 ha	Umsetzung WRRL: SenUVK, Unterhaltung: Bezirksämter
	Standgewässer < 50 ha	Unterhaltung: Bezirksämter
	Fließgewässer	Umsetzung WRRL: Unterhaltung: SenUVK

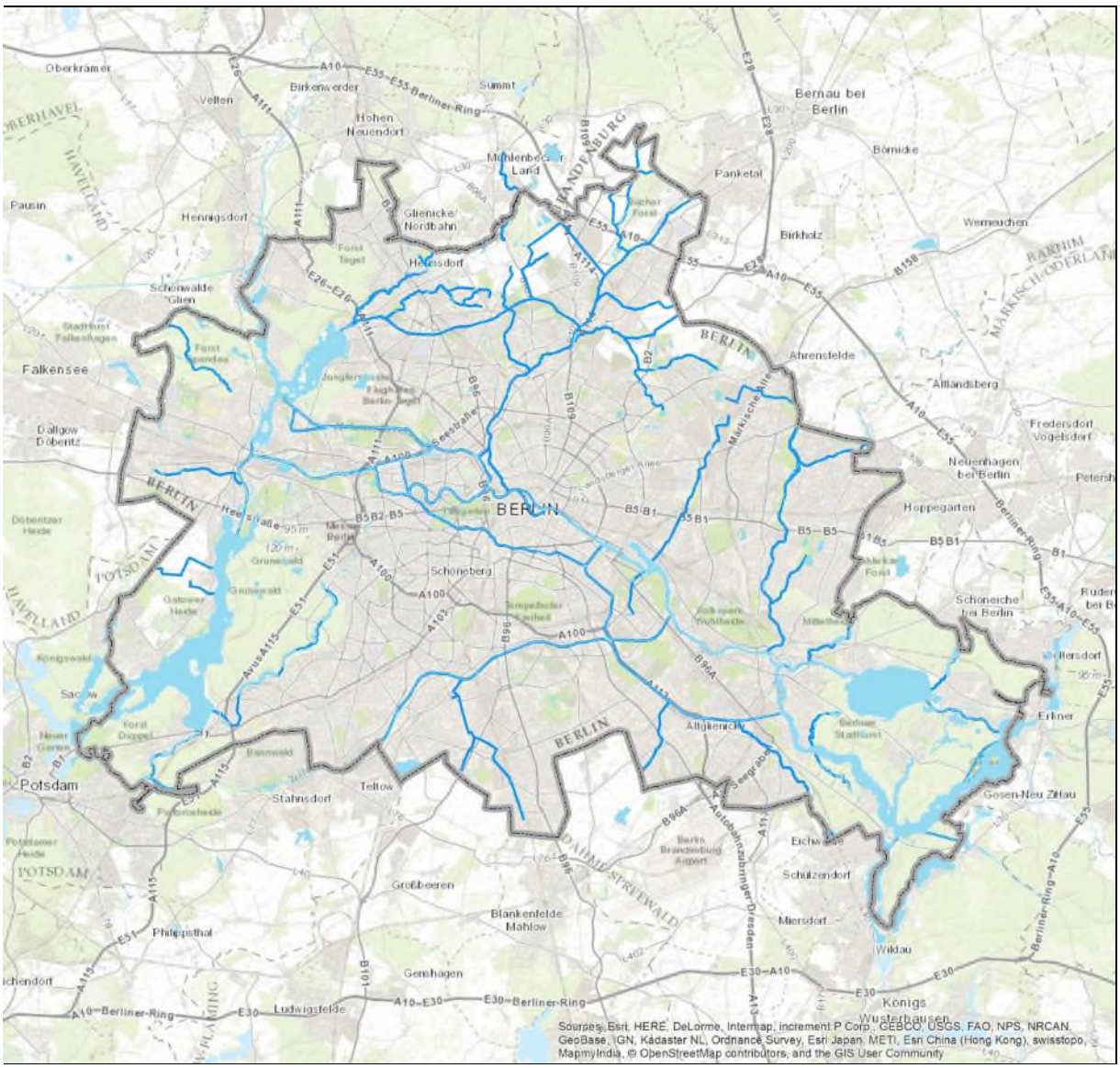


Abb. 1: Überblick des Gewässernetzes im Land Berlin (Quelle: Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz)

Für die Behandlung der Gewässer gemäß WRRL ist entscheidend, in welche ökologischen Typen diese eingeordnet werden. Hier sind für die Berliner Gewässer vor allem folgende Gewässertypen zu betrachten:

Bäche:	Typ 11: organischer Bach
	Typ 14: sandgeprägter Bach
	Typ 19: Niederungsbach (karbonatisch)
Flüsse:	Typ 12: organischer Fluss
	Typ 15_g: sand- und lehmgeprägter Tieflandfluss
Seen:	Typ 11: Polymiktischer Tieflandsee mit relativ großem Einzugsgebiet
	Typ 12: Flusssee im Tiefland

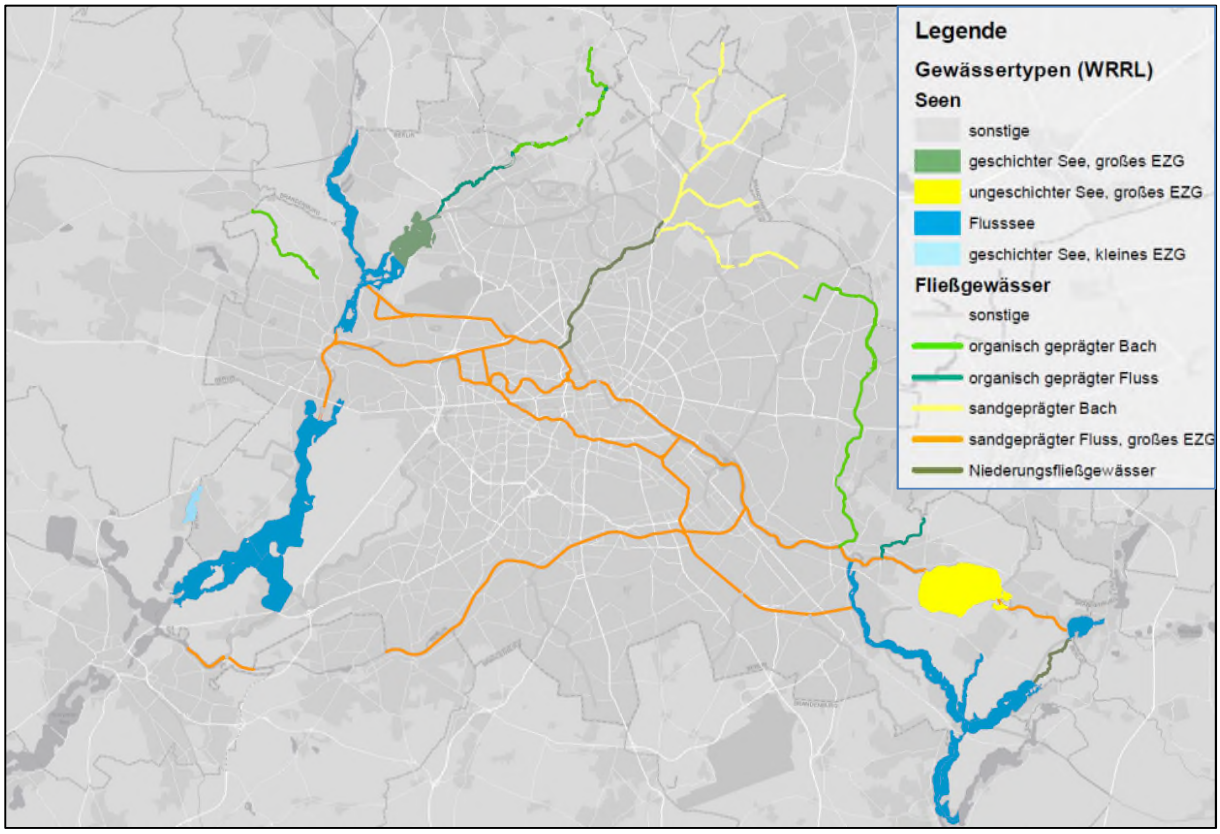


Abb. 2: Verteilung der Fließgewässertypen und Flussseen sowie Messstellen des operativen Monitorings im Land Berlin (Quelle: Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz)

Die meisten Gewässer im Land Berlin gehören zu den stark veränderten Gewässern (HMWB). Für diese Gewässer gelten ggf. abgeschwächte ökologische Anforderungen. Für die Behandlung der HMWB im Land Berlin im Sinne der EU-WRRL sei auf SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT (2013) verwiesen.

1.3 Eingrenzen der Aufgabenstellung

Die vorliegende Handlungsempfehlung ist als Entscheidungshilfe für die Wahl und die Errichtung ökologisch hochwertiger Ufersicherungen für urbane Gewässer im Land Berlin gedacht. Für diesen Zweck werden Lösungen auf der Grundlage der ökologischen Anforderungen der im Raum Berlin vorkommenden berichtspflichtigen Gewässer angeboten. Diese sollen den Nutzer befähigen, vorhandene Ufersicherungen instand zu setzen und dabei möglichst ökologisch aufzuwerten.

Umfassende Maßnahmen des Gewässerausbaues und der Gewässerrenaturierung bedürfen nach wie vor der Erarbeitung einer vollständigen Genehmigungsunterlage.

Die angebotenen Lösungen enthalten Hinweise auf:

- die üblichen Einsatzbereiche;
- die Art der Bauweise und ihrer Bestandteile;
- die verwendbaren Pflanzen und Pflanzenteile;
- weitere zu verwendende Baustoffe und technische Hilfsmittel;
- Größen-, Tiefen- und Längenangaben bzw. Verhältnisse, soweit für die Bauausführung erforderlich oder verallgemeinerbar;
- weiterführende Hinweise auf notwendige Untersuchungen oder erforderliche Grundlagen

Dabei ist zu beachten, dass grundsätzlich ein sich natürlich entwickelndes Ufer einer wie auch immer gearteten Ufersicherung vorzuziehen ist, sofern die Randbedingungen dies zulassen.

Das Land Berlin gehört naturräumlich zum Norddeutschen Tiefland. Die bisher herausgegebenen Handlungsempfehlungen im Bereich Ingenieurbiologie konzentrieren sich auf die Naturräume der Gebirge und Hügelländer. Daher stellen die hier vorliegenden Handlungsempfehlungen eine Neuerung dar, welche sich auf Problemstellungen und Lösungsvorschläge konzentriert, die der besonderen Situation des Flachlandes Rechnung tragen.

2 Inhalt der Handlungsempfehlung

Das Buch besteht aus 4 Teilen:

1. Planungsgrundsätze
2. Bauweisen
3. Lösungsvorschläge
4. Anhang

In Teil 1 (Kap. 3) werden die wichtigsten Planungsgrundsätze für Sicherungs- und Strukturierungsbauweisen an Gewässern des Flachlandes dargelegt. Außerdem werden die verschiedenen Planungsphasen beschrieben sowie die erforderlichen bautechnischen Nachweise genannt.

Teil 2 (Kap. 4) dient der Darstellung der Einzelbauweisen, die beispielhaft in Teil 3 zur Lösung der Aufgabenstellung herangezogen werden oder die prinzipiell im Raum Berlin anwendbar sind. Hier werden insbesondere die Funktion und die Wirkmechanismen beschrieben, denen diese Bauweise dient, und außerdem auf die Grenzen ihrer Anwendung hingewiesen. Es wird jedoch darauf verzichtet, Kombinationen von Einzelbauweisen vorzustellen. Diese Kombinationsmöglichkeiten sind sehr vielfältig und variabel und werden in der Regel von Maßnahme zu Maßnahme leicht abgewandelt. Es ist die Aufgabe der Fachplaner die jeweils sinnvollsten Kombinationen zu wählen.

Teil 3 (Kap. 5) zeigt anhand von Berliner Beispielgewässern, welche Lösungsmöglichkeiten für eine Aufgabenstellung bestehen können und was dabei zu beachten ist. Dieses Kapitel wendet sich an die Planer und beschreibt den Weg, wie über die Problemstellung und das Planungsleitbild für das Gewässer die einzelne bauliche Lösung entwickelt werden kann. Diese Planungslösung ist nicht universell und in der Regel auch nicht ausschließlich. Eine vollständige Übertragbarkeit ist nicht gegeben, weil an einem anderen Standort in der Regel mindestens geringfügig andere Rahmenbedingungen (Exposition, Boden, Beschattung, Nutzungsdruck, Platzverfügbarkeit) zu beachten sind. Demgegenüber können am gleichen Standort durchaus verschiedene Kombinationen von Bauweisen zur Lösung der Aufgabenstellung führen.

Im **Anhang** (Kap. 7) werden die Baustoffe vorgestellt, die in der Ingenieurbiologie „und für die hier beschriebenen Lösungen“ in Frage kommen. Außerdem finden sich hier Steckbriefe umgesetzter Maßnahmen mit weiterführenden Details in Form von Skizzen, Fotos und einer Kostenzusammenstellung. Die Kostenzusammenstellung beruht auf den mittleren, bei öffentlichen Ausschreibungen erzielten Marktpreisen im Zeitraum zwischen 2015 und 2017. Sie ist in jedem Fall und insbesondere im Verlauf der Zeit kritisch von den Vorhabenträgern zu prüfen. Außerdem können dem Anhang zusätzliche Angaben zu den im Landschaftsraum Berlin ingenieurbiologisch einsetzbaren Pflanzenarten, Empfehlungen zu regionalen Saatgutmischungen sowie ausgewählte Leistungstexte für Ausschreibungen entnommen werden.

Den Abschluss bildet ein Glossar (Kap. 8).

Teil 1:
Planungsgrundsätze

3 Planung und Bemessung ingenieurbiologischer Maßnahmen

Die Ingenieurbiologie ist eine biologisch/technische Fachdisziplin, bei der traditionell bautechnische Aufgaben allein oder unterstützend durch die Ansiedlung von Pflanzenbeständen gelöst werden. Zunehmend wird auch die Lösung gewässerökologischer und landschaftspflegerischer Aufgaben mit biologisch/technischen Mitteln einbezogen (z. B. Biotopverbund, Verbesserung der Gewässerstrukturen, Verbesserung des Landschaftsbildes).

Ingenieurbiologische Lösungsfindung im Wasserbau heißt immer Fachwissen der Baudisziplinen mit Erkenntnissen aus Biologie und Landschaftsökologie zusammenzuführen. Hierzu muss der Planer bzw. das Planungsteam über folgende Kompetenzen verfügen:

- Grundkenntnisse zur Hydrologie, Hydraulik und Geotechnik zur Auswertung entsprechender Daten und Gutachten,
- Kenntnisse der technischen Regelwerke,
- Kenntnisse der Schutzansprüche angrenzender Nutzungen, baulicher Anlagen und der Infrastruktur,
- Kenntnisse der Landschafts- und Gewässerökologie,
- Kenntnisse zur Flora und Pflanzensoziologie sowie zur Bewertung von Standorten,
- Kenntnisse zur Bodenkunde und Pflanzenernährung,
- Planungskompetenz im naturnahen Wasserbau, u.a. Führung oder Bearbeitung der erforderlichen bautechnischen Nachweise,
- Erfahrung bei der Pflege und Unterhaltung ingenieurbiologischer Bauweisen und der sich daraus entwickelnden Pflanzenbestände und Biotopstrukturen.

Die folgenden Ausführungen können als Prüfliste verstanden werden, deren Inhalte und Nachweise bei der Planung ingenieurbiologischer Maßnahmen zu berücksichtigen sind.

3.1 Grundsätzliche Wirkungen von ingenieurbiologischen Bauweisen

„Unter Ingenieurbiologie wird im deutschsprachigen Raum eine biologisch ausgerichtete Ingenieurbautechnik verstanden, die sich biologischer und landschaftsökologischer Erkenntnisse bei der Sicherung und Erhaltung von Böschungen, Hängen, Ufern, Vorländern, Deichen und Deponien vor Erosion bedient. Kennzeichnend dabei ist, dass Pflanzen und Pflanzenteile als lebende Baustoffe so eingesetzt werden, dass sie im Laufe ihrer Entwicklung im Zusammenhang mit Boden und Gestein den wesentlichen Beitrag zur dauerhaften Sicherung leisten. In der Anfangsphase ist oft eine Verbindung mit unbelebten Baustoffen notwendig.

… Die sich aus Lebendbauweisen entwickelnden Vegetationsbestände erfüllen dabei nicht nur den angestrebten technischen Zweck, sondern haben darüber hinaus auch landschaftsästhetische und vor allen Dingen ökologische Funktionen.

Ingenieurbiologische Bauweisen haben ihren Ursprung in handwerklichen Techniken. … In den letzten Jahrzehnten wurde ihre systematische wissenschaftliche Untersuchung in Bezug auf Wirkungsweise, Leistungsfähigkeit, Anwendungsbereiche, Pflege und Unterhaltung voran-

getrieben. Besondere Bedeutung hat dabei die Frage nach geeigneten, biotechnisch wirksamen Pflanzenarten und deren Vermehrung sowie der Einsatz herkunftsnahen oder autochthonen Materials.“ (zit. Gesellschaft für Ingenieurbiologie: www.ingenieurbiologie.com)

Die Pflanzen erfüllen in den Bauweisen im Wesentlichen folgende Funktionen, auch als biotechnische Eigenschaften der Pflanzen bezeichnet (in Anlehnung Hacker/Johannsen 2012):

- Bodenentwässerung;
- Erhöhung der Scherfestigkeit des Bodens;
- Anpassungsfähigkeit an Habitat und damit dauerhafte Aufrechterhaltung ihrer schützenden Funktion;
- Elastizität und Biegefestigkeit bei Belastungen;
- Regeneration, Stockausschlag bei Schäden oder bei Verwendung als Baumaterial;
- Vegetative Vermehrbarkeit;
- Überstaubarkeit, Überschüttbarkeit und damit Dauerhaftigkeit;
- Filtern von Staub, ggf. Lärm;
- Filtern von Nährstoffen, Schwebstoffen zur Verbesserung der Selbstreinigung des Gewässers.

Pflanzen halten den Boden fest, schützen ihn vor dem direkten Anströmen des Wassers, gestalten den Lebensraum und verbessern die Wasserqualität. Sie dienen auch in naturbelassenen Gewässern effektiv als Uferschutz und sind gleichzeitig wichtiger Bestandteil des Naturhaushaltes. Diese Funktion soll mit Hilfe der Ingenieurbiologie unterstützt und bautechnisch für den naturnahen Wasserbau anwendbar gemacht werden.

3.2 Entscheidungsablaufschema

Die Wahl der richtigen Bauweise und der richtigen Pflanzen ist entscheidend für den Erfolg und die Dauerhaftigkeit der jeweiligen Maßnahme. Hierbei sind neben den Lebensraumansprüchen der jeweiligen Pflanzen auch die zu erzielenden technischen Wirkungen, der Standort aus bautechnischer Sicht, Wasserstände, Fließgeschwindigkeiten, ggf. Eisgang usw. zu berücksichtigen.

Nachfolgend wird ein Modell von SPUNDFLASCH, F. (2004, im Jahrbuch 11 der Gesellschaft für Ingenieurbiologie) beschrieben, welches die Einsatzmöglichkeiten und Grenzen ingenieurbiologischer Bauweisen verdeutlicht. Eine ähnliche Vorgehensweise findet sich unter anderem auch in der Dissertation von STOWASSER (2011). Entscheidend ist die kombinierte, interdisziplinäre Betrachtungsweise, welche am Ende zu sinnvollen, örtlich angepassten Bauweisen führt.

Was ist das grundsätzliche Wirkprinzip ingenieurbiologischer Bauweisen?
Ingenieurbiologische Bauweisen stabilisieren in erster Linie Bodenoberflächen (Erosionsschutz), d.h. Schutz der Bodenoberfläche vor angreifenden Kräften im Zusammenhang mit Wasserbewegung (Strömung, Wellenschlag, Tropfenschlag) oder Wind.

Diese Aufgabe soll, zumindest nach einer gewissen Entwicklungszeit, möglichst ausschließlich lebende Pflanzen wahrnehmen. Bis zum Abschluss dieser Entwicklungszeit wird ein eventuelles Leistungsdefizit durch die ingenieurbiologische Bauweise ausgeglichen. Dafür können auch nicht bewurzelungsfähige Baustoffe zum Einsatz kommen. Um dem ökologischen Anspruch gerecht zu werden, sollten diese möglichst aus naturraumtypischem Material bestehen, welche nach ausreichender Entwicklung der gewünschten Vegetation möglichst durch Verrottungsprozesse der natürlichen Vererdung unterliegen.

Diese Betrachtungsweise lässt sich an zwei Beispielen verdeutlichen:

1. Faschinen (z.B. **aus nicht bewurzelungsfähigem** Reisig) werden entlang eines Grabenufers verlegt. Hinter den Faschinen erfolgt die Anpflanzung von Erlen. Die Faschinen schützen den Boden der Uferböschung vor Erosion, bis die Erlenpflanzung mit einem genügend ausgebildeten Wurzelwerk diesen Schutz übernehmen kann. Das Faschinenreisig einschließlich Drahtbindung und Pfähle lösen sich durch Vererdungsprozesse und Korrosion allmählich umweltverträglich auf.

2. Im zweiten Fall wird aus Faschinen (z.B. **aus bewurzelungsfähigem** Reisig) und Boden ein buhnenförmiger Ufervorsprung (Buhne) zur Auslenkung der Strömung, mit dem Ziel der Förderung von Eigendynamik, hergestellt. Auch hier schützt die ingenieurbiologische Bauweise vor Erosion, um das Buhnenbauwerk dauerhaft zu stabilisieren. Das Faschinenreisig treibt bei diesem Beispiel selbst aus und wurzelt an, so dass die Buhne dauerhaft durch Wurzeln stabilisiert wird. Die Faschine hingegen, mit Pfählen und Drahtbindung, löst sich auch bei diesem Beispiel auf.

Wie bewirken ingenieurbiologische Bauweisen bzw. die sich daraus entwickelnden Pflanzenbestände den Erosionsschutz?

Es werden zwei Wirkprinzipien unterschieden. Um dies zu verdeutlichen hilft es, sich die angreifenden Kräfte als Strömungsfaden vorzustellen (z.B. permanent als Teil des Abflusses in einem Graben oder alternierend als Wellenbewegung).

1. **Direkte, abschirmend wirkende Schutzmaßnahmen für den Boden bzw. das Ufer vor hydraulischen Einwirkungen durch**:
   - Bremsen, Verteilen, Umwandeln der Energie (z.B. in Astwerk- und Wurzelstrukturen)
   - Ablenken der Einwirkung (z.B. Ablenkung des Stromstriches durch Buhnen)
   - Überdecken, Umhüllen (z.B. Bodenüberdeckung durch sich in der Strömung darüberlegende Blätter und Halme)

2. **Verbesserung der Stabilität des Bodens gegenüber den angreifenden Erosionskräften:**

Diese Funktion wird in erster Linie durch das Wurzelwerk lebender Pflanzen bewirkt (verklammernde, verzahnende und verklebende verkittende Wirkung). Mit ingenieurbiologischen Bauweisen kann diese Wirkung mittelbar oder direkt hergestellt werden:

- rein mechanische Verklammerung durch Wurzeln, Umschließen von Bodenteilchen durch ein Wurzelgeflecht, dieses Wurzelgeflecht ist umso wirksamer, je dichter und verzweigter es ist.

- Verkleben und Verkitten feiner und feinster Bodenteilchen mittels bodenbiologischer Prozesse. Diese bewirken im weitesten Sinne eine Verklebung der Bodenteilchen, wobei sich feinste Teilchen zu relativ stabilen Bodenkrümeln verbinden (Krümelstruktur). Diese Vorgänge werden durch Pflanzen und deren Wurzelwerk gefördert und umgekehrt fördert ein gut belebter Boden auch das Pflanzen- und Wurzelwachstum.

Das Ziel bei der Planung sollte die Kombination beider Wirkprinzipien sein. Die meisten Bauweisen ermöglichen einen sofortigen Schutz der Oberfläche vor den Einwirkungen von Erosionskräften durch Wasser, in dem diese vor den zu schützenden Bereichen angeordnet werden oder diese überdecken. Die tiefergehende Verklammerung oder Verzahnung des Bodens erfolgt meist erst allmählich mit zunehmendem Wurzelwachstum.

Sollen vorhandene Böschungen oder Gewässersohlen durch ingenieurbiologische Bauweisen geschützt werden, ist zu entscheiden, ob Bauweisen mit auflockernd wirkenden Erdarbeiten zur Anwendung kommen dürfen. Dies betrifft z.B. den klassischen Lagenbau (Heckenlagen, Buschlagen und Heckenbuschlagen). Die Einbringung des Ast- und Reisigmaterials erfordert zumindest bereichsweise die Aufgrabung des zu schützenden Bodens. Der Planer muss auf Grundlage geotechnischer Untersuchungen entscheiden, ob die mit der Aufgrabung verbundenen Auflockerungen ungünstiger sind, als die durch die Bauweise erzielte Sicherungswirkung. Dies betrifft in erster Linie Böden mit kohäsiver Bindung (Tone, Schluffe und bedingt auch organische Böden). Bei weitestgehend kohäsionslosen mineralischen Lockergesteinsböden (z.B. Sand) ist dies weniger problematisch, da deren Lagerungsstabilität durch die Reibung der Bodenteilchen untereinander geprägt ist. Diese Wirkung stellt sich nach einer Umlagerung und entsprechenden Verdichtung meist sofort nach Arbeitsausführung wieder ein.

Die Planung von ingenieurbiologischen Bauweisen erfolgt grundsätzlich in 2 Stufen:

1. Standorterkundung und Analyse der Schadensursachen bzw. der Einwirkungen, welche zu Bauwerksschäden führen können, als Planungsgrundlage.
2. Planung der Bauweisen zur Schadensvermeidung und / oder Sanierung.

Im Folgenden wird dieser Entscheidungsablauf schematisch dargestellt (Vorlesungsskript: Vorlesung Ingenieurbiologie, Sommersemester 2004 – 2015, FH – Nordhausen; F. Spundflasch 2004 bis 2015).

1. **Standorterkundung und Analyse der Schadensursachen bzw. Einwirkungen auf die Standsicherheit des Bauwerkes**
   - Geotechnische Standorterkundung, in Anlehnung an DIN 18196 und DIN 4020,
   - Bodenkundliche Untersuchung aus vegetationstechnischer Sicht,
   - Wasserhaushalt aus vegetationstechnischer Sicht (z.B. Feuchtezonierung)
   - Lokalklima aus vegetationstechnischer Sicht (z.B. Wetterexposition)
   - Belichtung aus vegetationstechnischer Sicht
   - Weitere Einflüsse (z.B. Nutzungen durch Freizeitaktivitäten oder Fraßdruck von Wild- und Weidetieren)
   - Beurteilung des Hochwasserrisikopotentiales (z.B. durch hydraulische Berechnungen)
   - Einwirkungen auf die Standsicherheit aus Bauwerks- und Verkehrslasten sowie hydraulische Einwirkungen (z.B. Fließgeschwindigkeit, Schleppspannung, Auftrieb,

Wellenschlag, getrennt nach kurzfristigen oder langanhaltenden, dauerhaften Einwirkungen): **kurzzeitige Einwirkungen** werden durch die Vegetation meist besser vertragen, bzw. geschädigte Vegetation regeneriert sich selbst nach den Ereignissen; **lang anhaltende, dauerhafte Einwirkungen** werden nur durch bestimmte Pflanzen und Pflanzengesellschaften, meist in eingeschränktem Umfang vertragen, z.B. Wurzelwerk von Erlen und Weiden oder Röhrichtgesellschaften.

2. Planung der Bauweisen zur Schadensvermeidung und Sanierung

Sanierungs- bzw. Schutzstrategien sollten sich zuerst an den geotechnischen Bodeneigenschaften orientieren.

Definition der Bodenart		
feinkörnige, bindige Böden, bei welchen die Kohäsion (c) entscheidend zur Stabilität beiträgt. Ziel: schnelle Erzielung eines wirksamen Oberflächenschutzes und einer allmählichen Durchwurzelung. – Überdeckung – Strömungsablenkung – Schutz durch Rauigkeitserhöhung (Bremsen von Fließgeschwindigkeiten unmittelbar über der zu schützenden Oberfläche)	**Übergangsbereiche**	*grobkörnige, gut verzahnte Mineralböden* ohne Kohäsion, deren Lagerungsstabilität vorrangig durch deren Reibungswinkel (γ) bestimmt wird. Ziel: schnelle Erzielung einer tieferen Wirkung, welche einer intensiven Durchwurzelung vorgreift, möglichst kombiniert mit einem wirksamen Oberflächenschutz. – Verbesserung der Verzahnung bzw. Erhöhung des Reibungswinkels durch das Einbringen von Ast- und Reisigstrukturen im Vorgriff auf eine angestrebte Wurzelentwicklung – Überdeckung – Strömungsablenkung (Hinweis: die Erhöhung des Reibungswinkels ist erfahrungsgemäß nur in beschränktem Umfang möglich, hier sind Erfahrungen des Planers erforderlich. Grundsätzlich sollte die in Ansatz gebrachte Erhöhung des Reibungswinkels nicht mehr als 2 – 3 Grad betragen. Eine wesentliche Voraussetzung ist eine oberflächennahe Lage der Gleitfläche (max. 0,25 – 0,40 m unter Gelände), so dass diese kurz- bis mittelfristig noch von ausreichend Gehölzwurzeln oder Astwerk der Bauweise durchdrungen werden kann. Genauere Bemessungsansätze lassen sich z.B. durch Versuche mit Probebelastungen ermitteln *(Johannsen, R., Spundflasch, F. und Kovalev, N. , 2001)*
Auswahl grundsätzlich geeigneter Bauweisen		
z.B. – Ansaaten – Verlegung von Plaggen – Röhrichtballenpflanzung – Spreitlagen – Steckholzbesatz – Faschinensicherungen – Reisiglagen		**z.B.** – Reisig- oder Faschinenpackwerke – Buschlagen – Heckenlagen
⇩		
Einbeziehung der übrigen Standortbedingungen und Standorteinflüsse in die Planung – Wahl gemäß Standortbedingungen geeigneter Pflanzenarten, (z.B. aus örtlichen Kartierungen), – Einbeziehung von unbelebten Materialien als Hilfsmittel zur Erzielung einer ausreichenden Festigkeit bis zur gewünschten Vegetationsentwicklung (z.B. Pfähle, Kokos- oder Jutegewebe, Mulchstoffe, nicht bewurzelungsfähiges Starkholz, Astwerk und Reisig), – Kombination von dauerhaften unbelebten Bauweisen mit ingenieurbiologischen Bauweisen (z.B. Wasserbausteine mit Steckholzbesatz) nach Erfordernis, – Wahl einer Bauweise oder Kombination verschiedener Bauweisen zur Anpassung an den Standort (z.B. Faschinensicherung am Böschungsfuß mit Spreitlagen im Böschungsbereich).		

Ggf. sind weitere Modifikationen der Bauweisen erforderlich, zum Beispiel in Abhängigkeit von der Jahreszeit. So reichen in vegetationstechnisch günstigen Jahreszeiten ggf. Erosionsschutzmatten mit nachträglicher Ansaat aus, während in vegetationstechnisch ungünstigen Jahreszeiten am gleichen Standort die Verlegung von Vegetationsstücken erfolgversprechender ist.

Nicht zuletzt sind die erforderlichen Unterhaltungsmaßnahmen zu berücksichtigen. Grundsätzlich sind Fertigstellungs- und Entwicklungspflege zu beachten. Aber auch der gewünschte, dauerhafte Zielzustand der Vegetation bedarf ggf. einer gezielten Unterhaltung.

Planung von Arbeiten zur Fertigstellungs- und Unterhaltungspflege sowie ggf. erforderliche Schutzmaßnahmen

- Anwuchspflege als Fertigstellungspflege
- Planung von zusätzlichen Schutzmaßnahmen z.B. Verbissschutzzäune, Schutz vor unbefugtem Betreten usw.
- Planung der Unterhaltungspflege z.B. im Rahmen eines Gewässerunterhaltungsplanes

Die erforderliche Unterhaltungspflege muss dabei zwei Aspekte beachten, einerseits die Zielvegetation und andererseits die Unterhaltungskapazitäten bzw. Zugänglichkeit. So muss bereits während der Planung einer Maßnahme klar sein, ob der Aufwand zur Aufrechterhaltung der Zielvegetation, welcher bei Rasenböschungen anders ist als bei einem Gehölzgürtel, geleistet werden kann und soll.

Konkretere Vorgaben, welche scheinbar genauer zu einer geeigneten Bauweisengestaltung führen, sollten nach Auffassung der Autoren nicht angestrebt werden. Die Vorteile ingenieurbiologischer Bauweisen liegen in der Vielzahl von Variationsmöglichkeiten, welche unter Beachtung der beschriebenen bautechnischen Grundsätze und der hydraulischen sowie geotechnischen Bemessung oft die gleichen bautechnischen Anforderungen erfüllen. So können über das technische Maß hinaus auch gestalterische Anforderungen für das Stadtbild und die standörtlich vorhandenen Boden- und Pflanzenmaterialien berücksichtigt werden. Hier sollten der Kreativität des Fachplaners keine Grenzen gesetzt werden.

3.3 Planungsprozesse in Anlehnung an die HOAI

Maßnahmen an Gewässern bedürfen in der Regel einer wasserrechtlichen Genehmigung. Dies gilt jedoch nur, wenn es sich um einen wesentliche Umgestaltung des Gewässers gemäß Wasserhaushaltsgesetz oder Berliner Wassergesetz handelt, z.B. wenn es auf längerer Strecke zu einer Anhebung der Sohle oder zur Veränderung des Gewässerquerschnittes kommt. Maßnahmen, die keine wesentliche Umgestaltung darstellen, können im Rahmen der regulären Gewässerunterhaltung ohne eigenes Genehmigungsverfahren durchgeführt werden. Dies können z.B. Bepflanzungen der Gewässerufer oder auch punktuelle ökologische Verbesserungen sein.

Der Planungsprozess und die zu erstellenden Unterlagen sind in Abstimmung mit dem Vorhabenträger und der genehmigenden Behörde unter Berücksichtigung der Landesbestimmungen zu gestalten. Im Folgenden wird der Prozess in Anlehnung an die HOAI kurz beschrieben.

3.3.1 Aufgabenstellung und Vorentwurf

Bei der Formulierung der Aufgabenstellung, spätestens jedoch im Rahmen der Leistungsphase Vorplanung der HOAI für Ingenieurbauwerke sollte entschieden werden, ob eine ingenieurbiologische Lösung für die jeweilige Fragestellung oder eine Kombination von Tiefbautechnik und Ingenieurbiologie möglich und sinnvoll ist. Hierzu sind folgende Fragen zu beantworten:

- grundsätzliche hydraulische Anforderungen und Belastungen
- grundsätzliche geotechnische Anforderungen und Bedingungen
- Flächenverfügbarkeit
- ökologische Anforderungen
- Stadtplanerische Anforderungen und signifikante Nutzungen
- zukünftig leistbarer Pflege- und Unterhaltungsaufwand.

Bei potentiellen ingenieurbiologischen Lösungen sollte die Zielvegetation als zukünftige Vegetationsstruktur wie Rasen, Röhricht, Hochstauden, Gehölzsaum aus Sträuchern oder Bäumen festgelegt werden. Dafür sind die Standortverhältnisse grob zu umreißen.

Ein Ausschluss ingenieurbiologischer Bauweisen ergibt sich z.B. aus der Flächenverfügbarkeit. So bedürfen Gewässer mit Vegetation aufgrund der größeren Rauheit für die gleiche hydraulische Leistungsfähigkeit einen größeren Querschnitt als z.B. Beton-Kastenprofile. Röhricht bestandene Ufer mit einzelnen Gehölzen und Totholz brauchen mehr Raum als regelmäßig gemähte Rasenböschungen mit Rasengittersteinen. Dies ergibt sich z.B. aus den entsprechenden hydraulischen Berechnungen (siehe Kap. 3.5).

Auch sind Böschungen, die dauerhaft unter Wasser liegen, nicht mit Pflanzen sicherbar. Ausnahmen sind z.B. naturnahe flache Seeufer, wenn sie über ihren natürlichen Schutz aus Unterwasservegetation und Gelegezone verfügen und nicht prägenden Belastungen durch schiffsinduzierte Wellen, Badestellen oder zerschneidende Steganlagen ausgesetzt sind.

Auch Bereiche mit langanhaltenden Überstauungen oder sehr hohen Fließgeschwindigkeiten können solche Grenzfälle darstellen. Kurzfristig können Weidenspreitlagen oder auch Rasenböschungen sehr hohe Schleppspannungen aushalten. Dauerhaft hohe Fließgeschwindigkeiten in Verbindung mit Überstauungen können jedoch zum Versagensfall führen, ebenso wie Eisschurf. So kann ein Ufer mit ausgeprägtem Weidengürtel Eisschurf aus Bootsverkehr relativ gut durch Neuaustrieb kompensieren, während ein Röhrichtgürtel womöglich zu stark belastet ist. Allerdings ist die Etablierung eines Weidensaums z.B. aus Gründen der Hochwassersicherheit oder der Nutzung (Blick aufs Wasser) nicht überall möglich.

An Hand dieser Rahmenbedingungen ist die Planungsaufgabe grundsätzlich zu lösen. Ggf. sind im Rahmen der Vorplanung mehrere Varianten zur Lösung vorzuschlagen, die sich in

Bezug auf Sicherungs- oder Biotopfunktion, Unterhaltungsaufwand sowie Kosten oder Flächenbedarf unterscheiden. Im Regelfall sind skizzenhafte, jedoch der betroffenen Lage maßstäblich angepasste Lösungen ausreichend.

3.3.2 Entwurf- und Genehmigungsplanung

Die Entwurfsplanung entwickelt aus den vorgeschlagenen Varianten des Vorentwurfes eine Lösung weiter oder entwirft eine Kombination verschiedener Lösungen. Ziel ist es hier, einen technisch machbaren Ansatz so auszuarbeiten, dass alle für eine Genehmigung erforderlichen Details enthalten sind.

Dabei wird die zukünftige Struktur des Gewässers bzw. des betroffenen Ufers, einschließlich gewählter Sohl- und Ufersubstrate, Einbauten, Biotopstrukturen sowie die Zielvegetation für die unterschiedlichen Uferzonen mit ihren Hauptarten festgelegt. Dieser Entwurf ist in Lageplänen und maßstäblichen Schnitten zu zeichnen und im Bericht zu erläutern. Die hauptsächlich verwendeten ingenieurbiologischen Bauweisen werden beschrieben und in Querprofilen und Details exemplarisch gezeichnet. In den Querprofilen sollten die Wasserstände von Modalabfluss oder Mittelwasser, mittlerem Hochwasser (arithmetisches Mittel der jährlichen Höchstabflüsse) und die Bemessungshochwasser eingetragen werden. Das Bemessungshochwasser ist abhängig von den Nutzungs- und Schutzanforderungen sowie dem Schadenspotential und ist im Einzelfall festzulegen. Je nach angrenzender Nutzung und Profilgestaltung des Gewässers ist bereits ab einem jährlichen Hochwasser die Überflutung der (Sekundär-)Aue zulässig und ökologisch sinnvoll. Gebäude und andere Nutzungen mit hohem Schadenspotential sind mind. bis zum 100 jährlichen Hochwasser freizuhalten. Zum Thema Hochwasserschutz in Berlin können auch die Informationen auf folgender Internetseite herangezogen werden:
http://www.berlin.de/senuvk/umwelt/wasser/hochwasser/index.shtml.

Für ingenieurbiologische Bauweisen ist üblicherweise der Modalabfluss an Gewässern interessant, d.h. der während der überwiegenden Zeit des Jahres vorherrschende Abfluss. Im Böschungs- bzw. Auenbereich, der oberhalb des Wasserstandes bei Modalabfluss liegt, siedeln sich z.B. die Gehölze der Weichholzaue an, während Röhrichte zum Teil auch darunter wachsen können. Diese Wasserstandslinie ist an natürlichen Ufern durch Zeigerarten gut zu erkennen. In der Hydraulik wird aus statistischen Gründen oft jedoch der Mittelwasserabfluss als Näherung an diesen Wert herangezogen. Er ist eine Mittelung aus allen Abflüssen eines Jahres oder über einen längeren Zeitraum.

In der Entwurfsplanung werden auch Aussagen zur Auswahl und Ansiedlung der Initialvegetation sowie zur notwendigen Anwuchs- und Entwicklungspflege bis zur Zielvegetation getroffen und der zukünftige Unterhaltungsaufwand beschrieben.

Zum Entwurf gehören daneben Nachweise zur Entwicklung der Wasserspiegellagen für den angestrebten Zustand. Ggf. können Nachweise zur Böschungs- bzw. Uferstabilität erforderlich werden, wenn Infrastruktur oder bauliche Anlagen betroffen sind. Die bautechnischen Nachweise werden in Kap. 3.5 kurz erläutert.

Bei Biotopstrukturen aus Totholz kann auch ein Nachweis gegen Auftrieb, Verdriftung und Eishub erforderlich werden. Eishub muss insbesondere an Bundeswasserstraßen berücksichtigt werden.

3.3.3 Untersuchungen zur Umwelt- und Naturverträglichkeit

Obwohl die Gesamtmaßnahme einer ingenieurbiologischen Bauweise in der Regel gewässerökologische Ziele verfolgt, gehört die genehmigungstechnische Berücksichtigung der Belange von Natur und Landschaft standardmäßig zur Planung von Maßnahmen, die über die Gewässerunterhaltung hinausgehen. Auch Aspekte des Lärmschutzes bei der Wahl der Bauverfahren und der Zuwegungen sowie die Entsorgung von Aushubmassen sollten berücksichtigt werden.

Folgende Anlagen zur Genehmigungsunterlage sind beizufügen:

1. Gewässertyp und Defizitanalyse des Wasserkörpers (Gewässerstruktur, Makrozoobenthos, Fische nach WRRL, Trophie, Hydrologie/Hydraulik)
2. Landschaftspflegerischer Begleitplan
3. Artenschutzrechtlicher Fachbeitrag
4. Vorprüfung zur Umweltverträglichkeit, in FFH- oder SPA-Gebieten eine FFH- oder SPA-Vorprüfung
5. bei Vorliegen einer UVP-Pflicht eine Umweltverträglichkeitsstudie bzw. ein entsprechend geartetes Gutachten zur FFH- und SPA-Verträglichkeit
6. Fachbeitrag zur WRRL.

Im Rahmen dieser Arbeiten sollten Kernpunkte für die künftige Gewässerunterhaltung zur bestmöglichen Förderung der ökologischen Funktionen der Anlagen aufgezeigt werden. Soweit diese die technische Funktionsfähigkeit der Anlage nicht beeinträchtigen (etwa durch übermäßige Behinderung des Abflussprofiles), können sie im Rahmen der Genehmigung mit festgeschrieben werden.

3.3.4 Ausführungsplanung und Vorbereitung der Vergabe

In dieser Planungsphase werden die Auflagen der Plangenehmigung in die Unterlage zur Bauausführung eingearbeitet und die Pläne für die Ausführung präzisiert. Es kann sinnvoll sein, dass die Lagepläne des Entwurfes durch spezielle Pläne für Sicherungsbauweisen und zusätzlich für Gehölzanpflanzungen ergänzt werden.

Es werden zahlreiche Profile ergänzt, aus denen der Ab- und Auftrag von Erdmassen, die verschiedenen Sicherungsbauweisen und die Vegetationsansiedlung lage- und höhengenau hervorgehen. Detaildarstellungen zu technischen Lösungen, wie z. B. Befestigungselemente und deren handwerkliche Ausführung sind als Grundlage einer unmissverständlichen bauvertraglichen Regelung wichtig.

Die Ausschreibung erfolgt gemäß VOB und enthält die für den Bieter erforderlichen Informationen, u. a. zu Boden, Wasserständen, Grundwasser, Nutzungen am Ufer und im Einzugsgebiet und Infrastruktur sowie Zufahrten und Lagerflächen.

Für ingenieurbiologische Bauweisen sind in der Regel Abweichungen zu den Standardleistungsbeschreibungen erforderlich. Die Anpassungsmöglichkeiten und Variationen der Bauweisen an die örtlichen Verhältnisse können so vielfältig sein, dass eine umfassende Standardisierung von Leistungstexten nicht sinnvoll ist.

Wichtig sind die geforderten Qualitätsangaben und die Herkunft der lebenden Baustoffe, Detailskizzen zu bestimmten Bauweisen sowie zur Gestaltung von Anschlüssen und Übergängen.

3.3.5 Ausführung und Bauüberwachung

Die Ausführung der Maßnahme sowie die Bauüberwachung sollten an fachkompetente, regional erfahrene Firmen und Büros vergeben werden. Da gegenwärtig handwerklich erfahrene Fachfirmen bzw. entsprechendes Personal selten sind, ist der Bauleitungsaufwand meist hoch.

Im Hinblick auf eine qualifizierte Pflege der Initialpflanzen sollten diese Positionen gut kalkuliert sein und möglichst durch Firmen ausgeführt werden, die der Aufgabe inhaltlich und logistisch gewachsen sind. Die Auskömmlichkeit dieser Leistungen ist ein besonderes Kriterium bei der Angebotsprüfung. Die Vergütung sollte nicht nur aufwands- sondern auch zielbezogen erfolgen. Entsprechende bauvertragliche Regelungen sind in der Ausschreibung vorzusehen.

Günstig für das Arbeiten mit Pflanzen in der Ingenieurbiologie ist die Zeit der Vegetationsruhe, also etwa von Oktober bis März. Die Ausführung der Arbeiten in einer für ingenieurbiologische Bauweisen (Arbeiten mit lebenden Pflanzen und Pflanzenteilen) nicht optimalen Jahreszeit oder bei extremen Wetterlagen kann zusätzliche und besondere Leistungen erforderlich machen.

3.3.6 Anwuchs- und Entwicklungspflege

Die Anwuchs- und Entwicklungspflege, welche zumeist als Teil der Bauleistung mit ausgeschrieben wird, dient dazu, die geplante Initialbegrünung zu entwickeln, so dass eine erste biologische Sicherungsfunktion erreicht wird. Bei Landschaftsrasen und Röhricht genügt hierzu eine Pflegezeit von 2 – 3 Jahren.
Bei Bäumen und Sträuchern kann die Entwicklungspflege über 10 bis hin zu 20 Jahren andauern. In dieser Zeit muss die Initialvegetation, häufig Strauchweiden, zurückgedrängt und durch die Zielvegetation, z. B. ein Schwarzerlen-, Baumweiden-, Eschensaum ersetzt werden.

Die für die Pflege benötigten Baubehelfe wie Zäune, Spanndrähte und Verbiss-schutzelemente werden zurückgebaut, fachgerecht wiederverwendet oder entsorgt.

3.4 Unterhaltung, Dokumentation und Evaluierung

Die Unterhaltungsarbeiten dienen der Erhaltung der Zielvegetation und der Biotopstrukturen im Sinne der Planung sowie der Erhaltung des ordnungsgemäßen Zustandes für den Wasserabfluss und der Uferstabilität.

Biotopstrukturen aus Totholz sind ggf. im Hinblick auf eine Verdriftungsgefahr regelmäßig zu überprüfen und zu sichern.

In der Erprobungs- und frühen Anwendungsphase sollten alle Maßnahmen dokumentiert und alle 2 – 3 Jahre evaluiert werden. Dadurch kann festgestellt werden, ob die Maßnahmen zielführend waren oder verbessert werden müssen. Diese Evaluierungen dienen der Sicherung und Weiterentwicklung des technischen Know-hows auch bei wechselnden Bearbeitern, Ausführungsbetrieben und Planungsbüros. Außerdem erfolgt eine praxisnahe Weiterbildung des verantwortlichen Personals.

3.5 Bautechnische Nachweise in der Entwurfs- und Ausführungsplanung

Für die Entwurfs- und Ausführungsplanung sind häufig bautechnische Nachweise erforderlich, um sicherzustellen, dass durch die Maßnahmen keine Hochwasserschäden an bedeutsamen Nutzungen und baulichen Anlagen entstehen und dass die Stabilität der Ufer zur Sicherung dieser Anlagen gegeben ist. Weitere Hinweise können Kap. 7.5 sowie HACKER, JOHANNSEN 2012 und dem Merkblatt der DWA zur Ingenieurbiologie (DWA-M620) entnommen werden.

3.5.1 Abflüsse und Wasserspiegellagen

Eine wesentliche und in der Praxis naturbedingt mit Unsicherheiten behaftete Größe für hydraulische Berechnungen ist der Bemessungsabfluss. Liegen bei den wasserwirtschaftlichen Fachbehörden für den Gewässerabschnitt ausreichende Pegeldaten vor, kann dieser mittels statistischer Auswertungen ermittelt werden. Ist dies nicht der Fall, sind entsprechend den örtlichen Anforderungen mehr oder weniger aufwendige hydrologische Gutachten erforderlich. Dies können je nach Aufgabenstellung überschlägige Ermittlungen von Spitzenabflüssen oder computergestützte Niederschlagsabflussmodelle (N-A-Modelle) sein. Zur überschlägigen Abschätzung von Abflusswerten können zum Beispiel die durch das Land Brandenburg zur Verfügung gestellten durchschnittlichen Abflussspenden einzelner Einzugsgebiete genutzt werden. Bei sehr kleinen, dicht bebauten Gebieten sollte jedoch eine Extremwertermittlung auf Basis von Starkregenereignissen gemäß DWA M-552 erfolgen. Datengrundlagen zu Starkregenereignissen können z.B. beim Deutschen Wetterdienst DWD angefordert oder aus Kostra-DWD-2010 entnommen werden.

Die für die hydraulischen Nachweisführungen zu verwendenden Abflusswerte sollten in der Genehmigungsplanung abgestimmt und festgeschrieben werden. Hierbei sind die Wirkungen wasserwirtschaftlicher Anlagen wie Stauanlagen, Rückhaltebecken oder Pumpwerke zu berücksichtigen. Weiterführend sei auf die einschlägige Fachliteratur verwiesen.

3.5.2 Böschungs- und Geländebruch

Bei hohen, steilen Uferböschungen oder größeren Auflasten und wechselnden Grundwasserständen bzw. schnell schwankenden Wasserständen besteht die Gefahr eines Böschungsbruchs und bei Mauern und Wänden eines Geländebruchs. In diesen Fällen sind die geotechnischen Nachweise gemäß DIN EN 1997, DIN 1054 und DIN 4084 zu führen. Diese Nachweise sind bei neu zu errichtenden Ufermauern generell erforderlich. Ansonsten besteht Bedarf für eine Nachweisführung vor allem immer dann, wenn sich Straßen, Wege bzw. vergleichbare Infrastruktureinrichtungen oder auch Baukörper (Gebäude) in der Nähe der Gewässerböschung befinden. Hierbei kann generell ein Abstand von 20 m bei Profiltiefen von weniger als 2 m als relativ unkritisch eingeschätzt werden. Im Zweifel ist bei hohen Verkehrslasten oder hochwertiger Bausubstanz immer ein Geotechniker hinzuzuziehen.

3.5.3 Erosionsstabilität

Böschungen von Prallufern werden bei Hochwasser durch schnelle Wasserströmungen, Schleppspannung, Treibholz und ggf. Treibeis belastet. Von HACKER / JOHANNSEN 2012 wurde ein einfacher praktikabler Ansatz zum Nachweis der Uferstabilität in Anlehnung an SCHRÖDER / RÖMISCH 2001 entwickelt.

3.5.4 Sicherheit gegen Auftrieb und Verdriftung, Prüfung von Pfählen

Die Verdriftung von Biotopstrukturen aus Totholz kann zu Schäden an Schiffen und zum Rückstau, z. B. an Brücken und Durchlässen, führen. Bei dieser Problematik sollte die Sicherheit gegen Auftrieb, Eishub und Verdriftung bei einer Strömungskrafteinwirkung nachgewiesen werden (siehe Anlage 7.5).

Bei Ufersicherungen und der Anlage von Biotopstrukturen aus Totholz verwendete Pfähle werden planmäßig durch Horizontalkräfte und geringe Zugkräfte beansprucht. Die Wirksamkeit der Pfähle sollte durch Probebelastungen an einem ausgewählten Quantil von 5 % bzw. mindestens 5 Pfählen nachgewiesen werden. Hierzu werden die Pfähle entweder vertikal bis zum Bruch oder einer problematischen Verformung horizontal gezogen. Dabei werden die Kräfte gemessen.

Der Ausziehwiederstand, der erreicht werden muss, leitet sich aus den geotechnischen Nachweisen der Entwurfs- und Ausführungsplanung ab. Weiterführend sei auf die einschlägige Fachliteratur sowie auf Kap. 7.5.5 und 7.5.6 verwiesen.

Teil 2:
Sicherungsbauweisen

4 Darstellung von verwendbaren Sicherungsbauweisen

In diesem Kapitel werden Bauweisen beispielhaft vorgestellt, die für die Sicherung von Ufern und naturnahe Entwicklung der Gewässer im Stadtgebiet Berlin geeignet sind. Es wird bewusst auf gängige Bauweisen der Ingenieurbiologie verzichtet, wenn diese eher im Hochgebirge oder Hügelland zur Anwendung kommen. Beispiellösungen mit Bezug zu Problemstellungen des Landes Berlin werden in Kap. 5 erläutert. Neben den gezeigten Möglichkeiten sind vielfältige Variationen denkbar.

Die in den Bauweisen verwendeten Baustoffe (z.B. Kokosmatte, Steckholz, Faschine) werden in ihren Eigenschaften im Anhang definiert, da gleiche Baustoffe in verschiedenen Bauweisen zur Anwendung kommen.

Die Kostenzusammenstellung beruht auf den mittleren, bei Ausschreibungen erzielten Marktpreisen im Zeitraum zwischen 2015 und 2017. Sie ist in jedem Fall und insbesondere im Verlauf der Zeit kritisch von den Vorhabenträgern bzw. Planern zu prüfen.

4.1 Bauweisen mit Holz, Reisig, Pflanzenfasern

4.1.1 Baum mit Krone und Wurzeln als Wellenbrecher

Ganze Bäume oder große Baumteile werden zur Entwicklung von Biotopstrukturen und zum Schutz der Ufer vor Wellenschlag, vor dem Betreten oder vor dem Anlegen von Booten in ein Ufer oder in ein Gewässer eingebaut. Negative Folgen durch Auftreiben Verdriften müssen für Unterlieger und Schifffahrt vermieden werden. Auf die verlegten Bäume wirken Auftrieb und je nach Standort Wellenschlag, Wasserströmung, Wind und Eis ein. Grundsätzlich bestehen folgende Sicherungsmöglichkeiten zur Vermeidung von Schäden:

Der Baum wird in einem höheren Uferabschnitt gefällt und liegt mit erheblichen, schweren Stammteilen oberhalb des Bemessungswasserstands auf dem Ufer, oder Stammteile sind in das Ufer eingegraben (1/2 bis 1/3), durch Boden überdeckt und die Überdeckung ist mit Sträuchern bepflanzt. Diese beiden Möglichkeiten sind in der folgenden Abbildung dargestellt. In dem Fall, dass der Baum überwiegend im Wasser liegt und häufigem Wellenschlag ausgesetzt ist, wird eine Verankerung durch Ballaststeine und Stahlketten empfohlen.

Abb. 3: Ablegen eines Baumes mit erheblichen Stammteilen oberhalb des Bemessungshochwassers (links), Festlegung eines gefällten Baumes durch Eingraben in die Uferböschung und Überschüttung mit Steinen (rechts)

Die Verankerung mit Holzpfählen ist zwar im Berliner Raum üblich, beinhaltet aber durch Unterschiede im Baugrund und die schwere Überprüfbarkeit der Arbeiten große Unsicherheiten. Für die Sicherung vor Auftrieb von Totholz an Wasserstraßen werden auf Zug belastete Holzpfähle bei der häufigen dynamischen Einwirkung daher nicht empfohlen. An den nicht schiffbaren Gewässern könnten sie nach der örtlichen Erfahrung eingesetzt werden, wenn bei Einbau die Belastbarkeit der Befestigung als Zugpfahl qualifiziert überprüft wird, z.B. durch einen Auszugsversuch.

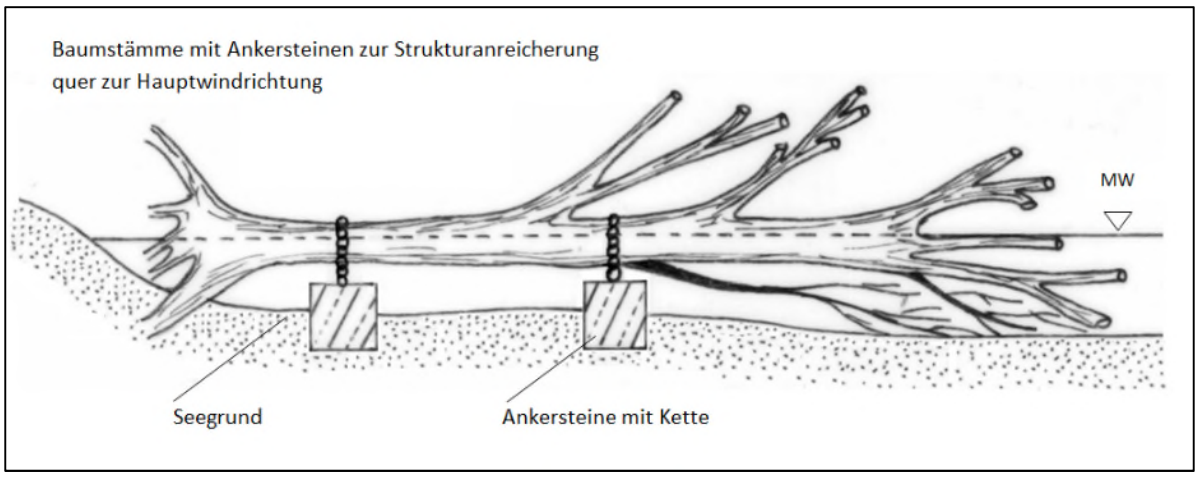


Abb. 4: Totholzsicherung durch Ballaststeine und Stahlketten als Schutz vor Verdriftung

Wenn bei Verdriftung Schäden zu erwarten sind und keine ausreichenden örtlichen Erfahrungen vorliegen, sollte die Auftriebs- und Verdriftungssicherheit untersucht und nachgewiesen werden. Zur Vereinfachung der Planung wird für das Berliner Landesgebiet durch die eher geringen Horizontaleinwirkungen bei einem ausreichenden Abstand zur Fahrrinne der Schiffe nur der Nachweis der Auftriebssicherheit für trockenes Holz gemäß DIN 1054 für ausreichend gehalten.

Kosten:	1 Stück	100-1.000 €

4.1.2 Wurzelstöcke als Strukturelement

Wurzelstöcke sind aufgrund ihrer engen und stark verzweigten Wurzelansätze lokal als Habitat sowie zur Erhöhung der Strömungsdiversität eine dauerhafte Bereicherung für ein Gewässer. Sie verrotten äußerst langsam, auch wenn sie im Wasserwechselbereich angesiedelt werden.

Sie können mit und ohne Stammansatz in ein Gewässer eingebaut werden. Bei Verwendung von bewurzelten Baumstämmen gilt Kap. 4.1.1.

Sollen Wurzelstöcke ohne längeres Stammstück eingebaut werden, sollten sie zum Schutz vor Verdriftung im Untergrund verankert werden. Dies kann z.B. durch Einschütten in einer Steinschüttung passieren (siehe unteres Bild links). Eine andere Möglichkeit ist das Fixieren kleinerer Wurzelteller durch bewurzelungsfähige Weidensteckhölzer oder Pfähle (siehe untere Abbildung rechts). In beiden Fällen ist der Auftrieb des Holzes bei höheren Wasserständen gegenüber der Haltekraft der verwendeten Pfähle zu berechnen.

Abb. 5: Einbau von Wurzelstubben (Totholz) und Sicherung durch Steinschüttung als Maßnahme zur Sanierung von Tiefenerosion (links 2003, Mitte 2019, Fotos: Rolf Bostelmann); Befestigung eines Wurzelstockes mit Setzstangen (rechts, schematisch). Aus: BOSTELMANN / NADOLNY 2005

Kosten:	1 Stück	300-600 €

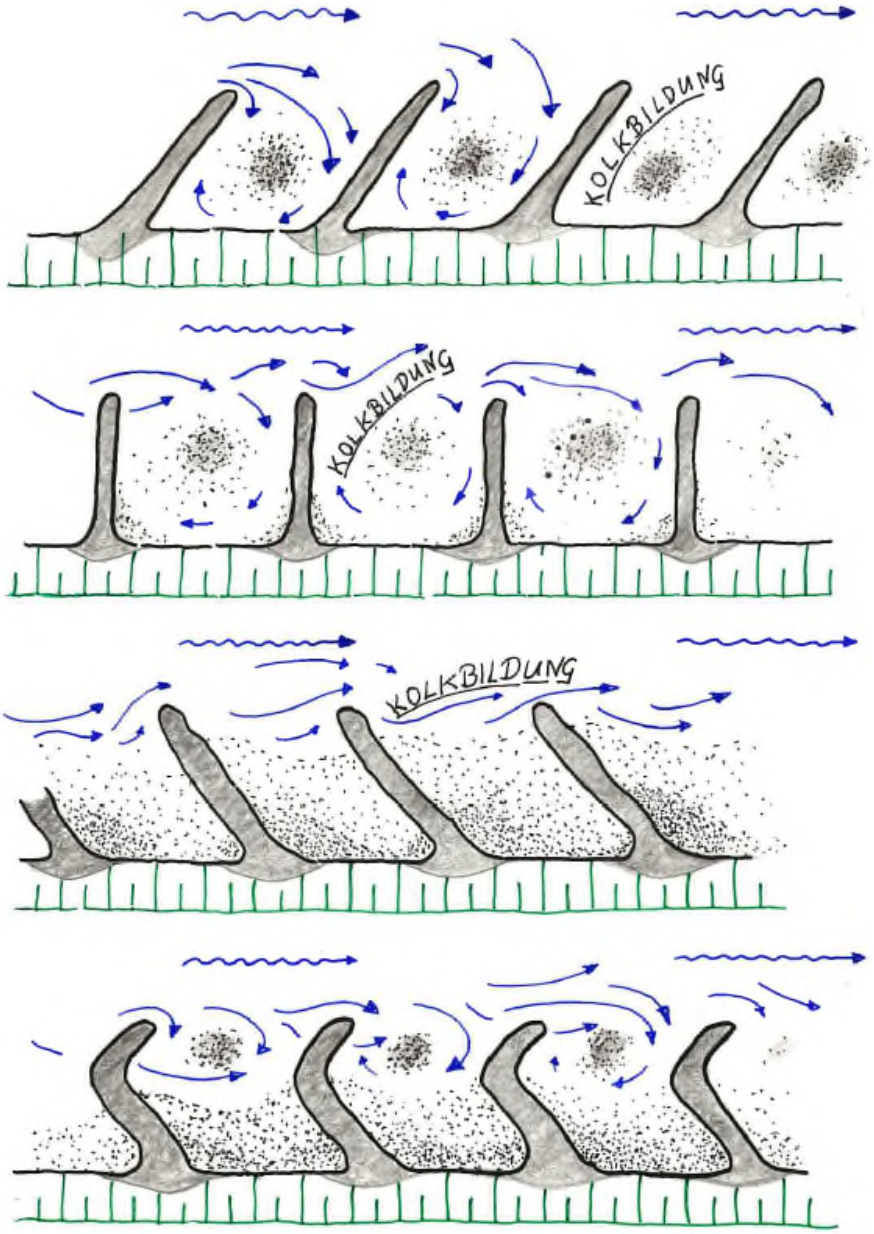
4.1.3 Rundholzpfähle in Sohle oder Ufer

Rundholzpfähle werden als Befestigungselemente sowie für Uferwände oder Leitwände (Palisaden) verwendet. Je nach Größe und Bodenart werden sie in den Boden eingeschlagen, eingerammt oder eingespült. Bei den hier geplanten Befestigungen werden die Pfähle horizontal oder auf Herausziehen beansprucht. Demzufolge sollte ein qualifiziertes Quantil der Pfähle nach dem Einbau in Richtung der planmäßigen Belastung gezogen werden, um die Tragfähigkeit zu überprüfen.

Bei Uferwänden oder Strömungsleitwänden werden die Pfähle mit einer Schablone in der Reihe gehalten. Nach Fertigstellung ist der Einbau eines Kopfbalkens oder seitlicher Zangenhölzer sinnvoll, um die gerade Wandform beizubehalten. An Fließgewässern, die mit dem

Mähboot unterhalten werden, ist eine deklinante (ableitende) Anordnung der Leitwände (Buhnen) sinnvoll, damit das Mähgut weitertreibt (siehe Abb. 6).

Rundholzpfähle können auch in Gewässersohlen zur Markierung der gewünschten Sohlenhöhe und als Orientierung für die Gewässerunterhaltung eingebaut werden.



<u>Deklinante Buhnen</u>
geringe Verlandung im Buhnenfeld, intensive Kolkbildung im Buhnenfeld

<u>Orthogonale Buhnen</u>
stärkere Verlandung im Buhnenfeld, geringere Kolkbildung im Buhnenfeld, besserer Uferschutz

<u>Inklinante Buhnen</u>
starke Verlandung im Buhnenfeld, Kolkbildung zur Gewässermitte, guter Uferschutz

<u>Knickbuhnen</u>
Anwendung an breiten Flüssen

Abb. 6: Wirkprinzipien Buhnen in Anlehnung an BAW- Bundesanstalt für Wasserbau (BAW 2018)

Abb. 7: Deklinante Holzpfahlreihe (Palisade) an der Erpe zur Strukturverbesserung und Ableitung von Mähgut (Winter und Sommer)

Kosten:	1 m	200-400 €

4.1.4 Buhnenpackwerke als Strömungslenker

Zur effektiven Einengung des Stromstriches und zur Erhöhung der Strömungsdiversität können Buhnen aus Packwerken hergestellt werden. Die Einengung führt zur Erhöhung der Fließgeschwindigkeit, so dass sich ein Stromstrich herausbilden kann, der sich selbst von Bewuchs freihält.

Die Packwerke stellen stabile Totholzstrukturen dar, die bei Bedarf begrünt werden können. Es werden ausreichend lange Holzpfähle mit ca. 20 cm Durchmesser rasterförmig in den Untergrund eingerammt. Zwischen den Kieferpfählen werden Faschinenpackungen (Totholzfaschinen) lagenweise eingebaut. Nach jeder Lage wird in die Zwischenräume örtlich anstehender Erdstoff oder Kies mit eingebaut. Über der Mittelwasserlinie können die Buhnen mit Erdstoff (ca. 10-20 cm) angedeckt und mit Vegetationsstücken bedeckt werden. Bei Bedarf zur Erstsicherung gegen Verdriften bei höheren Abflüssen oder Wasserständen werden die Vegetationsstücke mit einem Kokosnetz bis zum Anwachsen der Vegetation gesichert.

Abb. 8: Entstehung einer Packwerksbuhne aus austriebsfähigen Faschinen

Die Buhnen können zusätzlich mit Weiden-Setzstangen bepflanzt werden. Diese sind zur Schonung der Rinde der Steckhölzer in zuvor gebohrten Löchern mindestens bis zur Niedrigwasserlinie in die Buhnen einzubringen, damit sie dauerhaft über Wasserkontakt verfügen. Die potentiellen Kolktiefen am Kopf der Buhne sind bei der Länge der Pfähle zu berücksichtigen. Die vorderen Pfähle sind ggf. durch rückwärtige Verankerung zu sichern.

Abb. 9: Fertiggestellte Packwerksbuhnen

Durch die gute Verzahnung und Verpfählung der Packwerke sind vielfältige Ausführungen möglich. So können daraus auch Ufersicherungen und Inseln hergestellt werden. Sie eignen sich für den Einsatz in tiefgründigen organischen Böden ebenso wie für weiche mineralische Untergründe. Sie sind setzungsverträglich und halten auch höheren Fließgeschwindigkeiten stand.

Die Kosten für ein solches Bauwerk betragen im Mittel bei einer Höhe von ca. 3 m um 250 bis 500 €/m².

4.1.5 Stulpwand als Dichtungselement

Mit Stulpwänden kann die Durchsickerung von Sohlschwellen aus Steinschüttung oder Steinsatz stark reduziert werden. Hierzu werden zwei versetzte Lagen Holzbohlen lotrecht in einen Graben quer zur Fließrichtung gestellt oder eingedrückt, so dass sich die beiden Lagen überlappen. Es erfolgt je nach gewählter Bauweise eine Anschüttung mit Steinen, Kies oder anstehendem Material.

Abb. 10: Dichtungswand aus Eichenbohlen, doppelreihig mit Kopfbalken kurz nach Einbau und 3 Jahre später

Ist die Durchgängigkeit an dem Bauwerk zu gewährleisten, dann können Gewässertyp abhängige Schlitze in die Bohlen eingesägt werden, in die entsprechendes Material gefüllt wird oder welche für Fische mit der erforderlichen Wassertiefe durchschwimmbar bleiben (SPUNDFLASCH et.al. 2014).

Kosten:	1 m	500 €

4.1.6 Sohlstabilisierung durch Knüppellage und Baumwurzeln

Alternativ zur Steinschüttung (siehe Kap. 4.3) können Weiden- und Erlenwurzeln in flachen und schmalen Gewässern zur Sohlstabilisierung genutzt werden. Diese durchwurzeln innerhalb eines Entwicklungszeitraumes die Sohle und verhindern so Sohlenerosion. Zur Unterstützung für den Zeitraum, bevor die Wurzeln vollständig entwickelt sind und eine ausreichende Sicherung erreichen, kann quer zur Fließrichtung eine Knüppellage (siehe auch DIN 19657) oder längs zur Fließrichtung eine Faschinenpackung eingebaut werden.

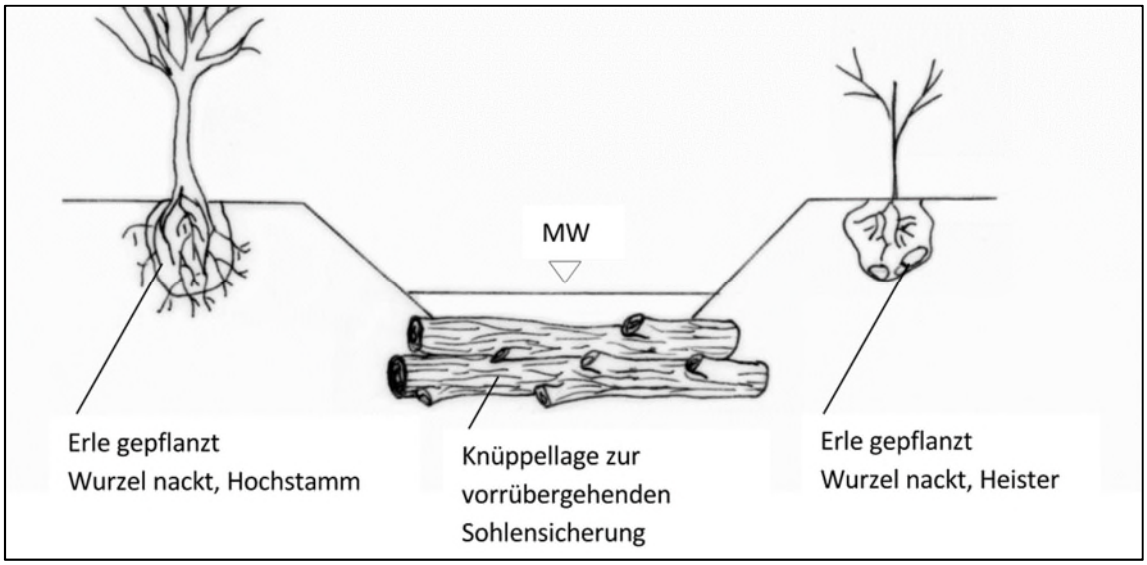


Abb. 11: Knüppellage mit Erlenbepflanzung im Einbauzustand

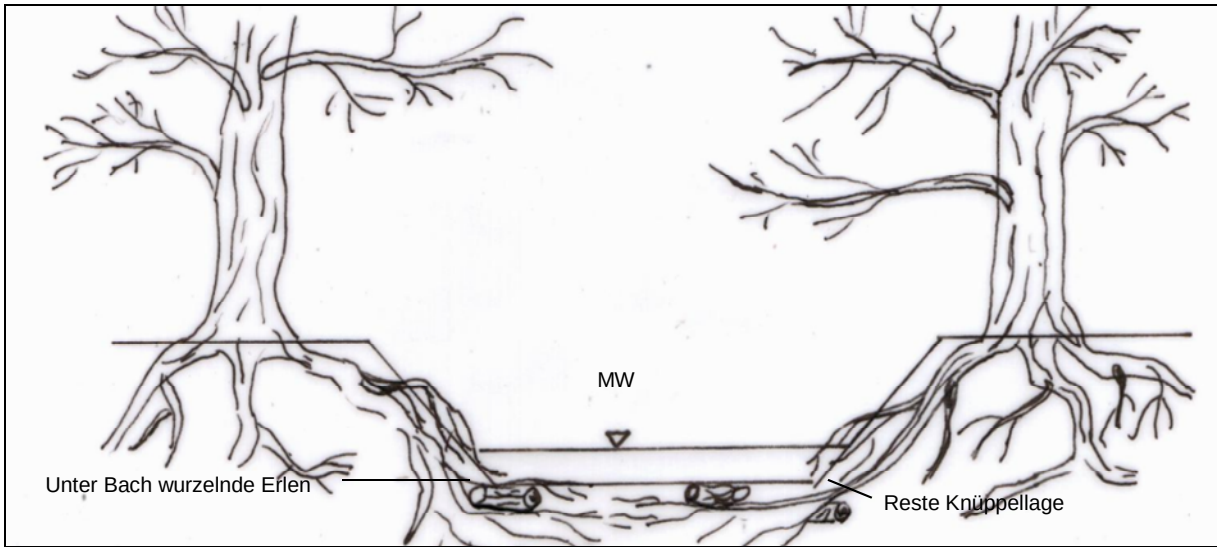


Abb. 12: Knüppellage mit Erlenbepflanzung nach 10-15 Jahren

Mittel- bis langfristig können sich an den Wurzeln der Erlen kleine Abstürze ausbilden, wenn die Durchwurzelung nicht gleichmäßig auf der gesamten Länge erfolgt. Außerdem engen sehr dicht am Wasser gepflanzt Erlen den Gewässerquerschnitt allmählich ein.

Kosten:	1 m²	100 €

4.1.7 Faschinen zur Ufersicherung

Faschinen sind universell verwendbare Bauelemente im naturnahen Wasserbau. Sie können zur Ufersicherung, zur Strömungslenkung und zur Entwicklung von Biotopstrukturen eingesetzt werden. Faschinen bestehen in der Ingenieurbiologie üblicherweise aus bewurzelungsfähigem Reisig (vornehmlich langblättrige Weidenarten), welches frisch, elastisch, biegsam, gleichmäßig strukturiert in Grob- und Feinäste und gut bündelbar sein sollte. Wegen der Bewurzelungsfähigkeit ist besonders auf ausreichend Grobastanteil an jeder Stelle der Faschine zu achten.

Je nach Einsatzbedingungen und Ziel können Faschinen aber auch aus nicht austriebsfähigem, aber frischem biegsamen Reisig bestehen, z.B., wenn sie dauerhaft unter Wasser als Ufersicherungen in langsam fließenden Gewässern mit feinsandigen oder organischen Böden Verwendung finden sollen.

Werden Faschinen zur Sicherung des Ufers vor der Wasserströmung z.B. vor einem Prallufer eingesetzt, dann sollten sie rau und dachschindelartig eingebaut werden, so dass das unterwasserseitige Ende der oberen Faschine vor dem oberwasserseitigen Ende der unteren Faschine liegt (siehe untenstehende Abbildung). Zum Abstützen von Bodeneinbau auf nassem Untergrund können Faschinen wallartig als Stütze mit Filterfunktion eingebaut werden.

Abb. 13: Faschinen zur Stützung einer Vorschüttung, Abdeckung des Schüttbodens durch Mulch und Kokosnetz nach einer Ansaat, Sicherung durch Holzhaken (links, Foto Johannsen) und strömungsabweisende Faschinen mit Jutegewebe als Anfangssicherung (rechts)

Ist eine Filterfunktion erwünscht, so sollten die Faschinen im Berliner Gebiet, wegen der meist feinkörnigen oder organischen Böden, noch zusätzlich mit dicken Kokosmatten ummantelt werden. An Fließgewässern erfolgt die Befestigung durch Pfähle, die durch die Faschine geschlagen werden. Oder die Faschinen werden hinter eine Pfahlreihe gelegt, niedergedrückt und mit Bindedraht angebunden. Sinnvoll sind ggf. auch horizontal oder schräg eingeschlagene Pflöcke als Niederhalter.

Kosten:	1 m	25 €

4.1.8 Lahnung

Die Lahnung dient zum Schutz von Seeufern vor Wellenschlag und schützt so auch Röhrichtanpflanzungen in der Anwuchs- und Entwicklungsphase. Zwischen zwei Pfahlreihen werden vorgefertigte Reisigfaschinen dicht eingebaut und durch eine Drahtüberspannung am Auftreiben gehindert. Alternativ können die Reisigfaschinen durch Ankerketten fixiert werden (s. Abb.). An die untere Faschinenlage kann eine Astlage quer zur Strömungsberuhigung und als Biotopstruktur angebunden werden.

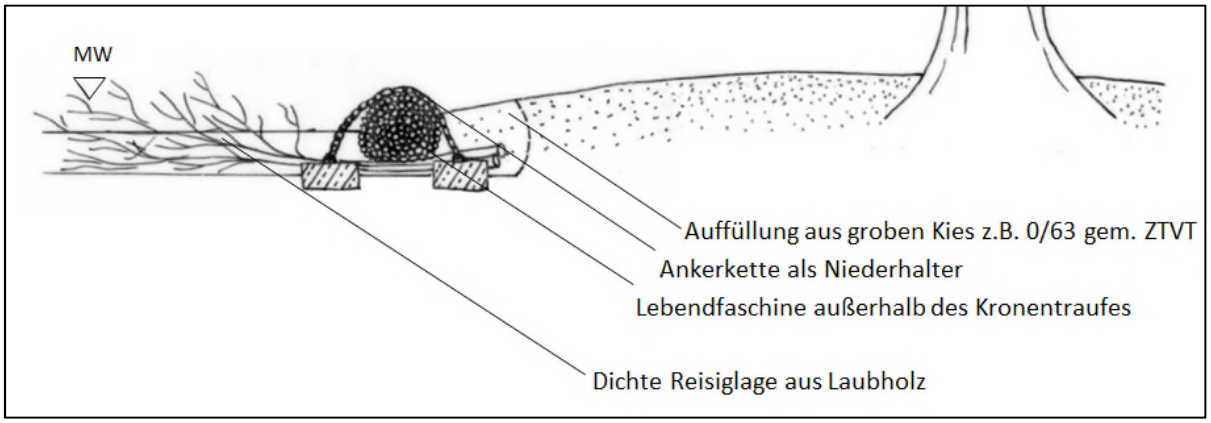


Abb. 14: Beispiel für eine Lahnung

Diese Bauweise ist nur an Gewässern ohne Eisgang empfehlenswert. An Bundes- und Landwasserstraßen mit zusätzlich schiffsinduzierten Wellen und Eisgang haben sich Palisadendoppelreihen als Schutz für Röhrichtgürtel bewährt (siehe auch KRAUß, LÜHRTE 2013).

Abb. 15: Palisaden zum Schutz der Schilfgürtel an den Dahmeseen in Berlin

Kosten Lahnung:	1 m	200-600 €

4.1.9 Geflecht, Flechtzaun

Erodierte Ufer hinter einer Pfahlreihe können kurz- und mittelfristig durch ein grobes Geflecht aus mind. 3 cm starken biegsamen, geraden, wenig verzweigten Ästen oder Ruten vor weiterer Erosion geschützt werden. Hierzu werden die Äste zwischen den vorhandenen Pfählen gebogen, eingeflochten und unter die Mittelwasserlinie auf die Reste der noch vorhandenen Faschinen gedrückt. Zwischen Flechtwerk und Ufer sollte eine Kokosmatte muldenförmig eingebaut werden und mit Röhrichtballen oder Vegetationsstücken (siehe Kap. 4.2) zur mittelfristigen Ufersicherung bepflanzt werden. Bei den in Berlin meist vorherrschenden feinkörnigen Böden ist ein filterstabiler Aufbau wichtig, da das grobe Flechtwerk diese Funktion alleine nicht erfüllen kann.

4.1.10 Reisig- und Astlagen aus Laub- bzw. Nadelholzreisig

Die Reisiglage, früher auch Rauwehr genannt, dient als vorübergehende Ufersicherung in der Anwuchs- und Entwicklungsphase der angesiedelten Ufervegetation. Sie ist hydraulisch mäßig rau. Auf Grund ihrer Struktur und der Drähte wird sie nicht gerne betreten, was im Sinne einer angestrebten Vegetationsentwicklung positiv bewertet werden kann.

Reisiglagen aus Laubholzreisig bestehen aus mindestens 2 cm starken Zweigen. Die Zweige und Äste werden flächendeckend quer zur Fließrichtung oder schräg zum Wellenschlag verlegt.

Bei **Reisiglagen aus Nadelholz** sollten die Zweige mind. 3 cm stark sein. Hierbei werden die Äste diagonal zur Fließrichtung in zwei sich kreuzenden Lagen verlegt.

Die **Befestigung** erfolgt durch Pflöcke (mind. 4 Stück/ m^2) und Spanndraht (unverzinkt, mind. 1,5 mm) längs, quer und diagonal gesichert. Alternativ zum Draht können als Niederhalter auch Derbstangen verwendet werden, die dann an Pfählen (übliches Raster 1m x 1m) befestigt werden.

Abb. 16: Reisiglage aus Fichtenreisig zur Sicherung einer Pflanzfläche im häufig überströmten Vorland, Befestigung mit Holzpflöcken und Spanndraht (links, Foto Johannsen) und an einer steilen Böschung zur Anfangssicherung der vegetationsfreien Zwischenbereiche einer Heckenlage, Befestigung durch Derbstangen (rechts)

Eine **Astlage** besteht im Gegensatz zur Reisiglage aus stärkeren stark verzweigten Ästen (3 – 8 cm an der Schnittstelle). Sie kann als Biotopstruktur oder Rauigkeitselement quer zur Strömung oder zum Wellenschlag eingebaut werden. Gehalten wird sie durch Faschinen oder Steinschüttungen.

Kosten:	1 m²	50 €

4.1.11 Kokosnetz verlegen

Kokosnetze dienen zur Sicherung von Ansaaten, Andeckungen von Vegetationsschichten oder Ballenpflanzungen vor Erosion. Das Material ist ca. 2 Jahre haltbar, alternativ kann auch Jutegewebe verwendet werden. Das Kokosnetz wird verlegt und durch mind. 5 Holzhaken pro m^2 fixiert. Überlappungen betragen mindestens 10 cm und werden in Abständen von 30 cm fixiert.

Kosten:	1 m²	10 €

4.1.12 Kokosmatte als Filter einbauen

Kokosmatten werden als gut durchwurzelbare Filter zur Erosionsvermeidung dort eingebaut, wo die Wurzeln von Röhrichten, Seggen oder Ufergehölzen diese Funktion später übernehmen. Diese Untergrenze liegt ca. 30 cm unter der Mittelwasserlinie. Sie können unterhalb von

dieser Linie mit Steinschüttungen oder Faschinen überdeckt werden. Für einen Filter aus Kokosmatte sollte das Material eine Qualität von mind. 500 gr/m^2 aufweisen.

Abb. 17: Kokosmatte (links) und verschiedene Kokosnetze (Mitte und rechts)

Die obere Abbildung zeigt verschiedene Webstoffe mit Kokos als Matte (links) und als Netz (rechts).

Kosten:	1 m²	ca. 15 €

4.1.13 Kokoswalze

Kokoswalzen dienen als Alternative zur Faschine zur sofortigen Ufersicherung. In ihrem Schutz können Röhrichte, Seggen und Ufergehölze gepflanzt werden. Die Befestigung erfolgt hinter Pfahlreihen durch Drahtanbindung. Die Kokoswalzen sollten 20-30 cm stark sein und bei längeren Lagerungszeiten vor Einbau vor direkter UV-Einstrahlungen geschützt werden.

Die obenstehende Abbildung zeigt links das Ausgangsmaterial für die Koskoswalze als Kokosmatte.

Kosten:	1 m	ca. 30 €

4.2 Bauweisen mit Gräsern, Röhricht, Stauden

4.2.1 Normalsaat

Bei der Normalsaat wird Saatgut von Hand auf einen geeigneten vorbereiteten Boden gestreut, leicht eingeharkt und angewalzt, um Bodenkontakt zu ermöglichen. Die Normalsaat ist nur auf ebenen bis flach geneigten humosen Flächen ohne Abspülungsgefahr erfolgreich anwendbar,

zum Beispiel bei der Rekultivierung von Baubetriebsflächen. Zur Erleichterung einer gleichmäßigen Ausbringung des meist feinen Saatgutes ist ein Vermischen z.B. mit feinem Sägemehl oder Getreideschrot möglich.

Kosten:	1 m²	ca. 2 €

4.2.2 Decksaat

Das Saatgut wird wie bei der Normalsaat auf eine Fläche gestreut. Danach wird die Saat mit Mulch aus frischem Grünschnitt, Heu oder Stroh locker abgedeckt. Dabei sollten 300 - 500 g/m² bei trockenem Mulchstoff und ca. 1.000 - 2.000 g/m² bei frischem Grünschnitt verwendet werden. Das Material wird durch Kokosnetze mit Haken auf der Oberfläche fixiert.

Alternativ kann die Saat auch mit Erosionsschutzmatten und Haken festgelegt werden. Decksaaten eignen sich für Ufer- und Böschungsstandorte, zur Entwicklung von Landschaftsrasen und Röhricht bei geringem bis mäßigen Erosionsrisiko ohne direkte Wasseranströmung.

Kosten:	1 m²	5 €

4.2.3 Nasssaat

Das Saatgut wird mit Wasser als Träger mit Ansaatgeräten auf vegetationsfreie Flächen aufgebracht. Das Verfahren ist bei großen Flächenbegrünungen im Bergbau und Verkehrswegebau üblich. Hier wird die Nasssaat mit Dünger, Bodenverbesserungsstoffen, Mulch und Kleberzugaben kombiniert.

Bei Nasssaaten in Gewässernähe dürfen nur Begrünungshilfsstoffe verwendet werden, die nachweislich nicht gewässergefährdend sind. Das Verfahren eignet sich im Wasserbau eher zur Begrünung gewässerferner Deiche, Vorlandflächen und Aufschüttungen, die selten überflutet werden.

Kosten:	1 m²	3 €

4.2.4 Ansaat in Fugen mit Lehmbrei-/ Samengemisch

Zur nachträglichen Begrünung von Steinschlichtungen und Gabionenmauern kann ein geeignetes Lehmbrei-/ Samengemisch in die Fugen eingearbeitet werden. Dabei wird schwach humoser Lehm mit Saatgut von standortgerechten Gräsern, Kräutern und ggf. auch Beerensträuchern oder Wildrosen gemischt und mit einer Maurerkelle in die Fugen möglichst tief eingearbeitet. Diese Ausführung ist nur oberhalb der Mittelwasserlinie sinnvoll. Nach einem guten Anwachsen wird das Ausschwämmen von Boden vermindert und die Filterstabilität verbessert.

Kosten:	1 m²	20 €

4.2.5 Vegetationsschicht andecken

Die vorher abgezogene und zwischengelagerte Vegetationsschicht wird auf ebene oder flach geneigte vegetationsfreie Flächen angedeckt, wenn die Erosionsgefahr durch Abspülung oder Verwehung gering bis sehr gering ist.
Auf Uferböschungen sollte bei geringer bis mäßiger Erosionsgefahr eine Überspannung mit Erosionsschutznetzen aus Kokos erfolgen sowie deren Befestigung mit Holzhaken (mindestens 5 Stück pro m²).

Kosten:	1 m²	5 €

4.2.6 Rasensoden, Rasenplaggen oder Fertigrasen andecken

Rasenplaggen, Rasensoden und Fertigrasenstreifen werden auf Uferböschungen so angedeckt, dass in Fließrichtung oder Wellenrichtung keine durchgehenden Fugen entstehen. Um ein Abrutschen oder Verdriften der Begrünungselemente auf Ufern zu verhindern, werden die größeren Begrünungselemente mit mehreren Holzpflöcken befestigt. Bei kleineren Rasenplaggen werden Kokosnetze überspannt und mit Holzhaken befestigt.

Kosten:	1 m²	20 €

4.2.7 Fugenbepflanzung mit Kleinballen und Ballenteilen von Gräsern, Stauden und Röhricht

Fugen von Steinsatz, Steinschlichtungen oder Gabionenmauern können nachträglich mit Fugenbepflanzungen mit Kleinballen und Ballenteilen von standortgerechten, heimischen Gräsern, Kräutern und Röhrichten begrünt werden. Vor der Bepflanzung sollte Lehmbrei in die Fugen gegossen werden. Die Wurzelballen zur Bepflanzung von trockenen Standorten sollten aus mineralischem Boden bestehen (keine torfhaltigen Ballen).

Kosten:	1 m²	20 €

4.2.8 Ballenpflanzung von Röhricht, Seggen, Feuchtstauden

Röhrichtballen werden in der Weichholzzone und oberen Röhrichtzone oberhalb des Wasserstandes zur Zeit der Pflanzung in vorbereitete Löcher oder Gräben von Hand gepflanzt. Um ein Abrutschen oder Verdriften zu verhindern, eignen sich Befestigungen mit Pflöcken. Röhrichtballen können auch gut oberhalb von Uferfaschinen, Röhrichtwalzen oder Geflechten gepflanzt werden.

Kosten (5 Pflanzen pro m²):	1 m²	30 €

4.2.9 Einbau von Vegetationsstücken

Vegetationsstücke werden zumeist im Bereich der Baustelle aus örtlichen Beständen gewonnen. Sie werden dann im Baustellenbereich in der Weichholzzone und oberen Röhrichtzone oberhalb des Wasserstandes zur Zeit der Pflanzung in vorbereitete Gräben oder Mulden maschinell gepflanzt. Um ein Abrutschen oder Verdriften zu verhindern, eignen sich Befestigungen mit Pflöcken oder Pfählen.

Kosten:	1 m²	20 €

4.2.10 Bepflanzte Kokoswalze

Gewässer mit Wassertiefen am Ufer von nicht mehr als 20 cm und geringer Strömung können mit bepflanzten Kokoswalzen gesichert werden. Die Kokoswalze dient als Anfangsschutz für die Pflanzung und als Filter. Sie schützt das Ufer außerdem vor Wellenschlag und leichter Strömung. Sie ermöglicht die Entwicklung eines Röhrichtgürtels.

Die Kokoswalze wird mit Pfählen im Untergrund befestigt. Diese werden wie bei den Faschinen entweder durch das Gewebe getrieben oder die Walzen werden mit unverzinktem Draht oder Kokosstrick an den Pfählen befestigt.

Die Bauweise eignet sich für sonnige und halbschattige Standorte. Zur Etablierung von Röhrichten sollten die Standortansprüche der genutzten Arten berücksichtigt werden. Schilf wächst eher in sonnigen Abschnitten, schattenverträgliche Seggen können hingegen auch bei eingeschränkten Lichtverhältnissen gedeihen.

Kosten:	1 m	20 €

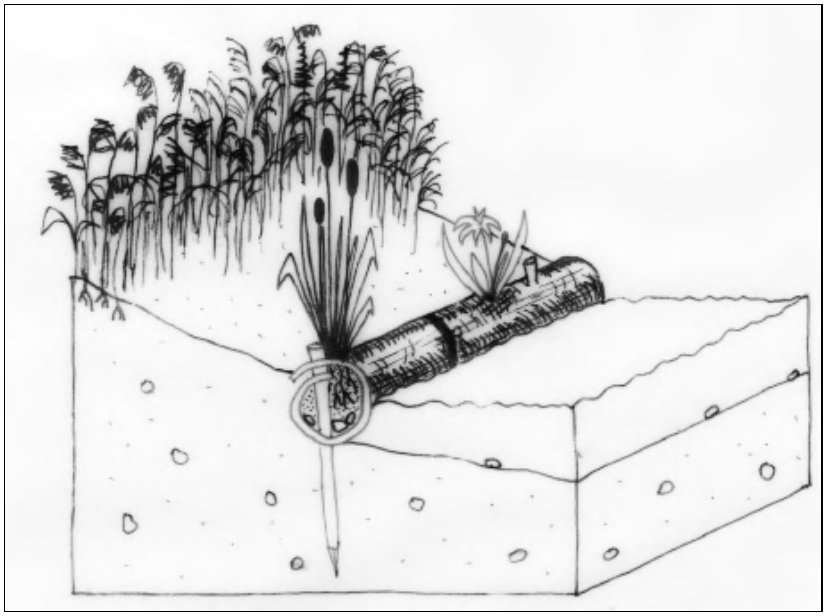


Abb. 18: Kokoswalze mit eingepflanzten Röhrichtballen an einem flachen Ufer (Skizze in Anlehnung an ZEH 2007)

4.3 Ingenieurbiologische Bauweisen zur Initiierung von Gehölzbeständen

4.3.1 Steckholzpflanzung

Mit Steckholzpflanzungen können Bestände naturraumtypischer Baum- und Strauchweiden in der Weichholz- und unteren Hartholzzone gegründet werden. Sie werden z.B. in Böschungen oder auf den Böschungsoberkanten gesetzt. Bei Böschungen können die oberen Steckhölzer die unteren sich entwickelnden Weiden beschatten, so dass der Reihenabstand entsprechend der Hangneigung zu variieren ist. Üblicherweise werden auf flachen Böschungen 3-5 Steckhölzer pro m² ausgebracht. Eine Obergrenze der Böschungsneigung gibt es nicht, auf sehr steilen Böschungen (kleiner 1:1) ist ggf. nur eine Reihe Steckhölzer aufgrund der gegenseitigen Beschattung sinnvoll.

Für Steckholzpflanzungen geeignet sind unterschiedliche Bodenarten. Auch steinige Substrate (z.B. Steinschüttungen) können begrünt werden. In weiche feuchte Böden kann das Steckholz ohne weitere Hilfsmittel eingesteckt werden. In anderen Substraten sollten Löcher vorgebohrt werden. Pflanzlöcher von mindestens 50 cm Tiefe und 2 – 3-fachem Durchmesser werden vorgebohrt und mit humosem Lehmbrei verfüllt. Entscheidend für den Anwuchserfolg ist ein guter Bodenschluss und eine unverletzte Rinde sowie in Steinschüttungen ein ausreichender Grundwasserkontakt. Das Steckholz wird zu $^{2}/_{3}$ bis $^{3}/_{4}$ seiner Länge in die Erde eingebracht. Es muss festsitzen, ggf. auch durch Boden festgeklemmt werden. Beschädigte Zöpfe (oberes Ende des Steckholzes) werden zurückgeschnitten.

Abb. 19: Ufersicherung durch dichte Steckholzpflanzung, Böschungsfußsicherung durch Reisigfaschine (Foto R. Johannsen)

Kosten (1 Pflanze pro m²):	1 m²	10 €

4.3.2 Setzstangenpflanzung

Setzstangen werden zur Neuansiedlung von Baumweidenbeständen in zu entwickelnden Auwaldbereichen oder an Gewässerufern, die nicht regelmäßig gemäht werden können, verwendet. Pflanzlöcher von mindestens 80 cm Tiefe und 2 bis 3-fachem Durchmesser werden vorgebohrt und mit humosem Lehmbrei verfüllt. Die Setzstangen werden eingesetzt und ggf. mit Boden festgeklemmt. Ein beschädigter Zopf wird glatt nachgeschnitten. Für Setzstangen gibt es zahlreiche weitere Anwendungen, wie die Fixierung von Totholzstrukturen oder die Begrünung mächtiger Steindeckwerke.

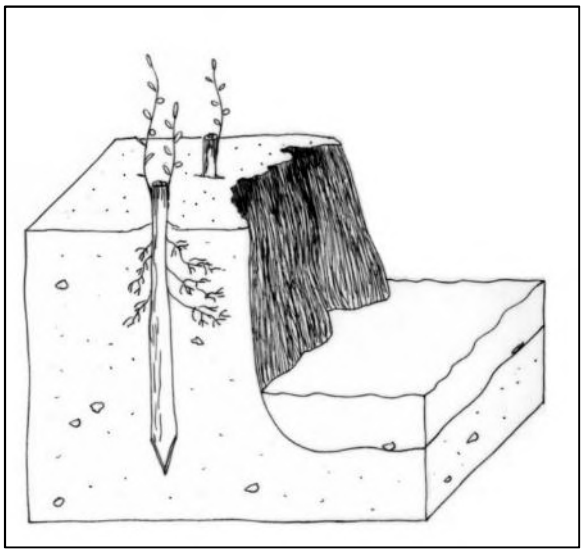


Abb. 20: Schematische Darstellung einer Setzstange mit Wurzelentwicklung (in Anlehnung an GEITZ 2000)

Die Setzstange zeichnet sich gegenüber dem Steckholz durch ein Herausragen aus ggf. konkurrierender krautiger Vegetation aus. Dadurch wird der Unterhaltungsaufwand gesenkt. Setzstangen sind weniger anfällig für Trockenschäden in der Anfangsphase ihrer Entwicklung, da sie mehr Reserven im Holz gespeichert haben. Deshalb gilt auch bei Setzstangen, dass ein guter fester Bodenschluss der Rinde hergestellt wird. In mächtigen Steindeckwerken sollten Setzstangen tief genug eingebaut werden, um Grundwasserkontakt zu erhalten.

Setzstangen werden ca. 1-2 Stück pro m² gesetzt, Bei Pflanzungen in Reihe beträgt der Reihenabstand ca. 2 m.

Kosten (1 Pflanze pro m²):	1 m²	15 €

4.3.3 Lebendfaschine

Zur sofortigen Sicherung und Entwicklung von Baum- oder Strauchweiden werden Lebendfaschinen oberhalb der Mittelwasserlinie in zuvor angelegte flache Gräben mit einer Tiefe von $^{2}/_{3}$ des Faschinendurchmessers verlegt und durch Pfähle in Abständen von maximal 0,8 m fixiert. Die Faschine kann mit Bindedraht angebunden werden, oder die Pfähle werden durch die Faschine geschlagen.

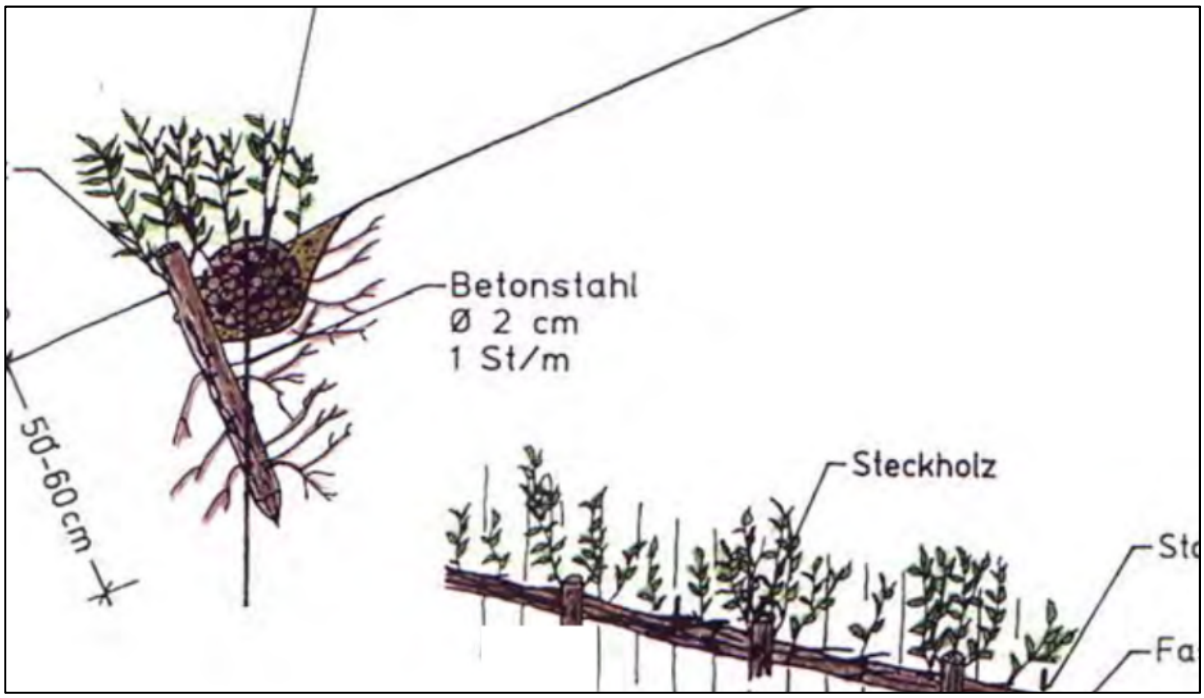


Abb. 21: Lebendfaschinen, Einbau am Hang mit Sicherung: Variante Steckholz und Stahlsstab

Zur Entwicklung eines Baumweidensaums kann ein fließrichtungsparalleler Einbau ggf. bei Ausnutzung vorhandener Pfahlreihen angestrebt werden. Um die hierbei häufig auftretenden Hinterspülungen zu vermeiden, wird aber ein gegen die Fließrichtig ansteigender fächerförmiger Einbau empfohlen (siehe auch Kap. 5.1.6).

Als Schutz der Böschung vor Wellenschlag können Strauchweidenfaschinen mit Neigungen von ca. 45° zur Uferlinie in dichten Abständen (1,5 – 3,0) m angeordnet werden.

Kosten:	1 m	20 €

4.3.4 Spreitlage verlegen

Die Weidenspreitlage ist eine universell einsetzbare, sofort wirksame flächenhafte Ufersicherung, aus der sich hydraulisch stark belastbare Strauchweidenbestände entwickeln können. Die erosionsstabile Wirkung wurde sowohl an schnell fließenden Berglandflüssen als auch an Wasserstraßen mit Schiffswellen beobachtet.

Bewurzelungsfähige Weidenruten werden quer zur Fließrichtung dicht an dicht (ca. 20 Stück pro m) auf eine maximal 1:2 steile planierte Uferböschung gelegt, sodass die basalen Schnittstellen unterhalb des aktuellen Wasserstands im Boden stecken. Die Lage wird durch Pflöcke (80 cm lang) im Raster von 75 x 75 cm und Spanndraht längs, quer und diagonal verspannt oder durch Derbstangen und Pfähle im Abstand von 100 x 100 cm niedergehalten. Eine Fußsicherung ist unbedingt erforderlich und kann aus Steinschüttung, Steinsatz oder Faschinenlagen bestehen. Um im Frühjahr noch eine Bewurzelung auch der oberen Rutenteile zu bewirken, können die Lagen auch streifenweise mit humosem Sand leicht überdeckt werden.
Bei Einwirkungen von Wellen sind für die Fußsicherung längere Pfähle, engere Abstände und/oder Ballaststeine erforderlich.

Abb. 22: Weidenspreitlage als Ufersicherung an einem Berglandfluss, Befestigung durch Holzpflöcke und Spanndraht, Fußsicherung durch Steinsatz (links), Fixierung durch Derbstangen und Rundholzpfähle), Fußsicherung durch Faschinen (rechts) (Fotos beide R. Johannsen)

Kosten:	1 m²	50 €

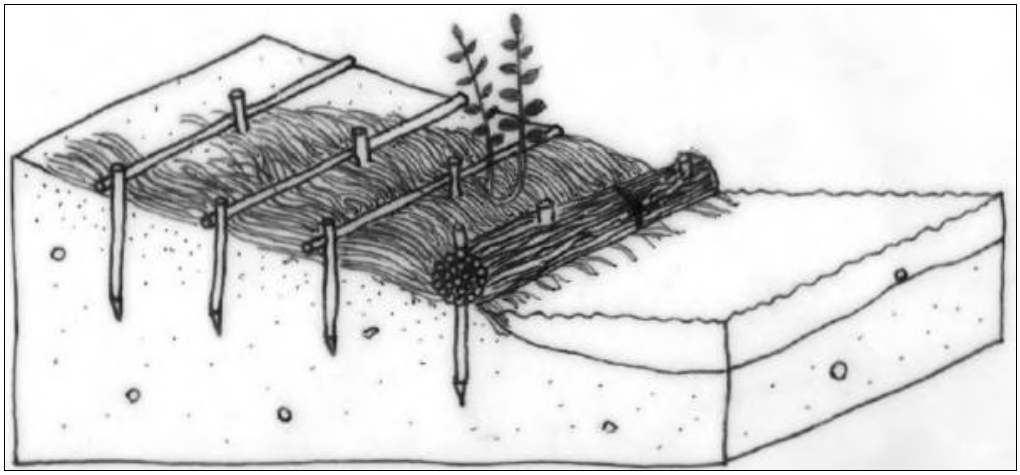


Abb. 23: Schematische Darstellung einer Weidenspreitlage in Anlehnung an GEITZ 2000

4.3.5 Baumweidenstamm halb eingraben

Stammteile gefällter Baumweiden können zur Entwicklung sowohl waagerecht als auch lotrecht in Ufer oder Vorlandbereiche halb eingegraben werden. Wenn diese Stammteile erneut und dauerhaft ausschlagen sollen, sollte die Rinde bei Transport und Einbau keine großen Schäden davontragen. Das gleiche gilt für Rodungsarbeiten, bei denen Torsionsbelastungen zu Rindenablösungen führen können, dies ist zu vermeiden.

Kosten (Baumstamm vorhanden): 1 Stück 50 €

4.3.6 Wurzelstockpflanzung

Wurzelstöcke gerodeter Bäume können an geeigneter Stelle nach Rückschnitt der langen und verletzten Wurzeln wieder eingepflanzt werden. Der neue Standort sollte dem alten Standort ähneln. Das Pflanzloch muss ausreichend groß sein, um ein Verbiegen von Wurzeln zu vermeiden und das Verfüllen mit weichem oder lockerem Boden zu ermöglichen. Der Boden sollte in die Hohlräume eingeschlämmt werden, damit die Wurzeln Bodenkontakt bekommen.

Zur Sicherung gegen Verdriftung kann der Wurzelstock in der Anwuchsphase durch Holzpfähle oder Setzstangen gesichert werden.

Abb. 24: Eingebauter Wurzelstubben mit ausgetriebenen Zweigen an der Taft (links, Thüringen) und kurz nach Einbau an der Nidda (rechts, Hessen)

Kosten (Wurzelstock vorhanden): 1 Stück 50 €

4.3.7 Pflanzung von Wurzelschnittlingen

Viele der im Gebiet heimischen Dornensträucher (z.B. Brombeeren, Kratzbeeren) können durch Wurzelschnittlinge vermehrt werden. Hierzu sollten 30 cm tiefe v-förmige Gräben angelegt und 5 Wurzelschnittlinge pro laufenden Meter eingelegt werden.

Kosten (5 Pflanzen pro m): 1 m 15 €

4.3.8 Pflanzung wurzelnackter Pflanzen

Wurzelnackte Pflanzen werden nach fachgerechtem Wurzelrückschnitt in Pflanzlöcher gepflanzt, die mindestens die 1,5-fachen Abmessungen des Wurzelwerkes haben. Sie werden sofort angewässert. Die Pflanzen müssen aufgrund fehlender Ballen und Nährsubstrate sofort in dem vorhandenen Boden wurzeln und erreichen dadurch schnell eine Erosionsschutzwirkung. Als vorübergehender Erosionsschutz an Prallufern in der Weichholz- und unteren Hartholzzone sollten die Gehölzpflanzungen durch Reisiglagen oder Erosionsschutznetze gesichert werden.

Kosten:	1 Stück	20 €

4.3.9 Ballenpflanzung

Ballenpflanzen mit den Pflanzqualitäten Heister oder Stammbusch nach FLL Gütebestimmungen für Baumschulpflanzen werden zur Anlage von Einzelgehölzen oder Gehölzbeständen in innerstädtischen Grünflächen empfohlen. Ballenpflanzen werden als Lochpflanzung eingebaut. Die Pflanzungen werden durch Pfähle gesichert.

Kosten:	1 Stück	35 €

4.3.10 Heckenlage

Auf halbtrockenen erosiven und durch Betreten gefährdeten Standorten besteht durch eine Heckenlage die Möglichkeit, schnell sichernde Heckenstrukturen zu entwickeln.

In das Ufer werden v-förmige Gräben von 50 cm Tiefe schräg geneigt zur Fließrichtung oder Wellenrichtung angelegt. Die Neigung dient der Ableitung von Hangwasser im gelockerten Erdreich des Pflanzgrabens, damit dieses nicht konzentriert versickert und ggf. zu Rutschungen führt (siehe untenstehende Abbildungen).

Hierein werden nach dem Wurzelrückschnitt überschüttungsverträgliche (siehe Tabelle in Anhang 8.1), bewurzelte Gehölze (4 Stück pro m) so verlegt, dass die Wurzeln nicht gestaucht werden, und anschließend übererdet. Der Triebrückschnitt erfolgt je nach Witterung und Jahreszeit, z.B. im Frühjahr, bei mehrstämmigen Exemplaren oder bei Bäumen an den Seitentrieben. Die Wahl der Gehölze erfolgt je nach Standortbedingungen. Es können auch Gestaltungsaspekte berücksichtigt werden.

An stark begangenen Ufern sollten die Heckenlagen durch Reisiglagen oder niedrige Spanndrahtzäune geschützt werden

Abb. 25: Heckenbuschlage in der Herstellung (links) und ca. 3 Jahre nach Fertigstellung (rechts)

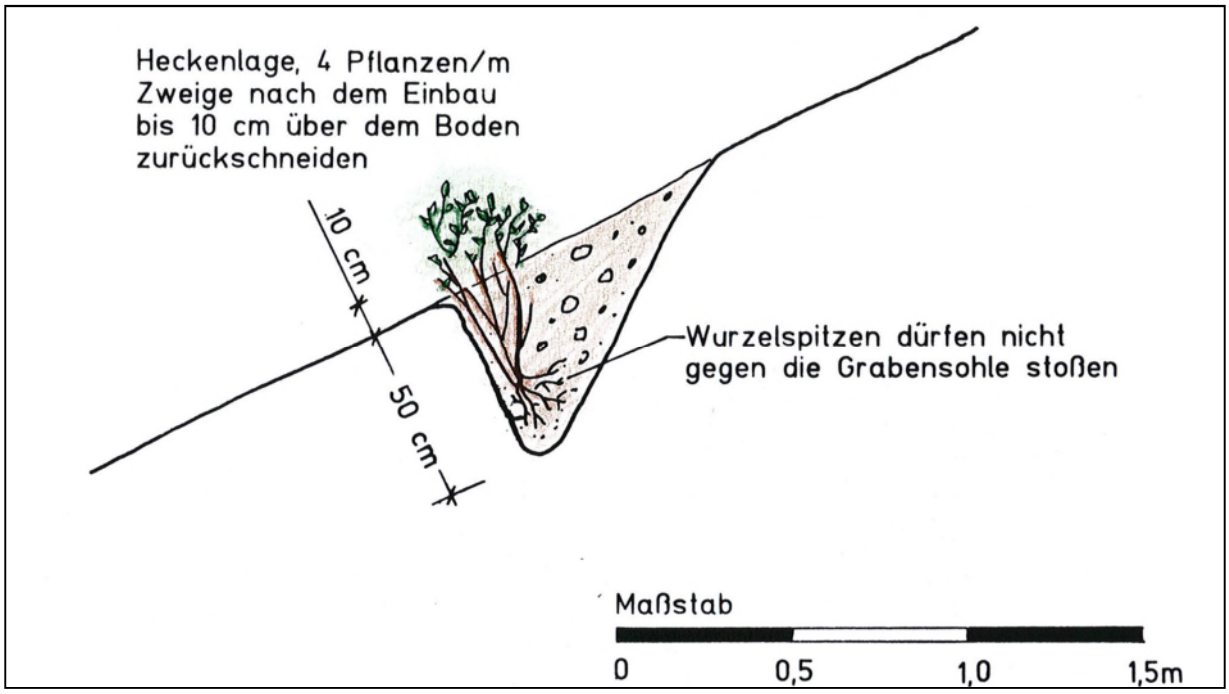


Abb. 26: Schematische Zeichnung einer Heckenlage in einer ca. 1:2 geneigten Böschung

Kosten:	1 m	50 €

4.3.11 Buschlagen

In das Ufer werden v-förmige Gräben von 50 cm Tiefe schräg zur Fließrichtung oder Wellenrichtung angelegt. Auf die Grabensohle werden 4 – 8 bewurzelungsfähige Äste und Steckhölzer geeigneter Weidenarten gelegt. Die basalen Schnittstellen werden rückwärtig in den anstehenden Boden / Grabensohle gedrückt und danach übererdet.

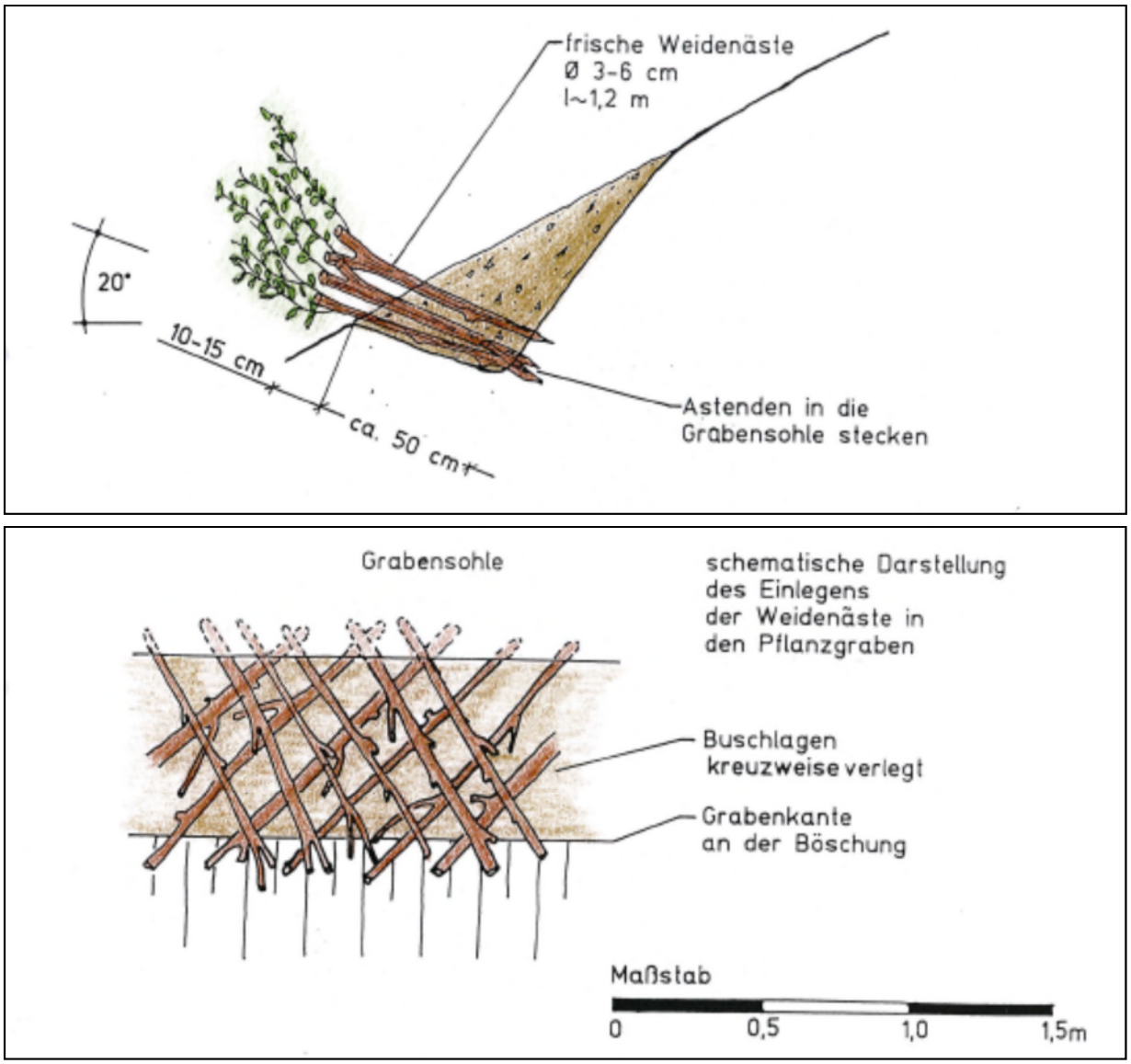


Abb. 27: Buschlage aus austriebsfähigen Weidenästen

Auch eine Kombination von bewurzelten und austriebsfähigen Gehölzen ist möglich (Hecken-Buschlage). Hier sind ca. 2 bewurzelte Pflanzen und 6 austriebsfähige Weidenäste pro laufendem Meter in den Graben gemäß oben beschriebener Prinzipien einzulegen.

Kosten:	1 m	50 €

4.4 Bauweisen mit Steinen und Erden

4.4.1 Steinschüttung

Der natürliche Boden im Berliner Raum besteht aus organischen, schluffigen, lehmigen oder sandigen Substraten, die gelegentlich mit Kiesen angereichert sind. Der Einsatz von Steinen stellt damit keinen naturgemäßen Baustoff im Berliner Raum dar, hat jedoch unter bestimmten Voraussetzungen seine Anwendungsbereiche.

Steinschüttungen dienen dem Erosionsschutz vor allem hydraulisch stärker belasteter Unterwasserböschungen, an denen Umlagerungen z.B. aufgrund der angrenzenden Bebauung nicht zulässig sind. Sie sichern die Bereiche unterhalb der Zonen, die durch Vegetation gesichert werden können und stabilisieren den Übergangsbereich.

Eine Steinschüttung wird horizontal und geneigt bis 1:2,5 maschinell eingebaut. Bruchsteine werden dazu über oder unter Wasser in Schichten von mind. 1,6-facher Stärke des mittleren Korndurchmessers geschüttet. Die Steingröße richtet sich nach hydraulischen Erfordernissen, der Böschungsneigung sowie angrenzenden Nutzungen. Weitgestufte Steinmischungen ($U \geq 3$) führen hier zu einer besseren Verkeilung und Hohlraumfüllung. Die Hohlraumfüllung aus feinsandigen Korngrößen verhindert das mortale Verdriften des Makrozoobenthos bei Wellenschlag und verbessert die Substratdiversität. Große Hohlräume fördern zudem das Auftreten von Neozoen (z.B. *Dikerogammarus villosus*), die in Konkurrenz zur heimischen Fauna stehen.

An Wasserstraßen richtet sich die Bemessung der Steinschüttung nach ZTV-W. Hier werden ausschließlich wasserbautaugliche Hartbruchsteine gemäß DIN 13383 verwendet. Durch Steinschüttkeile werden Unterwasserböschungen auch vor Uferwänden stabilisiert.

Insbesondere Bereiche mit häufigen Einwirkungen schiffsinduzierter Wellen können durch Steinschüttungen gesichert werden. Flache Ufer und Sohlen können hingegen auch mit Grobkies oder Lesesteinen aus dem Gebiet gesichert und gestaltet werden. Aus mehrstufigen und mehrlagigen Steinschüttungen werden kleine Lücken oder Kolke automatisch wieder aufgefüllt.

Auf den im Berliner Raum üblichen Sandböden ist ein planmäßiger filterstabiler Aufbau erforderlich, da die Steine sonst im Untergrund versinken. Auf nicht tragfähigem Untergrund aus Torf sind Steinschüttungen ungeeignet, da sie wegen ihres hohen Eigengewichts auch bei filterstabilem Aufbau allmählich im torfigen Untergrund versinken können.

Abb. 28: Grobkiesschüttung als Böschungsfusssicherung der Unterwasserböschung kombiniert mit Kurzbuhnen als Strömungsabweiser (links, Foto R. Johannsen) und Steinschüttung mit Lesesteinen auf Kunststofffilter (rechts)

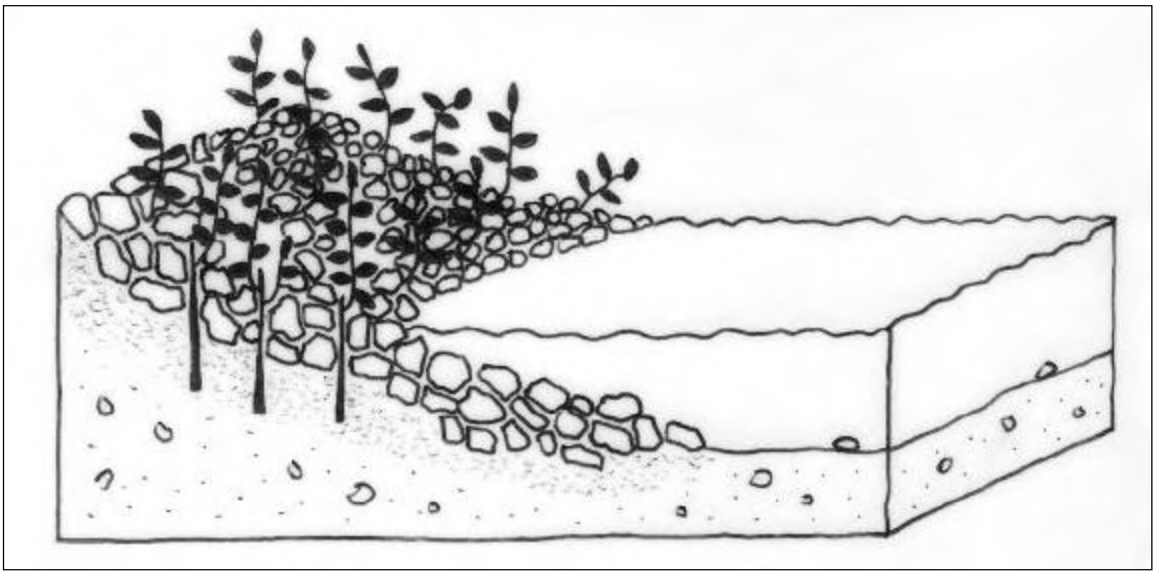


Abb. 29: Mit Steckhölzern begrünte Steinschüttung in Anlehnung an GEITZ 2000, S. 102

Steinschüttungen lassen sich in den jeweiligen Vegetationszonen mit den geeigneten Pflanzen und Verfahren begrünen.

Kosten:	1 m³	60 €

4.4.2 Stützschwellen aus Steinschüttung

Mit Steinschüttungen lassen sich stark eingetiefte Gewässersohlen wieder anheben. Hierzu wird entweder die Sohle als Ganzes aufgefüllt, oder es werden in planmäßigen Abständen Sohlschwellen angeordnet. Dabei wird die Unterwasserseite deutlich flacher als die Oberwasserseite ausgebildet. Die Steinschüttungen müssen bei gering wasserführenden Gewässern gegen Durchsickerung geschützt werden. Dies kann durch eine Pfahlreihe, durch Beimischung von Kiesen oder durch einen Lehmkern erfolgen. Die Pfahlreihe kann als Variation auch als dichtende Stulpwand ausgeführt werden.

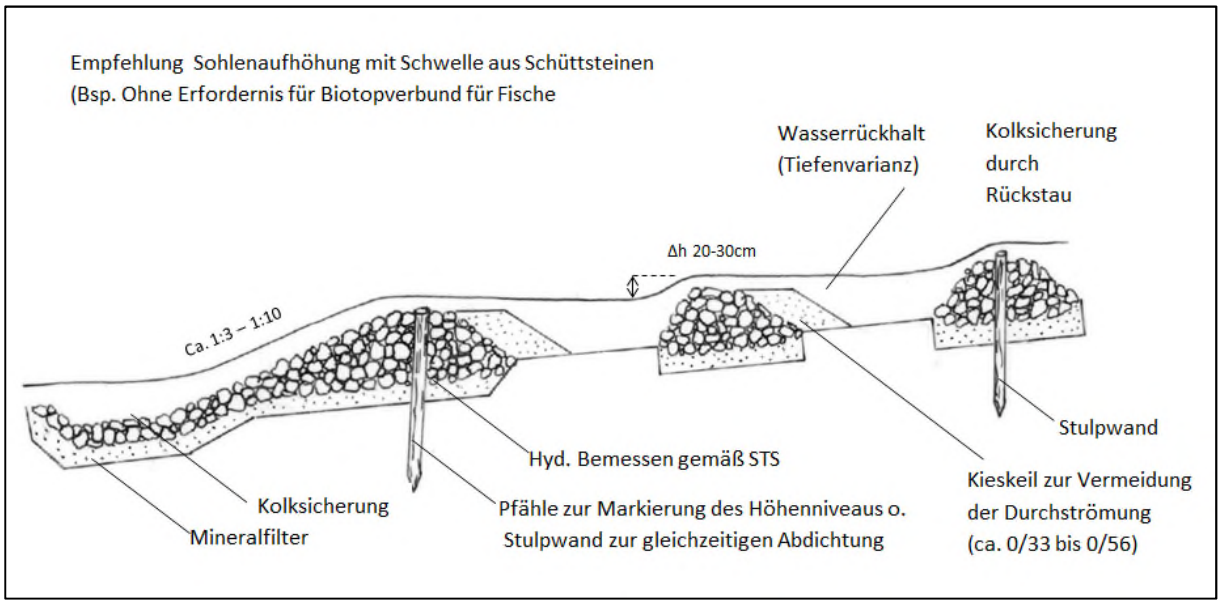


Abb. 30: Nicht maßstäbliche Prinzipskizze einer Schwellenstaffel mit verschiedenen Dichtungsmöglichkeiten, keine Fischdurchgängigkeit

Kosten:	1 m³	80 €

4.4.3 Bau von Inseln aus Steinschüttungen

Zur Strukturierung an schneller fließenden Bächen oder an Bundeswasserstraßen mit Belastung von Wellenschlag kann der Einbau von Inseln aus Steinschüttungen sinnvoll sein. Hierfür gelten die gleichen Prinzipien wie für Böschungssicherungen mit Steinschüttung aus Kap. 4.4.1. Über einem Flächenfilter aus Kies oder Kunststoff wird die gewünschte Insel mit Wasserbausteinen gemäß Steingrößen-Bemessung aufgebaut.

Die Steinschüttungen können mit Kiessand z.B. 0/32 abgestreut werden, um die spontane Besiedlung der Insel mit Röhrichten und Stauden oder Gehölzen zu erleichtern und das Landschaftsbild zu verbessern. Das verwendete Material zum Auffüllen der Lücken sollte wasserdurchlässig sein. Feinsandige oder lehmige Substrate werden durch Fließbewegung und Wellenschlag meist vollständig ausgespült.

Die Steinschüttung kann in der Herstellungsphase mit Weidensteckhölzern oder mit Röhrichten begrünt werden. Die Begrünung ist an die hydraulischen Erfordernisse (Aufrechterhaltung

des Abflussprofiles) anzupassen. Begrünte Halbinseln aus Steinschüttungen können auch als Leitwerke oder als Begrenzung von beruhigten Flachwasserzonen zum Schutz dieser Zonen vor Wellenschlag ausgebildet werden.

Abb. 31: Inseln und Buhnen zur Strukturverbesserung eines für den Hochwasserschutz ausgebauten Gewässers in der Stadt (Assenheim, Hessen), links Buhnen nach dem Einbau, mit Kiesüberrieselung und rechts Insel nach 1 Jahr Entwicklung und höherem Abfluss (Fotos: Frank Spundflasch)

Kosten:	1 m³	60 €

4.4.4 Steinsatz, Steinschlichtung, Drahtsteinkasten

Steinsatz

Unbearbeitete Steine einer bestimmten Masse werden mit der größten Fläche auf ein Planum, i.d.R. einen Mineralfilter oder eine Steinschüttung, planmäßig eng mit einem geringen Anteil von Lücken und Fugen eingebaut. Der Steinsatz wird horizontal in der Sohle und bis zu einer Neigung von 1:1,5 in Uferböschungen eingebaut. Die Ungleichförmigkeit der Steine ist gering ($U \leq 2$). Fugen werden mit Schotter oder Kies gefüllt.

Auf den im Berliner Raum üblichen Sandböden ist ein planmäßiger filterstabiler Aufbau erforderlich, da die Steine sonst im Untergrund versinken. Die Steingröße richtet sich nach den hydraulischen Erfordernissen, sollte aber auch spielende Kinder berücksichtigen. Auch Sohlgurte zur Stabilisierung vor Tiefenerosion, Strömungsabweiser und Buhnen können aus Steinsatz aufgebaut werden. Diese Bauweisen sollten kolksicher gegründet werden.

Die Fugen und Lücken lassen sich gut begrünen, bei größeren Steinen auch mit Gehölzen. Bei Ufersicherungen aus Steinsatz ist auch eine Böschungsfußsicherung als Steinsatz oder als Steinschüttung erforderlich.

Abb. 32: Die Abbildung zeigt Fugenbegrünung in einem Steinsatz am Brückenprofil links nach der Keimung und rechts nach mehrjähriger Entwicklung (Fotos: Frank Spundflasch)

Kosten:	1 m³	70 €

Steinschlichtung

Große quaderförmige Natursteine werden maschinell in Form einer Trockenmauer aufgebaut. Die Bauweise und die Bezeichnung stammen aus dem Alpenraum. Die Mauer sollte erosions- und filterstabil gegründet und filterstabil hinterfüllt werden.

Abb. 33: Steinschlichtung als Ufersicherung in einer Ortslage (links), Steinschlichtung an einer Bundesstraße (rechts) (Fotos R. Johannsen)

Drahtsteinmauer, Gabionenmauer

Im innerstädtischen Bereich können je nach Ortsbild in den öffentlichen Grünanlagen senkrechte Ufermauern durch Gabionenwände (mit Steinen oder Schotter gefüllte Drahtkästen) mit Neigungen von 1:1 bis 1:0,5 ersetzt werden, wo keine höheren Verkehrslasten zu erwarten sind. Hierzu sollten oberhalb der durch Schiffswellen beeinflussten Bereiche Gabionen aus verschweißtem nichtrostendem Stahl verwendet werden (gemäß ZTV-W und FLL Richtlinie). Die Vorderseite sollte als Trockenmauer hergestellt werden. Im rückwärtigen Bereich können Steine auch gepackt werden. Die Gründung muss standsicher, erosions- und filterstabil erfolgen. Auch die Hinterfüllung erfolgt filterstabil. Geneigte Gabionen lassen sich begrünen.

Mineralfilter

Mineralfilter sind künstlich hergestellte, korngestufte Mineralstoffgemische aus natürlichen Gesteinen und Böden. Durch ihren Aufbau verhindern sie Materialtransporte von feinen Bodenbestandteilen durch ein zu großes Porengefüge (Suffusion). Bei sehr großen Unterschieden in der Körnung, wie z.B. zwischen Ton und Kies, sind zur Erfüllung der Aufgaben ggf. mehrschichtige Filteraufbauten erforderlich (siehe auch BAW-Merkblatt MAK 2013). Sie sind aus ökologischen Gründen, wie z.B. zur Vermeidung von Mikrokunststoffen in der Umwelt den künstlichen Filtern aus Geotextilien vorzuziehen. Mineralfilter sind im Gegensatz zu diesen durchwurzelbar und können an sich auch einen Lebensraum darstellen. Sie erzeugen keine undurchdringliche Barriere zwischen Ufer / Sohle und Wasser.

Für den Bereich der Bundeswasserstraßen sollten Mineralfilter gemäß ZTV-W verwendet werden. Wo diese Materialien bei kleinen Gewässerbaustellen an Bächen und kleinen Flüssen nicht zur Verfügung stehen, kann auch auf geeignete weitgestufte Gemische ohne Feinkorn gemäß ZTV-T oder DIN 4095 zurückgegriffen werden.

Unter Wasser werden die Filter in Lagen von mindestens 25-30 cm Stärke geschüttet. Ggf. muss hier zusätzlich ein Vlies eingebaut werden, falls nicht gewährleistet werden kann, dass der Kiesfilter nicht im Untergrund versinkt. Dies kann z.B. auf torfigen Böden bei organischen Bächen der Fall sein. Auch ist die erforderliche Schichtstärke unter Wasser sehr viel schwerer zu gewährleisten. Beim Einbau im Trockenen genügen 20 cm Schichtstärke. Die Hinterfüllung von Stützbauwerken wie Steinschlichtung, Gabionenmauer erfolgt lagenweise möglichst im gesamten Baugrubenbereich. Auf der Rückseite dieser Mauern ist ggf. noch eine Schüttsteinlage nötig, um die Filterkriterien gegenüber dem Kies zu erfüllen.

Bewährt haben sich auch Mineralfilterschüttungen im Oberwasser von Sohlschwellen. Sie filtern die Feinstoffe aus dem fließenden Wasser aus und führen so zu einer allmählichen Abdichtung der Sohlschwellen.

Kosten:	1 m³	60 €

4.4.5 Lehmschürze horizontal und geneigt bis 1:2,5

Zur Reduzierung von Sickerwasserströmungen bei Sohlaufhöhungen in kleinen tiefeingeschnittenen Bächen können zusätzlich zu den oben genannten Mineralfiltereinbauten auch flächige Einbauten aus geeigneten humusarmen Schluff- oder Tonböden vorgenommen werden. Empfohlen werden zwei Lagen von mind. 15 cm Stärke mit einer leichten knetenden Verdichtung (85 DPR) in einer trockenen Baugrube. Die Bauweise ist bis zu einer Neigung von 1:2,5 möglich. Wird industriell aufbereiteter Ton verwendet, so reicht die halbe Gesamtstärke.

Abb. 34: Abgedichteter Gewässerverlauf - an den Böschungen noch sichtbar - die Tondichtung, geschützt durch Mineralfilter und Steinschüttung – Bauphase mit Wasserhaltung (links) und in Trockenphase (rechts)

Die Lehm-Dichtung muss vor Erosion durch fließendes Wasser geschützt werden. Dies kann z.B. durch einen mineralischen Filter gemäß ZTV-T erfolgen. Bei der Verwendung von Lehmplomben als Stützschwellen in kleinen Gewässern ist ein Mineralfilter aufgrund seiner erforderlichen Schichtstärke ggf. ungeeignet. Hier kommt z.B. ein Kunststofffilter zum Einsatz. Eine mögliche Form des Einbaues ist in der untenstehenden Abbildung dargestellt.

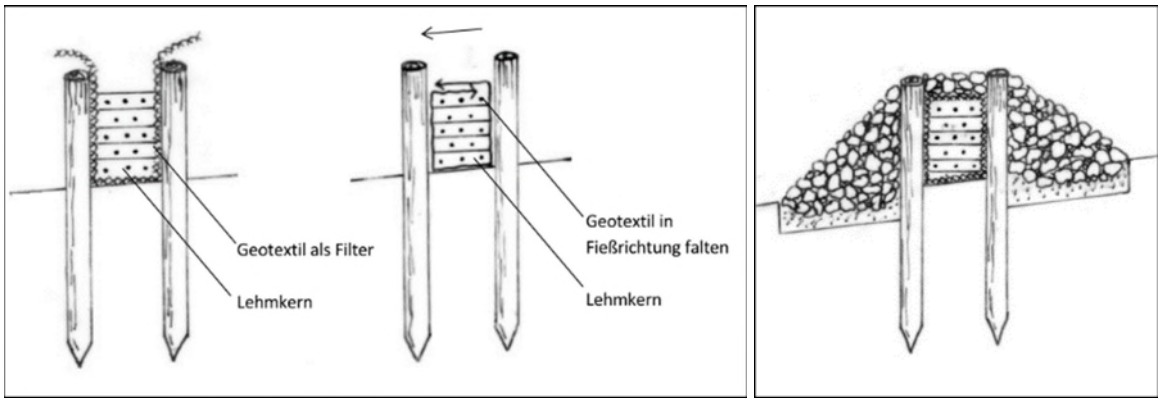


Abb. 35: Schutz eines Lehmkernes vor Abspülen durch fließendes Wasser, Schritt 1, 2 und 3, Schwelle ohne Nachbettsicherung, da von unten eingestaut

Kosten: 1 m³ 100 €

4.5 Ergänzende Biotopstrukturen

4.5.1 Aufweitungen in Bach- und Flussläufen

Dort, wo dies die Eigentums- und Nutzungsverhältnisse ermöglichen, sollten in den Fließgewässern Aufweitungen angelegt werden, um hier zusätzliche Biotopstrukturen anzubieten. Hierzu wird der Boden an einem Ufer abgetragen, wiederverwendet oder ordnungsgemäß entsorgt. Die neu angelegte Uferböschung wird, sofern angrenzende Nutzungen dies erfordern, standsicher ausgebildet.

Wenn genügend Abstand zur angrenzenden Nutzung vorhanden ist, können auch Steilufer als Biotopstruktur ausgebildet werden, die bei größeren Abflüssen auch Erosionsprozessen unterliegen können.

4.5.2 Heckenpflanzungen

Wenn keine funktionalen Zäune hergestellt werden sollen, können zum Schutz der Biotop- und Gewässerstrukturen vor Betreten gezielt Pflanzungen von Dornensträuchern eingesetzt werden, z.B. als Wurzelschnittlinge (Kap. 4.3.7), Heckenlage (Kap. 4.3.10) einfache Pflanzung.

4.5.3 Fischunterstände in Steinschüttungen oder vor Ufermauern – Rohrstücke aus Beton, Ton oder Stahl

In Steinschüttungen oder vor Ufermauern können Rohrstücke aus Beton, Ton oder Stahl als Fischunterstände eingebaut oder verlegt werden, um so in den technisch ausgebauten großen Flüssen und Wasserstraßen Unterstände für Fische und Flusskrebse anzubieten.

Die Rohrdurchmesser sollten stark variieren, um somit Fischen unterschiedlicher Größe Schutz vor ihren Fressfeinden zu bieten.

4.5.4 Vegetationstaschen in Uferwänden

An den Uferwänden der stark veränderten Flüsse im Innenstadtbereich sollten oberhalb des ständigen Wellenschlags Pflanztaschen z.B. aus Stahlblech angelegt, mit geeignetem grobkörnigen Substrat gefüllt und in geeigneter Weise bepflanzt werden. Hierzu werden Versuchspflanzungen zur Auswahl der Pflanzenarten, Substrate und Begrünungsmethoden empfohlen.

Im Zuge der Planung ist für eine bauwerksunschädliche Ausführung Sorge zu tragen. So darf z.B. der Korrosionsschutz nicht verletzt oder die Betonbewehrung nicht freigelegt werden.

4.5.5 Schwimmende Inseln

Mit schwimmenden Inseln können auf Flussseen dem Ufer vorgelagerte Röhrichtinseln entwickelt werden, die eine günstige Biotopstruktur für Wasservögel und Fische darstellen, die dort weniger gestört werden als an den Ufern. Geeignete Verfahren werden z. Z. an der Universität Hannover erprobt (siehe Kap. 5.3.2).

4.6 Schutz, Unterhaltung und Pflege

4.6.1 Grundsätzliches

Zu den Pflege- und Unterhaltungsmaßnahmen gehört im Stadtgebiet zunächst das regelmäßige Beräumen von Müll. Überhängende Weidenäste und Vegetation können dazu beitragen, dass mehr Müll an den Ufern hängen bleibt und die Abschnitte daher häufiger als bisher von Müll befreit werden müssen.

Ansonsten sind den Abfluss kritisch störende Anlandungen zu räumen. Außerdem sind Anpflanzungen und Weidenaustrieb zu vereinzeln, wenn dies entweder zur Optimierung der Bestandsentwicklung oder zur Gewährleistung des Hochwasserabflusses nötig ist.

Um Röhrichte am Ufer anzusiedeln, kann es notwendig werden, konkurrierenden Bewuchs (z.B. Brennnesseln) oberhalb der Bestände zur Verbesserung der Belichtung auf der Böschung zu mähen. Außerdem ist es in der Regel erforderlich, Gehölz-und Steckholzpflanzungen in den ersten drei Jahren zwei- bis dreimal jährlich freizuschneiden und zu jäten.

Die Herstellung oder Erhaltung einer zumindest einseitigen Zugänglichkeit zum Gewässer für die Gewässerunterhaltung ist zumeist notwendig.

Bei Sohlkrautungen sollte die Mähgasse im Bach jeweils einen Streifen von Wasserpflanzen und Röhricht vor den Ufersicherungen erhalten, damit die Entwicklung einer Uferschutzvegetation begünstigt wird. Den Abfluss störende Anlandungen sind jedoch nach hydraulischem Erfordernis zu räumen.

In stärker frequentierten Bereichen kann es notwendig werden, beeinträchtigte Pflanzungen regelmäßig zu ergänzen. Auch Fraßschäden von Tieren (Bisam, Nutria, Biber) sind ggf. regelmäßig auszugleichen.

4.6.2 Pflege von Ufergehölzen

Bestehende Anpflanzungen und dichter Weidenaustrieb sind zu vereinzeln, wenn dies zur Bestandsentwicklung und für den Hochwasserabfluss nötig ist. Dabei sind überhängende starke Stämme abzuschneiden, um das Kippmoment des Baumes zu reduzieren. Wo möglich sollten überhängende Äste auch als Biotopstruktur erhalten werden, wenn dies aus hydraulischer und unterhaltungstechnischer Sicht möglich ist. Ein weiterer Vorteil von einer Beschattung der Ufer oder des Gewässers ist auch das Zurückdrängen invasiver Neophyten, die in der Regel auf eine gute Belichtung angewiesen sind und durch Beschattung des Gewässers und seiner Ufer geschwächt oder in ihrer Ausbreitung behindert werden (siehe DWA-Merkblatt 626).

Der dichte Weidenaufwuchs ist so zu vereinzeln, dass aufrechtwachsende, dickere Triebe erhalten und die anderen Treibe entfernt werden. Während zunächst mehrere Triebe stehen gelassen werden, können diese weiter vereinzelt werden, je mehr sich die Lichtkonkurrenz der

größeren Triebe ausbildet und so den erneuten Austrieb aus dem alten Wurzelstock unterbindet.

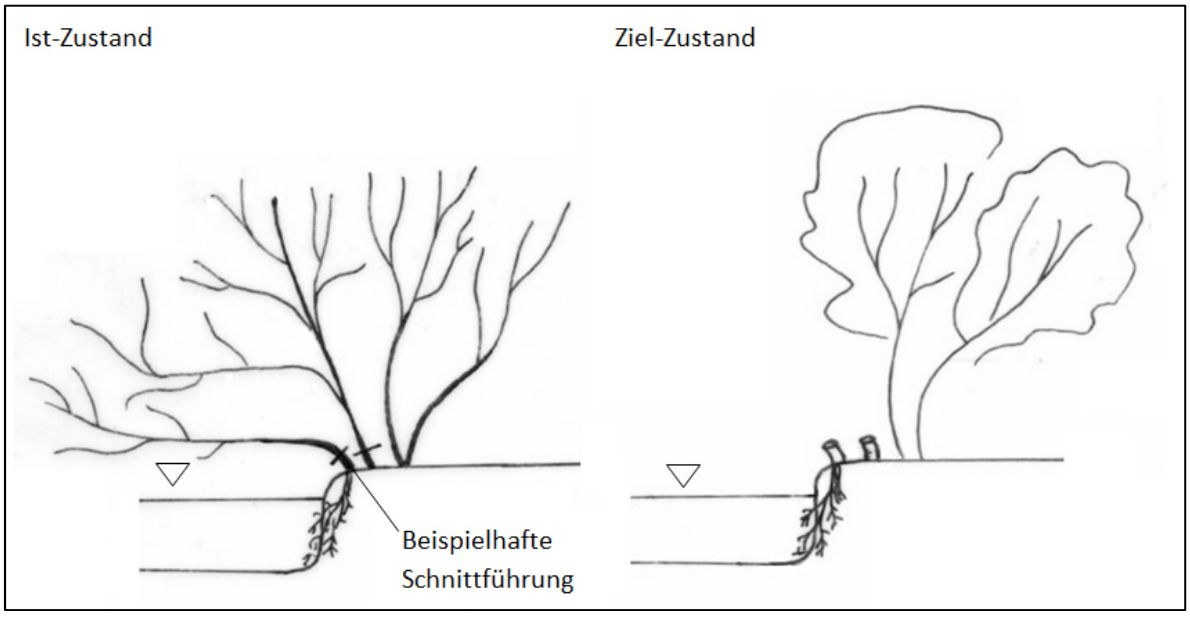


Abb. 36: Beispiel für Pflege- und Erziehungsschnitte an Ufergehölzen

Als Sofortmaßnahme für versagende Ufersicherungen können Flechtzäune im Rahmen der Gewässerunterhaltung in Kombination mit den Maßnahmen zum Rückschnitt oder Vereinzeln von Gehölzen hergestellt werden. Hierfür sind bis 5 cm starke elastische, gerade gewachsene Ruten und Äste von Silberweide und Hasel zu verwenden, waagerecht um die bestehenden Pfähle zu flechten und unter den Wasserspiegel zu drücken. Der Austrieb der lebenden Weidenäste sorgt kurzfristig für Erosionsschutz. Der sich daraus entwickelnde Aufwuchs ist ggf. regelmäßig wie oben beschrieben zu erziehen. Der Flechtzaun kann mit Seggenballen hinterpflanzt und es können Baumweiden durch Steckhölzern angesiedelt werden.

4.6.3 Schutz und Pflege in der Anwuchs- und Entwicklungsphase

Spanndrahtzaun

Der Spanndrahtzaun ist mehr ein deutlicher Hinweis als ein echtes Hindernis. Bei mäßigem Besucherandrang wird dadurch das Betreten von Neuanpflanzungen deutlich reduziert. Die Zäune sollten in der Anwuchs- und Entwicklungsphase regelmäßig überprüft und repariert werden. Danach werden sie abgebaut und entsorgt.

Die niedrige Variante besteht aus Rundholzpflöcken, die im Abstand von 2 - 3 m in den Boden geschlagen werden, so dass sie 0,30 – 0,40 m herausragen. Auf dem Pflock wird dicker, gut sichtbarer und ggf. zusätzlich farblich hervorgehobener Spanndraht befestigt.
Die höhere Variante besteht aus Rundholzpfählen, die 0,70 – 0,80 m in Abständen von 2 -3 m aus dem Boden herausragen, an denen 2 dicke Spanndrähte befestigt werden.

Niedrige Spanndrahtüberspannung

Um das Fressen von frisch angepflanzten Röhrichten oder Gehölzen zu reduzieren, können dünne Spanndrähte von 1 – 1,5 mm Stärke ca. 0,10 – 0,20 m über den Boden zwischen Pflöcken sehr unregelmäßig in engem Abstand gespannt werden. Hierdurch werden die Tiere irritiert und meiden die Anpflanzungen stärker. Das Landschaftsbild wird nicht wie bei einer Maschendrahtüberspannung gestört. Dieser Schutz eignet sich z.B. gegen Vögel, bedingt ist er gegen Schalenwild wirksam, Nagetierschutz wird jedoch nicht erreicht.

Verbissschutzzaun und Maschendrahtzaun

Dieser an Holzpfosten oder fertigen Pfostensystemen befestigte Zaun zum Einfassen von Pflanzungen ist 1,5 - 2 m hoch und schützt vor Wildverbiss. Wird das Zaunmaterial ca. 0,5 - 0,8 m tief in den Boden eingegraben, so wird auch ein Nagetierschutz z.B. gegen Biber erreicht. In Bezug auf den Schutz von Anpflanzungen und Bäumen gegen den Verbiss durch Biber wird auf folgende Literatur verwiesen: DWA – M 608 – 1, DVWK M 247/1997. Weiterhin bieten diese Zäune auch Schutz gegen unbefugtes Betreten. Sollten die Zäune im Abflussprofil erforderlich sein, ist die Hochwassersicherheit zu prüfen oder regelmäßige Kontrollen einzuplanen.

Treibzeug und Müll beseitigen

Müll und Treibzeug sollte regelmäßig aufgesammelt und ordnungsgemäß entsorgt werden. Durch Schilder und Kontrollen sollten Besucher zur Mitnahme ihrer Verpackungen und Essensreste angehalten werden.

Freijäten und Freischneiden

Anpflanzungen von Steckhölzern und Setzstangen aber auch die Anpflanzungen kleiner Bäume und Sträucher werden in der Anwuchsphase durch Gräser und Stauden schnell verschattet, in ihrer Entwicklung gehindert und können dadurch eingehen. Empfohlen wird ein Jäten im Mai, wenn die Anpflanzungen noch gut erkennbar sind, danach im Juni, Juli und August. Unterstützt werden kann das Jäten durch ein Freischneiden von Gassen in den Reihen. Das von den Firmen bevorzugte reine Freischneiden wirkt entweder nicht direkt auf das Kraut neben der Pflanze oder führt zu Rindenschäden (Mähschäden).

Ergänzung und Nachbesserung von Ufersicherungen

Ufersicherungen im Unterwasserbereich sollten nach Beschädigungen durch einfache Bauweisen wie Steinschüttungen, Geflechte oder Faschinen ergänzt werden. Ausfälle von Ansaaten und Röhrichtansiedlungen sollten durch geeignete Nachsaaten ergänzt werden.

4.6.4 Laufende Pflege der Anlagen

Gewässerschau, Kontrollgänge

Die Maßnahmenstandorte sollten regelmäßig einmal jährlich begangen werden, um Fehlentwicklungen, Probleme oder Schäden festzustellen. Nach besonderen Ereignissen wie Hochwasser, Eisgang, Nassschnee, Sturm oder intensiven Freizeitaktivitäten sind zusätzliche Begehungen erforderlich. Bei der Begehung sind sowohl Aspekte der Gewässerökologie als auch des Wasserabflusses, der Uferstabilität, der Verkehrssicherungspflicht und der Abfallbeseitigung zu beachten. Als Ergebnis einer Begehung sollte ein Protokoll mit Ausführungsanweisungen für die Gewässerunterhaltung erstellt werden.

Treibzeug und Müll beseitigen
Müll und Treibzeug sollte regelmäßig aufgesammelt und entsorgt werden. Durch Schilder und Kontrollen sollten Besucher zur Mitnahme ihrer Verpackungen angehalten werden.

Erziehungsschnitt von Bäumen
Baumpflanzungen an Wegen oder Einzelbäumen in Grünanlagen werden durch Erziehungsschnitte zu der geplanten Form entwickelt.

Vereinzeln von Anpflanzungen
Dichte Anpflanzungen von Bäumen sollten nach einigen Jahren vereinzelt werden, um ein stangenartiges Hochwachsen mit der Gefahr von Wind- und Schneebruch zu verhindern. Bei dichten Strauchbeständen ist ein Vereinzeln i.d.R. nicht erforderlich.

Fällen überhängender Bäume
An den Fließgewässern kann das Fällen überhängender und kippgefährdeter Bäume zur Erhaltung des ordnungsgemäßen Wasserabflusses und der Uferstabilität notwendig sein. Diese Notwendigkeit sollte in der freien Landschaft gegenüber den ökologischen Aspekten abgewogen werden.

Erhaltung der Verkehrssicherheit an öffentlichen Wegen
Bäume auf Ufergrundstücken können durch Bruch von Ästen oder Stämmen die Verkehrssicherheit öffentlicher Wege gefährden. Hierzu sind regelmäßige Kontrollen erforderlich. In der freien Landschaft werden bruchgefährdete Bäume i.d.R. gefällt. Im stadtnahen oder innerstädtischen Bereich werden Maßnahmen der Baumpflege durchgeführt.

Auf den Stock setzen
Zahlreiche heimische Laubbäume regenerieren sich wieder durch Stockausschläge, wenn der Fällschnitt nicht zu tief angesetzt wird, sondern ein Wurzelstock von 30 – 50 cm Höhe erhalten bleibt. Das „Auf den Stock setzen“ muss in der Vegetationsruhezeit erfolgen.

Vereinzeln von Stockausschlägen
Stockausschläge sollten nach wenigen Jahren so vereinzelt werden, dass der nachwachsende Baum den gewünschten Habitus – ein- oder mehrstämmig – erhält. Die Vereinzelung kann auch in mehreren Arbeitsgängen mit größeren zeitlichen Abständen erfolgen.

Astschleppen schneiden
An den Fließgewässern kann das Schneiden von im Wasser hängenden Astschleppen zur Erhaltung des ordnungsgemäßen Wasserabflusses und zur Vermeidung von Müll- und Treibzeugansammlungen notwendig sein. Diese Notwendigkeit sollte in der freien Landschaft gegenüber den ökologischen Aspekten abgewogen werden.

Pfahlsicherungen überprüfen

Pfähle, die zur Ufersicherung oder zur Sicherung von Biotopstrukturen eingesetzt wurden, werden bei den regelmäßigen Gewässerschauen überprüft. Dabei wird darauf geachtet, ob Pfähle fehlen, schräg stehen oder sich gelockert haben. Ausgefallene Pfahlsicherungen werden ersetzt, gelockerte wieder eingeschlagen.

Weitere Unterhaltungsmaßnahmen

Alle als Bauweisen vorne beschriebenen Maßnahmen können im Rahmen der Gewässerunterhaltung durchgeführt werden, wenn sie nicht zu einer wesentlichen Umgestaltung, d.h. zu einem Gewässerausbau führen.

Teil 3:
Lösungsvorschläge
für Berliner Gewässer

5 Lösungsvorschläge für typische Gewässersituationen in Berlin anhand ausgewählter Beispiele

5.1 Kleine, regenwassergeprägte Bäche

In Berlin gibt es zahlreiche Bäche und Gräben mit sehr kleinem Einzugsgebiet, die natürlichen, teilweise aber auch künstlichen Ursprungs sind und in unterschiedlichem Maße Regenwasser aufnehmen und ableiten.

Die Entwicklungsziele für diese Gewässer richten sich an dem potentiell nächsten naturnahen Gewässer-Typ aus. Für das hier gewählte Beispiel (Hellersdorfer Graben) wäre dies der sandgeprägte Bach, LAWA-Typ 14. Für den Raum Berlin kommen jedoch auch organische Bäche in Betracht (LAWA-Typ 11), diese werden in Kap. 4.2 behandelt.

Bäche, wie die hier beschriebenen, dienen in erster Linie der Stadtentwässerung und besitzen oft so gut wie keinen Entwicklungskorridor. Dennoch sind sie aus ökologischer Sicht von besonderer Bedeutung für die Stadt, da sie Lebensraum für sonst unterrepräsentierte Organismengemeinschaften bieten und einen beliebten Ort der Naherholung darstellen, insbesondere bei möglichst naturnaher Gestaltung.

Abb. 37: Hellersdorfer Graben mit Trapezprofil und Rasensteingitterplatten als Ufersicherung (links) und Wernergraben mit abwechselnder Profilgestaltung (rechts) im Stadtgebiet

Nutzungsanforderungen/Randbedingungen:

- stark veränderter Wasserhaushalt durch Flächenversiegelung im Einzugsgebiet: hohe Abflussspitzen, verminderter Niedrigwasserabfluss bis zu zeitweisem Trockenfallen;
- sehr schmale Gewässerparzellen, unmittelbar angrenzende Verkehrswege, Gärten oder Bebauungen;
- an offenen Gewässerabschnitten zusätzlich hoher Nutzungsdruck für die Naherholung;
- teilweise Nutzung als Vorfluter von Klärwerken mit gereinigtem Abwasser, hydraulische und stoffliche Beeinträchtigung;
- kreuzende Leitungen, Düker und Verkehrswege, Verrohrungen;
- Vorflut für Regenwasserkanalisation mit häufig sehr tief gelegenen Einleitungen;
- Hochwasserabflusskapazität ist zu gewährleisten;

- meist tief ins Gelände eingeschnitten mit steilen Böschungen;
- Absenkung des Grundwasserspiegels durch Trinkwassergewinnung (Uferfiltration);
- Wassermangel im Einzugsgebiet (z.B. Barnimhochfläche).

5.1.1 Allgemeine Hinweise

5.1.1.1 Gewässertyp 14 – sandgeprägter Tieflandbach

Wie es die Namensgebung bereits ausdrückt, handelt es sich bei diesem Typ um ein Fließgewässer der Sander bzw. der Grundmoränen. Auf der Sohle dominieren Sande unterschiedlicher Korngrößenabstufungen, lokal können auch Tone und Mergel vorkommen. Das Gewässer mäandriert natürlicherweise in einem flachen Mulden- bzw. breiten Sohlental. Dadurch sind Prall- und Gleithänge deutlich ausgeprägt, Uferabbrüche kommen vor. Sekundäre Habitatstrukturen stellen Totholz, Erlenwurzeln, Wasserpflanzen und Falllaub dar.

Neben Fischen, die das sandige Substrat als Laichplatz bevorzugen (Gründling, Steinbeißer) treten auch Arten auf, die dafür kiesige Bereiche benötigen (Hasel, Bachschmerle, Bachneunauge) (POTTGIESSER & SOMMERHÄUSER, 2008).

In der unten stehenden Tabelle sind die Referenzbedingungen aufgeführt, die einen sandgeprägten Bach (Typ 14) ausmachen.

Tabelle 2: Referenzbedingungen für Typ 14 – sandgeprägte Bäche (Quelle: verändert nach BUNDESUMWELTAMT, 2014)

morphologische Strukturen	<u>Laufentwicklung</u> • stark mäandrierendes Fließgewässer in einem flachen Mulden- oder breitem Sohlental mit Breiten- und Tiefenvarianz • Verhältnis von Lauflänge zu Tallänge 1,5 bis 2,0 <u>Längsprofil</u> • flaches Profil mit Tiefenrinnen und Kolken hinter Barrieren, gering ausgeprägte Pool und Riffle-Strukturen, Sandbänke, teilweise Kiesbänke • mittleres bis geringes Sohlgefälle, Sandbänke mit geringen Wassertiefen, teilweise Kiesbänke bei höherem Gefälle oder bei Gefällesprüngen durch Totholzansammlung bzw. Sturzbäume und entsprechend hohen Fließgeschwindigkeiten • hohe Tiefenvarianz <u>Querprofil</u> • flaches Profil mit Tiefenrinnen und Kolken hinter Barrieren, gering ausgeprägte Pool und Riffle-Strukturen, Sandbänke, teilweise Kiesbänke • hohe bis sehr hohe Breitenvarianz, ungleichförmige und buchtenreiche Ufer, geringe bis mittlere Einschnitt- und Profiltiefe <u>Sohlenstruktur</u> • geringe Substratdiversität, es dominieren Sande (> 50 %) mit Beimischungen von Lehmen und Kiesen, Detritusablagerungen • Totholz stellt ein besonders wichtiges Besiedlungshabitat dar, untergeordnet sind Kiese und Steine <u>Uferstruktur</u> • deutliche Ausbildung von Prall- und Gleithängen • häufige Ausbildung von natürlichen Habitatstrukturen wie Totholz/Sturzbäumen, Erlenwurzeln, Falllaub und Wasserpflanzen <u>Talraum/Gewässerumfeld</u>

	• gehölzbestandener Uferentwicklungsstreifen von mindestens 20-30 m landwärts der generalisierten Mittelwasserlinie • Ausuferung im Allgemeinen bereits bei 1-2 jährigem Hochwasser, vollständige Beschattung
Abfluss und Abflussdynamik	• ganzjährige Wasserführung • vertikaler Mittelwert der Strömungsgeschwindigkeiten von 0,20 m/s soll nicht unterschritten werden • Wechsel ausgedehnter ruhig fließender mit kurzen turbulenten Abschnitten, bedingt durch die Strukturen
ökologische Durchgängigkeit	• bei mittleren Abflüssen (ca. MQ) für alle Altersklassen der typspezifischen Fischartengemeinschaften im gesamten Längsschnitt durchwanderbar • für mobile Wirbellose begünstigt ein durchgehender Stromstrich mit hoher Substratdiversität und strömungsberuhigenden Elementen eine stromaufwärts gerichtete Wanderung • Arten langsam fließender Bereiche: Gründling, Steinbeißer • Arten, die kiesige Bereiche zum Laichen benötigen: Hasel, Bachschmerle, Bauchneunauge
typische Ufervegetation	• Arten der Erlen- bzw. Erlenbruchwälder

Abb. 38: Referenzstrecke Typ 14 –Stierngraben bei Gerswalde (LK Uckermark)

5.1.1.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes

Die gewählten Maßnahmen zur morphologischen Zustandsverbesserung sind in Anlehnung an die oben beschriebenen Merkmale für die sandgeprägten Gewässer vorzunehmen.

Folgende Dinge sind zu berücksichtigen:

- Welche hydraulischen und sonstigen Anforderungen muss das Gewässer erfüllen?
- Ist eine Flächeninanspruchnahme für eine eigendynamische Entwicklung, Aufweitung oder Verlegung des Baches z.B. Remäandrierung möglich?
- Kann die Sohle angehoben werden und welche Vorflutbedingungen sind dabei zu beachten, gibt es davon beeinflusste Keller oder andere Nutzungen?
- Sind naturferne Sohl- und Ufersicherungen weiterhin erforderlich? Können sie entfernt oder durch naturnähere ersetzt werden?
- Welche natürlichen Biotopstrukturen können etabliert werden?

- Welchen Beitrag können heimische Pflanzen zur Ufersicherung leisten? Ist dabei eine Reduzierung der Abflussleistung hinnehmbar?
- Welche ingenieurbiologisch nutzbaren Pflanzenarten kommen im Hinblick auf die örtlich vorhandenen Standortfaktoren (Bodenbeschaffenheit, Lichteinfluss, Nährstoffe, hydraulischen Belastungen) in Frage?
- Welche vorhandenen naturnahen Biotopstrukturen können in die Maßnahme integriert oder gezielt ergänzt werden?
- Wie sieht der Zielzustand der Vegetation aus?
- Wie soll die Pflege und Unterhaltung zukünftig erfolgen?

Sind Entwicklungskonzepte für das betrachtete Gewässer vorhanden, sind diese zur Klärung dieser Fragestellungen heranzuziehen.

5.1.1.3 Lösungshinweise zur Auswahl von Bauweisen

5.1.1.3.1 Gestaltung der Sohle, Sohlsicherungen

Die Sohle der kleinen, regenwassergeprägten Bäche ist aktuell zumeist gesichert. Es ist zu überlegen, ob der Anteil an natürlichem Sohlenmaterial aus sandigen oder kiesigen Substraten erhöht werden kann. So können in weniger hydraulisch beanspruchten Abschnitten Laichkiese eingebracht werden. Ein Indiz für solche Bereiche ist z.B. gegeben, wenn sich auf der Sohlensicherung auch aktuell Material in den entsprechenden Korngrößen ablagert. In Gewässerabschnitten, die aufgrund geringer hydraulischer Beanspruchung zu Verschlammungen neigen, ist zu prüfen, ob z.B. durch Kiesdepots örtlich eine Einengung des Stromstrichs zur Freispülung der Substrate möglich ist.

Alternativ zur im folgenden beschriebenen Steinschüttung können Weiden- und Erlenwurzeln in flachen und schmalen Gewässern mit geringen bis mäßigen hydraulischen Belastungen zur Sohlstabilisierung genutzt werden (siehe 5.1.5). Diese werden in der Anfangszeit unterstützt z.B. durch eine **Knüppellage**. Diese Form der Sohlsicherung bedarf einer regelmäßigen Kontrolle und ggf. einer Nachbesserung.

Dort, wo auf Grund der hydraulischen Belastung das natürlich anstehende Substrat nicht erosionsstabil ist und eine eigendynamische Entwicklung oder z.B. Aufweitungen zur Verminderung der Schleppspannungen nicht möglich sind, sollte die Sohle durch Verwendung grobkörnigeren Materials mit höherem Schleppwiderstand, Kies- oder **Steinschüttungen,** gesichert werden. Durch einzelne große Steine und Totholzelemente können diese ökologisch und gestalterisch aufgewertet werden. Für dauerhafte Sicherungen sollten wasserbautaugliche **Natursteine** gemäß DIN 13383 verwendet werden. Die Steinschüttungen sollten muldenförmig ausgebildet und bis zur Mittelwasserlinie hochgeführt werden. An ausgeprägten Prallufern ist eine Ausbildung bis zum HW_1 sinnvoll. Zur Markierung der geplanten Sohlhöhe für regelmäßig erforderliche Sohlräumungen können in bestimmten Abständen **Holzpalisaden** quer zur Fließrichtung eingebaut werden.

Dort, wo Sohlaufhöhungen tief eingeschnittener Gewässer möglich und z.B. zur besseren Anbindung an die Aue gewollt sind, kann die Sohle vollständig angehoben werden, z.B. mit Lehm oder Kiesen je nach Fließgeschwindigkeiten. Alternativ können **Schüttsteinschwellen** gebaut

und die Zwischenräume der natürlichen Verlandung überlassen werden. Zur Einpassung von Steinschüttungen in das Landschaftsbild sollten diese nach dem geprüften Einbau mit Kiessand überstreut werden.

Bei Sohlaufhöhungen aus Steinschüttungen fließt der Mittelwasserabfluss häufig jahrelang durch die Schüttungen und ist nicht sichtbar. Eine Reduzierung der Sickerwasserdurchflüsse kann auf der Oberwasserseite durch eine weit gestufte, in sich filterstabile **Kiesschüttung** erfolgen. Bei sehr geringen Abflüssen und dem Wunsch der Herstellung einer mit Wasser überstauten Grabensohle (ähnlich einer kleinen Tümpelkette) werden wesentlich stärker abdichtend wirkende Bauweisen wie z.B. Lehmschürzen mit Kiesüberdeckung oder Dichtwände aus Stulpwänden empfohlen. Die Aufrechterhaltung der longitudinalen Durchgängigkeit ist bei der Planung und Herstellung solcher Schwellen zu beachten. Bei kleineren (nicht gemäß WRRL berichtspflichtigen) Gewässern können ggf. andere Zielsetzungen gegenüber der Durchgängigkeit abgewogen werden.

Auf Sandböden sollten Steinschüttungen filterstabil aufgesetzt werden. Geeignet sind **Kiessandschüttungen** mit Sieblinien gemäß ZTVT oder DIN 4095 in Stärken von mindestens 20 cm. Dort wo die Filterstabilität zukünftig durch Weiden- oder Röhrichtwurzeln erfolgt, können auch vorübergehend **Kokosmatten** verlegt werden. In Sandgebieten weit verbreitet ist die Verlegung von **Kunststofffiltern,** sogenannten Vliesen. Den unbestritten guten Filtereigenschaften stehen hier die Nachteile – schlechte Durchwurzelbarkeit von Starkwurzeln, Hindernis für Makrozoobenthos beim Eingraben bei Frost oder Hochwasser sowie Einbringung von Kunststoffen in den Naturhaushalt gegenüber. Sie sollten daher nur in Ausnahmefällen zum Einsatz kommen.

5.1.1.3.2 Auswahl der Ufersicherungen

Bei kleinen Stadtbächen mit Wassertiefen bei Mittelwasser unter 0,3 m sind ingenieurbiologische Sicherungen bis zum Böschungsfuß möglich. Voraussetzungen sind geeignete Pflanzenstandorte – ausreichende Belichtung, geringe Schadstoffbelastung, Schutz vor konkurrierender Vegetation, Tierfraß oder Betreten. Voraussetzung ist außerdem ein genügend großes Profil, das sowohl den Hochwasserabfluss als auch die Vegetationsentwicklung ermöglicht. Dies kann durch stationär gleichförmige hydraulische Berechnungen abgeschätzt werden.

Schnelle flächenhafte Begrünungen der Ufer werden durch das Andecken der zuvor abgezogenen und zwischengelagerten **Vegetationsschicht** ermöglicht, ggf. ergänzt durch die **Ansaat** oder **Pflanzung** ingenieurbiologisch geeigneter **Gräser** und **Bachröhrichte**. Als vorübergehende Sicherung dient ein **Kokosnetz**, mit **Holzhaken** befestigt. In den sich entwickelnden Böschungsrasen können in halbschattigen Bereichen Seggen mit Hilfe von Ballenpflanzungen / Rhizombesatz, Sprösslingsbesatz angesiedelt werden.

An hydraulisch stärker belasteten Bereichen können **Baumweiden** durch **Setzstangen** oder **Steckhölzer** oberhalb des HW_1 angesiedelt werden. Sie wurzeln innerhalb einiger Jahre bis zum Böschungsfuß. Voraussetzung ist eine gute Belichtung. In halbschattigen Bereichen kön-

nen bei ausreichender Wasserqualität (Orientierungswerte der Oberflächengewässerverordnung des Bundes, OGewVO 2016) **Schwarzerlen** angesiedelt werden. Einzelne Traubenkirschen bereichern zudem das Landschaftsbild.

Als vorübergehende Sicherungen können an hydraulisch belasteten Ufern **Reisiglagen** aus Laubholz- oder Nadelholzreisig oder **Faschinen** aus nicht bewurzelungsfähigem Reisig verwendet werden. Zur Sanierung steiler Ufer mit verrotteten Faschinensicherungen können hinter den noch vorhandenen Pfahlreihen Röhrichte oder Seggen etabliert werden. Dies kann erfolgen durch:

- mit Röhricht bepflanzte Kokoswalzen
- Faschinen mit **Kokosmattenummantelung**
- grobes **Flechtwerk** kann zwischen den Pfahlreihen eingeflochten werden, so dass dahinter geschützt Röhrichte aufwachsen oder gepflanzt werden können.

Wegen der häufig auftretenden leicht erodierbaren Sande sind dichte Wurzelgeflechte aus Röhricht als Ufersicherung günstig. Die Kokoswalzen oder Ummantelungen sollen bis zur entsprechenden Wurzelentwicklung eine ausreichende Filterstabilität gewährleisten. Zur Ansiedlung von Röhricht oder Seggen wird die Pflanzung von Ballen aus dem Naturraum empfohlen.

5.1.1.3.3 Ökologische Verbesserungen

Wo möglich sollte versucht werden, den Gewässern mehr Raum zu geben, beispielsweise durch **Aufweitungen**. In einem solchen Fall kann dann ggf. auf Sohlensicherungen verzichtet werden. Auch Bereiche, wo bereits im Ist-Zustand Auflandungen stattfinden, brauchen in der Regel in der Sohle nicht gesichert werden. Außerdem können hier **Feuchthochstauden** wie Sumpfschwertlilie, Wasserdost oder Blutweiderich angesiedelt werden. Die Ansiedlung von **Strauchweiden** mit überhängenden Ästen ist z.T. möglich. Durch Verzicht auf Sohlensicherungen und der Möglichkeit zur Ansiedlung von Feuchthochstauden werden Habitate für Gewässerorganismen geschaffen, die die biologische Vielfalt des Gewässers und das Stadtbild bereichern.

Dort, wo bei Hochwasser stärkerer Aufstau zulässig ist, können Ufer auch beidseitig mit **Strauchweiden** bepflanzt werden (**Steckholz**), im lichten Halbschatten ergänzt durch **Wasserschneeball** und **Faulbaum** als **Forstpflanzen**. Hierdurch entstehen Heckenstrukturen, die diversen Kleinsäugern und Vögeln Unterschlupf und Bruthabitat liefern. Auch können überhängende Äste als Versteck für Fische im flachen Wasser dienen, so dass diese vor Räubern sicherer sind.

Wenn **Totholz** in die Gewässer eingebracht wird, sollten möglichst dicke Baumstammteile stehend oder liegend in Ufer, Sohle und Vorland eingebaut werden. Holzteile im Abflussprofil müssen vor Auftrieb und Verdriftung gesichert werden. Dies kann durch Eingraben, Überschütten oder Verankern erfolgen und sollte bei Gefährdungen nachgewiesen werden. Entstehen infolge von Wellen dynamische Einwirkungen, so werden zur Totholzstabilisierung Sicherungen durch Auflastschüttungen oder Ballastgewichte empfohlen (siehe auch Kap. 4.2.1). Totholz ist für sandgeprägte und organische Bäche das wichtigste Besiedlungshabitat. Die typischen Arten des Makrozoobenthos nutzen es gerne als Unterschlupf und Habitatfläche. Es dient der Dynamisierung des Stromstriches, so dass auch in begradigten Gewässern lokal

kleine Wirbel und Unförmigkeiten in der Sohle auftreten. Es können sich Bereiche mit unterschiedlichem Sohlsubstrat wie Schlamm und Sand, ggf. kiesige Abschnitte ausbilden. Kleine Fische verstecken sich im Astgeflecht oder in Mulden unter dem Holz vor Fressfeinden. Somit können dauerhafte Totholzansammlungen in einem Gewässer wesentlich zur biologischen Vielfalt beitragen.

5.1.2 Beispielgewässer Hellersdorfer Graben

5.1.2.1 Spezielle Problemstellung

Der Hellersdorfer Graben ist ein stark verändertes, sandgeprägtes Gewässer. Er wurde in den vergangenen Jahren im Zuge von Gestaltungsmaßnahmen abschnittsweise mit Uferstrukturen und Gehölzbewuchs ausgestattet. Allerdings ist er auf einem großen Teil seiner Strecke verrohrt. Er mündet nördlich des Jelena-Santic-Friedensparks linksseitig in die Wuhle (auf den letzten 500 m vor der Mündung verrohrt).

Der Graben nimmt das Regenwasser der versiegelten Flächen von Hönow (Brandenburg) und vor allem Hellersdorf auf. Hochwasserspitzen umfassen einen Abfluss von mehreren Kubikmetern pro Sekunde. In den Sommermonaten weist er jedoch einen sehr geringen Basisabfluss von wenigen Litern pro Sekunde auf.

Daneben wird der Graben aufgrund seiner Lage im öffentlichen Freiraum von Erholungssuchenden frequentiert. Er verläuft parallel zur U-Bahn. Es wachsen Röhrichte an den Ufern und teilweise auch im Gewässer selbst. Im Verlauf des Grabens gibt es drei sogenannte Grabenstaue. Hierbei handelt es sich um Aufweitungen vor Durchlässen, die dem Rückhalt bei hohen Abflüssen dienen und die temporär eingestaut werden. An einigen Stellen gibt es Gehölzentwicklung.

Sohle und Ufer des Grabens im betrachteten Abschnitt sind mit Rasengittersteinen befestigt. Die natürliche Sandsohle wäre aufgrund der hohen Abflussspitzen nicht erosionsstabil. Nur in den Rückstaubereichen finden sich schlammige Ablagerungen auf den Rasengittersteinen, ansonsten liegen diese frei. Die Böschungen tragen eine Rasenvegetation und werden jährlich mehrfach gemäht.

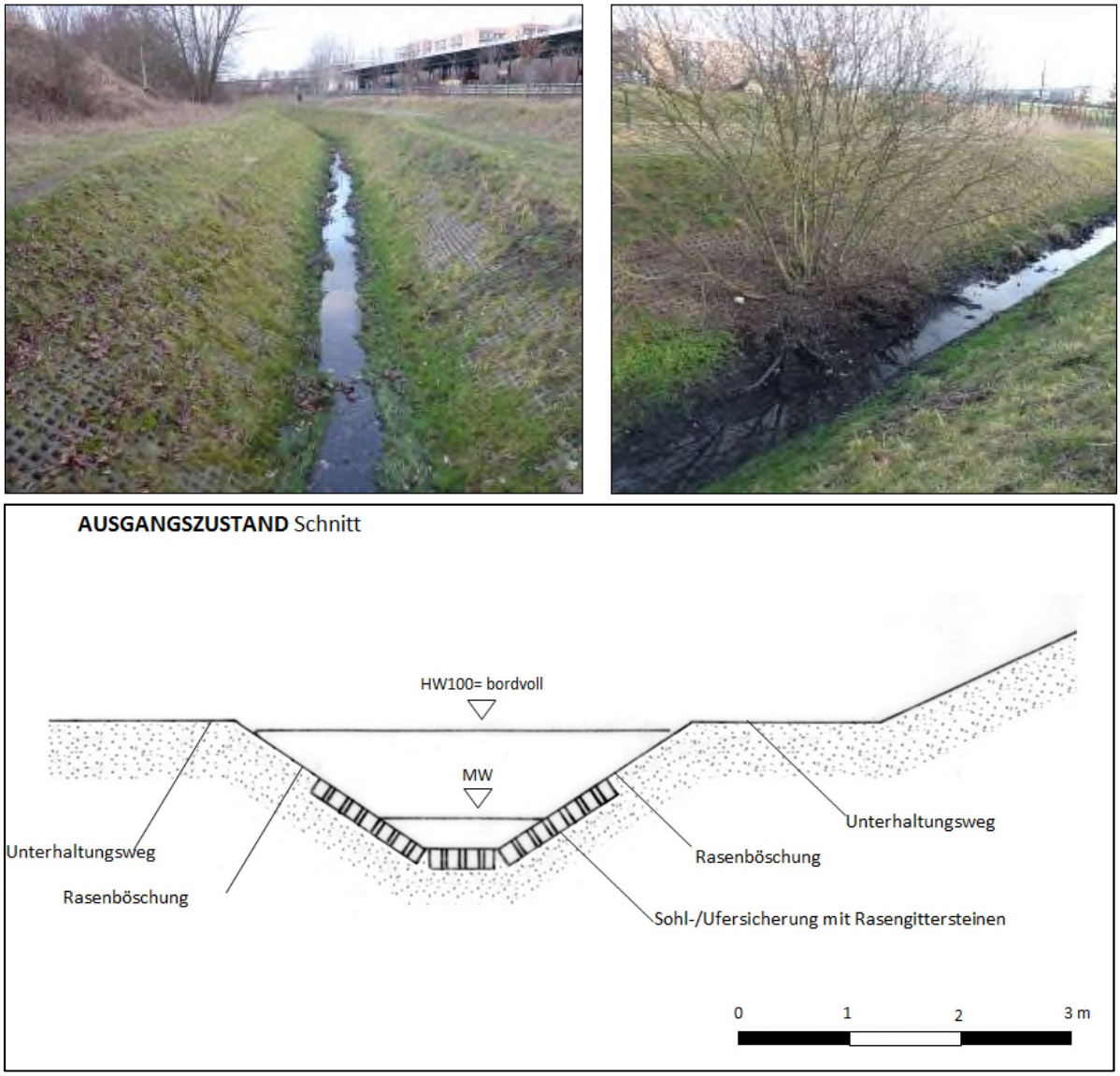


Abb. 39: Hellersdorfer Graben entlang der U-Bahnlinie U5 zwischen U-Hellersdorf und U-Louis-Lewin-Straße – Ausgangssituation: Fotos oben Höhe U-Bahnhof Luis-Lewin-Straße; Zeichnung unten – schematischer Gewässerquerschnitt

Aufgrund der fehlenden Durchgängigkeit zum Berliner Gewässernetz und der extremen Niedrigwassersituationen spielt die Besiedlungsfähigkeit des Gewässers für Fische eine untergeordnete Rolle.

5.1.2.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes für den Hellersdorfer Graben

Gemäß der Problemstellung sind in allen Planungsvarianten Hochwasserschutz und Erholungsnutzung zu berücksichtigen. Es ist eine gewisse Flächenverfügbarkeit durch den teilweise beidseitigen Unterhaltungsweg gegeben. In der Regel ist ein Unterhaltungsweg nur einseitig notwendig. Planungsaufgabe ist es, die Habitatfunktionen des Gewässers für gewässergebundene Organismen zu erhöhen, ohne den Hochwasserabfluss zu gefährden und die Gewässerunterhaltung deutlich zu erschweren.

Es kann daher z.B. über eine Profilvergrößerung im Sinne einer Anreicherung des Gewässers mit Biotopstrukturen nachgedacht werden. So können wichtige ökologische Nischen z.B. in Form von Totholz, flachen und tiefen Stellen sowie Röhrichtbewuchs geschaffen werden, die von Gewässerorganismen besiedelt und bei der regelmäßigen Unterhaltung des Gewässers nicht entfernt werden.

Die Sohle muss erosionsstabil erhalten bleiben, da bei Hochwasserabflüssen hohe Schleppspannungen auftreten. Diese Schleppspannungen werden aktuell durch die Rasengittersteine aufgenommen. Diese stellen eine starke ökologische Einschränkung dar, sind lokal bereits gebrochen und müssen mittelfristig ersetzt werden.

Die Gewässerunterhaltung sieht sich in der Lage, ihre Unterhaltung an eine erhöhte Strukturvielfalt im Gewässer anzupassen. Rasenböschungen sollen zwar immer noch überwiegen, die Sohlmahd kann jedoch bei ausreichender hydraulischer Leistungsfähigkeit des Profils auf eine Stromstrichmahd reduziert werden, so dass ein Röhrichtsaum ein- oder beidseitig entwickelt werden kann. Außerdem ist es möglich, Einzelelemente zur Strukturierung des Profils im Rahmen der Unterhaltung zu schonen. Ein einseitiger Unterhaltungsweg ist aufrechtzuerhalten.

Für den Hellersdorfer Graben ingenieurbiologisch nutzbare Pflanzenarten müssen periodisch höheren hydraulischen Belastungen standhalten. Folgende Arten sind am Standort vorhanden:

- Gehölze
  - Grauweide (*Salix cinera*)
- Krautige Pflanzen
  - Rohrglanzgras (*Phalaris arundinaricea*)
  - Flatterbinse (*Juncus effusus*)
  - Gräser von Wiesenmischungen

Abb. 40: Vegetation am Hellersdorfer Graben

5.1.2.3 Lösungsvorschlag für den Hellersdorfer Graben

Der Lösungsvorschlag für den Hellersdorfer Graben besteht im Wesentlichen aus folgenden Elementen:

- Ersatz der Rasengittersteine durch eine hydraulisch bemessene Steinschüttung auf einer Filterschicht aus korngestuftem Kies mit regelmäßig, quer zur Fließrichtung angeordneten Pfahlreihen zur Markierung der Sohlhöhe für die Gewässerunterhaltung. Dort, wo mit starken Freizeitaktivitäten zu rechnen ist, sollte Steinsatz verwendet werden.
- Einbau von Strukturelementen und Aufweitung des Gewässerprofils zur Kompensierung der höheren Rauigkeiten
- Ansiedlung von Bachröhrichten mit Rohrglanzgras und Uferseggen am Böschungsfuß zur ökologischen Aufwertung von der Mittelwasserlinie bis 0,3 m darüber oder bis zum Wasserstand eines HW_1
- Pflanzung von Einzelgehölzen auf der Böschungsschulter

Aufweitungen sind in einförmigen Gewässern ökologisch positiv zu bewerten, da sie Entwicklungsnischen und eine Erweiterung der Habitatvielfalt ermöglichen und das Erfordernis von Sicherungen mindern. Bei einer Erhöhung der Rauigkeit durch den Einbau ökologischer Strukturen oder die Ansiedlung von Vegetation im Böschungsfußbereich auf der gesamten Länge des Gewässerabschnittes, wie dies am Hellersdorfer Graben vorgeschlagen wird, sind Einschränkungen der hydraulischen Leistungsfähigkeit die Folge. Diese sind zu kompensieren. Zu diesem Zweck sind hydraulische Berechnungen für den jeweiligen Planungsgegenstand durchzuführen.

Die Lösungsvorschläge für den Hellersdorfer Graben können den folgenden Abbildungen entnommen werden.

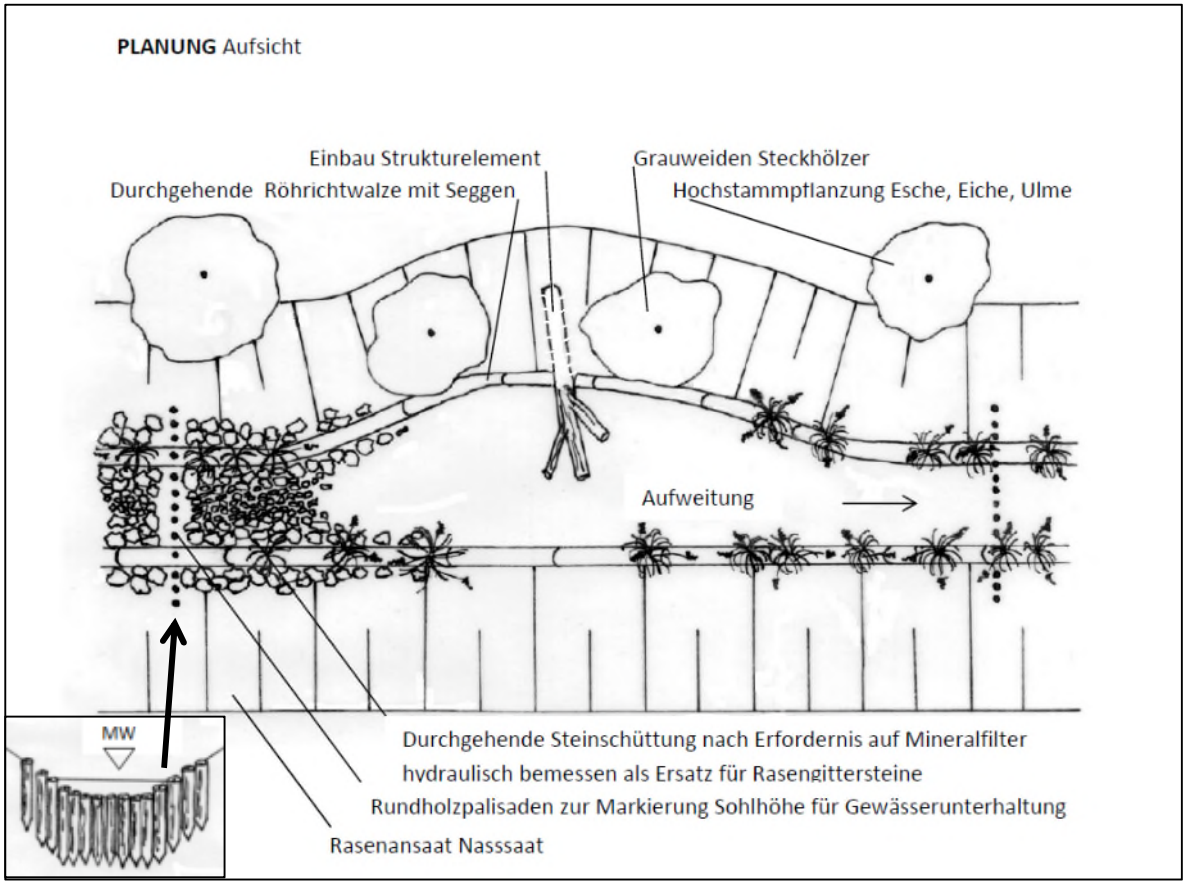


Abb. 41: Aufsicht Planungsvorschlag Hellersdorfer Graben

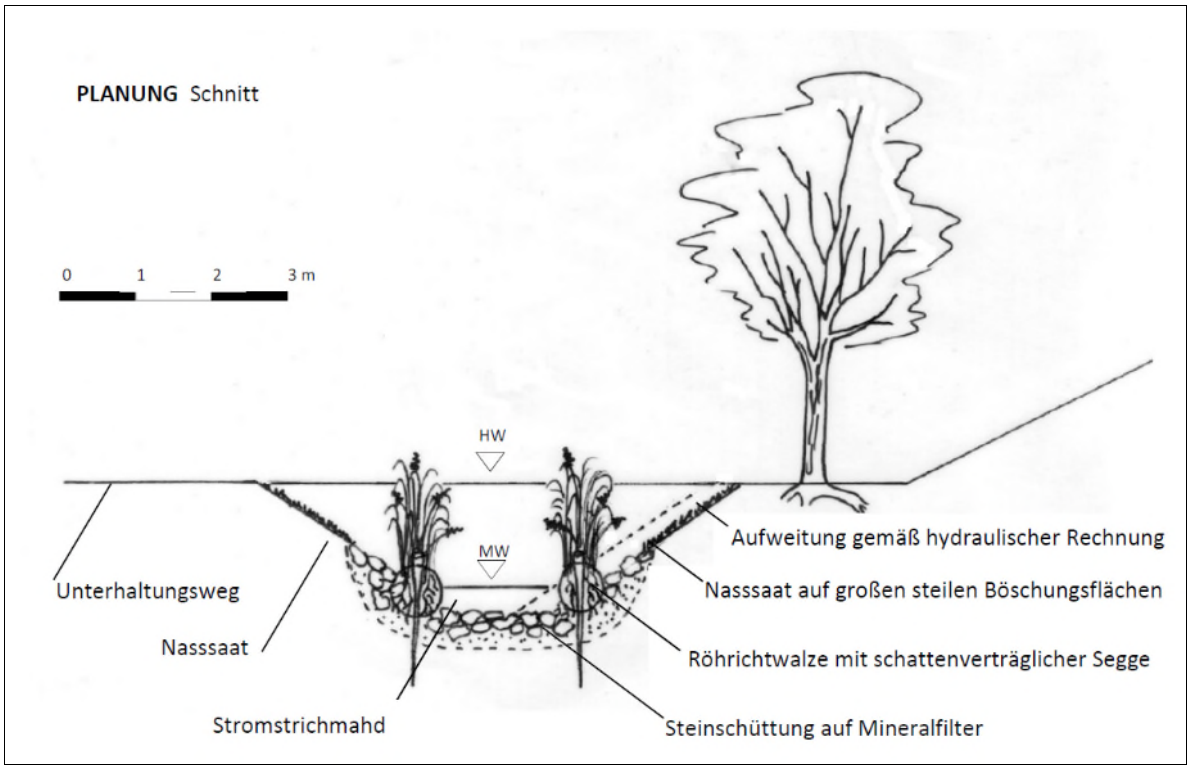


Abb. 42: Querschnitt eines ausgewählten Details im Regelprofil des Planungsvorschlages für den Hellersdorfer Graben

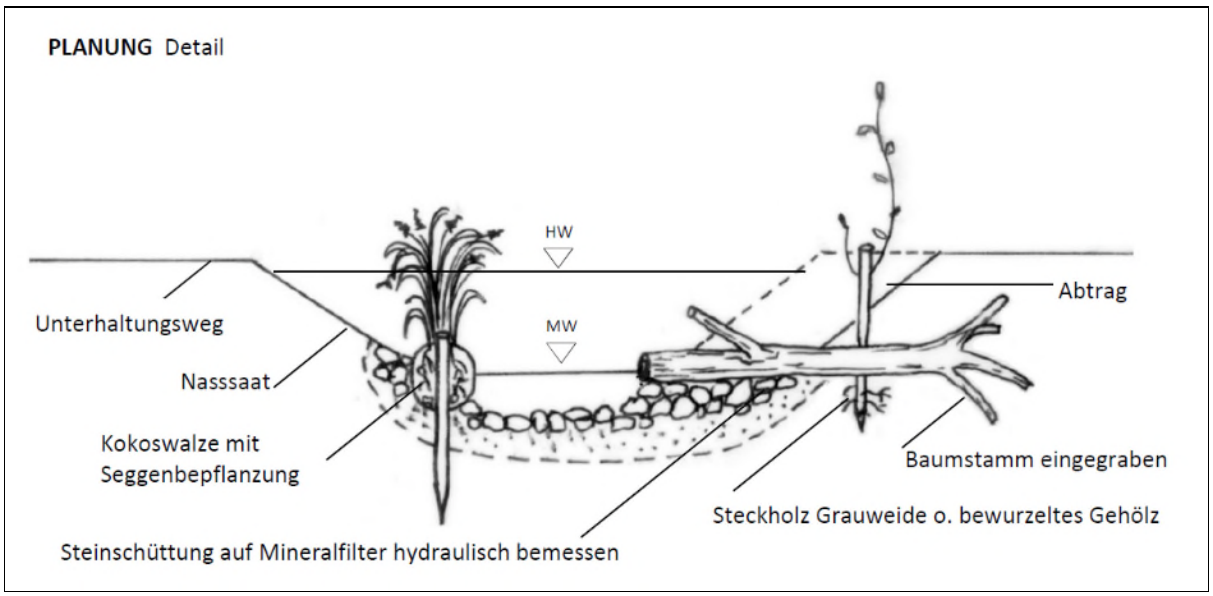


Abb. 43: Querschnitt eines ausgewählten Details in Gewässeraufweitung des Planungsvorschlages für den Hellersdorfer Graben

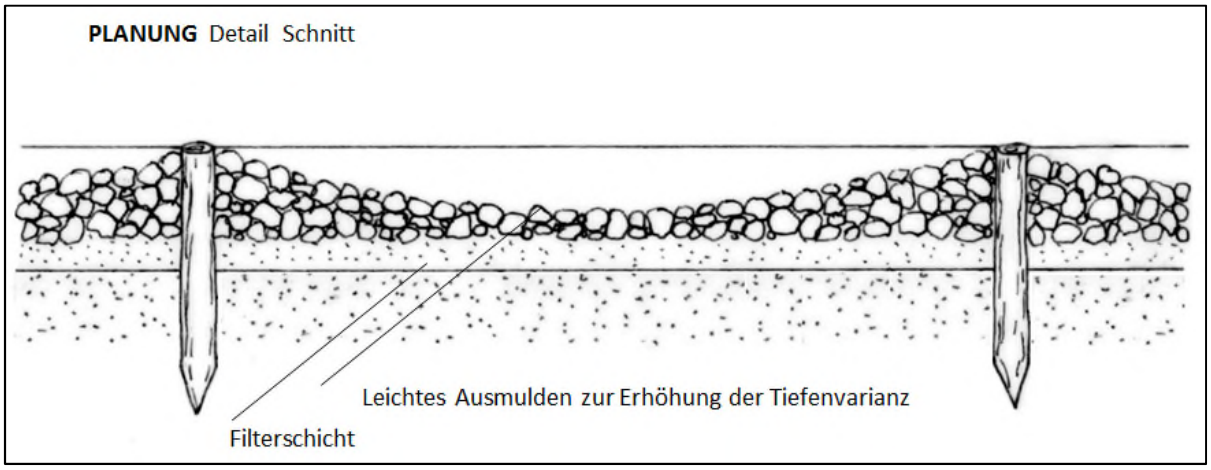


Abb. 44: Längsschnitt durch die Sohle mit Palisadenreihe zur Markierung der zu erhaltenden Sohlhöhe im Planungsvorschlag für den Hellersdorfer Graben

5.1.3 Beispielgewässer Rohrpfuhlgraben

5.1.3.1 Spezielle Problemstellung

Aufgrund der starken Überprägung durch einengende Bebauung und Nutzung zählt der Rohrpfuhlgraben in Mahlsdorf zu den stark veränderten Gewässern (HMWB). Im Hinblick auf das Umgebungssubstrat und das Gefälle sowie der Wasserführung ist er am ehesten zu den sandgeprägten Bächen zu rechnen.

Der Rohrpfuhlgraben verläuft in Mahlsdorf auf einem kurzen Stück oberirdisch, während er in seiner Fließstrecke überwiegend verrohrt ist. Die zahlreichen Regenwassereinleitungen führen zu hohen Abflussspitzen, in Trockenperioden fällt das Gewässer regelmäßig trocken.

Das Mittel- und Niedrigwasser verläuft in einem schmalen Kastenprofil mit Betonfertigteilen. Nur lokal treten Steinschüttungen oder Pfahlsicherungen auf. Oberhalb des Kastenprofiles besitzt das Gewässer ein Trapez-Profil mit einer Böschungsneigung von 1:1 bzw. 1:1,5. Auf den Böschungen grenzen Gartennutzungen oder Gehölze an.

In einem weiteren Teilstück sind die Platzverhältnisse noch enger. Hier reichen Garten- und Weidenutzung direkt an die Böschungsoberkante. Das Gewässer kann nur per Hand unterhalten werden. In diesem Teilstück sind die Ufersicherungen (Kunststofffilter, Faschinen und Pfähle) bereits aufgelöst.

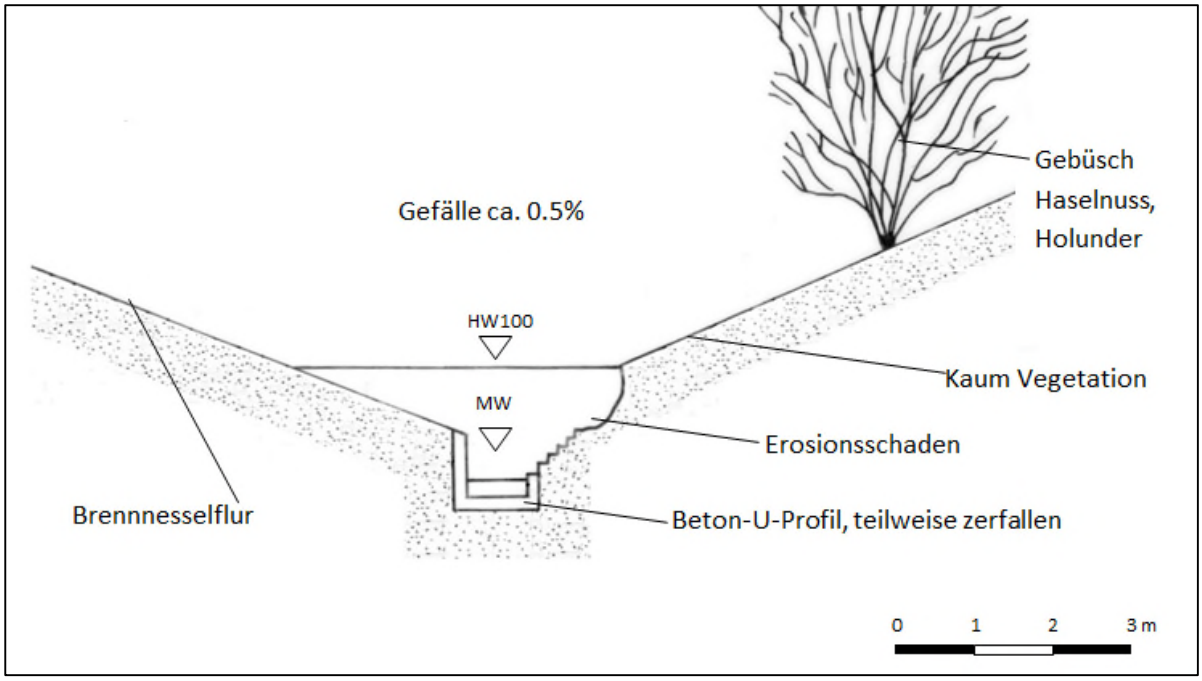


Abb. 45: Rohrpfuhlgraben zwischen B 1 und Hultschiner Damm: Fotos oben – Ausgangssituation mit aufgrund von Beschattung offener Böschung (links) und in sehr beengten Platzverhältnissen (rechts); Zeichnung unten – schematischer Gewässerquerschnitt im Bestand

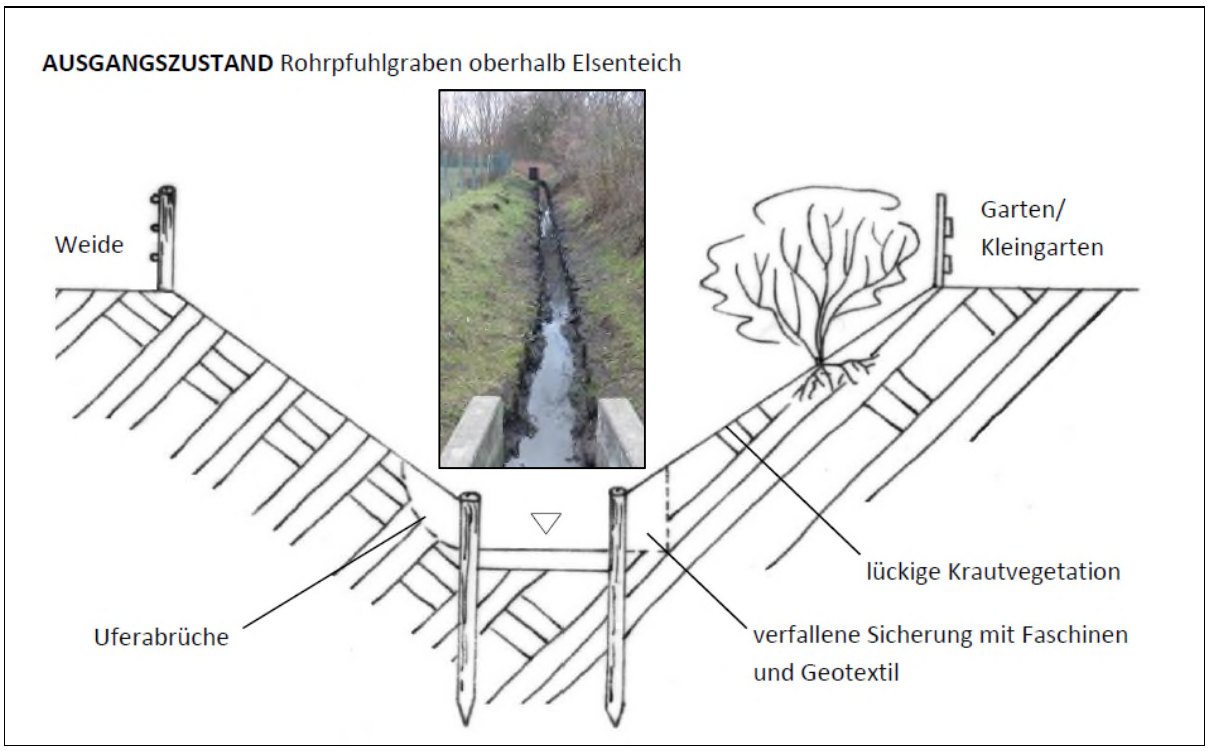


Abb. 46: Elsenseezufluss vor Sanierung

Eine Aufweitung des Gewässers kommt aufgrund der beengten Platzverhältnisse nicht in Frage. Bei Planungen für das Gewässer sind daher neben dem Ziel der ökologischen Aufwertung folgende Punkte zu beachten:

- Aufrechterhaltung bestehender Abflusskapazitäten;
- Deutlich ansteigende Wasserstände bei Starkregenereignissen;
- Sicherung der Ufer und Grundstücksgrenzen;
- Aufrechterhaltung der Zugänglichkeit des Gewässers für die Gewässerunterhaltung.

5.1.3.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes für den Rohrpfuhlgraben

Der Rohrpfuhlgraben hat ein geringeres Gefälle und muss geringere Anforderungen an die Regenwasserableitung erfüllen als der Hellersdorfer Graben. Daher kann er lokal als offenes Gewässer eingeschränkt ökologische Funktionen und Funktionen der Naherholung erfüllen. Hierfür sollte ein weitgehend natürliches Bett nachempfunden sowie Uferstrukturen in Form von Röhrichten in einer Wasserwechselzone etabliert werden. Die Böschungen sind so zu gestalten, dass sich heimische Gehölzarten ansiedeln und der Bachlauf landschaftlich für die nahegelegenen Siedlungsgebiete zur Naherholung genutzt werden kann.

Am Rohrpfuhlgraben ist aktuell kein Unterhaltungsweg vorhanden. Die Gewässerunterhaltung erfolgt per Hand. Die Ufersicherungen sind verfallen, bei Starkregenereignissen sind diese jedoch zwingend für die Stabilisierung des Bachlaufes erforderlich. Es ist von begrenzten Platzverhältnissen auszugehen, da durch die Neuerschließung eines Wohngebietes heutige Freiflächen bebaut werden sollen.

Es gilt, naturnähere Ufersicherungen herzustellen und die Böschungen ohne Erhöhung des Pflegeaufwandes neu zu gestalten. Im oberen Teil des Rohrpfuhlgrabens (zwischen B1 und Hultschiner Damm) kann die Sohle vermutlich auf die obere Höhe der Betonprofile angehoben werden. Außerdem ist hier das Gefälle im Graben hoch, die Regenwasserzuleitungen sind begrenzt. Eine Vernässung von randlicher Bebauung ist nicht zu befürchten. Dennoch sollte dies hydraulisch geprüft werden.

Da hier rechts und links am Gewässer Bäume vorhanden sind, die das Gewässer beschatten und somit eine dichte krautige Böschungsvegetation verhindern, sollte die Sohlanhebung mit mineralischen Baustoffen standsicher erfolgen. Auf den Böschungen sind halbschattenverträgliche Gehölze oder halbschattenverträgliche krautige Vegetation anzusiedeln.

Im unteren Teil des Rohrpfuhlgrabens (oberhalb des Elsensees) soll hingegen nur die Ufersicherung erneuert und dabei möglichst auf die Verwendung von Geotextilien aus Kunststoff verzichtet werden. Ein Verzicht auf technische Filterschichten ist jedoch nur dann dauerhaft möglich, wenn eine stabile Ufervegetation entwickelt werden kann, deren Wurzelfilz die Funktion des Filters übernimmt. Dafür muss ein ausreichend breiter Saum von Rohrglanzgras oder Seggen entwickelt werden.

Für den Rohrpfuhlgraben ingenieurbiologisch nutzbare Pflanzenarten müssen schattenverträglich sein und mit Trockenperioden zurechtkommen. Folgende Arten sind am Standort vorhanden:

- Gehölze
    - Weißdorn (*Crategus spec*.)
    - Flatter-Ulme (*Ulmus laevis*)
    - Pfaffenhütchen (*Euonymus europaeus*)
    - Wilde Pflaume (*Prunus domestica*)
    - Schlehe (*Prunus spinosa*)
    - Bergahorn (*Acer pseudoplantanus*)
- Krautige Pflanzen
    - Weitgehend vegetationslose Bereiche (im Schatten) oder Rasenböschungen.

5.1.3.3 Lösungsvorschlag für den Rohrpfuhlgraben

Der Lösungsvorschlag für den Rohrpfuhlgraben im oberen Abschnitt besteht im Wesentlichen aus folgenden Elementen:

- Zerschlagen des Beton-U-Profils und belassen des Materials als Unterbau für eine erosionsstabile Steinschüttung;
- Aufbau einer Schwellenstaffel aus Schüttsteinen gemäß Abb. 30 in Kap. 4.4.2 Zur Reduzierung der Durchsickerung können innenliegende Stulpwände oder oberwasserseitige Einbauten von Kiessand und/ oder Lehm erfolgen.
- Stabilisierung der kahlen Böschungen in ausreichend belichteten Abschnitten durch Rasenansaat und Gehölzanpflanzungen;
- Pflanzung von schattenverträglichen Seggen bzw. schattenverträglichen Bäumen und Sträuchern (Schwarzerlen, Traubenkirschen) in die Böschungssicherung in beschatteten Abschnitten.

Die Lösungsvorschläge für den Rohrpfuhlgraben können den folgenden Abbildungen entnommen werden.

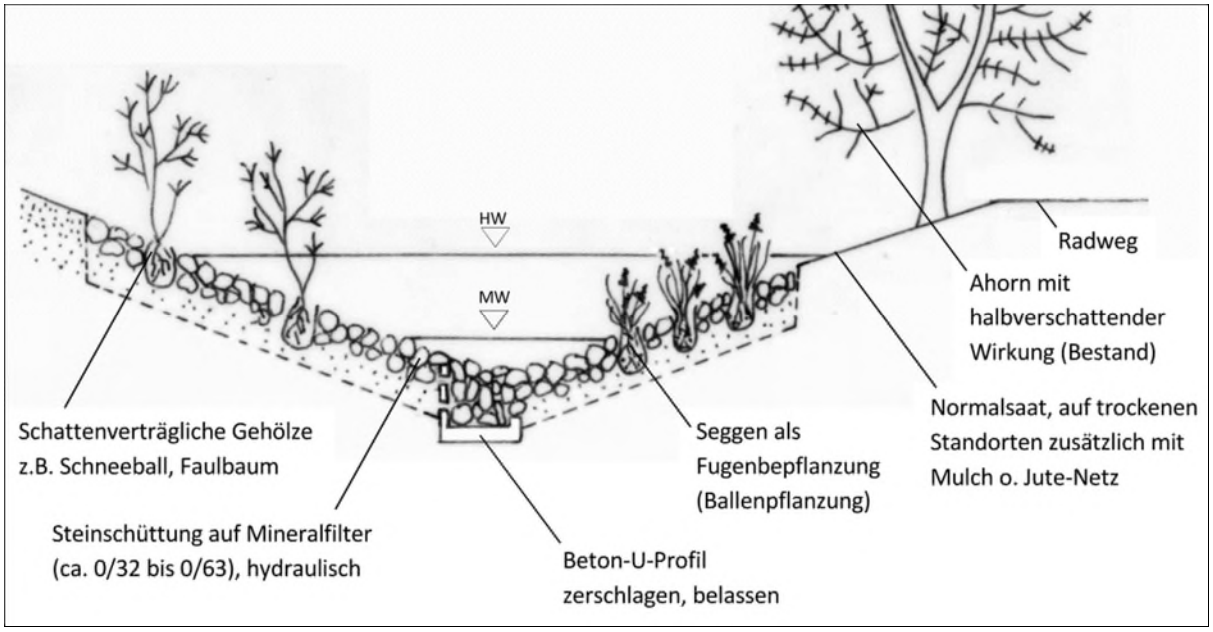


Abb. 47: Querschnitte des Planungsvorschlages für den oberen Teil des Rohrpfuhlgrabens

Im unteren Abschnitt des Rohrpfuhlgrabens waren die Ufersicherungen zu erneuern. Hier könnte eine Kokoswalze mit Hinterpflanzung von Seggen und Rohrglanzgras eingebaut werden, die im Abstand von mind. 0,5 m gegen Auftrieb mit Holzpfählen zu sichern ist. Dadurch wird der Kunststofffilter ersetzt. Die Seggen stellen insbesondere bei großen Abflüssen nur eine geringe Minderung der Abflusskapazität dar, solange die Böschung selbst weiterhin gemäht wird und nur der untere Böschungsteil für die Entwicklung von Röhrichten geschont wird. Sollten sich hier Schilf oder Gehölze entwickeln, die ggf. die Abflusskapazität deutlich mindern, ist die Mahd auch dieser Bereiche zumindest unregelmäßig alle 2-3 Jahre wieder aufzunehmen.

Die folgende Abbildung zeigt einen Lösungsvorschlag für einen solchen Einbau.

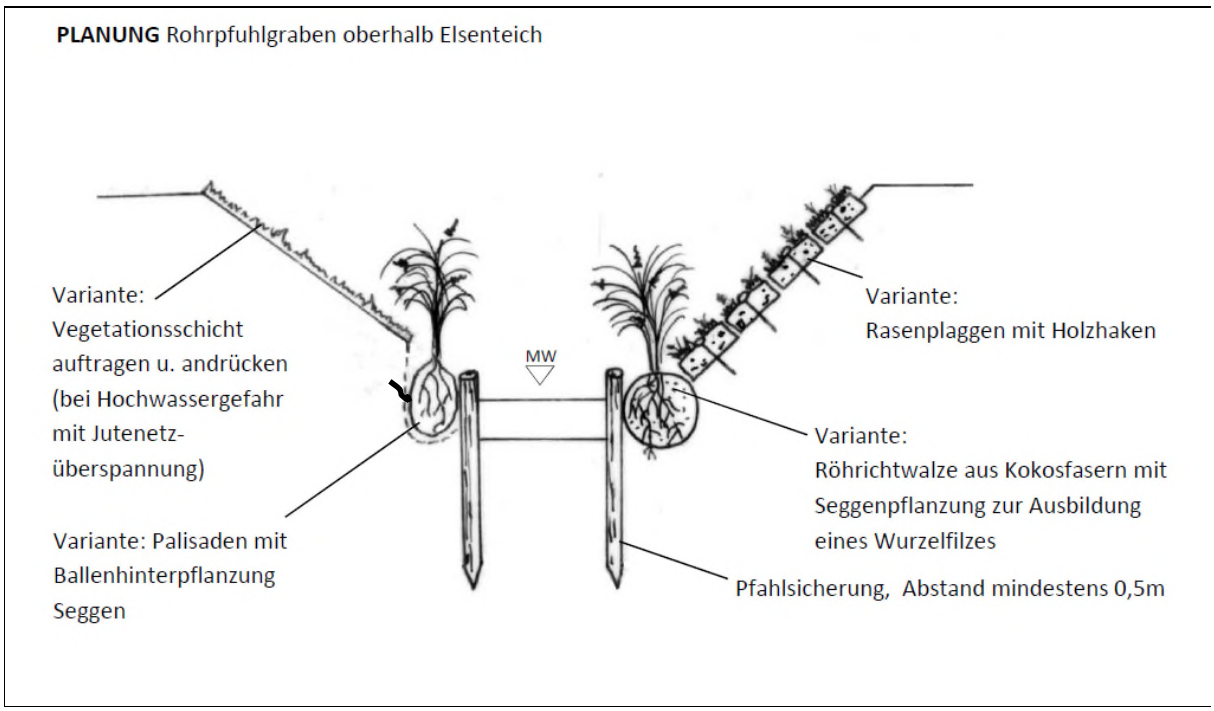


Abb. 48: Schematisches Querprofil mit Details für den Einbau einer Kokoswalze mit Seggenhinterpflanzung

Bei einer solchen Lösung ist darauf zu achten, dass die Wurzelballen der Seggen und Röhrichte etwas oberhalb des aktuellen Wasserstands beim Einbau liegen sowie möglichst direkt oberhalb des Mittelwassers. Ggf. sind auch zwei Kokoswalzen zur Erreichung des Böschungsfußes zu verlegen.

Ist ein tiefes Kastenprofil im unteren Drittel der Böschung zu erhalten, kann die Funktion der Ufersicherung durch krautige Vegetation nicht wahrgenommen werden. Dann ist ggf. über eine Gehölzvegetation nachzudenken, wenn dies die erforderliche Abflusskapazität zulässt, oder auf tote Baustoffe zurückzugreifen.

So kann an sehr steilen Böschungen, die im unteren Bereich mit Uferwänden z.B. mit Holzsicherung versehen sind, auf der Nordseite (die der Sonne zugewandte Böschungsseite) auch Heckenlagen zur dauerhaften und unterhaltungsarmen Sicherung der Böschungen gebaut werden. Die folgende Abbildung zeigt eine solche Bauweise. Als Gehölze, die zum Einbau in die Heckenlage geeignet sind, kommen Weißdorn, Schlehe, Wildpflaume in Frage. Diese Gehölze zeichnen sich durch Wurzelausläufer aus, wodurch sie die Böschung effektiv und flächig begrünen und sichern können.

Da der Grabenabschnitt schwer begehbar ist, ist die Sicherung der nördlichen Böschung mit Hilfe der Heckenlage langfristig die voraussichtlich unterhaltungsärmere Variante. Ggf. ist ein gelegentliches Auslichten der über das Wasser wachsenden Äste erforderlich.

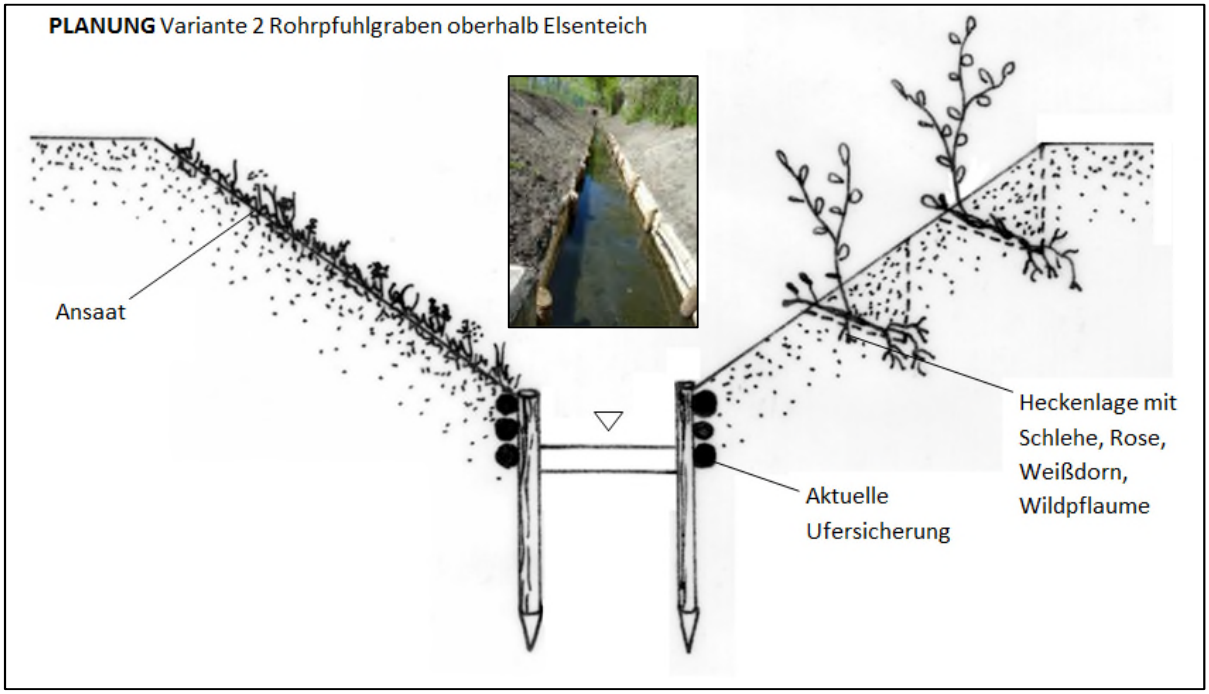


Abb. 49: Schematische Darstellung einer Heckenlage im unteren Rohrpfuhlgraben (rechte Böschung) und aktuelle Sanierungssituation am gleichen Grabenabschnitt wie vorher (linke Böschung)

5.2 Organische Bäche im Stadtrandgebiet

Einige Nebengewässer der Havel und der Spree im Berliner Raum bewegen sich mit nur sehr geringem Sohlengefälle vornehmlich in organischen Bodensubstraten und sind daher den organischen Bächen (LAWA-Typ 11) oder den Niederungsgewässern (LAWA-Typ 19) zuzurechnen. Dieser grundsätzliche Gewässercharakter hat sich im Stadtrandgebiet weitgehend erhalten, sodass diese Bäche als organische Bäche angesprochen und entwickelt werden können.

Die Entwicklungsmöglichkeiten solcher Gewässer werden definiert durch die eher geringen Fließgeschwindigkeiten, das schnelle Ausuferungsvermögen und die instabilen Sohl- und Ufersubstrate, die zumeist aus Torfen oder aus moorigen Böden bestehen.

5.2.1 Allgemeine Hinweise

5.2.1.1 Referenzzustand Gewässertyp 11 – organischer Tieflandbach

Dieser Gewässertyp findet seine Verbreitung insbesondere in Grund- und Endmoränenlandschaften sowie Niedermooren des Alt- und Jungmoränenlandes. Morphologisch weist er einen geschwungenen Verlauf in einem ausgeprägten Sohlental auf. Typisch ist auch die Neigung zu einem Mehrbettgerinne bzw. die Ausbildung von Seiten- und Nebengerinnen.

Das Gewässer ist kaum eingeschnitten. Dies ermöglicht eine enge Verzahnung mit der Landschaft bzw. den gewässerbegleitenden Mooren. Die Sohle wird nahezu vollständig von organischen Substraten wie Torf, Holz, Grob- und Feindetritus (organische Sedimente, organische

Substrate) gebildet und zum Teil von Feinsanden überlagert. Aufgrund von Huminstoffen ist das Wasser oftmals braun gefärbt.

Das Gefälle des Talbodens ist sehr gering bis eben. Das Strömungsbild ist demzufolge ruhig fließend. Nur an Totholz- und Wurzelbarrieren treten turbulentere Abschnitte auf, die dann zu einem größeren Abwechslungsreichtum der Habitatstrukturen beitragen.

Die zu erwartende Fischzönose ist stark von der jeweiligen Strömung, der Gewässergröße und der Temperatur sowie von der Anbindung an das übergeordnete Gewässernetz abhängig. Dabei können sowohl artenarme als auch artenreiche Lebensgemeinschaften auftreten (POTTGIESSER & SOMMERHÄUSER, 2008).

In der unten stehenden Tabelle sind die Referenzbedingungen aufgeführt, die den organisch geprägten Bach (LAWA-Typ 11) ausmachen.

Tabelle 3: Referenzbedingungen für LAWA-Typ 11 – organisch geprägte Bäche

morphologische Strukturen	• geschwungener Lauf mit Neigung zur Ausbildung von Seiten- und Nebengerinnen (Mehrbettbildung) und kaum eingeschnittenem Gewässerbett • Sohlsubstrate sind organisch, z. B. Torf, Holz, Grob- und Feindetritus (mineralische Anteile im Jungmoränengebiet), Schwebstoffe im Wasser • Wasserspiegelbreite sollte bei MQ-Abflüssen bei ca. 8-20-fachem der mittleren Profiltiefe liegen • Uferzonen von mindestens 20-30 m landwärts der generalisierten Mittelwasserlinie
Abfluss und Abflussdynamik	• mittlere bis hohe Abflussschwankungen im Jahr • Mittelwasser ganzjährig nur gering unter Flur • regelmäßiger Wechsel von ruhig fließenden und turbulenteren Bereichen (Totholz- und Wurzelbarrieren) • eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit von 0,12 m/s soll nicht unterschritten werden
ökologische Durchgängigkeit	• bei mittleren Abflüssen (ca. MQ) für alle Altersklassen der typspezifischen Fischartengemeinschaften im gesamten Längsschnitt durchwanderbar • für mobile Wirbellose begünstigt ein durchgehender Stromstrich mit hoher Substratdiversität und strömungsberuhigenden Elementen eine stromaufwärts gerichtete Wanderung
Biologische Besonderheiten	• Erlenbruchwald oder Niedermoore zumeist gewässerbegleitend • an besonnten Abschnitten starke Makrophytenausbildungen, auch Schwimmblattpflanzen • als Fischregionen dominiert die Brachsenregion
typische Ufervegetation	• Arten der Erlenbruchwälder, Erlen-Eschenwälder, Grauweidengebüsche oder Großseggenrieder

(Quelle: verändert nach BUNDESUMWELTAMT 2014)

Abb. 50: Referenzstrecke Typ 11 – organischer Bach –Oberlauf des Wuggel (links), Ressener Mühlenfließ kurz vor der Mündung in den Großen Schwielochsee (rechts)

5.2.1.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes

Auch im Stadtrandgebiet ist die Entwicklung eines Gewässers in seinen Referenzzustand zumeist nicht realistisch. Es sind Randbedingungen wie Hochwasserschutz, randliche Nutzungen u.ä. einzuhalten. Dennoch besitzen die Gewässer hier zumeist größere Entwicklungskorridore und Spielräume, die ausgenutzt werden können.

Dies kann für jeden Standort und jedes Gewässer im Detail variieren und ist in einem Abstimmungsprozess mit den Betroffenen auszuloten, bevor die Planung der Gewässerentwicklung einsetzen kann. Im Folgenden sollen Lösungsvorschläge dargestellt werden, die ggf. für eine ökologische Aufwertung des Gewässers im Stadtrandgebiet geeignet sind, ohne die Funktion des Gewässers für die angrenzenden Nutzungen (z.B. den Hochwasserschutz, die Ufersicherungen) zu beeinträchtigen.

Eine entsprechende Schrittfolge wurde bereits in Kap. 5.1.1.2 für den sandgeprägten Bach dargelegt. Diese gilt ebenso für den organischen Bach.

5.2.1.3 Lösungshinweise zur Auswahl von Bauweisen

5.2.1.3.1 Gestaltung der Sohle, Sohlsicherungen

Natürliche Sohlsubstrate für organische Bäche sind Materialien wie Totholz, Falllaub, schluffige Sedimente mit hohem organischen Anteil und vereinzelt Sand und Kies. Bei natürlichen Abflussverhältnissen und Profilgestaltung bedürfen organische Gewässer sowie alle andern für Berlin typischen Gewässer keiner Sohlsicherung bzw. sind die natürlichen Sohlstrukturen und Bewuchs ausreichend. So übernehmen in natürlichen Gewässern auch ins Wasser eingetragene Äste und Zweige die Verzahnung des Substrates, wodurch das feinkörnige Material auch bei größeren Fließgeschwindigkeiten stabil bleibt.

Dort, wo auf Grund der hydraulischen Belastung oder bereits erfolgter Schädigung der Verzahnung z.B. bei fehlenden Ufergehölzen das natürlich anstehende Substrat nicht erosionsstabil ist und eine eigendynamische Entwicklung oder z.B. Aufweitungen zur Verminderung der Schleppspannungen nicht möglich sind, sollten der Böschungsfuß und die Sohle gesichert werden. Bei dauerhaft unter Wasser liegenden Abschnitten kann dies mit natürlichen Materialien wie **Faschinen** und Reisigpackungen erfolgen, welche bei anstehenden organischen Böden geringere Anforderungen an die Gründung der Bauwerke stellen, als z.B. **Steinschüttungen**. In Verlandungsbereichen, in denen die Sohle auflandet, sind i.d.R. keine Sohlsicherungen erforderlich.

Zur Markierung der geplanten Sohlhöhe für Sohlräumungen und als Begrenzung gegen Tiefenerosion können in bestimmten Abständen **Holzpalisaden** quer zur Fließrichtung eingebaut werden.

5.2.1.3.2 Auswahl der Ufersicherungen

Bei Gewässern mit Mittelwasser-Tiefen bis 0,3 m sind ingenieurbiologische Sicherungen etwa ab der Mittelwasserlinie zumeist möglich. Bei geeigneter Wasserqualität (mittlere Trophie, keine organische Belastung durch Abwässer) und mäßiger hydraulischer Belastung wurzeln Baumweiden und Schwarzerlen sowie zahlreiche Röhrichtarten bis 0,3 m unter MW. Voraussetzungen sind geeignete Pflanzenstandorte, d.h. ausreichende Belichtung, geringe Schadstoffbelastung, Schutz vor konkurrierender Vegetation, Tierfraß oder Betreten, sowie eine Reduzierung der Mahd in Ufernähe.

Durch das erneute Aufbringen der zuvor abgezogenen **Vegetationsschicht** kann eine schnelle und flächenhafte Begrünung der Ufer oberhalb MW ermöglicht werden. Dies wird ggf. durch die **Ansaat** oder das **Pflanzen** ingenieurbiologisch geeigneter **Gräser** und **Bachröhrichte** ergänzt. Als vorübergehende Sicherung über der aufgetragenen Vegetationsschicht dient ein **Kokosnetz**, mit **Holzhaken** befestigt.

In den sich entwickelnden Böschungsrasen können in halbschattigen Bereichen Seggen mit Ballenpflanzungen, an hydraulisch stärker belasteten Bereichen können **Baumweiden** durch **Setzstangen** oder **Steckhölzer** oberhalb des HW_1 angesiedelt werden. Sie wurzeln innerhalb einiger Jahre bis zum Mittelwasser und auch tiefer. Voraussetzung ist eine gute Belichtung. In halbschattigen Bereichen können bei ausreichender Wasserqualität auch **Schwarzerlen** ähnlich eingesetzt werden. Diese sollten als Forstpflanzen mit Herkunftsnachweis gepflanzt werden. Auch Selbstaussamung auf Rohböden an der Mittelwasserlinie ist durch die Art möglich, solange nicht mit Erosionsschäden in der ungeschützten Phase der Entwicklung zu rechnen ist bzw. solche toleriert werden können.

Als vorübergehende Sicherungen können an hydraulisch belasteten Ufern **Reisiglagen** aus Laubholz- oder Nadelholzreisig oder **Faschinen** aus nicht bewurzelungsfähigem Reisig verwendet werden.

Zur Sanierung steiler Ufer mit verrotteten Faschinensicherungen können hinter die noch vorhandenen Pfahlreihen Kokoswalzen oder Faschinen mit **Kokosmattenummantelung** zur Verbesserung der Filtereigenschaften und Röhricht- bzw. Seggenhinterpflanzung eingesetzt werden.

Alternativ können auch starke, biegsame Ruten und Äste um die Pfähle geflochten werden (**Flechtzaun**). Örtlich festgestellte Kunststoffvliese zwischen Faschinen und Boden behindern vermutlich die Durchwurzelung und Etablierung einer Röhrichtvegetation. Außerdem stellen sie für hinterfüllten Boden eine Gleitschicht dar. Diese Vliese sollten beseitigt und durch Kokosmatten und Vegetationsinitiale ersetzt werden.

Deklinante (Ausrichtung stromab) **Holzpfahlreihen** (Palisadenbuhnen) können zur Ableitung der Hochwasserströmung und des Mähguts vom Prallufer eingesetzt werden.

5.2.1.3.3 Ökologische Verbesserungen

Aufweitungen stellen wichtige ökologische Nischenhabitate in Gewässern dar. Hier können Röhrichte wie Rohrkolben, Rohrglanzgras sowie **Feuchthochstauden** wie Sumpfschwertlilie, Wasserdost oder Blutweiderich angesiedelt werden. Die Ansiedlung von **Strauchweiden** mit überhängenden Ästen ist z.T. möglich und in Aufweitungen auch nicht abflussbehindernd. Zur Durchleitung von abtreibendem Mähgut, wie im folgenden Beispiel erforderlich, kann es sinnvoll sein, die Aufweitung vom Flusslauf durch eine Pfahlreihe zu trennen oder künstliche Altarme herzustellen und diese im Unterwasser anzubinden.

Totholz als Besiedlungshabitat kann durch möglichst dicke Baumstammteile stehend oder liegend in Ufer, Sohle und Vorland eingebaut werden. Holzteile im Abflussprofil müssen vor Auftrieb und Verdriftung gesichert werden. Dies kann durch Eingraben, Überschütten, Verankern aber auch Sichern mit Setzstangen erfolgen und sollte bei Gefährdung von Unterliegern nachgewiesen werden.

Abb. 51: Befestigung von Totholz am Gewässerufer mit Hilfe von Setzstangen (Foto: E. Hacker)

5.2.2 Beispielgewässer Erpe (Neuenhagener Mühlenfließ)

5.2.2.1 Spezielle Problemstellung im Stadtrandgebiet

Gewässer im Stadtrandgebiet müssen neben den ökologischen Funktionen auch Nutzungsanforderungen gerecht werden:

- Hochwasserschutz für angrenzende Nutzungen;
- überwiegend Wiesennutzung im Umland, teilweise auch dicht an die Gewässerparzelle heranreichende Gärten und Kleingärten;
- Angrenzende Wanderwege, örtlich Naherholungsdruck;
- Vorflut für Kläranlagenablauf und damit verbundene hydraulische und stoffliche Belastung
- Sicherung kreuzender Leitungen und Verkehrswege.

Typisch für die Erpe sind Phosphatbelastungen des Wassers bedingt durch die Einleitungen aus der Kläranlage Münchehofe, welche ein schnelles Wachstum von krautigen Pflanzen im Wasser und damit einen hohen Unterhaltungsbedarf hervorrufen. Das Mähgut treibt in der Erpe bis zur nächsten Krautfangstation. Ein Belassen des Mähgutes im Bach würde zu Sauerstoffzehrung führen. Insbesondere durch langanhaltende Niederschläge im oberen Einzugsgebiet treten Hochwasser auf, wobei bereits ca. fünfjährliche Hochwasserereignisse zu Ausuferungen bis in die Kleingartenanlagen führen.

Die Bestandssituation an der Erpe stellt sich folgendermaßen dar: Der Fluss ist ausgeräumt und begradigt, die Böschungsvegetation besteht aus einem schmalen Röhrichtsaum sowie einzelnen Weiden. Teilweise haben sich Weiden im Ufer angesiedelt, die regelmäßig geschnitten werden müssen, damit sie das Abflussprofil nicht beeinträchtigen oder die Sohlkrautung mit dem Boot behindern.

Die Ufer der Erpe sind im Betrachtungsraum mit Pfählen und Faschinen gesichert, die Filterstabilität wurde abschnittsweise durch Kunststoffvliese hergestellt. Die Faschinen sind nicht mehr oder nur noch in Resten vorhanden. Die folgende Abbildung zeigt im Foto und schematisch die Gestaltung des Gewässers.

Die Ufer der Erpe sind durch die Sicherungen durchgehend sehr steil ausgebildet. Es befindet sich kaum oder kein Totholz im Gewässer, abgesehen von den Pfählen der ehemaligen Sicherung. In Prallhangbereichen wurden teilweise Pfahlbuhnen eingebaut, um die Strömung vom Ufer abzulenken und in den Stromstrich zu konzentrieren und das treibende Mähgut durchzuleiten.

Im Umland der Erpe erfolgt Grünlandnutzung, die Grundwasserstände in der Aue sind oberflächennah. Abschnittsweise grenzen Kleingartenanlagen an den Unterhaltungstreifen des Gewässers oder den Wanderweg an.

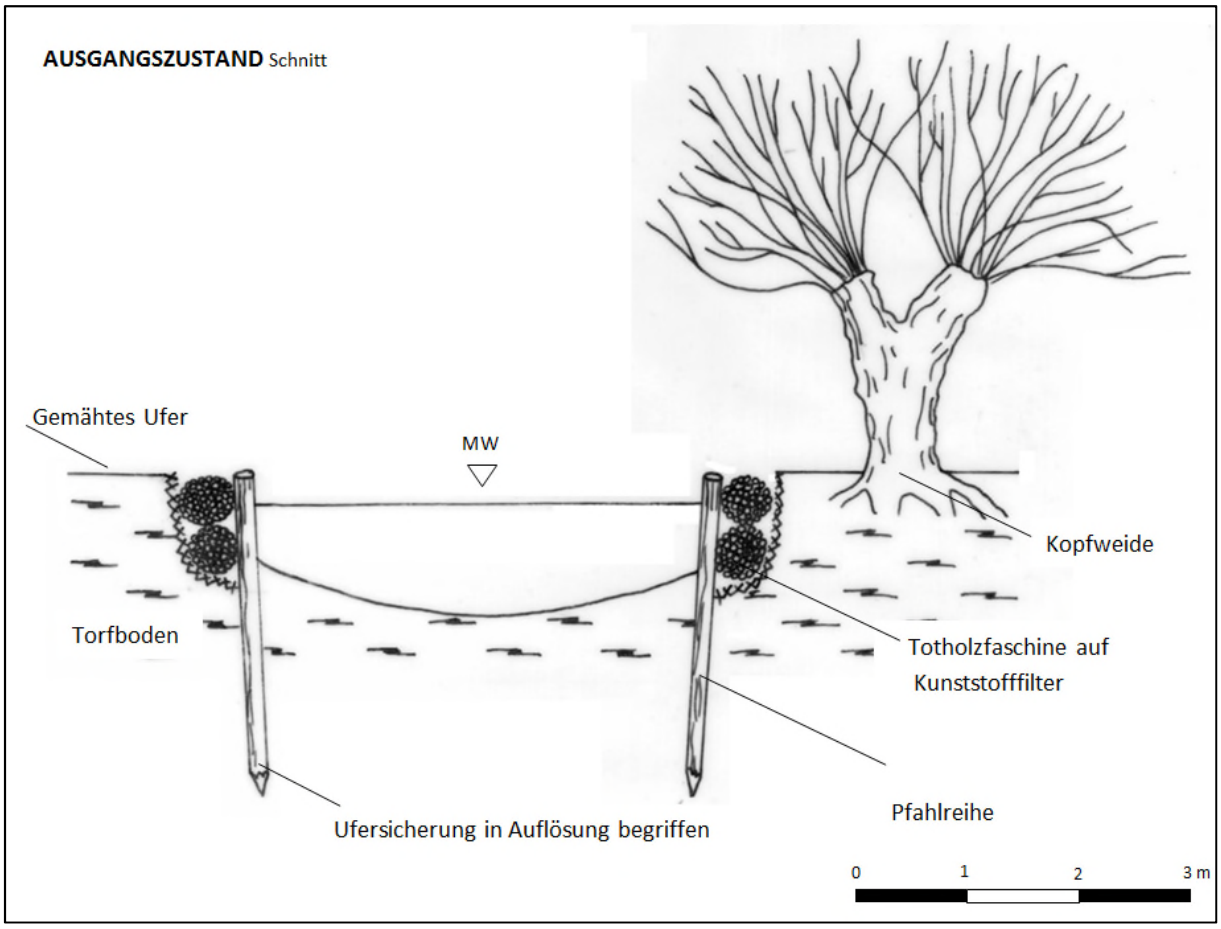


Abb. 52: Ausgangszustand der Erpe im Bereich Friedrichshagen

5.2.2.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes für die Erpe

Der aktuelle Gewässerlauf der Erpe mit geschwungenem, aber nicht mäandrierendem Verlauf sollte weitgehend erhalten bleiben. Eine freie eigendynamische Entwicklung ist aufgrund der angrenzenden Nutzungen und der Funktion zur Aufnahme der Klärwerksabwässer nicht möglich. Örtlich kann jedoch eine Strukturierung des Gewässers durch Aufweitungen erfolgen, wenn die Flächenverfügbarkeit dies zulässt. Das treibende Mähgut muss hier vorbeigeleitet

werden. Einengungen sind in Abhängigkeit von der hydraulischen Leistungsfähigkeit des Profils im Rahmen eines Projektes zu planen.

Da das Gewässer weiterhin regelmäßig gekrautet werden muss, ist die Befahrbarkeit mit dem Mähboot sicherzustellen. Eventuelle Baumpflanzungen am Ufer sind so zu gestalten, dass möglichst wenige Äste über das Gewässer hinauswachsen können. Dennoch ist eine Erhöhung der Beschattung des Gewässers anzustreben, um die Krautentwicklung zu bremsen. Hier bieten sich hochwüchsige Arten wie Schwarzerle, Hainbuche, Flatterulme, Gewöhnliche Traubenkirsche und Gemeine Esche an.

Die Ufersicherungen des Gewässers sollten so erneuert werden, dass sich daraus bereits eine ökologische Aufwertung ergibt. Es sind dauerhaftere Alternativen gegenüber den nach einigen Jahren verrottenden Totholzfaschinen zu entwickeln. Die Sicherungen sollten mit Aufweitungen kombiniert werden, in denen ergänzend Uferstrukturelemente wie Totholz eingebaut werden können, ohne die hydraulischen Funktionen des Gewässers zu beeinträchtigen. Hier können sich dann auch Röhrichte und Wasserpflanzen entwickeln, die im Flusslauf regelmäßig gemäht werden.

Für die Erpe ingenieurbiologisch nutzbare Pflanzenarten müssen durch den hohen Nährstoffgehalt des Wassers und des Bodens konkurrenzstark sein. Folgende Arten sind am Standort vorhanden:

- Gehölze
    - Bruchweide (*Salix fragilis*)
    - Grauweide (*Salix cinera*)
    - Silberweide (*Salix alba*)
    - Schwarzerle (*Alnus glutinosa*)
- Krautige Pflanzen
    - Rohrglanzgras (*Phalaris arundinaria*)
    - Beinwell (*Symphytum officinale*)
    - Brennnessel (*Urtica dioica*)
    - Pestwurz (*Petasites hybridus*)
    - Sumpf-Schwertlinie (*Iris pseudacorus*)
    - Flussampfer (*Rumex hydrolapathum*)
    - Aufrechter Merk (*Berula erecta*)
    - Sumpfsegge (*Carex acutiformis*)
    - diverse Neophyten, z.B. Drüsiges Springkraut (*Impatiens glandulifera*)

Abb. 53: Vegetation an der Erpe im Ortsteil Friedrichshagen mit strömungsabweisenden Palisaden (links) und Massenentwicklung von Pestwurz in Höhe des Klärwerkszulaufes (rechts)

5.2.2.3 Lösungen für das Beispielgewässer

Für die Erpe werden verschiedene Varianten zur Sicherung der Ufer in Abhängigkeit von der Ufernutzung angeboten.

- Variante 1: Ufersicherung mit Uferabflachung;
- Variante 2 und 3: Ufersicherung unter Nutzung der noch vorhandenen Pfähle;
- Variante 4: Gewässeraufweitung mit Einbringung von Totholz.

Die folgende Abbildung zeigt ein Beispiel mit Uferabflachung. Über den Rohboden wird eine Kokosmatte als Anfangsschutz des organischen Bodens gespannt. In Höhe des ehemaligen Böschungsfußes wird eine bestehende Pfahlreihe als Stütze für eine Totholzfaschine genutzt, welche unter Mittelwasser eingebaut wird.

Hinter der Totholzfaschine wird eine Kokoswalze mit Hinterpflanzung durch Uferseggen, Rohrglanzgras und Großer Wasserschwaden eingebaut. Diese kann mit ihrem Wurzelwerk die Kokosmatte durchdringen und so einen ausreichenden Schutz der Ufer vor Erosion aufbauen. Auf der Böschung selbst werden Weidensteckhölzer gesetzt, die allmählich mit ihrem Wurzelwachstum die Funktion des Röhrichts ergänzen.

Diese Art der Konstruktion ist nur an Nordufern anwendbar, um durch den ungehinderten Lichteinfall ausreichende Entwicklungsmöglichkeiten für das Röhricht vor den Weiden zu ermöglichen.

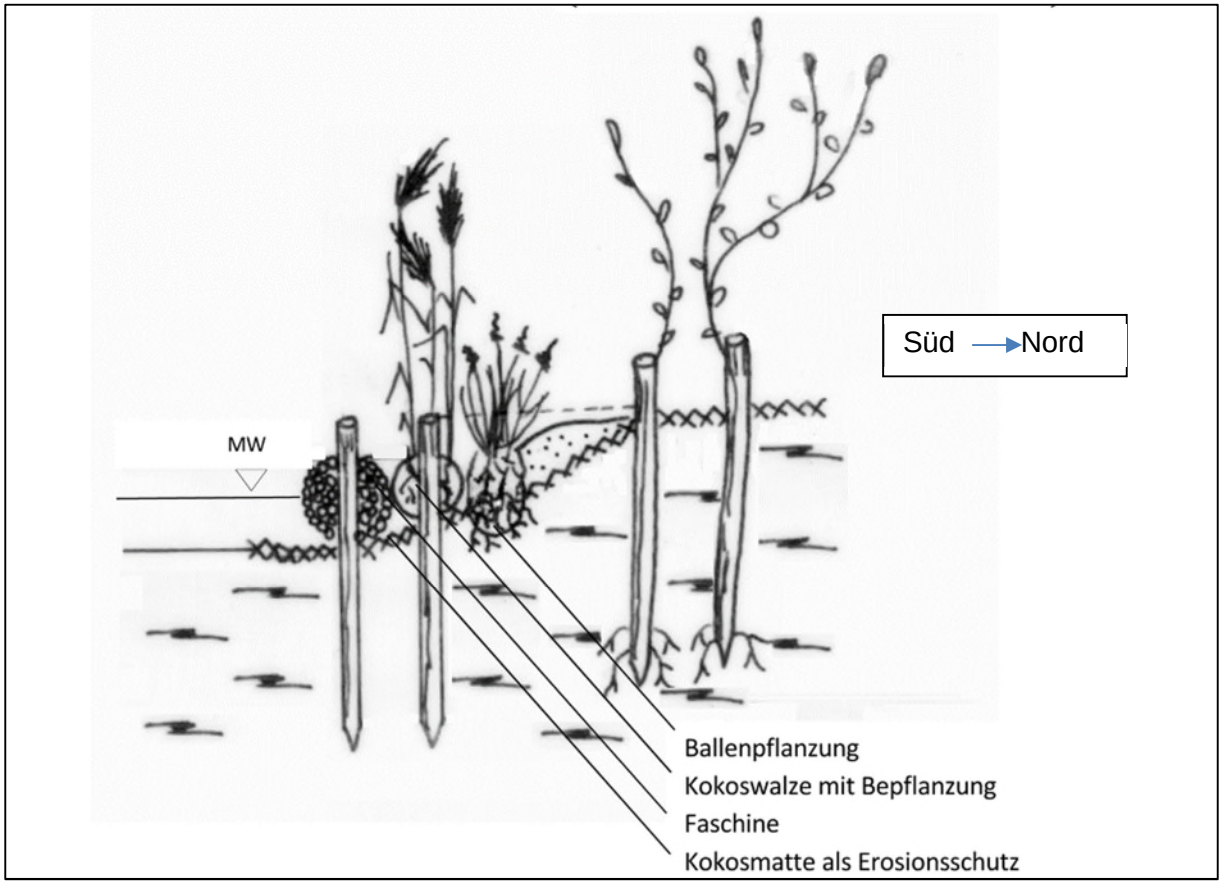


Abb. 54: Variante 1: Ufersicherung mit Uferabflachung , Kokoswalze mit Bepflanzung und Steckholzpflanzung auf der Nordseite

Sollen die Ufer nicht abgeflacht werden oder sind keine Steckholzpflanzungen möglich, können weitere Varianten der Sicherung der Ufer mit Röhrichten und Kokosmatten durchgeführt werden. Die folgenden Abbildungen zeigen solche Varianten.

Es ist zu beachten, dass die Röhrichte möglichst sonnig oder maximal halbschattig stehen. Sind Baumpfanzungen am Ufer geplant, dann sollte darauf geachtet werden, dass die Röhrichte auf der Sonnenseite liegen.

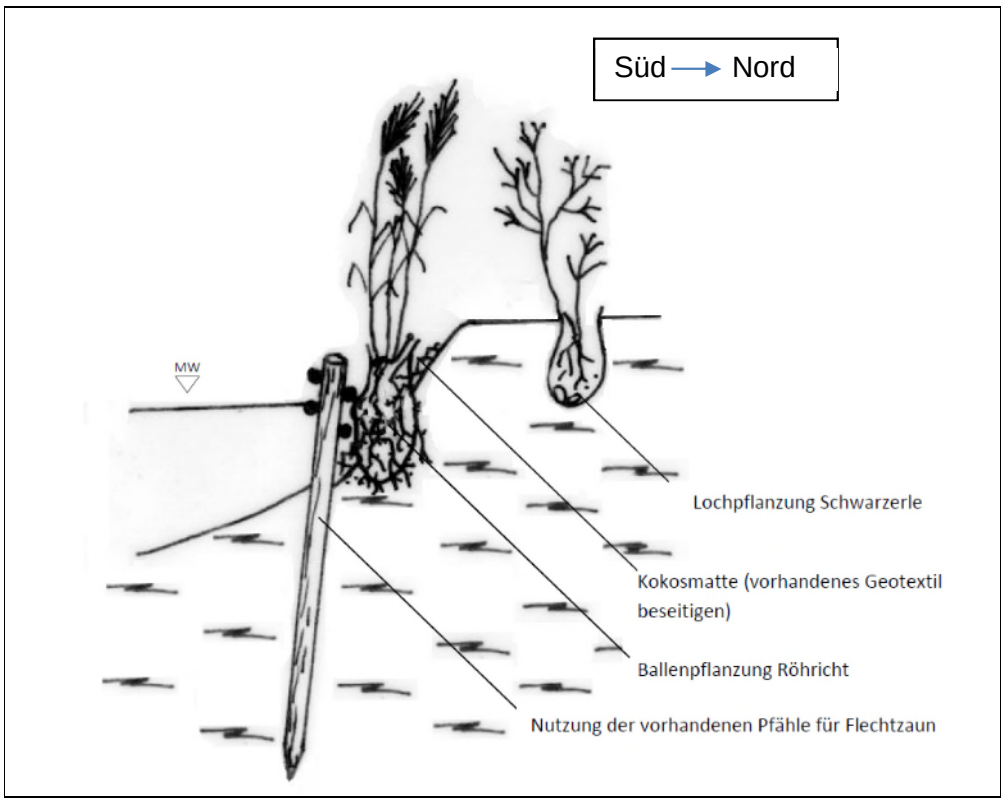


Abb. 55: Variante 2: Ufersicherung unter Nutzung der noch vorhandenen Pfähle mit Erstsicherung der Ufer durch Flechtzäune, Hinterpflanzung mit Röhricht, Ufersicherung mit Kokosmatte

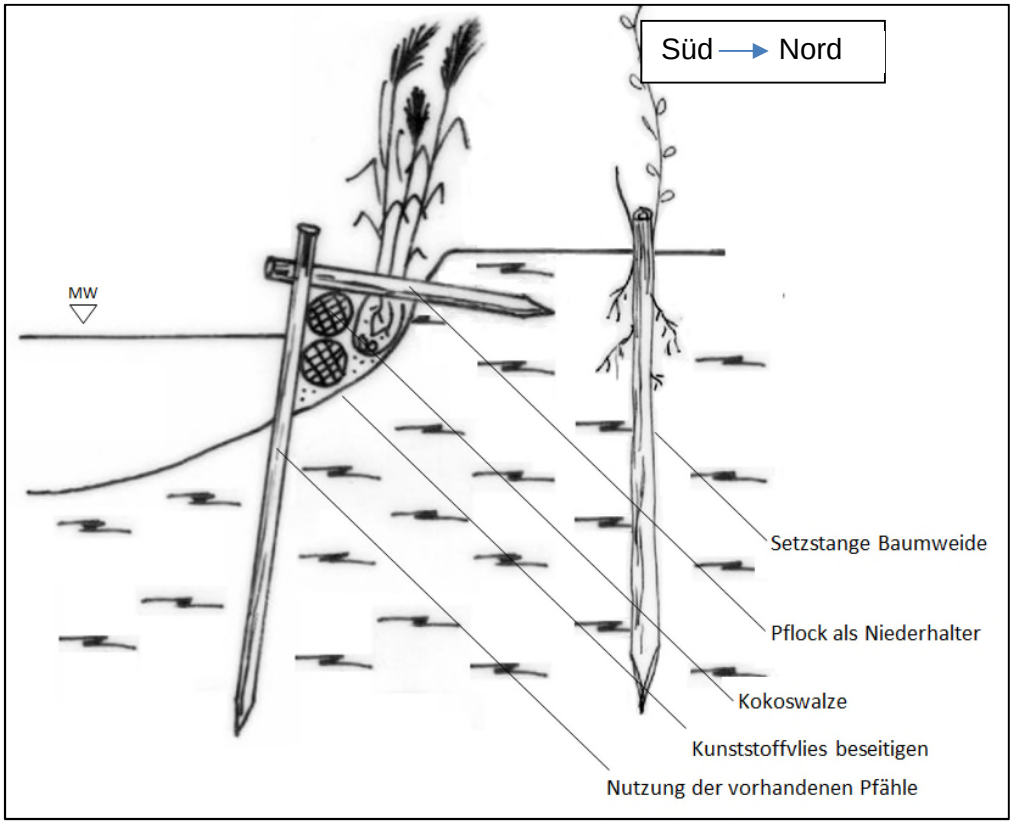


Abb. 56: Variante 3: Ufersicherung unter Nutzung der noch vorhandenen Pfähle mit Kokoswalze und Hinterpflanzung mit Röhrichten

Eine weitere Lösungsmöglichkeit für Bereiche, in denen eine größere Flächenverfügbarkeit vorhanden ist, besteht in der örtlichen Aufweitung des Gewässerprofils zum Einbau von Totholz im Bereich der Aufweitung (Variante 4).

Das Totholz kann als Bündel Stämme in das Wasser eingelegt und mit Anker und Kette vor dem Abtreiben gesichert werden. Das Gewicht der Anker ist so zu bemessen, dass die Totholzinsel an Ort und Stelle gehalten wird. Die Baumstämme sind so zu wählen, dass möglichst viele dickere und damit länger haltbare Äste von den Stämmen abzweigen. Die dauerhaft unterhalb der Wasseroberfläche liegenden Baumteile bleiben lange erhalten und sind ein wertvolles Besiedlungshabitat für Fische und Makrozoobenthos.

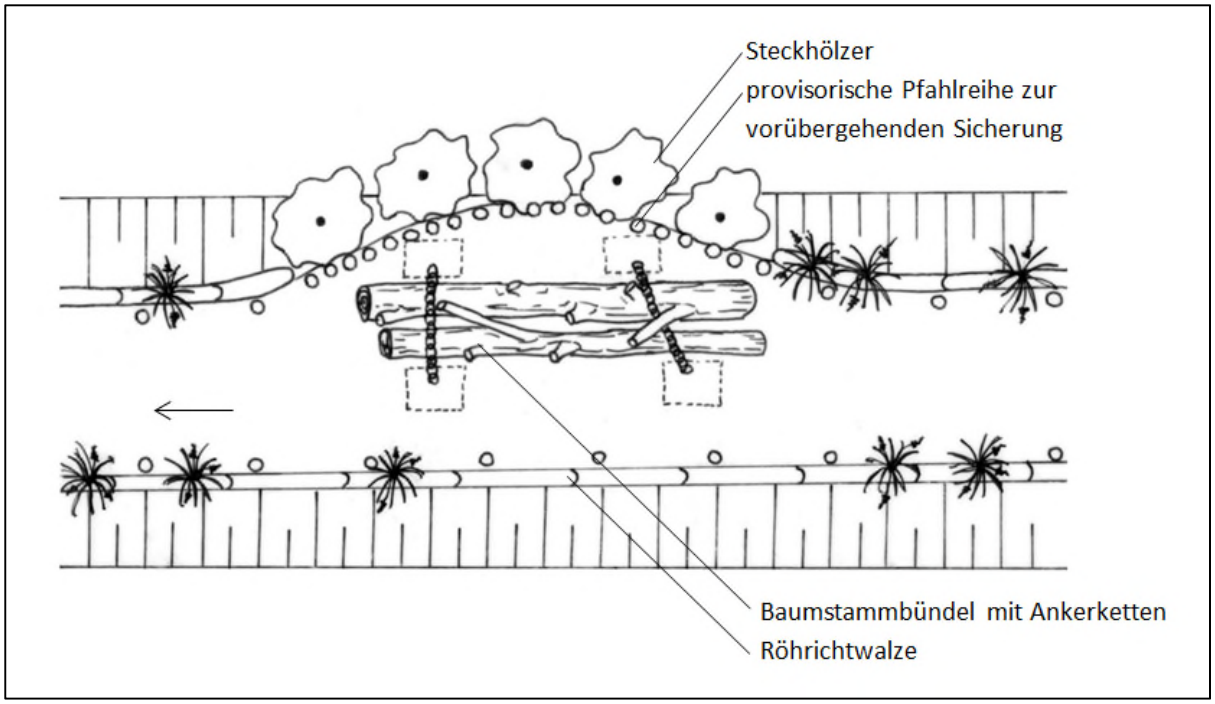


Abb. 57: Variante 4: Gewässeraufweitung mit Baumstammbündel und Hinterpflanzung mit Weidensteckhölzern (oben)

Ergänzend zur Pfahlreihe können für die längerfristige Sicherung entweder Baumweiden als Steckhölzer oder auch eine Kokoswalze mit Bepflanzung eingebracht werden. Das Röhricht ist zu schonen und nicht zu mähen, d.h. bei Mahd im Vorland sollte ein 1- 2 m breiter Uferstreifen erhalten werden.

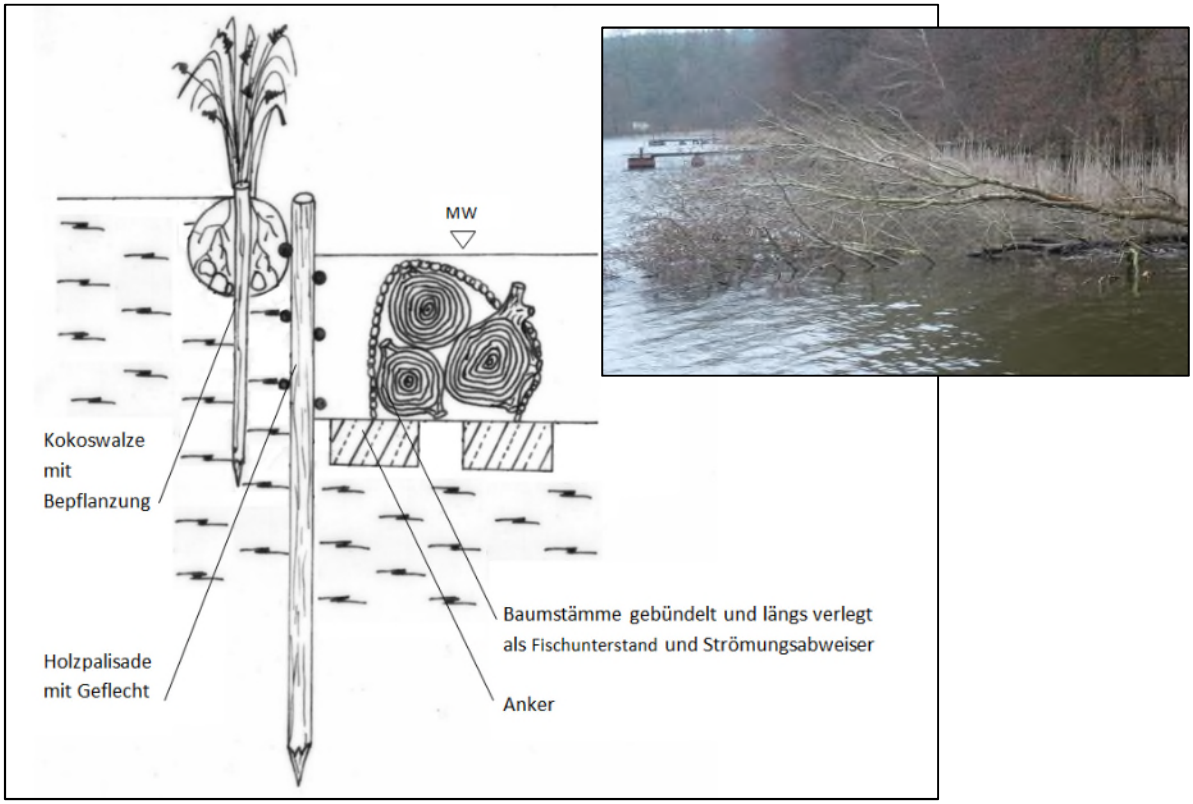


Abb. 58: Variante 4: Baumstammbündel und Pfahlreihe mit Kokoswalze und Bepflanzung zur Sicherung erosionsgefährdeter Böschungen (in Aufweitungen nicht erforderlich), Beispiel Totholzeinbau am Großen Mochowsee, Land Brandenburg (Bild oben)

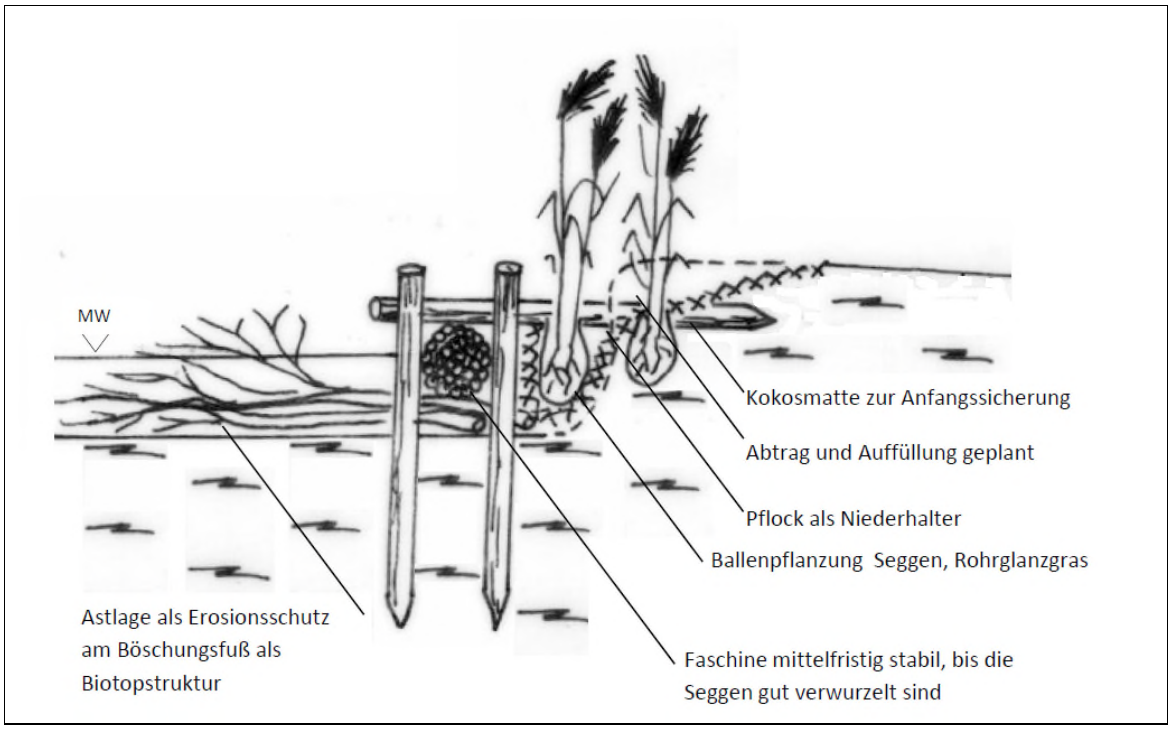


Abb. 59: Variante 4: Alternative für die Gestaltung von langsam fließenden Gewässern zur Anreicherung der Gewässerstrukturen, hier Einbau einer Astlage mit Uferbepflanzung aus Seggen und Röhrichten

Eine weitere Möglichkeit, eine Gestaltung der Ufer langsam fließender oder stehender Gewässer vorzunehmen, ist der Einbau einer Astlage unter der Wasseroberfläche. Die Packlage kann durch Pfähle und Faschinen dauerhaft unter Wasser gedrückt und an Ort und Stelle gehalten werden. Hinter der Totholzfaschine können **Ballenpflanzungen mit Seggen**, hier in zweireihiger Ausführung, die dauerhafte Ufersicherung übernehmen. Unterstützt wird das Röhricht in der Anfangsphase der Vegetationsentwicklung durch eine Kokosmatte, die den organischen Boden schützt.

5.3 Sandgeprägter Fluss – Umgang mit Wasserstraßen

Die Flüsse im Berliner Stadtgebiet sind Bundeswasserstraßen. Damit gehen besondere Anforderungen an die Schiffbarkeit und an die Sicherung der Ufer einher. Es entstehen schiffsinduzierte Wellen mit besonderer Steilheit, welche für die typische Ufervegetation und Biozönose der Gewässer in der Regel ein Problem darstellen.

Im Innenstadtbereich herrscht außerdem ein hoher Flächendruck, sodass Böschungen mit zunehmender Nähe zur Stadt in Ufermauern übergehen. So verfügt die Spree fast auf ihrem gesamten Flussweg durch Berlin von Friedrichshain bis Charlottenburg beidseitig über Ufermauern. An diese grenzen teilweise Grünanlagen, überwiegend verlaufen jedoch Straßen oder zumindest Gehwege in der Nähe der Ufermauern.

Die Spree und die Havel zählen mit ihrem Mittel- und Unterlauf zu den sand- und lehmgeprägten Tieflandflüssen. Dies entspricht dem LAWA-Typ 15.

5.3.1 Allgemeine Hinweise

5.3.1.1 Referenzzustand Fließ-Gewässertyp 15 – sand- und lehmgeprägter Tieflandfluss

Eine Publikation des Umweltbundesamtes aus dem Jahr 2014 (Text 43) beschreibt den Referenzzustand eines Typ 15_g folgendermaßen: „Im sehr guten Zustand mäandrieren die großen sand- und lehmgeprägten Tieflandflüsse überwiegend unverzweigt in weiten Sohlentälern oder in flachen Muldentälern. Die Auen bilden ein strukturreiches Relief mit großen Altmäandergürteln, Auengewässern, Rinnenstrukturen, Bänken und einem markanten Kleinrelief. Nebengerinne und Verzweigungen kommen abschnittsweise vor. ... Die Sohle besteht überwiegend aus lagestabilem Sand, Lehm und Totholz. Stellenweise kommen größere Kies-anteile vor. ... Der Totholzanteil beträgt 5 bis 10 %. Makrophyten treten mit großen bis sehr großen Deckungsgraden auf. Abhängig vom Sohlgefälle haben die Gewässer eine dynamische bis extrem dynamische Wasserführung, sodass häufig Laufverlagerungen, Seitenerosion und Mäanderdurchbrüche entstehen. Bei geringem Sohlgefälle bilden sich häufiger Nebengerinne aus. Im Längsverlauf zeigen sich viele vegetationsarme Ufer- und Mittelbänke, aber nur wenige Querbänke. Insgesamt gibt es vielfältige Lauf-, Sohl- und Uferstrukturen bei überwiegend großer Tiefen- und Breitenvarianz.“

„Die Ufer sind vorwiegend mit Eichen, Buchen oder Ulmen bewachsen, wodurch das Gewässer teilweise beschattet wird. Die Auen der großen Flüsse sind überwiegend durch langanhal-

tende Überflutungen geprägt. ... Im Mittel sind die Auen an 120 bis 130 Tagen im Jahr überflutet.“ Zit. Umweltbundesamt 2014 (LAWA-Typ 15). Entsprechend ist die Vegetation der Ufer mit Silberweiden, Bruchweiden, Korbweiden und Schilf sehr überstauungstolerant.

Abb. 60: Natürliches Laufbild eines Flusstyps 15 (Schnelle Havel bei Zehdenick, parallel dazu wurde der Vosskanal errichtet; Bild: L. Landgraf)

5.3.1.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes

Für die Stadtspree im Berliner Stadtzentrum (Abschnitt Ostkreuz bis Mündung in die Havel) ist die Herstellung eines naturnahen Zustands nicht realistisch. Auch die Sicherung von Ufern mit ingenieurbiologischen Bauweisen tritt in den Hintergrund.

Dennoch sind ökologische Aufwertungen möglich. Dazu kann z.B. gehören, die Ausstattung des Gewässers mit natürlichen Biotopstrukturen und Pflanzen des Gebietes unter Berücksichtigung der bestehenden Rahmenbedingungen zu verbessern. Folgende Fragestellungen sind hierbei zu beachten:

- Kann das Ufer bereichsweise abgeflacht werden? Welche Böschungsneigungen sind möglich?
- Können beruhigte Flachwasserbereiche durch vorgelagerte durchlässige Konstruktionen (Lahnungen, Pfahlreihen, Spundwände) hergestellt werden?
- Wo sind Ufergehölze sinnvoll und möglich, ohne den Hochwasserabfluss oder bedeutende Sichtbeziehungen zu beeinträchtigen,
- Wo sind Röhrichte und Feuchthochstauden sinnvoll?
- Welche Baumaterialien passen zum jeweiligen Ortsbild?
- Welche Biotopstrukturen können noch ergänzt werden – Totholz, Fischunterstände?
- Wie soll die Pflege und Unterhaltung zukünftig erfolgen?

Für den Innenstadtbereich nutzbare Pflanzen werden an dieser Stelle nicht angegeben, da es sich um Sonderstandorte handelt, an denen Pflanzen eher ästhetische als sicherungstechnische Anforderungen erfüllen. Es ist darauf zu achten, dass die zur Anwendung kommenden Gräser, Kräuter und Gehölze zum heimischen Arteninventar gehören.

5.3.1.3 Lösungshinweise zur Auswahl von Bauweisen

5.3.1.3.1 Gestaltung der Sohle, Sohlsicherungen

Die Gestaltung der Sohle oder Sohlensicherungen werden hier nicht betrachtet. Sie werden nach den Erfordernissen der Landes- und Bundeswasserstraße vorgenommen.

5.3.1.3.2 Auswahl der Ufersicherungen

An stärker befahrenen Wasserstraßen sind ingenieurbiologische Maßnahmen erst deutlich oberhalb der Mittelwasserlinie wirksam. Es wird davon ausgegangen, dass die gesamte Unterwasserböschung und die Böschung im Schwall- und Sunkbereich technisch gesichert werden z.B. durch Steinschüttungen, Spundwände oder Ufermauern.

Oberhalb dieser hydraulisch zu berechnenden Linie können an einigen Stellen im Bereich flussbegleitender Grünanlagen die bestehenden Ufermauern durch mehr oder weniger steile Böschungen oder begrünbare Mauern ersetzt werden. Möglich sind je nach örtlichen Verhältnissen **Steinsatz, Steinschichtung** oder **Gabionenmauer**. Alle Bauweisen lassen sich sowohl mit Gräsern, Kräutern und Röhricht im Rahmen von Fugenbepflanzungen oder Fugensaat als auch mit Gehölzen durch Fugenbepflanzung, Fugensaat, Steckholzpflanzung, Busch- oder Heckenlagen begrünen.

5.3.1.3.3 Ökologische Verbesserungen

An durchgehenden Ufermauern oder Spundwänden können in der Mittelwasserzone **Pflanztaschen** z.B. durch angeschweißte Bleche oder angehängte Blumenkästen angebracht werden. Diese werden mit Kunststofffiltersäcken mit geeignetem Substrat gefüllt und bepflanzt. Hier können Röhrichte und Seggen sowie **Feuchthochstauden** wie Schwertlilie, Wasserdost oder Blutweiderich angesiedelt werden. Die Ansiedlung von **Strauchweiden** hinter der Mauer oder Spundwand mit überhängenden Ästen ist z.T. möglich. In derartigen Ausführungen liegt ein großes Gestaltungspotential für den öffentlichen Freiraum, wasserwirtschaftlich und ökologisch sind die Auswirkungen eher gering.

Bei entsprechend ausreichenden Platzverhältnissen können auch möglichst dicke Baumstammteile als **Totholz** längs zur Fließrichtung in der Sohle eingebaut werden. Holzteile im Abflussprofil müssen vor Auftrieb und Verdriftung gesichert werden. Dies kann durch Eingraben, Überschütten oder Verankern erfolgen, Auftriebs- und Verdriftungssicherheit sollten nachgewiesen werden (siehe Anhang 7.5).

Auf der Böschung unterhalb Niedrigwasser können Stahl- oder Tonrohre als Fischunterstände befestigt werden. Bei steiniger Sohle können sie auch vor der Uferwand auf die Sohle gelegt

werden. Die Röhren sollten unterschiedliche Durchmesser aufweisen, um verschieden großen Fischen als Versteck vor größeren Raubfischen dienen zu können (siehe Kap. 5.4.2).

Abb. 61: Überhängende Vegetation (links) und Pflanzkästen (rechts) an der Ucker in Prenzlau

5.3.2 Beispielgewässer Stadtspree

5.3.2.1 Spezielle Problemstellung

Die Spree reduziert sich im Innenstadtbereich auf die Schifffahrtsstraße mit Ufermauern. Es gibt nur in sehr wenigen Abschnitten Spielraum für eine Gewässerentwicklung.

Die folgenden Abbildungen zeigen typische Stadtansichten. Eine Planung ingenieurbiologischer Ufersicherungen ist aus mehreren Gründen schwierig bis ausgeschlossen:

- teilweise mehrere Meter hohe Ufermauern mit oberhalb angrenzender Straßenführung oder Grünanlage
- mehrmals stündlich Aufprall von Schiffswellen auf die Ufermauern
- Fahrrinne nimmt inklusive Sicherheitsabständen überwiegend die gesamte Gewässerbreite ein.

Abb. 62: Spree am Schlesischen Ufer (links) und am Schlosspark Charlottenburg (rechts)

Andererseits ist die Spree innerhalb von Berlin ein wichtiger Wanderkorridor für Organismen, die die oberhalb gelegenen Abschnitte mit deutlich naturnäheren Strukturen (z.B. Müggelspree, Spree bei Fürstenwalde) aufsuchen. Es ist daher bedeutsam, die Spree auch im Innenstadtbereich so zu gestalten, dass zumindest Fische der Referenzzonöse z.B. aus der Havel diesen Abschnitt passieren können und den Mittellauf erreichen.

5.3.2.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes für die Spree im Innenstadtbereich

Hochwasserschutz und Erosionssicherheit stehen in der Innenstadt von Berlin aufgrund der beengten Platzverhältnisse gegenüber ökologischen Aspekten im Vordergrund. Durch die Verbesserung von Gewässerstrukturen darf die Schifffahrt und der Hochwasserabfluss sowie die Standsicherheit der Böschungen nicht eingeschränkt werden. Es ist zu überlegen, ob Anbauten, die auch Vegetationsstrukturen tragen können, auf der Mauer in der Wasserwechselzone oder unter Wasser angebracht werden können und dazu beitragen, die Strukturen und damit die Lebensraumbedingungen signifikant zu verbessern.

Hier sind für jeden Teiluferabschnitt eigene Lösungen zu entwickeln und zu prüfen.

5.3.2.3 Lösungsvorschläge für die Stadtspree

Künstliche schwimmende Schilfinseln

Seit einigen Jahren werden künstliche Inseln mit natürlichem Eigenauftrieb entwickelt. Sie zeichnen sich durch verrottbares Material, gute Schwimmfähigkeit und im Wurzelbereich durch eine Oberflächenvergrößerung aus. Sie sind abgerissenen Vegetationsstücken aus den Verlandungszonen natürlicher Gewässer nachempfunden (siehe auch GÜNTHER 2013). Aktuell werden diese Schilfinseln in einem Feldversuch der Universität Hannover (gefördert von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt - DBU) auf ihre Verträglichkeit gegen Windwellen untersucht.

Diese naturnahen Uferröhrichte könnten in beruhigten Gewässerbuchten, etwa in nicht genutzten Bereichen von Häfen (z.B. Westhafen in Berlin Wedding) zur strukturellen Aufwertung verwendet werden.

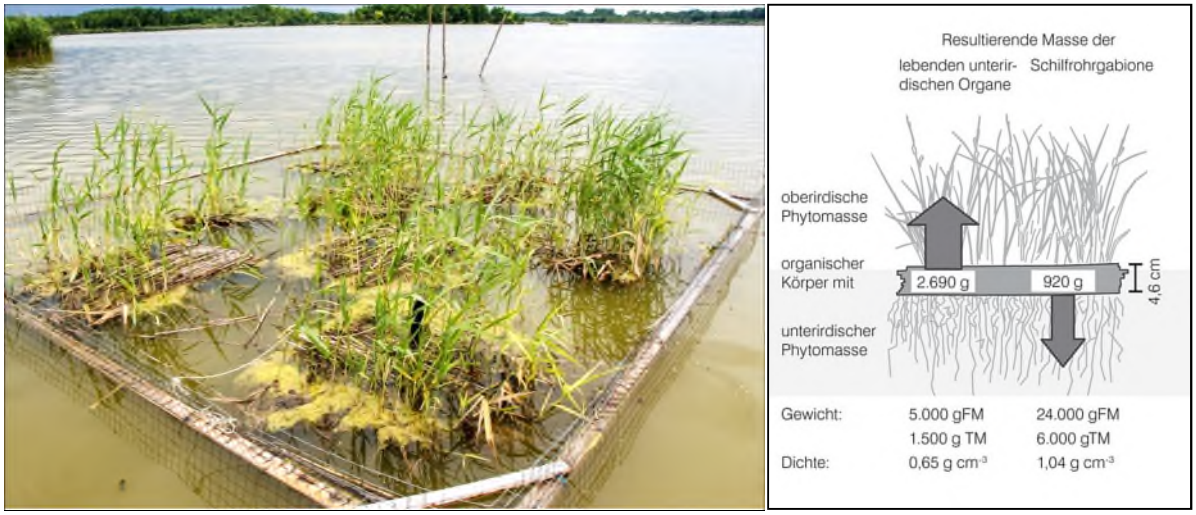


Abb. 63: Erprobungsversuch mit lebenden Inseln auf dem Schollener See (Foto und Abbildung: Henning Günther)

Pflanztaschen in Spundwand

Es ist denkbar, die Taschen in den Spundwänden in Form von Pflanzkörben für platzneutrale Besiedlungsversuche zu verwenden. Soweit bekannt liegen hierzu noch keine Erfahrungen vor. Denkbar ist die Konstruktion von durchlässigen rostfreien Stahlkörben, welche in die Spundwände in Höhe des mittleren Wasserstandes eingebaut werden. Diese z.B. aus wasserdurchlässigem Geotextil bestehenden Pflanztaschen sollten mit hydraulisch bemessenem Grobkies gefüllt werden, welcher auch durch den angreifenden Hub- und Sunk der Schiffe nicht ausgespült wird.

Im Schutz der Stahlkonstruktion können ggf. robuste Arten wie Schilf Halt finden und über ihre Wurzeln ins Wasser Strukturen einbringen. Ggf. können auch Blühpflanzen wie Blutweiderich integriert werden. Durch die fehlenden Erfahrungswerte ist zunächst im geringen Umfang ein Versuch mit verschiedenen Konstruktionsformen und Bepflanzungsvarianten durchzuführen.

Geschützte Flachwasserzonen

An der Spree wurden bereits Flachwasserzonen angelegt. Die Bereiche werden durch Spundwände vor Wellenschlag geschützt, durch eine Unterbrechung der Spundwände wird eine ausreichende Durchströmung gewährleistet um ein Verlanden zu verhindern. Es sollte geprüft werden, ob diese Möglichkeit der ökologischen Aufwertung auch an anderen Abschnitten der Bundeswasserstraße umgesetzt werden kann.

Abb. 64: Öffnungen der Spundwand im Berliner Innenstadtbereich mit üppiger Vegetation (Foto: Eva Hacker)

5.4 Flussseen mit Schiffsverkehr und Freizeitnutzung

Die im Stadtrandbereich von Berlin befindlichen Gewässerabschnitte der Spree und Havel mit Flusscharakter werden hier mit den Flussseen, die ebenfalls eine Erholungs- und Transportfunktion haben, zusammengefasst. Diese Gewässer sind zwar ökologisch sehr verschieden anzusprechen, in Bezug auf die hier betrachteten Aspekte der Ufergestaltung gelten jedoch weitgehend die gleichen Anforderungen.

Der Nutzungsdruck auf die Gewässerufer für Bebauungen und Freizeitnutzung ist groß. An den Ufern führen Wanderwege entlang, traditionelle Wohnbebauung oder Gartengrundstücke reichen bis an die Mittelwasserlinie. Außerdem existieren einige offizielle und nicht offizielle Badestellen.

Der Wasserspiegel ist aufgrund von Schleusenbewirtschaftung weitgehend ausgespiegelt, es besteht kaum hydraulisches Gefälle. Die Belastung der Ufer und Böschungen wird vornehmlich durch den Schiffsverkehr und hier durch Hub und Sunk der Schiffswellen hervorgerufen. Die Gewässer sind jedoch zumeist breiter als in der Innenstadt von Berlin. Außerdem ist der Nutzungsdruck auf die Ufer etwas geringer, so dass zumeist im Vergleich zu Ufermauern ökologisch vorteilhaftere Böschungen ausgebildet werden können.

Als Beispiel für diesen Gewässertyp seien hier die Berliner Flussseen herangezogen (z.B. Dahme- und Havelseen, See-Typ 12) mit einer Verweildauer des Wassers von weniger als 30 Tagen.

5.4.1 Allgemeine Hinweise

5.4.1.1 Referenzzustand See-Typ 12: Flusssee

Die folgende Beschreibung gibt die typische Ausprägung für den See-Typ 12 wieder, wie sie im Referenzzustand oder referenznahen Zustand zu erwarten ist (RIEDMÜLLER ET AL 2013):

Typisch für diese Seen ist, dass das Einzugsgebiet im Verhältnis zum Seevolumen sehr groß ist (Volumenquotient > 1,5 m^{-1}). Hydrologisch kommt es zu stärkeren Wasserstand- bzw. Durchflussschwankungen in Abhängigkeit vom Einzugsgebiet. Die sommerliche Verweildauer wird mit 3 bis 30 Tagen angegeben.

Der typische Flusssee ist geprägt durch seenartige und zum Teil langgestreckte Erweiterungen von Flüssen mit dynamischen Ufern, die durch Überschwemmungen, Erosionsabtrag und Sedimentablagerungen der Zuläufe geprägt sind. Sie sind oft kettenartig miteinander verbunden. Schilfsäume überwiegen in flachen Verlandungszonen am Ufer oder an Inseln. Das Umfeld ist geprägt aus Auenwäldern und Feuchtgebieten aus sandigen und kalkreichen Böden. Die mittlere Tiefe des See-Typs 12 wird mit 0,6 – 6m angegeben, die maximale Tiefe kann aber auch deutlich mehr betragen.

Üblicherweise handelt es sich bei den Seen des Typs 12 um eutrophe Seen, d.h. die Sichttiefen liegen um 1,5 m. Die Seen sind geprägt durch eine gleichmäßige Sauerstoffverteilung in

durchmischten Abschnitten, sowie eine Übersättigung nahe der Seeoberfläche und starke tagesperiodische Sauerstoffschwankungen. Bei den Temperaturen herrschen zumeist keine Temperaturgradienten vor.

Die Fischfauna ist durch das zahlreiche Auftreten an Barsch und Kaulbarsch, Blei, Güster und Plötze charakterisiert. Kennzeichnende Raubfischarten sind Hecht, Zander und große Barsche. Durch die direkte Anbindung an Fließgewässer können rheophile Arten wie Gründling, Stint, Rapfen, Aaland, Hasel oder Döbel häufiger auftreten. Das Arteninventar ist hoch, die Artenhäufigkeiten sind durch Laichwanderungen saisonal variabel.

5.4.1.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes

Im Vorstadtbereich ist zumindest abschnittsweise die Etablierung natürlicher Gewässerstrukturen an den Ufern realistisch. Eine Unterstützung dieser Entwicklung der Ufer kann an einigen Problemstellen durch ingenieurbiologische Bauweisen erfolgen, da die hydraulischen Einwirkungen durch Wellenschlag deutlich geringer sind als auf schmaleren Gewässern und ein Mindestabstand zur Uferzone durch vorbeifahrende Schiffe eingehalten werden kann. Ggf. ist ein Schutz vor Wellenschlag durch unterbrochene Palisaden, Spundwände (s. Kap. 5.3: Geschützte Flachwasserzonen) oder Steinschüttungen vorzusehen. Außerdem ist der Nutzungsdruck deutlich geringer als an den Ufern der Innenstadtspree.

Grundsätzlich sollte auf Ufermauern verzichtet und dafür Uferböschungen aufgebaut werden. Je nach Belastung durch Wellenschlag oder Betreten sind die Böschungen zu gestalten und zu begrünen.

5.4.1.3 Lösungshinweise zur Auswahl von Bauweisen

5.4.1.3.1 Auswahl der Sicherung unterhalb des Mittelwassers

Natürliche Sohlsubstrate im Uferbereich für Seen sind Sand, Totholz, Falllaub und Kies. An Badestellen mit flachen Ufern sollte regelmäßig Kiessand ersetzt werden. Eine Sohlenerosion ist aufgrund fehlender Fließbewegungen nicht zu befürchten. An den Ufern sind hingegen aufgrund von Hub und Sunk aus Schiffsverkehr Sicherungen erforderlich, da die natürliche Ufervegetation zumeist nicht ausreichend widerstandsfähig dagegen ist.

Als Wellenbrecher und zum Abhalten von Booten und Badenden können große, stark beastete Bäume mit Wurzelteller quer oder schräg zur Uferlinie unter der Mittelwasserlinie verlegt werden. Sie bilden gleichzeitig eine Biotopstruktur. In der Nähe von Badezonen und Bootsanlagen muss der Unfallschutz z. B. durch eine deutliche Abgrenzung der Bereiche mit Bojen beachtet werden.

Im Schwall- und Sunkbereich der Schiffswellen ist ggf. auf eine hydraulisch bemessene Steinschüttung mit einer möglichst flachen Neigung zurückzugreifen, ggf. in Anlehnung an BAW-MAR. Hierfür ist der höchste schiffbare Wasserstand plus der Zuschläge für Schwall und Sunk der örtlich zu erwartenden schiffsinduzierten Wellen anzunehmen. Hinweise zur Wellenberechnung sind dem Anhang 7.5 zu entnehmen.

5.4.1.3.2 Auswahl der Ufersicherungen oberhalb MW

Die Ausbildung von natürlichen Uferstrukturen hat Vorrang gegenüber künstlichen Ufersicherungen egal welcher Art. Gemäß MEHNER *et al*., 2005 sowie gemäß einem Vortag von W-C LEWIN, Institut für Binnenfischerei Potsdam Sacrow e.V., sollten z.B. für die Fischfauna eines Sees an mindestens 35 % der Uferlinie natürliche Uferstrukturen und Uferzonierung etabliert werden.

Aufgrund der im Vorstadtbereich fast überall anliegenden Belastung der Ufer aus Schiffsverkehr ist es erforderlich, die bestehenden oder neu zu etablieren Bestände gegen Wellenschlag zu schützen. **Palisadenstrukturen** oder **Lahnungen** eignen sich grundsätzlich zum Schutz der Röhricht- und Gelegezone. Hierzu bestehen bereits umfassenden Erfahrungen im Rahmen des Röhrichtschutzprogramms der Stadt Berlin an den Dahme- und Havelseen (Vortrag von KRAUß 2013 - Stadt-Wald-Fuß: Büro für Landschaftsplanung und Ökologische Gutachten).

Nicht überall ist es möglich, natürliche Uferstrukturen zu etablieren. An Seen und Flüssen mit mäßigem Schiffs- und Bootsverkehr sind ingenieurbiologische Sicherungen ab der Mittelwasserlinie i.d.R. möglich. Bei geeigneter Wasserqualität und mäßiger Wellenbelastung wurzeln Baumweiden und Schwarzerlen sowie zahlreiche Röhrichtarten bis 0,3 m unter MW, Schilf sogar bis 1,0 m. Voraussetzungen sind geeignete Pflanzenstandorte mit ausreichender Belichtung, flachen Böschungen, geringer Schadstoffbelastung, Schutz vor konkurrierender Vegetation, Tierfraß oder Betreten.

Eine schnelle flächenhafte Begrünung der Ufer oberhalb MW ermöglicht das Wieder-andecken der zuvor abgezogenen und gelagerten **Vegetationsschicht**, ggf. ergänzt durch die **Ansaat** ingenieurbiologisch geeigneter **Gräser** und **Röhrichte**. Als vorübergehende Sicherung dient ein **Kokosnetz,** mit **Holzhaken** befestigt.

In den sich entwickelnden Böschungsrasen können in halbschattigen stärker beanspruchten Bereichen Seggen mit **Ballenpflanzungen** angesiedelt werden.

In hydraulisch stärker belasteten Bereichen können **Baumweiden** und **Strauchweide**n verwendet werden. Sie wurzeln innerhalb einiger Jahre bis zum Mittelwasser und auch tiefer. Voraussetzung ist eine gute Belichtung. Sie wachsen dann mehrere Meter über dem Wasserspiegel dem Licht entgegen und wirken so als Fischunterstände. Baumweiden können als **Setzstangen, Steckhölzer** ca. 50 cm oberhalb von MW angesiedelt werden, oder es werden **lebende Stammteile** halb eingegraben. Strauchweiden können als Steckhölzer oder durch Buschlagen angesiedelt werden.

Abb. 65: Regeneration einer Flatter-Ulme am Ostufer der Dahmeseen

In halbschattigen Bereichen übernehmen **Schwarzerlen**, Flatter-Ulme, Frühblühende Traubenkirsche, Wasserschneeball und Faulbaum ähnliche Funktionen. Diese Pflanzenarten sollten als Forstpflanzen mit Herkunftsnachweis mit einer **Lochpflanzung** oder als **Heckenlage** gepflanzt werden.

Abb. 66: Havelufer im Vorstadtbereich (Bild: E. Hacker)

Als vorübergehende Sicherungen können an hydraulisch belasteten Ufern **Reisiglagen** aus Laubholz- oder Nadelholzreisig verwendet werden.

Um das Betreten der ingenieurbiologischen Sicherungen wenig attraktiv zu machen, können in der Weichholzzone Kratzbeeren und oberhalb Brombeeren, Schlehen, Hundsrosen und Weißdorn dicht mehrreihig gepflanzt werden **(Lochpflanzung oder Heckenlage).** Dazwischen sollten aber in ausreichender Länge attraktive Kiessandufer angeboten werden.

5.4.1.3.3 Ökologische Verbesserungen

Totholz kann als möglichst dicke Baumstammteile stehend oder liegend in Ufer, Sohle und Vorland eingebaut werden. Holzteile müssen zum Schutz der Schifffahrt vor Auftrieb und Verdriftung gesichert werden. Dies kann durch Eingraben, Überschütten oder nachweislich standsicheres Verankern erfolgen.

Inseln – Inseln können vor den Seeufern in Form von Steinschüttdämmen mit Kiessandschüttungen vor allem an der der Schifffahrt abgewandten Seite angelegt werden. Hier ist sowohl eine spontane Vegetationsansiedlung als auch eine planmäßige Ansiedlung von Weidengebüschen und Röhricht möglich.

Flachwasserzonen mit Wassertiefen zwischen 0,5 und 1,5 m sollten land- oder wasserseitig angelegt werden. Bei hoher Belastung der Ufer durch den Schiffsverkehr ist ein Schutz (Palisaden. Lahnungen, Spundwände) gegen Wellenschlag erforderlich, der zur Sicherung der Durchströmung abschnittweise zu unterbrechen ist. Eine bestehende Spundwand kann ggf. abschnittsweise als Wellenschutz erhalten bleiben.

5.4.2 Beispielgewässer Flussseen im Vorstadtbereich

5.4.2.1 Spezielle Problemstellung

Im Stadtrandbereich sind die Gewässer im Spree-Havelsystem breiter als im Innenstadtbereich, so dass abzüglich der Fahrrinnenbreite ein Entwicklungspotenzial verbleibt. Auf den Ufern lastet nicht mehr ein so hoher Nutzungsdruck. Sie sind zwar immer noch durch Ufermauern eingefasst, auf diesen liegen abschnittsweise jedoch großzügige Grünanlagen. In einigen Abschnitten treten flache Ufer und eine Röhrichtzone auf.

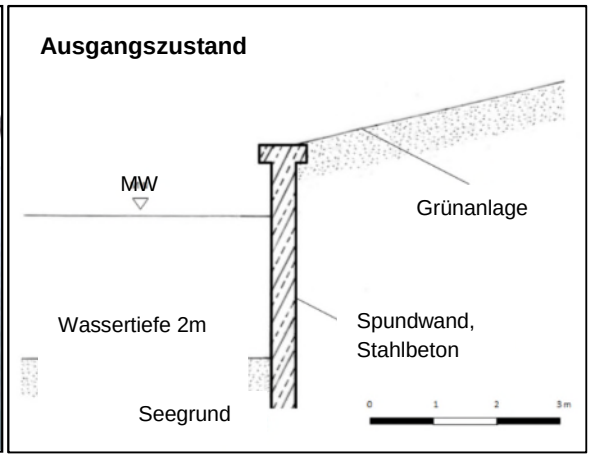


Abb. 67: Dahmesee mit Spundwand aus Stahlbeton und regem Schiffsverkehr

Dieses Potential für eine gewässerökologische Entwicklung kann ggf. genutzt werden, um mit ingenieurbiologischen Bauweisen einige stark befestige Strukturen aufzulockern oder zu ergänzen.

5.4.2.2 Planungsleitbild Flussseen

Die Anforderungen der Wasserstraße zur Gewässerbreite, Gewässertiefe, Zugänglichkeit sind zu berücksichtigen. Allerdings ist auch der Erholungs- und Biotopwert des Gewässers in Betracht zu ziehen. So steigt die Erlebbarkeit der Gewässer deutlich, wenn die Ufer betreten und das Wasser erreicht werden kann. Dies sollte lokal ermöglicht werden.

Andererseits beeinträchtigt eine ungehinderte Zugänglichkeit der Ufer in Erholungszonen die ungestörte Entwicklung von Uferzonen und Biotopstrukturen. Daher sind Maßnahmen in den Planungen zu integrieren, die eine Besucherlenkung zulassen und Uferabschnitte gezielt von der Betretung abschirmen.

An Seen im Stadtrandbereich sind geeignete Pflanzenarten an ungestörten Ufern des Müggelsees bzw. der Dahmeseen vorhanden (nur Weich- und Hartholzaue):

- Gehölze
    - Bruchweide (*Salix fragilis*)
    - Grauweide (*Salix cinera*)
    - Schwarzerle (*Alnus glutinosa*)
    - Flatter-Ulme (*Ulmus laevis*)
    - Winterlinde (*Tillia cordata*)
    - Weißdorn (*Crataegus spec.*)
    - Frühblühende Traubenkirsche (*Prunus padus*)
    - Feldahorn (*Acer campestre*)
    - Gemeiner Liguster (*Ligustrum vulgare*)
    - Europäisches Pfaffenhütchen (*Euonymus europaeus*)
    - Hundsrose (*Rosa spinosa*)
    - Hasel (*Corylus avellana*)

- Krautige Pflanzen
    - Schilf (*Phragmites communis*)
    - Rohrglanzgras (*Phalaris arundinaria*)
    - Schmalblättriger Rohrkolben (*Typha angustifolia*)
    - Flatterbinse (*Juncus effusus*)
    - Großer Wasserschwaden (*Glyceria maxima*)
    - Beinwell (*Symphytum officinale*)
    - Brennnessel (*Urtica dioica*)
    - Sumpf-Schwertlinie (*Iris pseudacorus*)
    - Flussampfer (*Rumex hydrolapathum*)
    - Braunwurz (*Scrophularia nodosa*)

- In Abstufung von Uferlinie (nass) bis Weichholzaue (feucht) sind folgende Seggen vertreten
    - *Carex acutifomis*
    - *Carex paniculata*
    - *Carex elongata* (plus Rasenschmiele)

Abb. 68: Vegetation an natürlichen Ufern der Dahmeseen

5.4.2.3 Lösungen für Beispielgewässer: Dahmeseen im Stadtrandbereich, hier Grünanlage Grünau

Die Betonspundwand (siehe Abb. 67) wird bis ca. 0,5 m unter Mittelwasser abgebrochen und eine flachere Böschung mit Steinschüttung auf einem Mineralfilter hergestellt. Die Höhe des gesicherten Böschungsabschnittes ist abhängig vom höchsten schiffbaren Wasserstand plus dem Schwall- und Sunkbereich der örtlich zu erwartenden Wellen. Flache Böschungen sind trotz Sicherung ökologisch einer Ufermauer vorzuziehen. Ein Abbruch der Mauer nur bis 0,5 m unter Mittelwasser ist ein Kompromiss zu einem Totalrückbau. Hier wird die stützende Wirkung der Mauer noch teilweise erhalten, der Rückbauaufwand ist vergleichsweise gering, Tiere können jedoch auch noch bei Niedrigwasserständen das Wasser verlassen. Bei stärker schwankenden Wasserspiegeln ist ggf. eine Anpassung der Maße erforderlich. Auch im Bereich wurzelnder Bäume ist im Einzelfall zum Erhalt der Bäume ein Teilabbruch vorzuziehen.

Wasserseitig wird eine Steinschüttung entsprechend Bemessung aus Wasserbausteinen mit Hohlraumverfüllung bzw. Kies hergestellt. Die Filterstabilität wird unter Wasser mit einem Mineralfilter hergestellt. Falls die Gefahr besteht, dass dieser im Untergrund versinkt oder zu stark verteilt, kann ein Geotextil verwendet werden. In die Wasserbausteine können Rohrstücke mit unterschiedlichen Durchmessern und Längen als Fischunterstände oder auch Totholz als gewässertypisches Besiedlungssubstrat eingebaut werden.

Über der Spundwand wird die Filterschicht vorzugsweise aus einem Mineralfilter aufgebaut. Darüber wird bis in Höhe des hydraulisch bemessenen Welleneinflussbereiches die Steinschüttung in die Ufer erweitert.

In der Böschung können ab Mittelwasserlinie Röhrichte mit Hilfe von Ballenpflanzung etabliert werden. Diese werden im Wurzelbereich durch die Steinschüttung gesichert. Der Röhrichtballen sollte zumindest den Anschluss an die Filterschicht als besseres Wurzelsubstrat sowie die mittlere Grundwasserhöhe erreichen.

Über der Röhrichtzone können oberhalb der Steinschüttung Dornensträucher z.B. aus Kratzbeeren angepflanzt werden, um die Röhrichtpflanzung vor Trittschäden zu schützen.

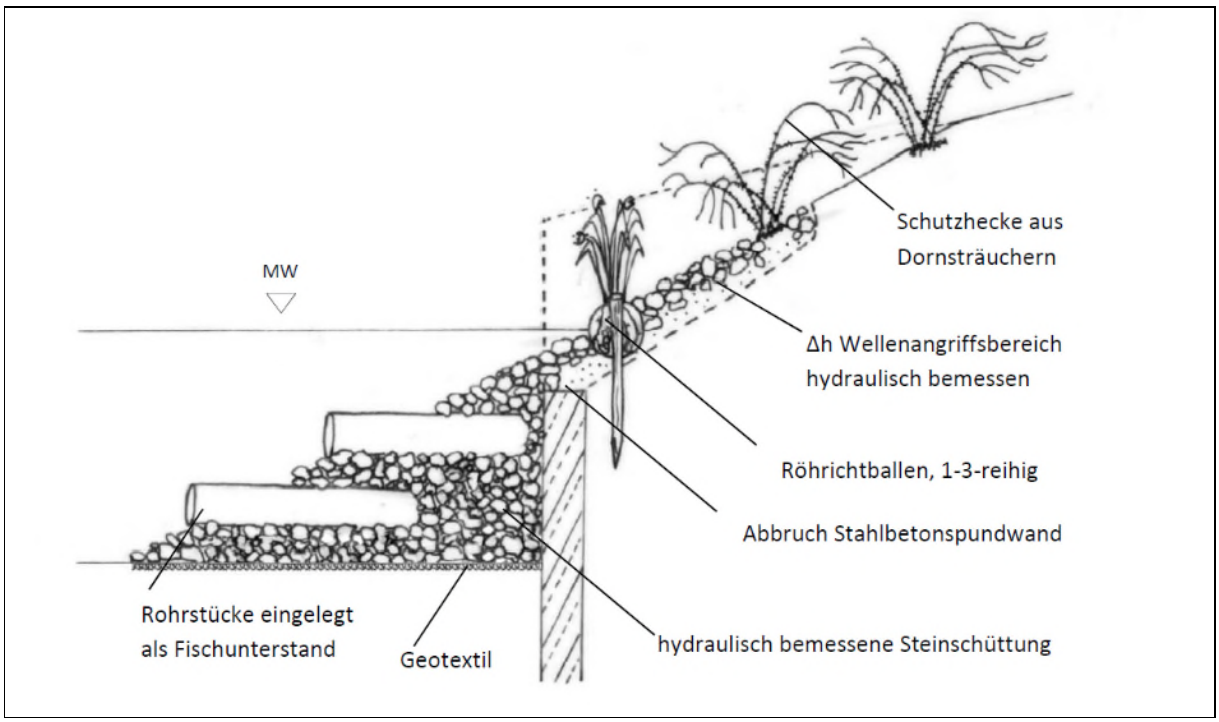


Abb. 69: Auflösen der Uferspundwand durch Steinschüttung, Einbau von Fischunterständen unter Niedrigwasser

Alternativ kann z.B. bei Konflikten mit der Fahrrinne oder größeren Wassertiefen die Steinschüttung unter Wasser auch durch eine vorgesetzte Pfahlreihe eingegrenzt werden. Durch den abgegrenzten Bereich zwischen Spundwand und Pfahlreihe kann ein Mineralfilter in der erforderlichen Stärke leicht eingebaut werden. Darüber wird wie auch im vorangegangenen Beispiel eine Steinschüttung aufgebaut, welche sich bis in den oberen Einflussbereich der Wellen zieht.

Alternativ zur Röhrichtzone können in der Steinschüttung über Mittelwasser auch Steckhölzer zur Entwicklung eines Weidengebüsches eingebracht werden. Je nachdem, ob Baum- oder Strauchweiden verwendet werden, entwickelt sich ein Uferwald oder Ufergebüsch. Das Ufergebüsch bildet tiefhängende Zweige aus, die die Wasseroberfläche erreichen und so als Unterschlupf für Fische und Vögel am Wasser und damit zu einer beruhigten Zone führen können.

Zum Schutz der Anpflanzung empfiehlt sich auch hier die Abgrenzung des Maßnahmenbereiches durch Dornsträucher. Nach Entwicklung der Weiden kann dieser Gürtel ggf. entfernt werden.

Bei der Verwendung von Weiden ist auf eine ausreichende Belichtung des Standortes zu achten. Sollen in einem Halbschattenbereich Bäume oder Sträucher entwickelt werden, wird mit schattenverträglichen Arten wie Schwarzerle, Schneeball und in diesen Fällen mit Ballenpflanzungen gearbeitet. Diese Arten sind als Heister bzw. Strauch gemäß BDB mit Ballen ausreichend weit über dem Mittelwasser und in den gewachsenen Boden außerhalb der Steinschüttung auszubringen.

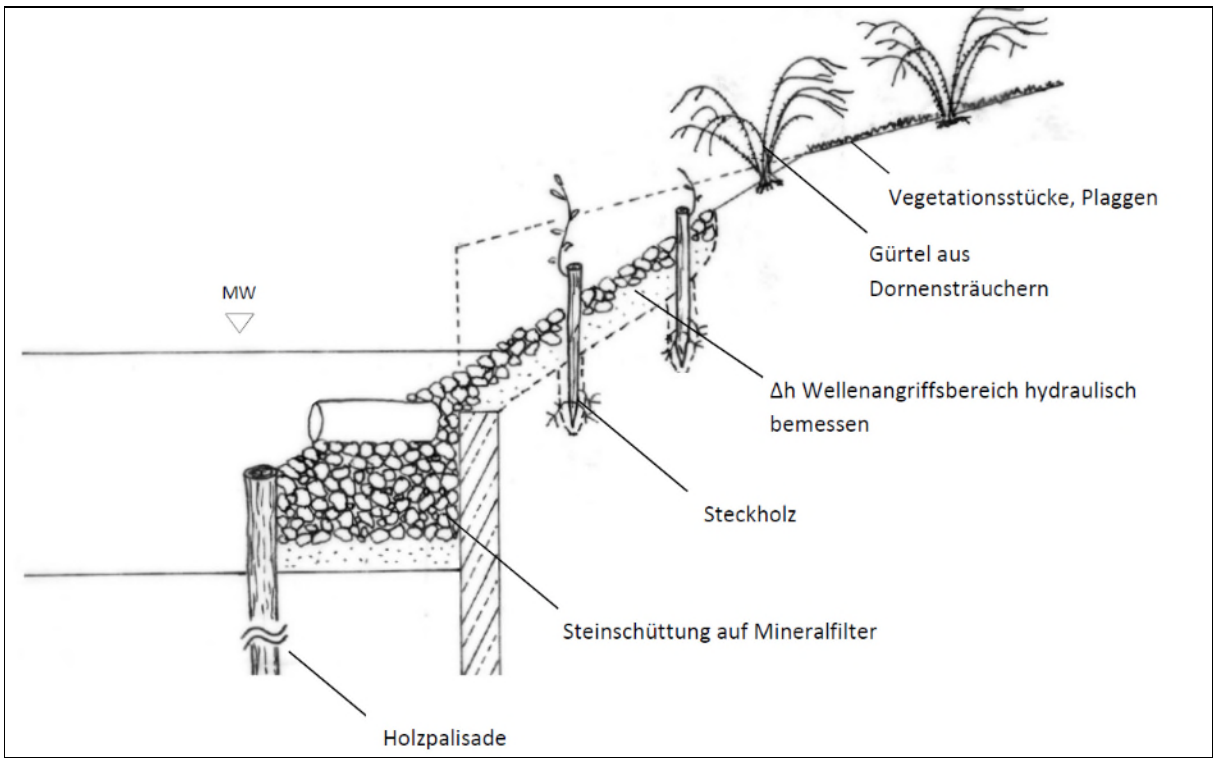


Abb. 70: Begrenzung der Steinschüttung durch Palisaden, Einbau von Steckhölzern

5.4.2.4 Lösungen für Beispielgewässer: Spree im Bereich Plänterwald

Am Plänterwald verläuft die Spree in einem breiteren Bett. Die Ufer werden durch einen ausgedehnten Park begleitet. Jedoch sind die Ufer durch eine Stahlbetonspundwand verbaut und es verläuft ein Rad- und Wanderweg unweit der Uferwand.

Abb. 71: Uferansichten der Spree am Plänterwald

In Bereichen, wo an der Bundeswasserstraße ggf. größere Flachwasserbereiche entstehen können, ohne den Schiffsverkehr zu beeinträchtigen, kann durch Einbringen von Palisaden oder Spundwänden oder bei ausreichend Platz durch Vorschüttung von Steinwällen eine beruhigte Flachwasserzone geschaffen werden. Hierbei sind die vorderen Steinwälle hydraulisch

so zu bemessen und filterstabil aufzuschütten, dass diese durch schiffsinduzierte Wellen nicht abgetragen werden. Es erfolgt ein Abstreuen der Steine mit einem geeigneten Kies, z.B. 0/56.

Die vorgelagerten Steinwälle werden versetzt angeordnet oder weisen Lücken auf, durch das Frischwasser in die Flachwasserbereiche einströmen kann. Die eindringenden Wellen verlieren in den dahinterliegenden Aufweitungen an Kraft. In den Flachwasserbereichen siedeln sich bei ausreichender Wasserqualität Seerosenfelder oder Unterwasservegetation an. Kurze, maximal wenige Meter lange Wallbereiche können verbreitert und bis ca. 0,8 m über das Mittelwasser herausgehoben werden, so dass darauf Weidengebüsche durch **Setzstangen, Steckhölzer, Wurzelstockpflanzungen** oder **Buschlagen** als ökologisch sinnvolle Bepflanzung im urbanen Raum angesiedelt werden können.

Am aktuell durch Spundwände gesicherten Ufer kann ebenfalls eine Vorschüttung aus einem Stein-Kiesgemisch erfolgen, um eine Uferzone vor den Spundwänden aufzubauen. Ein Entfernen oder ein Teilabbruch der Spundwände wäre vorzuziehen, wenn dies im Hinblick auf aktuelle Nutzungen und die erforderliche Standsicherheit der Ufer sowie zu erhaltende Bäume möglich ist. Die Vorschüttung kann in Bereichen mit vorgelagerten Steinwällen geringeren hydraulischen Anforderungen genügen. Hier können sich ggf. weitgehend natürliche Biotopstrukturen und Habitate für die typischen Gewässerorganismen entwickeln.

Die folgende Abbildung zeigt den aktuellen Ausgangszustand sowie einen Planungsvorschlag im Querprofil. Planungsvorschläge sind den örtlichen Bedingungen, d.h. Flächenverfügbarkeit, Wassertiefe, Anforderungen zur Sicherung vorhandener Wege oder Ufervegetation usw. anzupassen.

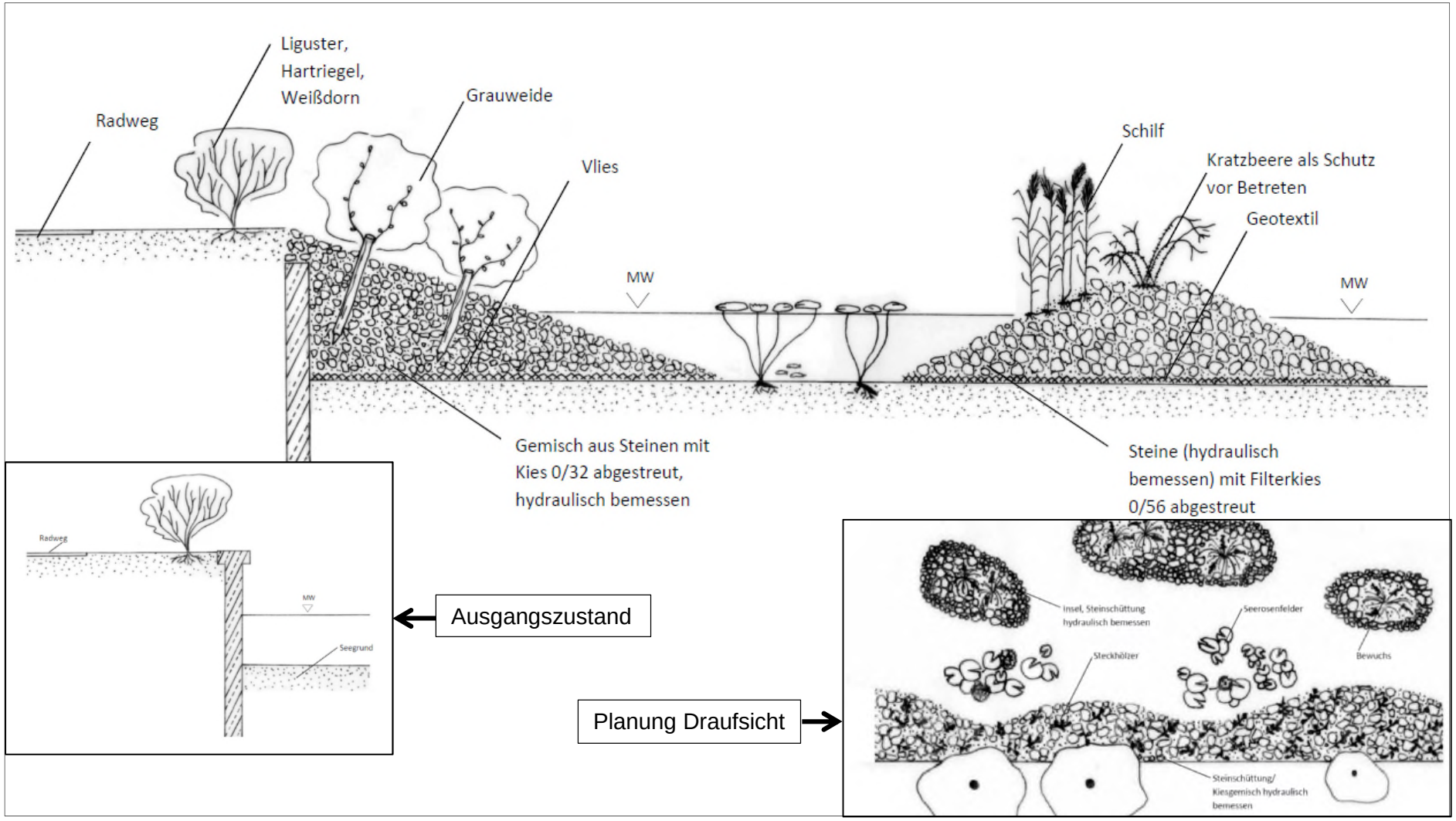


Abb. 72: Querschnitt einer Bespielplanung für einen Bereich mit breiten Flachwasserabschnitten, die nicht als Fahrrinne dienen (Abschnitt Plänterwald), unten: Ausgangszustand, in Anlehnung an BEZIRKSAMT TREPTOW-KÖPENICK 2012

5.5 Natürliche Seen im Berliner Stadtgebiet

Zum Stadtrandbereich von Berlin gehören natürliche Seen wie der Seddiner See oder der Müggelsee. Hier wurden teilweise Naturschutzgebiete ausgewiesen. Es gilt, die Ufer der Seen trotz Nutzungsansprüchen wie Baden oder die Erschließung durch private Bootsstege naturnah zu erhalten.

Als Beispiel für diesen Gewässertyp sei hier der Müggelsee herangezogen. Er gehört zu den Flachwasserseen See-LAWA-Typ 11: Polymiktischer Tieflandsee mit relativ großem Einzugsgebiet.

5.5.1 Allgemeine Hinweise

5.5.1.1 Referenzzustand See-Typ 11: Polymiktischer Tieflandsee mit relativ großem Einzugsgebiet

Die folgende Beschreibung gibt die typische Ausprägung für den See-Typ 11 wieder, wie sie im Referenzzustand oder referenznahen Zustand zu erwarten ist (RIEDMÜLLER ET AL 2013):

Charakteristische Typmerkmale sind, dass das Einzugsgebiet im Verhältnis zum Seevolumen in der Regel mäßig groß bis groß (Volumenquotient > 1,5 m^{-1}) ist. Die sommerliche Wasserverweildauer beträgt mehr als 30 Tage.

Die mittlere Tiefe des Typs 11 wird mit 0,5 – 8m angegeben, die maximale Tiefe kann aber auch bis 26m erreichen. Die Seen weisen aufgrund ihrer geringen mittleren Tiefe keine länger anhaltenden thermischen Schichtungsphasen auf, oder nur solche, die weniger als drei Monate andauern, sie sind deshalb polymiktisch[3]. Üblicherweise handelt es sich bei den Seen des Typs 11 um mesotrophe bis (schwach) eutrophe Seen.

Die Gewässerform entspricht sehr flachen bis flachen, z. T. verlandenden Seen, teils mit mehreren Seebecken hintereinander und buchtenreich. Die Uferzone ist mit Schilf und Gehölzsäumen bestanden, es kommen aber durch Wellenschlag bei Windexposition auch vegetationsfreie Ufer vor.

Benthische und litorale Fischarten kennzeichnen diesen Typ. Einige Arten kommen in allen polymiktischen Seen vor: Barsch und Kaulbarsch, Blei, Güster, Plötze, Rotfeder und Hecht. Dabei dominieren Barsch und Plötze. Mit zunehmendem Nährstoffgehalt des Sees lässt sich eine Verschiebung des Verhältnisses zur Plötze beobachten. Weniger in der Anzahl aber in der Biomasse ist der Blei ebenfalls dominant. Für die funktionelle Gruppe der Raubfische sind große Barsche sowie die Arten Hecht und Zander entscheidend. Das Ufer ist strukturreich und ausgedehnt und bietet Habitat und Laichplatz für Rotfeder und Schleie. Im Freiwasser ist die Ukelei häufig, andere charakteristische Freiwasserarten fehlen weitgehend.

[3]Eigenschaft eines Gewässers, das häufigen (mehr als zwei) Zirkulationen pro Jahr unterliegt.

5.5.1.2 Entwicklung eines Planungsleitbildes

An Seen wie dem Müggelsee sind zumindest abschnittsweise natürliche Gewässerstrukturen vorhanden. Eine Unterstützung dieser Entwicklung der Ufer kann an einigen Problemstellen durch ingenieurbiologische Bauweisen erfolgen, da die hydraulischen Einwirkungen durch Wellenschlag deutlich geringer sind als auf schmaleren Gewässern und ein Mindestabstand zur Uferzone durch Boote eingehalten werden kann. Außerdem ist der Nutzungsdruck deutlich geringer als an den Ufern der Innenstadtspree. Es sollte darauf hingearbeitet werden, dass möglichst großflächig eine stabile Röhrichtzone oder ein Uferwald entwickelt oder erhalten werden kann.

5.5.1.3 Lösungshinweise zur Auswahl von Bauweisen

Es gelten grundsätzlich die gleichen Hinweise wie in 5.4.1.3.

5.5.2 Beispielgewässer Seen im periurbanen Raum

5.5.2.1 Spezielle Problemstellung stadtnahe Seen

Der Müggelsee wird durch die Spree durchflossen. Er liegt stadtnah, ist Teil der Bundeswasserstraße Müggelspree und wird auch für den Freizeitbootsverkehr (Motorboote, Segelboote, muskelbetriebener Wassersport) genutzt.

Der Nutzungsdruck auf die Ufer ist höher als an den Dahmeseen. Es grenzen teilweise Waldflächen an die Ufer. Ein Wanderweg führt vollständig um den südlichen Seeteil. Hier ist auch eine gute Röhrichtzone ausgebildet. Der nördliche Seeteil ist stärker genutzt. Es grenzen Wohnbebauung und Gärten bis direkt an die Ufer an. Außerdem gibt es mehrere Badestellen.

Jedoch sind der Schutz und die Entwicklung des Röhrichtgürtels ein zentrales Problem, da Schiffswellen und Besucherverkehr sowie diverse andere Einflüsse den Röhrichtgürtel und die Gelegezone schädigen. Diese Bereiche werden durch Holzpalisaden geschützt, die als Reihe in Teilabschnitten versetzt zueinander vor dem Röhricht eingebracht wurden.

In ungeschützten Bereichen geht die Röhrichtzone zurück oder löst sich vollständig auf, nachdem vorher die Unterwasservegetation und die Gelegezone zurückgegangen sind

Abb. 73: Beispiel für ein Uferbild am Müggelsee, links: Badestrand Rahnsdorf, rechts: Waldufer

5.5.2.2 Planungsleitbild Seen im Stadtrandbereich

Im Stadtrandbereich können normaler Weise die Ufermauern durch Böschungen ersetzt und ein natürlicheres Ufer aufgebaut werden. Hier sollte in jedem Fall angestrebt werden, gemäß Vorgaben LEWIN 2012 auf mindesten 35 % der Uferstrecke ein natürliches Ufer mit Röhricht- und Gelegezone und / oder Ufergehölzen zu etablieren.

Allerdings ist auch der Erholungswert des Gewässers in Betracht zu ziehen. So steigt die Erlebbarkeit der Gewässer deutlich, wenn die Ufer betreten und das Wasser erreicht werden kann. Dies sollte lokal ermöglicht werden.

Andererseits beeinträchtigt eine ungehinderte Zugänglichkeit der Ufer in Erholungszonen, auch die ungestörte Entwicklung von Uferzonen und Biotopstrukturen. So wurde bei einer Maßnahme 2015 am Müggelsee die Erfahrung gesammelt, dass an Bereichen, die betreten werden können, die Initiierung von Röhrichten nicht möglich ist. Daher sind Maßnahmen in Planungen zu integrieren, die eine gewisse Besucherlenkung zulassen und Uferabschnitte gezielt von der Betretung abschirmen.

An Seen im Stadtrandbereich sind geeignete Pflanzenarten an ungestörten Ufern des Müggelsees bzw. der Dahmeseen vorhanden (nur Weich- und Hartholzaue): siehe Kap. 5.4.2.2

Die Anforderungen der Wasserstraße zur Gewässerbreite, Gewässertiefe, Zugänglichkeit sind zu berücksichtigen.

5.5.2.3 Lösungen für Beispielgewässer: Müggelsee

An Seeufern ist zwischen belichteten und unbelichteten Abschnitten zu unterscheiden. In beschatteten Uferbereichen mit fehlender oder nicht ausreichender Vegetation und Durchwurzelung sowie fehlender Röhrichtzone wird das Ufer durch Wellenschlag angegriffen. Es entstehen Unterspülungen, die Ufer brechen ein, so dass sich die Uferlinie allmählich landeinwärts bewegt. Geplant werden Uferstrukturen, welche den Wellenschlag bremsen, die Entwicklung von Röhrichten fördern und ökologisch günstige Strukturen bilden.

5.5.2.3.1 Beispiel 1: Halbschatten

Ingenieurbiologische Bauweisen brauchen in der Regel ausreichend Licht, um eine gute Besiedlung und Durchwurzelung der Ufer zu erreichen und so einen Uferschutz aufzubauen. Die untenstehende Abbildung zeigt, wie mit einfachen Maßnahmen eine solche Ufersicherung vorgenommen werden kann.

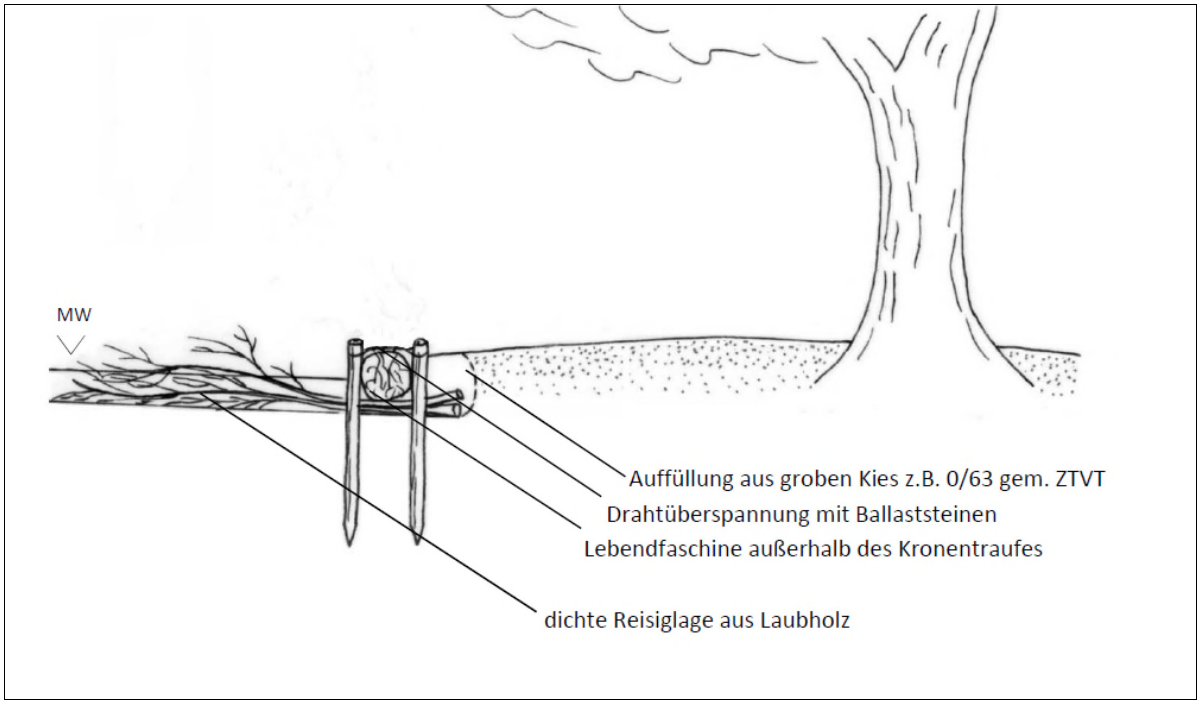


Abb. 74: Ufersicherung am Seeufer mit Reisigpacklage und Faschine sowie ggf. Hinterpflanzung mit halbschattenverträglichen Sträuchern

Außerhalb des Traufbereiches der Bäume wird dem Ufer vorgelagert eine Astlage in das Wasser an den Fuß der Böschung gelegt. Die Schnittstellen zeigen zum Ufer. Die Astlage wird durch eine Lebendfaschine mit Baum- oder Strauchweiden unter Wasser gehalten. Die Faschine wird mit Rundholzpfählen befestigt. Bei Wellenbelastung rütteln sich die Pfähle in relativ kurzer Zeit locker, daher ist diese Befestigung nur dann zu empfehlen, wenn z.B. Pflanzenwurzeln mittelfristig die Verankerung übernehmen. Alternativ sind Kettenverankerungen z.B. mit Ballaststeinen als dauerhafte Sicherung zu empfehlen.

Die Lücke zwischen Ufer und **Faschine** wird mit filterstabilem Kies aufgefüllt, so dass die aufwachsenden Weiden sich nach hinten und nach unten verankern können. Die Faschine selbst sollte zu ca. 1/3 über das reguläre Mittelwasser aufragen.

Diese Ufersicherung ist bei einem Fehlen von verschattender Vegetation auch in allen anderen Uferbereichen, in denen die Ufer nicht höher als 1 m aufragen, möglich.

Höher gelegene Böschungen an Seeufern können oberhalb des mittleren Hochwassers durch Gehölzansiedlungen in Form von **Lochpflanzungen** oder **Heckenlagen** gesichert werden.

5.5.2.3.2 Bespiel 2: Beruhigung und Bepflanzung

Wenn ein Verlust von Uferzonen hingenommen werden kann und die Ufer nicht genutzt werden, kann die Ufersicherung auch durch Beruhigung der Zone und einfache Bepflanzung erfolgen.

Hierfür ist eine Reisiglage aus Nadelholzreisig oder Laubholzreisig auszulegen und mit Kokosnetz oder Drahtüberspannung am Untergrund zu befestigen. In diese Reisiglage sind zum Schutz vor Betreten niedrige Dornensträucher einzupflanzen, die eine dauerhafte Erhaltung der Uferbelichtung ermöglichen.

In der freien Zone zwischen Reisiglage und Wasser kann die Entwicklung einer Röhrichtzone durch Initialpflanzungen mit geeigneten Arten (Schilf, Seggen) erfolgen. Die Bepflanzung erfolgt an Erosionsufern in mehreren Reihen Ein gewisser Abtrag in der Anwuchsphase wird einkalkuliert. Das Abbrechen einzelner Pflanzen wird in Kauf genommen, weil sie teilweise im Wasser weiterwachsen.

In ruhigeren Buchten kann auch Schmalblättriger Rohrkolben angesiedelt werden.

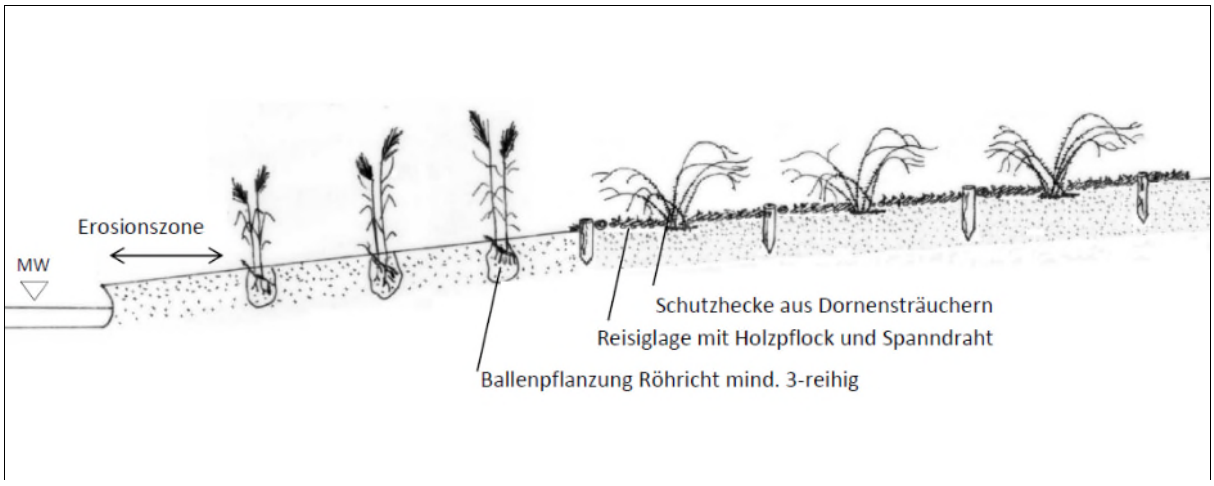


Abb. 75: Möglichkeit einer eigenständigen Uferbesiedlung mit Trittschutz

5.5.2.3.3 Beispiel 3: Intensive Ufersicherung

In Parkanlagen oder auch in der Nähe von Badestränden, wo Uferbereiche gegen Besucherverkehr geschützt, kein weiterer Landverlust hingenommen und eine Röhrichtzone entwickelt werden soll, ist am Ufer möglichst dichte Vegetation anzusiedeln. Hierfür sind die unterspülten Uferpartien zunächst mit Totholzfaschinen unter Mittelwasser als Anfangssicherung festzulegen.

Dahinter erfolgt die Ansiedlung von Röhrichten mit Röhrichtwalze oder auch mit Ballenpflanzung, welche mit Kokosnetz als anfänglicher Bodenschutz vorübergehend gegen Wellenabtrag gesichert werden.

Die Pflanzung ist mit entwickelten Dornensträuchern oder durch einen Zaun gegen Betreten zu schützen. Hierfür kommen Kratzbeere und Brombeere als niedrigwüchsige Arten oder Schlehe und Rosen in Frage

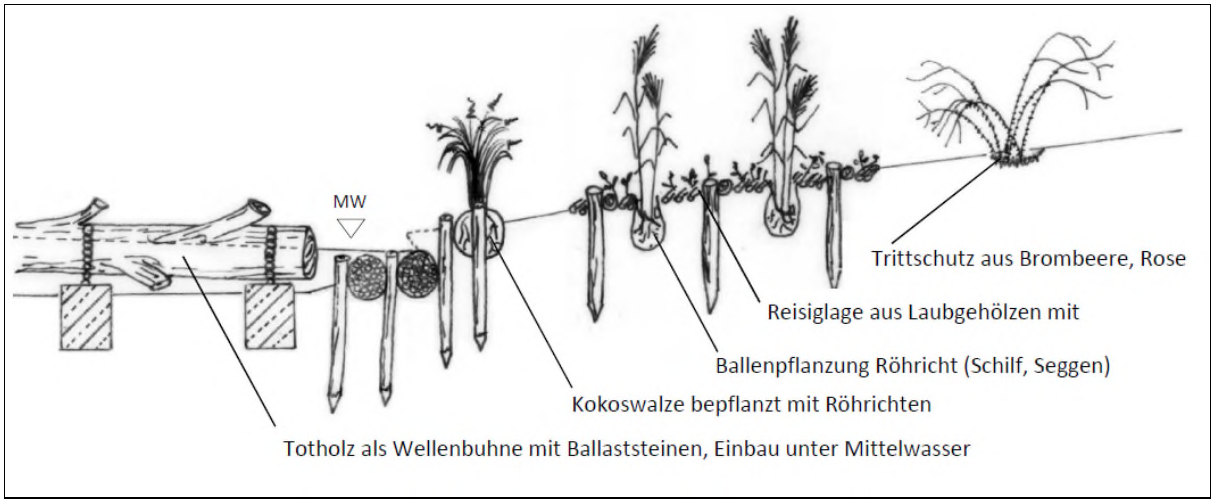


Abb. 76: Ufersicherung mit Faschine und Röhrichtwalzen sowie Totholz als Wellenbrecher

5.5.2.3.4 Zusätzlicher Einbau von Totholz im Wasser

Im Falle von regelmäßigem Eisgang und Wellen oder Nutzungsdruck vom Wasser aus, sollten die Faschinen durch vorgelagerte Totholzstrukturen geschützt werden. Diese Totholzstrukturen tragen gleichzeitig zur ökologischen Aufwertung der Flachwasserbereiche bei, dienen als Habitat und schützen die Ufer vor Betreten bzw. vor Befahren vom Wasser aus.

Das Totholz sollte möglichst dick und astig sein, um mehr Verwirbelungen im Wasser und Unebenheiten in der Sohle hervorzurufen. Wurzelteller sind hierfür besonders gut geeignet.

Als Befestigungsmethoden sind die unter Bauweisen (Kap. 4) beschriebenen Varianten möglich:

1. Befestigung mit Ballaststeinen an Ketten
2. Auftriebs- und verdriftungssicheres Eingraben in die Uferböschung

5.6 Stege und leicht zugängliche Uferpunkte für Freizeitnutzung und Wassersport

Gewässer besitzen eine hohe Attraktivität für uns Menschen, besonders auch Gewässer mit naturnah ausgeprägten Uferzonen. Um diese Gewässer jedoch auch als erlebbares Landschaftselement wahrzunehmen, ist zumindest punktuell eine Gewässerzugänglichkeit erforderlich. Dies trifft besonders auf Nutzungen wie Freizeitbootfahren und Angeln zu.

So ist gem. Berliner Wassergesetz (BWG**)**, in der Fassung der Bekanntmachung vom 17. Juni 2005, § 25, Abs. 1 selbst an nicht schiffbaren Gewässern im Rahmen des Gemeingebrauches eine Befahrung mit durch Muskelkraft angetriebenen Wasserfahrzeugen zulässig.

Dieser Nutzungsanspruch geht meist mit dem Wunsch nach bzw. mit dem Bedarf an entsprechenden Steganlagen einher. Da diese Anlagen und ihre Nutzungen mit baulichen Eingriffen in die ökologisch hochwertigen Uferzonen sowie entsprechenden Störungen der dort lebenden Tiere verbunden sind, bestehen häufig Konflikte mit den Zielen des Naturschutzes und der WRRL.

- Störung der in Röhrichtgürteln lebenden und brütenden Vogelwelt durch Betreten des Steges, sich nähernde Boote;
- Störungen/Beeinträchtigung der Habitate von Fischen und MZB durch An- und Ablegevorgänge verbunden mit Aufwirbelungen des Substrats;
- gehäufter Eintrag von Müll in das Gewässer durch Intensivierung des Freizeitverkehrs;
- Belastung der Ufervegetation, der Röhrichte und Wasserpflanzen durch den unmittelbaren Wellenschlag der Boote;
- Zunahme des Uferverbaus.

Um diese Konflikte zu managen, ist eine abgewogene Verortung und Verteilung solcher Anlagen z.B. in Gewässerentwicklungs- und Unterhaltungsplänen von zentraler Bedeutung. Die Ausweisung von größeren ohne Unterbrechung zusammenhängenden naturnahen Uferzonen mit entsprechenden Schilf- bzw. Röhrichtgürteln ist zur Erreichung bzw. zum Erhalt höherer ökologischer Wertigkeiten unerlässlich (LEWIN 2012). Die Gestaltung der Steganlage selbst kann die oben beschriebenen Eingriffe und Störungen nicht kompensieren. In Abhängigkeit der Frequenz und Intensität der Nutzung können solche Maßnahmen bei der Steggestaltung aber dazu beitragen, dass das direkte Stegumfeld als Lebensraum erhalten wird.

Steganlagen und Ausstiegspunkte für Ruder- und Paddelboote erfordern in jedem Fall auch eine intensive technische Ausführungsplanung. Bei der Planung dieser Bauwerke sind die jeweils geltenden Unfallverhütungsvorschriften (UVV) und technischen Regelwerke zu beachten. Auch eine Prognose der geplanten Verkehrslasten einschließlich darauf aufbauender Tragwerksplanung unter Berücksichtigung der örtlichen Verhältnisse, wie z. B. Baugrund, Wellengang, Schiffsverkehr und weiterer außergewöhnlicher Belastungen sind unbedingt erforderlich.

Als wesentliche Regelwerke wird auf folgende hingewiesen: *„Richtlinie für die Gestaltung von Wassersportanlagen an Binnenwasserstraßen, 2011 (RiGeW), Anlagen zur Überwindung von Fallstufen, Einsetz- und Anlegestellen (Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung)“*.

Die Gestaltung der Bootsstege richtet sich nach ihrer Funktion, nach dem Verkehrsaufkommen und der zu erwartenden Besucherzahl bzw. den damit verbundenen Verkehrslasten. Als Beispiel nachstehend Werte für die Breite und Höhe von Stegen in Abhängigkeit von verschiedenen Bootstypen gem. Tab. 10-1, RiGeW:

1. Stege für Kanus und Ruderboote sollen mindestens 1,5 m breit sein und 10 cm oberhalb des Wasserspiegels liegen.
2. Stege für kleinere Motor- und Segelboote sollen mindestens 1,5 m breit und 50 cm hoch sein.

Ein sehr wesentliches Kriterium bei der Planung von Steganlagen für den Wasser- und Freizeitwassersport ist die Beachtung ggf. schwankender Wasserspiegel. Dies betrifft vor allem natürliche Fließgewässer und Seen, welche im Jahresverlauf hydrologisch bedingt starke Abfluss- und Wasserstandsschwankungen aufweisen können. Auch im Stadtgebiet von Berlin, mit für urbane Räume typischen hohen Versiegelungsanteilen sind bei Regenereignissen bzw. Starkregen Abfluss- und Wasserspiegelschwankungen möglich. Feste Steganlagen können

hierbei periodisch aus dem Wasser ragen oder ggf. überflutet werden. Wenn die Nutzungsfähigkeit unter derartigen Bedingungen trotzdem erhalten bleiben soll, sind Schwimmstege ggf. eine mögliche Alternative. Der bauliche Eingriff in die Uferzonen ist bei Schwimmstegen ggf. sogar höher als bei nicht schwimmenden Anlagen. So benötigen Schwimmstege z.B. über Scharniere gelagerte Zugangsrampen zum Ufer, welche eine entsprechende befestigte Auflage und Verankerung bedürfen. Weiterhin müssen Schwimmstege gegen Abdrift, Wellenschlag und ggf. Eisdruck verankert werden. Alternativ zu winterfest errichteten Anlagen ist auch der Abbau und die auf Land Legung von Schwimmstegen vor dem Winter denkbar, der Aufwand ist jedoch auch erheblich und bedarf entsprechender Anlagen.

Die Tragfähigkeit von Schwimmstegen mit öffentlicher Nutzung soll beispielsweise gem. *RiGeW* mindestens 2,5 kN/m^2 betragen. Weitere besonders auch auf Schwimmstege eingehende technische Regelwerke und Merkblätter sind z.B.: *DIN EN 14504:2009-04* und Merkblatt: *Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Abteilung Wasserstraßen, Schifffahrt, Merkblatt Schwimmende Anlegestellen (2012).* Bei nicht oder unerheblich schwankenden Wasserspiegeln kann auf Schwimmstege verzichtet werden.

Steganlagen müssen grundsätzlich regelmäßig unterhalten, auf ihre Verkehrssicherheit und Bauwerkssicherheit überprüft werden. Dies gilt besonders für öffentlich nutzbare Anlagen (ähnlich Brückenprüfungen).

Um Steganlagen gut in das Landschafts- oder Stadtbild einzupassen, sollte eine entsprechende Gestaltung erfolgen. Im durch Architektur geprägten Stadtraum richtet sich die Gestaltung nach dem Umfeld. Auch hervortretende, akzentuierende Gestaltungen sind denkbar bzw. vorteilhaft.

An naturnahen Uferabschnitten ist eine eher dem natürlichen Charakter des Umfeldes Rechnung tragende unauffällige Gestaltung sinnvoll. Für die Verwendung von Rundholz und Stammholz (ggf. auch mit natürlichen leicht gebogenen Wuchsformen) wird in Abb. 77 ein Ausführungsvorschlag gegeben. Dieser sieht eine dauerhafte, in hohem Maße tragfähige Stahlträgerkonstruktion vor, welche optisch jedoch einem Holzsteg nahekommt. Die wesentlich schneller dem Zerfall unterliegenden Holzteile können leicht ausgetauscht werden, ohne die Standsicherheit des Steges zu beinträchtigen. Die in der Abb. 77 mit Holz verblendete Bordkante bildet auch einen gewissen Anprall- und Scheuerschutz für anlegende Boote.

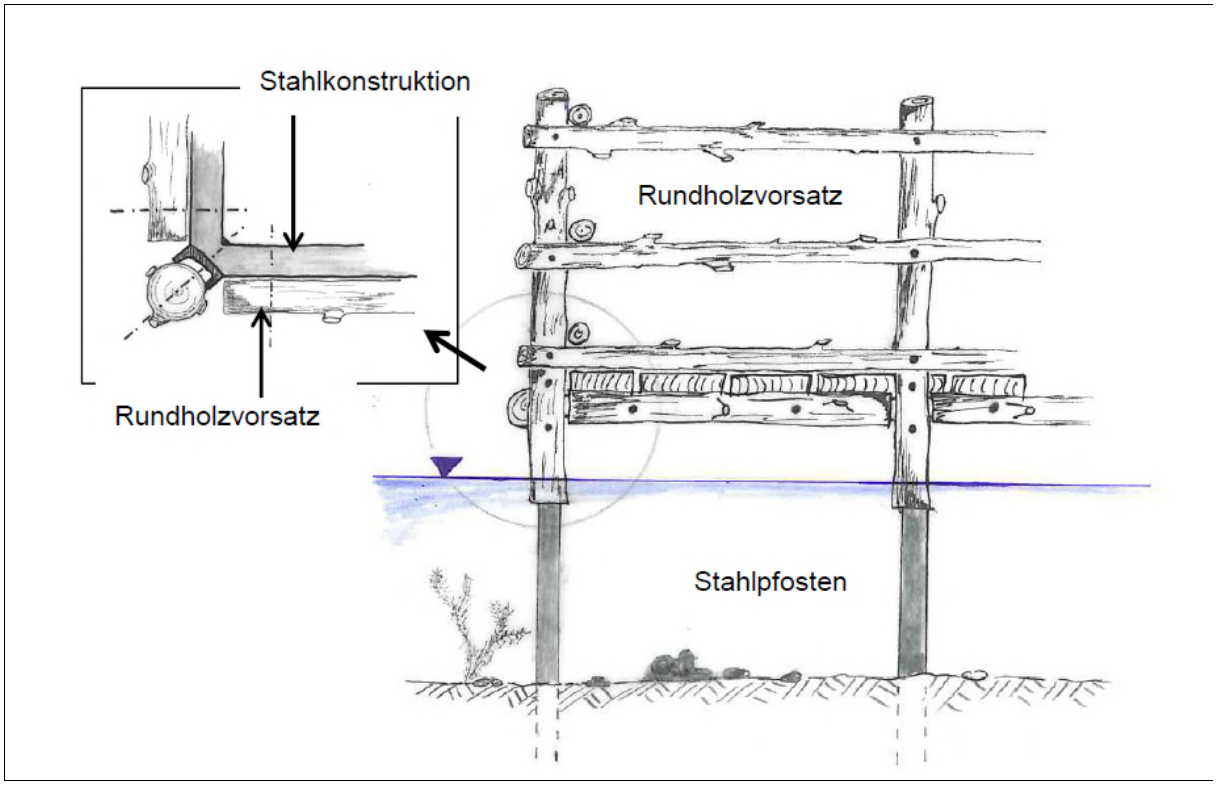


Abb. 77: Steg als Stahlkonstruktion mit Rundholzvorsatz

Eine weitere Überlegung ist die Kombination von Stegen, welche als Aussichtspunkt oder Angelsteg genutzt werden, mit Totholzelementen aus Reisig. Beispielhaft wird dies in Abb. 78 dargestellt. Weitere konstruktive Ausbildungen und Bauwerkskombinationen sind möglich und entsprechend dem konkreten Einzelfall örtlich angepasst zu planen. Der Idee liegt die Beobachtung zugrunde, dass sich vor allem Jungfische häufig unter Stegen aufhalten und als künstlichen Fischunterstand nutzen. Das Reisig sollte nur bis unmittelbar unterhalb des Niedrigwasserspiegels eingebracht werden, da es ständig unter Wasser relativ dauerhaft ist. Das Reisigmaterial bildet ein Lückengefüge welches vermutlich besonders für Jungfische einen attraktiven Habitatbestandteil darstellt. Weiterhin ist Totholz ein wichtiges Strukturelement für die Ansiedelung von Makrozoobenthos und Mollusken. Da bezüglich der Kombination von Steganlagen mit Reisigelementen zur Biotopgestaltung keine Erfahrungen bekannt sind, sollte einer sehr umfassenden Anwendung dieser Bauweise eine Erprobung in begrenztem Umfang vorausgehen.

Die vor allem von Steganlagen ausgehende Störung der in Röhrichtgürteln lebenden und brütenden Vogelwelt wird durch diesen Gestaltungsvorschlag nicht reduziert.

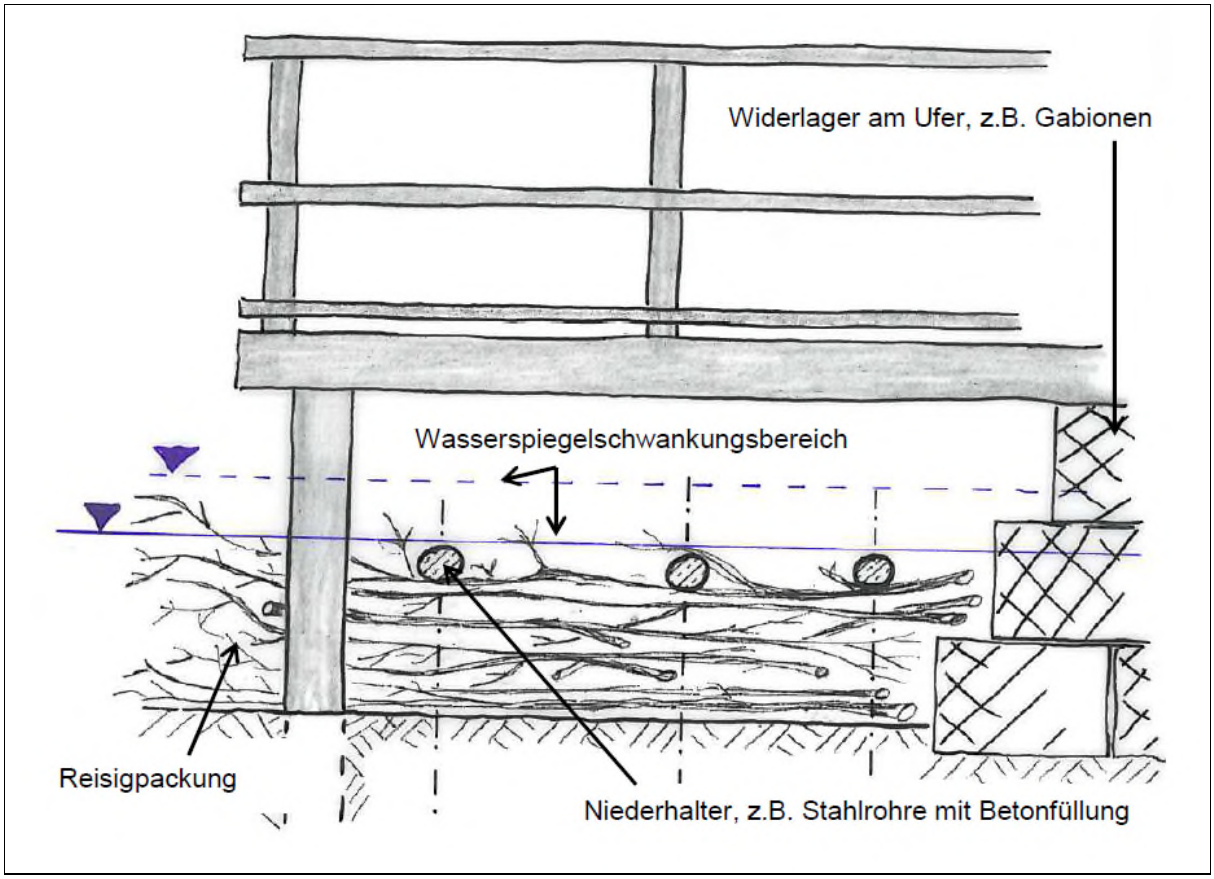


Abb. 78: Steg als Fischunterstand mit Reisigpackung

5.7 Initiieren von Eigendynamik an kleinen und mittleren Flachland-Bächen

Ein Verbau bzw. eine Sicherung von Gewässerufern in der freien Landschaft ist grundsätzlich kritisch zu betrachten, zumal die Rechtsprechung den Anspruch der Anlieger auf einen bestimmten Sicherungszustand in Frage stellt. Auch die landwirtschaftlichen Nutzer können nicht auf die Aufrechterhaltung oder Wiederherstellung des Ausbauzustandes pochen, sondern die Unterhaltung erfolgt im Interesse des Allgemeinwohles und das Gemeinwohl wird unter anderem durch die Wasserrahmenrichtlinie definiert. „Die Pflicht zur Gewässerunterhaltung besteht daher grundsätzlich nicht im Interesse Einzelner. (…) Nur in wenigen Ausnahmefällen wird ein solcher Anspruch bestehen, ebenso wie bei Verstößen gegen die Unterhaltungspflicht Schadensersatzansprüche gegen den Unterhaltungspflichtigen nur ausnahmsweise in Betracht kommen können.“ (zit. Merkblatt DWA-M 610. S 37). Solche Ausnahmen bestehen z.B., wenn hochwertige Nutzungen wie Wohnbebauung oder Industrieanlagen betroffen sind, nicht aber eine landwirtschaftliche oder forstliche Nutzung.

Vor diesem Hintergrund ist die Ingenieurbiologie grundsätzlich zu hinterfragen, wenn sie letztendlich die Beweglichkeit von Gewässern erneut einschränkt, wenn auch auf ökologischere Weise als durch klassischen Uferverbau. Jedoch können Bauweisen der Ingenieurbiologie gut für die Initiierung von Eigendynamik in einem Gewässer genutzt werden. Hierfür sei u.a. auf den Praxisleitfaden „Ingenieurbiologische Bauweisen für die eigendynamische Gewässerentwicklung“ der Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie verwiesen, wo eine Vielzahl geeigneter Bauweisen vorgestellt wird.

Für den Naturraum der Niederungen und des Flachlandes sollten die ingenieurbiologischen Bauweisen angepasst werden. Im Folgenden sollen Beispiele genannt werden, wie die klassischen ingenieurbiologischen Bauweisen zur Initiierung oder Ermöglichung der Eigendynamik eingesetzt werden können.

5.7.1 Allgemeine Hinweise

Begradigte Gewässer im Flachland verfügen beim Fehlen von Strömungshindernissen wie umgestürzte Bäume nur über ein geringes Maß an Eigendynamik. Durch Begradigungen und regelmäßige Mahd und Unterhaltung sind die Gewässer auf lange Sicht stabil. Rasenböschungen reichen in der Regel aus, um bei einem Gefälle von maximal 1 Promille oder deutlich weniger eine ausreichende Stabilisierung der Ufer zu erreichen.

Im Flachland sind die wichtigsten Substrate am und im Gewässer Holz, Sand und in geringen Anteilen Kies. Körnungen von 8/32er Kies bleiben in der Regel bereits liegen und legen die Sohle fest. In vielen Gewässern dominieren organische Substrate auf der Sohle (Torf, Detritus), hier sind Wasserpflanzen und Holz die eigentlichen Siedlungshabitate.

Ein Aufreißen der Gewässerböschungen oder ein Abschälen der Grasnarbe reicht in den meisten Fällen nicht aus, um z.B. Prallufer für eigendynamische Entwicklungen zu initiieren. Die Wiederbesiedlung solcher nackten Ufer erfolgt eigenständig über Schilfrhizome oder Samenanflug und schon nach kürzester Zeit ist das Ufer wieder grün. Die Gewässer sind in der Regel durch Ausbau und Unterhaltung so breit und gleichförmig, dass auch bei größeren Abflüssen kaum ausreichend Schleppspannungen erzielt werden, um sandige und erst recht nicht durchwurzelte Bodenschichten zu bewegen.

Erst die deutliche Einengung der Gewässer bis zu einem Grad, an dem sich in der Engstelle lokal höhere Fließgeschwindigkeiten ausbilden, führen ggf. zu Kolkbildungen und Uferanbrüchen. In der freien Landschaft wird dieser Effekt z.B. durch Uferbäume im Verlauf mehrerer Jahrzehnte oder durch Gewässerverlegungen z.B. durch umgestürzte Bäume oder Biberdämme erzielt.

Abb. 79: Erlen am Ressener Mühlenfließ: An dem in den 70er Jahren begradigten Gewässer haben sich Erlen an der Mittelwasserlinie angesiedelt, die mit zunehmendem Dickenwachstum eine allmähliche Verlegung des Stromstriches auf das gegenüberliegende Ufer herbeiführen und das Gewässer dadurch allmählich umgestalten.

Dieser Prozess kann mit ingenieurbiologischen Maßnahmen stark beschleunigt und gesteuert werden, z.B. indem mit örtlich vorkommenden Baustoffen (Holz, Kies, Kokosnetz) Hindernisse im Gewässer eingebaut werden, die die Strömung lenken und bündeln.

Bei der Wahl der Bauweise sind wie auch bei allen anderen baulichen Eingriffen in ein Gewässer folgende Parameter zu beachten:

- potentielle hydraulische Belastungen, d.h. die Maßnahmen müssen ausreichend dauerhaft sein, um als feste Hindernisse die Strömung so zu beeinflussen, dass das Gewässer sich eigenständig aus seinem begradigten Verlauf hinaus entwickeln kann.
- Auftrieb und Verdriftung, d.h. die Bauweisen und Baumaterialien sollen sich nicht eigenständig lösen, um dann ggf. ihre Funktion zu verlieren oder durch Verdriftung Schäden an unterhalb liegenden Gewässerabschnitten zu verursachen;
- Baugrund; d.h. das anstehende Bodenmaterial (Sand, Torf, Lehm) ist anzusprechen und die Verankerung der Bauweisen im Ufer oder an der Sohle des Gewässers ist entsprechend der einschlägigen Regeln zur Gründung zu bemessen.

Es wird hier davon ausgegangen, dass Aspekte wie Hochwassersicherheit oder Erosionsstabilität aufgrund ausreichender Flächenverfügbarkeit nicht berücksichtigt werden müssen. Ist dies nicht der Fall, sind Mittel zur Begrenzung der Eigendynamik in das Projekt mit aufzunehmen und nachzuweisen.

Innerhalb des Landes Berlin wäre eine freie Entwicklung von Gewässerabschnitten zum Beispiel am Tegeler Fließ oberhalb des Hermsdorfer Sees möglich. Hier sind natürliche Gewässerstrukturen ausgeprägt, die dem in Kap. 4.2 für ein organisches Gewässer beschriebenen Referenzzustand sehr nahekommen. Die Wiederherstellung solcher Strukturen kann durch entsprechende ingenieurbiologische Bauweisen beschleunigt werden, wenn auf umfangreiche bauliche Eingriffe in das Gewässer verzichtet werden soll.

Abb. 80: Referenzstrecke am Tegeler Fließ (Bild: Senatsverwaltung für Umwelt, Verkehr und Klimaschutz)

5.7.2 Beispielmaßnahmen

Es werden realistische Mittel zur Initiierung der Eigendynamik dargestellt werden, die insbesondere im Flachland erprobt und anwendbar sind.

Wie auch bei den Sicherungsmethoden ist die Kombinationsvielfalt für Mittel zur Beschleunigung der Eigendynamik im Detail sehr groß, können jedoch auf wenigen Wirkprinzipien reduziert werden. Diese sind:

- dauerhafte Ablenkung der Hauptströmung auf ein Ufer oder auf die Sohle
- Schutz des Bauwerkes vor direktem Strömungsangriff
- Herstellung der Dauerhaftigkeit durch Entwicklung von ausdauernden Pflanzenbeständen aus oder auf der Anlage.

So verfügten die Gewässer früher über ein kleineres reguläres Abflussprofil mit einer größeren Variation von Fließgeschwindigkeiten und damit auch mit lokal höheren Spitzenfließgeschwindigkeiten an Sohle und Ufern. In begradigten Profilen bilden sich hingegen eher laminare Strömungsverhältnisse aus, in denen die höchsten Fließgeschwindigkeiten in der Gewässermitte und die niedrigsten an Sohle und Ufern zu verzeichnen sind. Damit ist das Entwicklungspotential solcher Gewässer stark eingeschränkt oder zumindest gebremst.

Mittel zur Initiierung und Verbesserung der Eigendynamik sind also alle Maßnahmen, die geeignet sind, den Stromstrich stark genug abzulenken, dass dieser auf das gegenüberliegende Ufer oder auch die Sohle trifft.

Im Folgenden sollen mehrere Möglichkeiten zur Ablenkung des Stromstriches aufgezeigt werden, die für torfige bis sandige Böden geeignet erscheinen.

5.7.2.1 Packwerksbuhnen

Zur effektiven Einengung des Stromstriches, d.h. zur Erhöhung der Strömungsdiversität, eignen sich Buhnen aus Packwerken. Die Buhnen führen punktuell zur Erhöhung der Fließgeschwindigkeit, so dass sich ein Stromstrich herausbilden kann, der sich selbst von Bewuchs und von Schlamm freihält.

Es werden 3-5 m lange Kiefern- oder Robinienpfähle mit ca. 20 cm Durchmesser in Buhnenform rasterförmig in den Untergrund eingedrückt, sodass sie bis zur geplanten Zielhöhe aufragen. Sie sollten mindestens 2 m und zu $^2/_3$ im Untergrund verankert sein. Dadurch wird durch Haftreibung der Auftrieb kompensiert. Zwischen den Pfählen werden Faschinenpackungen (Totholzfaschinen) lagenweise eingebaut. Nach jeder Lage wird in die Zwischenräume der bei den Uferabflachungen gewonnene Erdstoff oder Kies in einer Schichtstärke von 10 cm eingebaut.

Die Pfähle sollten über der obersten Faschinenpackung mit Querhölzern verbunden werden. Dies erhöht den Verbund des Bauwerkes, so dass es ausreichend stabil ist, auch wenn z.B. die äußerste Reihe Pfähle durch Tiefenerosion erodiert wird. Über der letzten Faschinenpackung wird Erdstoff oder Kies als Auflast aufgetragen und möglichst mit Plaggen zur schnellen Bewurzelung abgedeckt.

Abb. 81: Beispiel für die Entstehung einer Packwerksbuhne aus Faschinen

Die Form der Buhnen ist variabel. Wichtig ist jedoch, dass ein ausreichend großer Bereich des Gewässers verbaut wird, um den Stromstrich möglichst stark abzulenken. So können bei einer Einengung des Gewässerbettes um $^{2}/_{3}$ deutlich stärkere Effekte erzielt werden, als bei einer Einengung um $^{1}/_{3}$. Ein Maß für die richtige Buhnenbreite liefern hydraulische 2D-Modellierungen oder Flurkarten mit den alten Gewässerflurstücken. Bei einer eher trapezförmigen Ausgestaltung ist die Ablenkung des Stromstrichs weicher als bei einer rechtwinkligen.

Auf den Packwerken können Weidensetzstangen gepflanzt werden, die die Langlebigkeit der Bauwerke erhöhen. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Enden der Setzstangen den Niedrigwasserbereich erreichen. Auch die Faschinen der Buhne können aus austriebsfähigen Weidenästen hergestellt sein, so dass deren Austrieb die Wirkung der Packwerke noch erhöht.

Erfahrungen aus Brandenburg zeigen, dass bei Ausbreitung des Bibers im Renaturierungsabschnitt die Entwicklungsfähigkeit der Weiden eingeschränkt wird, es sei denn, es gelingt ein aktiver Schutz der Anlagen.

5.7.2.2 Einbau von Totholz

Der Einbau von Raubäumen ist ein beliebtes Mittel der Ingenieurbiologie zur Anfangssicherung eines Kolkes oder zur Förderung von Anlandungen im strömungsberuhigten Einflussbereich der Einbauten. Totholz ist außerdem das wichtigste Besiedlungshabitat für sandgeprägte und organische Gewässer. Da es durch die Gewässerunterhaltung regelmäßig aus dem Gewässer entnommen wird und größere Bäume, die Holz ins Gewässer eintragen könnten, oft nicht vorhanden sind, müssen solche Strukturen künstlich in die Gewässer eingebracht werden.

Dabei ist es wichtig, dass das Holz so verankert wird, dass es nicht aufgetrieben und durch die fließende Welle nicht verdriftet werden kann. Totholz im Gewässer sollte möglichst dickstämmig sein, sodass es lange im Gewässer verbleibt und nicht verfault. Daher werden möglichst große Teile dauerhaft untergetaucht eingebaut. Außerdem sollte das eingebrachte Holz Verzweigungen (Krone oder Wurzeln) aufweisen, um eine möglichst vielfältige Struktur und Differenzierung der Strömung zu verursachen.

Das Totholz wird quer in das Gewässer eingebracht. Dazu wird der Baumstamm mit dem dicken oder längeren Ende in das angrenzende Ufer zu ca. $^1/_2$ bis $^2/_3$ eingegraben. Dies verhindert den Auf- und Abtrieb. Je weiter das Holz in das Gewässer reicht, umso stärker ist seine Wirkung. Zumeist treten jedoch aufgrund des durchströmbaren Charakters eher kleinere sohlbildende Verwirbelungen auf, die dennoch für die Gewässerentwicklung sehr wertvoll sind. Nur bei Krautentwicklung im Sommer können durch den Aufstau am eingebrachten Holz massivere Störungen des Stromstrichs mit größeren Wirkungen auf Gewässersohle und Ufer entstehen.

Zumeist reicht ein Verankern von $^2/_3$ des Stammes im Ufer zur Sicherung gegen Auftrieb und Verdriftung aus. Ergänzend können z.B. Ankersteine verwendet werden, um das Holz an Ort und Stelle des Gewässers zu halten. Wenn ein frischer Weidenstamm eingegraben wird, entwickelt sich u.U. ein Weidenbusch aus dem Stamm der die Gewässerstrukturen und deren Wirkung auf die Eigendynamik noch einmal deutlich intensiviert.

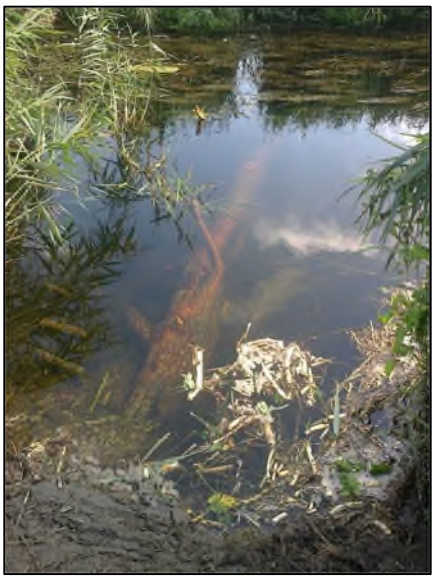


Abb. 82: Totholzelemente als Totholzbuhne und Totholzinsel in der Schnellen Havel

5.7.2.3 Einbau von Wurzelstöcken

Wurzelstöcke besitzen dicht verzweigte Wurzeln mit einem verdickten Stammende. Sie sind daher besonders gut für die Gewässerentwicklung anwendbar, da sie langsamer verrotten, dichter sind als Raubäume und dennoch durchlässiger z.B. als die oben beschriebenen Buhnenformen. Auch sie geraten im Wasser unter Auftrieb und müssen daher am Gewässergrund oder am Ufer verankert werden.

Die kann ebenso wie beim Totholz durch Eingraben des Stammstückes im Ufer erfolgen. In kiesigen Gewässern der Endmoräne kommt ggf. auch das Verankern in einer Steinschüttung in Frage, bei sandigen oder organischen Bächen jedoch eher nicht. Denkbar wäre auch das Befestigen mit Hilfe von Pfählen oder Ketten

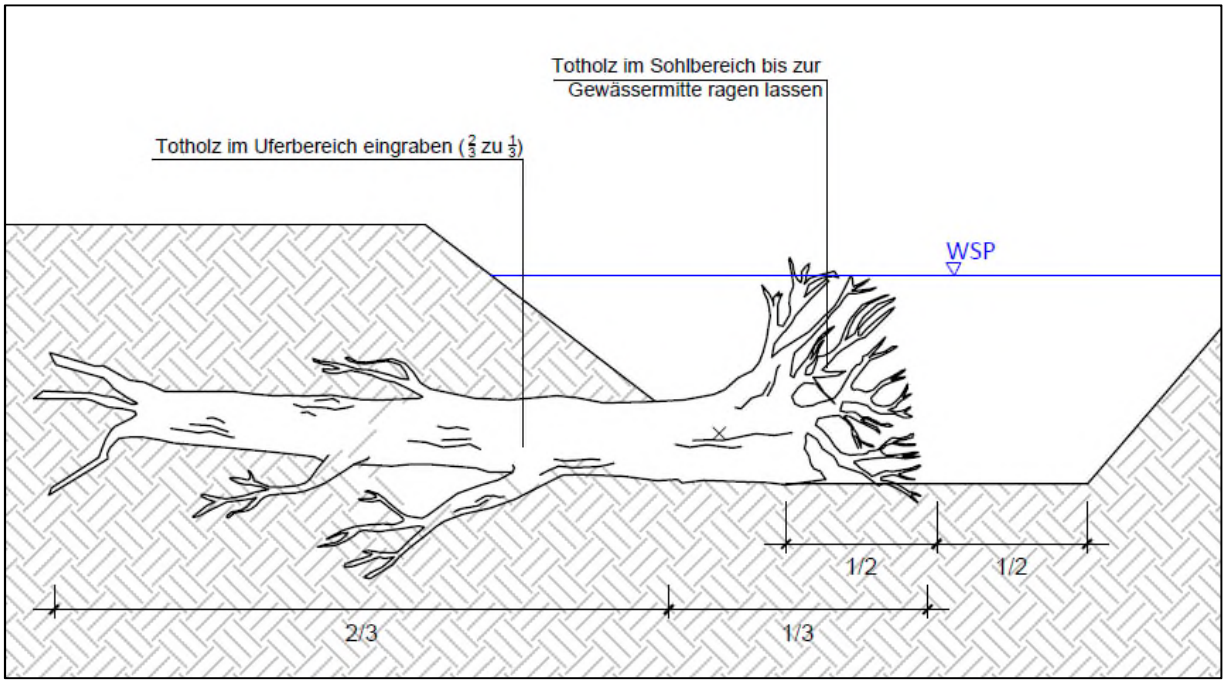


Abb. 83: Totholzeinbau mit eingegrabenem Wurzelballen

5.7.2.4 Bau von Lahnungen

Ähnlich wie die oben beschriebenen Packwerksbuhnen können Lahnungen zur Ablenkung des Stromstriches genutzt werden. Hierfür werden zwei Pfahlreihen in den Untergrund eines Gewässers eingetrieben und die Zwischenräume z.B. mit Faschinen gefüllt. Diese Bauweise besitzt eine kürzere Haltbarkeit als die Packwerksbuhnen.

5.7.2.5 Steckhölzer

Sollen möglichst keine Mittel für einen Gewässerausbau ausgegeben werden, so können Steckhölzer oder Setzstangen einseitig an der Uferlinie oder kurz über Mittelwasser geeignet sein im Zuge der Gewässerunterhaltung eine Eigendynamik zu initiieren. Es wird davon ausgegangen, dass die Weiden durch ihre schnelle Entwicklung auch eine Einengung und Ablenkung des Stromstriches und somit mittelfristig eine Entwicklung des Gewässers bewirken.

Einen ähnlichen Effekt besitzen an der Mittelwasserlinie von kleinen Gewässern gepflanzte Erlen, welche sich innerhalb einiger Jahre zu einer Behinderung des Stromstriches entwickeln. Es muss darauf geachtet werden, dass die Pflanzung immer nur einseitig erfolgt, sonst wird das Ufer auf beiden Seiten durch die Maßnahme eher festgelegt. Dann kommt es zwar immer noch zu einer Anhebung des Wasserspiegels durch Hindernisse im Stromstrich, jedoch deutlich langsamer zu einer Verlagerung des Profils. Dies zeigt deutlich die untenstehende Abbildung.

Abb. 84: Beidseitig gepflanzte Erlen noch ohne Wirkungen auf die Gewässerentwicklung (Stiern-graben, Brandenburg)

Durch eine Pflanzung braucht das Gewässer jedoch einen verhältnismäßig langen Zeitraum für eine eigendynamische Entwicklung. Der Schutz der Pflanzung vor Wildtieren wie Rehen, Biber, Bisam und Nutria ist zu gewährleisten.

6 Literaturverzeichnis

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (BAW 2018): Buhnen - Regelungselemente an Bundeswasserstraßen. http://wiki.baw.de/de/index.php/Buhnen_-_Regelungselemen-te_an_Bundeswasserstra%C3%9Fen

BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU (BAW 208): Anwendung von Regelbauweisen für Böschungs- und Sohlen-sicherungen an Binnenwasserstraßen (MAR)

BERLINER WASSERGESETZ in der Fassung der Bekanntmachung vom 02. März 2012 (GVBl.I/12) geändert durch Artikel 12 des Gesetzes vom 10. Juli 2014 (GVBl.I/14)

BEZIRKSAMT BERLIN TREPTOW-KÖPENICK (2012): Renaturierung Spreeufer. Planer: Planungsgesellschaft für Wasserbau und Wasserwirtschaft mbH

BOSTELMANN, R.; NADOLNY, I. (2005): Rückentwicklung eines tiefenerodierten Bergbaches. Gewässerinfo Nr. 32. S 273-277

BUNDESUMWELTAMT (2014): Hydromorphologische Steckbriefe der deutschen Fließgewässertypen, Anhang 1 von „Strategien zur Optimierung von Fließgewässer-Renaturierungsmaßnahmen und ihrer Erfolgskontrolle“

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1973): DIN 19657 Sicherungen von Gewässern, Deichen und Küstendünen; Richtlinien

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG (1993): DIN 4047 Landwirtschaftlicher Wasserbau

DEUTSCHER WETTERDIENST (2010): Kostra-DWD-2010

DIN 19661: Wasserbauwerke; Teil 1: Kreuzungsbauwerke, Durchleitungs- und Mündungsbauwerke, Teil 2 Sohlenbauwerke

DEUTSCHEN VERBAND FÜR WASSERWIRTSCHAFT UND KULTURBAU e. V. (DVWK). Merkblatt 247: Bisam, Biber, Nutria – Erkennungsmerkmale und Lebensweisen, Gestaltung und Sicherung gefährdeter Ufer, Deiche und Dämme (1997)

DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M 552: Ermittlung von Hochwasserwahrscheinlichkeiten. August 2012

DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M519: Technisch-biologische Ufersicherungen an großen und schiffbaren Binnengewässern (März 2016)

DWA-Regelwerk: Merkblatt 608: Bisam, Biber, Nutria - Teil 1: Erkennungsmerkmale und Lebensweisen (2017)

DWA-Regelwerk: Merkblatt DWA-M620: Ingenieurbiologische Bauweisen an Fließgewässern – Teil 1: Grundlagen und Bauweisenauswahl - Entwurf (Februar 2019)

FLORINETH, F. (2004): Pflanzen statt Beton – Handbuch zur Ingenieurbiologie und Vegetationstechnik, Patzer Verlag, Berlin-Hannover

FORSCHUNGSGESELLSCHAFT FÜR LANDSCHAFTSENTWICKLUNG LANDSCHAFTSBAU E.V. (FLL) (2014): Empfehlungen für Begrünungen mit gebietsheimischem Saatgut. Regiosaatgut, Naturraumtreues Saatgut

GEITZ, P. 2000: Naturnaher Wasserbau, 3. Aufl., Ausbildungsförderwerk Garten-, Landschafts- und Sportplatzbau e.V. – AuGaLa (S 102)

GESETZ über Naturschutz und Landschaftspflege (Bundesnaturschutzgesetz - BNatSchG) vom 29. Juli 2009 (BGBl. I Nr. 51 vom 06.08.2009 S. 2542)

GESETZ ZUR ORDNUNG DES WASSERHAUSHALTS (Wasserhaushaltsgesetzt – WHG Ausfertigungsdatum 31.07.2009

GÜNTHER, H. (2013): Schwimmende Inseln. Selbstschwimmende Pflanzengesellschaften für urbane Gewässer. Dissertation. Technische Universität Berlin. 97 S

HACKER, E., JOHANNSEN, R. (2012): Ingenieurbiologie, Eugen Ulmer KG, Stuttgart

JOHANNSEN, R.; SPUNDFLASCH, F. (2000): Entwurfsplanung Renaturierung Föritz. Im Auftrag des Flurneuordnungsamtes Meinigen, Thüringen.

JOHANNSEN, R., SPUNDFLASCH, F. UND KOVALEV, N. (2001): Vorschlag für Belastungsprüfungen von Pfählen bei ingenieurbiologischen Bauweisen. Mitteilungen der Gesellschaft für Ingenieurbiologie e.V., Aachen, Heft 17, 04/01, S. 2 – 7

JOHANNSEN, R.; SPUNDFLASCH, F. (2015): Langzeitbeobachtungen der renaturierten Föritz im Landkreis Sonneberg. Im Auftrag des Freistaates Thüringen. Abschlussbericht

KRAUß, M.; LÜHRTE, A. (2013): Berliner Röhrichtschutzprogramm. Bericht zur Luftbildauswertung 2010. Senatsverwaltung für Stadtentwicklung und Umwelt Berlin 2013

KRAUß, M. (2013): Maßnahmen zur ökologischen Aufwertung und zur Reduzierung der Uferbelastung an den Berliner Gewässern. Vortrag 21. Und 22. November am Bundesamt für Wasserbau in Karlsruhe (https://izw.baw.de/publikationen/alu/0/Krauss_Mass-nahmen_oekol_aufwertung_21_11_2013.pdf)

LÄNDERARBEITSGEMEINSCHAFT WASSER (LAWA 2013): Empfehlung zur Ausweisung HMWB/AWB im zweiten Bewirtschaftungsplan in Deutschland (http://www.flussgebiete.nrw.de/img_auth.php/f/f3/LAWA_Empfehlungen_HMWB-Ausweisung_Stand20130226.pdf)

LECHER, K. LÜHR, H.-P., ZANKE, U. (2001): Taschenbuch der Wasserwirtschaft. Paray Verlag

LUBW LANDESAMT FÜR UMWELT, MESSUNGEN UND NATURSCHUTZ BADEN-WÜRTTEMBERG (2013): Ingenieurbiologische Bauweisen an Fließgewässern Teil 2, WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH, Karlsruhe

MINISTERIUM FÜR UMWELT, RAUMORDNUNG UND LANDWIRTSCHAFT NW 1999: Richtlinie für naturnahen Ausbau und naturnahe Unterhaltung der Fließgewässer in Nordrhein-Westfalen.

POTTGIESSER, TANJA, DR. SOMMERHÄUSER, MARIO (2008): Aktualisierung der Steckbriefe der bundesdeutschen Fließgewässertypen (Teil A) und Ergänzung der deutschen Fließgewässertypen um typspezifische Referenzbedingungen und Bewertungsverfahren aller Qualitätselemente (Teil B).

RICHTLINIE 2000/60/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 23. Oktober 2000 zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik - Wasserrahmenrichtlinie

RIEDMÜLLER ET AL (2013): Steckbriefe der deutschen Seentypen

SENATSVERWALTUNG FÜR STADTENTWICKLUNG UND UMWELT (2013): Validierung der Berliner Oberflächenwasserkörper. Studie. Auftragnehmer: Umweltbüro Essen

SPUNDFLASCH, F.; JOHANNSEN, R.; SCHIEMENZ, T. (2014): Erfahrungen beim Bau von Fischaufstiegsanlagen. In Wasser und Abfall, Heft 1/2. 2014

THÜRINGER LANDESANSTALT FÜR UMWELT UND GEOLOGIE (Hrsg.) (2015)): Ingenieurbiologische Bauweisen für die eigendynamische Gewässerentwicklung, Praxisleitfaden - Schriftenreihe Thüringen Landesanstalt für Umwelt und Geologie Nr. 110

UNIVERSITÄT DUISBURG-ESSEN & PLANUNGSBÜRO, KOENZEN. 2012: Handbuch zur Bewertung und planerischen Bearbeitung von erheblich veränderten Gewässern (HMWB) und künstlichen Gewässern (AWB). Essen, Hilden

ZEH, H. (2007): Ingenieurbiologie – Handbuch Bautypen, vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich

Archiv des Büros Kovalev & Spundflasch für Ingenieurbiologie, Umweltplanung und Wasserbau sowie des Büros Johannsen & Spundflasch für Ingenieurbiologie und Wasserbau

Verwendete Fotos: Büro Kovalev & Spundflasch (außer gesondert gekennzeichnete Fotos)

Anhang

7 Anhang

Der Anhang zu diesen Handlungsempfehlungen gibt dem Leser weitere, die für die Auswahl und Planung ingenieurbiologischer Bauweisen im Stadtgebiet Berlin von Bedeutung sind.

Dazu gehören:

- Beschreibung der in Kap. 4 genannten Baustoffe
- Sammlung umgesetzter Beispiele ingenieurbiologischer Bauweisen, die für den Planungsraum Berlin übertragbar erscheinen;
- Ingenieurbiologisch einsetzbare Arten der Bäume, Sträucher und krautigen Pflanzen mit Hinweisen zu ihren Standortansprüchen und Anwendungshinweisen;
- Empfehlungen der Forschungsgesellschaft für Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL e.V.) zu regionalen Saatgutmischungen Gräser / Kräuter im Raum Berlin;
- Eine Einführung zu den Grundlagen zur Bemessung ingenieurbiologischer Bauweisen mit Aussagen zu Abflüssen, Wasserspiegellagen, Böschungs-. Und Geländebruch, Erosionsstabilität, Sicherheit gegen Auftrieb und Verdriftung, Bemessung von Ballast sowie die Prüfung von Pfählen. Im Rahmen dieses Handbuches kann keine umfassende Einführung in die erforderlichen Berechnungen gegeben werden. Es wird jedoch versucht, eine kurze Einführung in die erforderlichen Nachweise und ggf. Literatur zu geben. Der Planer kann dann die einschlägige Fachliteratur zu Rate ziehen oder einen Fachgutachter für diese Fragestellung zu Rate ziehen.
- Den Abschluss bildet eine Auswahl von Ausschreibungstexten für gängige ingenieurbiologische Bauweisen als Lückentextvorschlag, wie sie durch die Autoren in der Praxis schon vielfach verwendet wurden. Diese können bei entsprechender Anpassung an die Erfordernisse der jeweiligen Ausschreibung ergänzt und angewendet werden.

7.1 Baustoffe

Bei ingenieurbiologischen Bauweisen wird die Pflanze als Baustoff genutzt und mit anderen Baustoffen kombiniert. Diese Materialien unterscheiden sich sowohl in ihrer Funktionalität als auch in ihrer Anwendbarkeit, den Herstellungskosten, ihrer Eignung für den jeweiligen Naturraum und ihrer Langlebigkeit.

Es wird unterschieden zwischen toten und lebenden Bauweisen. Tote Bauweisen verändern sich nach ihrem Einbau mehr oder weniger schnell in Folge von Verwitterung (Steine), Korrosion (Metalle), Fäulnis (Holz). Ihre Funktion besteht in der Regel in einem sofortigen Schutz der Fläche, für die sie vorgesehen sind. Der Schutz kann mit der Zeit nachlassen. Nicht lebende Baustoffe haben die Eigenschaft, zum Zeitpunkt ihres Einbaues ihre größte Wirksamkeit zu entfalten. Dies bleibt entweder über einen unbestimmten Zeitraum gleich oder nimmt allmählich wieder ab.

Lebende Baustoffe hingegen entfalten erst im Verlauf ihrer vegetativen Entwicklung ihre volle Funktionalität. Bei guten bis optimalen Wuchsbedingungen verbessert sich ihre Funktionalität beständig, bis sie in Abhängigkeit vom Lebenszyklus der verwendeten Pflanzen ihr Optimum erreicht.

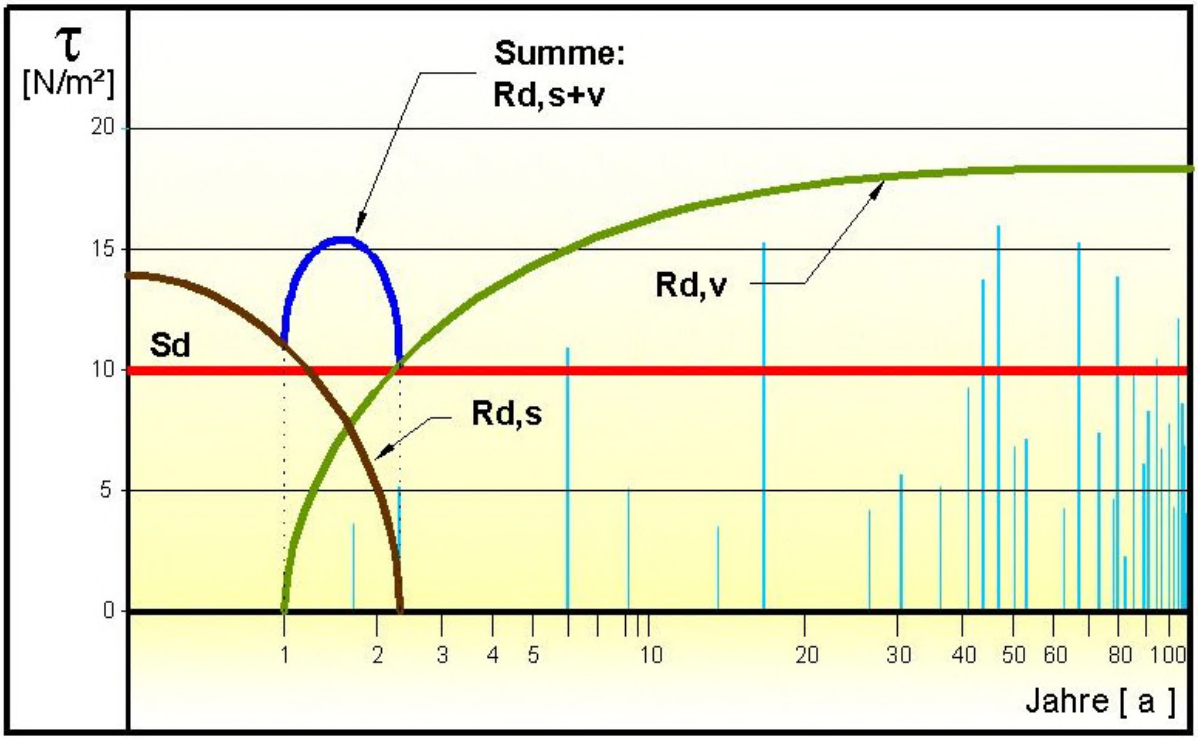


Abb. 85: Überlegungen zur Wirkung ingenieurbiologischer Sicherungen als Widerstände gegen Einwirkungen von fließendem Wasser

Sd = einwirkende Kräfte, hier Schleppspannungen bei unterschiedlichen Hochwasserereignissen, rot: festgelegte Bemessungsgröße
Rd,s = haltende Kräfte durch Hilfsstoffe der Bauweise, z.B. Totholzfaschine
Rd,v = haltende Kräfte der sich entwickelnden Vegetation, z.B. Wurzelwerk austreibender Weidensteckling)

Die Aufrechterhaltung des Optimums kann auf unbestimmte Zeit erfolgen, ist jedoch zumeist von einer entsprechenden Pflege abhängig.

Häufig werden auch Kombinationen von Pflanzen und Baustoffen verwendet, um beispielsweise in der Startphase das Anwachsen von Pflanzenbeständen zu unterstützen oder um langfristig kombinierte bewachsene Strukturen zu schaffen, die neben der Sicherungsfunktion auch als Biotopstrukturen dienen oder das Landschaftsbild verbessern.

Eine Sonderstellung der eingesetzten Stoffe nehmen Düngemittel und Bodenverbesserungsstoffe ein. Sie dienen zur Unterstützung der Pflanzen in der Anwachsphase und zur Unterstützung der Bodenbildungsprozesse. Im naturnahen Wasserbau ist deren Einsatz jedoch selten, da die Boden- und Feuchteverhältnisse an den Gewässern meist für eine gute Versorgung der Zielvegetation mit Wasser und Nährstoffen ausreichen und weil diese Stoffe ggf. zu Wasserverunreinigungen führen können.

7.1.1 Lebende Baumaterialien

Das Herzstück der Ingenieurbiologie bilden die Pflanzen als lebende Baustoffe. Dafür ist es notwendig, ihre Einsatzfelder und Standortansprüche sowie Wuchsbilder zu kennen. Ihre Toleranz gegen Beschattung, Strömung, Erosion, Wellenschlag, Eisschurf und Verbiss durch Wasservögel sind zu klären. Auch Faktoren wie Einwirkungen durch Biber oder andere Tiere und/oder Beschädigung durch Freizeitnutzung sollten berücksichtigt werden.

Für die Sicherung und Gestaltung der Ufer mit ingenieurbiologischen Lösungen werden im Besonderen die biotechnischen Eigenschaften der Pflanzen genutzt, denen sie ihre technischen und biologischen Funktionen verdanken. Dazu gehören z.B. die unterschiedliche Bewurzelungsfähigkeit, tiefgreifende Wurzelsysteme mit Eignung als Bodenfestiger und Bodenverbesserer, schnelles Regenerationsvermögen, Reaktion auf veränderte Umweltbedingungen, Überschwemmungsverträglichkeit, Schnellwüchsigkeit, Biegsamkeit, Stockausschlagvermögen, Sprosswurzelbildung usw.. Ebenfalls wird die Fähigkeit von Pflanzen zur Vergemeinschaftung und zur Höherentwicklung (Sukzession) in der Ingenieurbiologie genutzt.

Grundsätzlich ist bei jeder Planung zu klären, welche Zielvegetation mit dem eingesetzten Lebendmaterial erreicht werden soll. So kann man entscheiden zwischen Baumbestand, Strauchbestand, Röhrichten und Hochstauden oder Wiese und Rasen. Gleichzeitig ist an den Gewässern die natürliche Zonierung der Vegetation in Abhängigkeit vom Wasserstand ein entscheidendes Kriterium für den Einsatz der Pflanzen.

Die einzelnen ingenieurbiologisch gut verwendbaren Arten der Baum-, Strauch-, Röhricht- und Hochstaudenvegetation findet man in den Tabellen im Anhang 8.1. Hier wird auf die Standortansprüche, die biotechnischen Eigenschaften, die verschiedenen Möglichkeiten der Ausbringung und Anwendung eingegangen.

Im Zuge der Entwicklung eines ingenieurbiologisch wirksamen Pflanzenbestandes können sich Pflanzen in ihrer Wirksamkeit auch ablösen. So kann ein stabilisierender Ufersaum aus Weiden- und Röhrichtbewuchs auch allmählich durch die Verschattung einer Erlengalerie verdrängt werden. Die Schwarzerlen übernehmen dann die langfristige Sicherung.

7.1.1.1 Bäume

Die ingenieurbiologisch wichtigen Baumarten an den Gewässern findet man in den Weich-und Hartholzauen sowie im terrestrischen Bereich. Als Bäume in der Weichholzaue mit hohem ingenieurbiologischen Potential findet man Baumweiden: Silber- und Bruchweide *(Salix alba, S. fragilis)* sowie der Bastard beider Arten, die Rötliche Bruchweide (*S. x rubens)*. In der oberen Weichholz- und unteren Hartholzzone ist die Schwarzerle (*Alnus glutinosa*) eine entscheidende Baumart.

Als Hartholzauearten bieten sich weiterhin Frühblühende Traubenkirsche (*Prunus padus*), Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*), Stieleiche (*Quercus robur*), Hainbuche *(Carpinus betulus,)* Feldahorn *(Acer campestre*) und Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*) an.

Die Bäume übernehmen in den jeweiligen Zonen durch ihr Wurzelwerk, das bei Baumweiden und Schwarzerlen bis 0,3 m unter die Mittelwasserline reicht, wichtige Funktionen zum Erosionsschutz und zur Ufersicherung. An Seeufern dämpfen überhängende Äste den Wellenangriff. Einwirkungen aus Treibholz- und Eisschurf werden von den heimischen Arten verkraftet. An den kleinen Fließgewässern muss die hydraulisch einengende Wirkung von Baumpflanzungen im Profil berücksichtigt und ggf. durch Unterhaltungsmaßnahmen in Grenzen gehalten werden.

Sie können mit folgenden Methoden ausgebracht werden:

7.1.1.1.1 Baumstamm, bewurzelungsfähig

Weiden können als bewurzelungsfähige Arten auch als Baumstamm wieder im Ganzen in die Böschungen oder in Uferbereiche eingebracht werden. Allerdings ist zu beachten, dass die Wuchsform und ggf. die Vitalität der Gehölze gegenüber Steckhölzern oder Baumschulpflanzen eingeschränkt ist. Diese Elemente dienen in erster Linie als Gestaltungselement oder als Besiedlungssubstrat am und im Gewässer zur Aufwertung der ökologischen Strukturen.

7.1.1.1.2 Wurzelstock, bewurzelungsfähig

Die Wurzelstöcke der genannten Bäume werden im Ganzen aus Ufer-, Vorland- und Böschungsbereichen gerodet, geladen, zwischengelagert und wieder eingepflanzt. Dabei sollte darauf geachtet werden, dass Wurzeln nicht gebogen oder zerrissen werden. Derartige Wurzeln sind glatt abzuschneiden.

7.1.1.1.3 Steckholz

Die meisten heimischen Weidenarten sind gut durch Steckholz vermehrbar (Ausnahme ist die Sal-Weide *Salix caprea*). Allerdings ist im Baubetrieb darauf zu achten, dass folgende Prinzipien eingehalten werden, um den Anwuchserfolg der Weiden zu gewährleisten.

- Werbung in der Vegetationsruhezeit;
- Ausreichende Länge (Steckholz Länge 70 - 100 cm);
- Ausreichende Dicke (Zopfstärke, d.h. Durchmesser am oberen Ende des Steckholzes 3 – 5 cm);
- Junges Holz, glatte Rinde ohne Risse, Möglichst gerade gewachsen, ohne erkennbare Faul- und Trockenstellen

7.1.1.1.4 Setzstange

Steckholz und Setzstangen unterscheiden sich lediglich in ihren Abmessungen. Eine Setzstange ist demnach eine bewurzelungsfähige Stange aus einem Stamm oder Ast von *S. alba, S. fragilis, S. x rubens* oder *S. viminalis*

- Länge 100 – 300 cm, Zopfstärke 4 – 15 cm (EFIB)
- Junges Holz möglichst gerade gewachsen ohne erkennbare Faulstellen und Trockenstellen

7.1.1.1.5 Ast

Bewurzelungsfähiges, verzweigtes, junges frisches grünes Holz in einer Stärke an der Schnittstelle von mindestens 2 cm.

7.1.1.1.6 Rute

Bewurzelungsfähiges, unverzweigtes oder wenig verzweigtes junges grünes Holz mit einer Länge von mindestens 2,0 m und einer Stärke an der Schnittstelle von mindestens 3 cm. *Salix alba i*st an dieser Stelle noch elastisch.

7.1.1.1.7 Lebendfaschine

Lebendfaschinen bestehen aus Ruten, die frisch, elastisch, biegsam, gleichmäßig strukturiert in Grob- und Feinanteile und gut bündelbar sein sollten. Wegen der Bewurzelungsfähigkeit ist besonders auf ausreichend Grobastanteil an jeder Stelle der Faschine zu achten (siehe Anlage 8.4).

Lebendfaschinen können bei mangelndem bewurzelungsfähigem Reisig auch Totholzanteile besitzen. Dieser sollte nicht über 50 % liegen, noch wichtiger ist jedoch ein ausreichender Anteil von bewurzelungsfähigem Grobastwerk. Erfahrungsgemäß sollten es mindestens 3 Äste von 2 cm bis 4 cm Durchmesser an jeder Stelle der Faschine sein.

Die Herstellung von Faschinen erfolgt vor Ort mit dem Dreibock, sie können jedoch auch geliefert werden. Bei der Lieferung von Faschinen mit 20--25 cm Durchmesser sind folgende Kriterien zu fordern und zu prüfen:

- Bei Pressung von 3,5 kN/m² darf sich die Faschine maximal 3 cm eindrücken lassen, dies entspricht der Belastung einer sich draufstellenden ca. 70 kg schweren Person.
- Die Bindung sollte aus doppelt gebundenem Draht (verzinkt oder kunststoffbeschichtet) von 2,5 mm Durchmesser bestehen.
- Die Drahtbindungen sollten einen Abstand von 30 cm nicht unterschreiten.
- An jeder Stelle der Faschine sollten mindestens 3 Äste von 2-4 cm Stärke zu finden sein.

Der Bindedraht sollte bei einer Verwendung für Faschinen beständig sein, wenn diese ihre Funktion als Stabilisatoren von Böschungen oder als Filter über mehrere Jahre aufrechterhalten sollen. Im Wasserbau können standort- und funktionsabhängig Baumweidenäste verwendet werden. Geeignete Arten sind z.B. *S. fragilis* und *S. alba.*

Abb. 86: Herstellung von Lebendfaschinen mit dem Dreibock im Bauseminar der FH Geisenheim (Foto: M. Tunkowski)

7.1.1.1.8 Forstpflanze mit Herkunftsnachweis

Alle in der Tabelle im Anhang 8.1 aufgeführten Baumarten der Hartholzaue können als Forstpflanze mit Herkunftsnachweis und als leichter Heister (Heister nach BDB) ausgebracht werden. Die Baumweiden der Weichholzaue sollten vorrangig als unbewurzeltes Material verwendet werden.

7.1.1.2 Sträucher

Die ingenieurbiologisch wichtigen Straucharten an den Gewässern findet man in den Weich- und Hartholzauen sowie im terrestrischen Bereich. Als Sträucher in der Weichholzaue mit hohem ingenieurbiologischen Potential findet man die Weidenarten *Salix viminalis, S. purpurea, S. triandra, S. aurita, S. cinerea.* In der oberen Weichholz- und unteren Hartholzzone sind der Faulbaum (*Frangula alnus*), der Wasserschneeball (*Viburnunm opulus*) und die Kratzbeere (*Rubus caesius*) wichtige Straucharten.

Als Hartholzauearten bieten sich weiterhin Pfaffenhüttchen *(Evonymus europaeus),* Hasel *(Corylus avellana),* Blutroter Hartriegel *(Cornus sanguinea)* an. Zur Abwehr von Trittschäden können gut Dornsträucher wie Weißdorn *(Crataegus monogyna),* Schlehe (*Prunus spinosa*) Wildrosen des Gebietes sowie Brombeerarten dienen.

Ingenieurbiologisch können die Sträucher in der jeweiligen Zone vor allem zur Dämpfung von Wellen und zum Uferschutz gegen Wellen sowie gegen die Kombination von Wellen, Treibholz oder Treibeis eingesetzt werden. Vor Allem die Strauchweiden vertragen die damit verbundenen Verletzungen und regenerieren schnell. An den Fließgewässern muss die starke Einschränkung des Hochwasserabflussprofils berücksichtigt werden, so dass Sträucher hier eher als Biotopstruktur und Gestaltungselement in Aufweitungen eingesetzt werden. Durch breite Dornenhecken kann der Zugang zu bestimmten Uferbereichen erschwert werden.

Sie können mit folgenden Methoden ausgebracht werden:

7.1.1.2.1 Steckholz

Die meisten heimischen Strauchweidenarten sind gut steckholzvermehrbar. Allerdings ist darauf zu achten, dass folgende Prinzipien eingehalten werden, um den Anwuchserfolg der Weiden zu gewährleisten:

- ausreichende Länge (Steckholz Länge 70 - 100 cm, Zopfstärke, d.h. Durchmesser am oberen Ende des Steckholzes mind. 2 cm – 5 cm)
- junges Holz, keine borkige, rissige Rinde, möglichst gerade gewachsen, ohne erkennbare Faul- und Trockenstellen

7.1.1.2.2 Setzstange (nur *Salix vimminalis*)

Als Setzstange eignet sich bei den heimischen Sträuchern nur die Korbweide (*Salix viminalis*). Die Länge der Setzstange beträgt 100 – 300 cm, die Zopfstärke 4 – 15 cm (EFIB). Es sollte junges, möglichst gerade gewachsenes Holz verwendet werden, welches keine erkennbaren Faulstellen und Trockenstellen aufweist.

7.1.1.2.3 Ast

Stark verzweigtes, junges Holz in einer Stärke an der Schnittstelle von mindestens 2 cm.

7.1.1.2.4 Rute

Unverzweigtes oder wenig verzweigtes junges Holz mit einer Länge von mindestens 1,5 m und einer Stärke an der Schnittstelle von mindestens 2 cm. Sie sollten elastisch und bewurzelungsfähig sein.

7.1.1.2.5 Faschine

Zur Herstellung von Lebendfaschinen aus Sträuchern siehe Kap. 7.1.1.1.7.

Während sich aus Faschinen aus Baumweiden eher eine Baumreihe entwickelt, entwickelt sich aus einer Faschine aus Strauchweiden ein Weidengebüsch.

7.1.1.2.6 Forstpflanze z.T. mit Herkunftsnachweis

Alle in der Tabelle in Anhang 8.1 aufgeführten Straucharten der Hartholzaue können als Forstpflanze z.T. mit Herkunftsnachweis und als leichte Sträucher (nach BDB) ausgebracht werden. Die Strauchweiden der Weichholzaue sollten vorrangig als unbewurzeltes Material verwendet werden, entweder vor Ort gewonnen oder als Material aus Weidenbaumschulen.

7.1.1.3 Röhricht, Seggen

Zu den Arten der Röhrichtzone zählen Arten, die an bzw. kurz über der Sommermittelwasserlinie wachsen. Dazu zählen Süßgräser wie Schilf (*Phragmites australis*), Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*) und Wasser-Schwaden *(Glyceria maxima),* Arten der Rohrkolbengewächse wie Breitblättriger Rohrkolben (*Typha latifolia*) und Schmalblättriger Rohrkolben (*Typha angustifolia*). Breite Schilfgürtel bieten anstehenden Gewässern einen wirksamen Uferschutz, wenn sie vor ständigen Einwirkungen durch Schiffswellen geschützt werden. Rohrglanzgrasbestände bieten an Fließgewässern Uferschutz.

Sauergräser, insbesondere großwüchsige Seggen wie Sumpfsegge *(Carex acutiformis),* Schlanksegge (*Carex acuta*), Ufersegge (*Carex riparia*) sind gut zum Uferschutz in der Weichholzzone verwendbar ebenso wie verschiedene Stauden nasser und feuchter Standorte wie Sumpf-Schwertlilie *(Iris pseudacorus),* Gewöhnlicher Blutweiderich *(Lythrum salicaria),* Gilbweiderich *(Lysimachia vulgaris),* Echtes Mädesüß *(Filipendula ulmaria) oder* Fluss-Ampfer (*Rumex hydrolapathum*). Vor allem durch die gewässertypischen Seggen können noch unter lichtem Halbschatten die Ufer vor Erosion geschützt werden. Die derben Blätter werden weniger gerne verbissen. Nach örtlicher Erosion werden Lücken durch das vitale Rhizomwurzelwerk schnell geschlossen.

Sie können mit folgenden Methoden ausgebracht werden:

7.1.1.3.1 Pflanzen mit Ballen

Die gebräuchlichste Art der Ausbringung ist eine Ballenpflanzung von im Naturraum geworbenen Röhrichtballen. Vor Ort gewonnene Materialien sollten würfelförmig ausgestochen eine Kantenlänge von 20 bis 30 cm haben. Bei Topfballen aus Staudengärtnereien können Verwechslungen mit Zuchtsorten auftreten.

7.1.1.3.2 Vegetationsstück

Ebenfalls können Röhrichtbestände mit dem Grabenlöffel eines Baggers in der Größe 200 x 60 x 30 cm ausgehoben und wiedereingesetzt werden. Das gleiche gilt für Grünlandbestände, welche als Vegetationsschicht gewonnen und an Böschungen oberhalb der Wasserwechselzone angedeckt werden können (siehe Anlage Musterposition in 8.4),

7.1.1.3.3 Kokoswalzen (Röhrichtwalzen)

Eine Röhrichtwalze besteht aus einem Vegetationsträger (in der Regel aus verrottbarem Kokosgewebe) und Röhrichtpflanzen, welche in diesen Vegetationskörper eingelegt oder eingearbeitet werden. Sie haben einen walzenförmigen Aufbau, sodass sie sich leicht an der Uferlinie eines Gewässers auslegen und befestigen lassen.

Besser ist es allerdings - und fördert gebietsheimische Arten - nur den Vegetationsträger auszubringen. Vegetationsträger kann neben einer Totholzfaschine auch eine Kokoswalze sein. In den Abbildungen und Beispielen dieses Handbuches wurde vornehmlich die Variante der Kokoswalze gewählt. Die Ballen und Vegetationsstücke werden dahinter gesetzt (Hinterpflanzung) oder direkt in die Walze. Bei gutem Samenpotential im Boden oder in der Umgebung (Diasporenpotential) kann auch die Röhrichtentwicklung abgewartet werden.

Neben dem unmittelbaren Uferschutz eignen sich solche Vegetationsträger dazu, insbesondere standorttypische Vegetation in der Wasserwechselzone langsam fließender oder stehender Gewässer auszubringen. Hier können z.B. Uferseggen mit eingebaut werden, wenn Schilf oder Weiden aufgrund von Beschattung durch Uferbäume keine ausreichenden Entwicklungsmöglichkeiten besitzen. Außerdem eignen sich Kokoswalzen aufgrund der Entwicklung eines Wurzelfilzes als Alternative zu Filterschichten oder Kunststofffiltern, wenn es gilt, Feinmaterial aus dem Ufersubstrat (z.B. Sand oder Torf) vor dem Ausspülen oder Diffundieren zu schützen.

7.1.1.3.4 Rhizom- und Sprößlingsstücke

Zur Hinterpflanzung von Kokoswalzen oder Faschinen eignen sich bei manchen Röhrichtarten (s. Tabelle im Anhang 8.1) auch Pflanzenteile wie Rhizom- und Sprößlingsstücke. Einen sicheren Anwuchserfolg bringt diese Technik jedoch eher in der gärtnerischen Vermehrung.

7.1.1.3.5 Samen

Süßgräser wie Schilf und Rohrglanzgras können auch durch Ansaat angesiedelt werden. Hierzu werden reife Fruchtstände im Naturraum gesammelt und auf der Fläche ausgelegt oder ausgeschüttelt. Rohrglanzgrassamen ist auch im Handel erhältlich.

7.1.1.3.6 Gräser und Kräuter

Gräser und Kräuter werden in der Regel als Handelsaatgut in vorgefertigten Mischungen erworben. Grundsätzlich ist zu beachten, dass dafür gemäß BNatSchG §40 gebietseigenes Saatgut zu verwenden ist. Ab dem Jahr 2020 darf zudem in der freien Landschaft kein gebietsfremdes Saat- und Pflanzenmaterial mehr ausgebracht werden. Dies gilt auch für Verkehrsanlagen im Außenbereich.

Auch wenn dies für einen urbanen Raum wie Berlin ggf. rechtlich nicht zwingend erforderlich ist, sollte doch berücksichtigt werden, dass Gewässer als Ausbreitungsvektoren für Samen und Pflanzenteile dienen können. Daher ist zu empfehlen, auch in der Stadt bei Baumaßnahmen am Gewässer auf gebietsheimische Pflanze, Pflanzenteile oder Samen zurückzugreifen.

Berlin gehört zwei Ursprungsgebieten an:

- Ursprungsgebiete 4 - Ostdeutsches Tiefland
- Ursprungsgebiete 22 – Uckermark mit Odertal

Durch die Forschungsgesellschaft Landschaftsentwicklung Landschaftsbau e.V. (FLL) wurde im Jahr 2014 Empfehlungen für Begrünungen mit gebietsheimischem Saatgut herausgegeben (FLL 2014). Bestandteil dieser Publikation sind empfohlene Mischungen für die jeweiligen Ursprungsgebiete. Dabei wird unterschiedenen zwischen:

- Grundmischung
- Mager-sauer
- Mager-basisch
- Feucht (inklusive Ufer)

Die Tabelle der FLL 2014 zu den Ursprungsgebieten 4 und 22 ist in Anhang 8.2 wiedergegeben.

Die FLL Vorschläge sind überwiegen naturschutzfachlich orientiert. Für die ingenieurbiologischen Ziele genügen ggf. artenärmere Mischungen mit einem höheren Anteil erprobter Grasarten (siehe DIN 19657).

Ingenieurbiologisch übernehmen die Gräser und Kräuter an den Ufern folgende Funktionen:

- Schnelle Erstbegrünung und Erosionsschutz auf allen Standorten, auch dort, wo später Gehölze vorgesehen sind. Für diesen Zweck sollten die Ansaatmischungen die Pioniergräser enthalten u.a.: *Lolium perenne, Agrostis stolonifera, Proa trivialis, Holcus lanatus, Festuca rubra rubra.*
- Initialbegrünung auch in der Röhrichtzone, in die später Röhrichtballen oder Vegetationsstücke eingepflanzt werden. Diese Kombination reduziert die Fraßschäden im Röhricht

- Dauerhafte Sicherung und Begrünung von Ufern, auf denen aus Gründen der Hydraulik, der Gewässerunterhaltung oder des Landschaftsbildes Landschaftsrasen wachsen soll. Hier sollten artenarme Mischungen mit hohem Anteil an Gräsern für den Standort und die ingenieurbiologische Wirkung unter Beimengung geringer Anteile der gebietsheimischen Kräuter verwendet werden.

Für Liegewiesen an Ufern sollten geeignete trittfeste Mischungen verwendet werden. Für landwirtschaftliche Grünlandnutzung auf Vorländern gibt es geeignete Saatgutmischungen für Wiesen oder Weiden. Unter lichtem Halbschatten sollten artenarme Mischungen geeigneter Gräser und Kräuter angesät werden.

Für die häufig vorkommenden Standorte und Begrünungsziele im Stadtgebiet sollten artenarme Standartmischungen geplant werden, die von den Saatgutfirmen für Regiosaatgut geliefert und vom Bauüberwachungsbüro einfach mit einer Vergleichssammlung überprüft werden können.

7.1.2 Baustoffe und Bauteile

7.1.2.1 Holz und Reisig

Klassische Baustoffe der Ingenieurbiologie sind Holz und Reisig. Diese sind auch für den Gewässerschutz und die Gewässerentwicklung in Flachlandgewässern von besonderer Bedeutung, da Holz hier zumeist eines der wichtigsten Hartsubstrate zur Besiedlung darstellt. Es bietet Fischen Unterschlupf vor Fressfeinden und erhöht die Turbulenz in den Gewässern, sodass sich ein abwechslungsreiches Strömungsbild entwickelt, welches zu einer Sortierung der Substratkörnung, zu flachen und tiefen Gewässerstellen oder auch zu Uferabbrüchen oder Unterspülungen von Ufern führt.

Daher ist der Einbau von Holz und Reisig in ein Gewässer des Flachlandes immer dem Einsatz anderer toter Baustoffe wie Steine, Kunststoffe oder Metall vorzuziehen.

Holz besitzt eine sehr unterschiedliche Haltbarkeit. Die Dauerhaftigkeit des Holzes ist von der Baumart abhängig. Die folgende Tabelle benennt die mittlere Dauerhaftigkeit verschiedener Holzarten.

Tabelle 4: Natürliche Dauerhaftigkeit mitteleuropäischer Holzarten (HACKER/JOHANNSEN 2012)

Baumart	**Dauerhaftigkeit nach EN 350-2**	**Dauerhaftigkeit nach DIN 19657**
Laubbäume		
Robinie *Robinia pseudoacacia*	sehr dauerhaft 1	k.A.
Edel-Kastanie *Castania sativa*	sehr dauerhaft 1	k.A.
Eiche *Quercus robur*	dauerhaft 2	12-15 Jahre, Kernholz 20-25 Jahre in der Wasserwechselzone
Rot-Buche	nicht dauerhaft	k.A.

Fagus sylvatica	5	
Gemeine Esche *Fraxinus excelsior*	nicht dauerhaft 5	k.A.
Schwarzerle *Alnus glutinosa*	nicht dauerhaft 5	nur ständig im Wasser dauerhaft
Pappeln und Weiden *Populus spec.; Salix spec.*	nicht dauerhaft 5	nur ständig im Wasser dauerhaft
Nadelbäume		
Kiefer *Pinus sylvestris*	mäßig dauerhaft 3	in der Wasserwechselzone 6-7 Jahre
Lärche *Larix decidua*	mäßig dauerhaft 3	in der Wasserwechselzone 6-7 Jahre
Fichte *Picea abies*	wenig dauerhaft 4	in der Wasserwechselzone sehr gering

Gemäß dieser Tabelle haben Robinie und Eiche von den im mitteleuropäischen Flachland vorkommenden Baumarten die größte Dauerhaftigkeit; Weide, Pappel und Erle von den am Wasser vorkommenden Bäumen die geringste. Prinzipiell gilt, dass Holz unter Luftabschluss (dauerhafte Lage unter Wasser, Einbau in Moorböden unterhalb der maximalen Entwässerungstiefe) sehr lange haltbar ist (mehrere Jahrhunderte).

7.1.2.1.1 Ganze Bäume mit Wurzelstubben und Starkästen oder Teile zur Strukturverbesserung, als Wellenbrecher

Zur Verbesserung der Gewässerstrukturen hat Holz in Flachlandgewässern eine besondere Bedeutung. Je größer der Durchmesser des eingebauten Holzes ist, umso länger ist es haltbar.

Dabei spielen alle Stamm- oder Astteile sowie die Wurzel eine eigene wichtige Funktion im Gewässerökosystem. Der Stamm ist ein langlebiges Besiedlungshabitat z.B. für Makrozoobenthos, Feinäste dienen Jungfischen als Unterschlupf vor Fressfeinden aus dem Wasser und aus der Luft sowie als Laichhabitat, Stamm und Äste verändern die Strömung und führen zu Substrat und Strömungsdiversität sowie ggf. zu eigendynamischen Entwicklungsprozessen.

Im günstigsten Fall kann ein direkt am Ufer wachsender Baum für Strukturmaßnahmen herangezogen werden. Häufig wird jedoch Holz eingebaut, weil am Ufer keine ausreichenden Spenderhabitate vorhanden sind. Der Transport ganzer Bäume inklusive Wurzelteller und Krone ist baubetrieblich aufwändig und teuer. Daher sollten als Kompromiss folgende Mindestanforderungen an Strukturelemente dieser Art gestellt werden:

Je nach Größe des Gewässers sollten zur Strukturverbesserung Bäume mit einem Stammdurchmesser in ca. 1 m Höhe von 30 cm oder mehr eingesetzt werden. Es ist darauf zu achten,

dass möglichst mehrere Starkäste mit mindestens 1 m Länge am Stamm ansetzen und nicht abgeschnitten werden.

Ökologisch wertvoll ist auf Grund der hohen Verästelung der Wurzelteller. Kann ein Baum mit Wurzelteller gerodet werden, dann sollte der Stamm in einer Höhe gekappt werden, welche bei Einbau des Baumes ins Gewässer immer noch das Verhältnis $^1/_4$ herausragen in das Gewässer und $^3/_4$ Einbau in das Ufer erlaubt. Der Wurzelteller übernimmt dann die Funktion der Biotopstruktur. Die folgende Abbildung zeigt schematisch die Anforderungen an den Baustoff Baum oder Wurzelstubben als Strukturelement.

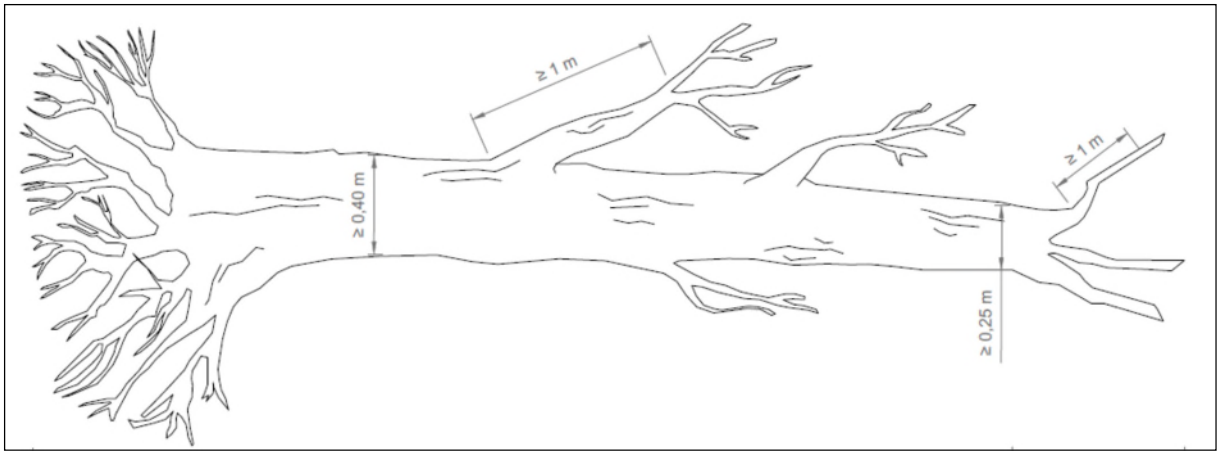


Abb. 87: Prinzipskizze Baumstamm mit Wurzelteller für den Antransport und Einbau im Gewässer als Strukturelement

Wie anhand der Abbildung erkennbar ist, kann die Stärke des Holzes je nach Bedarf variieren. Es sollte jedoch klar definiert werden, welche Anforderungen an das Verhältnis Äste und Stammumfang gestellt werden. Je dicker das eingebaute Material, umso effektvoller ist in der Regel seine Wirkung im Ökosystem Gewässer. Je dünner das Astmaterial, umso schneller wird es verrotten oder durch mechanische Belastungen abbrechen und steht dem Gewässer dann nicht mehr zu Verfügung.

7.1.2.1.2 Rundholz, Derbstangen

Häufig verwendete Baustoffe sind Derbstangen und Rundhölzer. Dabei handelt es sich um Rundholz, welches in unterschiedlicher Länge und Stärke in den Bauweisen der Ingenieurbiologie Verwendung findet.

Tabelle 5: Maße für Derbstangen und Rundhölzer

Baustoff	Holzart	Länge	Durchmesser
Derbstange	Kiefer, Lärche	0,8-3m	7-14 cm
Rundholz	Kiefer, Eiche, Lärche	1-5 m	>14 cm
Stammteile	Erle, Weide, Esche	je nach Bedarf	je nach anfallendem Material

Derbstangen werden verwendet, um z.B. Spreitlagen am Boden zu halten oder Roste herzustellen, die als Gitter für Böschungsbepflanzungen dienen. Sie überspannen einen Teil der

Bauweise und fixieren sie an dieser Stelle. So werden Derbstangen traditionell zum Niederhalten von Spreitlagen oder Reisiglagen verwendet. Kleinere Pfähle und Pflöcke werden aus Derbstangen hergestellt.

Rundholzpfähle werden durch Zuspitzen einer Seite aus Rundhölzern hergestellt. Sie dienen in erster Linie der Befestigung. So können Faschinen, Röhrichtwalzen und Reisiglagen mit Hilfe von Rundholzpfählen und anderen Baustoffen im Boden oder in der Böschung verankert werden. Sie werden außerdem z.B. zur festen Markierung der Sohlenhöhe in künstlichen Gewässern oder als Pfahlwände (Palisaden) verwendet.

Abb. 88: Große Rundholzpfähle zum Einbau in einen sandgeprägten Tieflandfluss, verschiedene Ausführungen

Gelegentlich fällt bei Arbeiten am Gewässer auch Holz an, welches am Ufer eingeschlagen wird (z.B. Erlen, Weiden, Eschen). Deren Stammteile können vor Ort als Ersatz von Derbstangen mitverwendet werden.

Rundhölzer können unter Wasser auch eingesetzt werden, um Fischunterstände zu errichten oder den Böschungsfuß zu sichern.

7.1.2.1.3 Astgabeln, Holzhaken

Astgabeln oder Holzhaken dienen dazu, Kokos- oder Jutenetze und Matten im Boden zu fixieren. Auch Rasenplaggen können mit Hilfe von Holzhaken fixiert werden (siehe Anlage 8.4 Musterposition Holzhaken).

Holzhaken sind in der Regel 30-50 cm lang. Sie sind unten zugespitzt und besitzen am oberen Ende einen nach unten geformten Haken. Astgabeln werden vor Ort gewonnen und entgegengesetzt der Wuchsrichtung in den Boden geschlagen. Industriell hergestellte Holzhaken sind eine kostengünstige Alternative. Sie bestehen z.B. aus spitzen Rechteckstäben mit einem am oberen Ende als Querholz eingesetzten Rundstabstock. Diese Holzhaken sind bei der Fertigrasenverlegung üblich.

Abb. 89: Verschiedene Haken aus Stahl, vorgefertigt aus Holz sowie vor Ort hergestellte Astgabeln

7.1.2.1.4 Bohlen

Bohlen haben Stärken von 3 bis 5 cm und Breiten von 20 – 30 cm. Die Länge ist variabel. Sie eignen sich zum Bau einfacher vertikaler Dichtwände bzw. Stulpwände.

Die untenstehende Abbildung zeigt das Bauteil Holzbohle. Zum Dichtschlagen werden sie einseitig angeschrägt.

Abb. 90: Bohlen aus Eiche, unten einseitig angeschrägt

Eichenbohlen sind in der Wasserwechselzone Bohlen aus Kiefern- oder Lärchenholz aufgrund der längeren Haltbarkeit vorzuziehen. Bohlen aus Kunststoff sind ggf. zu bevorzugen, wenn zusätzliche Einflüsse wie das Vorkommen von Bibern berücksichtigt werden müssen oder wenn eine sehr lange Haltbarkeit gewährleistet werden muss.

Kräftige Bohlen (Kanthölzer) mit eingefräster trapezförmiger Nut und Feder werden traditionell als Holz-Spundbohlen verwendet.

7.1.2.1.5 Laub- und Nadelholzreisig

An Gewässerufern kann es sinnvoll sein, eine Anfangssicherung gegen Betreten oder Wellenschlag mit Hilfe von Reisiglagen auszuführen. Darunter versteht man Reisig, welches frisch, biegsam und rutenartig ist und damit leicht zu verarbeiten. Die Ruten sollten gemäß DIN 19657 bei Laubholz eine Stärke von 2 cm am Zopf haben, bei Nadelholz von 3 cm. Die Länge der Zweige und Äste ist variabel, sollte jedoch 1 m nicht unterschreiten.

7.1.2.1.6 Reisigfaschinen, Reisigfaschinen mit Kokosmattenummantelung

Reisigfaschinen sind nicht bewurzelungsfähig und haben einen Durchmesser von 15-30 cm. Sie bestehen aus nicht austriebsfähigem Reisig, welches frisch, elastisch, biegsam, gleichmäßig strukturiert in Grob- und Feinäste und gut bündelbar sein sollte.

Gemäß DIN 19657 eignet sich für den Wasserbau besonders frisches, nicht sperriges, biegsames Holz aus Erle, Hasel, Esche, Rot- und Weißbuche sowie Robinie. Holz von Tanne oder Fichte wird nach der DIN 19657 für Lahnungen empfohlen.

Entscheidend für die Eignung von Nadelholzreisig für die Faschinenherstellung ist das Endprodukt Faschine. Hier wird Nadelholz wegen seiner Sperrigkeit und der oft kurzen, stark gekrümmten Äste, technologisch für ungünstig gehalten, grundsätzlich ist gegen frisches harzreiches Nadelholzreisig bei entsprechender Verarbeitung jedoch nichts einzuwenden.

Die Herstellung von Faschinen erfolgt vor Ort gemäß Kap. 7.1.1.7.

7.1.2.2 Natursteine und Erden

Bei vorwiegend mineralischen Untergründen und in stark belasteten Bereichen (z.B. Wellenschlag) kann es sinnvoll sein, zur Grundsicherung auf Natursteine oder Erden zurückzugreifen.

7.1.2.2.1 Wasserbausteine nach DIN 13383

<u>Natürlicher Wasserbaustein gemäß DIN EN 13383</u>

Die DIN EN 13383 gibt Größenklassen, mechanische und chemische Eigenschaften sowie die Art der Prüfung vor. Neben natürlichen Wasserbausteinen werden in der Norm auch Steine aus Industrieproduktionen z. B. Schlackesteine oder aus Baustoffrecycling z. B. Stahlbetonsteine behandelt. Beim naturnahen Wasserbau an natürlichen Gewässern gemäß Wasserhaushaltsgesetzsollten nur Natursteine Verwendung finden. Beim Bau an künstlichen oder stark veränderten Gewässern z.B. Schifffahrtskanälen sind aber auch andere Steinarten möglich.

Die DIN EN 13383 unterscheidet Größenklassen CP sowie leichte LM und schwere HM Gewichtsklassen.

Größenklasse CP in mm:
45/125 63/180 90/250 45/180 90/180

Nach HANSEN 1985 ergeben sich für die häufig vorkommende Wichte γ z.B. für Granit oder Grauwacke folgende Maße für die Hauptdiagonalen D der Steine:

$$G = \gamma \times V = \gamma \times 0{,}245 \times D^3$$
$$D = \sqrt[3]{G/(0{,}245 * \gamma)}$$

Steingrößen und Gewichte nach DIN EN 13 383
Wichte gamma (KN/qbm) = (Kalkstein), 2,6 (Granit), 2,9 (Basalt)
D = Hauptdiagonale des Steins (m)

Berechnung nach HANSEN 1985 D = (G/0,245 x gamma) xx0,3333
für Granit, Grauwacke o. ä. γ = 26 KN/qbm:

Steinklasse	**G min kg**	**G max kg**	**D min cm**	**D max cm**
LM 5 - 40	5	40	20	40
LM 10 - 60	10	60	25	46
LM 40 - 200	40	200	40	68
LM 60 - 300	60	300	46	78
HM 300 - 100	300	1000	78	116
HM 1000 - 300	1000	3000	116	168

Wasserbausteine mit den Eigenschaften gemäß DIN 13 383 sollten dort verwendet werden, wo Frost- und Abriebbeständigkeit für die Bauwerkserhaltung und den Schutz der umliegenden Nutzungen vorrangig sind und langfristig benötigt werden (z. B. Bundeswasserstraßen vor hochwertigen Nutzungen).

Abgerundete Steine des Flussgebietes wie Geschiebe, Gerölle und Kies lassen sich zur Anlage flacher Steinschüttungen zur Ufersicherung sowie als gebietstypische Gewässerstrukturen in der Flusssohle oder an unteren Uferzonen verwenden. Kies kann als Mineralfilter unter Steinbauwerken verwendet werden.

Wasserbausteine gem. DIN EN 13383 sind zertifizierte Materialien mit hohem Widerstand gegen Verwitterung. An weniger beanspruchten Ufern können auch naturraumtypische Steine verwendet werden, welche die Wasserbausteinqualität nicht erfüllen, aber ausreichend dauerhaft sind.

7.1.2.2.2 Eiszeitliche Findlinge

Gezielt einzusetzende Gestaltungselemente an Seeufern können eiszeitliche Findlinge sein. Diese können auch zur Abgrenzung von Ackerflächen zu Gewässerrandstreifen eingesetzt werden. Dazu sollten die Findlinge mindestens so schwer sein, dass sie nicht mehr per Hand weggerollt werden können. Um sicherzustellen, dass diese auch mit dem Fahrzeug nicht zur Seite bewegt werden, müssen sie vor Ort (etwa auf einer Flurstücksgrenze) einbetoniert werden.

Der Einbau von Findlingen am Gewässerufer im Einflussbereich von Wellen oder Strömung kann nur filterstabil erfolgen, da die Steine sonst allmählich unterspült werden und in den Untergrund einsinken oder ins Gewässer rollen und dort in die Sohle eingespült werden.

7.1.2.2.3 Künstliche Steine

Schüttsteine aus Beton ggf. aus dem Abbruch von Betonteilen vor Ort sollten im Vergleich zu Natursteinen mit sehr langen Transportwegen im Hinblick auf ihre Umweltbilanz insgesamt diskutiert werden. Negativ ist die starke pH-Wert Erhöhung direkt nach dem Einbau und bei Stahlbetonabbruch die Verletzungsgefahr durch herausragende Eisen zu bewerten. Möglich erscheint ein Einbau an Seeufern bei Vorschüttungen oder bei Sohlaufhöhungen der Stadtbäche jeweils unter einem Natursteindeckwerk.

Betonrohre und Tonröhren können als Fischunterstände eingebaut werden. Hier besteht aber die Gefahr des Bruchs beim Einbau und der Überschüttung.

Betonsteine können als Ankersteine verwendet werden. Ankersteine dienen zur Sicherung von Totholzstrukturen in Gewässern vor Auftrieb und Verdriftung.

Ankersteine können aus Ortbeton mit der Mindestqualität C 25/30 mit der örtlich erforderlichen Expositionsklasse mit einbetonierter Stahlöse bestehen. Besser sind werksmäßig hergestellte Betonfertigteile mit höherer Betonqualität.

Abb. 91: Ankersteine mit einbetonierter Öse

Alternativ können Ankersteine auch aus Findlingen hergestellt werden. In diesem Fall ist eine Öse in den Stein dauerhaft zu verankern.

7.1.2.2.4 Mineralfilter

Mischfilter oder mineralische Filter sind immer dann notwendig, wenn die anstehenden Bodensubstrate keine ausreichende Filterstabilität aufweisen, sodass Steinschüttungen im Untergrund versinken oder der anstehende Boden durch die Bauwerksfugen ausgewaschen wird.

Wo dies fachtechnisch oder formal erforderlich ist z.B. an Bundeswasserstraßen, sollten die Filter nach den Richtlinien der Bundesanstalt für Wasserbau bzw. nach ZTV-W bemessen werden.

Eine einfache Möglichkeit zur Beschaffung mineralischer Mischfilter für die im naturnahen Wasserbau sehr kleinen Mengen sind die weitgestuften Kiessandgemische für Tragschichten des Straßenbaus gemäß ZTVT z.B. Kiestragschicht 0-56. Alternativ können gemäß DIN 4095 auch Betonkiese gemäß DIN 1045 0-32 mm Sieblinie B verwendet werden.

Die Schichtstärke richtet sich nach dem Untergrund. Gemeinhin sind Schichtstärken der Mineralfilter von 0,2 bis 0,3 m ausreichend.

7.1.2.2.5 Schluff und Ton

Für die Dichtung von Stützschwellen in Bächen mit geringen Trockenwetterabflüssen ist die Nutzung von mittelplastischen oder ausgeprägt plastischen Lehm/Ton gemäß DIN 18196 zum Aufbau von Lehmschürzen zur Reduzierung von Sickerwasserströmungen sinnvoll.

Lehm und Ton sind nicht unter Wasser einbaubar, daher ist für ihren Einbau eine Wasserhaltung erforderlich, um in einer trockenen Baugrube arbeiten zu können. Bei sehr geringen Abflüssen kann das Wasser oberhalb gestaut oder um die Baustelle herumgeleitet werden.

Lehm und Tonschürzen sollten möglichst nicht vollständig austrocknen, um durch Trocknungsrisse keine Kurzschlussströmungen durch den Lehmkörper entstehen zu lassen, was die Funktion des Bauwerkes beeinträchtigt.

7.1.2.3 Kunststoff

Der Einsatz von Kunststoffen in der freien Landschaft hat Vor- und Nachteile. Zu den Vorteilen zählen ihre Flexibilität, das geringere Gewicht und Verrottungsresistenz, Kunststoffpfähle werden zudem durch den Biber weniger angenagt als Holzpfähle.

Problematisch ist jedoch ihre geringe UV-Beständigkeit bei Sonneneinwirkung. Außerdem können sie durch Eisschurf beeinträchtigt werden. Kunststoffvliese stellen eine Beeinträchtigung für das Landschaftsbild dar, wenn die oberhalb liegenden Sicherungselemente wie Faschinen oder Erden abgetragen wurden und der Kunststoff frei am Gewässerufer liegen bleibt und sind zudem nicht durchgängig für Bodenlebewesen.

Kleine Kunststoffteilchen (Mikroplastik), die u.a. durch Versprödung und Abschurf von Kunststoff entstehen, werden durch die im Wasser lebenden Organismen aufgenommen, was außerdem gegen eine Kunststoffverwendung spricht.

7.1.2.3.1 Pfähle und Bohlen

Grundsätzlich ist hier in Bezug auf Anwendung und Maßnahmen auf das Kapitel Rundholz in Kap. 6.2.1 zu verweisen. Es kann sinnvoll sein, Kunststoffpfähle als Poller zur Abgrenzung von Fahrspuren zu verwenden. Auch Fischunterstände aus Kunststoffbohlen in Gewässern mit hohen Anforderungen an die Gewässerunterhaltung sind denkbar unter der Voraussetzung, dass möglichst wenig Mikrofasern in die Umwelt gelangen. Bei zeitweise trockenfallenden Bächen kann es sinnvoll sein, die Stulpwände aus Kunststoffbohlen herzustellen.

Abb. 92: Fischunterstand aus Recyclingmaterial mit Auflage aus Vegetationsstücken (links); Poller aus Kunststoff zur Abgrenzung einer Fahrspur an einem Durchlass (rechts).

7.1.2.3.2 Netze und Schnüre aus Kunststoff sowie natürlichen Materialien

In bestimmten Fällen ist es notwendig Bauweisen durch die Überspannung mit Seilen oder Netzen in der Anfangsphase der Sicherung zu unterstützen, bevor z.B. Pflanzenwurzeln diese Sicherungsfunktion übernehmen können. Die folgende Tabelle stellt die Eigenschaften einiger auf dem Markt erhältlicher Materialien gegenüber.

Tabelle 6: Netze und Schnüre aus Kunststoff und natürlichen Materialien (HACKER/JOHANNSEN 2014)

Material	Haltbarkeit	Umweltverträg-lichkeit	Anwendungsbereiche
Sisal		mittel	
Kokos	3 Jahre	hoch	Netzüberspannung für Vegetations- und Mulchschichten, Verbinden von Rundhölzern und Derbstangen, Reisigbündel
Jute	1 Jahr	mittel	Netzüberspannung für Vegetations- und Mulchschichten,
Schafswolle		hoch	Samenmatten, Samenschnüre
Kunststoffe	anfällig gegen UV-Strahlung, ansonsten sehr lange haltbar	gering	Kunststofffilter

7.1.2.3.3 Kunststofffilter als Filter zur Vermeidung von Suffusion und Erosion

Kunststofffilter, auch Geotextil oder Vlies genannt, werden häufig im Wasserbau als Ersatz für mineralische Filterschichten eingesetzt. Sie können z.B. beim Einbau einer Steinschüttung im tieferen Wasser sinnvoll sein, wenn eine dicke Kiesschüttung als Filterschicht nicht mehr eingebracht werden kann. In organischen Böden kommen Kunststofffilter ggf. als Ersatz der Kiesfilter zum Einsatz, weil diese auch einen horizontalen Zugverbund herstellen, wodurch die darauf liegende Steinschüttung ggf. nicht so leicht einsinkt.
Der Einsatz von Kunststofffiltern im Wasserbau sollte kritisch hinterfragt werden. Sie behindern möglicherweise die Durchwurzelung mit Starkwurzeln im Ufer und das Durchwandern von Makrozoobenthos in der Sohle. Damit sinkt die Besiedlungsfähigkeit der Ufer. Natürliche Wurzelfilze als Erosionsschutz können sich nur bedingt entwickeln. Bei einem Versagen der Bauweise (z.B. Verrotten der Faschinen) liegen die Kunststofffilter frei auf der Oberfläche und beeinträchtigen das Landschaftsbild und die ökologischen Funktionen der Ufer.

Abb. 93: Offenliegender Kunststofffilter nach Versagen der Ufersicherung aus Totholz-Faschinen

7.1.2.4 Stahl und andere Metalle

Stahl wird in sehr unterschiedlicher Form für Ufersicherungen verwendet. An Wasserstraßen und in Brückenbereichen werden dickwandige Spundwandprofile eingesetzt. Für Verankerungen werden Stahlketten verwendet.

Dauerhaft wirkende Drahtsteinkästen bestehen aus korrosionsgeschütztem oder rostfreiem Stahl. Für Bindungen, die kurz- oder mittelfristig wirken sollen, kommt Draht ohne Korrosionsschutz zum Tragen. Stahl korrodiert im feuchten und sauren Milieu und in Salzwasser. Es gibt verschiedene Strategien mit der Korrosion umzugehen. Bei Spundwänden und Ketten wird eine Abrostung durch die Materialstärke berücksichtigt. Dünnere Profile oder Drähte werden durch eine Aluminiumverzinkung und/oder Kunststoffbeschichtung vor Korrosion geschützt. Alternativ kann auch rostfreier Stahl verwendet werden.

Drähte, scharfkantige Bleche und Stahlpfähle stellen eine Verletzungsgefahr für Mensch und Tier am Gewässer dar. Derartige Bauteile sollten an Badestellen nicht verwendet werden. Um diese zu vermeiden sollten nur kurze Drahtstücke wie Faschinenbindungen zum Einsatz kommen. Für längere Verbindungsstücke sind z.B. Ketten sinnvoller, da hier die Verletzungsgefahr für Mensch und Tier geringer ist.

7.1.2.4.1 Spundwandprofile, Rammpfähle

Wenn besondere Anforderungen an die Stabilität einer Uferwand gestellt werden, können Spundwandprofile aus Stahl, Rohrpfählen und anderen Walzenprofilen erforderlich werden. Dies ist besonders bei höheren Böschungen der Fall. Vorteil von Spundwänden ist, dass sie einen geringen Platzbedarf aufweisen und sehr lange haltbar sind. Einwirkungen aus Wellen, Treibholz- oder Treibeis werden verkraftet. Die Abrostung wird bei den dicken Walzprofilen durch einen Zuschlag bei der Wahl der Materialstärke berücksichtigt.

Prinzipiell sollten Spundwände nur in Ausnahmefällen zur Anwendung kommen, wo keine andere Sicherungsmethode eine ausreichende Stabilität entwickeln kann. Eine Verzahnung von Gewässer und Ufer ist dann nicht mehr gegeben. Die Spundwand hat keine Funktion als Uferhabitat (naturferne Ufer).

7.1.2.4.2 Rohrstücke als Fischunterstände

Steinschüttungen weisen ein Lückensystem auf, welches von einem klar definierten Spektrum an Kleinlebewesen (Krebsen, kleine Fische) als Lebensraum genutzt wird. Diese Funktion von Steinschüttungen kann erweitert werden, indem z.B. in Form von Rohrstücken oder Kästen Fischunterstände angeboten werden, die auch größeren Fischen als Unterschlupf dienen können.

Auch wenn diese Art der ökologischen Aufwertung nur sehr eingeschränkt ist, kann dennoch der Wert der Steinschüttung oder auch einer Stahlspundwand (hier können die Rohrstücke ggf. angeschraubt werden) gesteigert werden. Einsatzbereiche sollten jedoch auf technisch stark ausgebauter Gewässer beschränkt werden.

7.1.2.4.3 Drahtgeflechte, Drahtsteinwalzen oder Drahtsteinkörbe

Oberhalb einer bestimmten Hochwasserlinie und damit außerhalb des Einflussbereiches von Eisschurf und Geschiebeschliff können Drahtsteinwalzen oder Drahtsteinkörbe zur Sicherung von Böschungen verwendet werden. In diese werden anfallende oder gelieferte Steine eingebaut.

Je nach Einsatzgebiet sollten diese Geflechte aus nichtrostendem Stahl bestehen oder mit Aluminiumspezialverzinkung, Verzinkung und ggf. Kunststoffbeschichtung versehen sein. Die Haltbarkeit solcher Drahtkörbe beträgt mehrere Jahrzehnte, solange Sandschliff oder Eisgang die Geflechte nicht angreifen können.

Auch Vandalismus ist möglichst auszuschließen, da eine Reparatur zerstörter Kästen nur sehr schwer erfolgen kann. Außerdem ist der dann in die Umwelt gelangende offene Draht eine beständige Gefahrenquelle für Mensch und Tier.

7.1.2.4.4 Bindedrähte – unbehandelt für vorübergehende Sicherungen

Wenn geringere Anforderungen an die Beständigkeit von Bindedrähten gestellt werden, können auch unbehandelte Eisen Verwendung finden. Diese sind je nach Stärke nach 3-10 Jahren aus der Landschaft verschwunden.

Einsatzgebiete sind z.B. Bindungen von austriebsfähigen Faschinen oder Spreitlagen. Die Drähte sollten jedoch auch nur als kurze Stücke zum Einsatz kommen um eine Verletzungsgefahr von Mensch und Tier zu vermeiden.

7.2 Sammlung umgesetzter Beispiele ingenieurbiologischer Bauweisen

7.2.1 Sandgeprägter Fluss - Uferstrukturierung in der Schnellen Havel

Die Schnelle Havel erstreckt sich mit einer Gesamtlänge von 46,4 km zwischen Zehdenick und Oranienburg. Auf dem Abschnitt von km 20+900 bis 25+600 sollten zur Erreichung des guten ökologischen Zustandes und zur Verbesserung der Strukturvielfalt die Ufer- und Sohlstrukturen aufgewertet werden. Die Maßnahme wurde im Auftrag des Landesamtes für Umwelt Brandenburg, Abteilung W26 geplant und umgesetzt.

Das Hauptziel aller Maßnahmen war die Annäherung an das Referenzgewässer Typ 15_g (sandgeprägten Tieflandfluss). Dieser verlangt u.a. Fließgeschwindigkeiten von ca. 0,2 bis 0,4 m/s. Es wurden folgende Einzelmaßnahmen durchgeführt: Uferabflachungen, Profilaufweitungen, Buhneneinbau, Totholzeinbau, Anlegen von Kiesdepots, Flachwasserzonen (Bermen) herstellen, Gewässerverzweigungen und Gehölzpflanzungen auf ca. 50 % der Gesamtstrecke. Die Maßnahmen wurden 2014/2015 umgesetzt.

7.2.1.1 Ausgangssituation

Im Zuge des Projektes zur Revitalisierung der Schnellen Havel wurde die Gewässerstrukturgüte vor Umsetzung der Maßnahmen erhoben. In der folgenden Tabelle wird die Gewässerstrukturgüte im betroffenen Gewässerabschnitt dargestellt.

Tabelle 7: Aktuelle Gewässerstrukturgüte im Planungsgebiet

Parameter	**Schnelle Havel Stationierung**					
	25+400	**24+600**	**24+200**	**23+000**	**21+600**	**21+200**
Land	3	3	3	3	3	3
Ufer	2	2	4	2	3	3
Sohle	4	3	5	5	5	5
gesamt	3	3	4	3	4	4
	Bewertung der maßnahmenrelevante Einzelparameter					
Laufentwicklung	4	5	5	3	5	5
Längsprofil	4	6	6	4	5	6

Wie anhand der Tabelle zu sehen ist, gibt es insbesondere im Sohlenbereich größere Defizite. Die Sohle besteht überwiegend aus schlammigen Materialien, da der Gewässertyp jedoch sandige Sohlenstrukturen erfordert, wird diese als 5 = stark verändert eingestuft. Für die Erreichung des guten ökologischen Zustandes laut Wasserrahmenrichtlinie muss hingegen mindestens eine Gewässerstrukturgüte von 3,5 (zwischen 3 = mäßig verändert und 4 = verändert) erreicht werden. Schaut man sich die Bewertung der Parameter genauer an, so erkennt man, dass insbesondere der Einzelparameter Laufentwicklung durchschnittlich als schlecht (4,5) bewertet wurde. Der Einzelparameter Längsprofil ist mit durchschnittlich 5 ebenfalls als schlecht bewertet. Das Umland ist durch die extensive Grünlandnutzung, aber durch Weideflächen durchweg als mäßig verändert einzustufen.

Es war eine deutliche Aufwertung der Einzelparameter Laufentwicklung und Längsprofil erforderlich, um die hydromorphologischen Voraussetzungen zu schaffen, dass der Gewässerabschnitt den guten ökologischen Zustand erreichen kann.

7.2.1.2 Maßnahmen

Die geplanten Maßnahmen passten sich jeweils an die Breite der zur Verfügung stehenden Flurstücke an. Benachbarte Flächen wurden nur für die Zeit der Baumaßnahmen in Anspruch genommen und danach wieder in ihren ursprünglichen Zustand versetzt.

Bei allen Strukturmaßnahmen war darauf zu achten, dass der effektive Abflussquerschnitt mit einer Wasserspiegelbreite bzw. Sohlenbreite von 5 m zur Erreichung der Ziele für die Fließgeschwindigkeiten nicht unterschritten wird. Weiterhin ist das Abflussprofil von Verklausungen oder starkem Röhrichtbewuchs freizuhalten.

Modul Uferabflachung

Im Planungsabschnitt herrschten überbreite Profile und Böschungen mit einer Neigung von 1:2 und 1:1 vor. Durch die vergleichsweise geringen Abflüsse und niedrigen Fließgeschwindigkeiten wuchs das Profil sukzessive mit Schilf zu. Durch die Entwurfshydraulik wurden optimale Fließbreiten von 5 m für die Schnelle Havel definiert. Mit dem gegebenen Abfluss von zukünftig 1,5 m^3/s bei Mittelwasser bilden sich bei einer Stromrinnenbreite von ca. 5 m ausreichende Fließgeschwindigkeiten für einen sandgeprägten Tieflandfluss (rund 0,2 m/s) aus.

Die Uferabflachung wurde mit einer Neigung von 1:10 bis 1:8 hergestellt. Dafür wurde die Vegetationsschicht mit einer Wurzelschicht (Röhrichte) von ca. 15 cm gelöst und im Uferrandstreifen auf Mieten zwischengelagert. Anschließend wurde der Mutterboden abgezogen und ebenfalls seitlich in Mieten von maximal 1,5 m Höhe zur weiteren Verwendung zwischengelagert. Im Anschluss wurde die vorhandene Böschung abgeflacht, indem der anstehende sandige Mineralboden in das Gewässer bis zur gewünschten Böschungsneigung gezogen wurde. Dabei wurde der Böschungsfuß so hergestellt, dass eine 5 m breite Sohle in der Schnellen Havel erhalten bleibt.

Nach Herstellung der gewünschten Böschungsneigung sollten die buhnenartig in das Gewässer vorspringenden Böschungsfüße mit Totholzfaschinen gegen Erosion ingenieurbiologisch gesichert werden. Hierfür sind nicht austriebsfähige Faschinen mit einem Durchmesser von 20-25 cm verwendet worden. Die Faschinen wurden mit Pfählen (Durchmesser 10 cm, Länge 1,50 m) am Boden verankert. Alternativ wurde eine 10 cm starke Kiesschicht (Körnung 0/32 mit keinen oder sehr geringen 0-Anteilen) auf die neue Böschung und die Sohle ausgebracht, um die Anfangserosion bis zur Stabilisierung des Erdreiches einzudämmen. Gleichzeitig wurde dadurch typisches Sohlenmaterial gezielt in das Gewässer eingebracht.

Oberhalb der Faschinen wurden im Bereich der Böschung zwischen Niedrigwasser und Mittelwasser die bereitgehaltene Vegetationsschicht mit Röhricht-Rhizomen über den Rohboden gerieselt und angedrückt. Eine Überspannung war aufgrund fehlender oder sehr seltener Hochwasserabflüsse nicht erforderlich.

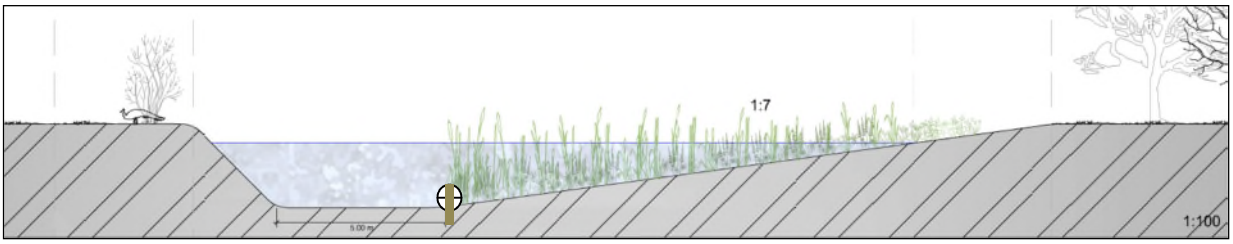


Abb. 94: Prinzipskizze Uferabflachung mit Röhrichtbewuchs und Faschinensicherung am Böschungsfuß

Modul Uferbermen, Flutmulden und Tümpel

Die Anlage von waagerechten Uferbermen erfolgte ca. 20 cm unter Mittelwasser, um regelmäßig überströmte Flachwasserbereiche zu ermöglichen. Die Breite variiert in Abhängigkeit von der örtlich zur Verfügung stehenden Flurstücksgröße. Die Böschungen zwischen Berme und Auengelände wurden mit einer Neigung von 1:2 hergestellt.

Auf der rohbodengeprägten Berme erfolgte kein Auftrag von Oberboden oder einer Vegetationsschicht. Die Bermen wurden der freien Sukzession überlassen. Auf der Böschung wurden Steckhölzer örtlich gewonnener Weiden gesetzt. Diese wurden nicht gegen den Biber geschützt und sind daher zu einem großen Teil ausgefallen. Einige Erlen haben sich selbst auf den Rohböden angesiedelt.

Einige Uferbermen wurden mit Weidenspreitlagen gesichert. Diese Bauweise war geeignet, bereits im ersten Jahr einen hohen Aufwuchs zu erzeugen und die Berme insbesondere auf der Südseite des Gewässers zu beschatten. Dadurch wurden schnelle Unterschlupfmöglichkeiten für die Fischbrut und Unterstände für größere Fische bei höheren Wasserständen geschaffen. Eine Abflussbehinderung ist durch die Weidengebüsche durch die erfolgte Aufweitung über Mittelwasser nicht gegeben.

Abb. 95: Materiallagerung Steckhölzer (links) und eingebautes, ausgetriebenes Steckholz (rechts)

Modul Kiesbänke, Kiesdepots

Es wurden Kiesdepots im Gewässer angelegt. Dies diente im Wesentlichen zwei Zielen. Zum einen stellt der Kies eine Fraktion des natürlichen Sohlensubstrats im Gewässer dar. Er war im Gewässer kaum vorhanden. Außerdem entstehen durch die Gewässereinengungen höhere

Fließgeschwindigkeiten, wodurch der Kies zur Anfangs-Stabilisierung der Sohle und Böschungsfüße verwendet wird. So ist abschnittsweise der Böschungsfuß mit einer 10 cm dicken Kiesschicht gegen Erosion zu sichern.

Abb. 96: Kiesdepots bei extremen Niedrigwasser

Modul Profileinengungen

Die Vermessung von repräsentativen Gewässerprofilbreiten im Mai 2013 ergab einen durchschnittlichen Wert von 14,00 m. Die schmalste Stelle betrug knapp 11,00 m, die breiteste etwa 21 m.

Zur effektiven Einengung des Stromstriches auf 5 m und zur Erhöhung der Strömungsdiversität wurden Buhnen aus Packwerken abschnittsweise wechselseitig hergestellt. Die Buhnen führen zu Ungleichförmigkeiten im Gerinne, die das Strömungsbild turbulenter gestalten. Der verbleibende Abflussquerschnitt zwischen den jeweiligen Köpfen der Packwerke (Buhnen) durfte einen Abstand von 5 m nicht unterschreiten, der Abstand eines Buhnenkopfes zur gegenüberliegenden Gewässerseite sollte einen Abstand von 8 m nicht unterschreiten. Dadurch wird die Neutralität der Maßnahme für die Mittelwasserabflüsse im Hinblick auf die einzuhaltende Abflussrinne von 5 m Breite weitgehend gewährleistet.

In den Teilgebieten 1 und 3 wurden Buhnen aus Packwerken hergestellt. Die Buhnen führen punktuell zur Erhöhung der Fließgeschwindigkeit, so dass sich ein Stromstrich herausbilden kann, der sich selbst von Bewuchs und von Schlamm freihält.

Abb. 97: Beispiel für die Entstehung einer Packwerksbuhne aus Faschinen

Die Packwerke stellen gesicherte strukturreiche Buhnen dar. Es werden 3 - 5 m lange Kiefern- oder Robinienpfähle mit ca. 20 cm Durchmesser in Buhnenform in den Untergrund eingedrückt, sodass sie bis zur geplanten Zielhöhe aufragen. Sie sollten mindestens 2 m und zu $^{2}/_{3}$ im Untergrund verankert sein. Zwischen den Pfählen wurden Faschinenpackungen (Totholzfaschinen) lagenweise eingebaut. Nach jeder Lage wird in den Zwischenräumen der bei den Uferabflachungen gewonnene Erdstoff in einer Schichtstärke von 10 cm eingebaut.

Modul Totholz

Örtlich wurde Totholz eingebaut. Dies erfolgte in der Art, dass Stämme mit Astwerk, auch Wurzelwerk, zu ca. $^{1}/_{2}$ bis $^{2}/_{3}$ in das Ufer eingegraben wurden. Dadurch wird das Holz bei hohen Wasserständen vor Aufschwemmen geschützt. Das Totholz wurde so eingebaut, dass mindestens eine Wasserfläche von 8 m bis zum gegenüberliegenden Ufer und 5 m Sohlenbreite offenbleiben, um die Gewässerunterhaltung nicht zu beeinträchtigen.

Abb. 98: Eingebautes, verzweigtes Totholz mit Sicherung durch Ballaststeine (links oben) und eingraben (rechts)

Modul Initiieren von Prallhängen

Im Bereich von Prallhängen wurde die vorhandene Vegetation abgetragen und die Uferböschung verletzt, um lokal die Bildung eines Prallhanges zu intensivieren. Zum Schutz des Grünlandes wurde dieser Prallhang zur Flurstücksgrenze hin abgepflanzt.

Modul Anschluss eines Altarmes

Wie der historische Verlauf der Schnellen Havel zeigt, ist im offenen Talgrund Mäanderbildung typisch. Bei Station 24+700 wurde der Altarm beidseitig angeschlossen, der vorhandene Gewässerlauf blieb offen, wurde jedoch mit einer Sohlschwelle versehen, so dass eine Gewässerverzweigung entstand. Die Schwellenkrone wurde ca. 10 cm unter der Mittelwasserlinie eingebaut. Um die Querschnittseinengung durch die Anlage der Schwelle auszugleichen, wurde die Böschung an der neu zu errichtenden Sohlschwelle aufgeweitet und somit der hydraulische Radius vergrößert. Dadurch konnte die Hochwasserneutralität der Maßnahme für den Oberlauf sichergestellt werden.

Abb. 99: Frisch angeschlossener Altarm mit in Entstehung begriffener Mittelwasserschwelle im alten Hauptlauf, Prallhang und Packwerksbuhne zur Einengung und Lenkung des Stromstrichs.

Modul Gehölzpflanzungen

Die Uferstrukturierung enthält neben Uferabflachungen und Profileinengungen auch Gehölzpflanzungen. Dazu wurden Gehölzarten der Weichholz- und Hartholzaue verwendet. Die u.g. Baumarten sind je nach vorhandenen Standorttypen zu wählen. Vorwiegend waren Gehölzarten mit hoher Überstauungstoleranz, wie z.B. Weidenarten, für die Bepflanzung in den unteren Böschungsbereichen zu verwenden. Auf den Böschungsoberkanten kamen überwiegend die Arten der Hartholzaue zur Verwendung. Ziel der Uferbepflanzung war die Beschattung von Teilbereichen des Gewässerlaufes und damit eine Senkung des Unterhaltungsaufwandes, die Bevorteilung einer eigendynamischen Gewässerentwicklung.

7.2.1.3 Ergebnis und ökologische Aufwertung

Durch die Maßnahme konnten die Defizite der Gewässerstrukturgüte für die Sohle im Maßnahmenabschnitt ausgeglichen werden. Die Bauwerke sind stabil und wirksam. Eine Überprüfung der biologischen Qualitätskomponenten (Fische, Makrozoobenthos) im Hinblick auf Erfüllung der Ziele der WRRL steht aus.

Abb. 100: Bilder aus der Abnahme Pflege im Jahr 2016 – 1-2 Jahre nach Umsetzung der Maßnahme

7.2.2 See: Einbau von Totholz im Großen Mochowsee

Durch einen Biber wurden am Großen Mochowsee zwischen Lamsfeld und Auslauf Möllnseegraben im Winter 2015/2016 mehrere Bäume so stark angenagt, dass sie bruchgefährdet waren. Diese Bäume stellten eine Gefährdung der Verkehrssicherheit für den, entlang des Ufers des Großen Mochowsees verlaufenden, Wanderweg dar.

Verantwortlich für die Verkehrssicherheit des Wanderweges ist die Gemeinde Lamsfeld. Die Gemeinde wandte sich an das Landesamt für Umwelt Brandenburg (LfU) mit der Bitte, ob die zu fällenden Bäume als Strukturierungsmaßnahmen für den Großen Mochowsee und als Pilotmaßnahme zur Anreicherung von Gewässerstrukturen in der Ufer- und Gelegezone des Sees genutzt werden können.

Das LfU beauftragte daher das Büro für Ingenieurbiologie, Umweltplanung und Wasserbau damit, Wege für den sicheren und langfristigen Einbau des Totholzes zu entwickeln und in Form einer ökologischen Baubegleitung den Einbau der Bäume am Ufer des Sees fachlich zu begleiten.

7.2.2.1 Ausgangssituation

Im Rahmen einer Begehung mit der Gemeinde, der UNB und dem LfU wurden die Bäume gekennzeichnet, die umfangreiche Verbissspuren des Bibers aufwiesen und voraussichtlich im kommenden Jahr eine Gefährdung für die Verkehrssicherheit des Wanderweges dargestellt hätten.

Einige der betroffenen Bäume waren bereits massiv bruchgefährdet (z.B. linkes Bild) und drohten, auf den Wanderweg und auf eine Steganlage zu fallen.

Abb. 101: Bruchgefährdete Bäume am Großen Mochowsee mit Steganlage (linkes Foto) und Wanderweg (beide Fotos) im Hintergrund (Fotos Isabell Hiekel)

Es wurden 13 Bäume festgestellt, die durch den Biber so stark geschädigt waren, dass sie in absehbarer Zeit umgebrochen wären. Dabei waren neben dem Wanderweg auch zwei Stege von Anwohnern sowie diverse Treppen zu den oberhalb des Weges gelegenen Anwesen gefährdet.

Durch die Untere Naturschutzbehörde des Landkreises Dahme-Spree wurde die Genehmigung erteilt, dass diese 13 Bäume gefällt werden konnten.

Tabelle 8: Kennzeichnung und Größe der geschädigten Bäume und Art der Sicherung

Nummer	Baumart	Stammdurchmesser	Anmerkung
1	Espe	30 cm	rechts neben Steg fallen lassen, keine zusätzliche Befestigung
2	Espe	20 cm	stückeln, schadlos niederlegen, Krone im Wasser, Holz am Wegrand
3	Stiel-Eiche	40 cm	senkrecht in Gewässer fallen lassen, keine zusätzliche Befestigung
4	Espe	10 cm	stückeln, schadlos niederlegen, Holz am Wegrand
5	Espe	30 cm	senkrecht in Gewässer fallen lassen, keine zusätzliche Befestigung
6	Espe	40 cm	senkrecht in Gewässer fallen lassen, Pfahlsicherung
7	Espe	30 cm	senkrecht in Gewässer fallen lassen, keine zusätzliche Befestigung
8	Erle	40 cm	senkrecht in Gewässer fallen lassen, Sicherung mit Draht und Bolzen am Nachbarbaum
9	Espe	30 cm	senkrecht in Gewässer fallen lassen, keine zusätzliche Befestigung
10	Erle	40 cm	senkrecht in Gewässer fallen lassen, Sicherung mit Kette
11	Espe	20 cm	senkrecht in Gewässer fallen lassen, keine zusätzliche Befestigung
12	Rot-Eiche	30 cm	senkrecht in Gewässer fallen lassen, Pfahlsicherung
13	Espe	20 cm	senkrecht in Gewässer fallen lassen, keine zusätzliche Befestigung

Durch die Gemeinde Lamsfeld wurden die Grundstückeigentümer ermittelt und die Zustimmung der Grundstückseigentümer zu den Fällarbeiten auf ihrem Grundstück, sowie zum Einbau des Holzes in die Gelegezone des Großen Mochowsees eingeholt. Zusätzlich wurde das Einverständnis des Fischereipächters des Großen Mochowsees (Herr Richter) eingeholt.

Es wurde gemeinsam mit der Gemeinde und den unteren Behörden festgelegt, dass die gefährdeten Bäume so gefällt werden, dass sie mit der Krone in den See stürzen. Dabei war darauf zu achten, dass kein Schaden am Eigentum Dritter entsteht. Außerdem sollte der Wanderweg frei bleiben.

Für jeden Baum wurde festgelegt, in welche Richtung er fallen sollte und wie er im Anschluss zu befestigen war (siehe obenstehende Tabelle). Das Ziel bestand darin, verschiedene Methoden der Befestigung und ihrer Wirkung im Verlauf des laufenden Jahres zu beobachten und Erfahrungen für andere Maßnahmen am Großen Schwielochsee daraus abzuleiten.

7.2.2.2 Befestigung des Totholzes am Ufer

Im Rahmen der Maßnahme sollten verschiedene Möglichkeiten ausprobiert werden, das Totholz dauerhaft in der Gelegezone festzulegen. Vier Varianten wurden experimentell durchgeführt:

- keine Befestigung
- Pfahlsicherung
- Sicherung mit Kette
- Sicherung an einem benachbarten Baum

Im Folgenden werden die verschiedenen Befestigungsmethoden kurz dargestellt.

A Keine Befestigung

Mehrere Bäume stehen zwei oder mehrere Meter vom Ufer entfernt. Beim Fällen der Bäume stürzt die Krone in den Flachwasserbereich, das schwere Stammende kommt jedoch auf dem Ufer und dem festen Land zum Liegen.

Es wird davon ausgegangen, dass diese Bäume durch Wellenschlag oder Windeinwirkung nicht mehr bewegt werden können. Der Große Mochowsee hat im Maßnahmenbereich nur eine Breite von ca. 400m, so dass die auf den Baum wirkenden Kräfte nicht groß sind.

Das Gewicht des Stammteiles auf dem festen Land wird in diesen Fällen als ausreichende Sicherung betrachtet.

Abb. 102: Art der Ablage der gefällten Bäume auf dem Ufer des Großen Mochowsees, die Kronen liegen in der Flachwasserzone.

Folgende Bäume wurden mit dieser Methode behandelt: 1-5, 7, 9, 11, 13

B Pfahlsicherung

Eine gängige Methode, Bäume im Wasser zu befestigen, ist die Pfahlsicherung. Hierfür werden zwei Pfähle rechts und links neben dem im Wasser liegenden Stamm möglichst zu $^2/_3$ in den Untergrund eingeschlagen. Im vorliegenden Fall wurde dann mit dem Holzbohrer ein Loch durch den Hauptstamm gebohrt und Draht (2 mm) doppelt durch den Stamm gezogen. Dieser Draht wurde rechts und links an den Pfählen so befestigt, dass er ein gewisses Spiel hat, jedoch nicht von den Pfählen abrutschen kann.

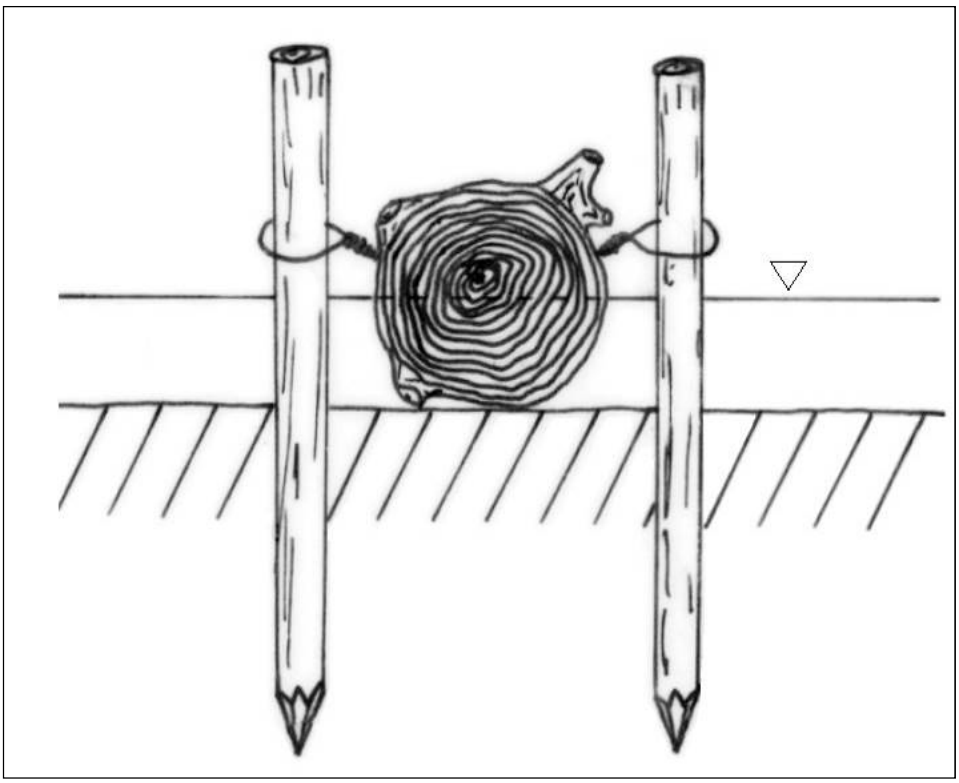


Abb. 103: Schematische Darstellung der Pfahlsicherung

Diese Art der Sicherung wurde für 2 Bäume vorgenommen: 6, 12.

Der Stamm wurde nicht fest am Draht und an den Pfählen befestigt, um im Fall von Wellenschlag keine Bewegungsenergie auf den Pfahl auszuüben und diesen nicht zu lockern. Die obenstehende Abbildung zeigt eine schematische Darstellung der Sicherung.

Für die Sicherung des Stammes wurden 2 m lange, ca. 7 cm im Durchmesser starke Robinienpfähle verwendet, die unten angespitzt waren. Diese Pfähle wurden mit dem Holzhammer von Hand mehr als 1 m tief in den Untergrund geschlagen. Der Draht wurde mehrfach verrödelt. Die folgenden Bilder zeigen die Pfahlsicherung nach Umsetzung.

Abb. 104: Pfahlsicherung nach Umsetzung am Großen Mochwosee

C Sicherung mit Kette

Alternativ zum Draht wurde nach einer Lösung gesucht, den Stamm mit Hilfe einer stabileren Kette an Ort und Stelle dauerhaft festzulegen. Dabei sollte der Baum mit Hilfe der Kette und einem Schloss an seinem eigenen Stuppen befestigt werden.

Vor dem Fällen des Baumes wurden zu diesem Zweck mit dem Holzbohrer zwei ausreichend große Löcher durch den Baumstamm gebohrt. Die Bohrungen wurden jeweils 20 - 50 cm oberhalb und unterhalb der geplanten Schnittstelle angelegt. Nach dem Fällen des Baumes wurde die ca. 15 mm starke Kette durch den im Wasser liegenden Stamm und im Anschluss durch den noch stehenden Stubben gezogen und die Enden mit einem einfachen Schnappschloss verbunden.

Abb. 105: Kettensicherung nach Umsetzung am Großen Mochowsee

Durch Eigenbewegungen kann es passieren, dass das Loch des im Wasser liegenden Stammes schlecht erreichbar ist. In diesem Fall kann das Loch auch nachträglich gesetzt werden.

Die folgende schematische Abbildung zeigt eine solche Sicherung.

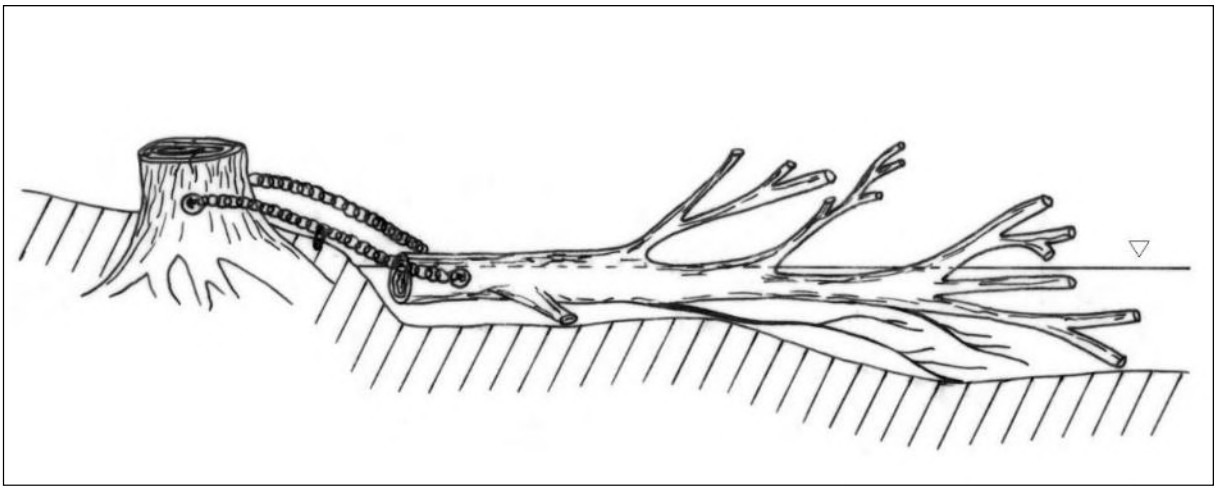


Abb. 106: Schematische Darstellung der Kettensicherung

D Sicherung an einem benachbarten Baum

Die Sicherung an einem benachbarten Baum ist eine Kombination zwischen den Varianten 2 und 3. Hier wurde mit der Kettensäge ein Schlitz in den Stamm gesägt. Nach dem Fällen wird um diesen Schlitz ein Draht geschlungen (möglichst doppelt) und mit Hilfe eines Bolzens am eigenen Stuppen oder an einem benachbarten, am Ufer stehenden Baum befestigt.

Die Drahtverbindung sollte möglichst straff sein, um den Bewegungsspielraum des Stammes und damit die Krafteinwirkung auf den Draht einzuschränken.

Abb. 107: Drahtsicherung nach Umsetzung am Großen Mochowsee, zu locker gebunden!

Diese Art der Sicherung wurde für einen Baum vorgenommen: 8.

Die folgende schematische Abbildung zeigt eine solche Sicherung.

7.2.2.3 Ergebnis und ökologische Aufwertung

Im Zuge der Maßnahme wurden 13 bruchgefährdete Bäume gefällt. Alle Bäume wurden so gefällt, dass sie mit der Krone im Wasser zum Liegen kamen. Dadurch wurde die Gelegezone im Großen Mochowsee auf einer Strecke von 500 m deutlich aufgewertet.

Die Kronen der Bäume sind halb untergetaucht. Sie bieten ein feines Gewirr an Ästen und Zweigen, welche unter Wasser nur langsam verrotten. Die Bäume selbst strukturieren die Gelegezone zusätzlich und verhindern, dass die Röhrichte von Wassersportlern befahren werden.

Es kann davon ausgegangen werden, dass die Maßnahme dazu geeignet war, die ökologische Vielfalt und den Habitatreichtum des Ufers des Großen Mochowsee in diesem Bereich deutlich zu erhöhen.

Abb. 108: Eindrücke vom Ufer des Sees nach Umsetzung der Maßnahme

Es wird empfohlen, 2-5 Jahre nach Umsetzung der Maßnahme, die Befestigung der Bäume zu kontrollieren und auszuwerten, welche Sicherungsmethoden sich bewährt haben und ob eine Sicherung an Seeufern grundsätzlich notwendig ist oder ob auf dem Ufer liegende Stämme genügend Eigenhalt besitzen.

Nach Aussage des Ausführenden sind alle drei genutzten Befestigungsmethoden ausführbar. Die Umsetzung wird als ca. doppelt bis dreifach so aufwändig betrachtet, wie eine reine Fällung.

Bei zukünftigen Maßnahmen sollte die Stärke der Sicherungsmaterialien (Kette, Draht) klar vorgegeben werden, um die Verwendung von ausreichend stabilen Hilfsmitteln zu garantieren.

7.2.3 Renaturierung der Föritz

Die Föritz ist ein Fließgewässer II. Ordnung und fließt im Vorland des Thüringer Schiefergebirges im Landkreis Sonneberg im Buntsandsteingebiet. Der Renaturierungsabschnitt ist ca. 2,5 km lang und erstreckt sich von der Landesgrenze Thüringen / Bayern bis zur Ortslage Sichelreuth. Die Maßnahme wurde 2002/2003 umgesetzt.

Die Vattenfall Europe Generation AG & Co. KG realisierte die Föritzrenaturierung, um die projektbedingten Eingriffe des Pumpspeicherwerkes Goldistal in Natur und Landschaft zu kompensieren.

In Abstimmung mit dem Freistaat Thüringen, dem Amt für Landentwicklung und Flurneuordnung Meiningen, dem Thüringer Landesverwaltungsamt Weimar, der Oberen Naturschutzbehörde und Oberen Wasserbehörde, dem Staatlichen Umweltamt Suhl, dem Landkreis Sonneberg, der Gemeinde Neuhaus-Schierschnitz, dem Verband für Landentwicklung und Flurneuordnung sowie den Teilnehmergemeinschaften der Flurbereinigungsverfahren Rotheul und Sichelreuth wurde die Renaturierung der Föritz verwirklicht. Durch die Anwendung der Instrumente der Landentwicklung, Flurbereinigung sowie Bodenmanagement war es möglich, den für die Renaturierung erforderlichen Konsens im Genehmigungsverfahren zu erzielen und den Grunderwerb zu tätigen.

Mit dem Vorhaben wurden die folgenden Renaturierungsziele verfolgt:

- Initialisierung einer vielfältigen Gewässermorphologie
- schnelle Entwicklung naturnaher Strukturen
- Förderung natürlicher Fließgewässerdynamik
- Herstellung des Biotopverbundes im Gewässer
- Förderung einer hohen Substratdiversität durch unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten
- Revitalisierung der gesamten Aue im Renaturierungsabschnitt
- Erhaltung und Förderung des im Unterlauf noch vorhandenen Bachmuschelvorkommens durch die Schaffung neuen Lebensraumes und die Ermöglichung der weiteren Ausbreitung
- Verbesserung der Biotopstrukturen für einheimische Fischarten wie z.B. Bachneunauge
- Verbesserung der Selbstreinigungskraft des Gewässers
- Ausgleich der Wasserführung (Niedrigwasser, Hochwasser)
- Berücksichtigung der angrenzenden Nutzungsinteressen

Um zu überprüfen, wie sich die verschiedenen Renaturierungsmaßnahmen auswirken, wurde nach Abschluss der Bauarbeiten ein 10-jähriges Beobachtungsprogramm begonnen.

7.2.3.1 Ausgangssituation

Vor der Renaturierung befand sich dieser Föritzabschnitt in einem naturfernen Zustand. Die Föritz war begradigt und die Ufer mit Rasengittersteinen oder Steinpackungen gesichert. Die Gewässerstrukturgüte bewegte sich im Bereich 5, befand sich also für alle Parameter in einem stark veränderten Zustand, nur das Umfeld war aufgrund der überwiegenden Grünlandnutzung besser beurteilt.

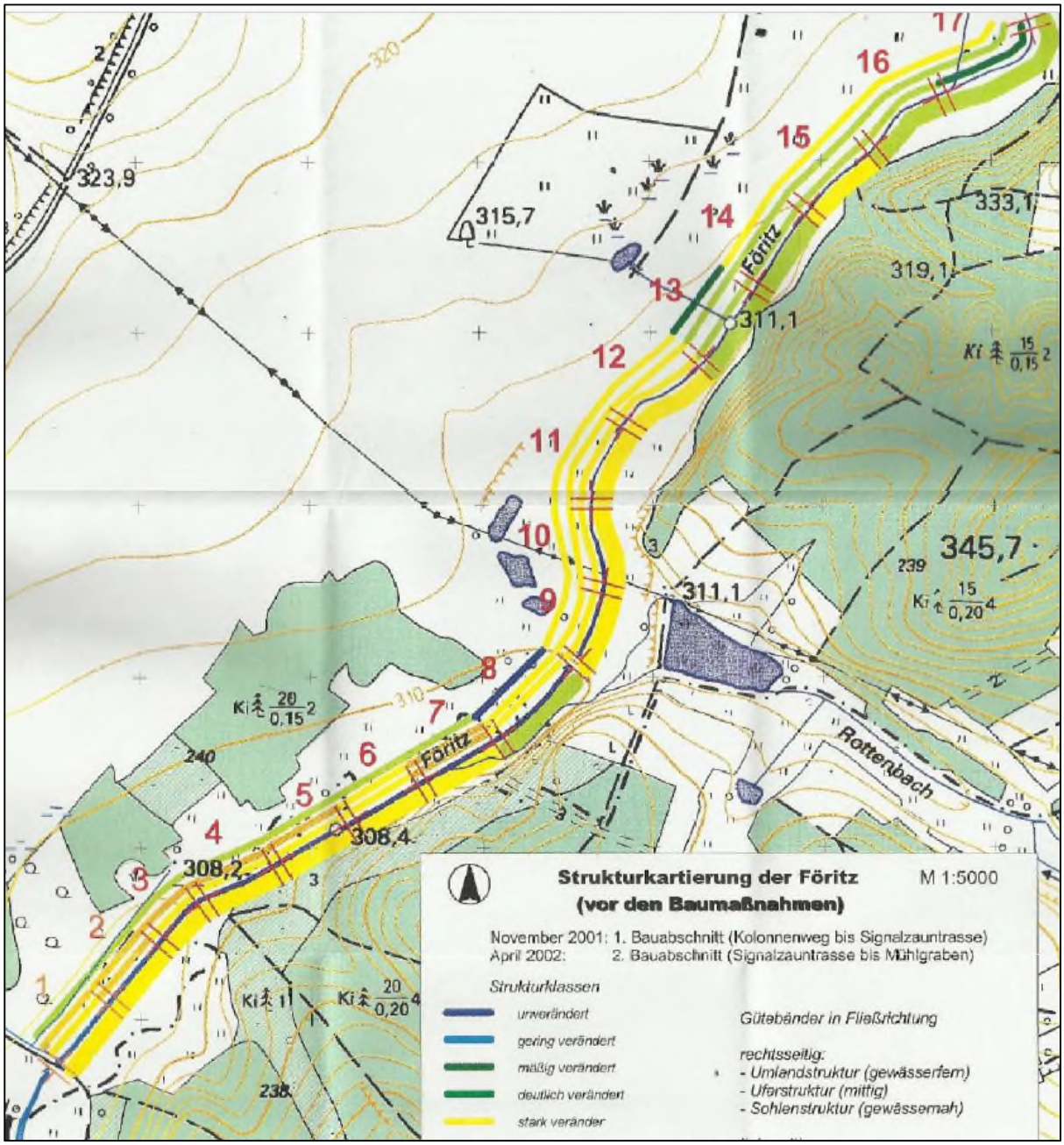


Abb. 109: Ausgangszustand der Gewässerstruktur an der Föritz vor Maßnahmenumsetzung (Quelle JOHANNSEN & SPUNDFLASCH 2015)

7.2.3.2 Umgesetzte Maßnahmen

Der neue Gewässerverlauf wurde als reich strukturierter, sich stark windender bis mäandrierender Bachverlauf durch Erdbaumaßnahmen hergestellt. Der anfallende Erdstoff wurde abtransportiert bzw. in Teilen des vorhandenen naturfernen Gewässerbettes verfüllt. Das neue geschwungene Bachbett bezieht abwechselnd vorhandene Gewässerabschnitte in seinen neuen Verlauf ein. Die noch unter den naturfernen Bedingungen an der Bachsohle lebende Gewässerfauna hatte dadurch die Möglichkeit, die neuen Fließabschnitte zu besiedeln.

Abb. 110: Auszug aus der Entwurfsplanung zur Renaturierung Föritz (JOHANNSEN/SPUNDFLASCH 2000)

In dem renaturierten Bachabschnitt wurde die Gewässersohle angehoben. Die neue Sohlhöhe liegt leicht über dem alten Mittelwasserstand. Der Erdaushub konnte somit über dem Grundwasserspiegel ohne Wasserhaltung erfolgen, die frisch hergestellten Böschungen sind dadurch standsicher. Die Überschwemmungshäufigkeit der Aue wurde erhöht.

Am neuen Gewässerbett wurden zum Schutz der angrenzenden Nutzungen gegen ein unkontrolliertes Verlagern des neuen Bachbettes verschiedene ingenieurbiologische Sicherungsmethoden eingebaut:

- Faschinensicherung
- Spreitlagen
- Vegetationsandeckung mit Schutz aus Kokosnetz
- Steckhölzer

Durch entsprechende Erdbau- und ingenieurbiologische Sicherungsmaßnahmen entstanden vielfältige Strukturen. Sie führten zu einer raschen Entwicklung naturnaher Bedingungen am Gewässer.

Abb. 111: Selbstbegrünung durch Vegetationsandeckung unter Kokosnetz (links), leichte Sicherungen aus Faschinen, Steckhölzern und Jutegewebe zur Minderung zu starker Erosion am Anfang der Gewässerentwicklung (rechts)

Der renaturierte Föritzabschnitt einschließlich seiner Aue ist im unteren Bereich Bestandteil eines Naturschutzgebietes. Bach und Aue bilden nun wieder eine Einheit. In den Revitalisierungsabschnitten wurden naturnahe Verhältnisse in der Aue durch z.B. jährliche Überflutungen wiederhergestellt.

Durch unterschiedliche Fließgeschwindigkeiten in dem mäandrierenden Bachbett sowie durch verminderte Sanderosion in Folge geringerer durchschnittlicher Fließgeschwindigkeiten entstehen Bereiche mit unterschiedlichen Substratkörnungen an der Sohle. Die Strukturvielfalt wurde durch verschiedene leichte ingenieurbiologische Sicherungen an den Prallhängen der neu gestalteten Bachschlingen bis hin zu leichten Steinschüttungen in Abschnitten mit starker hydraulischer Belastung erhöht. Derartige Bedingungen sind für zahlreiche Tiere, welche die Gewässersohle besiedeln, lebenswichtig, z.B. Muscheln.

Eigendynamische Prozesse sollten im Anschluss das Gewässerbett verlagern, so dass zumindest mittelfristig sich ein anderes Bild des Bachlaufes einstellen wird.

7.2.3.3 Ergebnis und ökologische Aufwertung

Die Strukturgütekartierungen zeigen schon nach wenigen Jahren eine deutliche Verbesserung und weisen eine gute Gewässerstruktur nach. Die Vegetationsaufnahmen weisen eine geringe Zunahme der Feuchtigkeit in der Aue nach, was auf den planmäßig angelegten höheren Grundwasserstand und die häufigeren Überflutungen zurückgeführt wird. Die Zunahme der Libellenarten wird als bedeutsam herausgestellt.

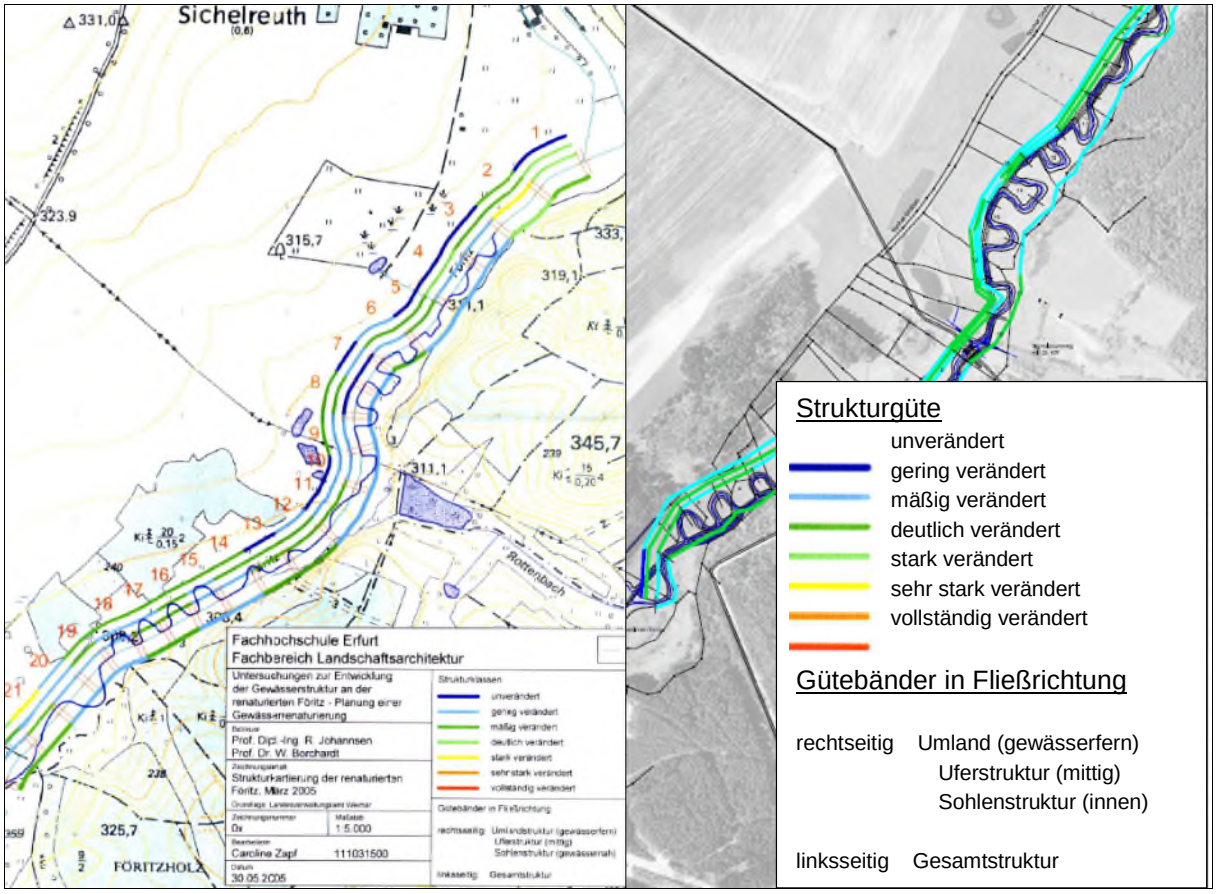


Abb. 112: Gewässerstruktur an der Föritz 2005 nach Maßnahmenumsetzung (links) und 2013 nach ca. 10-jähriger Entwicklung (rechts), (Quelle JOHANNSEN & SPUNDFLASCH 2015)

Im Forschungsbericht finden sich Empfehlungen für zukünftige Renaturierungskonzepte. So sollten z.B. keine zu großen Hoffnungen in eigendynamische Gewässerentwicklungen bei ähnlichen Gewässertypen gesetzt werden, weil an der Föritz auch an extremen Prallufern keine deutlichen Veränderungen festgestellt wurden. Die Entwicklung der Föritz wird jedoch am Anfang eines mindestens mehrere Jahrzehnte dauernden Prozesses gesehen. Wesentlichen Einfluss auf die Wirkung von Eigendynamik und Artenvielfalt werden in Zukunft die noch fehlenden alten Großgehölzstrukturen und Totholzanteile nehmen.

Abb. 113: Bachbettentwicklung in ungesichertem Prallhangabschnitt (links), durch Steckhölzer hervorgerufene Entwicklungsdynamik (rechts, alles 2018, 15 Jahre nach Umsetzung)

7.3 Ingenieurbiologisch einsetzbare Arten mit ausgewählten Standortansprüchen und Hinweisen zur Verwendung

Tabelle 9: Baumarten mit ausgewählten Standortansprüchen und biotechnischen Eigenschaften

Art	Standortansprüche	biotechnische Eigenschaften	Ausbringung als	Anwendung
Baumweiden Silber- und Bruchweide sowie rötliche Bruchweide *(Salix alba, S. fragilis, S. x rubens*)	Sonne, Weichholzzone, Pioniergehölz, hohe Grundwasserstände	Wasserwurzeln, Wurzelwachstum auch unter Mittelwasser, Wiederausschlag, 2-3 Monate überstauungstolerant schurfverträglich, vegetativ vermehrbar	Steckholz, Setzstange, Ast, Rute, Heister	Festigung und Begrünung der Weichholzaue und an feuchten Auenstandorten, niedrigster Pflanzstandort 0,3 m ü SoMW
Schwarzerle (*Alnus glutinosa*)	Halbschatten, obere Weichholz- und untere Hartholzzone, nährstoffreiche Standorte, hohe Grundwasserstände	stockausschlagvermögen, Bildung von Wasserwurzeln, Wurzelwachstum auch unter Mittelwasser, schurfverträglich,	Pflanzung als Forstpflanze mit Herkunftsnachweis, wurzelnackt, Wurzelstock gute Selbstaussamung auf Rohböden	Festigung und Begrünung der oberen Weich- und unteren Hartholzaue und an feuchten Auenstandorten, niedrigster Pflanzstandort 0,5 m ü SoMW Vorsicht: Erlensterben Phythophtora-problematik
Frühe Traubenkirsche (*Prunus padus*)	Halbschatten, untere Hartholzzone	gutes Austriebsvermögen, Kriechtriebe, Wurzelbrut	Wurzelschössling, Heister Forstpflanze	niedrigster Pflanzstandort 0,5 m ü SoMW

Art	Standortansprüche	biotechnische Eigenschaften	Ausbringung als	Anwendung
Gemeine Esche (*Fraxinus excelsior*)	Halbschatten in der Jugendphase, benötigt mit zunehmendem Alter mehr Licht, um freie Krone zu entwickeln, untere Hartholzzone mittlere Grundwasserstände, Nährstoffreich	gute Verankerung nach hinten und in die Seite (Kombination mit Erle), überschwemmungsverträglich	Heister, Hochstamm Forstpflanze mit Herkunftsnachweis	Festigung und Begrünung der Hartholzaue und an trocken Auenstandorten, niedrigster Pflanzstandort 0,5 m ü SoMW Vorsicht: Eschensterben
Flatterulme *(Ulmus laevis)*	Halbschatten, untere Hartholzzone, erträgt Überflutungen von mehr als 100 Tagen	Stockausschläge und Wasserreiserbildung, Tiefwurzler	Forstpflanzen, Heister	Festigung und Begrünung der unteren Hartholzaue bei nicht zu starken Wasserschwankungen niedrigster Pflanzstandort 0,5 m ü SoMW
Stieleiche (*Quercus robur*)	Sonne, Hartholzzone	überschwemmungsverträglich, überschüttungsverträglich	Heister, Hochstamm Forstpflanzen	Festigung und Begrünung der Hartholzaue und an trocken Auenstandorten, niedrigster Pflanzstandort 1,0 m ü SoMW
Hainbuche *(Carpinus betulus)*	Halbschatten, Hartholzzone	gutes Austriebs- und Stockausschlagvermögen	Heister, Hochstamm Forstpflanzen	Festigung und Begrünung der Hartholzaue und an trocken Auenstandorten, niedrigster Pflanzstandort 1,0 m ü SoMW
Feldahorn *(Acer campestre*)	Sonne, obere Hartholzzone	gutes Austriebsvermögen, Kriechtriebe	Heister, Forstpflanzen,	Festigung und Begrünung der Hartholzaue und an trocken Auenstandorten, niedrigster Pflanzstandort 1,0 m ü SoMW

Art	Standortansprüche	biotechnische Eigenschaften	Ausbringung als	Anwendung
Vogelbeere (*Sorbus aucuparia*)	Sonne, obere Hartholzzone, saure, sandige oder torfige Standorte	Wurzelbrut	Heister, Forstpflanzen,	Festigung und Begrünung der oberen Hartholzaue und an trocken oder torfigen Auenstandorten niedrigster Pflanzstandort 1,0 m ü SoMW
Zitterpappel *(Populus tremula)*	Sonne, obere Hartholzzone, Pioniergehölz	Kriechtriebe, Wurzelbrut	Wurzelschössling, Heister, Forstpflanzen	Festigung und Begrünung der Hartholzaue und an trocken Auenstandorten niedrigster Pflanzstandort 0,5 m ü SoMW

Tabelle 10: Straucharten mit ausgewählten Standortansprüchen und biotechnischen Eigenschaften

Art	Standortansprüche	biotechnische Eigenschaften	Ausbringung als	Anwendung
Grauweide (*Salix cinerea)*	Sonne, feuchte bis nasse Böden, längere Zeit überstauungsverträglich	vegetativ vermehrbar, Stockausschlag, schurfverträglich	Steckholz, bewurzelbarer Ast, Jungpflanze	Festigung und Begrünung der Weichholzaue an fließenden und stehenden Gewässern sowie Flut- und Quellmulden
Ohrweide (*Salix aurita)*	Sonne, feuchte bis nasse Böden, längere Zeit überstauungsverträglich	vegetativ vermehrbar, Stockausschlag, schurfverträglich	Steckholz, bewurzelbarer Ast, Jungpflanze	Steckholz, Ast Festigung und Begrünung der Weichholzaue an fließenden und stehenden Gewässern sowie Flut- und Quellmulden
Korbweide (*Salix viminalis)*	Sonne, feuchte bis nasse Böden, längere Zeit überstauungsverträglich	vegetativ vermehrbar, Stockausschlag, schurfverträglich, sehr schnellwachsend	Steckholz, bewurzelbarer Ast, Setzstange, Rute, Jungpflanze	Festigung und Begrünung der Weichholzaue an fließenden und stehenden Gewässern sowie Flut- und Quellmulden
Purpurweide *(Salix purpurea)*	Sonne, feuchte bis nasse Böden, längere Zeit überstauungsverträglich	vegetativ vermehrbar, Stockausschlag, schurfverträglich, sehr schnellwachsend	Steckholz, bewurzelbarer Ast, Setzstange, Rute, Jungpflanze	Festigung und Begrünung der Weichholzaue an fließenden und stehenden Gewässern sowie Flut- und Quellmulden

Art	Standortansprüche	biotechnische Eigenschaften	Ausbringung als	Anwendung
Mandelweide *(Salix triandra)*	Sonne, feuchte bis nasse Böden, längere Zeit überstauungsverträglich	vegetativ vermehrbar, Stockausschlag, schurfverträglich, sehr schnellwachsend	Steckholz, bewurzelbarer Ast, Setzstange, Rute, Jungpflanze	Festigung und Begrünung der Weichholzaue an fließenden und stehenden Gewässern sowie Flut- und Quellmulden
Faulbaum (*Frangula alnus*)	Halbschatten, wechselfeuchte und feuchte Böden, meidet Staunässe	Kriechtriebe, Wurzelbrut	Wurzelschössling, Strauchpflanzung	Festigung und Begrünung der oberen Weichholzaue und an feuchten Auenstandorten
Wasserschneeball (*Viburnum opulus)*	Halbschatten, obere Weichholzzone	Kriechtriebe, Wurzelbrut	Wurzelschössling, Strauchpflanzung	Festigung und Begrünung der oberen Weichholzaue und an feuchten Auenstandorten
Weißdorn *(Crategus monogyna*)	Halbschatten bis Sonne Hartholzzone,	Dornenstrauch	Wurzelschössling, Strauchpflanzung	Festigung und Begrünung der Hartholzaue und an trocken Auenstandorten, Abgrenzung, Gestaltung
Schlehe (*Prunus spinosa*)	Halbschatten, Hartholzzone	Dornenstauch, Pioniergehölz, Wurzelbrut, Wurzelkriecher	Wurzelschössling, Strauchpflanzung,	Festigung und Begrünung der Hartholzaue und an trocken Auenstandorten, Abgrenzung, Gestaltung , Vorsicht Ausbreitungstendenz
Pfaffenhüttchen *(Evonymus europaeus)*	Halbschatten bis Sonne, Hartholzzone	Dichtes, tiefes Senkerwurzelsystem, Wurzelsprosse	Strauchpflanzung	Festigung und Begrünung der Hartholzaue und an trocken Auenstandorten, Abgrenzung, Gestaltung

Art	Standortansprüche	biotechnische Eigenschaften	Ausbringung als	Anwendung
Hasel *(Corylus avellana)*	Halbschatten bis Sonne, Hartholzzone	dichtes, tiefes Wurzelsystem, Stockausschlag, Mehrstämmigkeit, Wurzelsprosse	Strauchpflanzung	Festigung und Begrünung der Hartholzaue und an trocken Auenstandorten, Abgrenzung, Gestaltung
Gemeiner Liguster *(Ligustrum vulgare)*	Halbschatten bis Sonne, Hartholzzone	Intensives, aber flaches, weitstreichendes Wurzelsystem, Wurzelsprosse, Kriechtriebe	Wurzelschössling, Strauchpflanzung	Festigung und Begrünung der Hartholzaue und an trocken Auenstandorten, Abgrenzung, Gestaltung
Blutroter Hartriegel *(Cornus sanguinea)*	Halbschatten bis Sonne, Hartholzzone	tiefes Wurzelsystem, Kriechtriebe	Wurzelschössling, Strauchpflanzung	Festigung und Begrünung der Hartholzaue und an trocken Auenstandorten, Abgrenzung, Gestaltung
Steinweichsel *(Cerasus mahaleb)*	Sonne, obere Hartholzzone	tiefes Wurzelsystem	Wurzelschössling, Strauchpflanzung	Festigung und Begrünung der Hartholzaue und an trocken Auenstandorten, Abgrenzung, Gestaltung
Hundsrose *(Rosa canina)*	Sonne, Hartholzzone, mäßig trockene bis frische Böden, basenreich bis mäßig sauer	Dornenstrauch, Pioniergehölz	Wurzelschössling, Strauchpflanzung	Festigung und Begrünung der oberen Hartholzaue und an trocken Auenstandorten, Abgrenzung, Gestaltung
Kratzbeere *(Rubus caesius)*	Sonne, obere Weichholzzone	verzweigtes Wurzelsystem, feine Stacheln	Wurzelschössling	Abgrenzung
Gemeine Brombeere *(Rubus fruticosus)*	Sonne, Hartholzzone	Dornenstrauch	Wurzelschössling, Strauchpflanzung	Abgrenzung

Tabelle 11: Röhrichte und Seggen mit ausgewählten Standortansprüchen und biotechnischen Eigenschaften

Art	Standortansprüche	biotechnische Eigenschaften	Ausbringung als	Anwendung
Schilf (*Phragmites australis*)	Sonne, geschützte, strömungsarme Uferbereiche	Wurzeln und Sprossen an den Knoten (Nodien), vermehrbar aus dem Halm, Wurzelausläufer	Halmstecklinge, Rhizombesatz, Sprößlingsbesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der Wasserwechselzone, breit einsetzbar an nicht zu stark bewegten Gewässern
Rohrglanzgras (*Phalaris arundinacea*)	Sonne, mäßig bis stark durchströmte Bachufer	Wurzeln und Sprossen an den Knoten (Nodien), vermehrbar aus dem Halm, Wurzelausläufer	Halmstecklinge, Rhizombesatz, Sprößlingsbesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der Wasserwechselzone, auch an schmalen Bächen; breit einsetzbar an bewegten Gewässern
Wasser-Schwaden *(Glyceria maxima)*	Sonne, nährstoffreiche langsam durchflossene Uferbereiche an Fließ- und Stillgewässern	Unterirdische Ausläufer	Rhizombesatz, Sprößlingsbesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der Wasserwechselzone, besonders an nährstoffbelasteten Gewässern, einsetzbar an nicht zu stark bewegten Gewässern

Art	Standortansprüche	biotechnische Eigenschaften	Ausbringung als	Anwendung
Breitblättriger-Rohrkolben (*Typha latifolia*)	Sonne, nährstoffreiche langsam durchflossene Uferbereiche an Fließ- und Stillgewässern	Wasser- und Sumpfpflanze mit kräftigen unterirdisch kriechenden Rhizomen, die dichte Bestände zu entwickeln können	Rhizombesatz, Sprößlingsbesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der Wasserwechselzone, besonders an nährstoffbelasteten Gewässern einsetzbar an nicht zu stark bewegten Gewässern,
Schmalblättriger Rohrkolben **(Typha angustifolia)**	Sonne bis leicht beschattete, nährstoffarme, langsam durchflossene Uferbereiche an Fließ- und Stillgewässern	Wasser- und Sumpfpflanze mit unterirdisch kriechenden etwa 1 cm dicken Rhizomen, meist nur kurz horizontal kriechend und dann aufgerichtet	Rhizombesatz, Sprößlingsbesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der Wasserwechselzone, besonders an nährstoffarmen Gewässern, einsetzbar an nicht zu stark bewegten Gewässern
Ästiger Igelkolben (*Sparganium erectum*)	Sonne, Ufer und langsam fließende Gewässerbereiche, Wechselwasserzeiger	Wasser- und Sumpfpflanze mit einem kräftigen Wurzelstock mit ausgedehntem, kriechendem, stärkereichem Rhizom	Rhizombesatz, Sprößlingsbesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der Wasserwechselzone, besonders an nährstoffbelasteten Gewässern einsetzbar an nicht zu stark bewegten Gewässern; Belichtung notwendig
Sumpfsegge *(Carex acutiformis)*	Halbschatten, Gewässerufer, in Gräben und Flutmulden, auf nassen Wiesen,	Aufrecht, rassig wachsende Pflanze, bildet sehr lange, kräftige, dicke und tiefreichende Rhizome	Rhizombesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der Wasserwechselzone, besonders an nährstoffbelasteten Gewässern

Art	Standortansprüche	biotechnische Eigenschaften	Ausbringung als	Anwendung
Schlanksegge (*Carex gracilis*)	Halbschatten, Gewässerufer und Flutmulden, an sicker- oder wechselnasse, nährstoff- und basenreiche, mäßig sauren, mehr oder weniger anmoorigen Sand-, Lehm- und Tonböden, überstauungstolerant	lockerrasige Bestände mit vielen langen unterirdischen Rhizomen	Rhizombesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der Wasserwechselzone, besonders an Gewässern mit stärkeren Wasserspiegelschwankungen, bevorzugt lichtdurchlässige Gewässerränder
Ufersegge (*Carex riparia*)	Halbschatten Gewässerufer, in Gräben und nassen Wiesen und Flutmulden	lockere Bestände mit langen unterirdischen Rhizomen	Rhizombesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der Wasserwechselzone
Rispensegge *(Carex paniculata)*	Sonne bis Halbschatten, torfige Gewässerufer, in Gräben und auf nassen Wiesen und Flutmulden Licht- bis Halblichtpflanze	Horstiger Wuchs und bildet kräftige Bulte mit einem reichen Wurzelwerk und sehr dicken, dunkelbraunen Wurzeln,die stehende Grundachse wächst etwas stockwerkartig	Rhizombesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der Wasserwechselzone, besonders an nährstoffarmen, torfigen Gewässerufern, Halblicht- bis Schattenpflanze
Walzensegge (*Carex elongata*)	Halbschatten, auf staunassen, gelegentlich überfluteten Böden, die sowohl aus flachgründigem Sand über undurchlässigem Gestein wie auch aus Lehm oder Ton bestehen	Horstiger, aber niedriger Wuchs, Wurzelwerk nicht so kräftig, wie andere Großseggen	Rhizombesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der oberen Wasserwechselzone, besonders an nährstoffarmen, torfigen Gewässerufern , verträgt Beschattung, Unterwuchs unter Erlenbruchwäldern

Art	Standortansprüche	biotechnische Eigenschaften	Ausbringung als	Anwendung
Sumpf-Schwertlilie *(Iris pseudacorus)*	Halbschatten, Verlandungszonen stehender und langsam fließender Gewässer	dickes, waagerecht kriechendes Rhizom	Rhizombesatz, Sprößlingsbesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der Wasserwechselzone, besonders auch an nährstoffbelasteten Gewässern
Gilbweiderich *(Lysimachia vulgaris)*	Halbschatten, an Bachsäumen und auf feuchten Wiesen, in Sumpfgebüschen und in Röhrichten	Tiefwurzler, vegetative Vermehrung durch unterirdische Ausläufer	Sprößlingsbesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung etwas oberhalb der Wasserwechselzone,
Gewöhnlicher Blutweiderich *(Lythrum salicaria)*	Sonne bis Halbschatten, Auf nassen oder wechselfeuchten, zeitweise überschwemmten, nährstoffreichen, Sumpfhumusböden	Rhizomhemikryptophyt (Staude) Untergetauchte Triebe entwickeln ein Durchlüftungsgewebe (Aerenchym), das das Rhizom mit Sauerstoff versorgt	Sprößlingsbesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung etwas oberhalb der Wasserwechselzone, besonders an nährstoffreichen Gewässern
Gemeine Pestwurz *(Petasites hybridus)*	Sonne bis Halbschatten, an Bach- und Flussufern , auf sickernassen oder zeitweise überfluteten, nährstoffreichen Böden	Rhizomhemikryptophyt (Staude), Rhizom ist ca. 4 cm dick, bräunlich und an den Gliedenden verdickt	Sprößlingsbesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung etwas oberhalb der Wasserwechselzone, besonders auch an nährstoffbelasteten Gewässern, als Schwemmlandbefestiger von Bedeutung
Echte Mädesüß *(Filipendula ulmaria)*	Sonne, an Gräben und Bachufern, auf nährstoffreichen Feucht- und Nasswiesen	Rhizomhemikryptophyt (Staude),	Sprößlingsbesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung etwas oberhalb der Wasserwechselzone, besonders an nährstoffreichen Standorten an Gewässern

Art	Standortansprüche	biotechnische Eigenschaften	Ausbringung als	Anwendung
Sumpf-Ziest (*Stachys palustris*)	Halbschatten, an feuchten, nährstoffreichen Stellen wie an Ufern, neben Wassergräben oder neben feuchten Feldern, Bodenverschlämmungszeiger	bildet unterirdische Ausläufer mit weißlichen, rosenkranzartig verdickten rhizomartigen Knollen als Überdauerungsorgane und ihr Mark dient als Speichergewebe	Rhizombesatz, Sprößlingsbesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der Wasserwechselzone, besonders an nährstoffbelasteten Gewässern
Fluss-Ampfer (*Rumex hydrolapathum*)	Halbschatten, Verlandungsbereich von Seen oder Flüssen oder in Gräben, auch in seichtem Wasser, unmittelbare Uferlinie, wo sich die Art zwischen der Wasserfläche und dem Röhrichtgürtel einschiebt	Der Wurzelstock ist kräftig und mehrköpfig, er ist schwarz und bildet einen flachen Bult	Sprößlingsbesatz, Ballenpflanzung	Festigung und Begrünung der Wasserwechselzone, besonders an nährstoffbelasteten Gewässern

7.4 Empfehlungen der FLL 2014 zu regionalen Saatgutmischungen für den Raum Berlin

Tabelle 12: Arten für die Regionsaatgutmischung UG 4 – Ostdeutsches Tiefland (FLL 2014)

Arten	Grund-mischung %	mager sauer %	mager ba-sisch %	feucht, inkl. Ufer %
Gräser	**70,0**	**70,0**	**70,0**	**70,0**
Agrostis capillaris	5	5	5	5
Alopecurus pratensis subsp. pratensis	2,5			2,5
Anthoxantum odoratum	5	5	5	7,5
Arrhenatherum elatius	2,5			2,5
Bromus hordeaceus subsp. hordeaceus	7,5	7,5	7,5	10
Bromus tectorum		2,5	2,5	
Carex arenaria		2,5		
Corynephorus canescens		2,5		
Festuca brevipila	7,5	11,5	5	
Festuca ovina (s. str.)	7,5	7,5	14	
Festuca rubra subsp. rubra	14	7,5	10	17,5
Luzula campestris	1	1	1	1
Phleum pratense				2,5
Poa angustifolia	7,5	10	10	
Poa compressa			2,5	
Poa pratensis	10	7,5	7,5	16,5
Poa trivialis				5
Leguminosen	**3,0**	**3,0**	**3,0**	**3,0**
Lathyrus pratensis	1			1
Lotus corniculatus	0,5	1,5	1	
Lotus pedunculatus	0,5			1
Trifolium arvense		1,5		
Trifolium campestre			2	
Vicia cracca	1			1
Kräuter	**27,0**	**27,0**	**27,0**	**27,0**
Achillea millefoliu subsp. millefolium	1	1	1	1,5
Agrimonia eupatoria	1		2	
Angelica sylvestris subsp. sylvestris				0,5
Artemisia campestris			1,5	
Campanula patula	0,1	0,1		
Campanula rotundifolia		0,1		
Cardamine pratensis	0,2			0,2
Cardus nutans subsp. nutans			0,5	
Centaurea cyanus	2,2	2,5	2,2	3
Centaurea jacea subsp. jacea	2		2	
Cichorium intybus	1		1	
Cirsium oleraceum				1,5
Daucus carota	1	1	1	
Dianthus deltoides		2,4		

Echium vulgare		3	2	
Arten	**Grund-mischung %**	**mager sauer %**	**mager ba-sisch %**	**feucht, inkl. Ufer %**
Filipendul ulmaria				1,5
Galium album subsp. album	1,5	1	1	2
Galum verum subsp. verum		2	1,5	
Helichrysum arenarium		1,5		
Heracleum sphondylium subsp. sphondylium	0,5			1
Hieracium umbellatum		0,5		
Hypericum perforatum s.l. (inkl. H. desetangsii)	1,5	2,5	2	
Hypochaeris radicata		0,5		
Jasione montana		1,5		
Knautia arvensis s. str.	1,5	2	2	
Leucanthemum ircutianum	2	2	2,2	
Linaria vulgaris			1	
Lychnis flos-cuculi	1,5			3
Lysimachia vulgaris				1,3
Lythrum salicaria				0,5
Malva sylvestris			1,5	
Pimpinella nigra			1,5	
Plantago lanceolata	1,5			2,5
Prunella vulgaris	1	1		1,5
Ranunculus acris subsp. acris	1			3
Rumex acetosa	1,5			2,5
Saxifraga granulata	0,2	0,3	0,3	
Scronzoneroides autumnalis subsp. autumnalis	1	1	0,5	1
Silene latifolia subsp. alba	1,5			
Stellaria graminea	1	1		0,5
Thymus pulegioides Subsp. pulegioides		0,1	0,1	
Verbascum nigrum	0,2		0,2	

Tabelle 13: Arten für die Regionsaatgutmischung UG 22 – Uckermark mit Odertal (FLL 2014)

Arten	Grund-mischung %	mager sauer %	mager basisch %	feucht, inkl. Ufer %
Gräser	**70,0**	**70,0**	**70,0**	
Arostis capillaris	5	5	5	
Anthoxantum odoratum	10	10		
Bromus hordeaceus subsp. hordeaceus	15	10	10	
Corynephorus canescens		5		
Festuca brevipila	20	17	20	
Poa angustifolia	15	12,5	20	
Poa compressa		10	15	
Poa trivialis	5			
Leguminosen	**3,0**	**3,0**	**3,0**	
Lotus corniculatus		0,5	0,5	
Lotus pedunculatus	0,5			
Medicago lupolina	1		1	
Trifolium arvense		1		
Trifolium pratense subsp. pratense	1	1	1,5	
Vicia cracca	0,5	0,5		
Kräuter	**27,0**	**27,0**	**27,0**	
Achillea millefoliu subsp. millefolium	1	1,4	1	
Agrimonia eupatoria	1		2	
Anchusa officinalis	1	2	1	
Artemisia campestris		0,1	0,1	
Campanula patula	0,1	0,1	0,1	
Campanula rotundifolia		0,1		
Carduus nutans subsp. nutans			0,1	
Cardus nutans subsp. nutans			0,5	
Centaurea cyanus	1,5	2	1,5	
Centaurea scabiosa subsp. scabiosa			1	
Centaurea stoebe			1	
Cichorium intybus	1		1	
Daucus carota	1		1	
Echium vulgare			2,5	
Galium album subsp. album	2	1	1	
‘Galum verum subsp. verum		2	1,5	
Helichrysum arenarium		0,5	0,5	
Hypericum perforatum subsp. perforatum	1	1,5	1	
Hypochaeris radicata	0,5	0,5	0,5	
Jasione montana		0,2		
Knautia arvensis s. str.	0,5	0,5	0,5	
Lathyrus pratensis	2			
Lychnis flos-cuculi	1			

Arten	Grund-mischung %	mager sauer %	mager basisch %	feucht, inkl. Ufer %
Papaver rhoeas	2	2	2	
Pimpinella nigra		2	0,5	
Plantago lanceolata	1	1,5	0,6	
Plantago media			0,9	
Prunella vulgaris	0,5	0,5		
Ranunculus acris subsp. acris	2			
Rumex acetosa	1	1	0,5	
Scorzoneroides autumnalis subsp. autumnalis	1	1		
Silene latifolia subsp. alba	1,9	2,3	1	
Silene vulgaris		3	2	
Stellaria graminea	1	1,5		
Thymus pulegioides Subsp. pulegioides		0,1	0,1	
Tragopogon pratensis	3		1	
Verbascum nigrum		0,2	0,2	

7.5 Grundlagen zur Bemessung ingenieurbiologischer Bauweisen

Für die Entwurfs- und Ausführungsplanung sind häufig bautechnische Nachweise erforderlich, um nachzuweisen, dass durch die Maßnahmen keine Hochwasserschäden an bedeutsamen Nutzungen und baulichen Anlagen entstehen und dass die Stabilität der Ufer auch im Hinblick der Sicherung dieser Anlagen gegeben ist.

Die folgenden Kapitel geben einen Überblick zu den üblicher Weise erforderlichen Nachweisen. Es wird jedoch kein Anspruch auf Vollständigkeit erhoben. Je nach Maßnahmen und Vorgaben des Vorhabenträgers sowie der Genehmigungsbehörde können weitere bautechnische Nachweise erforderlich werden.

7.5.1 Abflüsse

Eine wesentliche Größe für hydraulische Berechnungen ist der Bemessungsabfluss. Hierfür besitzen die entsprechenden wasserwirtschaftlichen Fachbehörden häufig bereits statistische Auswertungen. Ist dies nicht der Fall, sind entsprechend den örtlichen Anforderungen mehr oder weniger aufwendige hydrologische Gutachten erforderlich. Die für die entsprechenden hydraulischen Nachweisführungen zu verwendenden Abflusswerte sollten in der Genehmigungsplanung abgestimmt und festgeschrieben werden. Hierbei sind die Wirkungen wasserwirtschaftlicher Anlagen wie Stauanlagen, Rückhaltebecken oder Pumpwerke zu berücksichtigen.

7.5.2 Wasserspiegellagenberechnung

In der Regel wird im Rahmen des Entwurfes mit Bezug zum Wasserbau eine Untersuchung der **Wasserspiegellagen** für den Ist-Zustand und den geplanten Zustand durchgeführt. Dabei genügt für regenwasserführende Gräben häufig eine stationär gleichförmige Abschätzung für maßgebliche Profile.

Eine Standardaufgabe des Flussbaus und der Ingenieurbiologie ist die Berechnung bzw. Abschätzung von Wasserständen und mittleren Fließgeschwindigkeiten aus gegebenen Flussprofilen und Abflüssen Q [m^3/s].

Von den bekannten Fließformeln ist die von **MANNING- STRICKLER** einfach zu handhaben und weltweit stark verbreitet. Es gibt einen reichen Erfahrungshintergrund zur Abschätzung der Rauigkeitsparameter. Daher liefert das Verfahren für viele ingenieurbiologische Fragestellungen zufriedenstellende Lösungen.

Fließgeschwindigkeitsformel nach MANNING – STRICKLER aus SCHROEDER / ROEMISCH 2001:

$$v = \alpha * k_{ST} * r_{hy}^{2/3} * I_E^{1/2}$$

α = Unregelmäßigkeitsbeiwert,

k_{ST} = MANNING - STRICKLER – Beiwert $\left[\frac{m^{1/3}}{s}\right]$

r_{hy} = hydraulischer Radius [m]
I_E = Energieliniengefälle [.-.]

Der Ungleichförmigkeitsbeiwert α nach SCHRÖDER / RÖMISCH 2001 berücksichtigt Unregelmäßigkeiten des Profils, Verlauf, Ufer- und Sohlstrukturen. Er wird geschätzt.

Der Rauigkeitsbeiwert Strickler k_{ST} berücksichtigt die Rauigkeit von Ufer und Sohle. Er wird auf der Grundlage von Erfahrungen, Tabellen oder Berechnungen gewählt.

Bei höheren Schadensrisiko oder ungleichförmigen Abflüssen sollte in jedem Fall eine Wasserspiegellagenberechnung durchgeführt werden. I_E wird dieser Rechnung entnommen.

Für Planungsaufgaben mit geringem Schadensrisiko oder Vorentwürfe kann I_E auch z.B. auf der Grundlage gemessener Wasserstände oder grob aus dem Sohlgefälle geschätzt werden. In diesen Fällen kann auch mit stationär gleichförmigen Rechenansätzen gearbeitet werden.

Tabelle 14: Unregelmäßigmäßigkeitsbeiwert α nach SCHRÖDER /RÖMISCH 2001

Art des Gewässers	α
Betonkanal (Ortbeton, Fertigteile, Betonplatten)	1,0
sehr regelmäßig geformte Kanäle in Erde, Sand oder Kies	0,9
gebaggerte Gerinne, grobe Unregelmäßigkeiten von Hand/ ausgebessert	0,9
gebaggerte Gerinne ohne Nachbesserungen	0,8
gebaggerte Gerinne mit leicht unregelmäßigen Querschnitten	0,7
nur sehr mäßig unterhaltene Kanäle	0,6
Kanäle mit Ablagerungen und teilweise eingerutschten Böschungen	0,6
erheblich unregelmäßig geformte Fließgewässer	0,6

7.5.2.1 Fall 1: Überströmte Vegetation z.B. Rasen oder niedrige Sträucher

Die Vegetation wird als Gerinnerauheit k_{ST} berücksichtigt.

7.5.2.2 Fall 2: Umströmung einzelner starrer Gehölze oder Biotopstrukturen

Ermittlung eines Rauigkeitsbeiwertes k_{STB} nach INDLEKOFER:

$$k_{STB} = k_{ST} * \left(1 + 0{,}051 * k_{ST}^2 * m_V * r_{hy}^{0{,}3333}\right)^{-0{,}5}$$

k_{ST} Rauigkeit Boden bzw. Krautvegetation
r_{hy} hydraulischer Radius = A/L_U

$$m_V = \frac{\sum_{i=1}^{n} c_{Wi} * A_{Pi}}{L_G * L_U}$$

A Fläche

c_w	Strömungswiderstandsbeiwert ca. 1,5	(-)
A_P	Anströmfläche der Einzelgehölze	(m^2)
L_G	Länge Gewässerabschnitt	(m)
L_U	benetzter Umfang	(m)

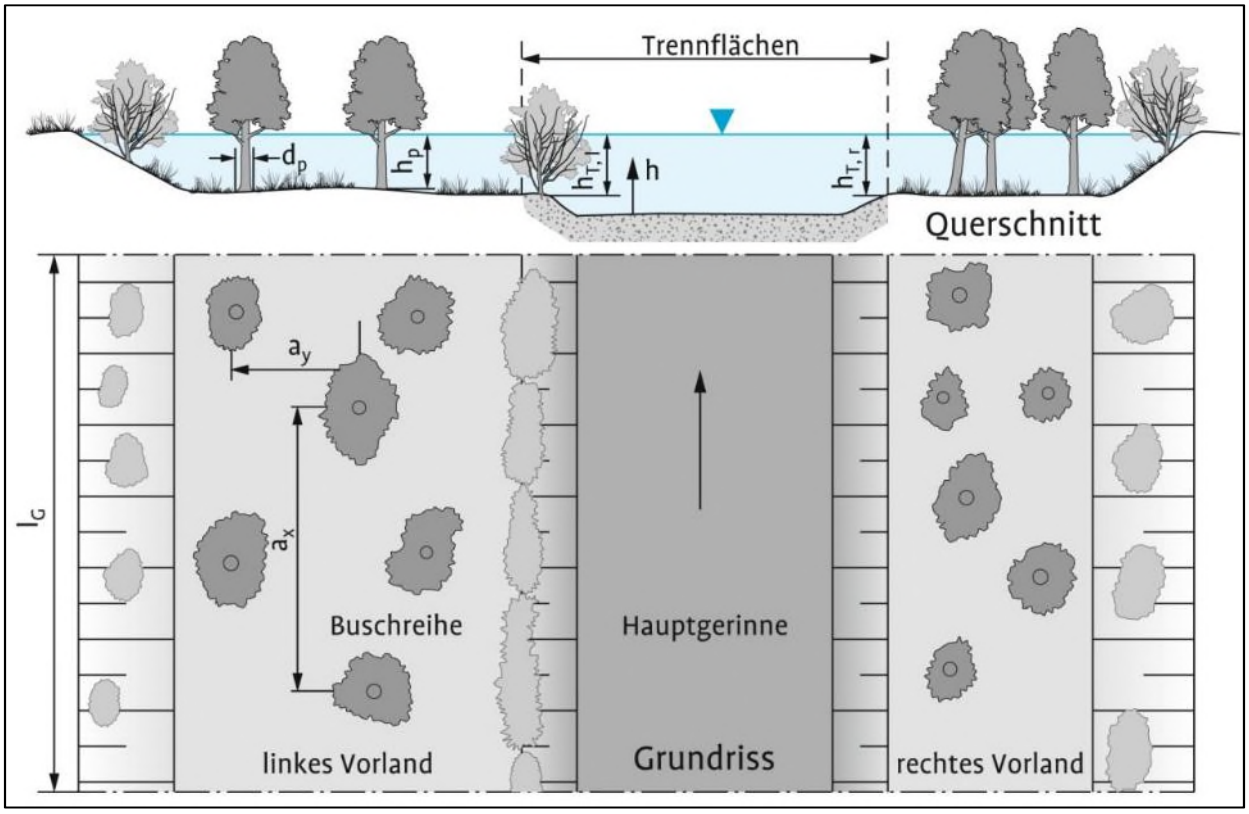


Abb. 114: Berücksichtigung der Wirkung von einzelnen Bäumen, Sträuchern oder anderen Strukturen auf den Hochwasserabfluss nach ACHTEN 1998 (aus HACKER/JOHANNSEN 2014. Eugen Ulmer KG. Stuttgart)

Bei größeren Bächen und kanalisierten Flüssen werden die Rückstaueffekte durch eine eindimensionale Wasserspiegellagenberechnung ausreichend genau dargestellt.

7.5.2.3 Fall 3: Undurchlässige Vegetationsstruktur wie dichtes Gebüsch, Röhricht

Zwischen Wasserströmung und Vegetationsstruktur wird eine fiktive hydraulisch raue Trennfläche eingeführt. Diese erhält einen Rauigkeitsbeiwert zwischen k_{ST} = 15 und 25. In einem Gewässerquerschnitt sind dann häufig unterschiedliche Teilrauigkeiten zu berücksichtigen.

Die Berücksichtigung erfolgt mit der EINSTEIN Formel:

$$k_{STM} = \left[\sum_{i=1}^{n} \frac{L_{Ui}}{L_{Uges} * k_{STi}^{1,5}} \right]^{-0,6667}$$

L_{Ui}	Teillänge des benetzten Umfangs	(m)
$L_{U\,ges}$	benetzter Umfang, gesamt	(m)
$k_{ST\,i}$	Rauigkeit des Teilabschnitts	($m^{0,333}/s$)

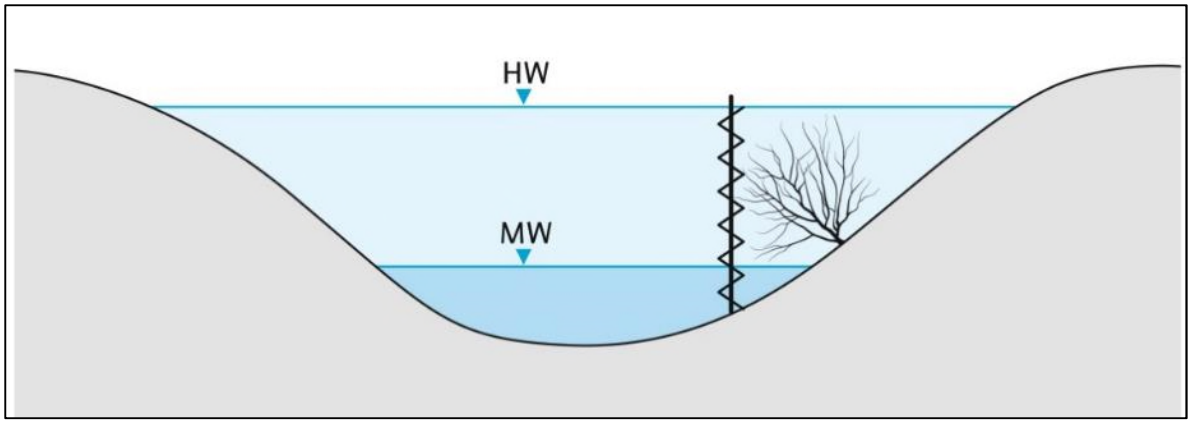


Abb. 115: Berücksichtigung einer undurchlässigen Vegetationsstruktur durch eine fiktive Trennfläche (aus HACKER/JOHANNSEN 2014. Eugen Ulmer KG. Stuttgart)

7.5.3 Böschungs- und Geländebruch

Bei hohen steilen Uferböschungen oder größeren Auflasten und wechselnden Grundwasserständen bzw. schnell schwankenden Wasserständen besteht die Gefahr eines Böschungsbruchs und bei Mauern und Wänden eines Geländebruchs. In diesen Fällen sind die geotechnischen Nachweise gemäß DIN EN 1997, DIN 1054 und DIN 4084 zu führen. Für den Anwender stehen einige qualifizierte Computerprogramme zur Verfügung, mit denen unterschiedliche Uferformen, Boden- und Grundwasserverhältnisse sowie Auflasten berücksichtigt werden können.

7.5.4 Erosionsstabilität

Erosionsgefährdete Böschungen von Prallufern werden bei Hochwasser durch schnelle Wasserströmungen, Schleppspannung, Treibholz und ggf. Treibeis belastet. Von HACKER/JOHANNSEN 2014 wurde ein einfacher praktikabler Ansatz zum Nachweis der Uferstabilität in Anlehnung an SCHRÖDER/RÖMISCH 2001 entwickelt (s. unten).

Die Bewertung eines Gewässerabschnittes im Hinblick auf Erosion und Sedimentation setzt Erfahrung und eingehende Beschäftigung mit der Gewässermorphologie voraus.

Der betrachtete Gewässerabschnitt muss im Gesamtzusammenhang betrachtet werden:

Handelt es sich insgesamt um einen Erosionsabschnitt, einen Sedimentationsbereich oder eine Umlagerungsstrecke? Bei dieser Beurteilung können die zuständige Wasserbehörde, Gewässerunterhaltung sowie Fachleute des Flussbaus und der Gewässerkunde unterstützen. Aus einer Begehung eines längeren Gewässerabschnittes lassen sich häufig Referenzstrecken ableiten, die sich im Gleichgewichtszustand befinden. Diese Abschnitte können hydraulisch untersucht und bei der Lösung der Planungsaufgabe berücksichtigt werden (vgl. DIN 19661 Teil 2).

Neben diesen allgemeinen gewässermorphologischen Betrachtungen spielt die gründliche Begehung und Beurteilung des Planungsbereiches selbst und seines direkten Umfeldes eine wichtige Rolle. Wie sind die örtlichen An -und Abströmverhältnisse? Entsteht oberhalb ein Düseneffekt durch eine Engstelle? Liegt der erodierte Bereich an einem ausgeprägten Prallufer oder entstand der Uferanbruch eher zufällig z.B. durch Treibholz? Wie war das Uferprofil vor und während des Hochwasserereignisses? Dies kann sich im Laufe des Hochwassers stark verändert haben.

Weiterhin sollte geklärt werden, welche Jährlichkeit das schadensverursachende Hochwasser in etwa aufweist (seltenes, mittleres oder häufiges Ereignis). Häufig ist der bordvolle Abfluss für die Erosionsstabilität bedeutsam.

Nach einer grundsätzlichen Klärung der oben aufgeführten Verhältnisse führen für die Ingenieurbiologie häufig die vorne erläuterten hydraulischen Berechnungen der Hochwasserstände, der mittleren Fließgeschwindigkeiten bei Hochwasser und der nachfolgend beschriebenen Schleppspannungen zu sinnvollen Untersuchungsergebnissen und ermöglichen eine anwendungsbezogene Planung der ingenieurbiologischen Sicherungs- und Gestaltungselemente. Verglichen werden die für das Bemessungsereignis ermittelte Fließgeschwindigkeit und Schleppspannung mit den kritischen Werten aus der Fachliteratur.

7.5.4.1 FROUDE-Zahl

Für den Nachweis der Erosionsstabilität an Fließgewässern sollte die Strömungsart (FROUDE-Zahl) berücksichtigt werden.

Für ungleichförmige Strömungsverhältnisse wird unbedingt eine Wasserspiegellagenberechnung empfohlen, da hier in schnellem Wechsel sehr unterschiedliche Schleppspannungen, Fließgeschwindigkeiten und Energieliniengefälle zu erwarten sind.

Die mittlere Fließgeschwindigkeit ist ein wichtiger Parameter zur Beurteilung der Erosionsstabilität. Sie wird mit einer Fließformel oder einer Wasserspiegellagenberechnung bestimmt. Für die Bemessung von Prallufern sollte ein Verstärkungsfaktor nach SCHRÖDER /RÖMISCH 2001 berücksichtigt werden:

$v_K = v_M * \varepsilon$ (m/s) mit $\varepsilon = 1{,}0$ bis $1{,}7$

Aus den 2-dimensionalen hydraulischen Berechnungen ergeben sich für die einzelnen Gewässerstellen tiefengemittelte Fließgeschwindigkeiten.

7.5.4.2 Schleppspannung

Der Parameter Schleppspannung wird etwa gleichrangig mit der mittleren Fließgeschwindigkeit verwendet. Bei einer formalen Bewertung der Erosionsstabilität müssen beide Parameter eingehalten werden.

Das Gedankenmodell für die Schleppspannung ist das Schleppen eines schweren Gegenstands über die Gewässersohle, vergleichbar mit dem Schleppen von Reifenreihen zum Einebnen von Wiesen.

Physikalisch basiert die Formel auf dem mechanischen Ansatz des Gleitens auf der geneigten Ebene.

Schleppspannungsformel für Sohle (S) und Prallufer (P) nach SCHRÖDER 1998:

$$\tau_{S,P} = \varepsilon * \rho * g * r_{rhy} * I_E \quad \left[\frac{N}{m^2}\right]$$

ε = Verstärkungsfaktor für Prallufer s. Tabelle [-]
ρ = spezifisches Gewicht Wasser = 1000 kg/m³
g = Erdbeschleunigung ≈ 10 m/s²

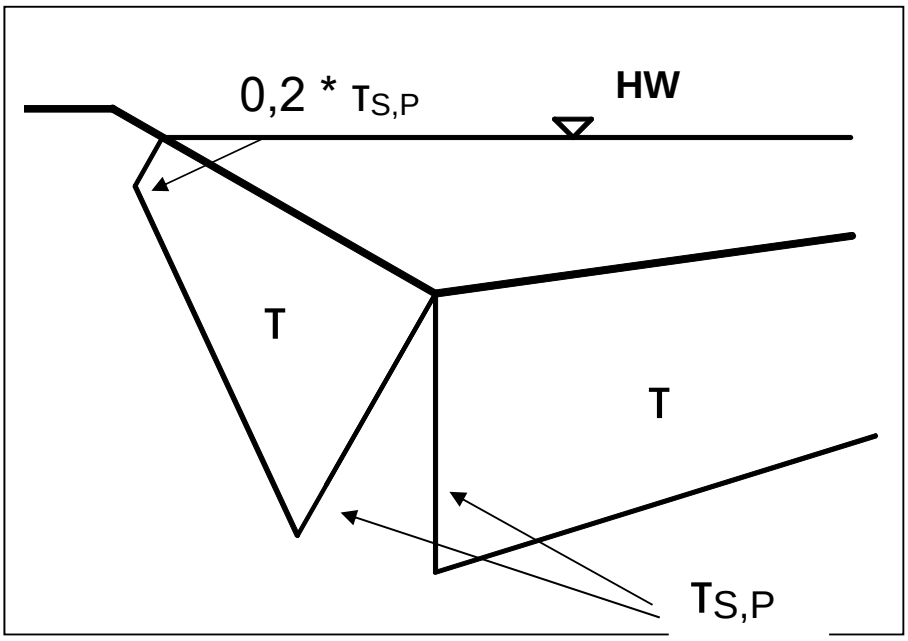


Abb. 116: Darstellung der Sohl- τ_S und Böschungsschleppspannung $\tau_{S,P}$ eines Trapezprofils an einem Prallufer

Der Ansatz von 20 % der maximalen Sohlschubspannung in Höhe des Wasserspiegels soll die Wirkung von Treibzeug und Treibholz berücksichtigen.

Tabelle 15: Verstärkungskoeffizient ε nach SCHRÖDER /RÖMISCH 2001

Art des Gewässers	E
gerade Strecke	1,00
leichtes Prallufer	1,10
mittleres Prallufer	1,35
starkes Prallufer, Insel o.ä.	1,70

Tabelle 16: Belastbarkeit von Pflanzenbeständen an Ufern und Vorländern

Pflanzenbestand	zulässige Fließgeschwindigkeit v_{krit} $[\frac{m}{s}]$	zulässige Schleppspannung τ_{krit} $\left[\frac{N}{m^2}\right]$	**Bemerkung, Quelle**
Strauchweiden	2,5	150 - 200	EFIB Richtlinie
Ufergehölzgalerie	2,0	100	EFIB Richtlinie
Fließgewässerröhricht, Flutrasen	1,5	50	EFIB Richtlinie
Landschaftsrasen kurzzeitig überströmt, Norddeutschland	1,5	30	DIN 19661 Teil 2 und zahlreiche Autoren aus Deutschland
Rasen langanhaltend überströmt	1,0 – 1,5	15	DIN 19661 Teil 2 und zahlreiche Autoren aus Deutschland

Tabelle 17: Belastbarkeit von Böden und Substraten an Ufern und Vorländern

Sohlenbeschaffenheit	v_{krit} $[\frac{m}{s}]$	τ_{krit} $\left[\frac{N}{m^2}\right]$	**Bemerkung, Quelle**
Mittelsand, Korngröße 0,2 bis 0,63 mm		2,0	DIN 19661 Teil 2
Grobsand, Korngröße 1 bis 2 mm		4,0	DIN 19661 Teil 2
Kies - Sand - Gemisch, Korngröße 0,63 bis 6,3 mm festgelagert, langanhaltend überströmt		9,0	DIN 19661 Teil 2
Mittelkies, Korngröße 6,3 bis 20 mm		15,0	DIN 19661 Teil 2
Grobkies, Korngröße 20 bis 63 mm		45,0	DIN 19661 Teil 2
lehmiger Kies, langanhaltend überströmt		15,0	DIN 19661 Teil 2
lehmiger Kies, vorübergehend überströmt		20,0	DIN 19661 Teil 2
lockerer Lehm	0,15 - 0,2	3,5	DIN 19661 Teil 2
festgelagerter Lehm, Ton	0,7 - 1,0	12,0	DIN 19661 Teil 2

Bei der Planung von ingenieurbiologischen Ufersicherungen an ausgeprägten Prallufern vor hochwertigen Nutzungen wird eine Kombination von Lebendbau und Steinverbau zwischen Mittelwasser und HW_1 empfohlen. Oberhalb kann die Sicherung bei günstigen Standortfaktoren durch die Vegetation alleine erfolgen.

Tabelle 18: Belastbarkeit von ingenieurbiologischen Bauweisen an Ufern und Vorländern

Ingenieurbiologische Bauweise	v_{krit} $[\frac{m}{s}]$	τ_{krit} $\left[\frac{N}{m^2}\right]$	Bemerkung, Quelle
Faschinenwalze mit ausschlagfähigen Weiden in der Enz bei Pforzheim /	3,0 – 3,5	100,0 – 150,0	LfU Baden - Württemberg 1996
Totfaschine aus nicht ausschlagfähigem Reisig in der Enz bei Pforzheim/	2,5 – 3,0	70,0 – 100,0	LfU Baden - Württemberg 1996
Röhrichtwalze und – pflanzung in der Enz bei Pforzheim	2,0 – 2,5	55,0 – 65,0	LfU Baden - Württemberg 1996
Steinwurf mit Weidenstecklingen in der Enz bei Pforzheim	3,0 – 3,5	100,0 – 150,0	LfU Baden - Württemberg 1996

LfU = Landesanstalt für Umweltschutz

7.5.4.3 Bemessung einer Steinschüttung gegen Strömungserosion

Die Formel wurde von ACHTEN für die Verhältnisse an nordwestdeutschen Fließgewässern im Flachland und Bergland entwickelt und im WENDEHORST Bautechnische Zahlentafeln veröffentlicht.

Formel für mittleren Korndurchmesser d_m nach ACHTEN in WENDEHORST 1998:

$$d_m = 20 * h * I_E * \frac{b}{Lu}$$

h = Wasserstand über der Sohle (m)
b = Breite des Wasserspiegels (m)
L_U = benetzter Umfang (m)
I_E = Energieliniengefälle (-)

An Prallufern sollte der Wert analog zur Schleppspannungsberechnung ebenfalls mit dem Verstärkungsfaktor ε multipliziert werden.

$$d_m = \varepsilon * 20 * h * I_E * \frac{b}{Lu}$$

Auf Uferböschungen wirkt neben der Strömungskraft auch die Hangabtriebskraft auf die Einzelsteine. Die kann gemäß LANE in ACHTEN 1998 wie folgt berücksichtigt werden:

$$d_{m,\,Bö} = d_m / c$$

$$c = \cos\beta * \sqrt{1-\left(\frac{\tan^2\beta}{\tan^2\varphi}\right)}$$

β = Böschungswinkel (°),
φ = Reibungswinkel (°) s.u.

Tabelle 19: Reibungswinkel φ in natürlichem Material nach SCHRÖDER/RÖMISCH 2001

Natürliches Material	Winkel der inneren Reibung φ in Grad
Sand, rund	30
Kies	35
Schotter	40
Geschiebemergel	30
Lehm, Ton	25

Die Schichtstärke eine Steinschüttung sollte nach ACHTEN 1998 mind. den 1,6 – fachen Wert des mittleren Korndurchmessers haben.

$$s = 1{,}6 * d_{erf}$$

7.5.5 Sicherheit gegen Auftrieb

Auf alle Bauwerke und Bauteile, die teilweise oder ganz ins Wasser eintauchen, wirkt Wasserdruck bzw. Auftrieb. Zur Ermittlung der Auftriebssicherheit eines Bauteils unter Wasser werden Eigengewicht des Bauteils und Auftriebskraft getrennt ermittelt, mit dem zugehörigen Teilsicherheitswert gemäß DIN 1054 multipliziert und gegenübergestellt.

Ein Bauteil ist auftriebssicher wenn:

$$G * \gamma_{G,stab} \geq F_A * \gamma_{G,destab}$$

G = Gewichtskraft Bauteil [kN]
F_A = Auftriebskraft [kN], $F_A = V * \gamma_W$

Teilsicherheitsbeiwerte: $\gamma_{G,stab} = 0{,}90$, $\gamma_{G,destab} = 1{,}10$

In der Ingenieurbiologie geraten einzelne Bauteile wie Faschinen und Rundhölzer unter Auftrieb. Sie können dann in der Mittel- und Hochwasserzone durch Ballaststeine, Überschüttungen oder Pfähle gesichert werden, in tieferem Wasser und bei Schiffswellen eher durch Ballaststeine.

7.5.6 Nachweis der Verdriftungssicherheit von Biotopstrukturen an Ufern

Biotopstrukturen an Ufern z.B. aus Holz sind in Fließgewässern Einwirkungen aus der Wasserströmung, im Folgenden Strömungskraft F_{ST} genannt, oder anstehenden Gewässern Einwirkungen aus Wellen, im Folgenden F_W genannt, ausgesetzt. Der Nachweis der Verdriftungssicherheit kann gemäß DIN 1054 erfolgen:

Allgemein: Einwirkung* Teilsicherheitswert ≥ Widerstand/ Teilsicherheitswert

Tabelle 20: Empfohlene Sicherheitsbeiwerte für Einwirkungen

Einwirkung	Ständig BS-P	Veränderlich BS-T
Strömungskraft F_{ST} Bei Hochwasser		1,30
Wellenschlag F_W Schiffswellen, ständig	1,50	
Wellenschlag F_W Bei Sturm		1,30

Tabelle 21: Empfohlene Sicherheitsbeiwerte für Widerstände

Widerstände	Ständig BS-P	Veränderlich BS-T
Reibung Ballaststein, Boden	1,25	1,15
Pfahlwiderstand bei Probebelastung	1,15	1,15
Pfahlwiderstand auf Grund von Erfahrungswerten	1,50	1,50

Strömungskraft auf einzelne Biotopstrukturen in der Strömung (z.B. Totholz, Buhnen, Inseln)

$\mathbf{F_{ST} = \rho * g * c_W * A_{St} * v^2 / (2*g)}$ **(N)**

c_W = Strömungswiderstand der Biotopstruktur (-)
i.d.R. c_W = 1,5
ρ = Dichte Wasser = 1000 (kg/m³)
A_{St} = Querschnittsfläche der Biotopstruktur (m²)
v = Geschwindigkeit im Anströmprofil, (m/s)
g = Erdbeschleunigung = 9,81 (m/s²)

Die Biotopstrukturen werden durch Auflast, Anker oder Pfähle vor Verdriftung gesichert.

Wellenschlag auf einzelne Biotopstrukturen am Ufer

Es wird die Horizontalkraft ermittelt, die sich aus dem Wasserdruck auf das Bauteil bei maximalem Wasserspiegelunterschied vor und nach dem Bauteil ergibt.

Maximaler Wasserdruck $p_W = \gamma_W * \Delta h_w$ (kN/m²)

Kraft aus Wellenschlag: $F_W = 0{,}5 * p_W * \Delta h_w * b_m + p_W * h_{UW} * b_m$ (kN)

γ_W = 10 kN/m³
Δh_w = Höhe der Bemessungswelle (m)
h_{UW} = Tiefe des Bauteils unter dem Wellental / unter Wasser (m)
b_m = mitwirkende Breite des Bauteils quer zur Welle (m)

7.5.7 Prüfung von Pfählen

Der Ausziehwiderstand, der erreicht werden muss, leitet sich aus den geotechnischen Nachweisen ab. Die bei Ufersicherungen und der Anlage von Biotopstrukturen aus Totholz verwendeten Pfähle werden planmäßig durch Horizontalkräfte und auch durch geringe Zugkräfte beansprucht. Die Wirksamkeit der Pfähle sollte durch Probebelastungen an einem ausgewählten

Quantil von 10 %, mindestens 5 Pfählen nachgewiesen werden. Hierzu werden die Pfähle entweder vertikal gezogen oder bis zum Bruch oder einer problematischen Verformung horizontal gezogen. Dabei werden die Kräfte gemessen. Das 10 % Quantil ist der Rechenwert für die weitere Bemessung.

7.5.8 Bemessung von Ballast

Die haltende Wirkung von Ballaststeinen oder Schüttungen kann nachgewiesen werden durch die Sohlreibung Ballaststein/ Untergrund oder einen reduzierten Erdwiderstand.

7.6 Auswahl an Ausschreibungstexten

7.6.1 Lebend-Faschine liefern und einbauen

Faschinen mit einem Durchmesser von ..... cm, im gepressten Zustand, bei Pressung von 10 kN/m^2 darf sich die Faschine maximal 3 cm eindrücken lassen, dies entspricht der Belastung durch das Daraufstellen mit den Füßen (ca. 70 kg Körpergewicht), Drahtbindung aus verzinktem oder kunststoffbeschichtetem Bindedraht, Drahtdurchmesser ....., doppelt gebunden, Abstand der Bindungen 0,3 bis 0,4 m,

Faschinenreisig aus 50 % Laubhölzern gemäß DIN 19657 und 50 % bewurzelungsfähiges Reisig gemäß DIN 18918, mit den Arten Salix ....., Salix ..... und Salix ..... zu gleichen Teilen, bewurzelungsfähiges Reisig mit mindestens 3 Ästen von 2 cm bis 4 cm Durchmesser an jeder Stelle der Faschine, Material liefern und an Böschungen mit einem Böschungsverhältnis von 1:..... bis1:..... einbauen, einschließlich örtlicher Anpassung und Zuschnitt, Teilstücke 1,00-5,00 m lang, Einbau an der Böschung in einem Winkel von ..... Grad, Sicherung gegen Abrollen oder Rutschen bis zur gesondert beschriebenen Verpfählung, Abrechnung durch örtliches Aufmaß im eingebauten Zustand und Lieferschein.

Menge: .....m

7.6.2 Spreitlage einbauen

Liefern und Verlegen von bewurzlungsfähigen Weidenzweigen (z.B. Salix viminalis, S. purpurea, S. smithiana): einlegen, einstecken, umlegen, niederhalten / fixieren an der Basis, überrieseln.

Durchmesser Weidenruten: 2-5 cm
Länge Weidenrute: 2,0 – 3,0 m (Rutenenden müssen mindestens 20-30 cm über die äußere Pfahlreihe herausragen)
Verlegeart: flächig parallel zueinander, Deckungsgrad mindestens 70-80 % (Rutenabstände von maximal 3-4 cm), Triebspitzen zur Böschungskrone gerichtet. Die Rutenenden sind in den Uferboden zu stecken und durch eine Faschinenreihe zu fixieren (Vergütung Faschine in gesonderter Position). Rutenenden mind. 30 cm unter MW.
Niederhalter für Ruten: Holzhaken als Niederhalter bis zum vollständigen Verdrahten und verspannen.

Pfähle / Pflöcke: Befestigung mit angespitzten Holzpfählen gemäß Zeichnung im Abstand von 80 x 80 cm. Länge: 0,8-1,0 m Durchmesser 10 cm. Pfähle lotrecht bis 10 cm über Oberfläche einschlagen.
Drahtverspannung: Durchmesser 4,1 mm – verzinkt, kreuzweise um Pfähle spannen und annageln. Danach Pfähle so weit einschlagen, bis Zweige fest an den Boden gedrückt sind.
Oberboden: fertige Spreitlage mit Oberboden überrieseln, maximal 3 cm.

Menge: …… m²

7.6.3 Steckholz (Setzstange) liefern und einbauen

Länge:	1,00 m-1,50 m (1,50 m - 2,50 m)
Zopfstärke:	dünneres Ende größer im Durchmesser als 3 cm (5 cm)
Abstand zueinander:	1,00 m

Steckhölzer (Setzstange) lagerichtig 0,7 bis 0,8 m tief (1,00 bis 1,50 m tief) einbauen, einschließlich Vorbohren der Löcher mit Lochdurchmesser = 2x Steckholzdurchmesser 5-6 cm (10-15 cm)

Löcher mit Lehmbrei vergießen, Steckholz (Setzstange) stecken und nachschlagen, aufgesplittertes Ende glatt absägen, ca. 40-60 cm (80-100 cm) verbleiben über Einbauniveau.

Die Menge von … Stück ist auf die nachfolgend genannten Arten aufzuteilen:
Salix …. … % usw.

Abrechnung erfolgt nach Stück vorgebohrter, mit Lehmbrei verfüllter Pflanzlöcher mit festsitzenden Steckhölzern ohne Rindenbeschädigung.

Menge: ……. Stück

7.6.4 Vegetationsschicht lösen und andecken

Gemähte Vegetationsschicht*, ….Ortsangabe.....,* (Mähen in gesonderter Pos. abgerechnet) 3-5 cm stark abtragen laden, transportieren und auf vom AN zu beschaffenden Flächen bzw. im Baufeld zwischenlagern, Lagerung in Mieten max. 1 m hoch. Zwischengelagerte Vegetationsschicht durch Bewässern vor Austrocknung schützen.

Menge: .....m^3

Vegetationsschicht am Zwischenlager laden, zum Einbauort transportieren, profilgerecht ca. 2-5 cm stark auf zu begrünenden Flächen einbauen (überrieseln) und andrücken/anwalzen. Böschungslängen .....m bis ..... m, Böschungsneigung 1: ..... und flacher. Abrechnung der Auftragsfläche nach m^2.

Menge: .....m^2

7.6.5 Plaggen gewinnen und andecken

Vegetationsstücken von ca. 15-20 cm Stärke und Maßen 30 x 30 cm abstechen, abheben und zwischenlagern.

Plaggen auf vorbereitete Fläche (Rohboden) dicht an dicht legen und leicht andrücken. Plaggen auf Böschungen steiler 1:4 mit Erdnägeln (50 cm lang) vernageln, pro Plagge ein Erdnagel oder Holzhacken

Menge: …… ….. m²

7.6.6 Holzpfähle liefern und einbauen

Holzpfähle aus unbehandeltem Holz von Kiefer oder Lärche (alternativ Robinie oder Eiche), Länge ..... cm, Durchmesser ..... cm, einseitig angespitzt, am Zopf gerändelt liefern und mindestens ..... m in vorhandenen Boden fest einrammen. Inkl. vorbohren und nachschlagen.

Menge: .....St.

7.6.7 Holzhaken - Erdnägel liefern

Erdnägel, aus Holz unbeschichtet, unbehandelt, Länge ..... cm, Querschnittsfläche ..... *(min. 4 cm²),* angespitzt, mit oberen Querholz, oder Astgabeln, zur Befestigung von Jutenetzen oder Plaggen in Boden liefern.

Menge: .....St.

8 Glossar

Im Glossar werden nur die Begriffe berücksichtigt, welche in den Kapiteln 5 und 6 nicht explizit erklärt werden. Außerdem werden die Begriffsdefinitionen verwendet, die für die Fragestellung der vorliegenden Handlungsempfehlung relevant sind.

Auftrieb: Der Auftrieb ist eine der Schwerkraft entgegengesetzte Kraft auf einen Körper in Flüssigkeiten oder Gasen. Der Auftrieb wird durch die Verdrängung des umgebenden Mediums hervorgerufen.

Austriebsvermögen: Fähigkeit von Pflanzen, nach Trennung von Sprossteilen von der Wurzel neu auszutreiben.

Baugrundverhältnis: Boden bzw. Fels einschließlich aller Inhaltsstoffe (z.B. Grundwasser und Kontaminationen), in und auf dem Bauwerke gegründet bzw. eingebettet werden sollen bzw. sind, oder der durch Baumaßnahmen beeinflusst wird“ (DIN 4020, Abschnitt 3.1)

Bemessungshochwasser: Hochwasserabfluss, der für den Hochwasserschutz oder eine Sicherungsmaßnahme am Gewässer maßgeblich berücksichtigt werden muss

Benthisch: An / auf der Gewässersohle, Hartsubstraten oder an Pflanzen lebende pflanzliche und tierische Organismen

Biegsamkeit: Fähigkeit von Pflanzen, sich unter dem Einfluss von strömendem Wasser umzulegen

Böschungsfuß: Übergang der Böschung in die Ebene oder in die Sohle eines Gewässers

Eishub: Hebelnde Kraft sich bildenden Eises im Gewässerrandbereich, welche auf Sicherungsmaßnahmen wirkt

Gelegezone: Vegetation im Flachwasserbereich eines Gewässers (Röhricht, Makrophyten)

Geotechnik: Sammelbegriff für die Ermittlung und Beschreibung der technischen Eigenschaften des Baugrundes

Gewässertyp: dient der Charakterisierung von Fließgewässern im Sinne der EU-WRRL; biozönotisch relevante hydrogeologische Einteilung der Ökoregionen

Habitatvielfalt: Vielfalt von naturnahen lebenden (flutende Erlenwurzeln, Röhricht, Wasserpflanzen) und toten Strukturen (Kiese, Totholz), die als Lebensraum für aquatische Organismen dienen

Hub und Sunk: Einflussbereich von Wellen mit Wellenberg (Hub) und Wellental (Sunk) und den dabei auftretenden Strömungskräften, inklusive Sogwirkung

Huminstoffe: Molekülverbindungen, welche aus Humusboden ausgeschwemmt werden

Hydraulik: Lehre über das Strömungsverhalten von Flüssigkeiten

Hydrologie: Lehre über das Wasser in der Biosphäre der Erde, z.B. über die Abflussbildung in Fließgewässern

Ingenieurbiologie: Unter Ingenieurbiologie wird im deutschsprachigen Raum eine biologisch ausgerichtete Ingenieurbautechnik verstanden die sich biologischer und landschaftsökologischer Erkenntnisse bei der Sicherung und Erhaltung von Böschungen, Hängen, Ufern, Vorländern, Deichen und Deponien vor Erosion bedient. Kennzeichnend dabei ist, dass Pflanzen und Pflanzenteile als lebende Baustoffe so eingesetzt werden, dass sie im Laufe ihrer Entwicklung im Zusammenhang mit Boden und Gestein den wesentlichen Beitrag zur dauerhaften Sicherung leisten.

Leitbild: Zielzustand, welcher durch die Planungsaufgabe an einem Gewässer erreicht werden soll

Litoral: hochproduktive, belichtete Uferzone eines Gewässers, wasserseitig

Aquatische Makrophyten: Wasserpflanzen, welche als Unterwasserpflanzen oder als Schwimmblattvegetation in bzw. an einem Gewässer vorkommen

Mittelwasser (MW): Die über längere Zeit gemittelte Höhe des Wasserstandes an einem ausgewählten Punkt eines Gewässers

Mulchschicht: Tote organische Substanz, welche auf einen Boden (Böschung oder Ebene) als Schutzschicht und als Nährstofflieferant für eine Ansaat oder eine Bepflanzung ausgebracht wird.

Niedrigwasser (NW): Zumeist statistisch ermittelter Wasserstand, der deutlich unter dem als normal definierten Wasserstand eines Gewässers liegt

Referenzzönose eines Gewässers: Aquatische Flora und Fauna, die sich unter vom Menschen unbeeinflussten Bedingungen an und in einem Gewässer einstellen

Referenzzustand eines Gewässers: Zustand eines Gewässers, welcher sich unter vom Menschen nicht beeinflussten Bedingungen einstellen würde

Rohboden: Boden, auf dem der Humushorizont weitgehend fehlt

Schurfverträglich: Eigenschaft von Pflanzen, Abrieb durch Eis oder Sedimente im Gewässer zu kompensieren

Spundwand: Verbau zur Sicherung von Geländesprüngen, der zugleich eine Dichtungsfunktion übernehmen kann, zumeist werden darunter Stahl- oder Betonspundwände verstanden

Stulpwand: Senkrecht aneinandergereihte Holzbretter oder Holzbohlen, welche in den Boden als Dichtungselement eingedrückt werden

Unterhaltung: Maßnahmen zur Pflege und Entwicklung von Gewässern mit dem Ziel der Erhaltung und Verbesserung der wasserwirtschaftlichen und naturräumlichen Funktionen

Verdriftung: Kraft des strömenden Wassers auf Gewässerorganismen oder auf festsitzende Einbauten im Gewässer, die zu einem Abtrieb führen können

Wasserrahmenrichtlinie (WRRL): Richtlinie 2000/60/EG der Europäischen Union bietet den rechtlichen Rahmen für die Wasserpolitik innerhalb der EU, sie dient dazu, die Wasserpolitik stärker auf eine nachhaltige und umweltverträgliche Wassernutzung auszurichten und aquatische Ökosysteme zu einem guten ökologischen Zustand zu führen

Wasserspiegellage: Höhe des Wasserspiegels an einem Gewässer oder an einem bestimmten Punkt eines Fließgewässers

Zopf: Oberes Ende des Steckholzes / der Setzstange