



Renaturierung
Régénération des eaux

Engineered Log Jam (ELJ) Planungshilfe

Amt für Landwirtschaft und Natur



Impressum

Emch+Berger AG Bern
bern@emchberger.ch | www.emchberger.ch
Gesamtlösungen sind unser Plus

The logo for Emch+Berger, featuring the company name in white text on a black square background.

Auftraggeber	UE170034.100 Renaturierungsfonds des Kantons Bern Olivier Hartmann
Datum	22. Februar 2022
Version	2.0
Vorversionen	1.0
Autor(en)	Andreas Widmer (andreas.widmer@emchberger.ch) Niels Werdenberg (niels.werdenberg@emchberger.ch) Simon Haupt (simon.haupt@emchberger.ch)
Fachliche Begleitung	Jürg Stückelberger, Tiefbauamt des Kantons Bern Olivier Hartmann, Amt für Landwirtschaft und Natur des Kantons Bern
Zeichnungen	© Emch+Berger AG Bern, Denis Rochat (denis.rochat@emchberger.ch); u.a.
Illustrationen	© Emch+Berger AG Bern, Denis Rochat (denis.rochat@emchberger.ch); u.a.
Planausschnitte	© Emch+Berger AG Bern; u.a.
Fotos	© Emch+Berger AG Bern; u.a.
Freigabe	Andreas Widmer (andreas.widmer@emchberger.ch)
Verteiler	öffentlich
Datei	J:\F_WN\F_Fs21\UE214007_Planungshilfe_ELJ_Überarbeitung\4_plan\Ing\bericht\UE214007_B _220222_Planungshilfe_ELJ_v2.0_def.docx
Seitenanzahl	113

Inhalt

1	Vorwort.....	4
2	Einleitung.....	5
3	Grundlagen Naturprozesse.....	6
3.1	Natürlicher Referenzzustand	6
3.1.1	Bedeutung des Referenzzustands	6
3.1.2	Natürliches Totholzvorkommen in Fließgewässern.....	8
3.1.3	Anthropogene Beeinflussung in Europa.....	9
3.1.4	Fazit: Wie sieht der Referenzzustand aus?.....	9
	Exkurs 1: Wasser, Geschiebe, Totholz und Biber.....	11
3.2	Natürliche Sukzession.....	13
3.2.1	Natürliche Sukzession im Referenzzustand (large wood cycle).....	13
3.2.2	Natürliche Sukzession bei Totholzangel.....	14
3.2.3	Fazit : Was fehlt unseren Flüssen?	15
4	Grundlagen Engineered Log Jam (ELJ)	16
4.1	Definition Engineered Log Jam	16
4.2	Herkunft und Verbreitung.....	16
4.3	Funktionsprinzip	17
4.3.1	Natürliche Sukzession und Selbsterneuerung bei ELJ-Strukturen	17
4.3.2	Zeitliche Entwicklung und Lebensdauer	19
4.3.3	Habitatfunktion und Lebensraumaufwertung.....	21
4.3.4	Hochwasserfall	22
4.3.5	Zielzustand	23
5	Strukturaufbau und Bautypen.....	24
5.1	Genereller Strukturaufbau.....	24
5.1.1	Einbau in trockener Baugrube.....	24
5.1.2	Einbau unter Wasser	24
5.2	ELJ Bautypen	25
5.2.1	ELJ-Uferverbau (→ Details siehe Anhang B.1)	26
5.2.2	ELJ-Bühne (→ Details siehe Anhang B.2)	26
5.2.3	ELJ-BMU-Bühne (→ Details siehe Anhang B.3).....	26
5.2.4	ELJ-Deflektor (→ Details siehe Anhang B.4)	26
5.2.5	ELJ-BMU-Deflektor (→ Details siehe Anhang B.5)	27
5.2.6	ELJ-Inselkopf (→ Details siehe Anhang B.6).....	27
5.2.7	Gerinnequerende ELJs (→ Details siehe Anhang B.7)	27
6	Einsatzgebiete, Potentiale und Einsatzgrenzen	28
6.1	Schutz vor Seitenerosion / Uferschutz	28
6.2	Strömunglenkung und Strömungsaufteilung	29
6.3	Auenschutz, Auenrevitalisierung, Hochwasser- und Klimaschutz.....	29
6.4	Sohlensicherung und Umkehr Gerinnevertiefung.....	30
6.5	Schwemmholzurückhalt	31
6.6	Sicherung Interventionslinien.....	31
7	Planung und Projektierung.....	31
7.1	Voraussetzungen.....	31
7.1.1	Handlungsbedarf bei Totholz.....	31
7.1.2	Integraler Ansatz	32
7.2	Zielformulierung und ELJ Design.....	32
	Exkurs 2: ELJ-Design: Dichte, Positionierung und Anströmung von ELJs	33

7.3	Von der Idee zum Projekt	35
7.4	Teamleistung ist gefragt.....	35
7.5	Baumaterial (Holz) als zentraler Faktor für die Planung.....	35
7.5.1	Abstimmung mit forstlicher Planung	36
7.5.2	Gesteigerte Wertschöpfung.....	36
7.6	Fachbegriffe.....	37
7.7	Planungsprozess	37
7.7.1	Planen mit nicht normierten Naturmaterialien	37
7.7.2	Erforderliche Grundlagen.....	37
7.7.3	Variantenstudium - Vorprojekt.....	38
	Exkurs 3: Projektspezifische Chancen, Abwägungen und Kompromisse.....	39
7.7.4	Bauprojekt.....	40
7.7.5	Finanzierung sicherstellen.....	42
8	Dimensionierung.....	43
9	Realisierung und Bauleitung	44
9.1	Baumeistersubmission	44
9.1.1	Leistungsverzeichnis	44
9.2	Ausführungsplanung	45
9.2.1	Alternativen sind vorzusehen	45
9.2.2	Baumschau	45
9.2.3	Bauleitung	45
9.2.4	Spezialgeräte und vorgängige Tests	46
9.3	Bauausführung / Bauleitung.....	46
9.3.1	Musterstrecke (-Etappe)	46
9.3.2	Überwachung.....	46
10	Fazit zu Chancen und Risiken	47
10.1	Chancen	47
10.2	Risiken / Gefahren.....	47
11	Zeitbedarf ELJ Projekt	49
11.1	Wasserbauprojekt mit Rodungsarbeiten (z.B. Flussaufweitung)	49
11.2	ELJ Projekt nach einem Sturmereignis mit Windwurf	49
11.3	ELJ Projekt im Zuge einer geplanten forstlichen Massnahme.....	49
11.4	ELJ Projekt ohne konkrete Bezugsquelle für Holz	50
12	Kosten und Kostenvergleich.....	51
12.1	Erfahrungswerte	51
12.2	Kostenvergleich ELJ Ufersicherung – klassischer Uferverbau	52
12.2.1	Fallbeispiel Aare Löchligut, Bern	52
12.3	Kostenvergleich ELJ-BMU-Buhnen – klassische Buhnen.....	52
12.3.1	Kurze Buhne für Aare, Richtpreise	52
	Literaturverzeichnis	53
Anhang A	Grundstruktur ELJ.....	56
A.1	Grundstruktur ELJ – generell	56
A.2	Grundstruktur ELJ – Lagenweiser Aufbau	58
A.3	Grundstruktur ELJ – Kastenbauweise	59
Anhang B	ELJ Bautypen	60
B.1	ELJ-Uferverbau	60
B.2	ELJ-Buhne.....	63
B.3	ELJ-BMU-Buhne	65

B.4	ELJ-Deflektor	66
B.5	ELJ-BMU-Deflektor	69
B.6	ELJ-Inselkopf	70
B.7	Gerinnequerende ELJs	73
Anhang C	ELJ-Normalien	75
C.1	ELJ-BMU-Bühne	75
C.2	ELJ-BMU-Deflektor	76
Anhang D	Fachbegriffe Forst / Bau	77
Anhang E	Dimensionierung	78
E.1	Integraler Flussbau	78
E.2	Flussabschnittsbetrachtung	78
E.3	Grundlagen	78
E.3.1	Hydrologie	78
E.3.2	Hydraulik	78
E.3.3	Sediment	79
E.3.4	Baugrund	79
E.3.5	Baumaterial Holz	79
E.3.6	Schwemmholz	79
E.4	Einwirkende Kräfte	80
E.5	Hydraulik	81
E.5.1	Kolk	81
E.5.2	Strömungskraft	83
E.5.3	Überströmen	83
E.5.4	Anprall	83
E.5.5	Ökomorphologische Gesamtbetrachtung	83
E.6	Statik	84
E.6.1	Rückhaltende Kräfte	84
E.6.2	Treibende Kräfte	84
E.6.3	Gleitsicherheit	85
E.6.4	Kippsicherheit	85
E.7	Etablierung der Vegetation	85
E.8	Versagensmechanismen und deren Handhabung	90
E.8.1	Versagensmechanismen	90
E.8.2	Handhabung	90
Anhang F	Verbindungstechnik	92
F.1.1	Empfohlene mechanische Verbindungstypen	92
F.1.2	Problematische mechanische Verbindungstypen	93
F.1.3	Pro und kontra verbundene Bauweise	94
Anhang G	Spezialgeräte / Bautechnik	95
G.1	Pfählen	95
G.2	Pfahlspitzen	96
Anhang H	Fallbeispiele Schweiz	97
H.1	Aare, Löchligut Bern	97
H.2	Sense, Ruchmühle BE	98
H.3	Aare Fahrhubel, Belp BE	99
H.4	Emme, Utzenstorf-Bätterkinden BE	100

1 Vorwort

Der Begriff «Engineered Log Jams» stammt aus Nordamerika und umschreibt Bauweisen, die in natürlichen Flüssen vorhandene, wilde Ansammlungen von Stammholz nachahmen. Unter diesen Begriff fallen eine Reihe grosser, holziger Bauweisen, die – der Natur abgeschaut – praktisch sofort nach Einbau auch starken Strömungsangriffen standhalten. Der Hauptbestandteil eines «Engineered Log Jam» (abk. ELJ) ist Totholz. Durch den typischen, lagenweise verschränkten Aufbau entsteht eine stabile und naturnahe Struktur, die reich an Oberflächen und Zwischenräumen ist und sich durch den Gehölzbewuchs selbst erneuern kann. Damit können ELJs als dauerhafte, nachhaltige Bauvariante auch herkömmliche flussbauliche Probleme wie Ufererosion lösen und gleichzeitig wertvolle Habitate schaffen. Nicht zuletzt haben ELJs einen enormen Wert für die Auenrevitalisierung: Wie wir heute aus dem bald 25-jährigen Erfahrungsschatz aus Nordamerika wissen, sind grosse Totholzkomplexe – das natürliche Vorbild der ELJs – in Auenlandschaften praktisch unverzichtbar.

Der Wert von Totholz für die Gewässerentwicklung wurde lange Zeit unterschätzt. Das ist auch nicht weiter verwunderlich, da dieser einst wichtige «Baustoff» der Natur schlicht nicht mehr in unseren Gewässern anzutreffen ist. Zudem wird Totholz im Gewässer oft als Gefahrenquelle für Verklausungen sowie Sicherheitsrisiko für Badende angesehen und auch deswegen systematisch entfernt. Nicht zuletzt aufgrund der fehlenden Beispiele aus der Natur galt Flussebenen mit durchgehend mobiler Kiessohle bis vor Kurzem in der Schweiz und weiten Teilen Europas als Referenz für den Naturzustand. Diese Vorstellung hat viele wichtige und wertvolle Flussaufweitungs- und Revitalisierungsprojekte geprägt. Dennoch ist heute evident, dass es für die Schaffung einer artenreichen Aue neben Wasser und Geschiebe auch den dritten Prozessstreiber braucht: die grossen Widerstände im Fließgeschehen, wie sie natürlicherweise insbesondere durch dauerhafte, grobe Totholzansammlungen entstehen, welche einst sehr zahlreich als morphologische Strukturgeber, Initiallebensräume, Nährstoffquellen und Sukzessionshilfen gedient haben. Mit anderen Worten: Ohne natürliches Totholzregime ist die Gerinnemorphologie unserer Fließgewässer nachhaltig gestört (Wohl, et al., 2019a). Insofern ist es also notwendig, unsere Vorstellung eines natürlichen Referenzzustands um grosse Totholzmengen zu erweitern.

Selbstverständlich sind die zur Auenrevitalisierung notwendigen Überflutungsflächen hierzulande nur noch sehr beschränkt vorhanden, und alleine daraus ergeben sich weit grössere Einschränkungen für das Erreichen eines natürlichen Referenzzustands. Dennoch ist es nur konsequent, in den noch vorhandenen Räumen die natürlichen Prozesse der Auen möglichst vollständig ablaufen zu lassen. Hierfür ist es notwendig, den hohen ökologischen und morphodynamischen Wert von dauerhaften, groben Totholzansammlungen als standorttypisch zu erkennen, zu kopieren und die daran ablaufenden Prozesse zu re-integrieren. Insgesamt kann eine Flussaue durch den Einsatz von ELJs eine höhere Komplexität und Diversität erreichen, die Gewässerbeschattung und die Ökosystemleistungen in Bezug auf Klimaschutz und -Resilienz erhöhen. Wie eine aktuelle Untersuchung zeigt, sind zwei Drittel der insgesamt 326 Schweizer Auengebiete von nationaler Bedeutung in einem ungenügenden Zustand (Bonnard, et al., 2021). Entsprechend gross ist also das Potential, ELJs auch zur Auenrevitalisierung einzusetzen, um die standorttypischen, sich selbst erneuernden Totholzstrukturen und Prozesse zu initialisieren.

Die vorgestellte, neue Flussbaumethode ist selbstredend auf sehr grosse Mengen an lokalem Schweizer Holz angewiesen. Diesbezüglich ist eine vorausschauende Zusammenarbeit auf Augenhöhe mit dem Forst und den Waldeigentümern unabdingbar. Hier will das Handbuch dazu anregen, unserem 100% einheimischen und lokal verfügbaren Baumaterial mehr Bedeutung zu verleihen, und damit die regionale Wertschöpfung bewusst zu steigern.

Die vorliegende Planungshilfe ELJ wird laufend ergänzt mit aktuellen Schweizer Projekten und neuen ELJ-Bautypen, die seit unserer Erstausgabe im Januar 2019 hierzulande realisiert wurden.

Verfasser Planungshilfe

Andreas Widmer
Niels Werdenberg
Simon Haupt

Auftraggeber / Fachliche Begleitung

Olivier Hartmann
Jürg Stückelberger

2 Einleitung

Dieses Handbuch widmet sich den aus den USA stammenden «Engineered Log Jams», welche den ingenieurbioologischen Nachbau von natürlichen Stammverkläusungen («log jams») im Flussbau beschreibt. Untersuchungen an natürlichen log jams haben ergeben, dass die in sich verkeilten Strukturen erstaunlich dauerhaft sind, sich in natürlicher Umgebung mit einem entsprechenden Nachschub an Totholz durch den Prozess der Akkumulation und die Sukzession von Gehölzen laufend selbst erneuern können und sich deutlich positiv auf die Fischfauna auswirken.

Das Vorkommen grosser Mengen Totholz wie auch das Entstehen langlebiger log jams dürfte für alle Fließgewässergrößen und -typen unterhalb der Baumgrenze natürlich und standorttypisch sein. In Bächen können diese bereits durch kleinere, einfachere Totholzbautypen initialisiert werden. Der Fokus dieses Handbuchs liegt aber auf den grossen Stammverkläusungen, die typischerweise in grösseren Gerinnen entstehen (Sohlenbreiten > 10 m).

Einerseits soll mit dem vorliegenden Werk ein Verständnis für den enormen ökologischen und morphodynamischen Wert von grösseren log jams in Fließgewässern geschaffen werden. Dankenswerterweise kann hierzu auf den bereits vorhandenen Reichtum an wissenschaftlichen Arbeiten aus dem englischsprachigen Raum zurückgegriffen werden. Andererseits sollen konkrete Beispiele, Planskizzen und detaillierte Angaben zu Projektierung und Bau anregen, ELJs in weiteren Flussbauprojekten einzusetzen, wobei die Chancen und Grenzen dieser neuen Bauweisen transparent dargelegt werden.

Der unverzichtbare, technisch geprägte Teil der Planungshilfe richtet sich in erster Linie an Wasserbausachverständige (Bauherren, Ämter und Fachstellen sowie Ingenieure und Planer). Mit den bildhaften Ausführungen und detaillierten Schemaskizzen möchten wir aber explizit auch weitere Fachleute aus dem Naturschutz-, Umwelt- und Forstbereich sowie Fischerinnen und Fischer und interessierte Laien für das Thema begeistern.

Die vorliegende ELJ Planungshilfe ist die bisher einzige Fachpublikation zu diesem Thema im deutschsprachigen Raum und dient damit auch über die Landesgrenzen hinaus als Standard- und Nachschlagewerk für ELJs. Die für Nordamerikanische Verhältnisse erarbeiteten Grundlagen, Publikationen und Arbeitshilfen fliessen in die vorliegende Planungshilfe ein, sie ist jedoch auf Mitteleuropäische Verhältnisse ausgelegt. Seit der Erstausgabe 2019 hat das Thema spürbar an Fahrt aufgenommen, so wurden weitere ELJs in Schweizer Gewässern realisiert und auch kosten- und materialoptimierte Bautypen erarbeitet. Die vorliegende zweite Version der Planungshilfe ELJ wurde daher umfassend überarbeitet und aktualisiert. Den Autoren ist bewusst, dass der Erfahrungszeitraum mit ELJ hierzulande relativ kurz ist und es in einigen Jahren eine neue Überarbeitung der vorliegenden Publikation bedarf.

Die Neuerungen der aktuellen Ausgabe auf einen Blick:

- Konstruktionspläne und Begleitdokumente zu den neuen, kosten- und materialoptimierten Bautypen, die im Rahmen eines vom Tiefbauamt des Kantons Bern geleiteten Workshops erarbeitet wurden:
 - «ELJ-BMU-Buhne»
 - «ELJ-BMU-Deflektor»
- Bautypen und Fallbeispiele der jüngst in Schweizer Gewässern realisierte ELJs:
 - «ELJ-Buhne» in der Aare (Abschnitt Schützenfahrl)
 - «Inselkopf-ELJ» in der Sense (Abschnitt Ruchmühle)
 - «Inselkopf-ELJ» in der Emme (Abschnitt Bätterkinden/Utzenstorf)
- Einbezug **neuer Fachliteratur**, u.a. Bedeutung für Auen-, Hochwasser- und Klimaschutz
- **Neue Verbindungstypen** aus Holz anstelle von Stahlverbindungen
- **Forstwirtschaftliche Vorgaben** zur Materialgewinnung
- **Neue Grundlagen zur Gehölzbepflanzung**
- **Neue Abbildungen/Illustrationen**

3 Grundlagen Naturprozesse

3.1 Natürlicher Referenzzustand

3.1.1 Bedeutung des Referenzzustands

Im Rahmen von Flussrevitalisierungen ist der sogenannte natürliche Referenzzustand des Fließgewässers anzustreben. Für gewöhnlich ist die Definition eines solchen Referenzzustands nicht trivial, insbesondere spezifisch pro Gewässertyp. Häufig werden daher historische Karten sowie ähnliche, vermeintlich naturbelassene Fließgewässer als Vergleich beigezogen. Doch sind solche Referenzzustände fast immer bereits von anthropogenen Einflüssen gestört und entsprechen bei genauerer Betrachtung nicht einem naturbelassenen Zustand.

Das bekannte Paradebeispiel für einen vermeintlich naturbelassenen Fluss ist der Tagliamento in Italien, der aufgrund der anthropogenen Störung ein deutliches Defizit an Totholzstrukturen und Vegetationsinseln im Flussbett aufweist, da dessen Einzugsgebiet bereits in früheren Zeiten gerodet wurde, was zu einer Mobilisierung von grossen Geschiebemengen geführt hat (Hartmann, 2016). Des Weiteren erreichen Bäume im gewässernahen Bereich aufgrund der Forstwirtschaft oder Sicherheitsholzeri kaum noch ihre natürliche Grösse – und das entsprechende Gewicht – wodurch sie vom Fluss eher verfrachtet werden und weniger als Fixpunkt (sogenannte «key logs» oder Schlüsselhölzer) für künftige Totholzansammlungen (sogenannte «log jams») dienen (Polvi, et al., 2013). Obschon am Tagliamento die Bildung von key logs, log jams und bewaldeten Inseln zum Teil noch beobachtet werden kann (Gurnell, et al., 2001), dominieren ausgedehnte kahle Kiesbänke das Bild. Die Sense im Kanton Freiburg und die obere Isar in Bayern sind weitere Beispiele für noch überwiegend naturbelassene Flussabschnitte, die eine sich dynamisch entwickelnde Auenvegetation und sogar noch etwas grössere Mengen an Totholz aufweisen. Jedoch sind auch für diese Gewässer Einschränkungen aufgrund der kaum vorhandenen grossen, alten Bäume (key logs) zu konstatieren.

Das jahrhundertelange Fehlen des natürlichen Totholzregimes in Europas Gewässern führte auch dazu, dass hydrogeomorphologische Konzepte lange Zeit ausschliesslich auf die Interaktion zwischen Wasser und Geschiebe fokussierten. Erst in jüngerer Zeit wurde die Vegetation und insbesondere das daraus erwachsende Totholz als stark wirkender morphodynamischer Treiber identifiziert. Wie der aktuelle Forschungsstand klar zeigt, stellt Totholz neben dem Abfluss- und dem Geschieberegime den dritten wesentlichen Prozess dar, der Form und Funktion eines Fließgewässers natürlicherweise stark prägt (Wohl, et al., 2019a). Das Totholzregime (wood regime) setzt sich dabei zusammen aus den Grössen Eintrag, Transport und Speicherung im Flussraum (Wohl, et al., 2019a).

Auch der Einfluss des früher sehr häufigen Bibers auf Landschaft und Gewässer wurde lange stark unterschätzt, eben weil nach seiner Beinahe-Ausrottung natürliche Referenzzustände fehlten. Neuere Studien zeigen aber, dass seine Dammbauaktivität sich ganz ähnlich auf die Hydrogeomorphologie der Fließgewässer auswirkt wie die log jams, und daher als Teil des natürlichen Totholzregimes zu betrachten ist (Polvi, et al., 2013) (Wohl, et al., 2019b). Im Referenzzustand wirken diese biotischen Hindernisse (Vegetation/Totholz und Biberdämme) dermassen dominant, dass anstelle des Fluss-Kontinuum-Konzepts von einem eigentlichen Diskontinuum gesprochen werden muss (Burchsted, et al., 2010) (Polvi, et al., 2013) (Wohl, et al., 2019b).



Abbildung 1: Totholzstrukturen und Auenvegetation im Flussbett des Tagliamento (links, (Francis, et al., 2008)) und der oberen Isar (rechts, Foto: Bayerisches Landesamt für Umwelt) und der Sense in Plaffeien (unten, Foto: Andreas Widmer).

Es erstaunt daher nicht, dass die umfassendsten Einsichten zum natürlichen Totholzregime aus Naturuntersuchungen an abgelegenen nordamerikanischen Flüssen stammen: In Nordamerika sind grossflächige, anthropogene Eingriffe in die Flussökosysteme bedeutend später zu verzeichnen als in Europa. Ausserdem sind noch heute Flusssysteme vorhanden, deren Einzugsgebiete bisher nie forstwirtschaftlich genutzt wurden, so beispielsweise der Taiya River in Alaska (Abbildung 2, links). Im Gegensatz dazu das Beispiel des Quinault River (Abbildung 2, rechts) wo das Aufkommen von Auenwald durch übermässig starken Geschiebetrieb durch Rodungen im Einzugsgebiet, sowie das Fehlen von key logs verhindert wird. Weitere Beispiele dazu finden sich in Abbildung 9.



Abbildung 2: Taiya River, Alaska (links) und Quinault River, Washington (rechts), (Herrera Environmental Consultants, Inc., 2006).

3.1.2 Natürliches Totholzvorkommen in Fließgewässern

Vor der menschlichen Einflussnahme waren Fließgewässer in Europa weitgehend von Primärwald bzw. Urwald gesäumt (Klimaxgesellschaft). Durch Erosion, Alterungsprozess, Windwurf, Murgänge, Lawinen usw. sowie durch biologische Aktivität (Biber, Krankheitsbefall usw.) und durch Hochwässer konnte laufend Totholz auf natürlichem Weg ins Gerinne gelangen. Das Vorkommen grösserer Mengen Totholz dürfte daher für alle Fließgewässertypen unterhalb der Waldgrenze natürlich und standorttypisch sein. Tatsächlich sind Totholz mengen in vom Menschen unbeeinflussten Fließgewässern oft erstaunlich gross, wenn auch aufgrund natürlicher Störungen nicht überall jederzeit gleich häufig. Entsprechend zeigen Untersuchungen zur Totholzmenge in naturbelassenen Gerinnen eine hohe Variabilität (0 bis 500 m³/ha) (Wohl, et al., 2019a). Für weite Teile der Schweiz wurde der Naturzustand auf 50 bis 80 m³ grobem Totholz je 100 m Gewässerslänge geschätzt (Mende, 2018).



Abbildung 3: Naturbeispiele von log jams und Schwemholzakkumulation an der Albula, Kanton Graubünden (Fotos: AquaPlus)

Neben der Menge spielt wie erwähnt die Grössenverteilung eine wesentliche Rolle: Kleinere und leichtere Kaliber werden zu mobilem Schwemholz, während grosse, schwere Stücke – in Flüssen sind dies ausgewachsene Baumriesen – seltener bzw. kaum von Hochwässern mobilisiert werden können, wodurch sie als key logs zu lagestabilen Fängerstrukturen für Schwemholz und zum «Fundament» der log jams werden können (Abbe, et al., 2003) (Brooks, et al., 2006). Die Dauerhaftigkeit eines log jams kann wenige Jahre bis zu 10'000 Jahre betragen und wird neben Klima, Abfluss, Geschiebe und Totholzeintrag insbesondere vom Verhältnis der Totholzstückgrösse (key log) zur Gerinnegrösse geprägt (Wohl, et al., 2019a). In schmalen Gerinnen entstehen i.d.R. gerinnequerende log jams, in breiteren können sich sowohl ufernahe, mittige (umströmte) wie auch gerinnequene log jams etablieren. Darüber hinaus kann sich auch die Zusammensetzung ufersäumender Baumarten auf die Dauerhaftigkeit von Totholzansammlungen auswirken, indem gewisse Arten nach dem Eintrag ins Gerinne vermehrt austreiben und relativ rasch stabile Inseln schaffen können (Gurnell, et al., 2001). All diese Faktoren führen dazu, dass kleine wie auch grosse waldgesäumte Fließgewässer natürlicherweise zahlreiche langlebige Totholzstrukturen in unterschiedlichen Akkumulations- und Sukzessionsstadien sowie Häufigkeiten und Grössenordnungen aufweisen und dass dadurch komplexe Gerinnestrukturen und vielfältige, gut vernetzte Habitate entstehen.

Einer der grössten noch dokumentierten natürlichen log jams wies ein Alter von mehreren hundert Jahren auf, belegte um das Jahr 1830 fast 500 km Gerinnelänge des Red River in Louisiana, und

seine Entfernung durch den Menschen dauerte damals 40 Jahre (Wohl, et al., 2019b). Dies mag ein Extrembeispiel sein, doch zeigt es eindrücklich, wie sehr Totholz einst die Gewässer prägen konnte. Selbst die uns heute zugänglichen Referenzgewässer geben mögliche Naturzustände also nur ansatzweise wieder.

3.1.3 Anthropogene Beeinflussung in Europa

Aufgrund der langen Geschichte der Besiedelung Europas und der grossen Bevölkerungsdichte findet sich heute in Europa kaum noch ein Flusssystem, welches nicht vom Menschen beeinflusst ist. Bereits die Römer rodeten grosse Waldflächen, was z.B. die mediterrane Landschaft nachhaltig verändert hat (Küster, 2008). Aufgrund der veränderten Wälder und Waldnutzung findet man heute kaum mehr Bäume in ihrer natürlichen maximalen Wuchsgrösse vor. Auch die Ausrottung der Biber führte zu einer drastischen morphologischen und ökologischen Verarmung der Fließgewässer. Zusätzlich wurden in den letzten zwei Jahrhunderten in Form von Flusskorrekturen und -begradigungen, Hochwasserschutzbauten, Auenwaldrodungen, Staubauten, Flusswasserkraftwerken, usw. massiv in die Flusssysteme eingegriffen. Dabei reichen die Motive von Binnenschifffahrt, Flösserei, Hochwasserschutz über Agrarwirtschaft bis zur Energieproduktion. Die Auswirkungen dieser Eingriffe auf Fluss- und Ökosysteme sind ebenso vielfältig, unter anderem umfassen sie veränderte Fließregimes, gestörte Geschiebedynamik, verminderte Diversität, Qualität und Quantität von Habitaten, durchgehende Sohlenabsenkungen/-eintiefungen (channel incision), Grundwasserbeeinträchtigung, verringerte Konnektivität zwischen Flüssen und Altauen, gestörte biologische Durchgängigkeit und Verlust von Biodiversität. Nicht zuletzt wurden durch Gewässerkorrekturen und Umnutzung bzw. Besiedelung der ehemaligen Flussräume auch grosse Schadenspotentiale geschaffen. Diese bedingen den Ausbau und Unterhalt aufwändiger Schutzmassnahmen und bleiben dennoch gefährdet, sei es durch extreme Ereignisse oder durch ein plötzliches Versagen von Schutzbauten.

Durch diese Entwicklungen ging das Eintragungspotential von Totholz bereits relativ früh sehr stark zurück. Auch wurde (und wird) eingetragenes Tot- und Schwemmholz aktiv aus dem Gewässer entfernt, um Anlagen zu schützen und Verklausungen bei Brücken u.ä. zu verhindern. Folglich weisen die allermeisten europäischen Fließgewässer bereits seit Jahrhunderten ein massives Totholzdefizit auf (Kail, 2015). Selbst ökomorphologisch «natürlich» taxierte Gewässer weisen in der Regel ein grosses Totholz-Defizit auf. Obschon der Nutzen von Totholz im Gewässer mittlerweile sehr gut dokumentiert ist (vgl. Metastudien z.B. von (Wohl, et al., 2019b), ökohydraulische Analysen z.B. von (Schalko, et al., 2021)), findet diese Thematik hierzulande bisher noch zu wenig Beachtung - mit der Folge, dass auch in Revitalisierungsprojekten meist eine degradierte Morphologie und wesentlich weniger Habitate entstehen, als dies natürlicherweise der Fall wäre. Erst seit kurzem wird in Pilotprojekten versucht, einigen Gewässerabschnitten wieder ausreichend grosse Totholzmassen zurückzugeben (Meier, et al., 2018) (Werdenberg, et al., 2018).

3.1.4 Fazit: Wie sieht der Referenzzustand aus?

Der natürliche Referenzzustand beschreibt denjenigen Zustand, der durch langfristige, natürliche Entwicklung vom Flusssystem erreicht wird und wo Hydraulik, Morphologie und Ökologie im dynamischen Gleichgewicht sind. Da die natürliche Referenz in Europa kaum mehr vorhanden ist, muss der Blick zwingend in klimatisch und geologisch ähnliche Regionen wie Nordwestamerika schweifen, wo die noch intakten Referenzgewässer offenbaren, dass die Gewässermorphologie neben Abfluss- und Geschieberegime von enormen Mengen Totholz und einem omnipräsenten Biber geprägt ist (s. Exkurs 1: Wasser, Geschiebe, Totholz und Biber). Diese biotischen Prozesstreiber (Vegetation/Totholzregime und Biberaktivität) ziehen dabei am selben Strick: sie verlangsamen Abfluss und Geschiebetransport deutlich, schaffen relativ hohe mittlere Sohlenlagen, steigern die Grundwasserbildung stark (Wohl, et al., 2019b) und begünstigen Entstehung und Erhalt von mehrjährig stabilen Nebenarmen in der Aue sowie bewaldeten Inseln im Flusslauf (Collins, et al., 2012) (Polvi, et al., 2013). Die resultierende natürliche Hydrogeomorphologie ist gekennzeichnet durch einen hohen hyporheischen Austausch (Grund- und Oberflächenwasser), einen enormen Rückhalt von Nährstoffen und Sedimenten (anstelle von Sohlenerosion), sowie einer hohen Konnektivität mit der bewaldeten Aue. Dadurch werden Wasserdargebot und -temperatur des Fließgewässers natürlicherweise stark gepuffert (Klimaresilienz) bei gleichzeitig hoher Verfügbarkeit, Diversität und Komplexität von Habitaten (Biodiversität) (Bird, et al., 2011) (Collins, et al., 2012) (Wohl, et al., 2019b)



Abbildung 4: Naturbeispiele von log jams: Oben: White Rock River, NSW, Australia (Brooks, et al., 2006).
Zweite Reihe: Shale Creek, WA, USA (Wohl, et al., 2019b). Dritte Reihe links: Guadalupe River, TX, USA (Foto:
Frank Tilley). Dritte Reihe rechts: Ahtanum Creek, WA, USA (Kay Saldi-Caromile, 2004). Unten: Nass River,
B.C. Kanada (Foto: Eric Parker).

Exkurs 1: Wasser, Geschiebe, Totholz und Biber

Wie der aktuelle Forschungsstand zeigt, stellt Totholz neben dem Abfluss- und Geschieberegime den dritten wesentlichen physikalischen Prozess dar, der Form und Funktion eines Fließgewässers in unseren Breitengraden natürlicherweise prägt (Wohl, et al., 2019a). Fließgewässer mit starken Totholzdefiziten sind entsprechend als degradierte Gewässer einzustufen.

Natürlicherweise kommen sehr grosse Mengen Totholz im Gewässer vor. Abhängig von der Grösse und des Gewichts einzelner Totholzteile können diese bei Hochwasser unterschiedlich gut mobilisiert werden. Sehr grosse und schwere Schlüsselhölzer (key logs) – die in vom Menschen geprägten Einzugsgebieten heute fehlen – werden kaum mobilisiert. An diesen grossen key logs verfängt sich daher laufend Schwemmholz, bis ein Totholzkomplex (log jam) entsteht. Diese lagestabile Struktur wirkt als Fließhindernis im Fluss, teilt diesen auf, führt zu lokalen Kolken und schafft im Strömungsschatten eine Zone für Geschiebeanlagerung und Sukzession bzw. Aufwuchs von Harthölzern. Aus dieser bewaldeten Insel gelangen mit der Zeit wieder ausgereifte grosse key logs in den Fluss und der Kreislauf (large wood cycle) beginnt von neuem (Collins, et al., 2012). Durch diesen Prozess entstehen und erhalten sich bewaldete Inseln im Flusslauf.

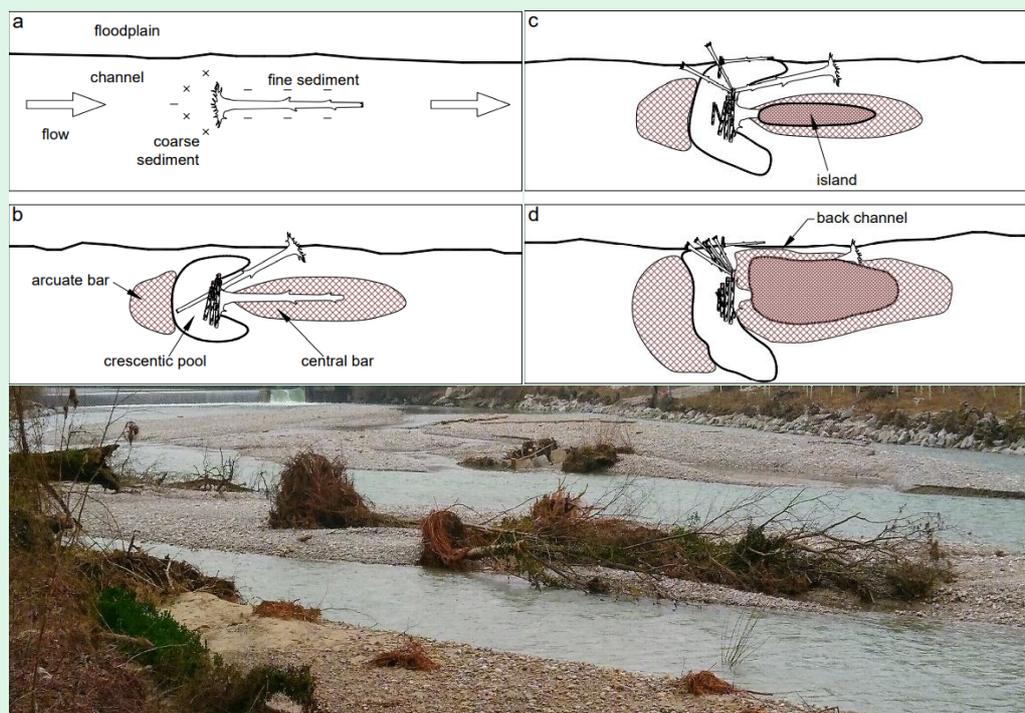


Abbildung 5: Schwemmholzakkumulation u. morphodynamische Entwicklung an einem key log: Schema (Kay Saldi-Caromile, 2004), Naturbeispiel: Emme Bätterkinden, Kanton Bern (Foto: Niels Werdenberg).



Abbildung 6: Naturbeispiel key log: Ins Gerinne gefallener Baumriese, Mashel River, WA, USA (Foto: Nisqually Land Trust)

Ohne large wood cycle bzw. natürliches Totholzregime ist die Gerinnemorphologie nachhaltig gestört (Wohl, et al., 2019a): Wenn die schweren key logs fehlen, können die lagestabilen Inseln kaum entstehen, da die Sukzession zur Hartholzauwe immer wieder von Hochwässern unterbrochen wird. Das Potential für bewaldete Flussinseln beschränkt sich dann auf spezielle Zustände, in denen – abhängig von Gerinnegeometrie, Abfluss und Geschiebe – stationäre Bänke überhaupt

möglich sind. Diese Zustände treten aber selbst in räumlich grosszügigen Flussrevitalisierungen weit seltener auf, als log jams im natürlichen Referenzzustand (Systemvergleich in Tabelle 1). Ausserdem entwickeln sich höchstens die rasch wachsenden Arten der Weichholzaue, da auch stationäre Bänke nicht ausreichend lange stabil sind. In degradierten Gewässern braucht es also Totholz und künstliche log jams, um den large wood cycle wieder in Gang zu bringen und die damit einhergehende Habitatkomplexität zu entfalten (Collins, et al., 2012) (Wohl, et al., 2019a).

Wenn es um den natürlichen Referenzzustand von Fließgewässern der nördlichen Hemisphäre geht, ist neben den erwähnten Prozesstreibern (Wasser, Geschiebe und Vegetation/Totholz) unbedingt auch der vielfältige Einfluss des Bibers zu nennen: Mit Ausnahme der letzten ca. 300 Jahre (Beinahe-Ausrottung durch den Menschen) haben Vertreter der Familie Castoridae die Bäche und Flüsse über mehrere Millionen Jahre lang nachhaltig geprägt (Goldfarb, et al., 2018). Die rege Dammbauaktivität der einst sehr häufigen Tiere hat sich nachweislich in der Geologie und Landschaft Eurasiens und Nordamerikas sowie ihrer gewässertypischen Fauna und Flora (Co-Evolution) niedergeschlagen. Wie heute gezeigt werden kann, profitieren Gewässersysteme entsprechend stark von einer Wiederbesiedlung des Bibers (u.a. Erhöhung Klimaresilienz und Förderung Biodiversität (Bird, et al., 2011) (Goldfarb, et al., 2018) (Derek, 2021)).



Abbildung 7: Biberdammrevier am Heimishofenbach, Kanton Schaffhausen (Foto: Niels Werdenberg)

In natürlicher Häufigkeit vorkommend, erhöhen Biberdämme wie auch Totholzkomplexe die Strömungskomplexität und die Konnektivität des Gewässers mit den Auenvorländern deutlich. Beide bewirken generell eine starke Verzögerung des Abflusses und des Geschiebetransports, verstärken das Einsickern ins Grundwasser und die Wasserreinigung, halten Nährstoffe zurück und verhindern eine Eintiefung des Gerinnes (channel incision) (Wohl, et al., 2019a) (Abbe, et al., 2018) (Zahner, 2018) (Larsen, et al., 2018). Im natürlichen Referenzzustand treten diese abflussverzögernden Strukturen von der Quelle bis zur Mündung so häufig auf, so dass sie insgesamt den Wasser-, Geschiebe- und Nährstoffhaushalt einer ganzen Region nachhaltig prägen.

Interessant ist, dass sich die Effekte von log jams und Bibern im Naturzustand nicht nur addieren, sondern multiplizieren dürften: Denn einerseits erhöht der Biber den Eintrag an key logs, indem er grosse Bäume fällt oder diese im Einstaubereich neuer Biberdämme absterben, und andererseits teilen log jams auch breite Talflüsse vermehrt in kleinere Nebenarme auf (anabranching vgl. Tabelle 1), wodurch letztere wiederum vom Biber gestaut werden können (Minnig, 2022)

Insgesamt entsteht durch die biotischen Faktoren also eine hochkomplexe, ausgedehnte Auenlandschaft mit einer stark mosaikartigen Verteilung von offenen Wasserflächen, Geschiebebänken, bewaldeten Inseln und Feuchtgebieten und mit einer sehr hohen Habitat- und Artenvielfalt. Im Referenzzustand würden unsere Bäche und Flüsse weniger ein einzelnes Hauptgerinne aufweisen, sondern sind viel eher als eine vielschichtig und multidirektional durchflossene Gewässerlandschaft zu sehen, die gegen natürliche Extremereignisse wie Trockenheit, Hochwasser und Waldbrände äusserst widerstandsfähig ist (Wohl, et al., 2019b).

Beginnend mit der intensivierten Waldnutzung über die Ausrottung des Bibers und die Entfernung von Totholz als Hindernis für Holzflösserei und Flussnavigation bis hin zu den grossen Flusskorrekturen trugen sämtliche Entwicklungen der letzten rund 300 Jahre dazu bei, dass Totholz, Biber und die resultierenden Naturzustände aus unseren Flüssen (und Köpfen) verschwunden sind (Abbe, et al., 2018).

3.2 Natürliche Sukzession

3.2.1 Natürliche Sukzession im Referenzzustand (large wood cycle)

Sukzession ist die zeitliche Abfolge von Lebensgemeinschaften in verschiedenen Stadien. Im Allgemeinen besiedeln zuerst Pionierarten einen neu geschaffenen Lebensraum. Sie werden nachfolgend sukzessive von anderen Arten (Nachfolgern) verdrängt. Im Flusssystem führen beispielsweise Hochwasser zu neuen Lebensräumen, z.B. übersarte (überschüttete) oder erodierte Ufer/Kies-/ Sandbänke, welche anschliessend von Pionierpflanzen besiedelt werden. Ebenso können, falls vorhanden, grosse lagestabile Totholzstrukturen solche Initiallebensräume bilden.

Im natürlichen Referenzzustand (vgl. Kap. 3.1) folgt die Sukzession dem in Abbildung 8 dargestellten Schema, bei dem die Entwicklung der Hartholzaue die letzte Stufe der Sukzession bildet. Entscheidend ist, dass sich im Naturzustand selbst unmittelbar im und am Fluss die Baumarten der Hartholzaue etablieren können, indem diese im «Strömungsschatten» von grobem Totholz aufwachsen und als ausgewachsene Bäume zu einer gesteigerten Gewässerbeschattung und Kühlung beitragen. Die Hartholzaue – die Quelle des groben Totholzes – bildet also die Voraussetzung für eine spätere Neubildung von Auenvegetation basierend auf lagestabilen Totholzstrukturen.

Dabei ist wesentlich, dass eine ausgereifte, alte Hartholzaue jeweils genügend grosse und schwere Bäume (Schlüsselhölzer) hervorbringt, die selbst in grossen Hochwasserereignissen kaum verdriftet werden. An den lagestabilen Schlüsselhölzern (engl. «key logs») laufen dann Akkumulationsprozesse ab, indem sich laufend weitere, leichtere Stämme (Schwemmholz) daran verfangen und verkeilen. Damit schliesst sich der «large wood cycle» (Abbe, 2000) (Collins, et al., 2012) und die Gerinnemorphologie entwickelt sich zu einem Flusssystem mit bewaldeten Inseln und mehrjährig stabilen Nebenarmen (Abbe, et al., 2003) (anabranching, vgl. Tabelle 1).

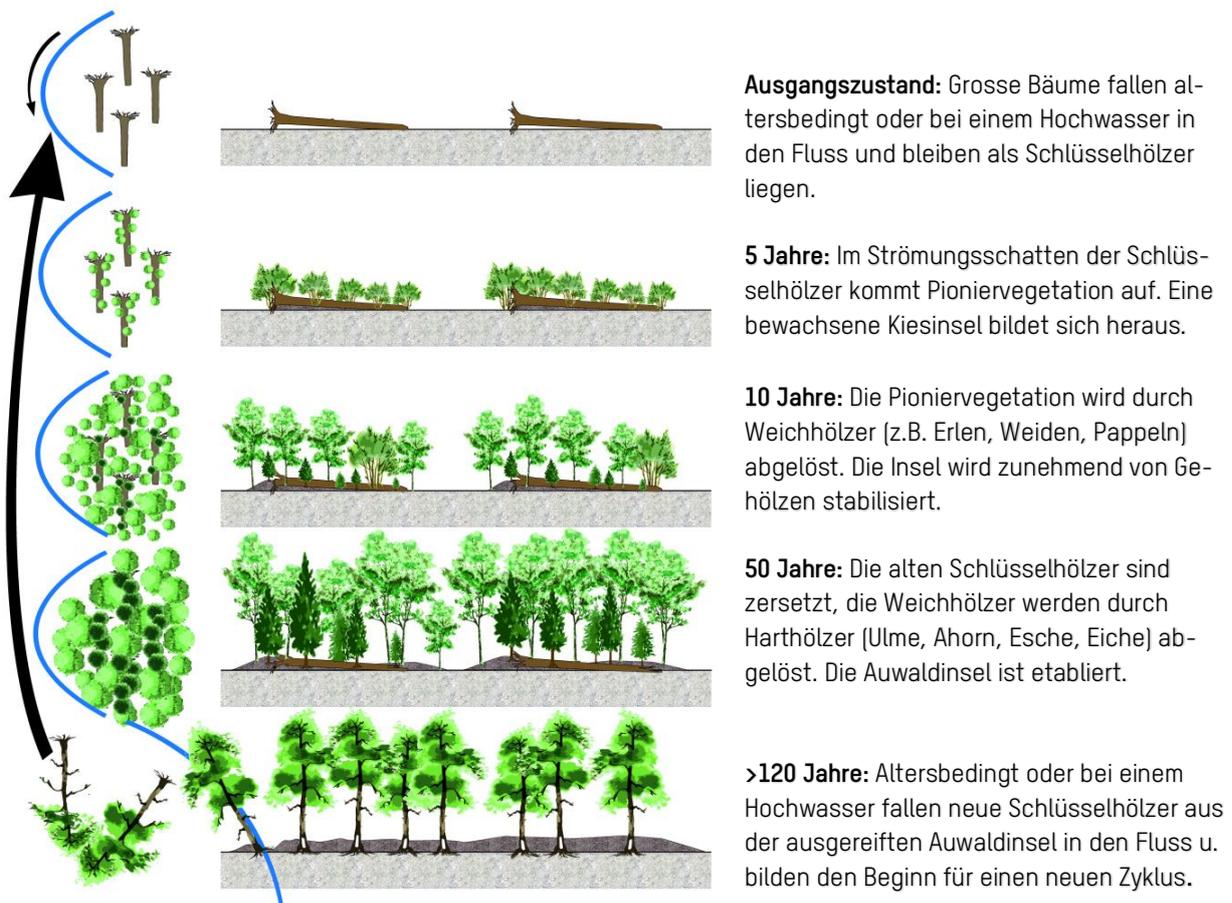


Abbildung 8 : Natürliche Sukzession im anthropogen unbeeinflussten Referenzzustand (large wood cycle).
Schema adaptiert nach [Fetherston, et al., 2012].

3.2.2 Natürliche Sukzession bei Totholzangel

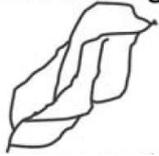
Durch den large wood cycle (Kap.3.2.1) können sich im Flussraum also laufend neue Auwaldinseln etablieren. Das geht jedoch nur, wenn die als Fundament wirkenden Schlüsselhölzer überhaupt in den Flussraum gelangen. Liegt hier ein Defizit vor, wird die Bildung von dauerhaften, lagestabilen Totholzstrukturen gehemmt, da das langfristige Fundament fehlt und etwaige Holzansammlungen samt der aufkommenden Vegetation bei Hochwasser mobilisiert werden. Auch in einem ansonsten natürlichen, der eigendynamischen Entwicklung überlassenen Fluss finden sich dann vorwiegend kahle Kiesbänke, da sich die Sukzession auf die ersten ein bis zwei Stufen beschränkt (Abbildung 8) und nie über das Stadium der Weichholzaue hinaus kommt (Hartmann, 2016). Denn regelmässige Hochwasser übersaren oder erodieren die Auenvegetation bevor diese sich voll entwickeln kann, bzw. bevor sich der Klimaxzustand der Hartholzaue etabliert. Als Folge bilden sich die bei uns bekannten, relativ breiten und ausgedehnten, kahlen Kieszonen im Flussraum. Ausgereifte Hartholzauen – wie erwähnt die Quelle des groben Totholzes bzw. der Schlüsselhölzer – sind dann bestenfalls im entfernten Randbereich der Flutebene zu finden. Dadurch ist die natürliche Eintragsrate von neuem Totholz und insbesondere von Schlüsselhölzern in den Fluss stark reduziert. Der large wood cycle ist deaktiviert. Entscheidend ist, dass das einmal degradierte System ohne als Gehölzaufwuchshilfe wirkende, lagestabile Strukturen wie log jams nicht mehr zum natürlichen large wood cycle und damit nicht mehr zum natürlichen Zustand zurückfindet. Der degradierte, überbreite Zustand entspricht dem heutigen Tagliamento (IT) oder auch dem Cowlitz River (USA), (Abbildung 9).



Abbildung 9 :Mögliche stabile Zustände eines Flusses; ohne Abholzung von grossen Uferbäumen (links) oder nach langjähriger Entnahme der grossen Uferbäume (rechts). Links: Hoh River, Washington, USA; Rechts: Cowlitz River, Washington, USA (Collins, et al., 2012).

In Tabelle 1 sind die wesentlichen Unterschiede beider Zustände gegenübergestellt.

Tabelle 1: Gegenüberstellung der Gleichgewichtszustände von Flusssystemen in Abhängigkeit ihres Totholzregimes. Abbildungen aus [Polvi, et al., 2013].

Höhere Komplexität und Diversität (Totholz ausreichend, large wood cycle aktiv)	Tiefere Komplexität und Diversität (Totholz mangel, large wood cycle deaktiviert)
z.B. Hoh River, USA (Abbildung 9, links)	z.B. Cowlitz River, USA (Abbildung 9, rechts)
1. Vielfalt an stabilen Haupt- u. Nebenaggregaten, mehrjährige Nebenarme (anabranching) Anabranching 	1. Verzweigtes Gerinne mit instabilem Hauptkanal und flüchtigen Nebenarmen (braided) Braided 
2. Hohe Konnektivität von Gerinne und Aue, hochwertige Grenzlebensräume	2. Geringe Konnektivität von Gerinne und Aue, geringe Qualität der Grenzlebensräume
3. Grosse Bäume, die an erodierten Ufern vom Fluss mitgerissen werden	3. Auenwalderneuerung ist beschränkt auf Randbereiche und ggf. stationäre Bänke
4. Stabile Totholzkomplexe bei Strömungsteilern und Einläufen zu Nebenarmen	4. Instabile Lebensraumfragmente und Totholzansammlungen
5. Tiefe Kolkbecken in Kombination mit stabilen Totholzkomplexen	5. Wenige, flache Becken
6. Mosaikartige Verteilung der Flächen in Bezug auf Waldalter und Lebensräume, einschliesslich reifer Samenbäume auf stabilen «Fixpunkten». Hohe Artenvielfalt.	6. Ausgedehnte mobile Kiesbänke, kaum oder spärlich bewachsen, geringes Alter der säumenden Waldflächen, dominiert von Pionierbaumarten. Tiefe Artenvielfalt.

3.2.3 Fazit : Was fehlt unseren Flüssen?

- Abgesehen vom Entwicklungsraum fehlt ihnen aus hydrogeomorphologischer Sicht v.a. Totholz.
- Die hierzulande in Auengebieten und Flussaufweitungen dominierenden, kahlen Kiesbänke (Zustand rechts in Tabelle 1) sind Folge eines gestörten Totholzregimes. Kahle Kieszonen bieten zweifellos wertvolle Pionierlebensräume, würden im natürlichen Referenzzustand aber eher in kleinräumigen, mosaikartigen Einheiten zwischen bewaldeten Inseln auftreten.
- Wie beschrieben dürften grosse Totholz mengen wie auch lagestabile Totholzkomplexe für alle Fliessgewässertypen unterhalb der Waldgrenze als natürlich und standorttypisch gelten. In grösseren Gewässern sind unter natürlichen Bedingungen entsprechend grosse log jams zu erwarten, die eine deutlich differenziertere Flussmorphologie hervorbringen (z.B. anabranching). Diese log jams können sich aber in degradierten Systemen ohne Initialstrukturen (key logs) nicht mehr bilden.
- Um bei degradierten Fliessgewässern wieder eine Entwicklung in Richtung Referenzzustand (Zustand links in Tabelle 1) zu ermöglichen, braucht es also den Einbau von lagestabilen Totholzkomplexen wie z.B. ELJs, welche die natürliche Dynamik (Sukzession, large wood cycle) wieder initialisieren.

4 Grundlagen Engineered Log Jam (ELJ)

4.1 Definition Engineered Log Jam

Engineered Log Jams (ELJ; auf Deutsch etwa «künstliche Stammverkläusung») sind vielseitig einsetzbare flussbauliche Grobstrukturen aus Totholz, welche sowohl für ökologische Aufwertungsmassnahmen als auch zur Behebung von herkömmlichen flussbaulichen Problemen wie z.B. Ufererosion eingesetzt werden kann (Abbe, et al., 2003). Grundsätzlich imitieren ELJs die natürlicherweise eigendynamisch entstehenden, dauerhaften Totholzkomplexe, wie sie in mittleren bis grossen Fliessgewässern beispielsweise im Nordwesten der USA noch vorkommen (Abbe, et al., 2003). Dabei werden gegenüber dem Naturbeispiel gewisse strukturelle Vereinfachungen vorgenommen, um die bautechnische Realisierbarkeit zu erleichtern und die erforderlichen Stabilitätsnachweise zu erbringen (Abbe, et al., 1997) (Brooks, et al., 2006). Die Kernstruktur eines ELJ wird jeweils aus einer grösseren Anzahl langer Stämme, inklusiv deren dazugehörigen Wurzelteller, erstellt. Diese sogenannten Wurzelstämme werden i.d.R. auf einem Raster von eingerammten Pfählen schichtweise angeordnet und so ineinander verkeilt und überschüttet, dass sie dem Strömungsangriff direkt nach Bau gut standhalten. Je nach Standort werden Teile eines ELJs auch im Ufer rückverankert.

ELJs basieren auf der Annahme, dass Eingriffe in Gewässersysteme ökonomisch wie auch ökologisch am nachhaltigsten sind, wenn das resultierende System, inklusive sämtlicher darin ablaufender Prozesse, einem natürlichen Zustand bzw. natürlichen Prozessen gleicht (Herrera Environmental Consultants, Inc., 2006). Mit dem Einbau von ELJs werden also ein natürlicher Referenzzustand (vgl. Kap.3.1.4) bzw. ökomorphologische Referenzprozesse (vgl. Kap.3.2.1) angestrebt, indem dauerhafte, grobe Totholzkomplexe in das Flusssystem re-integriert werden, wo sie natürliche log jams imitieren und insbesondere als morphologische Strukturgeber, Initiallebensraum, Nährstoffquelle und Sukzessionshilfe dienen. Somit handelt es sich bei ELJs um Biomimikry. Die Idee hinter der Biomimikry ist, dass die Natur die Herausforderungen, die wir zu lösen versuchen, bereits gelöst hat (Benyus, 2002). Ein weiteres Beispiel für Biomimikry in der Gewässerrevitalisierung sind sogenannte «Beaver Dam Analogs» (Pollock, 2015) (Minnig, 2022) die als semipermeable Totholzdämme erstellt werden, um Fliessgewässer, Feuchtgebiete und Auen zu reaktivieren. Sie erzielen eine ähnliche Wirkung wie Biberdämme und gerinnequerende log jams (bzw. gerinnequerende ELJs, vgl. Kap.5.2.7).

4.2 Herkunft und Verbreitung

Die ersten ELJ-Massnahmen wurden 1995 im Cowlitz River, Washington, USA umgesetzt (Abbe, et al., 1997). Im Pacific Northwest der USA und Kanada wurden ELJ seither in verschiedensten Projekten realisiert. In diesem Bereich Nordamerikas wurde in den letzten Jahren neben dem Einsatz künstlicher log jams zur Förderung von Wildlachs und anderen Salmoniden auch ein Fokus auf die Revitalisierung / Reaktivierung von Auenwäldern, die Förderung von Sohlenfixpunkten im Flussauensystem und die Realisierung von naturnahen Uferschutzmassnahmen mittels dieser Totholzstrukturen gelegt (Abbe, et al., 2018). Im Verlauf der Jahre wurden im Rahmen von Qualitäts- und Erfolgskontrollen etliche Studien zu ELJs durchgeführt, z.B. (Southerland, et al., 2010). So sind heute bereits bedeutende Grundlagenkenntnisse hinsichtlich ökologischer und morphodynamischer Leistung, Verhalten, Versagensmechanismen und Lebensdauer dieser Strukturen vorhanden. Ausserhalb Nordamerikas und Kanadas wurde das ELJ-Konzept bisher v.a. in englischsprachigen Ländern umgesetzt: Seit 2001 wird es in Australien angewendet, um morphologisch degradierte Flusssysteme im Osten des Landes aufzuwerten, z.B. (Brooks, et al., 2001). 2006 wurde ein Konzept für die Verwendung von ELJs in Schottland erarbeitet (Herrera Environmental Consultants, Inc., 2006).

Im deutschsprachigen Raum war das ELJ-Konzept vor 2016 kaum bekannt. 2016 wurden in der Schweiz an der Alten Aare (Lyss - Dotzigen) und am Scherlibach (Köniz) erstmals umfassende Totholzstrukturierungen umgesetzt, wobei auch ELJ-ähnliche Grobstrukturen erstellt wurden (Werdenberg, et al., 2018) (Meier, et al., 2018). Im Frühjahr 2018 wurde mit dem Unterhaltsprojekt Aare Löchligut (Bern) erstmals ein ELJ-Längsverbau in einem grossen Schweizer Fluss realisiert (Widmer, et al., 2018). Im Winter 2019 wurden mit dem Instandstellungsprojekt an der Aare in Belp erstmals Steinbuhnen durch ELJ-Buhnen ersetzt. Seither folgten diverse weitere Umsetzungen an Flüssen in der Schweiz (vgl. Fallbeispiele im E.1).

4.3 Funktionsprinzip

4.3.1 Natürliche Sukzession und Selbsterneuerung bei ELJ-Strukturen

ELJ-Strukturen zielen wie erwähnt darauf ab, grosse natürliche Totholzstrukturen künstlich nachzubilden, um damit eine Gehölzsukzession und Totholzdynamik wieder zu reaktivieren, wie sie im natürlichen Referenzzustand zu erwarten wäre. Das hat nicht nur ökologische Vorteile, denn dadurch kann sich die gebaute ELJ Struktur laufend selbst erneuern.

In Abbildung 10 sind die einzelnen Phasen der Sukzession bei einer ELJ-Struktur dargestellt. Dabei werden die ersten zwei Phasen anthropogen beeinflusst, die weiteren Phasen laufen natürlich ab.

- In einem ersten Schritt werden die Totholzstrukturen an den geplanten Standorten maschinell eingebaut, mit anstehendem Material hinterfüllt und mit Gehölzen bepflanzt (Initialbepflanzung), insbesondere auch mit Arten der Hartholzaue. Diese Starthilfe kann die Gehölzetaablierung und Durchwurzelung der Struktur gezielter und rascher erreichen.
- Im Weiteren beginnt sich die Struktur zu verändern, wobei sich Zersetzungs- und Anlagerungsprozesse in etwa die Waage halten. An der strömungsexponierten Front lagert sich laufend Schwemmholz, im Strömungsschatten Geschiebe und Sedimente ab. Teile der Totholzstruktur verwittert und liefert Nährstoffe an die aufkommenden Gehölze. Die Durchwurzelung (gepflanzte Gehölze und Spontanvegetation) übernimmt zusammen mit dem angelagerten Schwemmholz über die Jahre die Funktion der Stabilisierung.
- Am Ende des vollständigen Sukzessionszyklus erneuern die ausgewachsenen Harthölzer als natürliches Totholz die gebaute Struktur und läuten damit den nächsten Zyklus ein, bzw. reaktivieren den large wood cycle (Kap. 3.2.1). Weitere Details zum ELJ-Lebenszyklus siehe Kap.4.3.2.

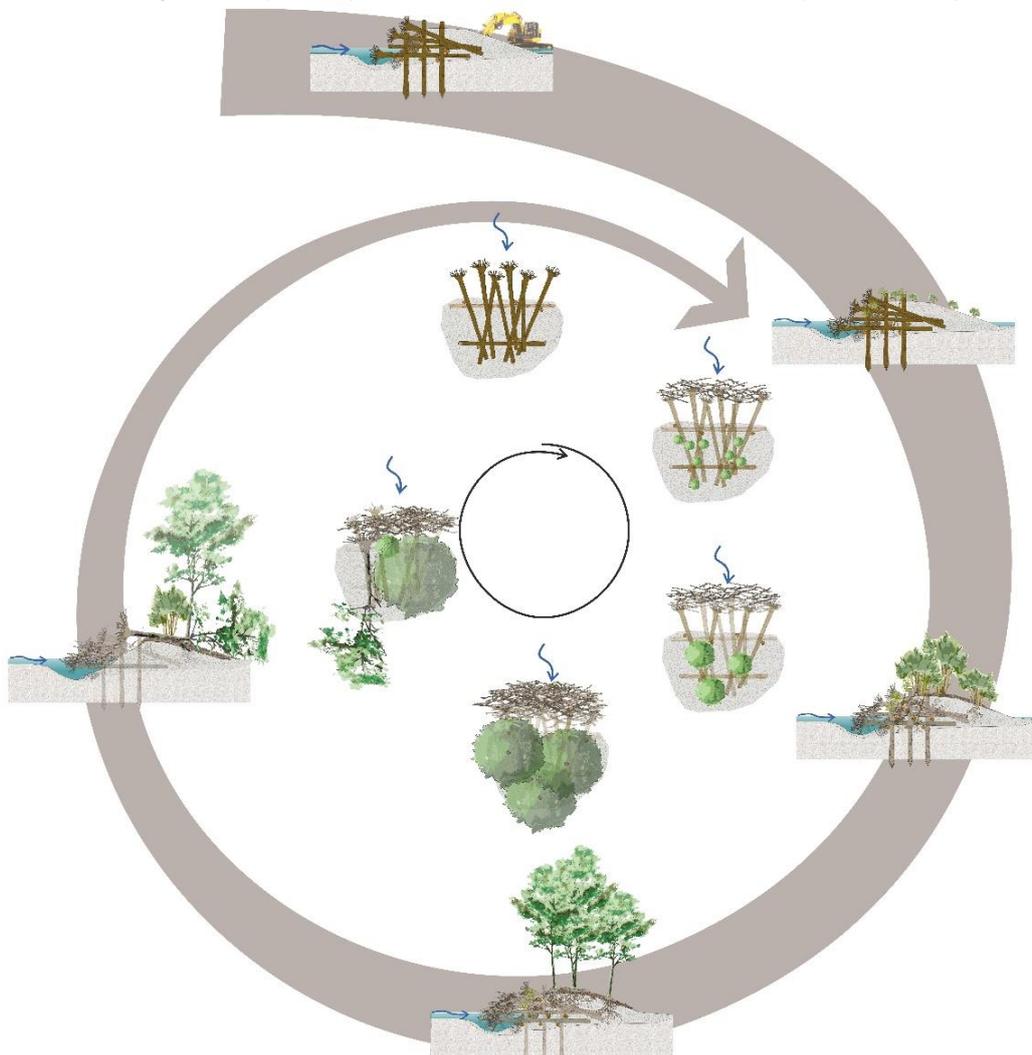


Abbildung 10 : Natürliche Sukzession, Selbsterneuerung und Reaktivierung large wood cycle bei einer ELJ-Struktur (Typ Inselkopf) nach Bauabschluss.



Abbildung 11 : Visualisierung einer ELJ-Ufersicherung mit ihren unterschiedlichen Lebensräumen.

4.3.2 Zeitliche Entwicklung und Lebensdauer

Die zeitliche Entwicklung eines ELJs lässt sich in verschiedene Abschnitte unterteilen, welche nachfolgend beschrieben und in Abbildung 12 dargestellt werden.

- Der **Ausgangszustand** oben zeigt eine Flussebene, die sich zwar auf weiten Strecken eigendynamisch entwickelt, allerdings auch ein starkes Defizit an Totholz aufweist und dadurch insgesamt degradiert ist (s. Kap. 3.2.2). Im vorliegenden Beispiel werden nun einige ELJ-Strukturen eingebaut – einerseits im Flussbett selbst zur Diversifizierung der Morphologie (Bautyp «Inselkopf») andererseits entlang von Uferpartien zu deren Sicherung («ELJ-Verbau»), wobei beide Massnahmen im ausgereiften Zustand auch zur Reaktivierung des large wood cycle beitragen.
- Die folgende Abbildung zeigt den **Bauzustand**, bzw. die ELJs direkt nach Fertigstellung der Bauarbeiten. Die Geometrie entspricht dem Planzustand. Die Vegetation im Bereich der ELJs ist angepflanzt, jedoch noch nicht etabliert. Das Gerinne entspricht weitestgehend noch dem Ausgangszustand.
- Abhängig vom Abflussgeschehen, den Sedimenteigenschaften und dem Geschiebetransport wird das Gerinne laufend durch **Erosion und Deposition** an die ELJ-Struktur angepasst. Dieser Prozess beginnt bei direkt angeströmten Strukturen üblicherweise bereits einige Wochen bis Monate nach Einbau. Die Anpassung der Gerinnegeometrie ist allerdings ein dynamischer Prozess und ständigen Änderungen unterworfen. Eine charakteristische Gerinneanpassung bzw. Morphologie ist i.d.R. erst als Folge eines Ereignisses mit bettbildendem Abfluss zu erwarten.
- Nach rund drei Jahren hat sich eine erste **Pflanzengesellschaft** im Bereich der ELJs etabliert. Wo in der Bauphase Jungbäume eingepflanzt wurden, kann die Etablierung der Vegetation auch rascher geschehen. Die Pflanzen sind stabil verwurzelt. Durch ihre Wirkung als Fängerstruktur akkumulieren ELJs weiteres Schwemmholz. Struktur und Geometrie des ELJs bleiben weitgehend unverändert.
- Das Naturmaterial Holz zersetzt sich unterschiedlich rasch, je nach Art der verwendeten Bäume und je nach Lage in der Struktur. Als erstes – innert rund fünf bis zehn Jahren – werden die **Holzstrukturen** in der **Wasserwechselzone** vollständig **zersetzt** (Mackensen, et al., 1999). Aufgrund der ständig wechselnden physikalischen Bedingungen und dem Kontakt zur Bodenmatrix wird Holz in der Wasserwechselzone besonders schnell zersetzt. Die stabilisierenden Funktionen, der nun zersetzten Teile, werden aber bereits durch die Wurzeln der Vegetation übernommen. Durch ihre Wirkung als Fängerstruktur akkumulieren ELJs laufend angeschwemmtes Totholz.
- Spätestens nach zwanzig Jahren ist damit zu rechnen, dass ein Grossteil der **Holzstrukturen oberhalb der Wasserlinie zersetzt** sind (Mackensen, et al., 1999). Jetzt bildet das akkumulierte Totholz zusammen mit der etablierten Vegetation sowohl Stabilisation als auch Habitatstruktur. **Der ständig im Wasser liegende Unterbau der ELJs bleibt in seiner Geometrie aber weitgehend unverändert**, da sich dieses Holz nur äusserst langsam zersetzt. Unter diesen Bedingungen kann Holz auch mehrere hundert Jahre überdauern. In natürlichen Referenzgewässern aus Tasmanien wurden schon über 10'000 Jahre alte Baumstämme gefunden (Nanson, et al., 1995). Bereiche, die aus dem Wasser ragen, können sich jedoch bereits nach einigen Jahrzehnten stark verändert haben. Die vorderste, strömungsexponierte Bestockungsreihe der ELJ-Struktur ist vermehrt den Erosionsprozessen ausgesetzt. Bäume, die in diesem Bereich durch Unterspülungen und / oder Windwurf umstürzen, komplettieren die neue Grundlage der ELJ-Struktur. Damit wird der Kreislauf der Sukzession geschlossen und der large wood cycle reaktiviert (s. Kap.3.2.1).

ELJ Strukturen sind aufgrund ihrer Materialisierung also ständig im Wandel. Als Struktur verhalten sich im Laufe ihrer Lebensdauer bis zu einem gewissen Grad dynamisch, wodurch sich auch ihre Geometrie ändern kann. Diese immanenten strukturellen Anpassungen sind aber zu unterscheiden von eigentlichen Schäden an der ELJ-Struktur bzw. einem Versagen (Daley, et al., 2013).

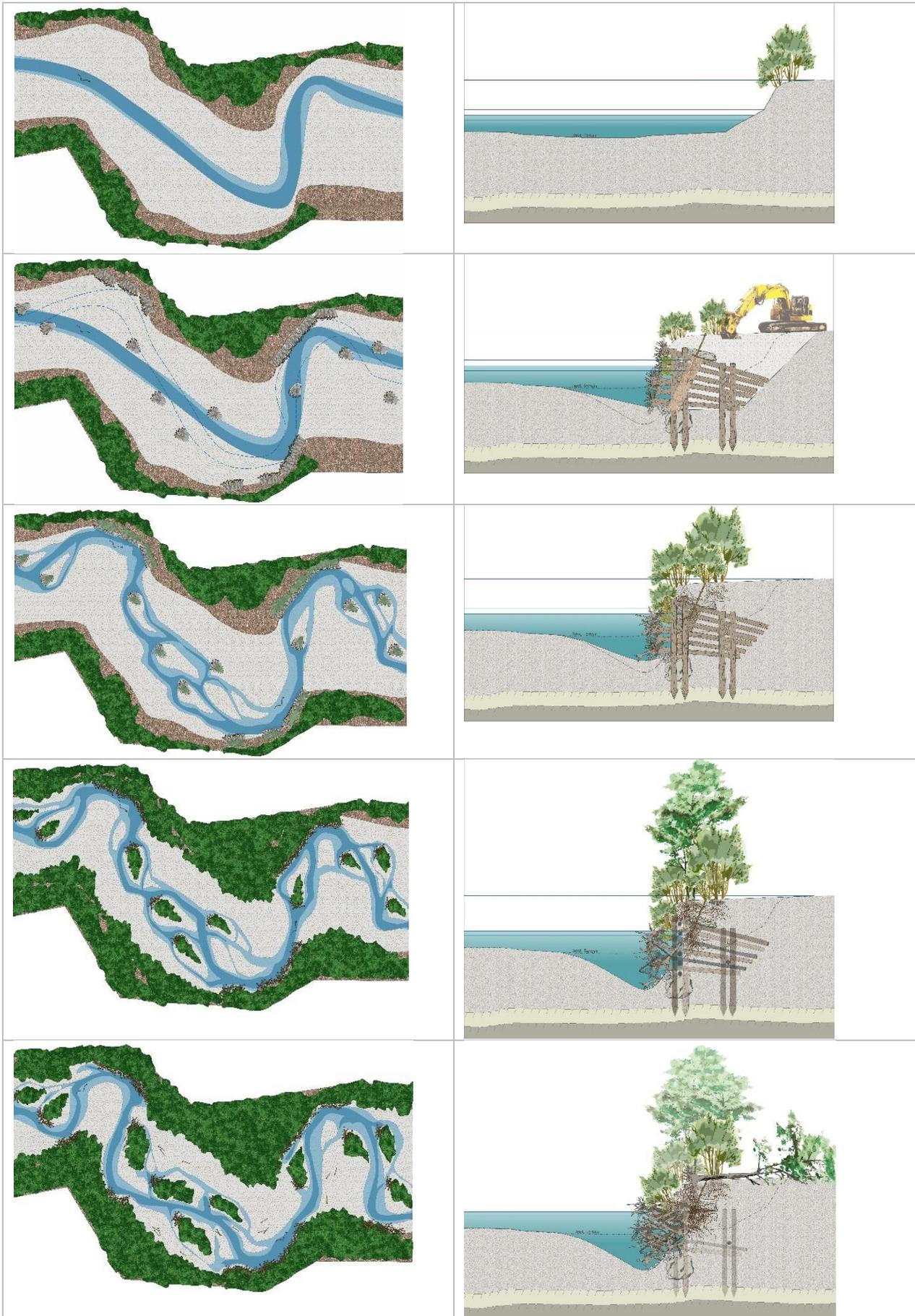


Abbildung 12 : Zeitliche Entwicklung von ELJ-Strukturen innerhalb einer Flussebene (linke Seite) und als Querschnitt einer ELJ-Ufersicherung (rechte Seite).

4.3.3 Habitatfunktion und Lebensraumaufwertung

Während ELJs dauerhaft genug sind, um die Funktion von herkömmlichen flussbaulichen Massnahmen wie Längsverbau oder Buhnen zu übernehmen, lassen sich damit auch aquatische, terrestrische und amphibische Lebensräume in Fliessgewässern deutlich aufwerten.

Bewertung der durch ELJs erreichbaren Lebensraumaufwertung

ELJs können grundsätzlich entscheidende ökologische Mehrwerte hinsichtlich der aquatischen, terrestrischen und amphibischen Lebensräume in Fliessgewässern schaffen:

- Steigerung Habitatangebot
- Steigerung Habitatkomplexität
- Steigerung Konnektivität der Lebensräume
- Steigerung Gewässerbeschattung

Zum besseren Verständnis der mit ELJs erreichbaren ökologischen und geomorphologischen Aufwertungsstufen sind v.a. räumlich-zeitliche sowie qualitative Grössenordnungen zu betrachten:

Unmittelbare Habitatfunktion

Einerseits bieten die aus Totholz, Kies und Gehölzen bestehenden ELJs selbst wertvolle Habitate.

Morphodynamische Aufwertung

Im Umfeld der ELJ-Strukturen entsteht durch deren Wirkung auf Strömung und Geschiebe eine Diversifizierung des Flussbetts.

Prozessreaktivierung Aue

Darüber hinaus kann ein Verbund aus mehreren ELJs mit der Zeit – analog den natürlichen log jams – durch Gehölzsukzession und Akkumulation von Schwemmholz eine mosaikartige und kleinräumige Verteilung von bestockten Inseln, Kiesbänken und mehrjährig stabilen Nebenarmen erreichen (anabranching, vgl. Tabelle 1), die einerseits die Habitatdiversität und -komplexität wie auch die Konnektivität der Lebensräume wesentlich steigert und andererseits die natürliche Gewässerbeschattung von Flussläufen durch Baumarten der Hartholzaue ermöglicht (siehe large wood cycle Kap.3.2.1).

Während die ersten zwei Stufen auch mit anderen Revitalisierungsmassnahmen erreicht werden, ist die Prozessreaktivierung des large wood cycle in degradierten Gewässern ausschliesslich mit dem Einsatz von ELJs erreichbar (Kap. 4.3.1).

Einfluss des ELJ-Designs auf Lebensraumaufwertung

Für die Grössenordnung der morphodynamischen Wirkung eines einzelnen ELJs sind insbesondere Geometrie und Grösse der ELJ-Struktur relativ zur Gerinnegeometrie massgebend (Gallisdorfer, et al., 2015). Zur umfassenden Lebensraumaufwertung wird aber grundsätzlich die Umsetzung mehrerer relativ konzentriert platzierter ELJs empfohlen, wobei der Fokus auf kollektiven Interaktionen, geomorphologischen Reaktionen und der Verbesserung der Konnektivität zur Aue und zu bereits vorhandenen Nebenarmen liegen soll (Drury, et al., 2016), siehe auch Exkurs 2: ELJ-Design: Dichte, Positionierung und Anströmung von ELJs.

Ausführungen zu aquatischen Lebensräumen

Zum einen wird die Strömung durch ELJs stark diversifiziert: Vor, hinter und neben strömungsexponierten Totholzstrukturen entstehen Bereiche mit signifikant unterschiedlichen Fliessgeschwindigkeiten und -richtungen, welche durch unterschiedliche Erosions- und Depositionsprozesse sowohl Fliesstiefen wie auch Zusammensetzung bzw. Fraktionierung des Sohlensubstrats beeinflussen, und damit zur Entstehung morphologischer Strukturen sowie zur Deposition von Nährstoffen beitragen (Schalko, et al., 2021).

Mit der Entstehung morphologischer Strukturen wie Kolken, Bänken und Riffeln bilden sich unterschiedliche physikalische Makrohabitate. In unmittelbarer Nähe der ELJs entstehen aufgrund der vielfältigen, oberflächenreichen Struktur verschiedene Mikrohabitate. Zum anderen bieten die

verschachtelt aufgebauten ELJs wichtige Unterstände und Versteckmöglichkeiten für Fische und Makroinvertebraten. Die grössere Anzahl an Makro- und Mikrohabitaten, sowie deren Vielfalt, fördern die Biodiversität im betroffenen Gewässerabschnitt.

Die Bedeutung der Makro- und Mikrohabitate soll im Folgenden kurz am Beispiel der Salmoniden (unter anderem Lachse, Forellen und Äschen) verdeutlicht werden. Salmoniden präferieren in jedem Entwicklungsstadium spezifische physikalische Habitate (Peter, et al., 2017). Bevorzugte Laichgründe sind grössere Becken mit kiesigem Substrat. Die frisch geschlüpften Brütlinge dringen noch tiefer in das Substrat ein, einerseits weil Salmonide in diesem Stadium Licht meiden und andererseits, um sich dem Einfluss der Strömung zu entziehen. Lockeres, kiesiges Substrat und moderate Fließgeschwindigkeiten sind entsprechend wichtig. Nachdem der Dottersack aufgebraucht ist, steigen die Salmoniden als sogenannte Larven aus dem Substrat. Geeignete Habitate für Salmoniden-Larven und Jungtiere sind strukturierte Flachwasserzonen mit wenig Strömung. Mit zunehmendem Alter und besserer Schwimmfähigkeit suchen die Salmoniden tiefere Gewässerabschnitte auf. Strukturen im Gewässer wie Blöcke, überhängende Vegetation, Kolke und Totholzstrukturen dienen den ausgewachsenen Salmoniden als Unterstände. Je nach Art beginnt anschliessend die Migration. Am Beispiel der Salmoniden zeigt sich also, welche Vielfalt an physikalischen Habitaten nötig ist, um einen geeigneten Lebensraum zu bilden.

Verschiedene Studien belegen, dass ein Mangel von grossen Totholzstrukturen einen Verlust in Becken-Habitaten (Bilby, 1984), eine Verringerung der Habitatsvielfalt (Lisle, 1986) und eine Reduktion der Anzahl, Grösse und Biomasse von Salmoniden (Dolloff, 1986), (Coulston, et al., 1983), (Elliott, 1986), (Fausch, et al., 1992) zur Folge hat. Studien von Flüssen aus in der Pacific Northwest Region der USA zeigen, dass Fließgewässer mit log jams eine grössere Vielfalt an Fischarten aufweisen, als solche ohne Totholzstrukturen, und dass bedeutend grössere Dichten an Invertebraten und organischem Material in Bereichen rund um ELJs auftreten (Pess, et al., 2002). ELJs bieten also Strukturen, welche die Fische direkt als Habitat nutzen können und Nahrung durch die grössere Produktivität der niederen trophischen Levels.

Totholzstrukturen wie ELJs schaffen also komplexe und dynamische Makro- und Mikrohabitate, welche von grosser Bedeutung für die aquatische Fauna sind. Insbesondere die entstehenden Kolke (ggf. mit Kaltwasseraufstoss durch Grundwasseranbindung) sind wichtige Temperaturrefugien in der Trockenheit und im Verbund mit einer durch ELJs verbesserten Gewässerbeschattung äusserst wertvoll für die in Europa zunehmend unter Druck geratenen kaltwasserliebenden Fischarten wie Bachforelle und Äsche (Küng, 2020).

Ausführungen zu terrestrischen, amphibischen und litoralen Lebensräumen:

Auf und in der oberflächen- und zwischenraumreichen Struktur ergeben sich auch für terrestrische, amphibische bzw. litorale Flora und Fauna komplexe, vielfältige Habitate. Damit einhergehend wird die Vernetzung aquatischer, amphibischer und terrestrischer Lebensräume verbessert, da die naturnahen ELJ-Strukturen inhärent nicht monoton sind.

Mit der eigendynamischen Entwicklung der Uferlinie, der Erosions-, Auflandungs- und Gehölzaufwuchszonen werden weitere Nischen und Mikrohabitate geschaffen. Im Einflussbereich der ELJs, auf den Totholzstrukturen selbst und auf den anliegenden Kies- und Sandbänken entstehen und erneuern sich einerseits Pionierlebensräume, andererseits findet im Strömungsschatten die natürliche Sukzession statt, die sich an die natürliche Dynamik der unterschiedlichen Wasserstände anpasst und mit der Zeit den Zyklus wiederholt. Wie beschrieben, können sich als Folge der natürlichen Sukzession im Strömungsschatten von ELJs wieder Arten der Hartholzauen und damit die natürliche Klimax-Pflanzengesellschaft im Flussgerinne etablieren (siehe auch Kapitel 3.2.1) was insgesamt zu einer gesteigerten Gewässerbeschattung und Kühlung beiträgt.

4.3.4 Hochwasserfall

Ihre morphodynamische Wirkung entfalten ELJs insbesondere im Laufe von Hochwasserereignissen, indem sie im Gerinne als Abflusshindernis bzw. als Rauigkeit wirken: Die lagestabile ELJ-Struktur schafft im Verbund mit den hydraulischen Kräften und der Geschiebedynamik eine starke

Diversifizierung der Bettmorphologie rund um den Einbaustandort. Für die Grössenordnung der morphodynamischen Wirkung eines einzelnen ELJs sind insbesondere Geometrie und Grösse der ELJ-Struktur relativ zur Gerinnegeometrie massgebend (Gallisdorfer, et al., 2015). Während angeströmte ELJs grosse lokale Kolke provozieren können, übernehmen sie im Hochwasserfall auch wichtige Funktionen als Schwemmholz- und Geschiebefänger. Dabei ist ihre Wirkung zweifach: Einerseits wird Schwemmholz und Geschiebe direkt durch Anschwemmen und Verkanten am Hindernis ELJ aufgefangen. Andererseits herrschen im Strömungsschatten der Strukturen wesentlich geringere Strömungsgeschwindigkeiten, was insbesondere die Deposition von Geschiebe begünstigt. Das Auffangen von Schwemmholz und Geschiebe ist für die langfristige Stabilität der ELJs von grosser Bedeutung.

Selbstredend führen Hochwasserereignisse zu grossen hydraulischen Belastungen an der eingebauten Struktur: ELJs sind entsprechend belastungsfähig zu dimensionieren (Anhang E.4) und brauchen eine raue, strömungsexponierte Front, die als Schwemmholzfänger wirken kann. Aufgrund ihrer Grösse können weit ins Gerinne ragende, bühnenähnliche ELJs und Inselkopf-ELJs den Fließquerschnitt im Gerinne wesentlich verringern. Bei der Planung von ELJs ist daher stets deren Einfluss auf die Hochwasserspiegellage zu überprüfen (Anhang E.3.2).

Sind diese Bedingungen erfüllt, können ELJs vielfältig eingesetzt werden und je nach Ausführung und Bautyp verschiedene flussbauliche Funktionen übernehmen (Kap.6). Da ELJs jeweils einige Meter über die Flusssohle ragen, sind sie i.d.R. nicht als andauernd überströmte Bauwerke ausgelegt. Ein gelegentliches, komplettes Überströmen bei grossen Hochwasserereignissen wird allerdings nicht als kritisch beurteilt (vgl. Anhang E.5.3).

4.3.5 Zielzustand

Abhängig von Bautyp (Kap. 5.2) und Einsatzgebiet (Kap. 6) sind spezifische Zielzustände erreichbar.

Zwei Beispiele: Im einfachsten Fall (reine Ufersicherung mit ELJ-Bauweisen, vgl. Kap. 6.1) soll ein natürliches, standorttypisch bewachsenes und sich selbst erhaltendes Ufer mit grob vorgegebenem Verlauf und ohne harte Verbauungen und mit minimalem Unterhaltsaufwand erreicht werden.

Im Fall einer umfassenden Auenrevitalisierung (Kap.6.3) durch ein ELJ-Design stellt der Zielzustand eine komplexe Flusslandschaft dar mit hoher Konnektivität von Gerinnen und Vorländern, einem naturnahen Totholzregime sowie stark erhöhten Ökosystemleistungen (Hochwasserrückhalt, Grundwasserbildung, Förderung Klimaresilienz und Biodiversität).

Das Erreichen der Zielzustände sollte durch entsprechende Wirkungskontrollen beurteilt werden.

5 Strukturaufbau und Bautypen

5.1 Genereller Strukturaufbau

Die ELJ-Grundstruktur besteht im Wesentlichen aus den in Abbildung 13 dargestellten Bauteilen. Detaillierte Beschreibungen sind dem Anhang A.1 zu entnehmen.

In Bezug auf das Einbauverfahren unterscheidet sich der Aufbau der ELJ-Grundstruktur wie folgt:

- trockene Baugrube: Lagenweiser Aufbau
- Einbau unter Wasser: Kastenaufbau

Darüber hinaus können einzelne ELJ-Bautypen in ihrer Form und Anordnung recht unterschiedlich sein, wobei sich der Aufbau aber in der Regel aus einem oder mehreren Elementen der Grundstruktur zusammensetzt (vgl. Kap. 5.2).

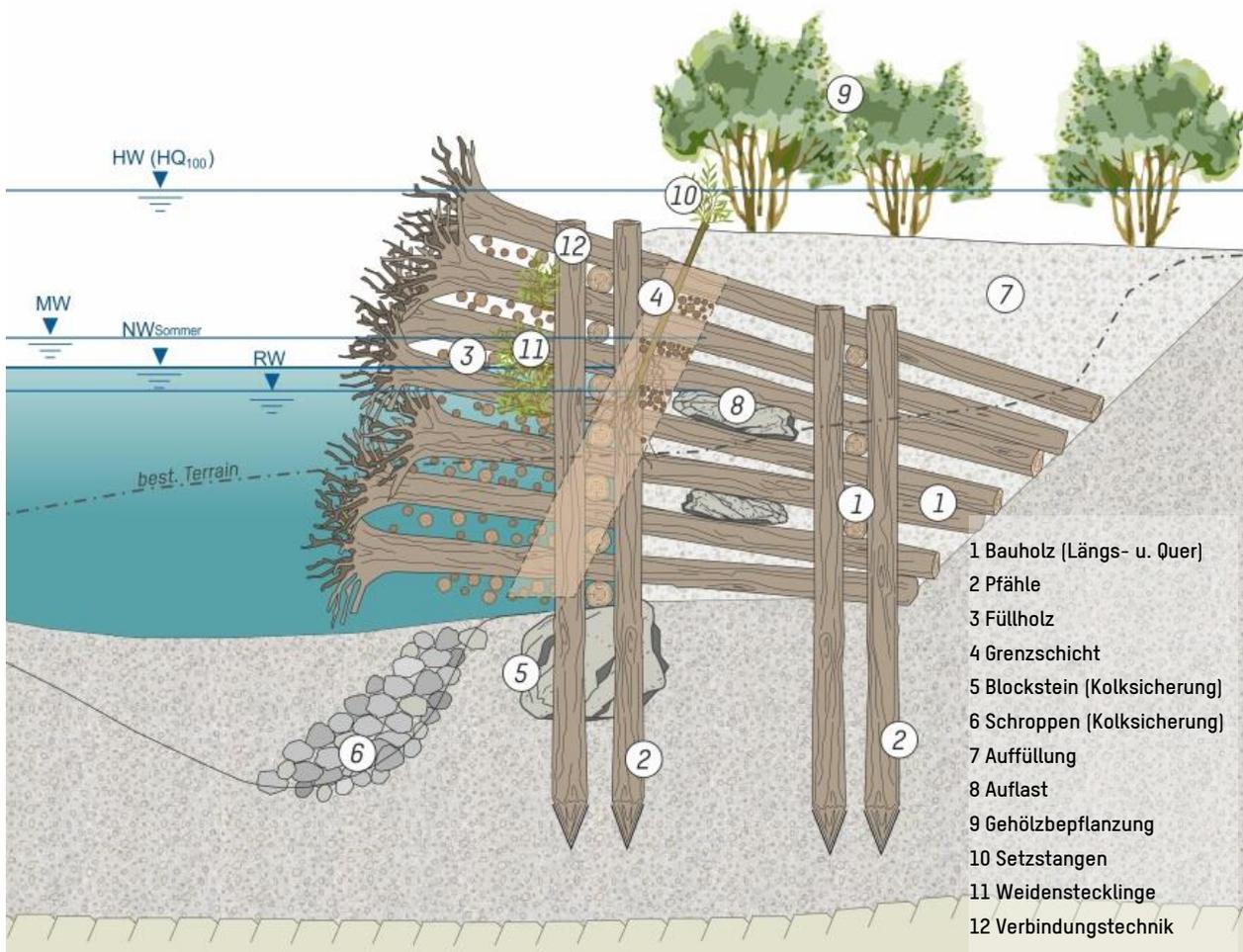


Abbildung 13 : Schematischer Querschnitt durch ELJ-Grundstruktur bestehend aus den Bauteilen 1 bis 12. Detaillierte Beschreibungen sind dem Anhang A.1 zu entnehmen

5.1.1 Einbau in trockener Baugrube

Eine trockene Baugrube ermöglicht einen stück- bzw. lagenweisen Aufbau von unten nach oben. Details sind dem Anhang A.2 zu entnehmen.

5.1.2 Einbau unter Wasser

Der Einbau unter Wasser erfordert landseitig vorgefertigte Kastenelemente, welche am Einbaustandort versenkt und sofort fixiert werden können. Details sind dem Anhang A.3 zu entnehmen.

5.2 ELJ Bautypen

Abbildung 14 zeigt einen beispielhaften Flussabschnitt mit Verortung möglicher ELJ Anwendungen bzw. der generellen ELJ Bautypen. Diese Bautypen werden nachfolgend erläutert.

→ Fallbeispiele, Abbildungen, Literaturverweise und konstruktive Details zu allen Bautypen sind den entsprechenden Anhängen zu entnehmen.

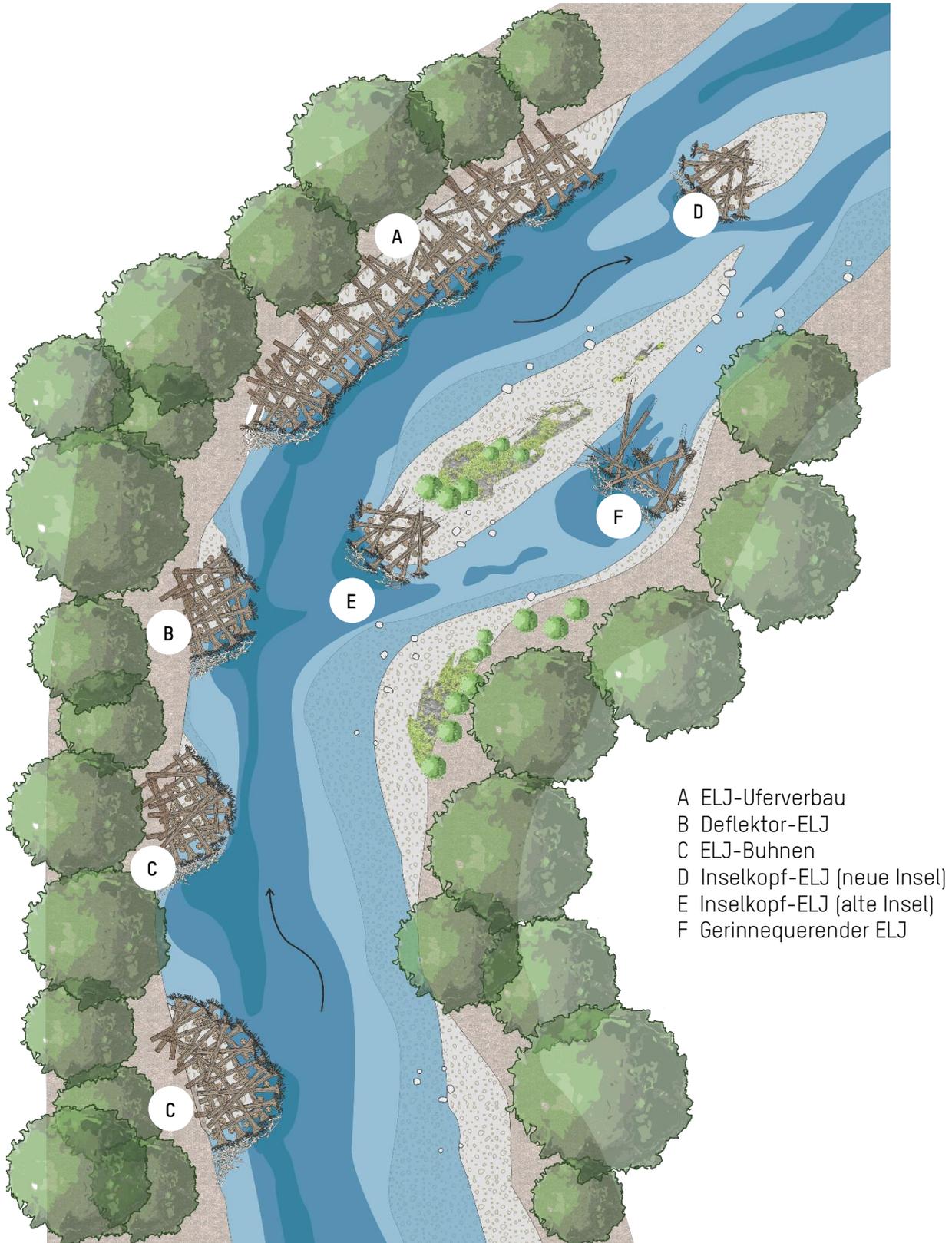


Abbildung 14 : Beispiel Flussabschnitt mit möglichen Anwendungen der generellen ELJ Bautypen.

5.2.1 ELJ-Uferverbau ([→ Details siehe Anhang B.1](#))

Aufbau und Funktion: Der *ELJ-Uferverbau* (Figur A in Abbildung 14, engl. «bank revetment») bildet eine durchgehende Kette aus Elementen der ELJ-Grundstruktur (vgl. Kap. 5.1) wobei Kasten- oder lagenweiser Aufbau möglich ist. Es wird ein sich natürlich stabilisierendes Ufer geschaffen, das auch Hochwassern standhält. Die Holzstrukturen, die Wurzeln der etablierten Vegetation sowie das bei Hochwasser akkumulierte Schwemmholz stabilisieren das Ufer und schützen dieses vor Erosion. Dieser Bautyp setzt komplett neue Massstäbe für nachhaltigen Uferlängsverbau an Flüssen.

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion:
- Morphodynamisches Aufwertungspotential:
- Potential Prozessreaktivierung Aue:

5.2.2 ELJ-Buhne ([→ Details siehe Anhang B.2](#))

Aufbau und Funktion: Um das Ziel Ufersicherung zu erreichen werden *ELJ-Buhnen* (Figur C in Abbildung 14) seriell angeordnet. Eine *ELJ-Buhne* wird aus einer Kette von Elementen der ELJ-Grundstruktur erstellt (Kasten- oder lagenweiser Aufbau möglich), die eine in den Fluss ragende Bühnenform bildet. Durch den modularen Aufbau ist die Bühnenlänge variabel wählbar. Die Dimensionierung von Bühnenlänge und Zwischenabständen erfolgt analog herkömmlichen, nicht überströmten Bühnen.

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion:
- Morphodynamisches Aufwertungspotential:
- Potential Prozessreaktivierung Aue:

5.2.3 ELJ-BMU-Buhne ([→ Details siehe Anhang B.3](#))

Aufbau und Funktion: Dieser kosten- und materialoptimierte Bautyp der *ELJ-Buhne* besteht aus einer minimalen Menge an Totholz, wobei kasten- wie auch lagenweiser Aufbau möglich ist. Die ELJ-Struktur benötigt relativ wenige lange Wurzelstämme (kostenrelevant) und wird dafür mit Faschinen und BMU (Biogene Maschinelle Ufersicherung) kombiniert. Aufgrund dieser geometrischen und strukturellen Reduktionen fällt die strömunglenkende und ökologische Wirkung gegenüber der ELJ-Buhne (Kap. 5.2.2) entsprechend geringer aus.

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion:
- Morphodynamisches Aufwertungspotential:
- Potential Prozessreaktivierung Aue:

5.2.4 ELJ-Deflektor ([→ Details siehe Anhang B.4](#))

Aufbau und Funktion: Ein *ELJ-Deflektor* (Figur B in Abbildung 14) besteht in der Regel aus einem Element der ELJ Grundstruktur (Kasten- oder lagenweiser Aufbau möglich), welches seitlich in den Uferbereich eingebunden wird. Der in den Fluss ragende Teil fällt kürzer aus als beim Bühnentyp, und die strömunglenkende Wirkung entsprechend geringer. Mit einem Deflektor kann z.B. ein einzelnes Objekt vor dem Strömungsangriff geschützt werden. Um das Ziel der durchgehenden Ufersicherung zu erreichen, können *ELJ-Deflektoren* auch analog kurzen Bühnen seriell angeordnet werden, wobei *ELJ-Buhnen* oder *ELJ-Längsverbau* hierfür i.d.R. geeigneter sind.

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion:
- Morphodynamisches Aufwertungspotential:
- Potential Prozessreaktivierung Aue:

5.2.5 ELJ-BMU-Deflektor [*→ Details siehe Anhang B.5*]

Aufbau und Funktion: Dieser kosten- und materialoptimierte Bautyp des *ELJ Deflektors* (Kap.5.2.4) besteht aus einer minimalen Menge an Totholz, wobei kasten- wie auch lagenweiser Aufbau möglich ist. Die ELJ-Struktur benötigt relativ wenige lange Wurzelstämme (kostenrelevant) und wird dafür mit Faschinen und BMU (Biogene Maschinelle Ufersicherung) kombiniert. Aufgrund dieser strukturellen Reduktionen fällt die ökologische Wirkung gegenüber des ELJ-Deflektors entsprechend geringer aus.

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion:
- Morphodynamisches Aufwertungspotential:
- Potential Prozessreaktivierung Aue:

5.2.6 ELJ-Inselkopf [*→ Details siehe Anhang B.6*]

Aufbau und Funktion: Der Inselkopf-Typ (engl. «apex jam») wird mitten im Flussbett eingebaut. Er besteht i.d.R. aus einem Element der Grundstruktur (Kasten- oder lagenweiser Aufbau möglich), bildet eine Insel in der Strömung und einen Fixpunkt in der beweglichen Flusssohle. Dieser Typ ist im Hochwasserfall beidseitig stark umströmt. Er dient zur Strömunglenkung und bringt eine starke Diversifizierung der Bettmorphologie. Im Strömungsschatten entsteht eine neue Flussinsel (Figur D in Abbildung 14). Alternativ zur Strömungsteilung oder Sicherung einer bestehenden, erosionsgefährdeten Flussinsel einsetzbar, bzw. zur Reaktivierung alter Nebenarme (Figur E in Abbildung 14). Im Verbund (mehrere Elementen dieses Bautyps) kann zudem eine Sohlenstabilisierung erreicht werden (Sohlenfixpunkt).

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion:
- Morphodynamisches Aufwertungspotential:
- Potential Prozessreaktivierung Aue:

5.2.7 Gerinnequerende ELJs [*→ Details siehe Anhang B.7*]

Aufbau und Funktion: Insbesondere in kleineren Gerinnen bzw. schmalen Flussarmen kommen gerinnequerende ELJs (Figur F in Abbildung 14; engl. «channel spanning structure») zum Einsatz. Im Unterschied zu den übrigen Bautypen werden Strukturen von Ufer zu Ufer erstellt, weshalb der Aufbau von der ELJ-Grundstruktur abweicht. Dieser Bautyp schafft dynamische Habitate wie Nebenarme und wirkt bei Verlegung mit Schwemmholz und Geschwemmsel ähnlich wie ein Biberdamm oder «Beaver Dam Analog» (z.B. Aufhebung Gerinnevertiefung oder Wiederaufbau einer Kiessohle auf felsigem Untergrund).

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion:
- Morphodynamisches Aufwertungspotential:
- Potential Prozessreaktivierung Aue:
- *Potential Sohlenanhebung / Etablierung Kiessohle:*

6 Einsatzgebiete, Potentiale und Einsatzgrenzen

Mit den in Kap. 5 vorgestellten Bautypen lässt sich ein breites Spektrum an flussbaulichen Zielen abdecken, insbesondere auch **Hochwasserschutzziele**. Wo ELJs anstelle herkömmlicher Massnahmen eingesetzt werden können, bieten sie generell wesentliche Vorteile:

- ELJs sind den fehlenden, natürlichen Totholzkomplexen (log jams) nachempfunden. Sie führen somit in allen Fließgewässern mit Totholzdefizit zu einer deutlichen ökologischen Aufwertung (Kap. 4.3.3) und halten Schwemmholz und Geschiebe zurück (Kap. 4.3.1)
- ELJs haben durch Sukzession und Akkumulation das Potential, sich laufend selbst zu erneuern und dadurch eine sehr lange Lebensdauer zu erreichen (im Idealfall sind weder Reparaturen noch Ersatz notwendig, vgl. Kap. 4.3.2)
- ELJs sind sehr nachhaltige Bauweisen, deren Hauptbestandteil (Holz) ein lokal verfügbarer, nachwachsender Rohstoff ist, wodurch Ressourcen geschont und die regionale Wertschöpfung gesteigert werden kann (Kap. 7.5.2).

Nachfolgend werden die Haupteinsatzgebiete von ELJs, deren Potential sowie Einsatzgrenzen erläutert (Kap. 6.1 bis 6.6).

Darüber hinaus sind aber stets projektspezifische Rahmenbedingungen zu berücksichtigen, um ELJs zielführend und gewinnbringend in Wasserbauprojekten zu integrieren (s.a. Exkurs 2: ELJ-Design: Dichte, Positionierung und Anströmung von ELJs sowie Exkurs 3: Projektspezifische Chancen, Abwägungen und Kompromisse).

6.1 Schutz vor Seitenerosion / Uferschutz

Einsatzgebiet: Wie bereits erwähnt ist zwischen durchgängigem und aufgelöstem Uferschutz zu unterscheiden: Beim durchgängigen Uferschutz werden ELJ-Strukturen parallel entlang dem Ufer eingebaut, sodass sie einen zusammenhängenden, neuen Uferabschnitt bilden (*ELJ-Verbau*). Die ELJs stabilisieren das Ufer dauerhaft. Der Strömungsangriff wird insgesamt durch die Holzstrukturen aufgenommen. Insbesondere in die Strömung ragende, oberflächenreiche Wurzelteller führen zu einer starken Verwirbelung, wodurch die Fließenergie im Bereich des Ufers stark abgebaut werden kann. Aufgelöster Uferschutz kann mit bühnenartigen ELJs erreicht werden (*ELJ-Buhnen* (Abbe, et al., 2018) oder *ELJ-Deflektoren* (Parker, et al., 2016), siehe Abbildungen in Anhang B), wobei diese ähnlich wie klassische Buhnen die Strömung umlenken und damit das zu schützende Ufer entlasten.

Potential: Im Einsatz als Uferschutz in Flüssen bieten *ELJ-Buhnen* und *ELJ-Verbau* ein sehr grosses Potential als nachhaltige Sicherungsmethode: Die naturnahe, innovative Flussuferverbauung aus Holz ist komplett neu für Europa und einzigartig in Bezug auf die Verwendung von nachwachsenden, lokalen Materialien und den Einbezug von Naturprozessen zur Selbsterneuerung des Uferschutzes. Die Methode setzt neue Massstäbe hinsichtlich Nachhaltigkeit durch eine sehr hohe Lebensdauer, grosse ökologische Mehrwerte und eine gesteigerte regionale Wertschöpfung. Sie ist wesentlich umweltfreundlicher und ökologisch wertvoller als herkömmliche Lösungen aus Blockstein.

Sowohl *ELJ-Buhnen* bzw. *ELJ-Deflektoren* als auch *ELJ-Verbau* sind als modulares Bauverfahren auslegbar, wodurch das Einsatzgebiet entsprechend vergrössert und der Einbau in Flüssen mit stetig hohem Niederwasserspiegel ermöglicht wird (vgl. Kap. 5.1.2). Die ELJ-Strukturen sind zudem optimal kombinierbar mit ingenieurbioologischen Sicherungen wie z.B. *BMU* (Biogene Maschinelle Ufersicherung). Grundsätzlich können Uferschutz-ELJs auch bei kleineren Fließgewässern zur Anwendung kommen, sofern ausreichend Raum vorhanden ist, um die Struktur im bestehenden Uferbereich einzubauen (Beibehaltung bestehende Uferlinie) bzw. um sie der bestehenden Uferlinie vorlagern zu können.

Einsatzgrenzen:

- Fehlende Raumverfügbarkeit für Einbau (Hochwasserabflussquerschnitt)
- Erhebliche Querströmungen vorhanden (Risikoabschätzung)
- Uferlinie muss ohne Toleranz gehalten werden

Ungünstige Bedingungen / Herabsetzung Lebensdauer ELJ:

- Fehlender Aufwuchserfolg Gehölze auf ELJ (ungenügender Gehölz-Unterhalt)
- Einsatz in Gewässern ohne genügendes Schwemmholzaufkommen

6.2 Strömungslenkung und Strömungsaufteilung

Einsatzgebiet: Eine Umlenkung der ufernahen Strömung kann beispielsweise für Objektschutz angestrebt werden oder um Uferanrisse bzw Flussverbreiterungen zu initiieren. Hierzu werden v.a. buhlenähnliche ELJs punktuell eingesetzt (z.B. *ELJ-Buhnen* oder *ELJ-Deflektoren*). Aber auch mehrere *Inselkopf-ELJs* können die Hauptströmung umlenken, um z.B. Infrastruktur zu schützen (Abbe, et al., 2018) (Parker, et al., 2016), siehe Abbildung 17). Um die Strömung aufzuteilen werden v.a. *Inselkopf-ELJs* eingesetzt (siehe Abbildung 16). Damit kann die Entstehung von Inseln im Flusslauf gefördert und mehrjährige Nebenarme initiiert oder alte reaktiviert werden (anabranching, vgl. Tabelle 1), was die Konnektivität zwischen Gerinne und Flutebene verbessert und die Diversität und Vernetzung aquatischer und terrestrischer Lebensräume erhöht.

Eine vergrösserte Flutebene in der Aue erfüllt daneben auch wichtige versorgende und regulatorische Ökosystemleistungen wie z.B. Grundwasserbildung, Wasserreinigung oder Retentionsaufgaben im Hochwasserfall, dies wird in Kap.6.3 näher beschrieben.

Potential: Die genannten ELJ-Bautypen stellen optimale Bauwerke zur Strömungslenkung und -aufteilung dar. Durch ihre Materialisierung (Hauptbestandteil Holz) sind sie gegenüber herkömmlichen Strömungsteilern oder -abweisern aus Blockstein wesentlich nachhaltiger, steigern die regionale Wertschöpfung und erzielen eine verbesserte aquatische Aufwertung. Im Verbund mit Naturprozessen (Gehölzaufwuchs und Schwemmholzakкумуляtion) kann eine sehr hohe Lebensdauer erreicht werden. Ferner ist die ELJ-Struktur optimal kombinierbar mit ingenieurb biologischen Sicherungen wie z.B. *BMU* (Biogene Maschinelle Ufersicherung). Das mit der Auenreaktivierung in Verbindung stehende Potential der Strömungslenkung wird in Kap.6.3 näher beschrieben.

Einsatzgrenzen:

- Fehlende Raumverfügbarkeit für Einbau bzw. für Morphodynamik
- Bei sehr technischem Ansatz und entsprechend exakten geometrischen Anforderungen (z.B. Wasserteiler usw.) wird von der Anwendung von ELJs abgeraten, da diese Bauwerke nicht in sehr exakten Abmessungen erstellt werden können und sich die Bauwerksgeometrie über die Lebensdauer wesentlich verändern kann.
- Für Strömungslenkung im Sinne von Instream River Training (IRT), also als dauernd überströmte Bauwerke, welche eine Sekundärströmung induzieren sollen, eignen sich ELJs ebenfalls nicht (ELJ-Einbauten nur selten überströmt).
- Für *Inselkopf-ELJs*: intensive Freizeitnutzung wie Schwimmen/Bootfahren (erhöhte Gefährdung)

Ungünstige Bedingungen / Herabsetzung Lebensdauer ELJ:

- Fehlender Aufwuchserfolg Gehölze auf ELJ (ungenügender Gehölz-Unterhalt)
- Einsatz in Gewässern ohne genügendes Schwemmholzaufkommen

6.3 Auenschutz, Auenrevitalisierung, Hochwasser- und Klimaschutz

Einsatzgebiet: ELJs imitieren die natürlichen log jams des Referenzzustands, die sich in degradierten Systemen nicht mehr bilden können (Kap. 3). Sie stellen Initialstrukturen zur Reaktivierung von geomorphologischen Naturprozessen der Aue dar (Kap. 4.3.1) und können in dieser Funktion wichtige Ziele einer Auenrevitalisierung erreichen: Sie schützen rezente Auen vor der Abtrennung der Überflutungsdynamik und können degradierte Altauen wieder an diese Dynamik anbinden (vgl. Strömungsaufteilung in Kap. 6.2 und Umkehr Gerinneintiefung in Kap.6.4). Die vergrösserte Flutebene der Aue wiederum kann geringe Retentionsaufgaben im Hochwasserfall erfüllen und erhöht auch auentypische Ökosystemleistungen für Klimaschutz und Klimaanpassung, wie Grundwasserbildung, Wasserreinigung, Nährstoffrückhalt und Rückhalt von Treibhausgasen (Scholz, et al., 2012) (Mehl, et al., 2013). Grobe Totholzstrukturen wie ELJs schaffen komplexe und dynamische Habitate, die insbesondere auch für stark bedrohte, kaltwasserliebende Fischarten wie Bachforelle und Äsche sehr wertvoll sind (Küng, 2020). Darüber hinaus können ELJ-Initialstrukturen bereits in relativ geringer Anzahl dem Totholzdefizit der Gewässer entgegenwirken, indem sie laufend Schwemmholz akkumulieren. Langfristig ist nur mit ELJs eine Reaktivierung des auentypischen large wood cycle möglich (Kap. 3.2.1). In Anbetracht ihres grossen Einflusses auf die natürliche Sukzession der Aue und die Ausreifung eines mosaikartig verteilten Auenwalds im Flusslauf (siehe Kapitel 4.3.1) und der Wiederherstellung der natürlichen Referenzmorphologie (u.a. anabranching, siehe Tabelle 1) sind ELJs

unverzichtbar zur Steigerung der Habitatkomplexität, der Gewässerbeschattung und damit zur Förderung der Biodiversität (s. Kap.4.3.3).

Grundsätzlich sind in grossflächigen Auenrevitalisierungsprojekten mehrere aufeinander abgestimmte Strukturen (ein ELJ-Design) notwendig, wobei *Inselkopf-ELJs* zentral sind, um Nebenarme zu reaktivieren (siehe Abbildungen in Anhang B.6). Bei kleineren Gerinnebreiten und Nebenarmen kommen insbesondere *gerinnequerende ELJs* zur Anwendung. Generell sollte der Fokus des ELJ-Designs auf kollektiven Interaktionen, geomorphologischen Reaktionen und der Verbesserung der Konnektivität zur Aue und zu bereits vorhandenen Nebenarmen liegen (Drury, et al., 2016), siehe auch Exkurs 2: ELJ-Design: Dichte, Positionierung und Anströmung von ELJs). Alle genannten Bautypen können bei Bedarf gut mit *ELJ-Verbau* bzw. *ELJ-Buhnen* für Uferschutz kombiniert werden.

Potential: ELJs in der Aue sind zentral für den Auen-, Klima-, Arten und Hochwasserschutz. Sie erreichen wesentliche Ziele von Auenrevitalisierungsprojekten (u.a. Verbesserung der Konnektivität zwischen Flusslauf und Schwemmebene, Verhinderung der Sohleneintiefung bzw. Wiederanbindung Altauen an Überflutungsdynamik, Erhöhung Hochwasserretentionsraum, Habitataufwertung und Biodiversitätsförderung) und helfen klimarelevante Ökosystemleistungen zu maximieren. Wie eine aktuelle Untersuchung zeigt, sind $\frac{2}{3}$ der insgesamt 326 Schweizer Auengebiete von nationaler Bedeutung in einem ungenügenden Zustand (Bonnard, et al., 2021). Entsprechend gross ist also das Potential, ELJs hierzulande für Auenrevitalisierung bzw.-reaktivierung einzusetzen, um diese überaus wichtige ökologische Infrastruktur bestmöglich zu schützen und aufzuwerten.

Einsatzgrenzen:

- Fehlende Raumverfügbarkeit für Einbau bzw. für Morphodynamik
- Für Inselkopf-ELJs: intensive Freizeitnutzung wie Schwimmen/Bootfahren (erhöhte Gefährdung)

Ungünstige Bedingungen / Herabsetzung Lebensdauer ELJ:

- Fehlender Aufwuchserfolg Gehölze auf ELJ (ungenügender Gehölz-Unterhalt)
- Einsatz in Gewässer ohne genügendes Schwemmholzaufkommen

6.4 Sohlensicherung und Umkehr Gerinneeintiefung

Einsatzgebiet: ELJs tragen generell zur Erhöhung der Rauigkeit eines Gerinnes und damit zur Energiedissipation der Strömung bei. In der Gewässersohle verbaute ELJs (*Insel-Typ*, *Buhnen-Typ*) wirken als Fixpunkte in durchgehend mobilem Sohlensubstrat und können in entsprechender Positionierung bzw. ausreichender Anzahl auch einem Sohlenerosionstrend nachhaltig entgegenwirken. So können sie in Flussaufweitungsprojekten die Entstehung von erosionsfördernden, gestreckten Gerinneverläufen verhindern helfen (Wohl, et al., 2019b). Gestreckte Verläufe erhöhen die Sohlenerosion und führen zu eingetieften Gerinnen (*channel incision*), was mit starker ökomorphologischer Verarmung einhergeht (Verlust aquatischer Strukturen, Abtrennung der angrenzenden Vorländer von der natürlichen Überflutungsdynamik). Oder sie können - bei bereits gestrecktem, eingetieftem Verlauf - auf natürliche Weise wieder Strömungsaufteilungen, Laufverlängerungen und Geschieberückhalt anregen, welche die Sohlenlage stabilisieren helfen (Abbe, et al., 2018) (Wohl, et al., 2019a).

Über den ökomorphologischen Wert hinaus sind langfristig stabile Sohlenlagen entscheidend für flussnahe Schutzbauten und Infrastrukturen, für die Verfügbarkeit von Grund- und Trinkwasser sowie für die Ökosystemleistungen der Flussaue hinsichtlich Hochwasserretention, Klimaschutz und Biodiversität (vgl. Kap. 6.2 und 6.3). Der Einsatz von ELJs zur Sohlensicherung bedarf bei grossen Fliessgewässern grundsätzlich mehrerer aufeinander abgestimmter Strukturen, wobei *Inselkopf-ELJs* zentral sind. Bei kleineren Gerinnebreiten und Nebenarmen kommen insbesondere *gerinnequerende ELJs* zur Anwendung.

Potential: Wo der erforderliche Raum für Laufverlagerungen und Geschiebeeintrag aus Seitenerosion vorhanden ist, wird das Potential von ELJs zur nachhaltigen Sohlensicherung als gross eingeschätzt. Diese sind ideal integrierbar in Projekte mit eigendynamischen Flussaufweitungen, wo sie die morphologische Entwicklung (Stabilisierung Sohle durch Verbreiterung) entsprechend beschleunigen bzw. akzentuieren können und zugleich wertvolle aquatische Habitate schaffen.

Einsatzgrenzen:

- Fehlende Raumverfügbarkeit für Einbau bzw. für Morphodynamik
- Für Inselkopf-ELJs: intensive Freizeitnutzung wie Schwimmen/Bootfahren (erhöhte Gefährdung)

Ungünstige Bedingungen / Herabsetzung Lebensdauer ELJ:

- Fehlender Aufwuchserfolg Gehölze auf ELJ (ungenügender Gehölz-Unterhalt)
- Einsatz in Gewässer ohne genügendes Schwemmholaufkommen

6.5 Schwemmholtzrückhalt

Einsatzgebiet: In Gebieten wo Schwemmholtz eingetragen und verfrachtet wird, können ELJs durch Akkumulation die Schwemmholtzfracht und den Unterhaltsaufwand für die Entfernung desselben reduzieren. Je nach Gewässer eignen sich *Inselkopf-ELJs*, *ELJ-Buhnen* oder *gerinnequerende ELJs*.

Potential: ELJs für Schwemmholtzrückhalt einzusetzen ist aus ökologischer Sicht sehr sinnvoll. Liegt der Fokus aber auf der Gefahrenprävention, so können ELJs einen klassischen Schwemmholtzrückhalt nicht ersetzen. Wird ein solcher notwendig, kann der Einsatz von ELJs im Oberlauf geprüft werden, um die Schwemmholtzfracht im Rechen zu reduzieren und so die Unterhaltskosten zu senken.

Einsatzgrenzen:

- Fehlende Raumverfügbarkeit für Einbau
- Akute Naturgefahren bzw. Fokus auf Gefahrenprävention

Ungünstige Bedingungen / Herabsetzung Lebensdauer ELJ:

- Fehlender Aufwuchserfolg Gehölze auf ELJ (ungenügender Gehölz-Unterhalt)

6.6 Sicherung Interventionslinien

Einsatzgebiet: Zur Sicherung von erreichten Interventionslinien können ELJs in Form von *Buhnen-ELJs* oder *ELJ-Verbau* analog den herkömmlichen Anwendungen aus Blockstein eingesetzt werden. Für eine prophylaktische Sicherung von weit ausserhalb der Strömung liegenden Interventionslinien bzw. für die Erstellung von «schlafender» Ufersicherung sind ELJs jedoch nicht empfohlen, da ohne Anströmung bzw. Schwemmholtzakkumulation die Zersetzung des Holzigen Strukturanteils überwiegt und die Funktionalität als Ufersicherung nicht garantiert werden kann.

Potential: ELJs für Sicherung von Interventionslinien einzusetzen ist aus ökologischer Sicht sehr sinnvoll, wenn deren Anströmung grundsätzlich gewährleistet ist.

Einsatzgrenzen:

- «Schlafende» bzw. eingegrabene Ufersicherung sind i.d.R. nicht empfohlen

Ungünstige Bedingungen / Herabsetzung Lebensdauer ELJ:

- Fehlender Aufwuchserfolg Gehölze auf ELJ (ungenügender Gehölz-Unterhalt)
- Einsatz in Gewässer ohne genügendes Schwemmholaufkommen

7 Planung und Projektierung

7.1 Voraussetzungen

7.1.1 Handlungsbedarf bei Totholz

In den letzten Jahrzehnten wurden in der Schweiz viele Fliessgewässerrevitalisierungen geplant und umgesetzt und um Hochwasserprobleme zu entschärfen und degradierte Lebensräume wiederherzustellen, wurde unseren Fliessgewässern teilweise wieder etwas mehr Platz zugestanden. Bis heute konnte in der Schweiz dadurch schon einiges erreicht werden. Jedoch bestehen insbesondere in Bezug auf Totholz, Fischlebensräume und Auendynamik nach wie vor grosse Defizite. Viele einst häufige Fischarten stehen landesweit zunehmend unter Druck und scheinen aufgrund der

prognostizierten Klimaveränderung zunehmend gezielter Massnahmen zu bedürfen (Beschattung, ausgeprägte Tiefwasserzonen mit Deckung) (Küng, 2020).

Ein ausreichendes Totholzangebot bildet eine zentrale Voraussetzung für intakte Gewässerlebensräume:

- Wie in Kap.3.1 beschrieben dürften sowohl grosse Totholzmassen als auch lagestabile Totholzkomplexe für alle Fließgewässertypen unterhalb der Waldgrenze als natürlich und standorttypisch gelten.
- In Flüssen können sich die zu erwartenden, grossen log jams ohne Initialstrukturen (key logs) bzw. deren Biomimikry (ELJs) heute nicht mehr bilden.

Die Realisierung von Totholzbautypen kann also helfen, die genannten Probleme zu reduzieren. Idealerweise wirken sie dabei als Initialstrukturen für dynamische Totholz-Prozesse (Kap. 4.3), wodurch sie eine lange Lebensdauer aufweisen bzw. sich laufend auf natürliche Art erneuern können. ELJs unterscheiden sich aufgrund ihrer Grösse und Komplexität von übrigen Totholzeinbauten:

- ELJs sind für grössere Gewässer ausgelegt (Sohlenbreite >10 m), weshalb ausführliche Betrachtungen in der Dimensionierung notwendig sind. Kapitel 7 und 8 sollen hierzu die bau- und ingenieurtechnischen Möglichkeiten aufzeigen.
- Demgegenüber sind die meisten anderen Totholzstrukturen weitaus einfacher zu planen, zu dimensionieren und umzusetzen. Die nachfolgenden Ausführungen gelten daher *nicht* für den Einbau von simpleren Strukturen (Wurzelstöcke, Raubäume, Baum- oder Pfahlbuhnen, Baumfaschinen, BMU-Ufersicherung u.v.m.), mit welchen ebenfalls wichtige Beiträge zur Aufwertung der Gewässerlebensräume erzielt werden. Auf keinen Fall sollen sie durch ELJs in den Hintergrund rücken. Grundsätzlich eignen sich in kleineren Gerinnen (Sohlenbreite < 10 m) einfachere Totholzeinbauten oft besser zur Lebensraumaufwertung. Ein grosses Potenzial bieten dort insbesondere auch biberdammähnliche Einbauten (Beaver Dam Analogs, z.B. (Minnig, 2022))

7.1.2 Integraler Ansatz

Bevor mit der Planung von spezifischen ELJ-Strukturen begonnen werden kann, müssen der betreffende Gewässerabschnitt und die möglichen Auswirkungen der ELJs auf ebendiesen analysiert werden. Die ökologischen, ökonomischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen sind zu berücksichtigen. Wie die meisten Eingriffe in ein Gewässersystem haben ELJs nicht nur lokale Auswirkungen, sondern beeinflussen einen ganzen Flussabschnitt, insbesondere wenn mehrere Massnahmen geplant sind (vgl. u.a. Aspekte ELJ-Design, Lebensraumaufwertung, Gefahren, Chancen).

7.2 Zielformulierung und ELJ Design

Das ELJ-Design (d.h. Anzahl, Dichte, Positionierung von ELJs, usw.) ist fallspezifisch zu erarbeiten. Das Design muss sich grundsätzlich nach der übergeordneten Projektzielsetzung sowie den möglichen ELJ-Anwendungsgebieten richten:

- Wo ELJs für den **Uferschutz** eingesetzt werden, wird das Design insbesondere von uferschutztechnischen Aspekten bestimmt, die analog bei herkömmlichen Uferschutzbauten wie Längsverbau oder Buhnen zu beachten sind (u.a. Lage, Anströmung, Länge der strömungsabweisenden Wirkung, etc.).
 - Fallbeispiele: Aare Löchligut, siehe Anhang H.1; Aare Fahrhubel, siehe Anhang H.3
- Wo mit ELJs eine **Lebensraumaufwertung** zu erreichen ist, kann das Design freier bestimmt werden. Der Fokus liegt dann i.d.R. auf dem Erreichen einer optimalen Anströmung einzelner ELJs bzw. einer dadurch zu erreichenden Initialwirkung (z.B. Anströmung von Nebenarmen, Provozieren Uferanrisse, Rückhalten von Geschiebe, Schaffung von Kolken usw.), siehe auch Exkurs 2: ELJ-Design: Dichte, Positionierung und Anströmung von ELJs.
 - Fallbeispiele: Sense Ruchmühle, siehe Anhang H.2; Emme Bätterkinden, siehe Anhang H.4
- Wo eine **Kombination beider Zielsetzungen** gefragt ist, sollte das Design entsprechend multifunktional ausgelegt werden (Beispiel: Hoh River in Abbildung 17)

Das ELJ-Design ist von der Machbarkeit bis hin zum umsetzungsreifen Projekt phasengerecht zu verfeinern und zu überprüfen.

Exkurs 2: ELJ-Design: Dichte, Positionierung und Anströmung von ELJs

Das grösste ökologische Aufwertungspotential kann (neben *gerinnequerenden ELJs*) mit dem Bauyp *Inselkopf-ELJ* (Kap. 5.2.6 und Anhang B.6) erreicht werden, da er als instream Struktur entsprechend gut angeströmt und umströmt wird. Die Positionierung von *Inselkopf-ELJs*, aber auch einzelner *ELJ-Deflektoren* ist jedoch nicht trivial – v.a. wo das Flussbett im Verhältnis zum Niederwasserabfluss sehr breit, und/oder eine Flussaufweitung erst in Entwicklung ist.

Unter natürlichen Bedingungen entsteht eine grosse Vielzahl an Totholzstrukturen im Flussbett wobei längst nicht alle Strukturen jederzeit angeströmt werden. Im Unterschied dazu werden im Rahmen von Wasserbauprojekten – angesichts der Raumverfügbarkeit und der Kosten – in der Regel wenige Initialstrukturen eingebaut. Dadurch fällt die Anströmung einer einzelnen ELJs entsprechend stärker ins Gewicht. Wo also ist ein einzelner ELJ zu setzen, damit er gut angeströmt wird? Und wohin soll die Strömung umgeleitet werden? In jedem Fall bedarf es einer Analyse vor Ort, um den bestehenden Verlauf der Niederwasserrinne (und wo vorhanden die Lage von Bänken und alten Nebenarmen usw.) in die Planung aufzunehmen. Im Fall einer sich entwickelnden Flussaufweitung sollte versucht werden, Strömungsverlagerung, Erosions- und Depositionszonen zu identifizieren Hauptströmung, Bankbildung und Ausbildung des Niederwasserverlaufs grob zu antizipieren und eine Reihe möglicher Strömungswinkel zu berücksichtigen.

Empfehlenswert ist ohnehin die Planung eines ELJ-Designs mit mehreren, aufeinander abgestimmten Strukturen, wodurch sich Anströmung und auch morphologische Wirkung klar verbessern lassen: Abhängig vom zu erreichenden Ziel (Verlagerung der Hauptströmung, Wiederanbindung von Nebenarmen usw.) muss das ELJ-Design die strömunglenkende Wirkung der Einbauten sowie der Interaktionen zwischen mehreren ELJs berücksichtigen (Abbe, et al., 2018). Basierend auf einem 15 Jahre langen Monitoring von 20 ELJs am North Fork Stillaguamish River empfehlen die Autoren (Drury, et al., 2016) grundsätzlich mehrere ELJs relativ konzentriert zu platzieren, wobei der räumliche Schwerpunkt auf kollektiven Interaktionen, geomorphologischen Reaktionen und der Verbesserung der Konnektivität zur Aue und zu bereits vorhandenen Nebenarmen liegen soll. Unter Umständen kann auch eine 2-D Modellierung (Abbe, et al., 2018), ein physikalisches Modell (Gallisdorfer, et al., 2014) oder eine CFD Untersuchung (Xu, et al., 2017) die Überprüfung des ELJ-Designs unterstützen.

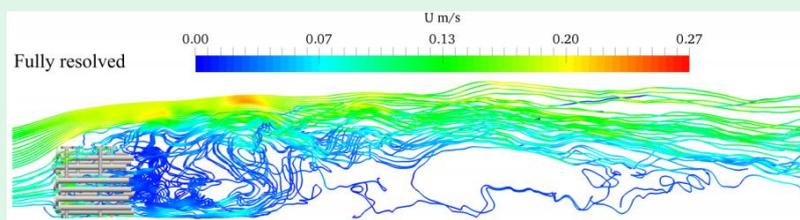


Abbildung 15 : Beispiel CFD Modellierung im Umfeld eines angeströmten ELJ-Deflektors (Xu, et al., 2017)



Abbildung 16 : Beispiel Akzentuierung / Wiederanbindung Nebenarme mit Inselkopf-ELJs am Upper Quinault River, Washington (Abbe, et al., 2018).

Obschon mit den genannten Betrachtungen nicht immer exakte Ergebnisse zu erwarten sind, ist es in den meisten Fällen ausreichend, den Einbaubereich grob zu identifizieren, denn die Anströmung der Struktur kann sich mit der Zeit selbst optimieren: Die Hochwasser passen die Sohlenmorphologie nach dem Einbau der Struktur an, insbesondere schaffen sie Kolke nahe der Struktur, und können so mit der Zeit zu einem angepassten Verlauf des Niederwassers führen, wodurch sich ganzjährig eine gute Anströmung einstellen kann.

Liegt der Einbaubereich einer *einzelnen* ELJ-Struktur aber zu weit abseits der Hauptströmung (z.B. weit aussen im Gleithang einer Flusskurve), kann nicht mit einer Anströmung gerechnet werden, wodurch die gewünschten morphologischen Effekte ausbleiben (Daley, et al., 2013).

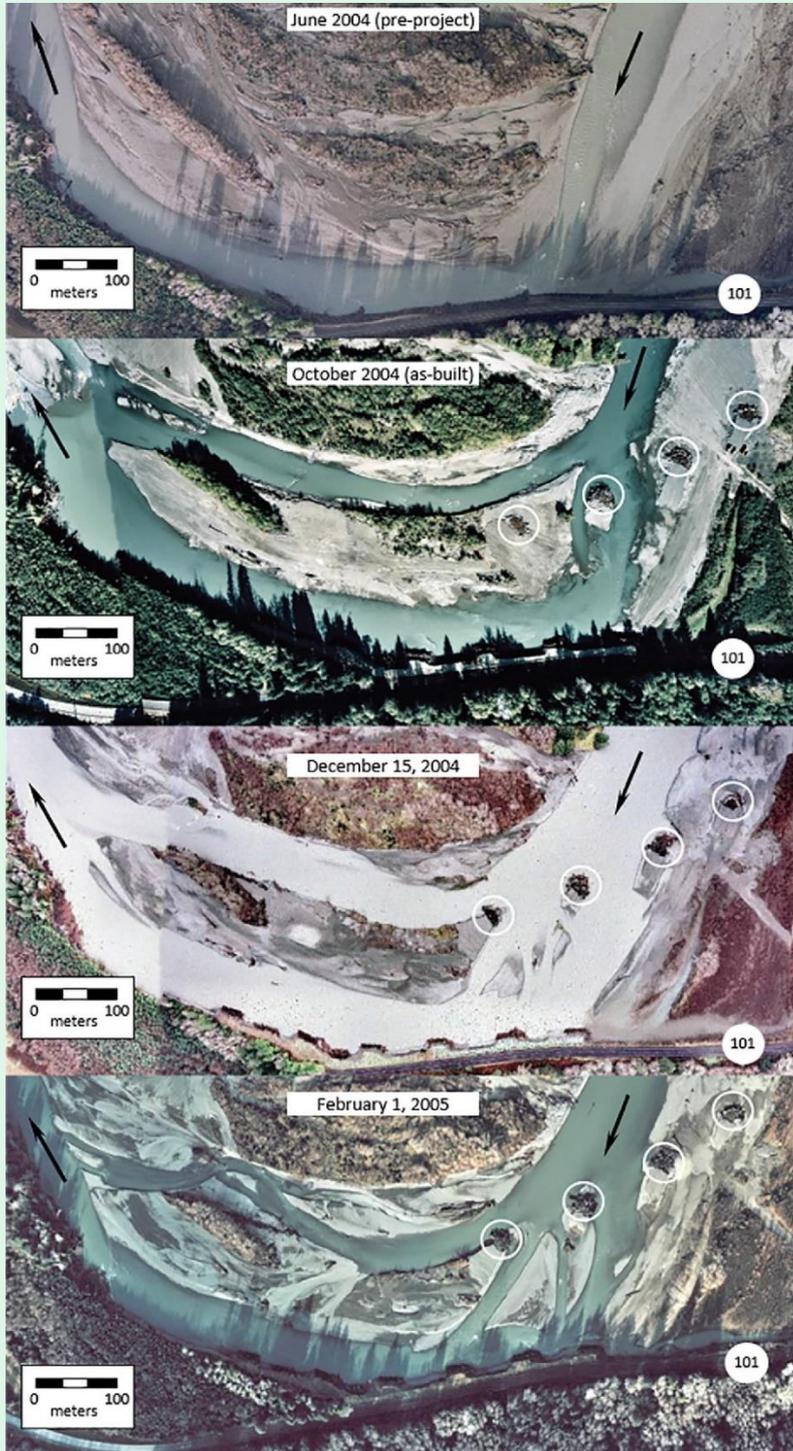


Abbildung 17: Beispiel Strömunglenkung mit Inselkopf-ELJs und ELJ-Buhnen zur Wiederanbindung der Nebenarme und Ufersicherung der State Route 101 am Hoh River, Washington. Rückführung des degradierten Ein-Gerinne-Systems in seine historische Morphologie [anabranching, vgl. Tabelle 1] mit gleichzeitigem Schutz der Strasse [Abbe, et al., 2018].

7.3 Von der Idee zum Projekt

Ein ELJ-Projekt durchläuft grundsätzlich die üblichen Planungsschritte eines Wasserbauprojekts. Aufgrund der Neuartigkeit sowie des grossen Holzbedarfs sind aber vor dem eigentlichen Planungsstart zusätzliche Schritte notwendig. Sinnvollerweise werden zu Beginn die relevanten Akteure identifiziert um erste Gespräche zu Chancen, Risiken und Machbarkeit von ELJs zu führen und um Vertrauen in die hierzulande noch neue Methode zu schaffen.

Erfahrungsgemäss ist dafür zielführend, den Fokus auf die grossen Defizite im Bereich der Gewässerlebensräume, die Dringlichkeit der zu lösenden Probleme und auf den grossen Nutzen sowie mögliche Synergien eines solchen Projekts zu legen (siehe Exkurs 3: Projektspezifische Chancen, Abwägungen und Kompromisse). Die bereits umgesetzten Projekte (siehe Schweizer Fallbeispiele in Anhang H) unterstreichen dabei die Machbarkeit und zeigen, dass für Planung, Bewilligung, Bautechnik und Betrieb keine grundsätzlichen Hürden bestehen. Je nach Projekt kann aber z.B. auch die positive Auswirkung einer nachhaltigen Sohlenstabilisierung oder die positiven Effekte auf das Grund- und Trinkwasser im Vordergrund der stehen. Kap. 6 schafft einen Überblick über alle wesentlichen Einsatzmöglichkeiten.

Um den Weg von der ersten Idee bis zum eigentlichen Projektstart mit Erfolg bewältigen zu können, bedarf es des Willens, Neues zu versuchen und bewährte bzw. gewohnte Methoden im Hinblick auf den möglichen Mehrwert zu hinterfragen. Es empfiehlt sich bereits in dieser ersten Phase Allianzen mit möglichen Partnern zu suchen und zu knüpfen, welche bei der Überzeugungsarbeit unterstützend mitwirken. Mögliche erste Allianzen können sich erfahrungsgemäss nicht nur mit Fischern und Fischereifachstellen ergeben, sondern auch mit dem Forst bzw. mit Waldeigentümern, denn grundsätzlich sollte der Holzbedarf für ein ELJ-Projekt durch lokale Produktion gedeckt werden können. Es ist daher zielführend, allfällige Synergien mit dem Forstbereich bereits frühzeitig abzuklären (siehe Kapitel 7.5.1). Sind die Ergebnisse der Gespräche erfolgsversprechend, kann die eigentliche Projektierung angegangen werden.

7.4 Teamleistung ist gefragt

Der wohl wichtigste Erfolgsfaktor bei innovativen Bauvorhaben ist eine aufrichtige, ehrliche und auf stetigem Austausch basierende Zusammenarbeit der Schlüsselpersonen. Für die Umsetzung von ELJ-Strukturen gilt dies in besonderem Masse, weil bereits ab Beginn der Projektidee eine gute Zusammenarbeit zwischen Forst, Wasserbau und Grundeigentümern notwendig ist. Bei der Umsetzung von etablierten Wasserbaumethoden bestehen im Regelfall lediglich Schnittstellen zwischen diesen Parteien und der Austausch findet auch zu einem späteren Zeitpunkt statt. Bei den hier vorgestellten Bautypen kann eine erfolgreiche Umsetzung nur garantiert werden, wenn der Austausch phasengerecht und auf Augenhöhe stattfindet, da von allen beteiligten Leistungen verlangt werden, welche im etablierten Geschäftsumfeld meist neu sind. So hat der Forst ungewohnte Holzsortimente zur Verfügung zu stellen, beim Grundeigentümer wird unter Umständen in die angestammte Bewirtschaftung seiner Wälder eingegriffen und der Wasserbauingenieur muss teilweise seine erprobten Dimensionierungsansätze verlassen. Auch die (Bewilligungs-) Behörden können nicht auf eine langjährige Erfahrung zurückgreifen und müssen aus diesem Grund ein höheres Mass an Vertrauen in die beteiligten Fachpersonen aufbringen können.

7.5 Baumaterial (Holz) als zentraler Faktor für die Planung

Ohne geeignetes Ausgangsmaterial (Holz) vor Ort können ELJs kaum realisiert werden. Wichtig ist also, den Fokus bereits vor der eigentlichen Projektierung auf die Verfügbarkeit des Baumaterials zu legen. Idealerweise kann Holz aus einer projektbegleitenden Rodung verwendet werden, beispielsweise wenn für Flussaufweitungen und/oder für Hochwasserschutzmassnahmen in unmittelbar anstehende Waldflächen eingegriffen wird. Sollte dies nicht der Fall sein, können andere Wege verfolgt werden.

Angesichts der für ELJs benötigten, eher ungewöhnlichen Sortimente und Mengen, ist es kaum denkbar, das gewünschte Holz erst nach abgeschlossener Planung beim Forst zu bestellen. Insbesondere die Langhölzer mit Wurzelteller können in der benötigten Grösse oft nicht über das öffentliche Strassennetz transportiert werden, da diese einfach zu gross sind für die Schweizer Strassen.

Somit ist es zentral, das Holz in unmittelbarer Nähe beziehen zu können, dies auch um die Kosten nicht unnötig in die Höhe zu treiben.

Abhängig vom Einsatz des Holzes ist besonders auf die Holzart zu achten. Das Verhalten von Holz (dauernd im Wasser, im wechsellastigen Bereich, im Kontakt mit Erdreich oder stetig an der Luft) unterscheidet sich je nach Baumart teilweise massiv (siehe Kapitel E.3.5). Somit muss bei der Bestimmung des Baumaterials auf diese Eigenheit in Bezug zum Aufbau der ELJ Struktur und der Gewässercharakteristik eingegangen werden und die Holzart richtig gewählt werden. Eine Absprache mit entsprechenden Fachleuten ist zu empfehlen.

7.5.1 Abstimmung mit forstlicher Planung

Oftmals wird es nicht möglich sein, die verschiedenen benötigten Holzmengen ohne vorausschauende Planung innerhalb des geforderten Zeithorizonts einer Baumaterialbeschaffung zu organisieren, insbesondere auch in Gebieten mit einem Waldbestand mit wenig vorhandenen Baumarten, welche für das Bauwerk benötigt werden. Aus diesem Grund wird empfohlen bereits vor der eigentlichen Projektierung den Kontakt zu den zuständigen Förstern zu suchen, um zusammen die forstliche Planung zu besprechen. So kann die forstliche Planung mit den wasserbaulichen Absichten koordiniert werden und allfällige Durchforstungen oder Gerinneinhangpflegen können gegebenenfalls auf das Wasserbauprojekt abgestimmt durchgeführt werden, um das Baumaterial für ein ELJ Projekt frühzeitig sicherzustellen. Kommt man mit der Projektidee beispielsweise kurz nach einer grösseren Durchforstung im beabsichtigten Gebiet, wird es schwierig werden in naher Zukunft genügend Holz für das Projekt ernten zu können. Empfohlen wird deshalb bei den zuständigen Forststellen das Interesse zu bekunden, grössere Mengen an Holz in einem bestimmten Gebiet beziehen zu können. So kann einfach sichergestellt werden, dass bei einem sich konkretisierenden forstlichen Eingriff auch das ELJ Projekt im selben Gebiet ausgelöst werden kann.

Die Qualitätskriterien für Rundholz im Wasserbau sind völlig verschieden von den Anforderungen an Sagholz. Verfärbungen, Verkrümmungen, Abholzigkeit etc. spielt im Wasserbau keine Rolle. Auch frisch geschlagenes Käferholz kann im Wasserbau problemlos eingesetzt werden. So hat der Waldbesitzer die Möglichkeit, für andere wenig begehrtes Holz zu einem "anständigen" Preis zu verkaufen. Der Preis sollte sich zwischen Stammholz Qualitätsklasse D und Brennholz bewegen.

Weiter verfügen die forstlichen Fachkräfte über ein grosses Wissen an statistisch zu erwartenden Sturmzyklen in einem konkreten Gebiet, in dessen Folge entsprechendes Sturmholz anfällt, das sich für den Bau von ELJs hervorragend eignet. Durchschnittlich ist in der Schweiz rund alle 10 Jahre mit einem grösseren Sturmereignis zu rechnen, welches problemlos genügend ELJ-Bauholz zur Verfügung stellen kann. Obschon diese Ereignisse nicht konkret planbar sind, kann die wasserbauliche Planung dennoch so weit vorbereitet werden, dass das Vorhaben beim Eintreffen des Ereignisses zeitnah umgesetzt werden kann. Denn eine kurze Reaktionszeit kann im Ereignisfall massgebend sein, falls das Sturmholz möglichst rasch aus dem Wald zu entfernen ist (Vorbeugen von Käferbefall).

7.5.2 Gesteigerte Wertschöpfung

Durch die Verwendung von einheimischem Holz in der direkten Umgebung des Bauvorhabens eröffnet sich die Möglichkeit, die Wertschöpfung in der Region zu steigern. Es wird empfohlen Die Transportwege aus Umweltgründen möglichst kurz zu halten und das Holz lokal zu beziehen. Bei der Bereitstellung des Holzmaterials für ELJs wird zudem auch der grösste Teil der anfallenden Arbeit vor Ort erbracht (Forstarbeiten wie Holzernte und Rüsten, ggf. Logistik). Anders als beim Bezug von industriell erzeugten Baustoffen profitieren beim einheimischen Holz mehrere lokale Parteien in einem grösseren Masse von der Wertschöpfung. Gemessen am weit verbreiteten potenziellen Einsatzgebiet von ELJs kann sich Waldbesitzern damit ein neuer Absatzmarkt eröffnen: die Forstunternehmung erbringt zu einem angemessenen Preis höhere Eigenleistungen und es können Holzsortimente verwendet werden, welche sonst oft ungenutzt bleiben. Auch die Bauunternehmung erbringt einen grösseren Teil Ihres Umsatzes mit Eigenleistungen anstatt «nur» durch den Zwischenhandel von Baumaterial, da die Umsetzung einen höheren personellen Einsatz erfordert als das sonst oft der Fall ist.

7.6 Fachbegriffe

Bevor auf das Thema Planung und Projektierung eingegangen werden kann, ist es wichtig auf die Sprache und die verwendeten Begriffe einzugehen. Viele der verwendeten Baumaterialien werden je nach Branche (Bau, Forst, Planer, etc.) unterschiedlich benannt oder sind gegenseitig gar unverständlich oder unbekannt. Nur mit einer gemeinsamen «Sprache» kann eine erfolgreiche Projektumsetzung gewährleistet werden.

Siehe Tabelle Fachbegriffe und Empfehlung zur Verwendung in Anhang D

Für weiterführende forstliche Begriffe wird auf das Wörterbuch des Landesforstinventars verwiesen (WSL, 2018).

7.7 Planungsprozess

Im folgenden Kapitel wird auf wesentliche Eigenheiten in der Planung von ELJs eingegangen. Auf die Kenntnis über den Planungsprozess wird nicht weiter eingegangen und wird vorausgesetzt. Weiterführende Informationen dazu finden sich beispielsweise in Planungshilfen der Kantone Bern und Zürich:

Fachordner Wasserbau Kanton Bern: (Tiefbauamt des Kantons Bern, 2017)

Praxishilfe Wasserbau Kanton Zürich (Amt für Abfall Wasser Energie und Luft, 2018)

7.7.1 Planen mit nicht normierten Naturmaterialien

Grundsätzlich muss man sich dem Umstand bewusst sein, dass ein ELJ mittels Holz von geringerer Qualität, also Bäumen in den unterschiedlichsten Wuchsformen erstellt werden sollte. Denn die Erstellung eines ELJs mit «schönem», geraden und einheitlichen Holz widerspricht dem Wertschöpfungspotential (s. Kap. 7.5.2) und erhöht die Kosten unnötig. Weiter würde das Bauwerk in Konkurrenz mit den klassischen Holzabsatzmärkten treten, was vermieden werden sollte.

Bei einer ingenieurtechnischen Planung wird in der Dimensionierung und auch beim Erstellen von Plänen jedoch von idealen, also geraden und einheitlichen Bauelementen ausgegangen. Dies ist richtig um die Planung soweit zu vereinfachen um die geforderten Nachweise, Planunterlagen und Ausschreibungen mit einem vernünftigen Aufwand erstellen zu können.

Im ganzen Planungsprozess muss man sich dem Umstand bewusst sein, dass die ELJ-Struktur nicht wie geplant umgesetzt werden kann. Die Bäume werden andere Längen, Grössen und krumme Wuchsformen aufweisen. Somit ist die gesamte Planung im schematischen Sinne umzusetzen und es sind die nötigen Spielräume zu schaffen um das Bauwerk auch mit den abweichenden Baumaterialien im Sinne der Planung umsetzen zu können.

7.7.2 Erforderliche Grundlagen

Neben den gängigen Grundlagen, welche erforderlich sind ein Wasserbauprojekt zu planen, kommen bei der Planung eines ELJs folgenden Grundlagen eine spezielle Bedeutung zu:

Baugrund / Geotechnik

Für die Fundation der Pfähle muss der Baugrund relativ detailliert bekannt sein. Die Lagerungsdichte des Flussschotters ist zentral für die Wahl des Systems um die Pfähle einzubringen sowie für die Dimensionierung der Pfähle (Grösse und Anzahl). Ein allfälliger Felsverlauf im Untergrund stellt ebenso eine wichtige Grundlage dar, welche zwingend im Projektperimeter bekannt sein soll. Auch die Eigenschaften eines Felshorizonts sollten bekannt sein, da bei stark verwitterten Felshorizonten die Pfähle auch in diese Schicht eingebracht werden können und dies Vorteile in der Dimensionierung bringen kann. Für die Dimensionierung der Grenzschicht sollte weiter das später zur Verfüllung verwendete Material bekannt sein, also einfache Bodenkennwerte vorhanden sein. **Es wird empfohlen**

vorgängig entsprechende geologische und geotechnische Untersuchungen durchzuführen um die nötige Planungssicherheit zu gewährleisten.

Schwemmholz

Die beschriebene Wechselwirkung zwischen Schwemmholz und einem ELJ (siehe Kapitel 4.3.3) kann deutlich besser abgeschätzt werden, wenn möglichst alle Informationen zum Schwemmholzaufkommen eines Gewässers zusammengetragen werden. Dabei ist auch die Gerinneinhangpflege respektive die Waldgesellschaften, deren Zustand und die Bewirtschaftung im relevanten Einzugsgebiet in die Betrachtung einzubeziehen.

Geschiebe

Für die Planung eines ELJ müssen die gängigen Kennzahlen zum Geschiebe bekannt sein. Eine Linienzahlanalyse stellt die Grundlage für die Kolkberechnungen dar. Ab wann der Geschiebetreib im betroffenen Abschnitt einsetzt, ist in Bezug auf den Dimensionierungsabfluss im selben Masse wesentlich. Falls eine übergeordnete Wirkung der ELJs auf die Flussmorphologie beurteilt werden soll, sind auch die Geschiebefrachten und deren Ganglinie zu kennen.

Erschliessung / Zugänglichkeit

Viele Wasserbauprojekte werden mit kleinen Flurwegen oder Waldstrassen erschlossen und liegen teilweise etwas weiter vom öffentlichen Strassennetz entfernt. Es sollte bereits zu Beginn geklärt werden mit welchen Baugeräten letztlich auf der Baustelle gearbeitet werden kann. Es macht keinen Sinn beispielsweise eine Pfählung zu planen, welche nur mit schweren Rammgeräten ausgeführt werden kann, wenn dafür neue Erschliessungsstrassen gebaut werden müssten. Das Lichtraumprofil, die Tragfähigkeit und die Kurvenradien der Zugangstrasse sowie allfällige weitere Einschränkungen sind zu ermitteln.

7.7.3 Variantenstudium - Vorprojekt

Zu Beginn eines ELJ Projekts wird empfohlen ein Variantenstudium durchzuführen, wie dies in vielen Verfahren von Seiten der Behörden auch gefordert wird. So kann sichergestellt werden, dass der Einsatz eines ELJ tatsächlich zielführend ist und nicht eine andere Baumethode, die die Ziele eigentlich besser erfüllen würde.

Beim Vorprojekt ist der Fokus auf die Machbarkeit des Vorhabens zu richten und es sind phasengerecht mögliche Ausschlusskriterien zu identifizieren und abzuhandeln. Das benötigte Baumaterial ist zu sichern und aufgrund von der Verfügbarkeit eine erste Vordimensionierung zu tätigen. Dabei ist auch der Einsatz der vorgesehen Baugeräte zu plausibilisieren und die verschiedenen Bautechniken (z.B. beim Einbringen der Pfähle) sind gegeneinander abzuwägen und sind festzulegen.

Mit den Resultaten kann das ELJ somit erstmals in Umfang und Form konkret aufgezeigt werden. Zu diesem Zeitpunkt sollte die angestrebte Wirkung überprüft werden. Dies stellt dann auch den Zeitpunkt für den Start der Öffentlichkeitsarbeit und die Information und den Austausch mit weiteren beteiligten Dritten dar.

Exkurs 3: Projektspezifische Chancen, Abwägungen und Kompromisse

Um ELJs zielführend und gewinnbringend in Wasserbauprojekte zu integrieren, ist es wichtig, projektspezifische Chancen früh zu erkennen, z.B. in der Phase Konzept / Vorprojekt. Dies gelingt, wenn das breite Anwendungsfeld und die hohe Plastizität des ELJ-Designs berücksichtigt werden.

In unseren vielfältig und z.T. stark genutzten Gewässern können aber auch Rahmenbedingungen auftreten, die den Einbezug von ELJs erschweren, selbst wenn der Raum vorhanden wäre. Um relevante Limitationen berücksichtigen zu können, ist es ebenfalls wichtig, die Bandbreite möglicher Kompromisse beim ELJ-Design zu kennen.

Zum Teil bestehen auch generelle Vorbehalte gegenüber künstlich eingebauten Aufwertungsstrukturen in Naturentwicklungsräumen (Elber, 2020). Obwohl solche Vorbehalte projekt- und strukturspezifisch berechtigt sein können, dürfen daraus keinesfalls undifferenzierte Schlüsse gezogen werden: Es ist wesentlich, ELJs als *Initialstrukturen zur Reaktivierung geomorphologischer Naturprozesse* (natural wood regime siehe Kap.3.1.1, large wood cycle siehe Kap.3.2.1) klar zu unterscheiden von übrigen instream Strukturen, die v.a. bei räumlicher Limitation eingesetzt werden, sowie von simplen «Gerinne-Möblierungen», die über die Bereitstellung von unmittelbaren Habitaten hinaus keine Naturprozesse reaktivieren.

Hier ist zwingend eine differenzierte Diskussion zu führen, um den Wert von ELJs für ein Projekt korrekt einordnen und nach Möglichkeit umsetzen zu können.

Nachstehende Beispiele zeigen anhand ausgewählter Szenarien den möglichen Spielraum für den Einbezug von ELJs in Flussbauprojekten:

Flussaufweitung – eigendynamisch oder baulich

Eigendynamik	Gemischt	Bauliche Erstellung
<ul style="list-style-type: none"> – ELJs als Initialstrukturen für Etablierung large wood cycle und Konnektivität Aue stark empfohlen. Wo möglich auch gerinnemittige Bautypen. – Zusätzlich möglich: Förderung Anströmung und Seitenerosion durch ELJ-Design. – Falls erodierende Fläche bestockt/bewaldet: Synergie mit Schwemmholtzrückhalt-Funktion 	<ul style="list-style-type: none"> – ELJs als Initialstrukturen für Etablierung large wood cycle und Konnektivität Aue stark empfohlen. Wo möglich auch gerinnemittige Bautypen. – Ggf. Anströmung und Seitenerosion durch ELJ-Design fördern – Ggf. Synergie mit Materialbewirtschaftung bzw. Schwemmholtzrückhalt-Funktion nutzen. 	<ul style="list-style-type: none"> – ELJs als Initialstrukturen für Etablierung large wood cycle und Konnektivität Aue stark empfohlen. Wo möglich auch gerinnemittige Bautypen. – Falls auf baulich tangierten Flächen Holzschlag notwendig: Synergie mit Materialbewirtschaftung nutzen (Holz als ELJ verbauen).

Neuerstellung, Sanierung oder temporärer Uferschutz erforderlich

Neuerstellung	Sanierung	Temporäre Ufersicherung*
<ul style="list-style-type: none"> – Kombi Uferschutz/Aufwertung: ELJs als neuer Uferschutz (durchgängig oder punktuell) stark empfohlen. – Reine Aufwertung: Punktuelle ELJ-Struktur, dem neuen Längsverbau vorgelagert; Nutzung Synergie bei Baugrube. 	<ul style="list-style-type: none"> – Reine Aufwertung: Punktuelle ELJ-Struktur, dem zu sanierenden Längsverbau vorgelagert: Nutzung Synergie bei Baugrube. 	<ul style="list-style-type: none"> – Kombi Uferschutz/Aufwertung: Uferschutz durch punktuelle ELJs, diese werden nach Ablauf Frist hintergraben (neue Funktion als Inselkopf-ELJs) und beschleunigen eigendynamische Verbreiterung.

*Z.B. wenn eine Flussaufweitung aufgrund bestehender, aber befristeter Nutzungen in mehreren Phasen abläuft

Freizeitnutzung durch Schwimmende und Kleinboote

Starke Nutzung	Mässige Nutzung	Selten / keine Nutzung
<ul style="list-style-type: none"> – Gerinnemittige ELJs nicht empfohlen. – Ufernahe ELJs möglich, z.B. für Uferschutz. Reduktion Rauheit* empfohlen. 	<ul style="list-style-type: none"> – Gerinnemittige ELJs möglich (Risikoabschätzung), Reduktion Rauheit* empfohlen. – Ufernahe ELJs möglich, z.B. für Uferschutz. Reduktion Rauheit* empfohlen. 	<ul style="list-style-type: none"> – Gerinnemittige und ufernahe ELJs uneingeschränkt möglich

*Verzicht auf Wurzelteller an den von Schwimmenden/Booten erreichbaren ELJ-Bereichen (vgl. auch Uferschutz Aare Bern, Löchlütig im Anhang H.1; Bautypen ELJ-BMU-Bühne und ELJ-BMU-Deflektor im Anhang C)

7.7.4 Bauprojekt

Auf Stufe Bauprojekt sind sämtliche relevanten Aspekte der Bauausführung bereits zu berücksichtigen um mögliche notwendige Rahmenbedingungen (wie Zufahrten, Umschlagplätze, Massnahmen für die Wasserhaltung, Eingriffe im Wald, etc.) im Zuge der Bewilligung oder der Bewilligungen zu sichern. In einem nächsten Schritt dient das Bauprojekt dazu die Submissionen (Forstarbeiten und Baumeister) erstellen zu können.

Forsttechnik, Entnahme von Bäumen mit Wurzelstock

Es ist abzuklären wie die Langhölzer mit Wurzelteller geerntet werden können. Falls nicht von einem Sturmereignis «profitiert» werden kann, müssen die Bäume «ausgerissen» werden, was eine Herausforderung darstellt und einen speziellen Maschinenpark erfordert. Mit der zuständigen Forstbehörde sind zudem die notwendigen Abklärungen zu tätigen, damit die Bewilligungsfähigkeit eines solchen Eingriffs sichergestellt ist. In vielen Kantonen genügt für die Ernte von Langholz mit Wurzelteller eine Schlagbewilligung.

Der Kanton Bern hat 2021 ein Merkblatt zur Ernte von Bäumen mit Wurzelstock (sog, Stockrodung) herausgegeben (Amt für Wald und Naturgefahren, 2021), welches auf den betreffenden Waldflächen zu berücksichtigen ist. Das Merkblatt dient als Hilfestellung für den zuständigen Revierförster, um negative Auswirkungen auf Bestand und Boden abzuwägen, insbesondere bezüglich des Risikos der Bodenverdichtung durch Befahren mit schweren Maschinen. Gemäss Merkblatt gelten folgende Grundsätze: Um Boden und Waldbestände zu schonen, werden prioritär dort Wurzelstöcke entnommen, wo negative Auswirkungen gering sind:

1. Priorität: Entnahme auf Rodungsflächen
2. Priorität: Im Rahmen von Neu- und Ausbauprojekten forstlicher Erschliessungen
3. Priorität: Auf Windwurfflächen

In folgenden Fällen ist generell auf eine Stockrodung zu verzichten:

- a) Bei Totalwaldreservaten, Objekt- oder Gerinneschutzwäldern
- b) Bei Grundwasserschutzzonen
- c) Im Rahmen ordentlicher waldbaulicher Eingriffe

Im Kanton Bern ist für einen Holzschlag mit Stockernte folglich ein Rodungsverfahren einzuleiten, sofern der Bedarf nicht aus bereits bewilligten Rodungen, aus Neu- und Ausbauprojekten forstlicher Erschliessungen oder aus Windwurfflächen gedeckt werden kann.

Ebenfalls ist ein Augenmerk auf den Transport bis zur nächsten Forststrasse zu legen, da Bäume mit Wurzeltellern ein deutlich höheres Gewicht aufweisen (Erdballen im Wurzelgeflecht) und nicht ohne weiteres durch gängige Forstmaschinen transportiert werden können. Bei der Wahl der Arbeitstechnik ist auf einen schonenden Umgang mit dem Waldboden, aber auch mit dem Wurzelteller zu achten, da dieser Teil einen zentralen Wert im Bauwerk darstellt (Funktionen: Habitat/Deckung, Strömungsvariabilität, Fänger für Schwemmholz und Geschwemmse) und nicht bereits stark beschädigt auf der Baustelle eintreffen sollte.

Alternativ ist auf die Verwendung von Langholz mit Wurzelteller zu verzichten und „lediglich“ Langholz für den ELJ-Bau zu verwenden. In diesem Fall sollte wo möglich auf Ersatzstrukturen ausgewichen werden, die an der strömungsexponierten Front die Funktion der Wurzelteller mehr oder weniger gut übernehmen können: z.B. durch den zusätzlichen Einbau herkömmlicher, kurzer Wurzelstöcke (weit häufiger verfügbar als Langholz mit Stock), oder durch den Einbau von gespreizten Faschinen (vgl. Bautypen Anhang B.3 und B.5).

Dimensionierung mit angemessenen Reserven

Für die Dimensionierung des ELJ (ausführliche Hinweise in Kapitel 8) ist auf genügende Reserven in den Berechnungen zu achten, da die Umsetzung nicht mit den angenommenen Spezifikationen erfolgen wird (siehe Kapitel 7.7.1). Die Reserven sind aufgrund der Vorabsprachen mit dem Forst zu definieren (Kenntnis zu Baumbestand, insbesondere Wuchsformen und Grössenverteilungen) und gegebenenfalls mittels einer Sensitivitätsanalyse zu verifizieren. Überdimensionierte Bauwerke und zu

umfangreiche Reserven sind aufgrund der Wirtschaftlichkeit und zur Schonung der natürlichen Ressourcen zu vermeiden.

Segmentierung des Bauwerks

Bei einem ELJ-Bautyp, welcher mehr als 10 m misst oder eine komplexere Form aufweist, kann eine Segmentierung des Bauwerks für die Ausführung notwendig werden. Die Art und Weise wie das Bauwerk aufgeteilt wird, wirkt sich zum einen auf die Dimensionierung (vereinfachte Betrachtung) und zum anderen auf die benötigten Holzsortimente, deren Logistik und die Verbau-Methodik aus. Aus diesem Grund sollte beim Erarbeiten des Bauprojekts die Segmentierung abschliessend definiert werden. Beim Festlegen der Grösse der Einbaugruppen ist aufgrund des Hochwasserrisikos während der Bauzeit auch die Tagesleistung einer Bauequipe zu beachten (siehe unten). Abhängig von der Abflusscharakteristik des Gewässers soll durch die Segmentierung das Schadenpotential eines Hochwassers während der Bauzeit reduziert werden.

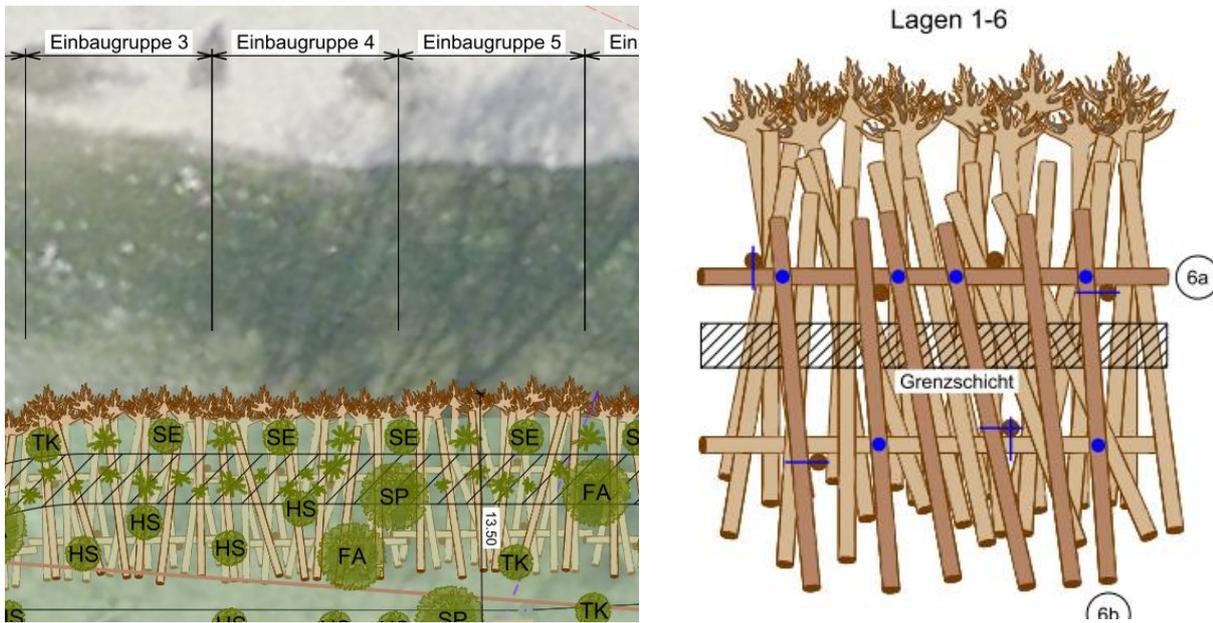


Abbildung 18 zeigt eine mögliche Segmentierung eines Uferschutz-ELJs (links) mit dazugehörigem Segmentaufbau (rechts)

Tagesleistung beim ELJ Bau

Für die Bestimmung der angemessenen Grösse der Segmentierung / Einbaugruppe ist es unter anderem auch notwendig die Tagesleistung der Baustellengruppe abschätzen zu können. Diese Information bildet weiter die Grundlage für die Planung der Baulogistik. Da hierzulande zur Zeit Erfahrungswerte grösstenteils fehlen, wird empfohlen die eigenen Annahmen im Gespräch mit im Holzverbau erfahrenen Baufachleuten zu plausibilisieren, idealerweise direkt mit dem Baustellenpersonal und nicht mit Kalkulatoren. Naheliegender wäre, sich auf den Verbau von Uferkrienerwänden oder Grünholzschwellen zu beziehen, welches nach der Erfahrung vom Bau des ELJ im Löchligut als nur bedingt zielführend erachtet wird, da sich schon das verwendete Baumaterial im Gewicht wesentlich unterscheidet und die Pfählungen fehlen.

Baulogistik

Für einen reibungslosen Bauablauf und zur Einhaltung der Tagesleistung ist die Baustellenlogistik beim Bau eines ELJs zentral, beinahe vergleichbar mit einer Baustelle im städtischen Raum oder auf Autobahnen (von deren Erfahrungen übrigens auch profitiert werden sollte). Vielfach werden trotz des vorhandenen Platzes keine grösseren Lagerplätze für Baumaterial im Abflussquerschnitt realisiert werden können (Abschwemmungsgefahr des Holzes bei erhöhtem Abfluss). Für eine effiziente Umsetzung muss das Baumaterial jedoch im unmittelbaren Bereich des Bauwerks zur Verfügung gestellt werden, was eine Logistik erfordert, die laufend die benötigten Mengen anliefert (Vorhaltezeit auf Bauplatz wenige Tage). Entweder kann das Holz direkt ab den Ernteparzellen angeliefert werden oder es wird ein zusätzlicher Umschlagplatz benötigt. Auch für die Konfektionierung der Holzsortimente und allfällige Vorbaumontagen (siehe Bau im Wasser) wird ein geeigneter Platz benötigt.

Wasserhaltung und Bau im Wasser

Die Wasserhaltung erfolgt nach den allgemein gültigen Grundsätzen im Wasserbau, speziell erwähnt ist dabei jedoch der Verbau der unteren Lagen einer ELJ Struktur. Für den Einbau der Holzlagen, welche unter dem Wasserspiegel zu liegen kommen, kann ein Baugrubenabschluss erstellt werden (z.B. Spundwand). Das Bauwerk kann dann im Trockenen erstellt werden, wie es teilweise in Nordamerika ausgeführt wird. Eine andere Möglichkeit ist die unteren Lagen auf dem Bauplatz vorgängig zusammenzubauen (Grenzschicht ausbilden) und als «Paket» ins Wasser zu versenken (s. Anhang A.3). Dabei wird schweres Gerät benötigt, da solche vorgebauten Elemente bis zu 20 t wiegen können. Das Anbringen einer geeigneten Verbindungstechnik und das Ausbilden der Grenzschicht unter Wasser (Tiefe > 1 m) wird (zurzeit) als nicht machbar erachtet. Zudem kann eine Qualitätskontrolle des Bauwerkteils im Wasser praktisch nicht mehr gewährleistet werden. Auch eine allfällige Anströmung während der Bauphase sollte unbedingt in die Überlegungen miteinbezogen werden.



Abbildung 19: Landseitiger Vorbau des Unterbaus einer Einbaugruppe / Segment für die Platzierung 2.5 m unter dem Wasserspiegel, stark angeströmt (Aare in Bern), siehe dazu auch Kastenbauweise in Anhang A.3.

7.7.5 Finanzierung sicherstellen

Neben der klassischen Finanzierung eines Wasserbauprojekts durch Bund, Kanton und Gemeinden kann bei einem ELJ aufgrund des erhöhten ökologischen Nutzens die Drittfinanzierung in Betracht gezogen werden. So ist das Interesse von Ökofonds der Stromproduzenten erfahrungsgemäss vorhanden und auch anderweite Geldgeber wie der Renaturierungsfonds des Kantons Bern, der Lotteriefond oder Stiftungen könnten sich finanziell am Vorhaben beteiligen. Es wird auf jeden Fall empfohlen bereits vorgängig alternative Finanzierungsquellen anzufragen um auch das Budget des Wasserbaupflichtigen damit zu entlasten und die Unterstützung für das Vorhaben weiter zu fördern.

8 Dimensionierung

Anhang E erläutert das generelle Dimensionierungskonzept für ELJ-Strukturen im Detail und stellt die Basis für alle Dimensionierungsfälle dar.

Über diese Grundlagen hinaus ist es selbstredend notwendig, die projektspezifischen Unterschiede zu erkennen und entsprechend zu berücksichtigen.

Die Dimensionierung von ELJ-Strukturen unterscheidet sich in erster Linie in Abhängigkeit des Bautyps und dem projektspezifischen Einsatzgebiet.

Bautypen:

- ELJ Längsverbau
- ELJ Buhne / ELJ Deflektor
- ELJ Inselkopf
- Gerinnequerender ELJ

Einsatzgebiet, beispielsweise:

- ELJs als Initialisierungsmassnahme (z.B. für eigendynamisches Auengebiet)
- ELJs als langfristige Ufersicherung
- ELJs als langfristige Sicherung Inselkopf

Diese Unterschiede sind relevant einerseits aufgrund der angestrebten Lebensdauer und des Freiheitsgrades der Entwicklung der Struktur in ihrer Form, und andererseits bezüglich der Art und Umfang der Überströmung.

Eine weitere wesentliche Auswirkung auf die Dimensionierung hat der anstehende Baugrund (in der Sohle wie auch im Uferbereich. Bei unmittelbar anstehendem Felsuntergrund in der Flusssohle ist entweder eine Bautechnik zu wählen, die die notwendige Einbindung zulässt (aufwändig) oder das Dimensionierungskonzept entsprechend anzupassen.

9 Realisierung und Bauleitung

Im folgenden Kapitel werden Besonderheiten im Umgang mit der Realisierung von ELJs hervorgehoben. Es besteht jedoch nicht der Anspruch, nachfolgend eine vollständige und abschliessende Anweisung für den Bau abzubilden. Auf die verschiedenen Aufgaben der einzelnen Parteien und deren Abgrenzung wird nicht explizit eingegangen, dazu wird generell auf die Ordnung für Leistungen und Honorare der Bauingenieurinnen und Bauingenieure der SIA verwiesen (SIA Norm 103).

9.1 Baumeistersubmission

Vor der Erstellung der Baumeistersubmission stellt sich grundsätzlich die Frage, ob eine Submission für einen Baumeister erstellt wird und die entsprechenden Leistungen im Bereich Logistik und Forstarbeiten dem Baumeister übertragen werden (wodurch der Baumeister das Holz bei einer Forstunternehmung bestellt), oder ob diese Leistungen gesondert beauftragt werden. In Anbetracht der bereits in der Planungsphase nötigen Vorarbeiten (siehe Kapitel 7.5) ergibt es in der Regel eher Sinn, die forstlichen Arbeiten gesondert zu beauftragen. Für die Logistik ist der zur Verfügung stehende Fuhrpark entscheidend, woraus sich ebenfalls eine entsprechende Abgrenzung der Aufgaben ergibt (siehe Kapitel 9.2.3).

Bei der Baumeistersubmission ist darauf zu achten, dass die beauftragte Unternehmung über genügend Fachkräfte verfügt, welche die nötige Erfahrung im Umgang mit Holz mitbringt. Es wird daher empfohlen, Baustellenpersonal mit einer forstlichen Ausbildung und Erfahrung einzubringen. Ohne solche Fachkräfte auf der Baustelle besteht die Gefahr, dass im Bereich der Arbeitssicherheit Defizite auftreten (Umgang mit Kettensägen und grossen Baumstämmen). Weiter sind forstlich geschulte Arbeiter erfahrener im Umgang mit nicht genormten Naturmaterialien und können die geforderte Qualität in Bezug zum ELJ Strukturaufbau viel effizienter erbringen. Notabene muss jeder einzelne gelieferte Baum nach Wuchsform, Grösse und Holzart an der dafür geeigneten Stelle verbaut werden.

Es wird auch empfohlen, in jedem Fall einen Vorgehensvorschlag vom Unternehmer einzufordern und diesen in die Bewertung einfließen zu lassen.

9.1.1 Leistungsverzeichnis

Grundsätzlich bieten sich verschiedene Möglichkeiten an, um die geforderten Leistungen in Form eines Leistungsverzeichnisses auszuschreiben:

Nach Aufwand (optional mit Kostendach)

Basierend auf den ermittelten Leistungsannahmen (siehe Kapitel 7.7.4) können die Arbeiten detailliert gegliedert nach den Bereichen Löhne, Materialien, Maschinen und Fremdleistungen ausgeschrieben werden. Es wird eine detaillierte Kalkulation der eingesetzten Personen (Name, Funktion), des verwendeten Inventars (inkl. Kleingeräte), des Materials und der Fremdleistungen eingefordert. Dabei werden die Bereiche gemäss NPK Katalog 111 zusammengefasst und offeriert.

Diese Variante erfordert auf Seite Bauleitung sehr gute Kenntnisse der Bauabläufe, Geräte, etc., bietet jedoch die Möglichkeit, die erbrachten Arbeiten näher an Ihrem Wert zu entlohnen. Weiter entspricht diese Methode der Kalkulation wie sie von vielen Unternehmungen intern getätigt wird.

Im Akkord (Leistungspositionen)

Basierend auf der detaillierten Planung kann wie bei gängigen Wasserbauprojekten ein Vorausmass erstellt werden und damit eine Ausschreibung nach Leistungspositionen verfasst werden. Dabei sind die Arbeiten detailliert aufzugliedern, um den Eigenheiten des Baumaterials gerecht zu werden. Eine eigentliche Ausschreibung nach Normen-Positionen-Katalog (NPK) ist für viele der spezifischen Arbeiten nicht möglich. Entweder werden im NPK Katalog die fehlenden Positionen erstellt (R-Positionen) oder es wird direkt auf die Verwendung der NPK-Kataloge verzichtet und eine eigene Form definiert.

Bei fehlender Erfahrung auf Seite Unternehmer ist anzunehmen, dass die einzelnen offerierten Einheitspreise dann (noch) nicht die Realität abbilden, was einen gewissen Spielraum für Spekulationen oder Fehlkalkulationen bei abweichenden Mengen zulässt.

Pauschal / Global

Natürlich können die Leistungen als Pauschale (mit entsprechendem Beschrieb) ausgeschrieben werden. Da sich in der Ausführung mit hoher Wahrscheinlichkeit Abweichungen gegenüber der Planung einstellen werden (schon allein aufgrund der zur Verfügung stehenden Holzsortimente) und den meisten Unternehmungen die Erfahrung mit diesen Bauwerken noch fehlt, wird diese Variante derzeit nicht empfohlen. Wenn eine unerfahrene Unternehmung den pauschalen oder globalen Aufwand stark unterschätzt hat, oder die Holzmengen in der Ausführung stark abweichen, erhöht sich das Risiko, dass die Unternehmung aus wirtschaftlichen Gründen bei der Ausführungsqualität Abstriche macht, was nicht im Sinne des Projekts sein kann.

9.2 Ausführungsplanung

Entgegen der gängigen Praxis die Ausführungsplanung nach der Submission umzusetzen, wird an dieser Stelle empfohlen, die Ausführungsplanung vor der Submissionsphase auszuführen. Dies erhöht zum einen die Kostensicherheit in der Ausführung und steigert zum andern durch qualitative gute Submissionsunterlagen das Verständnis der Beteiligten und die Qualität in der Zusammenarbeit.

9.2.1 Alternativen sind vorzusehen

Wie schon im Kapitel 7.7 ausgeführt, werden die erarbeiteten Pläne und (Bau-) Methoden selbst bei akribischer Planungsarbeit auf der Baustelle kaum exakt umgesetzt werden können, da auf natürliche Gegebenheiten eingegangen werden muss. Um diesem Umstand gerecht zu werden, wird empfohlen, für die wichtigsten Elemente des Bauwerks bereits vorgängig alternative Vorgehen auszuarbeiten. Sollten sich beispielsweise die Pfähle nicht wie vorgesehen in die beabsichtigte Tiefe treiben lassen, ist es von grossem Vorteil eine zweite oder dritte Möglichkeit in der Hinterhand zu haben um nicht unnötige Leerläufe oder gar einen Bauunterbruch zu riskieren. Vorzugsweise werden diese Varianten auch bereits in der Submission berücksichtigt. So kann schon in der Bauvorbereitung das dazu benötigte Inventar auf Abruf bereitgestellt werden. Ähnlich verhält es sich bei den Forstarbeiten wie beispielsweise beim Ernten der Bäume: so lässt es sich vorgängig schlicht nicht mit letzter Sicherheit voraussagen, wie einfach oder schwer sich die benötigten Bäume samt Wurzelteller aus der Erde heben lassen.

9.2.2 Baumschau

Wurde zusammen mit dem Forst sichergestellt, dass die benötigten Bäume grundsätzlich zur Verfügung stehen, ist es zu empfehlen, die Bäume direkt im Wald zusammen auszuwählen. Im besten Fall wird zu diesem Zeitpunkt auch bereits der (forstlich erfahrene) Wasserbaupolier beigezogen, da dieser schliesslich mit den ausgewählten Bäumen das Bauwerk zu erstellen hat. Dieses Vorgehen stellt zudem sicher, dass die wesentlichen Baubeteiligten die gleiche Vorstellung vom zu liefernden Sortiment haben: Ist dies nicht der Fall, wird sich das bei einer gemeinsamen Baumschau offenbaren und es kann noch rechtzeitig korrigiert werden. Werden aber Missverständnisse erst geklärt nachdem das «falsche» Holz bereits auf die Baustelle geliefert wurde, ist nicht nur mit Bauverzögerungen, sondern auch mit erheblichen Unstimmigkeiten zu rechnen.

Im Kanton Bern ist zudem das Merkblatt Stockrodung zu berücksichtigen (Amt für Wald und Naturgefahren, 2021), siehe Kap.7.7.4, Unterkapitel «Forsttechnik, Entnahme von Bäumen mit Wurzelteller».

9.2.3 Baulogistik

Im Zuge der Ausführungsplanung muss die Baustellenlogistik detailliert geplant werden. Es sind die nötigen Vereinbarungen mit Wald- und Wegeigentümern zu treffen, da durch das Befahren mit schwerem Baugerät Schäden an den Wegen auftreten können. Mancherorts können sogar Gewichtsgebühren für die Benutzung der Waldwege anfallen. Bei der Holzernte (mit Wurzelteller) ist auch auf dem Bodenschutz im Wald zu achten und es sind die entsprechenden Vorkehrungen zu treffen. Für den Aufrad von Bäumen mit Wurzelteller auf die Transportgeräte reichen erfahrungsgemäss gängige Lastwagenkrane nicht aus. Auch ein Befahren von öffentlichen Strassen mit einem Rundholztransporter mit geladenen Wurzeltellern kann nicht ohne weiteres umgesetzt werden (abfallende Erde und Steine). Hier können u.U. Spezial-Muldenschlepper bessere Dienste erbringen. Zur besseren Transportierbarkeit der langen Wurzeltämme wurden auch schon kleinere Modifikationen an

Muldenschleppern vorgenommen (Einschweissen von Querträgern, siehe (Widmer, et al., 2018)). Solche Modifikationen benötigen eine entsprechende Vorlaufzeit und werden idealerweise bereits in der Submission mitberücksichtigt.

9.2.4 Spezialgeräte und vorgängige Tests

Abhängig von der Zugänglichkeit des Bauplatzes und weiterer Rahmenbedingungen kann es sich lohnen, bereits in der Ausführungsplanung die Einsetzbarkeit von Baugeräten abzuklären. Beispielsweise kann nicht auf jedem Bauplatz mit vernünftigem Aufwand ein Rammgerät eingesetzt werden und gängige Anbaugeräte für Hydraulikbagger können oftmals nur kleine Bäume abfertigen. Mit Spezialgeräten oder eigens angefertigten Umbauten oder Modifikationen ergeben sich rasch mehr Möglichkeiten. Abhängig von der Situation können auch vorgängige Ramm- oder Vibrierversuche angebracht sein. Für die Handhabung von vorgebauten ELJ-Strukturen, welche unter Anströmung eingebaut werden sollen, empfiehlt sich das Durchführen von Manövrier- bzw. Positionierungs-Versuchen mit den vorgesehenen Maschinen, damit die Verdriftung berücksichtigt oder umgangen werden kann. Weitere Versuche sind in der Anwendung von wichtigen Kleingeräten, wie z.B. Holzbohrer oder für die Konfektion von Stahlspitzen für die Pfähle, empfohlen. Siehe dazu auch Anhang G

9.3 Bauausführung / Bauleitung

In der Bauausführung ist es teilweise notwendig, situativ und rasch auf veränderte Gegebenheiten reagieren zu können. Im Rahmen des hier vorgestellten Verbaus sind grosse Mengen Naturmaterialien einzusetzen, welche nicht immer dem Idealtypus aus der Planung entsprechen. Die Bauleitung hat sich entsprechend auf Vorgehensanpassungen einzustellen, zu entwickeln und mitzutragen. Es reicht nicht aus, die Ausführungsunterlagen und den Werkvertrag mit dem Leistungsverzeichnis und den Schnittstellen der Projektorganisation zu kennen. Der Ausführungsspielraum in der Dimensionierung (Sicherheitsreserven etc.) muss der Bauleitung stets bekannt sein, um vor Ort Abweichungen im Bau gegenüber der Planung und bezüglich der erbrachten Nachweise in den Bereichen Statik, Hydraulik und Verbindungstechnik zu beurteilen. Ein Schlüssel zum Erfolg ist, dass wesentliche von unwesentlichen Abweichungen unterschieden werden können.

Besonders zu Beginn des ersten ELJ Baus, respektive der ersten Einbaugruppe (Segment), ist eine intensive Baubegleitung vor Ort angezeigt. In dieser Phase gilt es die Bauabläufe einzuspielen und die relevanten Arbeitsschritte zusammen kritisch zu begutachten, um die geforderte Qualität zu erreichen. Dabei sollte bei der Bauleitung und dem Baustellenpersonal ein gutes Verständnis über die ökologisch wertvollen Aspekte der Struktur vorhanden sein, um nicht aus Sicherheitsbedenken den ökologischen Wert massgeblich in der Ausführung zu schmälern (z.B. sind offene Strukturen und Hohlräume insbesondere auch im Bereich des Kolks ökologisch wertvoll; hier muss jedoch auch den Erfordernissen des Kolkschutzes Rechnung getragen werden). Empfehlenswert ist daher, auf diese Thematik im Zuge einer gemeinsamen Startsituation vertieft einzugehen.

Bei unvorhergesehen Problemen, welche bei einer Pionierarbeit mit grosser Gewissheit eintreffen werden, ist es von zentraler Bedeutung, offen für die Sicht der anderen Partei zu sein. Mit der Bereitschaft eine gemeinsame Lösung zu erarbeiten, werden sicherlich die besten Resultate erzielt. Das Motto sollte lauten: Zusammen kann mehr erreicht werden.

9.3.1 Musterstrecke (-Etappe)

Es wird empfohlen zu Beginn der Arbeiten ein geeignetes Element als Musterstrecke respektive Musteretappe auszuwählen. Nach dessen Erstellung wird dies vor Ort mit allen Beteiligten begutachtet, diskutiert und nötigenfalls korrigiert, bis das gewünschte Resultat erzielt wird. Erst danach sollten die weiteren Arbeiten und Elemente in Angriff genommen werden. Dieses Vorgehen ist zum einen bereits in der Submission vorzusehen und danach im Sinne einer Abnahme auch formell festzuhalten.

9.3.2 Überwachung

In der Ausführung sind durch die Bauleitung Protokolle über die Pfählungen (Eindringtiefen) und den Verbau der Grenzschicht (lückenlos geschlossen) zu führen. Die Kontrolle vom Verbau der Holzsorten gegenüber der Lage (ständig benetzt, wechsellass, trocken) sollte im gleichen Mass kontrolliert werden. Diese Kontrollen dürfen jedoch den Bau nicht verzögern, da sich sonst die Umsetzung für

den Unternehmer problematisch gestaltet. Die Bauleitung hat also zusammen mit dem Unternehmer geeignete Instrumente für diese Aufgabe zu entwickeln.

10 Fazit zu Chancen und Risiken

10.1 Chancen

So vielfältig wie die Einsatzgebiete und der Nutzen von ELJs sind, so gross sind auch die Chancen, welche sich, bei der richtigen Herangehensweise und Umsetzung von ELJ-Projekten, im entsprechenden Projektumfeld anbieten können. Hier werden nur die wichtigsten Chancen stichwortartig herausgehoben. Die Aufzählung ist nicht abschliessend.

- Nachhaltiger und langlebiger Uferschutz (siehe Kapitel 6.1)
- Gesteigerte Wertschöpfung in der Region bewirken (siehe Kapitel 7.5.2)
- Synergie Gerinneinhangpflege nutzen (siehe Kapitel 7.5.1)
- Naturnahe und nachhaltige Sohlenstabilisierung, Ausweg aus Erosionstendenz bei gestreckten Flussläufen (siehe Kapitel 6.4)
- Aufwertung Auenlebensräume inkl. Klima- und Hochwasserschutz (siehe Kapitel 6.3)
- Strömung und Morphologie diversifizieren (siehe Kapitel 6.2)
- Reaktivierung auentypischer Prozesse und Morphologie (siehe Kapitel 4.3.1)
- Lebensraum aufwerten und neue Lebensräume schaffen (terrestrisch, aquatisch, amphibisch; Pionierstandorte, etc.) (siehe Kapitel 4.3.3)
- Kolke (ggf. mit Kaltwasseraufstoss) als Temperaturrefugium für kälteliebende Fische schaffen (siehe Kapitel 4.3.3)
- Vernetzung der terrestrischen und aquatischen Ökosysteme begünstigen (siehe Kapitel 4.3.3)
- Zugänglichkeit zum Gewässer fördern (Auflandung im Strömungsschatten einer ELJ-Buhne) (siehe Kapitel 5.2.2)
- Beschattung / Kühlung des Oberflächengewässers erhöhen (siehe Kapitel 3.2.1)

10.2 Risiken / Gefahren

Wie alle Wasserbauprojekte bergen auch ELJs Gefahren, denen mit einer angemessenen Planung bestmöglich entgegengewirkt werden sollte. Dabei sind insbesondere auch die möglichen verbleibenden Gefahren zu ermitteln und kritisch zu beurteilen, um bewusst entscheiden zu können, ob diese als Restrisiko in Kauf genommen werden können oder nicht. An dieser Stelle wird auf ausgewählte Risiken eingegangen, welche als besonders bedeutend erachtet werden.

Gefährdung von Freizeitaktivitäten auf und im Wasser

Um der möglichen Gefährdung von Schwimmenden sowie in der Strömung treibenden Klein-/Gummibooten zu begegnen, ist es wichtig, sowohl das ELJ-Design (Positionierung) wie auch die ELJ-Struktur angemessen zu planen (strukturelle Kompromisse oder Anpassung der Positionierung, siehe dazu Exkurs 3: Projektspezifische Chancen, Abwägungen und Kompromisse).

Insbesondere ist ein Augenmerk auf die Anströmbedingungen und den Sommerwasserstand zu legen und dies in die notwendige Gefahrenbeurteilung einfließen zu lassen.

Eine gute Hilfestellung kann u.U. auch eine zweidimensionale-morphodynamische Modellierung oder ein physikalischer Modellversuch bieten.

Generell wird bei *intensiver* Freizeitnutzung auf dem Wasser empfohlen:

- Anpassung Positionierung: Verzicht auf gerinnemittige Strukturen
- Anpassung Struktur: Verzicht auf in die Strömung ragende Wurzelteller in jenen Bereichen, die von Schwimmenden oder Booten erreicht werden (wasserstandsabhängig).

Grundsätzlich ist es ebenfalls möglich, mittels Warnhinweisen (Schilder o.ä.) auf die Gefahren aufmerksam zu machen und Boote bzw. Schwimmende auffordern, einen Abstand einzuhalten. Idealerweise kann damit sogar die Notwendigkeit von strukturellen Kompromissen entfallen.

Abschwemmen von Holz

Bereits im Planungsprozess ist es wichtig auf mögliche Gefahren durch potenziell abgeschwemmtes Holz einzugehen (vgl. auch Kap.E.8). Bei Bauwerken wie Brücken oder auch bei Wasserkraftanlagen können grössere Mengen von mobilisiertem Holz zu Problemen führen – wie dies während Hochwasserereignissen auch natürlich stattfindet. Durch die in diesem Dokument vorgestellten Dimensionierungsansätze (siehe Kapitel 8) können diese Gefahren auf ein vertretbares Restrisiko reduziert werden. Selbstredend muss der Qualitätssicherung in der Bauausführung genügend Bedeutung zukommen um auch bei einer erstmaligen Umsetzung des Bauwerks die geforderten Rahmenbedingungen einzuhalten. Es ist wichtig diese Thematik mit allfällig kritisch eingestellten Drittparteien zu teilen um aufzuzeigen, dass die vorherrschende Skepsis diesbezüglich meist unbegründet ist. Hilfreich kann dabei auch der Verweis auf andere erfolgreiche (Totholz-) Projekte sein (siehe auch E.1).

Verschleppung invasiver Neophyten

Durch die Verwendung von Materialien wie Wurzeltellern wird automatisch auch eine bestimmte Erdmenge vom Ursprungsort der Bäume ins Gewässer verfrachtet. Dabei ist es von grosser Wichtigkeit keine Wurzelteller aus Standorten mit einem unmittelbaren Bestand von invasiven Neophyten zu verwenden. Sollten sich nämlich bereits Samen im Erdreich befinden, werden diese über das Gewässer weit verteilt und es kann zu neuen Neophytenbeständen flussabwärts kommen.

Bauliche Risiken, Versagen von ELJs

Mögliche Versagensmechanismen von ELJs umfassen:

- Versagen durch Kolkbildung, Unterspülen, Überströmen
- Innere Erosion, Ausspülen
- Fehlender Aufwuchserfolg und Schwemmholznachschub

→ Details zu allen Versagensmechanismen sowie deren Handhabung siehe Anhang E.8

11 Zeitbedarf ELJ Projekt

Der Zeitbedarf für ein ELJ Projekt hängt im Wesentlichen von den Umständen der Holzbeschaffung ab. Nachfolgend werden verschiedene Ausgangslagen und deren Zeithorizont betrachtet. Bei der Betrachtung wird davon ausgegangen, dass die Bewilligungsphase bei allen Projekten die gleiche Zeit in Anspruch nimmt, obschon in der Tat je nach Bewilligungsverfahren und Gesamtumfang des Projekts dies sehr unterschiedlich ausfallen kann (angenommen werden 3 Monate). Für die orientierenden Angaben zum Zeitbedarf eines klassischen Wasserbauprojekts verfügen die meisten Kantone über Angaben zu ihren Verfahren (z.B. Kanton Bern mit dem Fachordner Wasserbau, Kapitel 150 [Tiefbauamt des Kantons Bern, 2017]).

In vielen Kantonen genügt für die Ernte von Langholz mit Wurzelteller eine Schlagbewilligung. Im Kanton Bern ergeben sich dafür gewisse Einschränkungen (Amt für Wald und Naturgefahren, 2021) (s.a. Kap.7.7.4, Forsttechnik), weshalb hier für ELJ-Projekte ggf. mit einem erhöhten Zeitbedarf zu rechnen ist (siehe nachfolgende Kapitel).

11.1 Wasserbauprojekt mit Rodungsarbeiten (z.B. Flussaufweitung)

Liegt ein Projekt vor in welchem für die geplante Massnahmen Rodungsarbeiten anfallen (Grundsatz den Gewässern mehr Raum zugestehen, wie z.B. bei einer Gerinneaufweitung), können ELJs oft sehr einfach ins Projekt integriert werden (Baumaterial ab Rodung vorhanden) und führen nicht zwingend zu einer zeitlichen Verlängerung der Planungs- oder Bauphase. In einem solchen Fall stellen ELJs lediglich ein weiteres wasserbauliches Element dar, welches **im gewohnten zeitlichen Rahmen umgesetzt werden kann**.

Auch im Kanton Bern ist die Entnahme ganzer Bäume im Rahmen von bewilligten Rodungen ohne weitere Bewilligung möglich (Amt für Wald und Naturgefahren, 2021) (kein erhöhter Zeitbedarf).

11.2 ELJ Projekt nach einem Sturmereignis mit Windwurf

Findet ein grösseres Sturmereignis statt, welches zu einer Vielzahl von Windwürfen in den Wäldern geführt hat, wie beispielsweise die Ereignisse «Lothar» 1999 oder «Burglind» 2018, bietet das eine grosse Chance für die Umsetzung eines ELJ Projekts. U.a. können die Waldbesitzer von einem attraktiven Absatzmarkt profitieren, obwohl die Holzpreise aufgrund des Überangebots tendenziell tief liegen.

Die Erfahrung an der Aare in Bern (Widmer, et al., 2018) hat gezeigt, dass bei entsprechenden Dringlichkeit nach einem Sturmereignis ein ELJ Projekt von der Planung bis zum Bauabschluss innerhalb von wenigen Monaten realisiert werden kann. Diese Erfahrung repräsentiert jedoch aussergewöhnliche Umstände und soll hier nicht als feste Referenz dienen.

Für ein Projekt mit einem mittleren Umfang, kann bei einer regulären Planung und Bauumsetzung von einem Zeitbedarf von 3 Monaten für die Planung, 3 Monaten für die Bewilligung und 3 Monaten für die Bauausführung ausgegangen werden. Mit einer angebrachten zeitlichen Reserve sollte ein Projekt folglich **in einem Jahr umzusetzen sein**.

Wie in Kap. 7.5.1 dargelegt kann durch einen entsprechenden Austausch mit den Forstfachleuten eine proaktive Berücksichtigung von Sturmereignissen (Berücksichtigung von Ereigniswahrscheinlichkeiten, Lokalisation von statistisch «überfälligen» Gebieten) und eine Verkürzung der Reaktionszeit erreicht werden.

Auch im Kanton Bern ist die Entnahme ganzer Bäume auf Windwurfflächen möglich (Amt für Wald und Naturgefahren, 2021) (kein erhöhter Zeitbedarf).

11.3 ELJ Projekt im Zuge einer geplanten forstlichen Massnahme

Besteht die Absicht ein ELJ Projekt in einem Gebiet umzusetzen, wo zeitgleich eine forstliche Massnahme beabsichtigt ist (Durchforstung, Plenterung, «Holzen») und die Akzeptanz zur Koordination der Projekte gegeben ist, bestimmt der Projektumfang den zeitlichen Horizont. Im Grundsatz kann

also vom selben zeitliche Rahmen ausgegangen werden wie bei einem Projekt nach einem Sturmergebnis mit Windwurf.

Für ein Projekt mit einem mittleren Umfang, kann bei einer regulären Planung und Baumsetzung von einem Zeitbedarf von 6 Monaten für die Planung, 3 Monaten für die Bewilligung und 3 Monaten für die Bauausführung ausgegangen werden. Mit einer angebrachten zeitlichen Reserve sollte ein Projekt folglich **in ein bis zwei Jahren umzusetzen sein**.

Im Kanton Bern ist die Entnahme ganzer Bäume möglich im Rahmen von Neu- und Ausbauprojekten forstlicher Erschliessungen. Nicht möglich ist dies im Rahmen von ordentlichen waldbaulichen Eingriffen (Amt für Wald und Naturgefahren, 2021), in diesem Fall ist eine alternative Holzbezugsquelle zu finden (erhöhter Zeitbedarf möglich).

11.4 ELJ Projekt ohne konkrete Bezugsquelle für Holz

Wird beabsichtigt ein ELJ Projekt an einem bestimmten Ort umzusetzen, wo keine konkrete Bezugsquelle für das Holz in Aussicht steht, sind die Vorabklärungen gemäss Kapitel 7.5 zu tätigen. In Anbetracht der benötigten Gespräche und einer neuen Priorisierung der forstlichen Planung nimmt ein solches Projekt viel Zeit in Anspruch. **Ein Zeithorizont von fünf Jahren wird in diesem Fall als angemessen erachtet.**

12 Kosten und Kostenvergleich

Zum heutigen Zeitpunkt ist es schwierig, verlässliche Aussagen zu den Kosten zu machen. Zum einen werden in der Literatur nur sehr spärliche Aussagen zu den Kosten gemacht und die Rahmenbedingungen sind oft nicht ausführlich erläutert. Zum anderen fehlen Erfahrungswerte in der Schweiz und in Europa fast komplett. In den folgenden Unterabschnitten werden die wenigen, bekannten Werte abgebildet um einen groben Eindruck über die Grössenordnungen zu ermöglichen. Die Zahlen basieren auf punktuellen Erfahrungen von einzelnen Fallbeispielen und wurden nicht weiter überprüft.

12.1 Erfahrungswerte

Aare Löchligut, Bern

(Widmer, et al., 2018)

Typ	Einheit	Kosten
Uferschutz-ELJ (vgl. Anhang H.1)	Stk.	CHF 100'000 – 150'000 Holz aus Anlieferung
Uferschutz-ELJ (vgl. Anhang H.1)	m'	CHF 3'000 Holz aus Anlieferung

Sense Ruchmühle, Schwarzenburg

(Kislig, et al., 2020)

Typ	Einheit	Kosten
Inselkopf-ELJ (vgl. Anhang H.2)	Stk.	CHF 25'000 – 35'000 Holz aus Anlieferung
Deflektor-ELJ (vgl. Anhang H.2)	Stk.	CHF 20'000 – 30'000 Holz aus Anlieferung

Aare Fahrhubel, Belp

Typ	Einheit	Kosten
Buhnen-ELJ (vgl. Anhang H.3)	Stk.	CHF 120'000 Holz aus Anlieferung

Emme Utzenstorf-Bätterkinden

Typ	Einheit	Kosten
Inselkopf-ELJ (vgl. Anhang H.4)	Stk.	CHF 25'000 – 30'000 Holz aus Projekt (Aufweitung)

12.2 Kostenvergleich ELJ Ufersicherung – klassischer Uferverbau

12.2.1 Fallbeispiel Aare Löchligut, Bern

Beim Uferverbau an der Aare in Bern wurden die Kosten eines klassischen Uferverbaus mit Blocksteinen dem ELJ-Uferverbau gegenübergestellt (siehe untenstehende Tabelle).

In Projekten, wo die Erschliessung erleichtert oder das Holz baustellenseitig zur Verfügung steht und nicht angeliefert werden muss, können sich die Kosten entsprechend reduzieren.

Uferschutz mit Längsverbau	ELJ CHF	Blockstein CHF	Differenz %
Kosten 'm exkl. Anlieferung, Installation und Erschliessung	2'300-2'900 ¹	2'800 ²	ELJ:-18/+5
Kosten 'm inkl. Anlieferung; exkl. Installation u. Erschliessung	3'000	2'800	ELJ: +10
Kosten 'm Inkl. Anlieferung, Installation und Erschliessung	3'820	3'550	ELJ: +8

12.3 Kostenvergleich ELJ-BMU-Buhnen – klassische Buhnen

12.3.1 Kurze Buhne für Aare, Richtpreise

Ufersicherschutz mit kurzer Buhne (Rückenlänge ab Uferlinie 10 m)	ELJ-BMU- Buhne CHF	Blockstein- buhne CHF	Differenz %
Kosten pro Stück inkl. Anlieferung; exkl. Installation u. Erschliessung	45'000	40'000	ELJ: +12

¹ Reduzierte Kosten, wenn Holz baustellenseitig zur Verfügung steht, z.B. aus projektbedingter Rodung (inkl. oder exkl. Holzerwerb zu rund CHF 110.-/ Festmeter)

² Kaum reduzierten Kosten möglich, da Blocksteine i.d.R. angeliefert werden müssen

Literaturverzeichnis

- Abbe, T B, et al. 2003.** Integrating engineered log jam technology into river rehabilitation. 2003.
- Abbe, T.B., Montgomery, D.R. und Petroff, C. 1997.** Design of Stable In-Channel Wood Debris Structures for Bank Protection and Habitat Restoration: An Example from the Cowlitz River, WA. *Proceedings of the Conference on Management of Landscapes Disturbed by Channel Incision. University of Mississippi.* 1997, S. 809-816.
- Abbe, Tim B. 2000.** Patterns, mechanics and geomorphic effects of wood debris accumulation in a forest river system. *PhD. dissertation, University of Washington, Seattle, WA. 219pp.* 2000.
- Abbe, Tim, Hrachovec, Mike und Winter, Steve. 2018.** Engineered Log Jams: Recent Developments in Their Design and Placement, with examples fro the Pacific Northwest, U.S.A. *Reference Module in Earth Systems and Environmental Sciences.* s.l. : Elsevier, 2018.
- Amt für Abfall Wasser Energie und Luft, Abteilung Wasserbau. 2018.** *Praxishilfe Wasserbau, Ein Leitfaden für Planer und Behörden.* Zürich : Kanton Zürich, Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft, Abteilung Wasserbau, 2018.
- Amt für Wald und Naturgefahren, Kanton Bern. 2021.** *Merkblatt Stockrodungen.* 2021.
- Benyus, J.M. 2002.** *Biomimicry: Innovation Inspired by Nature.* New York : Perennial, 2002.
- Bezzola, Gian Reto. 2013.** *Flussbau - Vorlesungsmanuskript Fassung FS 2013 ETH Zürich.* 2013.
- Bilby, Robert E. 1984.** Removal of woody debris may affect stream channel stability. *Journal of Forestry.* 1984, 82.
- Bird, Bryan, O'Brien, Mary und Petersen, Mike. 2011.** *Beaver and Climate Change Adaption in North America. A Simple, Cost-Effective Strategy.* s.l. : Wild Earth Guardians, Grand Canyon Trust, The Lands Council, 2011.
- Böll, Albert, et al. 1999.** *Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Runsenverbau.* s.l. : WSL, 1999.
- Bonnard, L und Lussi, S. 2021.** Auen erhalten und aufwerten - echte Herausforderung für Fachleute Natur und Landschaft. *Inside Natur Landschaft.* Ausgabe 2/21, 2021.
- Brooks, Andrew P und Abbe, Tim B. 2001.** Putting the wood back into our rivers: An experiment in river rehabilitation. *Third Austrälian Stream Management Conference.* 2001.
- Brooks, Andrew P., et al. 2006.** *Design guideline for the reintroduction of wood into Australian streams.* Canberra : Land & Water Australia, 2006. ISBN 1921 253 061.
- Burchsted, Denise, et al. 2010.** The River Discontinuum: Applying Beaver Modifications to Baseline Conditions for Restoration of Forested Headwaters. *Center for Integrative Geosciences. 1.* 2010.
- Collins, Brian D., et al. 2012.** The floodplain large-wood cycle hypothesis: A mechanism for the physical and biotic structuring of temperate forested alluvial valleys in the North Pacific coastal ecoregion. *Geomorphology.* 139-140 (2012) 460-470, 2012, 139-140 (2012) 460-470.
- Coulston, P.J. und Maughan, O.E. 1983.** Effects of removal of instream debris on trout populations. *Journal of the Elisha Mitchell Scientific Society.* 1983.
- Dalbeck, Lutz. 2018.** *Biber und Biodiversität.* Schweizer Fachtagung Biber : s.n., 2018.
- Daley, J und Brooks, Andrew P. 2013.** *A Perfomance Evaluation of ELJ in the Hunter Valley.* s.l. : Griffith University, 2013.
- Derek, Gow. 2021.** *Bringing back the beaver: the story of one man's quest to rewild britain's waterways.* White River Junction, Vermont : Chelsea Green Publishing, 2021.
- Dolloff, C. Andrew. 1986.** Effects of stream cleaning on juvenile coho salmon and Dolly Varden in southeast Alaska. *Transactions of the American Fisheries Society.* 1986, 115.
- Drury, Tracy und Stevenson, Pat. 2016.** *20 Years of Restoration in the NF Stilly: Changing Strategies and Lessons Learned are Shaping the Future of Salmon Recovery .* s.l. : Anchor QEA, 2016.
- Elber, F. 2020.** Revitalisierung von Fließgewässern: Dynamik oder «Disneyland»? Eine Frage des Raumangebotes. *Aqua Viva .* 3, 2020.
- Elliott, S.T. 1986.** Reduction of a Dolly Varden population and macrobenthos after removal of logging debris. *Transactions of the American Fisheries Society.* 1986, 115.
- Fausch, Kurt D. und Northcote, Thomas G. 1992.** Large woody debris and salmonid habitat in a small coastal British Columbia stream. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences.* 1992, 49.
- Fetherston, K., Plampin, J. und Armstrong, B. 2012.** *Quinault-RRNW, Engineered Log Jam Planting Designs.* s.l. : River Restoration Northwest Symposium 2012, 2012.
- Francis, Robert A, Tibaldeschi, Paolo und McDougall, Luke. 2008.** Fluvially-deposited large wood and riparian plant diversity. *Wetlands Ecology and Management.* 2008.

- Gallisdorfer, M S, et al. 2015.** Responses of Experimental River Corridors to Engineered Log Jams. *World Environmental & Water Resources Congress* . 2015.
- Gallisdorfer, Michael S, et al. 2014.** Physical-scale model designs for engineered log jams in rivers. *Journal of Hydro-environment Research*. 8 (2014), 2014.
- Goldfarb, Ben und Flores, Dan L. 2018 .** *Eager: the surprising, secret life of beavers and why they matter*. White River Junction, Vermont : Chelsea Green Publishing, 2018 .
- Gurnell, AM, et al. 2001.** Riparian vegetation and island formation along the gravel-bed Fiume Tagliamento, Italy. *Earth Surface Processes and Landforms*. 26, 2001.
- Hacker, Eva und Johannsen, Rolf. 2012.** *Ingenieurbiologie*. s.l. : Ulmer (UTB), 2012.
- Hartmann, O. 2016.** ELJ - Grundlagen, Wirkung und Bau (Präsentation). *Kanton Bern - Volkswirtschaftsdirektion, Amt für Landwirtschaft und Natur*. 2016.
- Herrera Environmental Consultants Inc. 2014.** *Engineered Log Structures design and analysis technical memorandum*. 2014.
- Herrera Environmental Consultants, Inc. 2006.** *Conceptual Design Guidelines - Application of Engineered Logjams*. s.l. : Scottish Environmental Protection Agency, 2006.
- Kail, J. 2015.** *Geomorphic Effects of Large Wood in Streams and Rivers and Use in Stream Restoration: A Central European Perspective*. 2015.
- Kay Saldi-Caromile, Ken Kozmo Bates, Peter Skidmore, Juliet Barenti, Doug Pineo. 2004.** *Stream Habitat Restoration Guidelines*. Olympia, Washington, United States of America : Washington Departments of Fish and Wildlife and Ecology and the U.S. Fish and Wildlife Service, 2004.
- Kemp, Paul S, et al. 2012.** Qualitative and quantitative effects of reintroduced beavers on stream fish. *Fish and Fisheries*. 13, 2012.
- Kislig, Dominik und Widmer, Andreas. 2020.** *Bauleiterbericht ELJ Sense Ruchmühle*. 2020.
- Küng, Martina. 2020.** *Wasserbauliche Massnahmen zur Förderung kälteliebender Fischarten der Schweiz angesichts des Klimawandels. Masterarbeit. an der Berner Fachhochschule*. s.l. : unveröffentlicht, 2020.
- Küster, Hansjörg. 2008.** *Geschichte des Waldes*. s.l. : C*H*BECK-Verlag, 2008. 978-3-406-50279-8 .
- Larsen, Annegret und Larsen, Joshua. 2018.** *VerDAMMte Bäche: Wie Biber Gewässer beeinflussen*. Schweizer Fachtagung Biber, Frauenfeld : s.n., 2018.
- Lisle, Thomas E. 1986.** Effects of woody debris on anadromous salmonid habitat. *North American Journal of Fisheries Management*. 1986, 6.
- Lokteff, Ryan L, Rope, Brett B und Wheaton, Joseph M. 2013.** Do Beaver Dams Impede the Movement of Trout? *Transactions of the American Fisheries Society*,. 142:4, 2013.
- Mackensen, Jens und Bauhus, Jürgen. 1999.** The Decay of Coarse Woody Debris. *National Carbon Accounting System*. 1999, Bd. 6.
- Mc Henry, Michael, Pess, George und Abbe, Tim. 2007.** *The Physical an Biological Effects of Engineered Logjams (ELJs) in the Elwah River, Washington*. 2007.
- Mehl, D, et al. 2013.** Analyse und Bewertung von Ökosystemfunktionen und -leistungen großer Flussauen. *KW Korrespondenz* . 6 (9): 493-499, 2013.
- Meier, Luzia und Mende, Matthias. 2018.** Revitalisierung "bissiger" Gewässer mit Schlüsselhölzern - Beispiel Scherlibach BE. *Ingenieurbiologie*. 2018, Mitteilungsblatt 2/2018.
- Mende, Matthias. 2018.** Totholz mengen in Fliessgewässern. *Ingenieurbiologie*. 2018, Mitteilungsblatt Nr. 2 /2018.
- Minnig, S., Werdenberg, N., Polli, T., Egloff, N., Widmer, A., Vonlanthen, P., Angst, C. 2022.** Revitalisieren mit "Beaver Dam Analogs" in der Schweiz - Der Natur abgeschaut - innovative und kostengünstige Methoden zur Stärkung unserer Fliessgewässer. *Aqua & Gas*. 2022, 114.
- Minor, H.-E, Lange, Daniela und Bezzola, Gian Reto. 2006.** *Schwemholz - Probleme und Lösungsansätze, VAW Mitteilung 188*. 2006.
- Nanson, GC, Barbetti, M und G., Taylor. 1995.** River stabilisation due to changing climate and vegetation during the late Quaternary in western Tasmania, Australia. *Geomorphology*. 13, 1995.
- Parker, N, Brooks, A P und Brigwood, R. 2016.** *Community drive the construction of Engineered Log Jams in South East QLD*. s.l. : Proceedings of the 8th Australian Stream Management Conference, 2016.
- Pess, G.R., et al. 2002.** Juvenile and Adult Salmonid Response to the Placement of Logjams in the Elwha and Stillaguamish Rivers: Preliminary Results. *NOAA Fisheries*. 2002.

- Peter, Armin und Stocker, Roman. 2017.** *Vorlesungsunterlagen "Ecohydraulics"*. Zürich : IfU ETH, 2017.
- Pollock, M. 2015.** *The Beaver Restoration Guidebook. Working with Beavers to Restore Streams. Wetlands and Floodplains*. 2015. Version 1.0..
- Polvi, Lina und Wohl, Ellen. 2013.** Biotic Drivers of Stream Planform: Implications for Understanding the Past and Restoring the Future. *BioScience*. 63, 2013.
- Schalko, Isabella und Wohl, Ellen, Nepf, Heidi M. 2021.** Flow and wake characteristics associated with large wood to inform river restoration. *Nature*. Sci Rep 11, 8644 [2021].
<https://doi.org/10.1038/s41598-021-87892-7>, 2021.
- Scholz, M, et al. 2012.** Ökosystemfunktionen in Flussauen. Analyse und Bewertung von Hochwasserretention Nährstoffrückhalt, Treibhausgas-Senken-/Quellenfunktion und Habitatfunktion. *Schriftenr. Naturschutz und biologische Vielfalt*. 124, 257 S., 2012.
- Schütz, W und Parthl, G. 2018.** Ufersicherung und Ufer strukturierung mit der Biogenen Maschinellen Ufersicherung. *Mitteilung des Vereins Ingenieurbilogie*. Heft 2/18, 2018.
- Southerland, W. Barry und Reckendorf, Frank. 2010.** *PERFORMANCE OF ENGINEERED LOG JAMS IN WASHINGTON STATE-POST* . Las Vegas, NV : 2nd Joint Federal Interagency Conference, 2010.
- Tiefbauamt des Kantons Bern, Dienstleistungszentrum. 2017.** *Fachordner Wasserbau*. Bern : Bau-, Verkehrs- und Energiedirektion des Kantons Bern, 2017.
- Werdenberg, Niels und Widmer, Andreas. 2018.** "Stammzellenkur" für die Alte Aare - ein Totholz-Grossprojekt im Mittelland. *Ingenieurbilogie*. 2018, Mitteilungsblatt 2/2018.
- Werdenberg, Niels, Kislig, Dominik und Widmer, Andreas. 2020.** *Engineered Log Jams in der Sense. Kurzbericht*. Bern : s.n., 2020.
- Widmer, Andreas, Haupt, Simon und Zeugin, Till. 2018.** *Ausführliche Schlussdokumentation ELJ Aare Löchligut*. s.l. : Renaturierungsfonds des Kantons Bern, 2018.
- Wohl, Ellen, et al. 2019a.** Natural Wood Regime In Rivers. *BioScience*. 2019a, Bde. Volume 69, Issue 4, April 2019, Pages 259–273,, <https://doi.org/10.1093/biosci/biz013>.
- Wohl, Ellen, Scott, Daniel N und Yochum, Steven E. 2019b.** *Managing for large wood and beaver dams in stream corridors*. Fort Collins, CO : U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain, 2019b. Gen. Tech. Rep. 404..
- WSL, Eidg. Forschungsanstalt. 2018.** Landesforstinventar - Wissen zum Schweizer Wald. [Online] Eidg. Forschungsanstalt WSL, 17. 05 2018. [Zitat vom: 12. 01 2019.] www.lfi.ch/glossar.
- Xu, Yuncheng und Liu, Xiaofeng. 2017.** Effects of Different In-Stream Structure Representations in Computational Fluid Dynamics Models—Taking Engineered Log Jams (ELJ) as an Example. *Water*. 2: 110, 2017, Bd. 9.
- Zahner, Volker. 2018.** *Einfluss des Bibers auf den Wasserhaushalt*. Schweizer Fachtagung Biber, Frauenfeld : s.n., 2018.

Anhang A Grundstruktur ELJ

A.1 Grundstruktur ELJ – generell

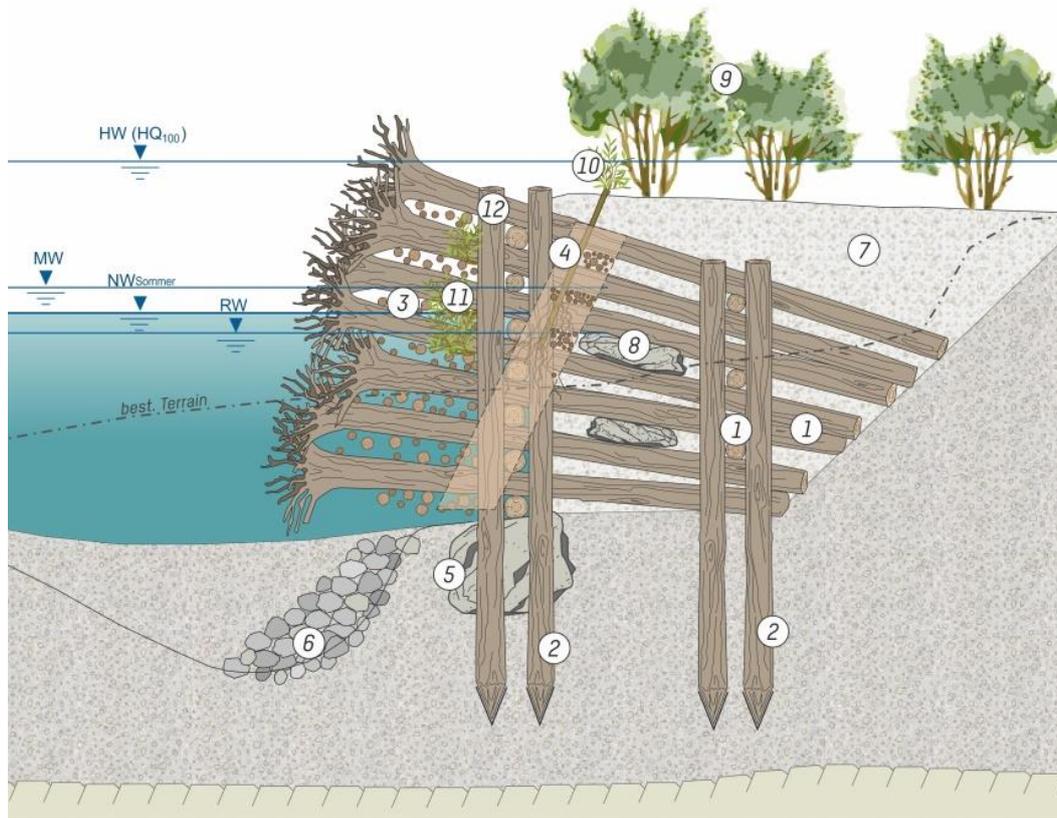


Abbildung 20 : Schematischer Querschnitt durch Grundstruktur ELJ.

Beschreib Bauteile aus Abbildung 13:

- **1 Bauholz** (Längs- und Querhölzer):
Das Bauholz besteht aus den Querhölzern mit den Wurzeltellern sowie dem Längsholz (Langholz, mit oder ohne Wurzelteller), welches ungefähr senkrecht zu den Querhölzern angeordnet ist. Der Stammdurchmesser sollte zwischen 20 - 60 cm (BHD) betragen.
- **2 Pfahl:**
Die Pfähle werden mittels geeignetem Bauverfahren (rammen, vibrieren, bohren, etc.) vertikal in den Untergrund gebracht. Die Einbindetiefe sowie der Pfahldurchmesser sind abhängig vom Baugrund, den einwirkenden und rückhaltenden Kräften (siehe Kapitel E.4). Bei dicht gelagertem Untergrund oder verwittertem Fels können die Pfähle mit einer Stahlspitze versehen werden um das Einbringen zu ermöglichen (Widmer, et al., 2018).
- **3 Füllholz:**
Das Füllholz besteht aus dickem Astmaterial, das verflochten vorgelagert zur ersten Pfahl- und Längsholzreihe angebracht ist. Dieses Astmaterial dient lediglich der Habitatsvielfalt insbesondere für juvenile Fische und übernimmt sonst keine dimensionierungstechnische Funktion. Nach dem Bau wird das Gewässer diese Schicht weiter akzentuieren und erneuern durch Schwemmholz, welches sich anlagert.
- **4 Grenzsicht:**
Die Grenzsicht erfüllt eine zentrale Funktion, indem sie das Ausschwemmen der Auffüllung verhindert. Diese dichte, von unten nach oben vollständig geschlossene Schicht wird aus Ästen / Faschinen erstellt. Optional können auch Rundholzabschnitte oder Schroppenlagen inkl. einer Filterschicht eingebaut werden. Durch die Grenzsicht wird zudem die innere Erosion unterbunden.
- **5 Blockstein:**
Die Blocksteine dienen zur Verankerung der ersten Lage einer ELJ-Struktur während dem Bau unter dem (Grund-) Wasserspiegel oder in der Strömung. Sofern die ELJ-Struktur im trockenen gebaut werden kann, sind die Blocksteine für diesen Zweck nicht erforderlich.

Situationsabhängig können sie auch als Kolkbegrenzung und damit Sicherung der Pfähle gegen die Kolkbildung eingesetzt werden.

- **6 Schroppen:**
Die Schroppenlage kann bei Bedarf vor die erste Längsholzreihe geschüttet werden. Diese soll während der Ausbildung des Kolks entlang der Struktur als lose Rollierung die Kolkausdehnung unterhalb der Struktur im Bereich der Pfählung beschränken.
- **7 Auffüllung:**
Die Auffüllung besteht aus dem anfallenden Aushubmaterial oder aus Flussschotter. Das Material muss schwer verdichtet und etappiert eingebaut werden.
- **8 Auflast:**
Eine Auflast, innerhalb oder ggf. zusätzlich oberhalb der Holzstruktur, erhöht einerseits das Eigengewicht der Struktur und andererseits wird die Last der Auffüllung besser auf die Struktur übertragen. Dieses Bauelement ist nur bei ungenügender Standsicherheit optional vorzusehen. Weiter können Blocksteine innerhalb der Struktur bei Bedarf als zusätzliche Sicherheit verbaut werden um bei einer allfälligen Erosion von unterhalb der Struktur (ausgelöst von einem Kolk, welcher sich unterhalb der Struktur ausdehnt) entstandene Angriffsflächen zu sichern (angelehnt an eine Blocksteindepot-Vorschüttung).
- **9 Bestockung:**
Die Bestockung der Auffüllung soll ausschliesslich mit gebietsheimischen, standortgerechten Gehölzen erfolgen. Artenvielfalt, ausreichende Sonnenexposition, Stauwassertoleranz, Pflanzlage und -tiefe beachten, möglichst gute Mischung an Wurzel-Wuchsformen. Pflanzgruben zwingend mit Pflanzsubstrat versehen (v.a. bindiges Material, organischer Anteil eher gering). Besonders empfohlen sind Schwarzerlen und Hasel (Hacker, et al., 2012).
- **10 Setzstangen:**
Jeweils bis zum Rand der Struktur ausführen. Artenvielfalt, ausreichende Sonnenexposition, Stauwassertoleranz, Pflanzlage und -tiefe beachten, möglichst gute Mischung an Wurzel-Wuchsformen. Besonders empfohlen sind Setzstangen aus Weideästen mit einem Durchmesser von 5 – 15 cm. Diese werden bis über den Bereich der Niedrigwasserspiegellage im Bereich der Grenzschicht platziert. Die schnell treibenden Weidensetzstangen stabilisieren durch ihr Wurzelwachstum die Grenzschicht und übernehmen langfristig deren Funktion.
- **11 Weidenstecklinge:**
Entlang der wasserseitigen ELJ-Struktur werden Weidenstecklinge im Bereich vom Füllholz und der obersten Längsholzreihe eingebracht. Sie dienen der schnellen Durchwurzelung des vorderen Strukturbereichs.
- **12 Verbindungen:**
Innerhalb der Struktur werden die Längshölzer mit den Querhölzern durch einen geeigneten Verbindungstyp in ihrer Lage gesichert (siehe Anhang F). Die Verbindung zu den Pfählen soll möglichst schwimmend erfolgen, damit die Gewichtskraft der Struktur (Bauholz und Auffüllung) nicht über die Pfähle abgetragen wird. Weitere Details zu Verbindungstechnik siehe Anhang F.

A.2 Grundstruktur ELJ – Lagerweiser Aufbau

- Erfordert zwingend eine ausreichend trockene Baugrube (kein Aufschwimmen der Hölzer)
- ELJ wird direkt in der Baugrube Stamm für Stamm, Lage für Lage erstellt und mit eingerammten Pfählen fixiert



Abbildung 21 : Beispielbilder Einbau Wurzelstämme und Aufschichtung zu ELJ-Element.

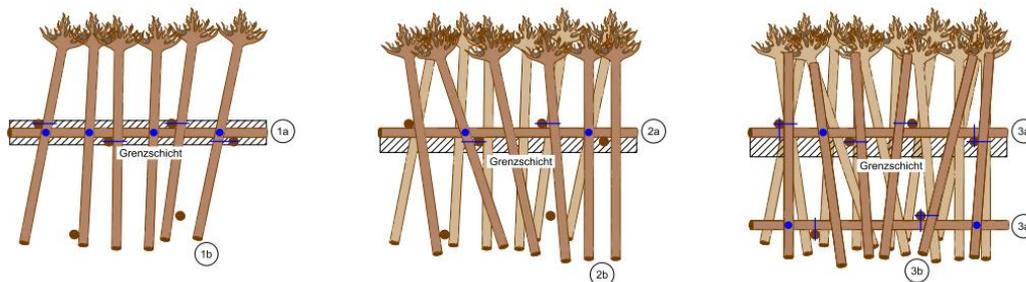


Abbildung 22 : Schematischer Grundriss des lagenweisen Aufbaus eines ELJ-Elements (erste drei Lagen). Die dritte Lage ist hier ausnahmsweise ohne Wurzelteller dargestellt, dies sollte aber nur in speziellen Anwendungen so erfolgen. Im Regelfall werden sämtliche Lagen unterhalb Wasserspiegel Mittelwasser mit Wurzettellern ausgebildet.

A.3 Grundstruktur ELJ – Kastenbauweise

- Für Einbau unter Wasser geeignet
- Die untersten Lagen der ELJ-Grundstruktur werden landseitig als Kasten vorgefertigt, zum Einbaustandort transportiert, in die Baugrube versenkt und mittels eingerammten Pfählen fixiert.



Abbildung 23 : Beispielbilder Transport und Einbau eines vorgefertigten ELJ-Kastenelements.

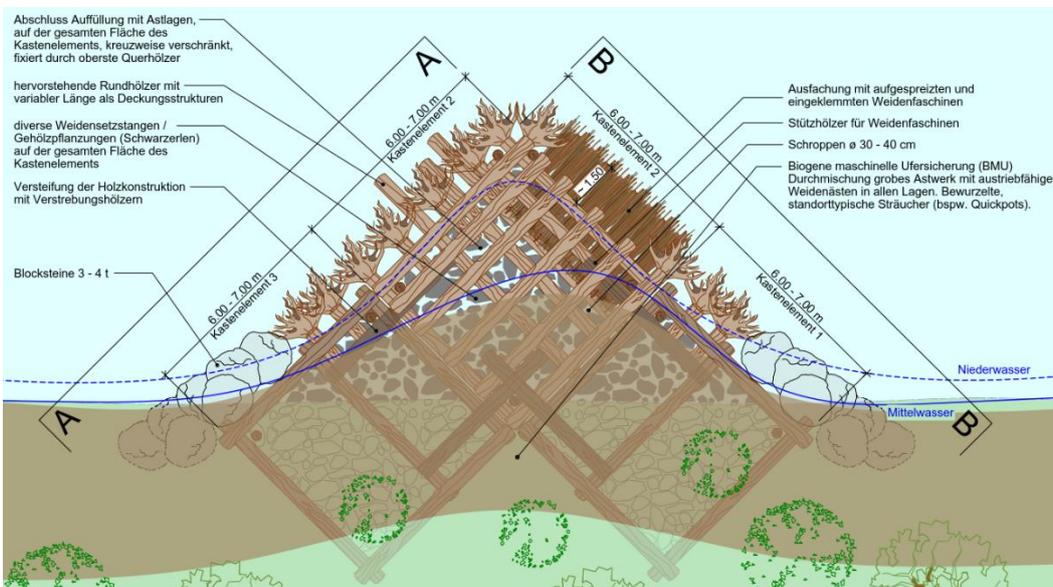


Abbildung 24 : Schematischer Grundriss des kastenweisen Aufbaus (Das Beispiel zeigt die ELJ-BMU-Bühne die sich aus drei Kastenelementen zusammensetzt).

Anhang B ELJ Bautypen

B.1 ELJ-Uferverbau

Beschrieb: Der *ELJ-Uferverbau* bildet eine durchgehende Kette aus Elementen der ELJ-Grundstruktur (vgl. A.1) wobei Kasten- oder lagenweiser Aufbau möglich ist. Die Struktur wird hinterfüllt und bepflanzt. Die Holzstrukturen, die Wurzeln der etablierten Vegetation sowie das bei Hochwasser akkumulierte Schwemmholz stabilisieren das Ufer und schützen dieses vor Erosion. So wird ein sich natürlich stabilisierendes Ufer geschaffen, das auch Hochwassern standhält.

Bei diesem Bautyp handelt es sich um die erste Flussumferverbauung aus Holz³. Durch die in die Strömung ragenden Wurzelteller ermöglicht der *ELJ-Verbau* einen effizienten Energieabbau und generiert viele wertvolle Habitats. Der naturnahe, innovative *ELJ-Verbau* ist einzigartig in Bezug auf das modulare Bauverfahren, die Verwendung von nachwachsenden, lokalen Materialien und den Einbezug von Naturprozessen (Gehölzaufwuchs/Wurzelarmierung und Schwemmholzakкумуляtion) zur Selbsterneuerung des Uferschutzes.

Verglichen mit einem herkömmlichen Blocksatz setzt die Methode neue Massstäbe hinsichtlich *Nachhaltigkeit* durch eine sehr hohe Lebensdauer, grosse ökologische Mehrwerte und eine gesteigerte regionale Wertschöpfung:

- *Dimension Umwelt:* Hauptbestandteil sind rohe Baumstämme, ein stets nachwachsender und lokal verfügbarer Rohstoff (Reduktion Materialtransporte). Durch deren lagenweise verschränkten Aufbau entsteht eine stabile Struktur, die starken Strömungsangriffen stand hält. Dabei ist sie äusserst naturnah und bietet eine Vielzahl wertvoller Lebensräume im Wasser und am Ufer. Im Vergleich zu herkömmlichem Uferschutz werden grosse ökologische Mehrwerte erzielt.
- *Dimension Gesellschaft:* Der *ELJ-Verbau* verhält sich im gesamten Lebenszyklus dynamisch: Während der im Wasser liegende Unterbau eine sehr lange Lebensdauer aufweist, kann sich das Holz im oberen Bereich langsam zersetzen. Dies nährt die Baumarten darüber und deren Wurzeln übernehmen die Stabilität der mittleren und oberen Lagen mit der Zeit vollständig, wobei sich der Bewuchs laufend selbst erneuert. Die gewässerseitige Front erneuert sich durch Anlagerung von Schwemmholz aus dem Fluss und durch Stämme aus dem alternden Bewuchs. Der Verbau hat dadurch eine sehr lange Lebensdauer (Kap. 4.3.2) und reagiert im Hochwasserfall gutmütiger als ein herkömmlicher Blocksteinverbau, welcher abrupt kollabieren kann.
- *Dimension Wirtschaft:* Durch den modularen Aufbau ist der *ELJ-Verbau* beliebig skalierbar und multifunktional einsetzbar, z.B. auch als Buhnentyp zur Ufersicherung oder als Strömungsteiler für die ökologische Aufwertung von Flussauen. Während Hilfsmaterialien wie Blocksteine oder Stahlverbindungen nur einen kleinen Anteil am Bauwerk ausmachen, kann sämtliches Baumaterial (Holz, Flusskies) lokal gewonnen werden und trägt damit – besonders in strukturschwächeren Regionen – zu einer Verbesserung der regionalen Wertschöpfung bei (Kap. 7.5.2).

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion: ☒☒☒☒
- Morphodynamisches Aufwertungspotential: ☒☒☐☐
- Potential Prozessreaktivierung Aue: ☒☐☐☐

Grundstruktur, Bauteile, Aufbau, Bepflanzung, etc.: siehe Anhang A

³ Abgesehen von den tief verankerten, senkrechten Holzpfählen erinnert der *ELJ-Verbau* entfernt an eine herkömmliche *Krainerwand*, wobei letztere aber überhaupt nicht für Flüsse geeignet ist.

Beispielbilder, Schemata, etc.:

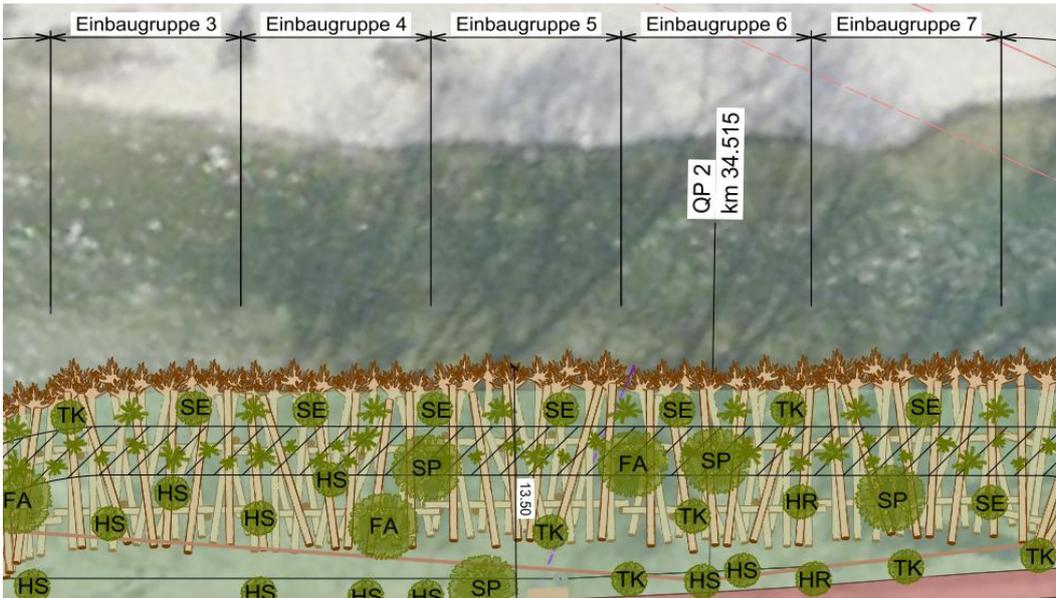


Abbildung 25 : Der ELJ-Uferverbau besteht aus einer Kette von Einbaugruppen (Modulen) und einer abgestimmten Bepflanzung. Das Beispiel zeigt den: ELJ-Verbau an der Aare in Bern (Löchligut).



Abbildung 26 : Module des ELJ-Uferverbaus zu einer Kanzelform angeordnet, um einen Strommast (Hochspannungsleitung) vor Erosion zu schützen (Objektschutz). Beispiel: Aare in Bern (Löchligut).



Abbildung 27 : Nach Hochwasser erodiertes Ufer (links) und neu erstellter ELJ-Uferverbau (rechts) an der Aare in Bern (Löchligut). Um eine Gefährdung von Schwimmenden und Booten zu verhindern (intensive Freizeitnutzung) wurden die oberen Lagen (Bandbreite Sommerwasserspiegel) ohne Wurzelteller ausgeführt (Reduktion Rauigkeit).



Abbildung 28 : Bauzustände ELJ-Uferverbau bei Niederwasser. Das Beispiel zeigt die Kastenbauweise, wie sie an der Aare in Bern (Löchligut) erstellt wurde und die reduzierte Rauigkeit in den oberen Lagen.



Abbildung 29 : Fertiggestellter ELJ-Uferverbau an der Aare in Bern (Löchligut) bei Niederwasser, mit reduzierter Rauigkeit in den oberen Lagen.

Umsetzungen in der Schweiz:

- Aare Bern, Löchligut (siehe E.1)

B.2 ELJ-Buhne

Beschrieb: Um das Ziel Ufersicherung zu erreichen werden *ELJ-Buhnen* seriell angeordnet. Eine *ELJ-Buhne* wird aus einer Kette von Elementen der ELJ-Grundstruktur erstellt (Kasten- oder lagenweiser Aufbau möglich), die eine in den Fluss ragende Bühnenform bildet. Die Struktur wird hinterfüllt und bepflanzt. Durch den modularen Aufbau ist die Bühnenlänge variabel wählbar. Die Dimensionierung von Bühnenlänge und Zwischenabständen erfolgt analog herkömmlichen, nicht überströmten Bühnen. Allfällige Ufersicherungsmassnahmen in den Zwischenbereichen sind projektspezifisch zu bemessen. Als angeströmte Struktur bieten *ELJ-Buhnen* wertvolle aquatische Habitate.

- Die *ELJ-Buhne* ermöglicht eine nachhaltige und ökologisch wertvolle Flussufersicherung (Abbe, et al., 2018). Grundsätzlich weisen *ELJ-Buhnen* gegenüber Blocksteinbuhnen ähnliche Vorteile auf, wie sie im Vergleich *des ELJ-Uferverbau* mit herkömmlichem Blocksteinverbau beschrieben sind (vgl. Anhang B.1).
- Die *ELJ-Buhne* ermöglicht die Nutzung nachwachsender Rohstoffe aus lokaler Produktion und damit eine gesteigerte regionale Wertschöpfung (Kap. 7.5.2). Sie profitiert mittel- und langfristig von der Durchwurzelung der aufkommenden Vegetation, hält aber auch direkt nach Einbau grossen Strömungsangriffen stand. Im Verbund mit Naturprozessen (Gehölzaufwuchs/Wurzelarmierung und Schwemmholzakkumulation) kann eine lange Lebensdauer erreicht werden (Kap. 4.3.2).

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion: ☒☒☒☒
- Morphodynamisches Aufwertungspotential: ☒☒☒☒
- Potential Prozessreaktivierung Aue: ☒☐☐☐

Grundstruktur, Bauteile, Aufbau, Bepflanzung, etc.: siehe Anhang A

Beispielbilder, Schemata, etc.:



Abbildung 30: Einbauzustände und fertige ELJ-Buhnen an der Aare, Fahrhubel, Belp (Quelle: <https://www.aare.bve.be.ch>)

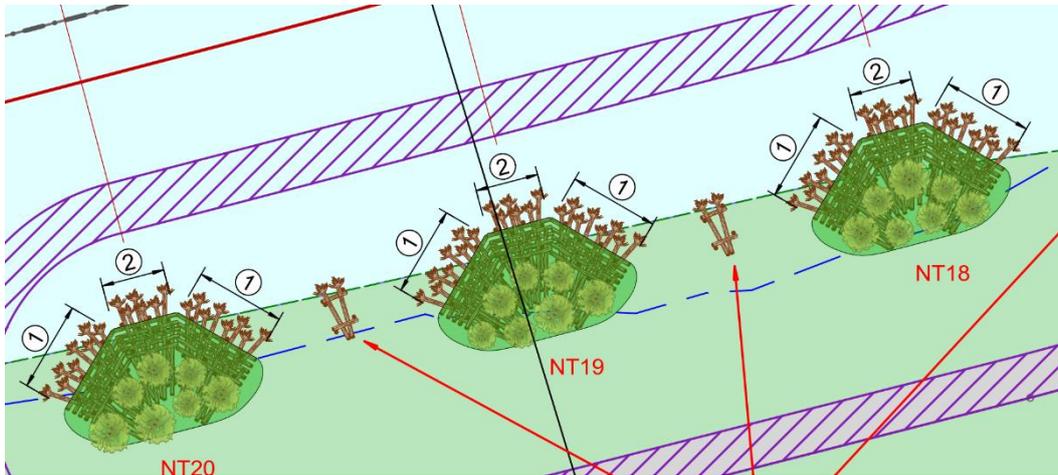


Abbildung 31 : ELJ-Buhnen an der Aare, Fahrhubel, Belp (Ausschnitt aus Situationsplan Kissling+Zbinden AG)



Abbildung 32 : Einbau ELJ-Buhne am Sandy River in Oxbow Regional Park, Portland, USA (Quelle <https://www.biohabitats.com>)

Umsetzungen in der Schweiz:

- ELJ-Buhne, Aare Schützenfähr (siehe E.1)

B.3 ELJ-BMU-Buhne

Beschrieb: Die kosten- und materialoptimierte *ELJ-BMU-Buhne* wurde im Rahmen eines vom Kanton Bern geleiteten ELJ-Workshops erarbeitet. Der Bautyp besteht aus einer minimalen Menge an Totholz, wobei grundsätzlich kasten- wie auch lagenweiser Aufbau möglich ist.

Die in Anhang C zur Verfügung gestellte Einbaunormale basiert auf dem Einsatz in der Aare und weist drei verbundene Kastenelemente auf (geeignet für Einbau unter Wasser). Der Materialbedarf an langen Wurzelstämmen wird spezifisch gesenkt, indem gespreizte Faschinen eingesetzt (relativ guter ökologischer Wert, aber zu einem Bruchteil der Transportkosten) und die ELJ-Konstruktion oberhalb Mittelwasserlinie von einer widerstandsfähigen, aber kostengünstigeren *BMU* (Biogene Maschinelle Ufersicherung) abgelöst wird.

Als angeströmte Struktur bietet sie wertvolle aquatische Habitate, aufgrund der geometrischen und strukturellen Reduktionen fällt die strömunglenkende und ökologische Wirkung gegenüber der *ELJ-Buhne* (Anhang B.2) aber entsprechend geringer aus.

- Die *ELJ-BMU-Buhne* ist eine nachhaltige und ökologisch wertvolle Flussufersicherung mit buhnenartiger Wirkung aus Holz - und Lebendverbau, welche als Alternative für eine Stein- oder Betonbuhne dienen kann und die zwei naturnahe und belastungsfähige Bauverfahren kombiniert (*ELJ* und *BMU*). Buhnenabstände sowie allfällige Ufersicherungsmassnahmen in den Zwischenbereichen sind projektspezifisch zu bemessen.
- Die *ELJ-BMU-Buhne* ermöglicht die Nutzung nachwachsender Rohstoffe aus lokaler Produktion und damit eine gesteigerte regionale Wertschöpfung (Kap. 7.5.2). Sie profitiert mittel- und langfristig von der Durchwurzelung der aufkommenden Vegetation, hält aber auch direkt nach Einbau grossen Strömungsangriffen stand. Im Verbund mit Naturprozessen (Wurzelmarmierung und Schwemmholzakкумуляtion) kann eine lange Lebensdauer erreicht werden (Kap. 4.3.2).

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion:
- Morphodynamisches Aufwertungspotential:
- Potential Prozessreaktivierung Aue:

Grundstruktur, Bauteile, Aufbau, Bepflanzung, etc.: siehe Normale *ELJ-BMU-Buhne* in Anhang C

Beispielbilder, Schemata, etc.:

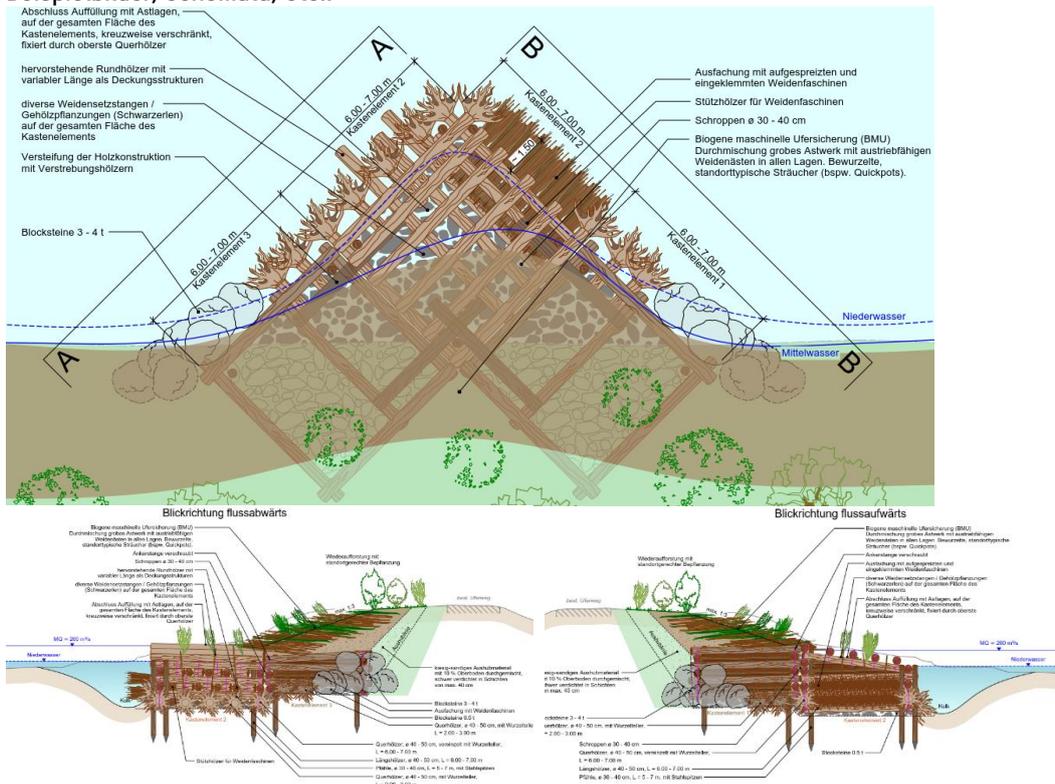


Abbildung 33: *ELJ-BMU-Buhne für Aare (Kastenaufbau)*. Ausschnitt aus Normale in Anhang C

Umsetzungen in der Schweiz:

- In Planung: *ELJ-BMU-Buhne*, Aare Thun-Bern (Konstruktive Details siehe Anhang C)

B.4 ELJ-Deflektor

Beschrieb: Ein *ELJ-Deflektor* oder *Abweiser-ELJ* besteht in der Regel aus einem Modul der ELJ-Grundstruktur (Kasten- oder lagenweiser Aufbau möglich), welches seitlich in Uferbereich eingebunden wird. Der in den Fluss ragende Teil fällt kürzer aus als beim Buhnentyp, und die strömungslenkende Wirkung entsprechend geringer. Mit einem Deflektor kann z.B. ein einzelnes Objekt vor dem Strömungsangriff geschützt werden (Parker, et al., 2016), oder um die Strömung zu konzentrieren und z.B. Uferanrisse am gegenüberliegenden Ufer zu initialisieren. Um das Ziel der durchgehenden Ufersicherung zu erreichen, können *ELJ-Deflektoren* auch analog kurzen Buhnen seriell angeordnet werden, wobei *ELJ-Buhnen* oder *ELJ-Längsverbau* hierfür i.d.R. geeigneter sind. Als angeströmte Struktur bietet er entsprechend wertvolle aquatische Habitate.

- Der *ELJ-Deflektor* ermöglicht eine nachhaltige und ökologisch wertvolle Flussufersicherung. Es handelt sich um ein punktuell Uferschutzelement mit strömungsabweisender Wirkung, welche als Alternative für Kurzbuhnen aus Stein oder Beton dienen kann. Werden *ELJ-Deflektoren* in serieller Anordnung vorgesehen, sind Zwischenabstände sowie allfällige Ufersicherungsmassnahmen in den Zwischenbereichen projektspezifisch zu bemessen.
- Der *ELJ-Deflektor* ermöglicht die Nutzung nachwachsender Rohstoffe aus lokaler Produktion und damit eine gesteigerte regionale Wertschöpfung (Kap. 7.5.2). Die Struktur profitiert mittel- und langfristig von der Durchwurzelung der aufkommenden Vegetation, hält aber auch direkt nach Einbau grossen Strömungsangriffen stand. Im Verbund mit Naturprozessen (Gehölzaufwuchs/Wurzelarmierung/Schwemmholzakкумуляtion) kann eine lange Lebensdauer erreicht werden (Kap. 4.3.2).

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion:
- Morphodynamisches Aufwertungspotential:
- Potential Prozessreaktivierung Aue:

Grundstruktur, Bauteile, Aufbau, Bepflanzung, etc.: siehe Anhang A

Beispielbilder, Schemata, etc.:



Abbildung 34: Einbau Deflektor-ELJ im lagenweisen Verfahren an der Sense, Ruchmühle BE



Abbildung 35 : Einbauschema Deflektor-ELJ (lageweiser Aufbau) mit verstärkter Ufereinbindung gegen Hinterspülung an der Sense, Ruchmühle BE. (Werdenberg, et al., 2020)

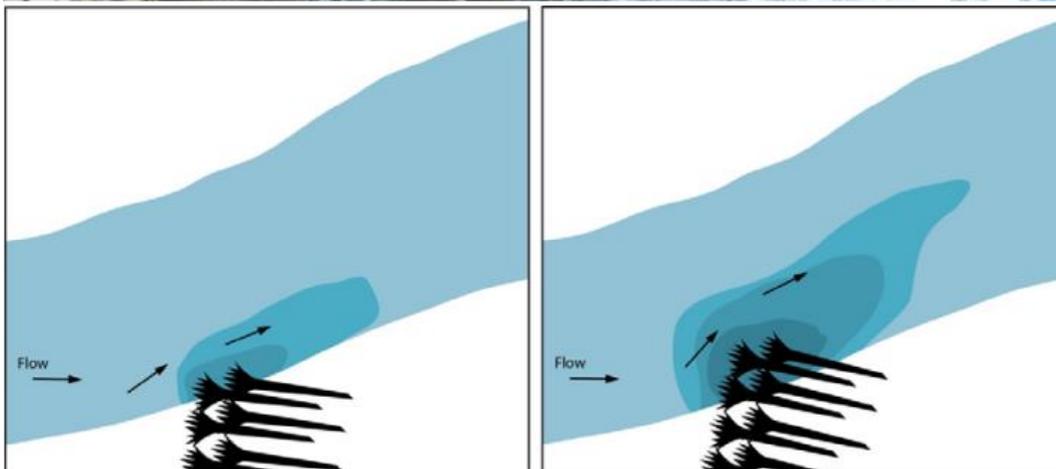


Abbildung 36 : Deflektor-ELJs am Hunter River, NSW, Australia und Wirkungsschema (Daley, et al., 2013).



Abbildung 37 : Deflektor-ELJs für Uferschutz mit am Warrill Creek, QLD, Australia (Parker, et al., 2016).

Umsetzungen in der Schweiz:

- ELJ-Deflektor, Sense Ruchmühle (siehe E.1)

B.5 ELJ-BMU-Deflektor

Beschrieb: Dieser kosten- und materialoptimierte *ELJ-BMU-Deflektor* wurde im Rahmen eines vom Kanton Bern geleiteten ELJ-Workshops erarbeitet. Der Bautyp besteht aus einer minimalen Menge an Totholz, wobei grundsätzlich kasten- wie auch lagenweiser Aufbau möglich ist.

Wie beim *ELJ-Deflektor* wird die Struktur seitlich im Uferbereich eingebunden. Der in den Fluss ragende Teil ist von ähnlicher Dimension (ein Grundstrukturelement). Damit decken sich strömungslenkende Wirkung und Einsatzgebiete (Objektschutz, Strömungskonzentration, Initialisierung von Uferanrissen am gegenüberliegenden Ufer) mit jenen des *ELJ-Deflektors* (Anhang B.4).

Die in Anhang C zur Verfügung gestellte Einbaunormalie basiert auf dem Einsatz in der Aare und weist ein einzelnes Kastenelement auf (geeignet für Einbau unter Wasser). Die langen Wurzelstämme werden wo möglich ersetzt durch gespreizte Faschinen (relativ guter ökologischer Wert, aber zu einem Bruchteil der Transportkosten) und die ELJ-Konstruktion wird oberhalb Mittelwasserlinie von einer widerstandsfähigen, aber kostengünstigeren *BMU* (Biogene Maschinelle Ufersicherung [Schütz, et al., 2018]) abgelöst. Als angeströmte Struktur bietet sie wertvolle aquatische Habitate, aufgrund der strukturellen Reduktionen fällt die Habitatfunktion gegenüber dem *ELJ-Deflektor* aber geringer aus.

- Der *ELJ-BMU-Deflektor* ermöglicht eine nachhaltige und ökologisch wertvolle Flussufersicherung. Es handelt sich um ein punktuell Uferschutzelement mit strömungsabweisender Wirkung, welches als Alternative für Kurzbuhnen aus Stein oder Beton dienen kann. Werden *ELJ-BMU-Deflektoren* in serieller Anordnung vorgesehen, sind Zwischenabstände sowie allfällige Ufersicherungsmassnahmen in den Zwischenbereichen projektspezifisch zu bemessen.
- Der *ELJ-BMU-Deflektor* ermöglicht die Nutzung nachwachsender Rohstoffe aus lokaler Produktion und damit eine gesteigerte regionale Wertschöpfung (Kap. 7.5.2). Die ELJ-Struktur profitiert mittel- und langfristig von der Durchwurzelung der aufkommenden Vegetation, hält aber auch direkt nach Einbau grossen Strömungsangriffen stand. Im Verbund mit Naturprozessen kann eine lange Lebensdauer erreicht werden (Kap. 4.3.2).

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion: ☒☒☐☐
- Morphodynamisches Aufwertungspotential: ☒☒☒☐
- Potential Prozessreaktivierung Aue: ☒☐☐☐

Grundstruktur, Bauteile, Aufbau, Bepflanzung, etc.: siehe *Normalie ELJ-BMU-Deflektor* im Anhang C
Beispielbilder, Schemata, etc.:

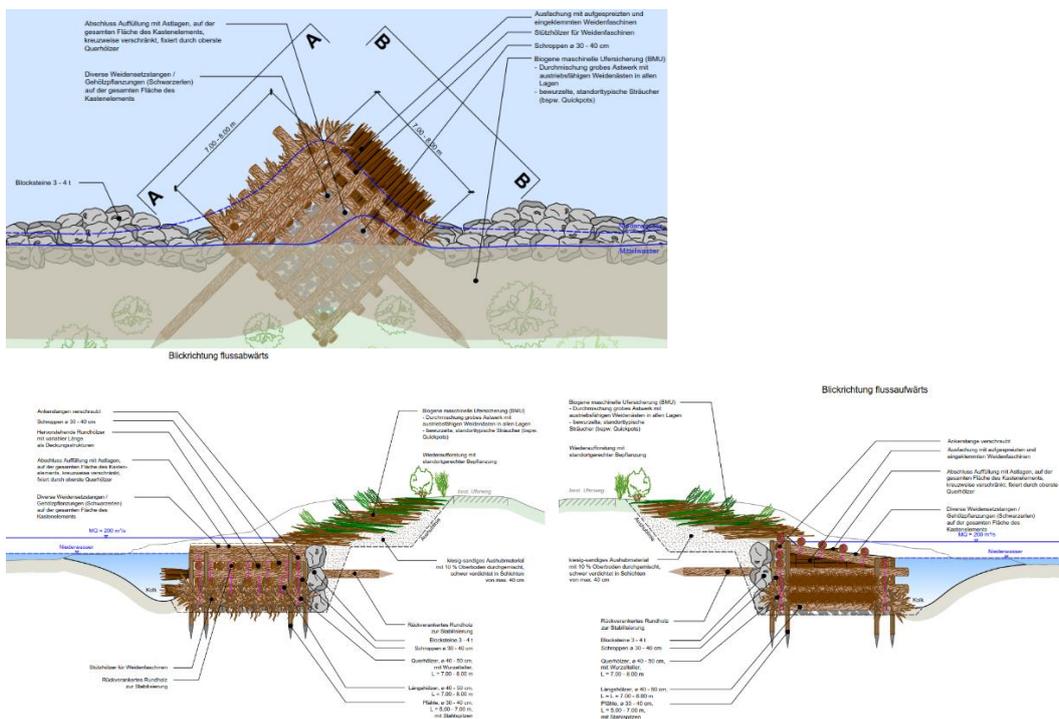


Abbildung 38 : ELJ-BMU- Deflektor für Aare (Kastenaufbau). Ausschnitt aus Normalie in Anhang C

Umsetzungen in der Schweiz:

- In Planung: *ELJ-BMU-Deflektor*, Aare Thun-Bern (siehe Anhang C)

B.6 ELJ-Inselkopf

Beschrieb: Der *Inselkopf-ELJ* (engl. «apex jam») wird im Flusslauf eingebaut. Er besteht i.d.R. aus einem Element der ELJ Grundstruktur (Kasten- oder lagenweiser Aufbau möglich), bildet eine Insel in der Strömung und einen Fixpunkt/Widerstand und Fängerstruktur (Schwemmholz). Dieser Typ ist im Hochwasserfall beidseitig stark umströmt. Er dient zur Strömunglenkung und bringt eine starke Diversifizierung der Bettmorphologie. Im Strömungsschatten lagert sich Geschiebe ab und es können bewaldete Inseln entstehen (Kap. 4.3.1). *Inselkopf-ELJs* können einerseits bestehende, erosionsgefährdete Kiesinseln schützen/erhalten, andererseits neue Kiesinseln, Nebengerinne und Aufweitungen initiieren (Kail, 2015). Seriell angeordnet werden sie zur Lenkung der Hauptströmung eingesetzt, um z.B. alte Nebenarme zu reaktivieren (Abbe, et al., 2018). Im Verbund (mehrere Elemente dieses Bautyps) kann zudem eine nachhaltige Sohlenstabilisierung erreicht werden (Schaffung Sohlenfixpunkte). *Inselkopf-ELJs* bieten neben *gerinnequerenden ELJs* (Anhang B.7) das grösste Potential für morphodynamische Aufwertung und Reaktivierung von Auenprozessen (siehe large wood cycle Kap.3.2.1 und Auenaufwertung Kap.6.3).

- Der *ELJ-Inselkopf* besteht im Wesentlichen aus Holz (nachwachsender Rohstoff aus lokaler Produktion und damit eine gesteigerte regionale Wertschöpfung (Kap. 7.5.2)). Die ELJ-Struktur profitiert mittel- und langfristig von der Durchwurzelung der aufkommenden Vegetation, hält aber auch direkt nach Einbau grossen Strömungsangriffen stand. Im Verbund mit Naturprozessen (Wurzelarmierung und Schwemmholzakkumulation) kann eine lange Lebensdauer erreicht werden (Kap. 4.3.2).

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion: ☒☒☒☒
- Morphodynamisches Aufwertungspotential: ☒☒☒☒
- Potential Prozessreaktivierung Aue: ☒☒☒☒

Grundstruktur, Bauteile, Aufbau, Bepflanzung, etc.: siehe Anhang A

Beispielbilder, Schemata, etc.:



Abbildung 39 : Beispielbilder: Einbau Inselkopf-ELJs im lagenweisen Verfahren an der Sense, Ruchmühle BE

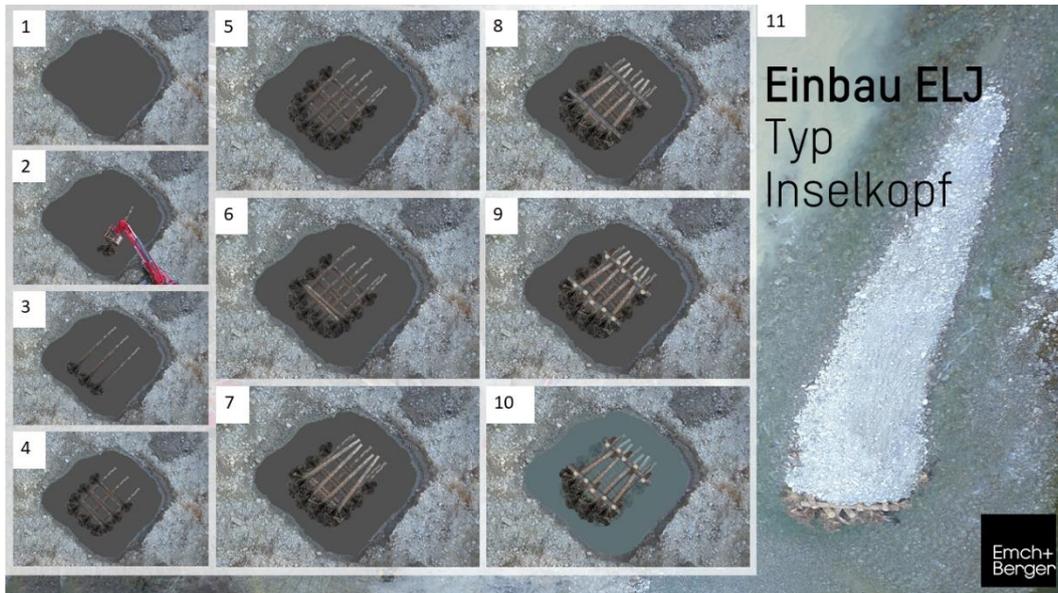


Abbildung 40 : Beispiel Einbauschema Inselkopf-ELJ (lageweiser Aufbau) an der Sense, Ruchmühle BE. (Werdenberg, et al., 2020)



Abbildung 41 : Beispielbilder: Einbau Inselkopf-ELJs im lageweisen Verfahren an der Emme, Bätterkinden-Utzenstorf

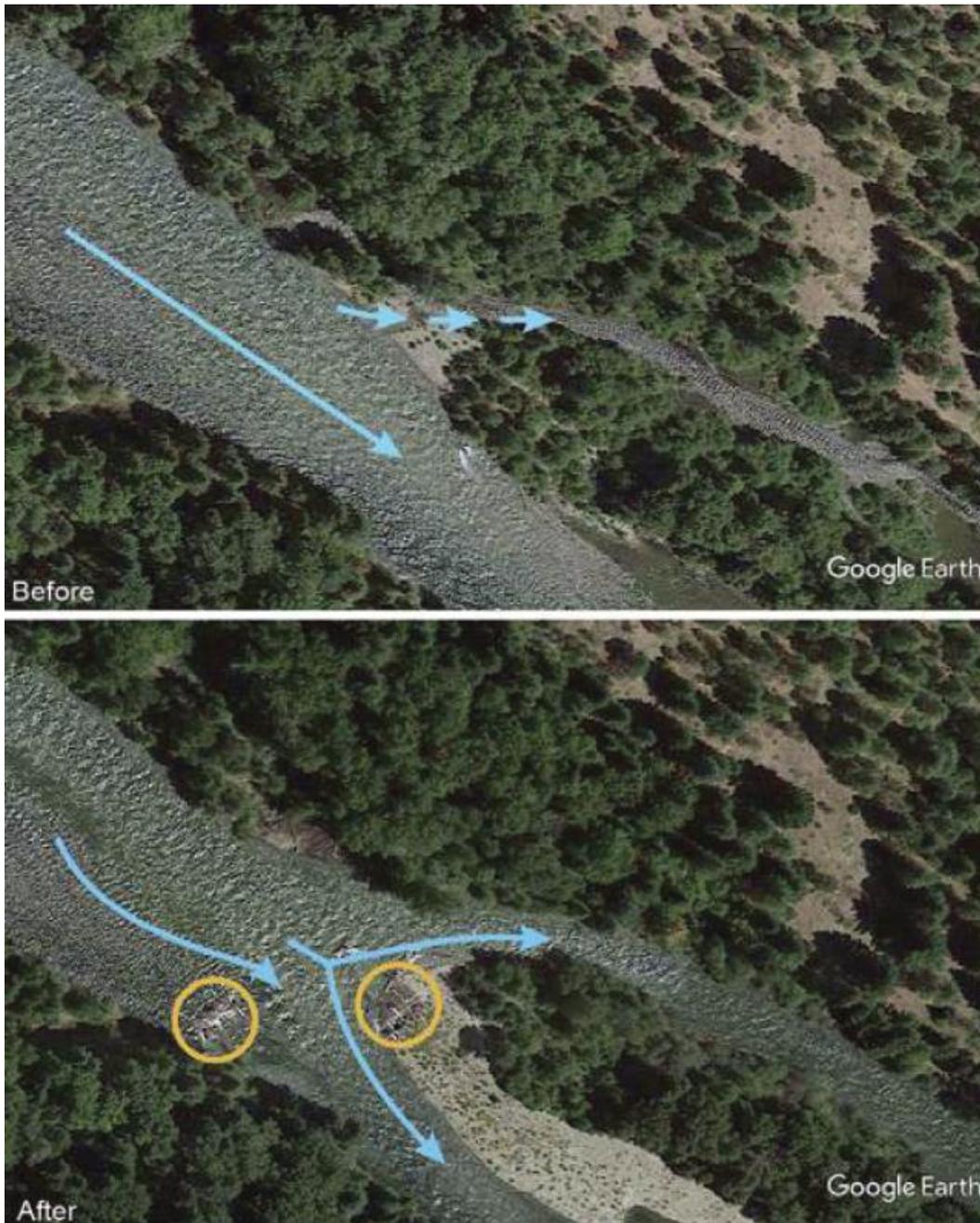


Abbildung 42 : Beispielbild: Anwendung Inselkopf-ELJs zur Umlenkung der Strömung in einen verlandenden Nebenarm am Cle Elum River, WA, USA. Quelle (Abbe, et al., 2018)

Umsetzungen in der Schweiz:

- Inselkopf-ELJ, Sense Ruchmühle (siehe E.1)
- Inselkopf-ELJ, Emme Bätterkinden/Utzenstorf (siehe E.1)

B.7 Gerinnequerende ELJs

Beschrieb: Insbesondere in kleineren Fließgewässern bzw. schmalen Flussarmen können *gerinnequerenden ELJs* (engl. «channel spanning structure») zum Einsatz kommen. Im Unterschied zu den übrigen Bautypen werden Strukturen von Ufer zu Ufer erstellt, weshalb der Aufbau von der ELJ-Grundstruktur abweicht. Im natürlichen Referenzzustand sind gerinnequerende log jams die standorttypische Strukturform in kleineren Gerinnen bzw. Nebenarmen, insbesondere wenn deren Sohlenbreite kleiner ist als die ins Gerinne fallenden key logs lang sind. Der vom natürlichen Vorbild abgeleitete ELJ-Bautyp wird mit Raubäulen und Wurzelstämmen quer zur Fließrichtung erstellt und umfasst die gesamte Breite des Gerinnes. In breiten Gerinnen wird dieser ELJ-Typ eher selten eingesetzt.

Der Bautyp führt bei weiterer Verklausung mit Schwemmholz bzw. Verlegung mit Geschwemmsel typischerweise zu Rückstau im oberliegenden Abschnitt, zur Flutung der umliegenden Flächen und zu lokalem Geschieberückhalt (Ablagerungen im Einstaubereich). Seriell angeordnet wirken *gerinnequerende ELJs* daher sehr effizient einer Gerinnevertiefung entgegen (z.B. Aufhebung Gerinnevertiefung oder Wiederaufbau einer Kiessohle auf felsigem Untergrund). In erodierbarem Ufersubstrat kommt es seitlich der Struktur zur Ausbildung von Läufen. Mit der Zeit kann es dadurch zur Teilung und ggf. zur Gerinneverlagerung kommen. Dadurch regen sie die Bildung von dynamischen Habitaten und Nebenarmen an (Wohl, et al., 2019a).

Obschon im Strukturaufbau verschieden, sind *gerinnequerende ELJs* in ihrer geomorphologischen Wirkung also ähnlich wie Biberdämme bzw. BDAs (Beaver Dam Analog) und haben daher auch ähnlich positive Effekte auf Biodiversität, Grundwasserbildung und Wasserqualität (Dalbeck, 2018) (Zahner, 2018) (Larsen, et al., 2018) (Minnig, 2022). Es kann davon ausgegangen werden, dass analog zu Biberdämmen (Kemp, et al., 2012) (Lokteff, et al., 2013) gerinnequerende ELJs keine Wandernisse für Fische darstellen. Die gebaute Grundstruktur besteht aus wesentlich weniger Totholz als die übrigen Bautypen (reduzierte unmittelbare Habitatfunktion) und wird i.d.R. weder mit Kies verfüllt noch bepflanzt. Für Erhalt und Erneuerung der Struktur bzw. für die Lebensdauer ist daher die laufende Schwemmholzzakkumulation massgebend (Kap. 4.3.2). Im Idealfall können sich an der gebauten Struktur mit der Zeit aber grosse Totholzmengen anlagern, wodurch die unmittelbare Habitatfunktion gesteigert wird.

Bewertung Lebensraumaufwertung (vgl. Kap.4.3.3):

- Unmittelbare Habitatfunktion (gebauter Struktur): ☒☒☐☐
- Morphodynamisches Aufwertungspotential: ☒☒☒☒
- Potential Prozessreaktivierung Aue: ☒☒☒☒
- Potential Sohlenanhebung / Etablierung Kiessohle:☒☒☒☒

Grundstruktur, Bauteile, Aufbau, Bepflanzung, etc.: Da ein Bauwerk von Ufer zu Ufer erstellt wird, unterscheidet sich die Grundstruktur der *gerinnequerenden ELJs* von den übrigen ELJ-Bautypen: Die Struktur besteht aus einem oder mehreren querenden Elementen, die punktuell in der Sohle verankert und zusätzlich beidseitig im Ufer eingebunden werden. Ein querendes Element besteht je nach Gerinnebreite aus einem oder mehreren quer zur Fließrichtung ausgerichteten, langen Wurzelstämmen, die durch eine geeignete, vorzugsweise holzige Verbindungstechnik (Anhang F) verbunden werden.

Je nach Möglichkeit werden am Einbaustandort mehrere querende Elemente erstellt, welche mit zusätzlichen Stämmen verbunden/verkeilt werden (Erhöhung unmittelbare Habitatfunktion). Die bei Überströmung und Umströmung einwirkenden Kräfte (Schub, Sog, Auftrieb) müssen von der Struktur absorbiert werden können. Die Fundierung muss die entstehende Kolktiefe berücksichtigen. In jedem Fall ist sicherzustellen, dass ein angemessener Raum für Ausuferungen und dynamische Prozesse (Anstieg Hochwasserspiegel oberhalb der Struktur) zur Verfügung steht, oder dass flankierende Massnahmen greifen. Alternativ dazu kann in relativ schmalen Gerinnen ohne Gefahrenpotenzial auch auf eine Befestigung der Strukturen verzichtet werden.

Beispielbilder, Schemata, etc.:



Installed

Abbildung 43 : Beispiel 1 schmales Gerinne: Gerinnequerende ELJs zur Erhöhung morphologischer Diversität und Konnektivität des Auenwalds am Ellsworth Creek, WA, USA (Abbe, et al., 2018)



Before

After

Abbildung 44 : Beispiel 2 schmales Gerinne: Gerinnequerende ELJs zur Erhöhung morphologischer Diversität, Deckungsstrukturen und Geschieberückhalt am Big Beef Creek, WA, USA (Abbe, et al., 2018)



Abbildung 45 : Beispiel Fluss: Gerinnequerende ELJs zur Umkehr der Gerinnevertiefung am Upper South Fork Nooksack River, WA, USA (Abbe, et al., 2018)

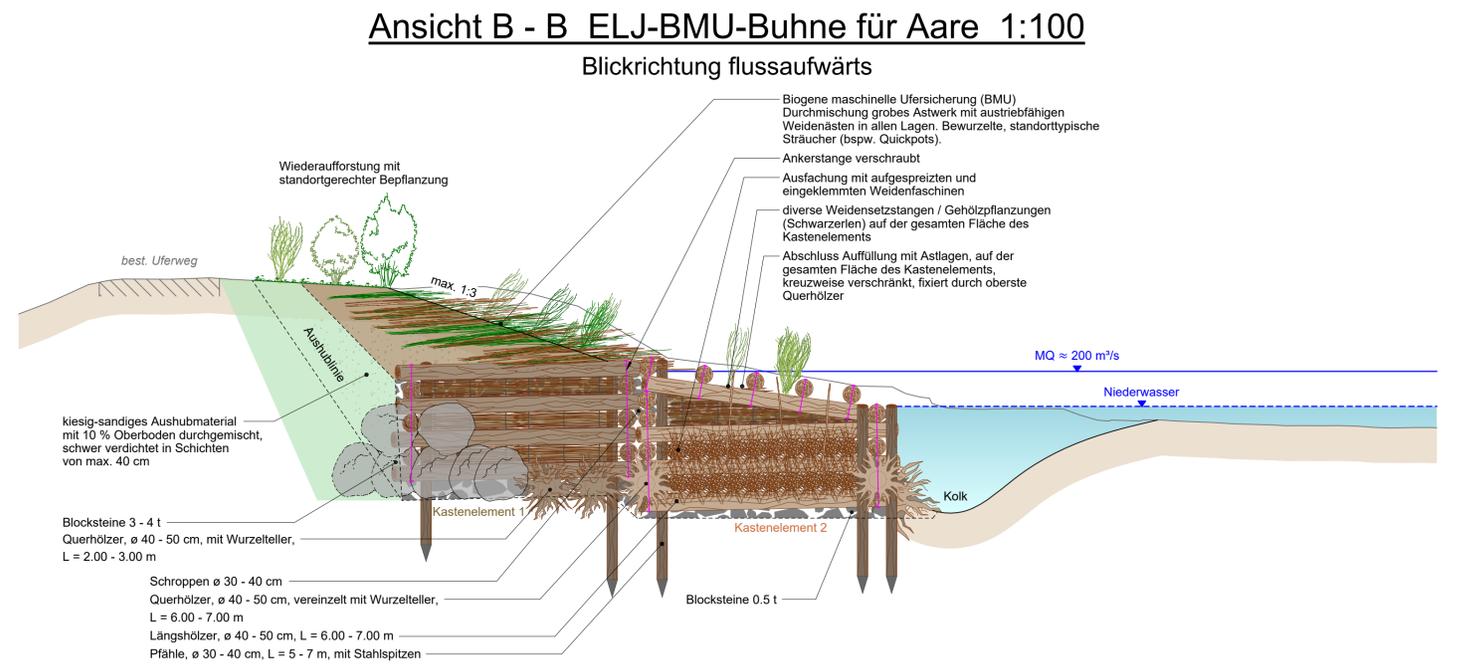
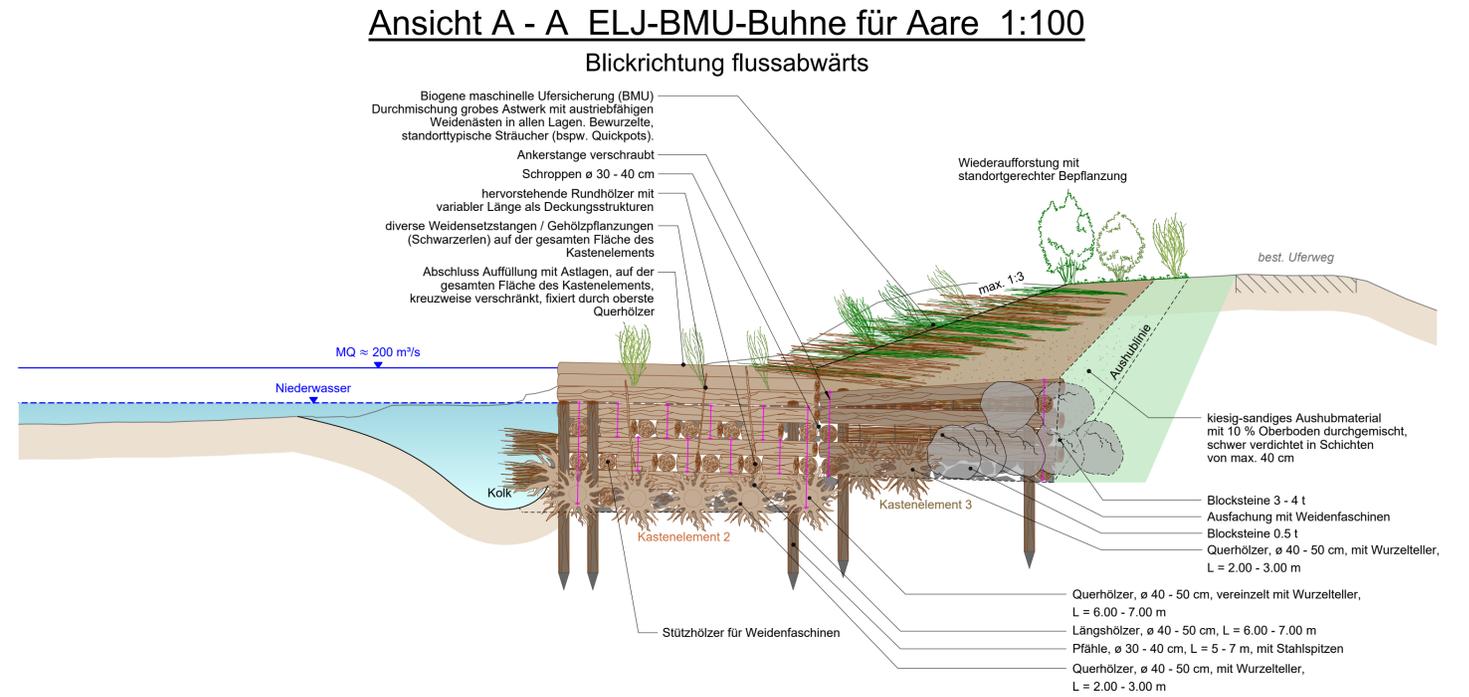
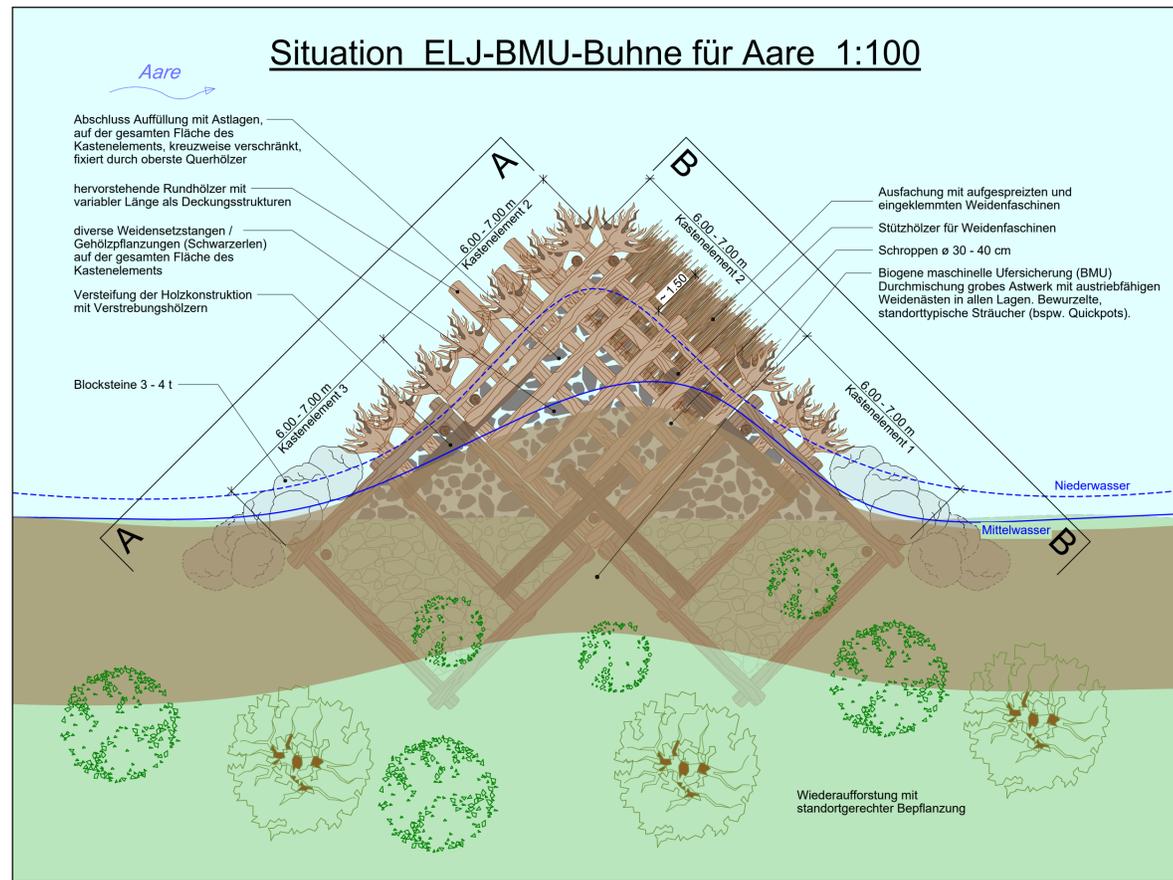
Umsetzungen in der Schweiz:

- aktuell keine Projekte

Anhang C ELJ-Normalien

C.1 ELJ-BMU-Bühne

- Normalie
- Beschrieb



Oberingenieurkreis II

Tiefbauamt
des Kantons Bern

Wasserbauplan

Gemeinde	Tiefbauamt Kanton Bern OIK II	Datum Dossier	26.03.2021
Erfüllungspflichtiger	37	Revidiert	
Gewässernummer	Aare	Projekt-Nr.	
Gewässer		Plandatum	26.03.2021
Plan-Nr.		Format	60 x 84

Unterlage
Normalie
ELJ-BMU-Buhne für Aare

Projektverfasser

Emch+Berger AG Bern
Schlösslistr. 23, Postfach
CH-3001 Bern
Tel. +41 58 451 61 11
www.emchberger.ch

KISSLING + ZBINDEN AG
INGENIEURE PLANER USIC
BRUNNHOFWEG 37 | 3000 BERN 14
TEL. 031 370 11 70 | FAX 031 370 11 71

Wasserbauplangenehmigung:

	Gezeichnet / Revidiert		Geprüft		Freigabe	
	Datum	Visum	Datum	Visum	Datum	Visum
	26.03.2021	yg	26.03.2021	bs	26.03.2021	We
A						
B						
C						
D						
E						



ELJ-BMU-Buhne für Aare

Projektverfasser: Emch + Berger AG Bern, Kissling + Zbinden AG

Firma:



Emch+Berger AG Bern

Schlösslistr. 23, Postfach
CH-3001 Bern
Tel. +41 58 451 61 11
www.emchberger.ch



KISSLING + ZBINDEN AG
INGENIEURE PLANER USIC

BRUNNHOFWEG 37 | 3000 BERN 14
TEL. 031 370 11 70 | FAX 031 370 11 71

Ort, Datum: Bern, 26.03.2021

Vorname, Name: N. Werdenberg, A. Widmer, K. Aeschlimann (E+B); S. Burkhalter, T. Weiss, J. Guggisberg (K+Z)

Kurzbeschreibung ELJ-BMU-Buhne

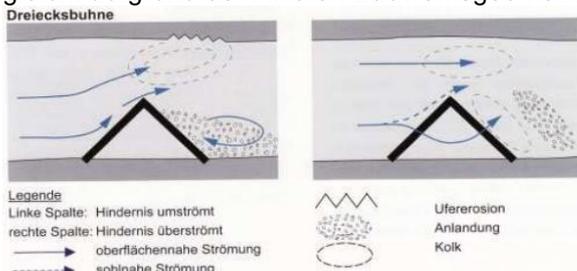
- Die ELJ-BMU-Buhne ist eine nachhaltige und ökologisch wertvolle Flussuferschutz aus Holz- und Lebendverbau, die zwei naturnahe und belastungsfähige Bauverfahren kombiniert («Engineered Log Jam» und «Biogene Maschinelle Ufersicherung»).
- Sie ermöglicht die Nutzung nachwachsender Rohstoffe aus lokaler Produktion und damit eine gesteigerte regionale Wertschöpfung.
- Sie profitiert mittel- und langfristig von der Durchwurzelung der aufkommenden Vegetation, hält aber auch direkt nach Einbau grossen Strömungsangriffen stand. Im Verbund mit Naturprozessen kann eine lange Lebensdauer erreicht werden.

Anwendungsbereich und Eignung

- Es handelt sich um ein Uferschutzelement mit bühnenartiger Wirkung, welche als Alternative für eine Stein- oder Betonbuhne dienen kann.
- Der vorliegende Bautyp ist spezifisch für den Einsatz in der Aare zwischen Thun und Bern konzipiert. Dies begründet die Notwendigkeit, Kastelemente landseitig vorfertigen zu können (vgl. Empfehlungen Einbau) und bestimmt in der Folge die initiale Bauwerksgeometrie.
- Die vorliegende Normale ist stets projektspezifisch zu überprüfen (Randbedingungen am gewählten Einbaustandort). Dabei ist besonderes Augenmerk auf den zu erreichenden Schutz und eine risikobasierte Betrachtung über die gesamte Lebensdauer des Bauwerks zu legen (Beachtung von Zwischenstufen in der Gehölzsukzession). Die Normale ist gegebenenfalls zu adaptieren oder durch standortspezifisch geeignetere Uferschutzmassnahmen zu ersetzen.
- Bühnenabstände sowie allfällige Uferschutzmassnahmen in den Zwischenbereichen sind projektspezifisch zu bemessen.

Funktion

- Umgehende Stabilität: Der ELJ-Teil bildet den in der Sohle und in der Böschung verankerten, lagestabilen Bühnenkörper aus Holzstämmen. Die Asteinlagen der BMU bewirken eine Bewehrung der Erdböschung, wobei die elastischen, über die Erdböschung hinausragenden Äste den Schutz gegen Oberflächenerosion übernehmen und sich bei Hochwasser als Schutz über die Böschung legen. Die ELJ-BMU-Buhne hält so direkt nach Einbau auch grossen Strömungsangriffen stand und profitiert mittel- und langfristig von der Durchwurzelung des Lebendverbaus.
- Langfristige Selbsterneuerung: Die Struktur nutzt Naturprozesse wie Gehölzsukzession, Durchwurzelung und Schwemmholzanlagerung zur Stabilisierung und Selbsterneuerung. Während der im Wasser liegende Unterbau des ELJ die langfristige Foundation sicherstellt, übernimmt die Durchwurzelung des Lebendverbaus (Gehölzpflanzung, Setzstangen, BMU) mit der Zeit die Stabilität der mittleren und oberen Lagen, wobei sich der Bewuchs laufend selbst erneuert. Die gewässerseitige ELJ-Front kann sich durch Anlagerung von Schwemmholz aus dem Fluss und durch Stämme aus dem alternden Bewuchs erneuern.
- Uferschutz bei Hochwasser: Ähnlich einer klassischen Uferschutzbuhne reduziert die ELJ-BMU-Buhne den Strömungsangriff auf den flussabwärtsliegenden Uferbereich. Die hydraulische Wirkung gleicht aufgrund der initialen Bauwerksgeometrie einer Dreiecksbuhne (siehe Schema [1]).



- Über die Zeit kann sich die Bauwerksgeometrie und damit die strömungstechnische Wirkung jedoch durch Naturprozesse verändern (ggf. Sicherheitsfaktoren bei der Bemessung Bühnenabstände oder Sicherungsmassnahmen in Zwischenbereichen).
- Lebensdauer: Die Lebensdauer kann sich wesentlich von einer klassischen Steinbuhne unterscheiden: Bei idealem Gehölzaufwuchs und ausreichender Schwemmholzanlagerung kann die

Lebensdauer durch laufende Selbsterneuerung der Struktur deutlich höher ausfallen. Bei einem Mangel an Schwemmholz und / oder schlechten Aufwuchsbedingungen kann sich die Lebensdauer verringern.

- Ökologie: Der strukturreiche Bautyp schafft zahlreiche Lebensräume und ermöglicht eine Förderung der lokalen aquatischen und terrestrischen Biodiversität im betroffenen Gewässerabschnitt.
 - Aquatische Habitate: Einerseits führt Bühnenwirkung zu Substratsortierung, Kolkbildung und Kiesdeposition (Bildung von Meso- und Makrohabitaten im Nahbereich der Struktur). Dabei sind Kolke für Fische insbesondere im Niederwasserfall überlebenswichtig. Andererseits entstehen in und an der oberflächen- und lückenreichen Struktur zahlreiche Mikrohabitate wie Fischunterstände und strömungsarme Verstecke für (Jung-)Fische und Fischnährtiere. Bei Hochwasserereignissen bieten insbesondere strömungsarme Bereiche Fischen aller Altersklassen Schutz vor Verdriftung. Insgesamt leistet das Bauwerk damit einen wichtigen Beitrag für Erhalt und Förderung lokaler Fischpopulationen.
 - Terrestrische Habitate: Auf der Struktur entwickelt sich eine wertvolle auentypische Ufervegetation, die während ihrer eigendynamischen Entwicklung verschiedenste Lebensräume für Kleinsäuger, Vögel, Reptilien und Insekten bietet.

Bautechnische und ingenieurblogische Details

- ELJ-Grenzschicht: erfüllt eine zentrale Funktion, indem das Ausschwemmen der Auffüllung verhindert und die innere Erosion unterbunden wird. Eine dichte, von unten nach oben vollständig geschlossene Schicht aus Ästen / Faschinen. Optional Rundholzabschnitte oder Schroppenlagen inkl. Filterschicht.
- ELJ-Verbindungstechnik: Holz oder Stahlverbindungen möglich, bei Holzverbindungen auf Holzart achten (Lebensdauer). Keine Stahlseile verwenden!
- Die Sicherheit der Freizeitnutzenden (Aareschwimmer und Böttler) ist zu berücksichtigen bei der Ausgestaltung von rauen Oberflächen wie exponierten Wurzeltellern (Anströmungsverhältnisse und Sommerwasserstand beachten).
- Gehölzpflanzungen und Setzstangen: Jeweils bis zum Rand der Struktur ausführen. Artenvielfalt, ausreichende Sonnenexposition, Stauwassertoleranz, Pflanzlage und -tiefe beachten, möglichst gute Mischung an Wurzel-Wuchsformen. Pflanzgruben zwingend mit Pflanzsubstrat versehen (v.a. bindiges Material, organischer Anteil eher gering)
- BMU-Verfahren: Maschinelles Einbau mehrerer Astlagen, kreuzweise verschränkt, verfüllt mit Schluff-Sand-Kiesgemisch plus organischem Anteil (z.B. Walderde). Schichtweise starke Verdichtung. Wesentliche Einbaustandards: Von Pflanzenmaterial unbedeckte Flächen möglichst klein halten (< 0.5 - 1 m²). Einbau von rund 12 Stück Ästen je Laufmeter BMU.
- Weitere Details zum ELJ (Kolk- / Foundationstiefen, Auflast, Verbindungen usw.) siehe [2].
- Weitere Details zum BMU (Neigung / Winkel Astlagen, Übergang zu Bestand usw.) siehe [3].
- Periodische Neophytenkontrolle zwingend, bei Bedarf Bekämpfungsmassnahmen.

Prüfpunkte:

- Einbautiefe der Struktur entspricht der maximalen Kolkentiefe
- Einbindtiefe der Pfähle entspricht den statischen Berechnungen
- Verbindungen sind fest und haben kein Spiel
- Die verwendeten Gehölze und Setzstangen entsprechen der geforderten Arten und weisen eine gute Qualität auf
- Die BMU weist keine Lücken auf und die Verteilung Aushub / Totholz-Holz / Lebendig-Holz entspricht den Anforderungen
- Die Rauigkeit / Ausprägung der angeströmten Seite entspricht den Anforderungen der Sicherheit (Böttler, Schwimmer)
- Die Grenzschicht ist sauber geschlossen, sodass keine innere Erosion stattfinden kann

Empfohlenes Vorgehen beim Einbau

- Ausführung zwingend im Winter-Halbjahr (Wasserstand, Freizeitnutzung).
- Hoher Winterwasserstand Aare macht Wasserhaltung unverhältnismässig aufwändig.
- Kastenelemente werden daher landseitig vorgefertigt, am Einbauort in die Baugrube versenkt und verankert.

[1] Gebler R.J. 2005. Entwicklung naturnaher Bäche und Flüsse Entwicklung naturnaher Bäche und Flüsse. Wasser und Umwelt.

[2] Widmer A., Haupt S., Werdenberg N. 2019. Planungshilfe Engineered Log Jam (ELJ). Planungshilfe Engineered Log Jam (ELJ) Renaturierungsfonds des Kantons Bern.

[3] Schütz W., Parthl G. 2018. Ufersicherung und Uferstrukturierung mit der Biogenen Maschinellen Ufersicherung. Mitteilung des Vereins Ingenieurbioogie, Heft 2/18.

Richtpreise
für ELJ-BMU-Buhne
für Aare

Projektverfasser: Kästli Bau AG, Bierigutstrasse 16, 3608 Thun



Firma:

Ort, Datum: Bern, 26.03.2021

Vorname, Name: D. Hausammann

Richtpreis für ELJ-BMU-Buhne (vgl. Normalie)

- Richtpreis für eine komplette Struktur gemäss Normalie CHF 45'000.00

Alle Angaben verstehen sich exkl. Mehrwertsteuer.

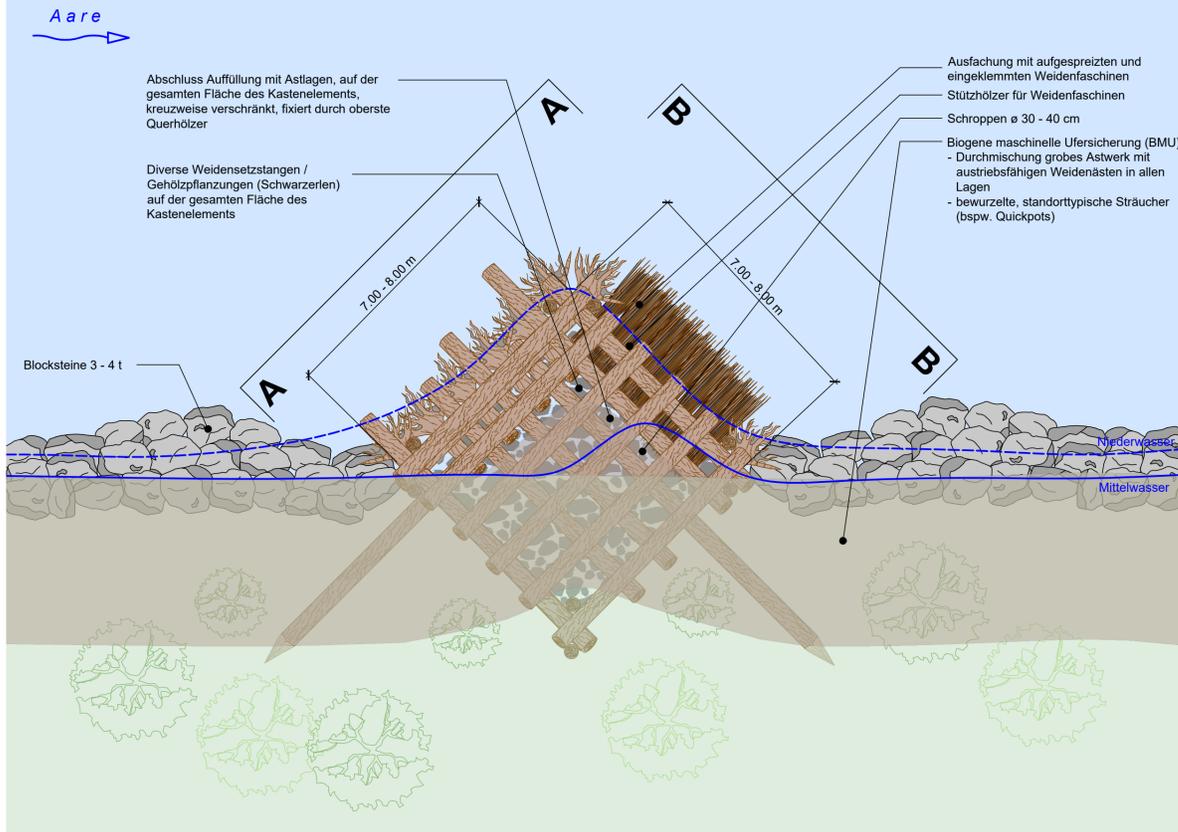
Die Preise beinhalten die Erstellung der Elemente inkl. sämtliche Materiallieferungen.

Die Baustelleninstallation, die Zufahrten, die Detailerschliessung und allfällige Erschwernisse (z.B. nicht tragfähiger Untergrund, enge Platzverhältnisse, etc.) variieren nach Standort und müssen noch spezifisch aufgerechnet werden.

C.2 ELJ-BMU-Deflektor

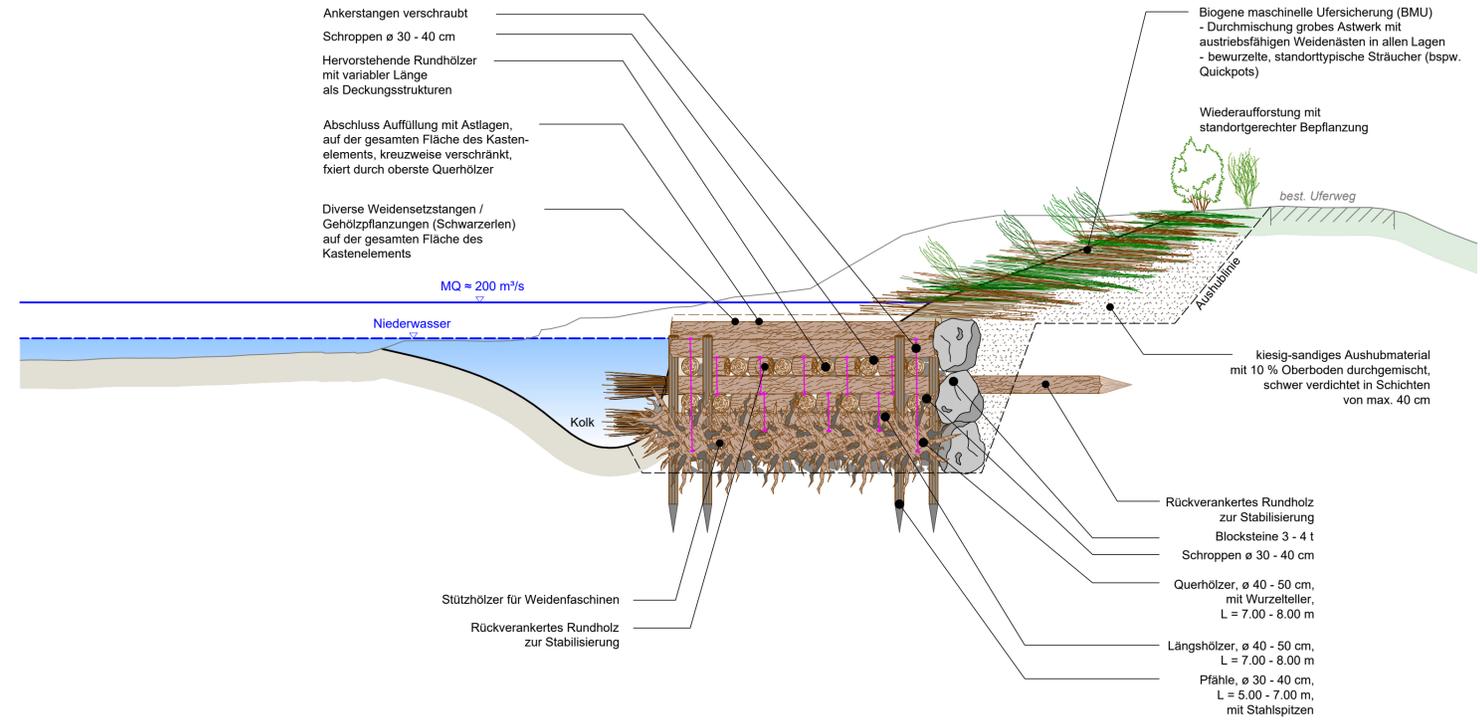
- Normalie
- Beschrieb

Situation ELJ-BMU-Deflektor für Aare 1:100



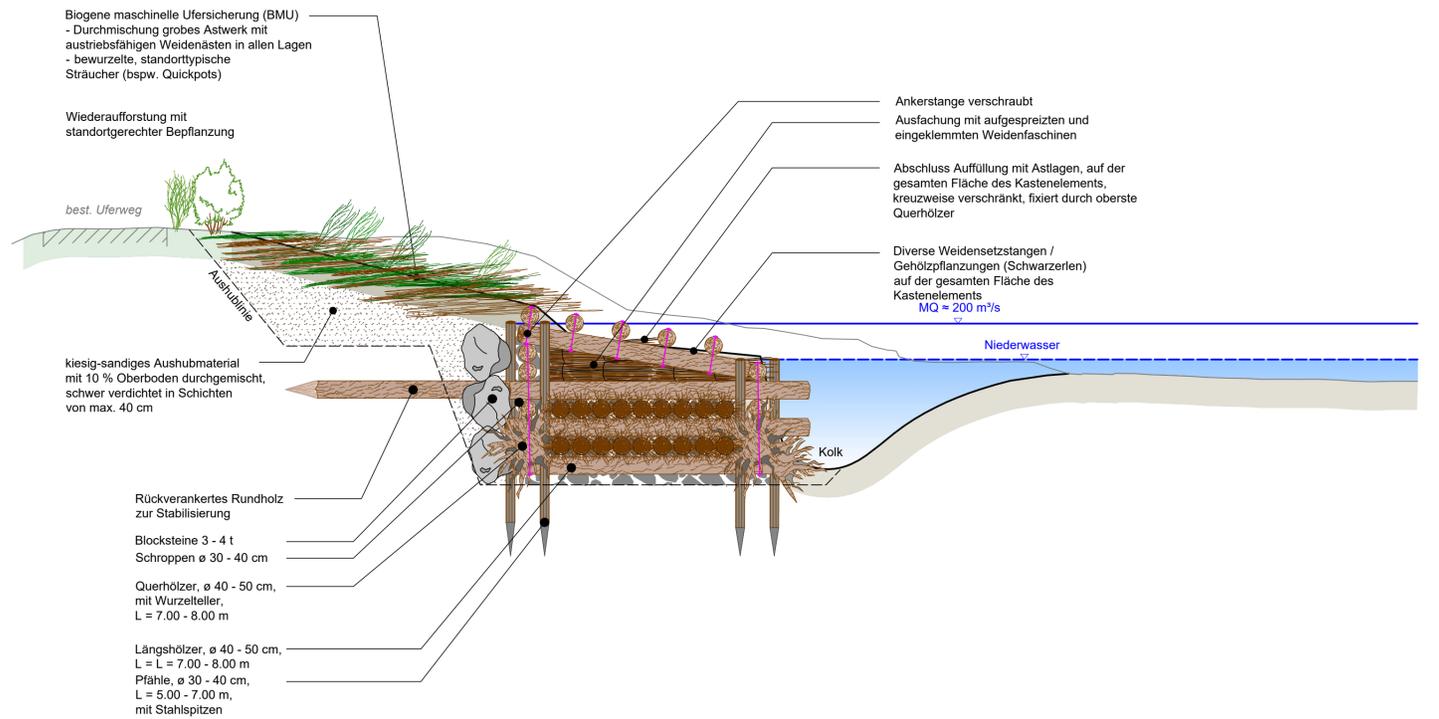
Ansicht A - A ELJ-BMU-Deflektor für Aare 1:100

Blickrichtung flussabwärts



Ansicht B - B ELJ-BMU-Deflektor für Aare 1:100

Blickrichtung flussaufwärts



Oberingenieurkreis II

Tiefbauamt
des Kantons Bern

Wasserbauplan

Gemeinde		Datum Dossier	26.03.2021
Erfüllungspflichtiger	Tiefbauamt Kanton Bern OIK II	Revidiert	
Gewässernummer	37	Projekt-Nr.	
Gewässer	Aare	Plandatum	26.03.2021
Plan-Nr.		Format	60 x 84

Normalie
ELJ-BMU-Deflektor für Aare

Projektverfasser



Wasserbauplan genehmigung:



ELJ-BMU-Deflektor für Aare

Projektverfasser: Emch + Berger AG Bern, Kissling + Zbinden AG

Firma:



Emch+Berger AG Bern

Schlösslistr. 23, Postfach
CH-3001 Bern
Tel. +41 58 451 61 11
www.emchberger.ch



KISSLING + ZBINDEN AG
INGENIEURE PLANER USIC

BRUNNHOFWEG 37 | 3000 BERN 14
TEL. 031 370 11 70 | FAX 031 370 11 71

Ort, Datum: Bern, 26.03.2021

Vorname, Name: N. Werdenberg, A. Widmer, K. Aeschlimann (E+B); S. Burkhalter, T. Weiss, J. Guggisberg (K+Z)

Kurzbeschreibung ELJ-BMU-Deflektor

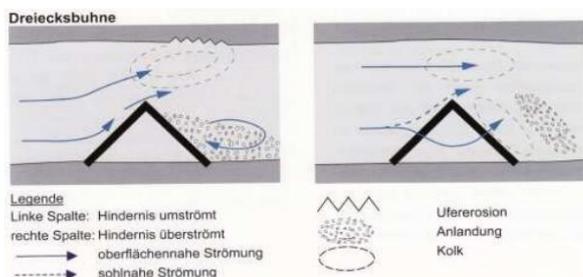
- Der ELJ-BMU-Deflektor ist eine nachhaltige und ökologisch wertvolle Flussufersicherung aus Holz- und Lebendverbau, die zwei naturnahe und belastungsfähige Bauverfahren kombiniert («Engineered Log Jam» und «Biogene Maschinelle Ufersicherung»).
- Sie ermöglicht die Nutzung nachwachsender Rohstoffe aus lokaler Produktion und damit eine gesteigerte regionale Wertschöpfung.
- Sie profitiert mittel- und langfristig von der Durchwurzelung der aufkommenden Vegetation, hält aber auch direkt nach Einbau grossen Strömungsangriffen stand. Im Verbund mit Naturprozessen kann eine lange Lebensdauer erreicht werden.

Anwendungsbereich und Eignung

- Es handelt sich um ein Uferschutzelement mit strömungsabweisender Wirkung, welches als Alternative für Kurzbuhnen aus Stein- oder Beton dienen kann.
- Der vorliegende Bautyp ist spezifisch für den Einsatz in der Aare zwischen Thun und Bern konzipiert. Dies begründet die Notwendigkeit, Kastelemente landseitig vorfertigen zu können (vgl. Empfehlungen Einbau) und bestimmt in der Folge die initiale Bauwerksgeometrie.
- Die vorliegende Normale ist stets projektspezifisch zu überprüfen (Randbedingungen am gewählten Einbaustandort). Dabei ist besonderes Augenmerk auf den zu erreichenden Schutz und eine risikobasierte Betrachtung über die gesamte Lebensdauer des Bauwerks zu legen (Beachtung von Zwischenstufen in der Gehölzsukzession). Die Normale ist gegebenenfalls zu adaptieren oder durch standortspezifisch geeignetere Uferschutzmassnahmen zu ersetzen.
- Bühnenabstände sowie allfällige Ufersicherungsmassnahmen in den Zwischenbereichen sind projektspezifisch zu bemessen.

Funktion

- Umgehende Stabilität: Der ELJ-Teil bildet den in der Sohle und in der Böschung verankerten, lagestabilen Strömungsabweiser aus Holzstämmen. Die Asteinlagen der BMU bewirken eine Bewehrung der Erdböschung, wobei die elastischen, über die Erdböschung hinausragenden Äste den Schutz gegen Oberflächenerosion übernehmen und sich bei Hochwasser als Schutz über die Böschung legen. Der ELJ-BMU-Deflektor hält so direkt nach Einbau auch grossen Strömungsangriffen stand und profitiert mittel- und langfristig von der Durchwurzelung des Lebendverbaus.
- Langfristige Selbsterneuerung: Die Struktur nutzt Naturprozesse wie Gehölzsukzession, Durchwurzelung und Schwemmholzanlagerung zur Stabilisierung und Selbsterneuerung. Während der im Wasser liegende Unterbau des ELJ die langfristige Foundation sicherstellt, übernimmt die Durchwurzelung des Lebendverbaus (Gehölzpflanzung, Setzstangen, BMU) mit der Zeit die Stabilität der mittleren und oberen Lagen, wobei sich der Bewuchs laufend selbst erneuert. Die gewässerseitige ELJ-Front kann sich durch Anlagerung von Schwemmholz aus dem Fluss und durch Stämme aus dem alternden Bewuchs erneuern.
- Uferschutz bei Hochwasser: Ähnlich einer klassischen Kurzbuhne zur Strömungsabweisung reduziert der ELJ-BMU-Deflektor den Strömungsangriff auf den flussabwärtsliegenden Uferbereich. Die hydraulische Wirkung gleicht aufgrund der initialen Bauwerksgeometrie einer kurzen Dreiecksbuhne (siehe Schema [1]).



- Über die Zeit kann sich die Bauwerksgeometrie und damit die strömungstechnische Wirkung jedoch durch Naturprozesse verändern (ggf. Sicherheitsfaktoren bei der Bemessung der Deflektorabstände sowie Sicherungsmassnahmen in Zwischenbereichen).

- Zur Sicherung der Uferbereiche zwischen den Deflektoren zeigt die Normalie einen Uferlängsverbau (Kombination aus BMU mit Blocksatz-Fundation). Diese Ausführung bietet generell einen hohen Schutz gegen Ufererosion und genügt damit einer grossen Bandbreite an Standorten. Wo Spielraum für Reduktion bzw. Verzicht der Sicherungsmassnahmen besteht, können entsprechende Kosten eingespart sowie ökologische Mehrwerte erreicht werden. Nachstehende Risikobetrachtung kann helfen, standortspezifisches Einsparungspotenzial zu erkennen.

Querströmungen möglich	Ja	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Nein
Sensible Infrastruktur anstehend	Ja	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein	Nein
Lage in Aussenkurve	Ja	Nein	Ja	Ja	Nein	Nein	Ja	Nein
Empfehlung Uferschutz zwischen Deflektoren								

Rot:	BMU mit Blocksatz (unterhalb Mittelwasserlinie)
Orange:	BMU mit Potenzial für Reduktion des Blocksatzes
Grün:	BMU mit Potenzial für Verzicht auf Blocksatz

- Lebensdauer: Die Lebensdauer des ELJ-BMU-Deflektors kann sich wesentlich von einer klassischen Steinbuhne unterscheiden: Bei idealem Gehölzaufwuchs und ausreichender Schwemmholzanlageung kann die Lebensdauer durch laufende Selbsterneuerung der Struktur deutlich höher ausfallen. Bei einem Mangel an Schwemmholz und / oder schlechten Aufwuchsbedingungen kann sich die Lebensdauer herabsetzen.
- Ökologie: Der strukturreiche Bautyp schafft zahlreiche Lebensräume und ermöglicht eine Förderung der lokalen aquatischen und terrestrischen Biodiversität im betroffenen Gewässerabschnitt.
 - Aquatische Habitate: Einerseits führt Bühnenwirkung zu Substratsortierung, Kolkbildung und Kiesdeposition (Bildung von Meso- und Makrohabitaten im Nahbereich der Struktur). Dabei sind Kolke für Fische insbesondere im Niederwasserfall überlebenswichtig. Andererseits entstehen in und an der oberflächen- und lückenreichen Struktur zahlreiche Mikrohabitate wie Fischunterstände und strömungsarme Verstecke für (Jung-)Fische und Fischnährtiere. Bei Hochwasserereignissen bieten insbesondere strömungsarme Bereiche Fischen aller Altersklassen Schutz vor Verdriftung. Insgesamt leistet das Bauwerk damit einen wichtigen Beitrag für Erhalt und Förderung lokaler Fischpopulationen.
 - Terrestrische Habitate: Auf der Struktur entwickelt sich eine wertvolle auentypische Ufervegetation, die während ihrer eigendynamischen Entwicklung verschiedenste Lebensräume für Kleinsäuger, Vögel, Reptilien und Insekten bietet.

Bautechnische und ingenieurbioologische Details

- ELJ-Grenzschicht: erfüllt eine zentrale Funktion, indem das Ausschwemmen der Auffüllung verhindert und die innere Erosion unterbunden wird. Eine dichte, von unten nach oben vollständig geschlossene Schicht aus Ästen / Faschinen. Optional Rundholzabschnitte oder Schroppenlagen inkl. Filterschicht.
- ELJ-Verbindungstechnik: Holz oder Stahlverbindungen möglich, bei Holzverbindungen auf Holz art achten (Lebensdauer). Keine Stahlseile verwenden!
- Die Sicherheit der Freizeitnutzenden (Aareschwimmer und Bötler) ist zu berücksichtigen bei der Ausgestaltung von rauen Oberflächen wie exponierten Wurzeltellern (Anströmungsverhältnisse und Sommerwasserstand beachten).
- Gehölzpflanzungen und Setzstangen: Jeweils bis zum Rand der Struktur ausführen. Artenvielfalt, ausreichende Sonnenexposition, Stauwassertoleranz, Pflanzlage und -tiefe beachten, möglichst gute Mischung an Wurzel-Wuchsformen. Pflanzgruben zwingend mit Pflanzsubstrat versehen (v.a. bindiges Material, organischer Anteil eher gering)
- BMU-Verfahren: Maschinellem Einbau mehrerer Astlagen, kreuzweise verschränkt, verfüllt mit Schluff-Sand-Kiesgemisch plus organischem Anteil (z.B. Walderde). Schichtweise starke Verdichtung. Wesentliche Einbaustandards: Von Pflanzenmaterial unbedeckte Flächen möglichst klein halten (< 0.5 - 1 m²). Einbau von rund 12 Stück Ästen je Laufmeter BMU.
- Weitere Details zum ELJ (Kolk- / Foundationstiefen, Auflast, Verbindungen usw.) siehe [2].
- Weitere Details zum BMU (Neigung / Winkel Astlagen, Übergang zu Bestand usw.) siehe [3].
- Periodische Neophytenkontrolle zwingend, bei Bedarf Bekämpfungsmassnahmen.

Prüfpunkte:

- Einbautiefe der Struktur entspricht der maximalen Kolkentiefe
- Einbindetiefe der Pfähle entspricht den statischen Berechnungen
- Verbindungen sind fest und haben kein Spiel
- Die verwendeten Gehölze und Setzstangen entsprechen der geforderten Arten und weisen eine gute Qualität auf
- Die BMU weist keine Lücken auf und die Verteilung Aushub / Totholz-Holz / Lebendig-Holz entspricht den Anforderungen
- Die Rauigkeit / Ausprägung der angeströmten Seite entspricht den Anforderungen der Sicherheit (Böötler, Schwimmer)
- Die Grenzschicht ist sauber geschlossen, sodass keine innere Erosion stattfinden kann

Empfohlenes Vorgehen beim Einbau

- Ausführung zwingend im Winter-Halbjahr (Wasserstand, Freizeitnutzung).
- Hoher Winterwasserstand Aare macht Wasserhaltung unverhältnismässig aufwändig.
- Kastenelemente werden daher landseitig vorgefertigt, am Einbauort in die Baugrube versenkt und verankert.

[1] Gebler R.J. 2005. Entwicklung naturnaher Bäche und Flüsse Entwicklung naturnaher Bäche und Flüsse. Wasser und Umwelt.

[2] Widmer A., Haupt S., Werdenberg N. 2019. Planungshilfe Engineered Log Jam (ELJ). Planungshilfe Engineered Log Jam (ELJ) Renaturierungsfonds des Kantons Bern.

[3] Schütz W., Parthl G. 2018. Ufersicherung und Uferstrukturierung mit der Biogenen Maschinellen Ufersicherung. Mitteilung des Vereins Ingenieurbiologie, Heft 2/18.

Richtpreise für ELJ-BMU-Deflektor für Aare

Projektverfasser: Kästli Bau AG, Bierigutstrasse 16, 3608 Thun



Firma:

Ort, Datum: Bern, 26.03.2021

Vorname, Name: D. Hausammann

Richtpreis für ELJ-BMU-Deflektor (vgl. Normalie)

- Richtpreis für Bauteil ELJ-Deflektor gemäss Normalie CHF 15'000.00 (Exkl. Blocksatz und BMU)
- Richtpreis für Blocksatz gemäss Normalie pro Laufmeter CHF 2'000.00/m (Verbauhöhe bis 220 m3/s)
- Richtpreis für BMU gemäss Normalie pro Laufmeter CHF 700.00/m

Alle Angaben verstehen sich exkl. Mehrwertsteuer.

Die Preise beinhalten die Erstellung der Elemente inkl. sämtliche Materiallieferungen.

Die Baustelleninstallation, die Zufahrten, die Detailerschliessung und allfällige Erschwernisse (z.B. nicht tragfähiger Untergrund, enge Platzverhältnisse, etc.) variieren nach Standort und müssen noch spezifisch aufgerechnet werden.

Anhang D Fachbegriffe Forst / Bau

Bevor auf das Thema Planung und Projektierung eingegangen werden kann, ist es wichtig auf die Sprache und die verwendeten Begriffe einzugehen. Viele der verwendeten Baumaterialien werden je nach Branche (Bau, Forst, Planer, etc.) unterschiedlich benannt oder sind gegenseitig gar unverständlich oder unbekannt. Nur mit einer gemeinsamen «Sprache» kann eine erfolgreiche Projektumsetzung gewährleistet werden.

Tabelle 2 : Fachbegriffe und Empfehlung zur Verwendung

Empfohlener Begriff	Fachbegriff Forst	Fachbegriff Bau	Umgangsbezeichnung	Erläuterung
Wurzelteller	Wurzelteller Wurzelstock	Wurzelstock Wurzelstrunk	Baumstrunk Wurzelstock Wurzeln	Baumstrunke von Flachwurzlern (Fichte, Weisstanne). Ohne Stammanteil
Wurzelstamm	Wurzelstock Wurzelstamm Stamm mit Wurzelteller	Wurzelstamm	Baumstrunk Wurzelstock	Wurzelstock mit mind. 2 m Stammanteil
Langholz	Langholz	Rundholz Langholz Baumstamm	Baumstamm	Ab Stock bis zum Giebel, Länge abhängig von Baumgrösse
Stammholz	Stammholz	Rundholz Langholz Baumstamm	Baumstamm	Definiertes Sortiment mit 4 oder 5 m Länge, ab Stock
Rundholz	Rundholz; (Spez. Sortiment von Stammholz)	Rundholz	Rundholz	Spez. Sortiment von Stammholz 4 oder 5 m mit einheitlichem Durchmesser
Giebelholz	Giebel	Giebel	Baumkrone Tauer Giebel	Oberster Teil des Baums, ab 20 cm - 0 cm Durchmesser
Zopfholz	Zopf	Zopf	Baumkrone Giebel Zopf	Oberer Teil des Baums, ab Ende Stammholz bis Giebel
Bodenstück	Bodenstück	Abschnitt Bodenstück	Abschnitt	Zwischenstück ab Wurzelstock bis Langholz oder Stammholz
Pfahlholz	Stammholz	Pfahl	Pfahl Langer Pfosten	Stammsortiment, angespitzt
Pfähle	Pfähle	Pfähle	Schwiir Pfosten	Definierte Länge von 1.80 m
Setzstange	Setzstange	-	-	1.50 m Länge mit Schrägschnitt
Stecklinge	Stecklinge	Stecklinge	Stecklinge	Bis 80 cm, 5 cm Durchmesser
Ankerstein	-	-	-	Feste verbundener Blockstein (> 1.5 t) mit holziger Struktur ohne Spiel (z.B. Wurzelstamm). Verbindung mit Felsanker (Spreizanker) und Di-widag Stab
Diwidag-Stab	-	Diwidag-Stab Ankerstab	Gewindestab	Ankerstab (16 oder 22 mm) Durchmesser zu Felsanker (Spreizanker) als Verbindungselement (mit Unterlagscheibe und Mutter)
Schroppen	-	Schroppen	Grob-Schotter	z.B. 60 - 140 mm oder 150 - 300 mm kleine Blocksteine, gebrochene Mineralsteine oder natürliches Geröll (nicht gerundet)
Sprengmaterial	-	Sprengmaterial		0 - 300 mm Restmaterial ab Sprengung im Steinbruch, enthält z.T. viel Feinmaterial
Schotter	-	Schotter	(Bahn-) Schotter	Gebrochene Mineralsteine und Gerölle > 30 mm bis ca. 80 mm, meist normiert

Für weiterführende Begriffe siehe Wörterbuch des Landesforstinventars (WSL, 2018).

Anhang E Dimensionierung

E.1 Integraler Flussbau

In der Schweiz wird seit einigen Jahren ein Fokus auf den integralen Hochwasserschutz gelegt. Hierbei ist ein gesamthafte Herangehen an Hochwasserschutzprojekte gemeint. Alle relevanten Stakeholder sollen miteinbezogen werden und die Auswirkungen jeglicher Massnahmen ganzheitlich erfasst und in der Planung berücksichtigt werden. Das heisst, dass neben den technischen / physikalischen Aspekten jeweils auch ökologische, wirtschaftliche und gesellschaftliche Kriterien zu beachten sind. Dieser ganzheitliche Ansatz lässt sich für alle fluss- und wasserbaulichen Projekte anwenden. Ein nachhaltiger Umgang mit den schweizerischen Flusssystemen erfordert eine solche Herangehensweise. Entsprechend soll auch bei der Planung von ELJs ein integraler Ansatz gewählt werden.

E.2 Flussabschnittsbetrachtung

Bevor mit der Planung von spezifischen ELJ-Strukturen begonnen werden kann, müssen der betreffende Gewässerabschnitt und die möglichen Auswirkungen der ELJs auf ebendiesen analysiert werden. Die physikalischen, biologischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen sind zu berücksichtigen. Wie ein Grossteil aller Eingriffe in ein Gewässersystem haben ELJs nicht nur lokale Auswirkungen, sondern beeinflussen einen ganzen Flussabschnitt, insbesondere wenn mehrere Massnahmen geplant sind (vgl. u.a. Aspekte ELJ-Design, Lebensraumaufwertung, Gefahren, Chancen).

E.3 Grundlagen

E.3.1 Hydrologie

Wie bei jedem Wasserbauprojekt bilden die hydrologischen Parameter des betroffenen Gewässersystems eine entscheidende Projektgrundlage. Dabei sind statistische Angaben zu den Abflussmengen und Pegelständen nötig. Diese Daten stammen idealerweise aus historischen Langzeitmessungen. Je länger eine vorliegende repräsentative Datenreihe ist, desto geringer fallen die Unsicherheiten bezüglich der Beurteilung und Festlegung der Dimensionierungsabflüsse aus. Diese Festlegung des massgebenden Abflusses mit der entsprechenden Eintretenswahrscheinlichkeit hängt schliesslich vom Schutzziel des Projektabschnitts ab.

Neben der Grösse des Dimensionierungsabflusses sind ebenfalls Angaben zu Abflüssen mit einer geringeren Eintretenswahrscheinlichkeit und somit höheren Intensitäten zu dokumentieren. Dadurch können auch fundierte Aussagen hinsichtlich des Überlastfalls gemacht werden.

Weiter sind Angaben zu Niedrig- und Mittelwasserständen erforderlich, damit die ELJ-Struktur und dessen Unterwasserhabitate optimal ganzjährig ausreichend ausgelegt werden.

Bei Gewässern mit durch Kraftwerksbetrieb beeinflusstem Abflussregime, müssen insbesondere Niedrigwassermenge, Schwall/Sunk-Thematik, Spülbetrieb, etc. im Projektablauf mitberücksichtigt werden.

E.3.2 Hydraulik

Die hydraulischen Grundlagen innerhalb des Projektperimeters sollten grundsätzlich den Ist-Zustand des Gewässers ganzheitlich abbilden. Damit dies erfolgen kann, sind Grundlagen zur Gewässermorphologie nötig. Querprofile und ein Längenprofil des Gerinnes im Betrachtungsabschnitt bilden die Grundlage für die hydraulischen Berechnungen. Hierfür sind idealerweise Angaben über die zeitliche Veränderung der Sohlenlage hilfreiche Informationen.

Zur Berechnung der wesentlichen hydraulischen Parameter, namentlich der Wasserspiegellage, Fliessgeschwindigkeit, Energiehöhe, ggf. Geschiebetransport, stellen neben dem analytischen Berechnungsansatz auch numerische Modelle wichtige und notwendige Hilfsmittel dar. Der Modellierungsgrad des numerischen Modells (1D/ 2D) hängt stark von Gewässerlauf und Querschnittsform des Gewässers ab. Grundsätzlich gilt, je genauer die hydraulischen Parameter abgebildet werden können, desto geringer sind die hydraulischen Unsicherheiten in der Dimensionierung der ELJ-Struktur. Die Bandbreite der angewandten Untersuchungsmethoden umfasst dabei physikalische Modelle (Gallisdorfer, et al., 2014), 2D-Modellierungen (Abbe, et al., 2018) und CFD Modelle (Xu, et al., 2017) Das bedeutet jedoch nicht, dass komplexe Modelle zwingend genauere Resultate liefern.

Generell müssen bei sämtlichen Methoden (analytisch, numerisch, physikalisch) die Unsicherheiten der Resultate beurteilt und in der weiteren Bearbeitung berücksichtigt werden.

Gerade bei ELJ-Strukturen kann die Berechnung des Niedrigwasserspiegels ebenfalls von Bedeutung sein. Je nach Ort und Anströmungsverhältnisse liegen potenzielle Standorte während dem Jahr teilweise oberhalb des Wasserspiegels, was sich aus ökologischer Sicht nachteilig auswirken kann (siehe dazu Exkurs 2: ELJ-Design: Dichte, Positionierung und Anströmung von ELJs).

E.3.3 Sediment

Die umfangreiche Kenntnis der Zusammensetzung des Sohlenmaterials sowie des Geschiebetransportprozesses ist eine zwingende Voraussetzung für die Dimensionierung der ELJ-Struktur. Dabei muss eine klare Zuordnung der Sedimentparameter vorliegen (laufendes Geschiebe, Deckschicht, Untersicht). Liegen für den Projektabschnitt keine oder ungenügende Daten des Sohlenmaterials vor, müssen diese mittels der geeigneten Methodik erhoben (Volumenprobe, Flächenprobe, Gitterprobe, Linienprobe) und aufbereitet (z.B. mittels einer Fullerverteilung) werden (Bezzola, 2013).

E.3.4 Baugrund

Die Kenntnisse über den Baugrund sind bei ELJ-Strukturen oft noch wichtiger als bei konventionellen Uferverbauungen, da die Holzpfähle in den Untergrund gerammt, vibriert oder gebohrt werden müssen. Daher darf dieser Aspekt bei der Grundlagenbeschaffung nicht unterschätzt werden.

Die Problematik in der Baugrunduntersuchung liegt für ELJ-Strukturen darin, dass sich die Standorte oft im bestehenden Gewässer oder im Uferbereich befinden. Dadurch ist die Zugänglichkeit für die gängigen Baugrundaufschlüsse nicht optimal. Zudem muss der Baugrundaufschluss ab bestehender Sohlen-/ Böschungslage oft mehrere Meter in die Tiefe erfolgen.

Neben der Zusammensetzung der Bodenschichten sind die Bodenkennwerte, namentlich der Reibungswinkel von Wichtigkeit.

E.3.5 Baumaterial Holz

Für die ausreichende Dimensionierung der ELJ-Struktur sind Angaben zum verfügbaren Bauholz nötig. Dabei ist neben der Art des Holzes, die Dichte eine wesentliche Grösse.

Die Dauerhaftigkeit einiger einheimischer Holzarten ist in Tabelle 3 ersichtlich. Diese Angaben sind qualitativ zu verstehen, da das ELJ-Bauholz einerseits einen grösseren Durchmesser aufweist als beim aufgeführten Feldversuch und andererseits wird das Bauholz z.T. im Bereich der Wasserwechselzone liegen. Dort wird der Holzerfall deutlich schneller stattfinden (siehe Kapitel 4.3.2).

Tabelle 3 : Dauerhaftigkeit einiger Holzarten aufgrund der Lebensdauer von Holzstäben (5x5 cm) in Berührung mit dem gewachsenen Boden (Böll, et al., 1999).

Dauerhaftigkeit (Klassen)	sehr dauerhaft	dauerhaft	mässig dauerhaft	nicht dauerhaft	hinfällig
Lebensdauer bei Feldversuchen	>25 Jahre	15-25 Jahre	10-15 Jahre	5-10 Jahre	<5 Jahre
Holzart	Eibe	Edelkastanie Eiche Robinie	Lärche Douglasie Föhre	Fichte Tanne Esche Ulme Pappel	Erle Buche Hagebuche Birke Ahorn Weide

Die mechanischen Eigenschaften von Holz wie z.B. die Bruchfestigkeiten können (Böll, et al., 1999) entnommen werden.

E.3.6 Schwemmholz

Konkrete Angaben zum Schwemmholzaufkommen und dessen Zusammensetzung sind nützliche Informationen, die zusätzliche planerische Sicherheit bieten. Falls keine Angaben vorliegen und diese auch nicht zielgerichtet erhoben werden können, erfolgt die Dimensionierung der ELJ-Struktur mit konservativen Annahmen hinsichtlich des Schwemmholzaufkommens (Minor, et al., 2006).

E.4 Einwirkende Kräfte

Auf die ELJ-Uferstruktur wirken grundsätzlich unterschiedliche Kräfte, welche zur statischen Dimensionierung der Struktur massgebend sind. In Abbildung 46 sind die wesentlichen Kräfte, die einerseits normal und andererseits parallel zur Gleitfläche stehen, dargestellt.

Neben den treibenden und rückhaltenden statischen Kräften wirkt eine hydrodynamisch variable Strömungskraft je nach Exposition mehr oder weniger orthogonal zur Einbaurichtung.

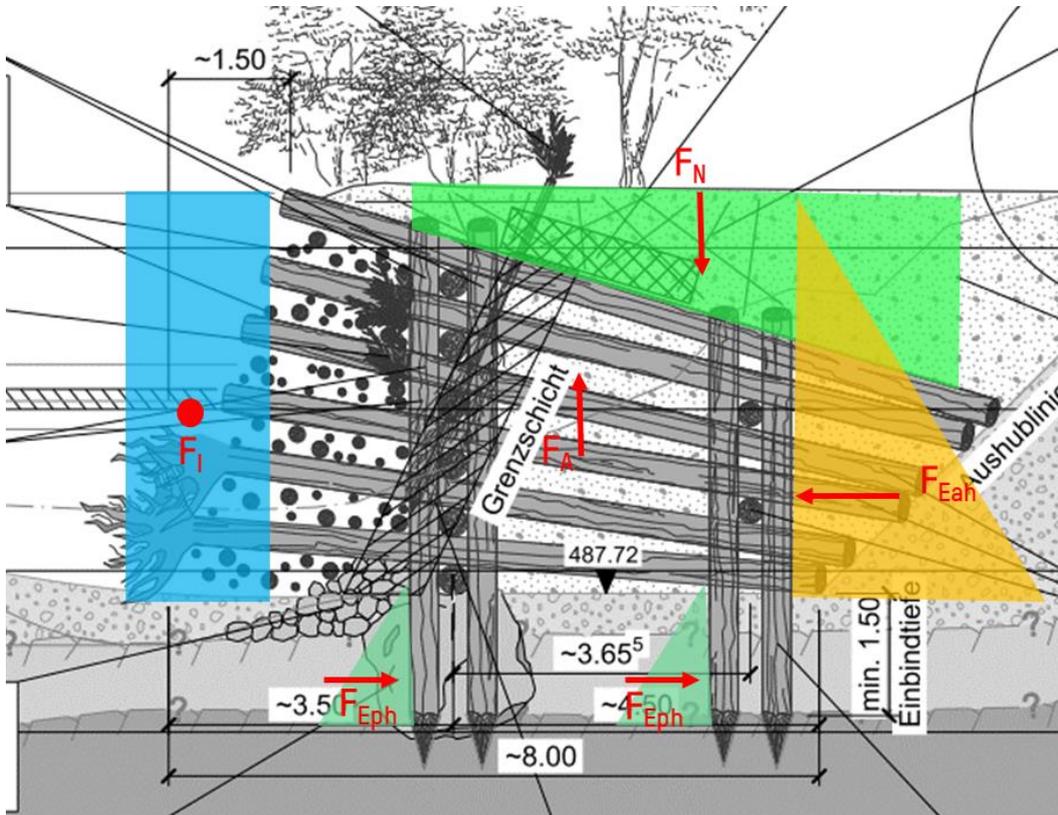


Abbildung 46: Einwirkende Kräfte auf die ELJ-Uferstruktur im QP 1 als Schemaschnitt dargestellt.

Im Nachfolgenden werden die in Abbildung 46 dargestellten Kräfte kurz beschrieben:

Eigengewicht (F_N):

Das Eigengewicht oder die Normalkraft setzt sich aus der Gewichtskraft der Auffüllung, dem Baumaterial Holz sowie der zusätzlichen Auflast (z.B. Blocksteine) zusammen. Die Auflast der Auffüllung wird ab OK oberster Holzlage bis OK-Terrain berechnet. Die Gewichtskraft des Holzes erhöht sich im Laufe der Zeit, da das Holz tendenziell Feuchtigkeit aufnimmt und sich die Dichte dadurch erhöht.

Auftriebskraft (F_A):

Je nach Wasserspiegellage beim Dimensionierungsereignis wirkt der hydrostatische Auftrieb auf die gesamte ELJ-Struktur. Die Auftriebskraft wirkt entgegen der Normalkraft und reduziert diese entsprechend. Die hydrostatische Auftriebskraft bleibt aufgrund der gleichbleibenden Volumenverdrängung des Wassers über die Zeit unverändert.

Strömungskraft (F_i)

Durch das anströmende Wasser wirkt (analog einer Sohlenschleppspannung) eine Strömungskraft auf die Struktur. Diese hydrodynamische Kraft wirkt in Fließrichtung über die gesamte Höhe der wasserexponierten Fläche ein. Zusätzlich zu dieser Flächenkraft kann eine allfällige Verkläuerung und somit eine Erhöhung der Strömungskraft mitberücksichtigt werden.

Erddruck (F_{Eah})

Der Erddruck entsteht durch die Hinterfüllung der Uferstruktur. Diese Auflagerkraft wird über die gesamte Einbautiefe angesetzt und ist als eine treibende Kraft zu verstehen.

Erdwiderstand Pfähle (F_{Eph})

Über die Pfähle kann ein Erdwiderstand aktiviert werden. Dabei ist die Einbindetiefe der massgebende Parameter dieser rückhaltenden Kraft.

Anprallkraft (F_0)

Zusätzlich zu den statischen Kräften sind hydrodynamische Anprallkräfte auf einzelne Elemente der Uferstruktur durch Schwemmgut zu berücksichtigen.

E.5 Hydraulik

Entscheidende Parameter für die hydraulische Dimensionierung der ELJ-Uferstruktur liefern die Kolkberechnung und die Ermittlung der Strömungskraft, welche auf die Struktur einwirkt. Durch die Positionierung der ELJ-Struktur wird das anströmende Wasser entlang der Struktur abgelenkt. Durch diese Strömungsbeeinflussung entstehen lokale Erosionen (Kolke). Werden die Kolke falsch oder nur unzureichend berücksichtigt, kann dies zum Versagen der Struktur führen (Kap. E.8). Im nachfolgenden wird neben der Kolkbetrachtung auf die hydrodynamische Strömungskraft, die auf die Struktur wirkt, eingegangen. Weiterführend wird in diesem Kapitel der Betrachtungsschwerpunkt auf die Strömungsablenkung und den damit verbunden ökomorphologischen Prozessen entlang und im Abstrom der Struktur beschrieben.

E.5.1 Kolk

Die Strömungsablenkung bei ELJ-Strukturen kann sich je nach Art der Struktur mehr oder weniger stark unterscheiden. Diese Ab- oder Umlenkung der Strömung ist die treibende Kraft für die Kolkausbildung entlang einer wasserbaulichen Struktur. In Tabelle 4 wird auf die fünf verschiedenen ELJ-Bautypen und der zu erwartenden Kolkausbildung eingegangen.

Tabelle 4: Kolkformen der unterschiedlichen ELJ-Bautypen.

ELJ-Bautyp	Kolkform
Ufersicherung geschlossen	Kolk an Widerlager
Uferschutz Buhne	Kolk an Widerlager resp. Buhne / Pfeilerkolk
Inselkopf	Pfeilerkolk / Kolk an Widerlager
Neue Insel	Pfeilerkolk / Kolk an Widerlager
Cross Chanel Struktur	Kolk an Widerlager / Kolk durch Vertikalstrahl

Der **Pfeilerkolk** bildet sich bei frontal angeströmten Objekten aus, bei welchen die Strömung das Hindernis beidseitig umströmt. Bei dieser Kolkform wirkt insbesondere die durch das Objekt verursachte abwärts gerichtete Strömung im Anströmbereich als treibende Kraft für die Kolkausbildung. Der Kolk erstreckt sich Hufeisenförmig um das Objekt, da die Strömungsgeschwindigkeit seitlich ebenfalls erhöht wird. Im Strömungsschatten des Objekts ist tendenziell mit einer leichten lokalen Auflandung zu rechnen.

Der **Kolk an Widerlager** unterscheidet sich im eigentlichen Sinn nicht merklich vom Pfeilerkolk. Das Objekt wird nicht beidseitig umströmt, sondern nur einseitig. Je nach Exposition der Struktur wirkt die abwärts gerichtete Strömungsablenkung stark abgeschwächt. Die Erhöhung der seitlichen Fließgeschwindigkeit entlang des Objekts wirkt jedoch nach wie vor als treibende Kraft für die Kolkausbildung. Der Kolk entlang von Buhnen kann mit einem entsprechend stark exponierten Widerlager abgebildet werden. Je nach Buhnenform entspricht der Kolk dem eines Pfeilerkolks.

Beim **Kolk durch Vertikalstrahl** wird das angeströmte Objekt vollständig überströmt. Die daraus resultierende mehr oder weniger stark nach unten gerichtete vertikale Strömung hinter dem Objekt führt zu einer lokalen Erosion. Neben dem primären Kolk an der Gewässersohle entstehen durch die seitlich ausgebildeten Walzen ebenfalls sekundäre Erosionen an den Böschungen.

Der **Kurvenkolk** wird nicht direkt durch einen ELJ-Bautyp ausgelöst, kann aber bei der Dimensionierung einer solchen Struktur ebenfalls von Bedeutung sein. Aufgrund der einwirkenden Zentrifugalkraft, ausgelöst durch die Kurvenform, bildet sich eine Erhöhung der Wasserspiegellage an der Kurvenaussenseite. Durch diese Abflusskonzentration wird neben einer höheren Fließgeschwindigkeit auch eine sogenannte Sekundärströmung induziert, welche in Sohlennähe entgegen der Zentrifugalkraft in Richtung Kurveninnenseite wirkt. Das Sohlenmaterial wird durch die erhöhte Schubspannung vom Böschungsfuss zur Kurveninnenseite transportiert. Die Quantifizierung der Kolkentiefe an der Kurvenaussenseite sollte je nach Projektperimeter vorliegen, damit Unsicherheiten bei den hydraulischen Parametern reduziert oder erkannt werden. Dabei bilden die morphologischen Grundlagen der Gewässersohle nicht den Zustand beim Dimensionierungsereignis ab. D.h. die Ausprägung des Kurvenkolks kann bezüglich der Gewässergrundlage (QP, LP) abweichen.

Der **Kolk bei Verengung** ist insbesondere dann zu berücksichtigen, wenn durch die geplanten ELJ-Strukturen eine Verengung des Abflussquerschnitts erfolgt. Der Verengungskolk wirkt insbesondere flächig im Bereich der Verengung und ist oft geringer als die lokalen Kolke entlang von exponierten Objekten.

Der **Kolk beim Zusammenfluss** zweier Teilgerinne kann je nach Projektperimeter ebenfalls zum Tragen kommen. Dieser Kolk wirkt sich mehr oder weniger flächig unterhalb der Vereinigung aus. Dabei spielen neben der Sohlenbeschaffenheit insbesondere die Abflussverhältnisse der zwei Zuläufe sowie der Vereinigungswinkel die massgebenden Parameter für die Berechnung der Kolkentiefe.

In der Tabelle 5 sind gängige und bewehrte Berechnungsätze zur Bestimmung der entsprechenden Kolkformen aufgeführt. Diese Auflistung ist nicht abschliessend. Zum Beispiel zum Pfeiler- resp. Brückenkolk sind viele und sehr umfangreiche Untersuchungen von unterschiedlichsten Institutionen durchgeführt worden.

Tabelle 5: Zusammenstellung möglicher Berechnungsansätze der entsprechenden Kolkform. Die Auflistung ist nicht abschliessend.

Kolkform	möglicher Berechnungsansatz
Kolk an Widerlager resp. Buhne	<ul style="list-style-type: none"> • Froehlich [1989] • Melville [1997] • Hoffmans [1995]
Pfeilerkolk	<ul style="list-style-type: none"> • Melville [1991] • Breusers und Raudkivi [1997] • Hoffmanns und Verheij [1997]
Kolk durch Vertikalstrahl	<ul style="list-style-type: none"> • Kotulas [1967] • Tschopp und Bisaz [1972]
Kurvenkolk	<ul style="list-style-type: none"> • Peter [1986] • Bridge [1976] • Kikkawa et al. [1976]
Kolk bei Verengung	<ul style="list-style-type: none"> • Bezzola resp. Breusers und Raudkivi [1991]
Kolk bei Zusammenflüssen	<ul style="list-style-type: none"> • Ashmore und Parker [1983] • Best [1988]

Für die Berechnung der unterschiedlichen Kolkformen ist wie in Kap. E.3.2 beschrieben die Kenntnis über die Hydraulik im Ist-Zustand entscheidend. Bei sämtlichen Berechnungsansätzen werden neben den Gerinneparametern die wesentlichen hydraulischen Grössen wie z.B. mittlere Fließgeschwindigkeit, Froude-Zahl, Wasserspiegellage, etc. einfließen. Daneben werden oft die massgebenden Sedimentparameter verwendet. Auf die detaillierte Berechnung der hydraulischen Grössen wird hier nicht eingegangen. Damit Unsicherheiten reduziert und die Aussagekraft der Resultate erhöht werden kann, sollten, wenn immer möglich, mehrere unterschiedliche Methoden angewendet werden (Plausibilisierung). Neben den analytischen Ansätzen können je nach Komplexität (Strömungsverhältnisse, Schadenpotential) auch numerische Simulationen oder Versuche am physikalischen Modell in Betracht gezogen werden.

E.5.2 Strömungskraft

Die Strömungskraft oder Schleppspannung, die auf die ELJ-Struktur einwirkt, ist neben der Kolkttiefe die zweite wesentliche hydraulische Grösse für die Dimensionierung der Struktur. Wie in Abbildung 46 ersichtlich, wirkt die Strömungskraft F_1 entlang der strömungsexponierten Seite. Diese Kraft ist als eine Schubspannung, induziert durch das vorbeiströmende Wasser, zu verstehen. Dabei wirkt die Strömungskraft als eine in Fliessrichtung treibende Kraft. Für die Berechnung ist insbesondere die Abschätzung des Widerstandsbeiwertes entscheidend. Dieser Beiwert hängt von der Strukturierung und dem Aufbau der wasserseitigen ELJ-Struktur ab.

Die Ansätze gemäss (Herrera Environmental Consultants Inc, 2014) und (Abbe, et al., 1997) verwenden dabei einen spezifischen Formbeiwert, der die charakteristische Strukturierung der ELJ mitberücksichtigt.

E.5.3 Überströmen

Ein Überströmen einer ELJ-Struktur ist grundsätzlich bis zu einem gewissen Mass unproblematisch. Dabei müssen folgende zwei Punkte gewährleistet werden:

- Die Bestockung darf einerseits durch den erhöhten Wasserstand und andererseits durch den Strömungsdruck keine Schäden erleiden
- Die Auffüllung oberhalb der ELJ-Struktur muss der maximal einwirkenden Schubspannung, die während dem Dimensionierungsereignis auftreten kann, standhalten. Kann dies nicht gewährleistet werden, muss ein Erosionsschutz angebracht werden.

Die aufgeführten Aspekte sind insbesondere in den ersten paar Jahren nach Fertigstellung der ELJ-Struktur kritisch. Sobald sich die Vegetation entwickelt hat, ist ein Überströmen grundsätzlich unproblematisch.

E.5.4 Anprall

Der Anprall eines Baumstamms auf die Struktur wirkt als eine zusätzliche Punktlast. Dabei sind der Anprallort sowie der Anprallwinkel für die Kräftebetrachtung entscheidend. Trifft das Schwemmgut auf ein Langholz, wird die Kraft flächig über die Struktur abgetragen. Ist die Anprallstelle jedoch ein Querholz, muss dieses im ungünstigsten Fall die Anprallkraft vollständig aufnehmen und über das Widerlager (Hinterfüllung und Längshölzer) abtragen.

Je flacher der Anprallwinkel ist, desto geringer wirkt der Impuls auf die Struktur. Aufgrund der Exposition der Querhölzer ist ein senkrechter Aufprall zwischen Anströmung und Querholzausrichtung denkbar. Diese Kraft kann in Relation zur restlichen Strömungskraft oft vernachlässigt werden.

Durch den Anprall können herausragende Querhölzer brechen, insbesondere mit fortschreitender Lebensdauer. Dies hat jedoch keinen nachteiligen Einfluss auf die Stabilität der Struktur, da dieser Bereich «lediglich» zur Habitatsvielfalt beiträgt.

E.5.5 Ökomorphologische Gesamtbetrachtung

Bei der hydraulischen Dimensionierung sind neben den Fliessprozessen im und um die ELJ-Struktur (Kap. E.5.1-E.5.4) ebenfalls das Augenmerk auf Veränderung der Gewässermorphologie im Abstrom zu richten.

Durch die unterschiedliche Form und Anordnung einer ELJ-Struktur kann die morphologische Entwicklung im Gewässer massgebend beeinflusst werden. Die treibende Kraft für diese morphologische Umgestaltung ist insbesondere auf die lokalen Änderungen der Fliessgeschwindigkeiten und Fliessrichtungen entlang der ELJ-Strukturen zurückzuführen. Dies führt einerseits zu Erosionsprozessen (Kolke) in der Gewässersohle und andererseits zu Auflandungsprozessen im Abstrom der Struktur. Durch diese laufende Geschiebeumlagerung verändert sich das morphologische Gewässerbild stetig (Mc Henry, et al., 2007). Die Strömungsab- und umlenkung, induziert durch die Strukturen, müssen somit über den betroffenen Gewässerabschnitt ganzheitlich betrachtet werden, damit die morphologische Entwicklung über die Zeit aufgezeigt werden kann.

Da der Prozess der Strömungsablenkung und der damit verbundenen Geschiebeumlagerung sehr komplex und mehrdimensional ist, werden zur Dimensionierung von ELJ-Designs gerne numerische 2D Modelle (Abbe, et al., 2018) sowie 3D Modelle (Xu, et al., 2017), und auch physikalische Modelle (Gallisdorfer, et al., 2014) eingesetzt. Die Betrachtungstiefe der morphologischen Entwicklung hängt

stark vom Gewässerlauf, den ELJ-Einbauten und deren Anordnung, sowie allfälligen weiteren Bauvorhaben/Randbedingungen ab.

E.6 Statik

Die statische Betrachtung der ELJ-Struktur erfolgt im Grundsatz gleich wie für ein starres, geschlossenes Bauwerk. Die Zulässigkeit dieser Annahme ist dadurch gegeben, dass die Baumstämme eines ELJ-Elements einerseits mittels Stahlverbindungen verbunden werden und andererseits das Anbringen von vertikalen Pfählen, die im Untergrund verankert sind, ein Verschieben resp. Abtreiben verhindern.

Damit der statische Nachweis einer ELJ-Struktur erbracht ist, muss insbesondere die Gleitsicherheit gewährleistet sein. Neben der Gleitsicherheit muss gegebenenfalls zusätzlich eine Gleitkreisbetrachtung sowie der Nachweis der Kippsicherheit erfolgen. Wobei der letztere für ELJ-Strukturen oft sekundär ist.

Nachfolgend werden die massgebenden rückhaltenden sowie treibenden Kräfte gemäss Abbildung 46 erläutert.

E.6.1 Rückhaltende Kräfte

Die ELJ-Struktur gewinnt grundsätzlich durch die Pfählung sowie durch die Auflast ober- und innerhalb der Struktur die rückhaltenden Kräfte.

Die Pfähle, die in den Flussschotter eingebracht werden, bewirken einen Erdwiderstand E_{ph} der massgebend in horizontaler Richtung wirkt. Die vertikale Komponente wirkt zusätzlich als rückhaltende Kraft gegen die Auftriebskraft.

Neben der Pfählung bildet die Auflast in und auf der Struktur eine weitere stabilisierende Kraft, da die Auflast das Eigengewicht F_w entsprechend erhöht. Dabei darf für den statischen Nachweis nur die Auflast berücksichtigt werden, welche effektiv auf die Struktur übertragen wird. D.h. die Auffüllung im unteren Bereich der Struktur trägt grundsätzlich nicht bis sehr wenig zur Erhöhung des Eigengewichts bei. Als konservative Annahme, kann daher auch nur die Auffüllung oberhalb der obersten Querholzreihe als Auflast berücksichtigt werden kann.

E.6.2 Treibende Kräfte

Entgegen der rückhaltenden Kräfte wirken grundsätzlich der Erddruck, die Auftriebskraft (durch das Baumaterial Holz) sowie die Strömungskraft als treibende Kräfte auf die ELJ-Struktur.

Der Erddruck baut sich durch die Hinterfüllung der ELJ-Struktur auf. Diese Flächenkraft wirkt grundsätzlich über die gesamte Einbautiefe und weist ein Maximum auf der untersten Querholz- resp. Langholzlage auf. Die resultierende Kraft aus dem Erddruck liegt ca. 1/3 oberhalb der Einbautiefe.

Die ELJ-Struktur besteht neben der Auffüllung primär aus Holz, welches im Allgemeinen eine geringere Dichte aufweist als Wasser. Durch diesen Auftrieb reduziert sich das Eigengewicht (Normalkraft). Der hydrostatische Auftrieb wirkt nicht nur auf das Baumaterial Holz sondern auch auf die Auffüllung bis zur maximalen Wasserspiegellage bezogen auf das Dimensionierungsereignis.

Die Auftriebskraft wirkt auf sämtliche Objekte, welche unterhalb der Wasserspiegellage resp. dem gesättigten Porenwasserdruck befinden. Das Eigengewicht der Struktur reduziert sich somit um den Betrag von ca. 10 kN/m^3 auf sämtliche sich Unterwasser befindenden Elemente. Da das Baumaterial Holz oft eine geringere Dichte als Wasser aufweist, ist die Gefahr des «Aufschwimmens» in der Dimensionierung genügend Rechnung zu tragen. Dieser Aspekt ist insbesondere beim Bau der Struktur relevant, wenn die Auflast noch nicht vollumfänglich aufgebaut ist.

Die hydrodynamische Strömungskraft (Kap. E.5.2) sowie die Aufprallkraft (Kap. E.5.4), infolge von Schwemmholz, wirken ebenfalls als treibende Kräfte auf die Struktur. Mittels diesen zwei Kräften werden die hydraulischen Fließprozesse in die statische Dimensionierung der gesamten Struktur eingebunden.

E.6.3 Gleitsicherheit

Der Gleitsicherheitsnachweis erfolgt durch die Gegenüberstellung der rückhaltenden Scherfestigkeit und den einwirkenden Scherkräften, die parallel zur Gleitlinie wirken.

$$\eta_G = \frac{\text{Scherfestigkeit}}{\text{Scherkraft}} = \frac{N \cdot \tan(\varphi)}{H} \quad (1)$$

Der sensitive Parameter ist hier der Reibungswinkel φ des Sohlenmaterials. Die horizontale Kraft H ergibt sich aus der resultierenden Kraft aus dem Erddruck F_{Eah} der Hinterfüllung und der Strömungskraft F_i . Diese Kraft wird durch den Erdwiderstand der Pfähle F_{Eph} wiederum reduziert. Für diesen zentralen Nachweis (1) sollte der Sicherheitsfaktor nicht kleiner als $SF = 2$ betragen.

Als Ergänzung zum Gleitsicherheitsnachweis ist je nach Böschungstopologie eine Gleitkreisbetrachtung durchzuführen.

E.6.4 Kippsicherheit

Die Betrachtung der Kippsicherheit ist für die ELJ-Bauform im Allgemeinen sekundär. Die Überprüfung erfolgt mittels der Gegenüberstellung der treibenden (Erddruck Hinterfüllung) und rückhaltenden Momenten.

$$\eta_K = \frac{\sum \text{rückhaltende Momente}}{\sum \text{treibenden Momente}} \quad (2)$$

Dabei bildet das vordere, zur Wasserseite liegende Langholz das Kippzentrum. Die Standfestigkeit dieses Kippzentrums muss mittels Pfählung und ausreichendem Kolkenschutz/ -Dimensionierung sichergestellt werden (Kap. E.8.1).

E.7 Etablierung der Vegetation

Eine erfolgreiche Etablierung der Vegetation ist von grosser Bedeutung, damit ELJs ihre Funktionen langfristig übernehmen können. Entsprechend wichtig ist eine korrekte Planung in Bezug auf die eingesetzten Gehölzarten und das Pflanzenwachstum (inkl. Durchwurzelungsfähigkeit). Grundsätzlich sind einheimische, standortgerechte und autochthone Pflanzen anzuwenden/aufzustocken (höherer Aufwuchserfolg). Zudem empfiehlt es sich, den Fokus auf Pflanzen der Aue zu legen. Zu den Augengehölzen zählen einerseits Pionierbaumarten der Weichholzaue (wachsen eher rasch, daher weniger dichtes Holz) sowie Arten der Hartholzaue (wachsen eher langsam, daher dichtes/hartes Holz). Charakteristisch für die Augengehölze ist, dass sie periodische Überstauung ertragen, wobei die Weichholzauearten häufigeren bzw. längeren Wassereinstau aushalten können. Gehölze früher Sukzessionsstadien (Pionierbaumarten) sind Lichtbaumarten und dienen als Erstbesiedler. Sie bereiten den Boden vor und schaffen Bedingungen für die weitere natürliche Sukzession, z.B. den Aufwuchs nachfolgender, eher langlebiger Hartholzarten.

Die Planung der Vegetation hat aber auch in Abstimmung mit der benötigten Funktionalität und den Standortverhältnissen zu erfolgen: So wurzeln beispielsweise Erlen tief ins Wasser und Eschen meiden mit ihren Wurzeln den Kontakt zum Wasser, was zu gänzlich unterschiedlichen Formen der Wurzelbildung führt. Weiter sind auch die Lichtverhältnisse zu beachten. Weiden eignen sich beispielsweise ideal an sonnigen Standorten, werden ihre Funktion an schattigen Lagen aber längerfristig nicht erfüllen können. Hier ist der Einsatz des ebenfalls raschwüchsigen Hasels zielführender.

Grundsätzlich empfiehlt sich ein Gehölmix bzw. eine hohe Artenvielfalt (in Bezug auf die Wurzelformen, Wuchsgeschwindigkeit und Standortansprüche) vorzusehen, um den bestmöglichen An- und Aufwuchserfolg und die maximale ingenieurblogische Wirkung zu erzielen (Stabilisation der ELJ-Struktur). Die nachfolgende Übersicht (vgl. Tabelle 6) stellt eine Auswahl an geeigneten Gehölzen des Weich-/Hartholz- und Grauerlen-Auenwalds sowie Auen-Gebüschs dar. Sie ist weder abschliessend noch absolut gültig. Sie kann helfen, anhand der aufgeführten Eigenschaften einen geeigneten Gehölmix für ein spezifisches ELJ-Projekt zu finden.

Oft lohnt sich, die Gehölze als Forstware (wurzel nackt, meist jüngere Pflanzen) zu beziehen, da diese kostengünstiger ist als Fertigware (Wurzelballen mit Erde) und zudem besser anwächst.

Tabelle 6 : Auengehölze: Die nachfolgende Übersicht stellt eine Auswahl an geeigneten Gehölzen des Weich-/Hartholz- und Grauerlen-Auenwalds sowie Auen-Gebüschs dar (Anlehnung an TypoCH [1]). Sie ist weder abschliessend noch absolut gültig. Sie kann helfen, anhand der aufgeführten Eigenschaften einen geeigneten Gehölzmix für ein spezifisches ELJ-Projekt zu finden.

Gehölz	Wuchsgeschwindigkeit [1, 3, 4, 19, 21]	Besonderheiten	Wurzelform [2-7, 15, 20, 21]	Wurzelei- genschaften [2-7,9, 15, 20, 21]	Lichtzahl (L) [8, 13]	Feuchte- zahl (F) [8, 13]	Verwendung als Bodenfestiger in Form von [14]
Feldahorn <i>Acer campestre</i>	langsam wachsend (Hartholz)	<ul style="list-style-type: none"> - Guter Bodenfestiger - erträgt keine Staunässe, aber Überschwemmungsperioden - Stockausschlag möglich [4, 15, 18]	Herzwurzel	flachgründig, intensiv	3	2+ - 3	bewurzelte Pflanzen
Schwarzerle <i>Alnus glutinosa</i>	rasches Jugendwachstum (Weichholz, Pionierart)	<ul style="list-style-type: none"> - besonders hoher ökologischer Wirkungsgrad dank Wurzelknöllchen (Binden von molekularem Luftstickstoff) und leicht abbaubarem, stickstoffreichem Laub - erträgt stehendes Wasser und Staunässe im Wurzelbereich gut (Luftversorgung Wurzeln durch Lentizellen im unteren Stammbereich) - kann in kleinen Gerinnen unter der Sohle hindurch wurzeln und eine biologische Sohlenbefestigung erreichen [2,3, 9, 10, 16]	Herz-/Senkwurzel	flach- bis tiefgründig, ausbreitende, feine Wurzeln [16]	3	4+w+ - 5w	bewurzelte Pflanzen
Grauerle <i>Alnus incana</i>	rasches Jugendwachstum (Weichholz, Pionierart)	<ul style="list-style-type: none"> - typisch für höhere Lagen - Wurzelknöllchen (Stickstoffsammler) - bildet Wurzelsprossen - erträgt zeitweilige Überflutung [16, 17]	Herzwurzel	flach- bis mitteltiefgründig	3	4w+	bewurzelte Pflanzen
Roter Hartriegel <i>Cornus sanguinea</i>	langsam wachsend (Hartholz, Pionierart)	<ul style="list-style-type: none"> - bildet Wurzelsprossen - hohe Ausschlagfähigkeit - breitet sich stark aus [18, 21]	Herzwurzel	flachgründig, dicht verzweigt	3	3	bewurzelte Pflanzen
Haselstrauch <i>Corylus avellana</i>	schnellwüchsig, (mittelhart, Pionierart)	<ul style="list-style-type: none"> - hohe Ausschlagfähigkeit - gut für Bodenfestigkeit [7, 20]	Herzwurzel	weit verzweigt, viele Feinwurzeln	3 (*)	3w	bewurzelte Pflanzen
Gemeines Pfaffenhütchen <i>Euonymus europaeus</i>	langsam wachsend (Hartholz)	<ul style="list-style-type: none"> - bildet Wurzelsprossen - hohe Ausschlagfähigkeit - giftig [7, 15]	Flachwurzel	flachgründig, dicht	3	3+w+	bewurzelte Pflanzen

Gehölz	Wuchsgeschwindigkeit [1, 3, 4, 19, 21]	Besonderheiten	Wurzelform [2-7, 15, 20, 21]	Wurzelei- genschaften [2-7,9, 15, 20, 21]	Lichtzahl (L) [8, 13]	Feuchte- zahl (F) [8, 13]	Verwendung als Bodenfestiger in Form von [14]
Faulbaum <i>Frangula alnus</i>	schnellwüchsig (Weichholz)	<ul style="list-style-type: none"> - bildet Wurzelsprossen - giftig [15, 21]	Herzwurzel	flachgründig	3	3+w+ - 4w	bewurzelte Pflanzen
Esche <i>Fraxinus excelsior</i>	zu Beginn langsam, dann rasches Wachstum (Hartholz)	<ul style="list-style-type: none"> - erträgt stehendes Wasser nicht [3] - bildet Flachwurzeln bei anstehendem Grundwasser - Risiko Eschensterben [3, 15]	Pfahlwurzel, später Senkwurzel	eher flachgründig, weitreichend, kräftig	3	3+w+ - 4w	bewurzelte Pflanzen
Sanddorn <i>Hippophaë rhamnoides</i>	langsam wachsend	<ul style="list-style-type: none"> - Dornenstrauch - bildet Wurzelsprossen [15]	Herzwurzel	weit- und tiefreichend	4	2+w+	bewurzelte Pflanzen
Holz-Apfelbaum <i>Malus sylvestris</i>	langsam wachsend (Hartholz)	<ul style="list-style-type: none"> - bildet Wurzelsprossen - hoher ökologischer Wert für die Biodiversität [15, 17]	Herzwurzel		3	3w	-
Silberpappel <i>Populus alba</i>	schnellwüchsig (Weichholz, Pionierart)	<ul style="list-style-type: none"> - erträgt periodische Überschwemmungen - weniger empfindlich gegenüber Wechselstrockenheit als <i>Populus nigra</i> - lichtbedürftig, konkurrenzschwach - bildet Wurzelsprossen [3, 6]	Senkwurzel	weit ausreichend	4	3+w+	bewurzelte Pflanzen
Schwarzpappel <i>Populus nigra</i>	schnellwüchsig (Weichholz, Pionierart)	<ul style="list-style-type: none"> - kann Schwermetalle entziehen - erträgt periodische Überschwemmungen - unempfindlich gegenüber Verlandungen (kann am Stamm neue Wurzeln bilden) - lichtbedürftig, konkurrenzschwach - stark gefährdete Baumart [3, 4, 12]	Flachwurzel	flachgründig, kräftige, weite Ausläufer	3	4w+	bewurzelte Pflanzen
Gewöhnliche Traubenkirsche <i>Prunus padus</i>	rasches Wachstum (Weichholz)	<ul style="list-style-type: none"> - bildet Wurzelsprossen - hohe Ausschlagfähigkeit - teilweise giftig [21]	Herzwurzel	flachgründig, intensiv	2	3+w+ - 4w	bewurzelte Pflanzen

Gehölz	Wuchsgeschwindigkeit [1, 3, 4, 19, 21]	Besonderheiten	Wurzelform [2-7, 15, 20, 21]	Wurzelei- genschaften [2-7,9, 15, 20, 21]	Lichtzahl (L) [8, 13]	Feuchte- zahl (F) [8, 13]	Verwendung als Bodenfestiger in Form von [14]
Stieleiche <i>Quercus robur</i>	rasches Jugendwachstum, später sehr langsam (Hartholz)	<ul style="list-style-type: none"> - sehr lichtbedürftig in Jugendphase - erträgt kurzfr. Staunässe u. period. Überschwemmungen - Symbiose mit Mykorrhizapilzen [3, 4, 9]	Pfahlwurzel, später Herzwurzel	tiefgründig, intensiv	3	3+w+	bewurzelte Pflanzen
Silber-Weide <i>Salix alba</i>	schnellwüchsig (Weichholz, Pionierart)	<ul style="list-style-type: none"> - wassertolerant (dank Interzellularräumen in Wurzeln) - Adventivwurzeln - hohen Elastizität - lichthungrig, ertragen nur wenig Beschattung - hoher ökologischer Wert für die Biodiversität [4, 11, 17]	Flachwurzel	flachgründig, dicht	3 (**)	4+fw+	Pflanzenteile, Stecklinge
Purpur-Weide <i>Salix purpurea</i>	schnellwüchsig (Weichholz, Pionierart)	<ul style="list-style-type: none"> - wassertolerant (dank Interzellularräumen in Wurzeln) - Adventivwurzeln - hohen Elastizität - lichthungrig, ertragen nur wenig Beschattung [4, 11, 15, 17]	Flachwurzel	flachgründig, dicht verzweigt	4	3w	Pflanzenteile, Stecklinge
Korb-Weide <i>Salix viminalis</i>	schnellwüchsig (Weichholz, Pionierart)	<ul style="list-style-type: none"> - wassertolerant (dank Interzellularräumen in Wurzeln) - Adventivwurzeln - hohen Elastizität - lichthungrig, ertragen nur wenig Beschattung [4, 11, 15, 17]	Flachwurzel	flachgründig, weiträumig	4	4w+	Pflanzenteile, Stecklinge
Bergulme <i>Ulmus glabra</i>	rasches Wachstum (Hartholz)	<ul style="list-style-type: none"> - erträgt periodische Überschwemmungen gut - Risiko Ulmensterben (jedoch am wenigsten anfällige Art) [3, 15]	Pfahlwurzel, später Herzwurzel	tiefgründig, kräftig, dicht verzweigt	2	3+w+ - 4w	bewurzelte Pflanzen
Feldulme <i>Ulmus minor</i>	rasches Wachstum (Hartholz)	<ul style="list-style-type: none"> - erträgt periodische Überschwemmungen gut - bildet Wurzelsprossen - Risiko Ulmensterben [3, 7, 15]	Pfahlwurzel, später Herzwurzel	flach-bis tiefgründig, anpassungsfähig	3	3+w+ -4w	bewurzelte Pflanzen
Gemeiner Schneeball <i>Viburnum opulus</i>	schnellwüchsig (Weichholz)	<ul style="list-style-type: none"> - unempfindlich gegenüber längerer Überflutung - bildet Wurzelsprossen [15, 21]	Flachwurzel	flachgründig, weitreichend, intensiv	3	3+w+	bewurzelte Pflanzen

Legende zu Tabelle 6

Lichtzahl (L)

- 1 sehr schattig
- 2 schattig
- 3 halbschattig *Anm. der Autoren: Corylus avena (*) ist schattentoleranter als Salix alba (**), was für die ingenieurbioologische Wirkung in halbschattigen Bereichen entscheidend ist.*
- 4 hell
- 5 sehr hell

Feuchtezahl (F)

- 1 sehr trocken
- 1+ trocken
- 2 mässig trocken
- 2+ frisch
- 3 mässig feucht
- 3+ feucht
- 4 sehr feucht
- 4+ nass
- 5 überschwemmt, bzw. unter Wasser
- f im Bereich von fliessendem Bodenwasser
- u in der Regel im Wasser untergetaucht
- v mit untergetauchten und schwimmenden Organen
- w Feuchtigkeit mässig wechselnd (\pm 1-2 Stufen)
- w+ Feuchtigkeit stark wechselnd (mehr als \pm 2 Stufen)

Literaturangaben zu Tabelle 6

- [1] <https://www.infoflora.ch/de/lebensraeume/vollst%C3%A4ndige-auflistung/vollst%C3%A4ndige-auflistung-typoch.html>
- [2] Skript Grundlagen Naturmanagement 1, Teil Ingenieurbioologie, ZHAW, 2017
- [3] Mitteleuropäische Waldbaumarten: Artbeschreibung und Ökologie unter besonderer Berücksichtigung der Schweiz, Professur für Waldbau und Professur für Forstschutz & Dendrologie der ETH Zürich, 2002
- [4] <http://www.gehoelze.ch>
- [5] <https://www.baumlexikon.com/wurzeln>
- [6] <https://www.baumportal.de>
- [7] <https://baumkunde.de>
- [8] <https://www.infoflora.ch/de/flora/>
- [9] <https://www.uni-goettingen.de/de/im+reich+der+b%c3%a4ume/10235.html>
- [10] Ingenieurbioologische Bauweisen im naturnahen Wasserbau. Praxishilfe. Umwelt-Wissen 1004, überarbeitete Ausgabe, Bundesamt für Umwelt (BAFU), H. Zeh, 2010
- [11] Ingenieurbioologische Bauweisen an Fließgewässern. WBW Fortbildungsgesellschaft für Gewässerentwicklung mbH & LUBW Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg, Karlsruhe, Teil 1 - Leitfaden für die Praxis, A. Jany & P. Geitz, 2013
- [12] <https://www.waldwissen.net/de/lebensraum-wald/baeume-und-waldpflanzen/laubbaeume/die-schwarzpappel-populus-nigra>
- [13] Zeigerwerte heimischer Gehölze gemäss Landolt 1977, Skript HS Wädenswil, U. Brändli, WSL, 2001
- [14] Heimische Gehölze Bedeutung Verwendung, U. Brändli, WSL, 2001
- [15] Handbuch Wasserbau, Gehölze an Fliessgewässer, Heft 6, 1993
- [16] https://www.lwf.bayern.de/mam/cms04/boden-klima/dateien/w42_die_schwarzerle_dendrologische_anmerkungen.pdf
- [17] Berner Praxishandbuch Biodiversität, Artenliste Bäume, Stadtgrün Bern, 2021
- [18] Berner Praxishandbuch Biodiversität, Artenliste Wildsträucher, Stadtgrün Bern, 2021
- [19] <https://www.timberpolis.ch/wood-species>
- [20] https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/heimische-gehoelze-unserer-kulturlandschaft_lfl-information.pdf
- [21] Gehölze an Fliessgewässer, LUBW, 2007

E.8 Versagensmechanismen und deren Handhabung

E.8.1 Versagensmechanismen

Die wichtigsten Versagensursachen und -mechanismen werden im Folgenden kurz erläutert.

Versagen durch Kolkbildung / Unterspülung / Überströmen

ELJs bilden Hindernisse in der Strömung und führen entsprechend zu Strömungsumlenkungen und -Ablösungen. Diese lokalen Veränderungen der Strömung können Kolke herbeiführen (siehe auch Kapitel E.5.1). Bei einer gewissen Kolkentiefe besteht die Gefahr, dass das Fundament der Struktur untergraben wird und die Struktur abrutscht. Dieser Prozess kann kontinuierlich oder auch plötzlich auftreten, z.B. als Folge eines grossen Ereignisses. Ausserdem verringert sich durch die Kolkbildung die Einbindetiefe der Pfähle, was den Erdwiderstand und somit die rückwirkenden Kräfte reduziert. Das Versagen durch Kolkbildung ist nicht spezifisch für ELJ-Strukturen, sondern gilt für alle Bauwerke, die einer Strömung ausgesetzt sind. Werden ELJs bei grösseren Ereignissen überströmt, besteht die Gefahr, dass aufgrund der grossen Schubspannungen Material an der Oberfläche der Struktur abgetragen wird. Dies ist insbesondere von Bedeutung, wenn sich die Vegetation noch nicht vollständig etabliert hat und so keinen zusätzlichen Erosionsschutz bietet. Je nach Menge des abgetragenen, losen Materials liegt ein Teil der Holzstruktur anschliessend ungeschützt frei und kann beschädigt werden. Ausserdem geht ein Anteil der Auflast verloren und das Kräftegleichgewicht wird gestört, so dass der Auftrieb gegebenenfalls dominiert und die Gleitsicherheit der ELJ-Struktur nicht mehr gewährleistet werden kann. Bei entsprechend grossen Ereignissen können auch ausgewachsene Bäume aus der ELJ-Struktur entwurzelt werden, was beträchtliche lokale Schäden nach sich ziehen kann.

Innere Erosion

Da ELJs mit losem Material hinterfüllt werden, sind sie innerer Erosion ausgesetzt. Innere Erosion wird durch Sickerströmungen in der Bodenmatrix verursacht und führt zum Austrag des feineren, losen Materials aus der Struktur. Entsprechend besteht die Gefahr, dass die Struktur in sich zusammenfällt. Des Weiteren muss auch hier mit einer Verschiebung des Kräftegleichgewichts aufgrund von Auflastverlust gerechnet werden. Grosse Geschwindigkeitsgradienten zwischen Fliessgewässer und Sickerströmung erhöhen zusätzlich die innere Schubspannung und somit das Potential innerer Erosion. Die Gefahr von innerer Erosion ist, im Zeitraum bevor sich die Vegetation etabliert und die Bodenmatrix durch Wurzelbildung zusätzlich sichert, am grössten. Die innere Erosion ist ein kontinuierlicher Prozess, der kaum von grösseren Ereignissen beeinflusst wird.

Fehlender Aufwuchererfolg und Schwemmholznachschub

Die aufkommende Vegetation und auch die Akkumulation von Schwemmholz übernehmen weitere wichtige Funktionen bezüglich der langfristigen Stabilität einer ELJ-Struktur. Kann sich keine Pflanzengesellschaft mit den dazugehörigen Gehölzen etablieren, kann die geplante Stabilisierung langfristig nicht gewährleistet werden, denn die Holzstruktur in der Wasserwechselzone ist ständig wechselnden Bedingungen ausgesetzt und wird dort relativ schnell zersetzt. Fehlt die geplante Vegetation, kann die statische Funktion der zersetzten Holzpartie nicht von den nachkommenden Gehölzen bzw. deren Durchwurzelung übernommen werden. Damit wird der Bereich des ELJs, der über der (Nieder-) Wasserlinie liegt, insgesamt destabilisiert. Als Gründe für eine gescheiterte Etablierung der Vegetation sind unter anderem Planungsfehler und Fremdeinwirkung (Biberfrass, grosse Belastung durch Naherholende, lange andauernde Trockenheit etc.) zu nennen. Fehlt der Nachschub an Schwemmholz aus dem Fluss, verfängt sich an den dafür vorgesehenen rauen Flächen/Fronten des ELJ zu wenig Material. Dadurch reduziert sich diese strömungsexponierte «Verschleisssschicht» über die Zeit, da die Zersetzung die Neubildung derselben überwiegt. Langfristig kann dies ebenfalls zu Destabilisierungen bzw. zu einer Herabsetzung der Lebensdauer des Bauwerks führen.

E.8.2 Handhabung

Welche der verschiedenen Versagensursachen relevant sind und wie diesen vorgebeugt werden kann, ist stark projektspezifisch. Insbesondere Grundstruktur und Bautyp der betrachteten ELJ-Struktur sowie deren Zweck sind von grosser Bedeutung.

Versagen durch Kolkbildung / Unterspülung / Überströmen

Für ELJs, welche hauptsächlich als Ufer- oder Objektschutzmassnahmen dienen, sind insbesondere abrupte Versagen ungünstig. Versagt das Bauwerk plötzlich, kann der Schutz des Ufers/Objekts noch während demselben Ereignis nicht mehr gewährleistet werden und grosse Schäden sind wahrscheinlich. Entsprechend ist besonders darauf zu achten, den Kolkschutz sorgfältig zu planen und einzubauen (Kap. E.5.1). Ausserdem können die erstellten mechanischen

Verbindungen (Anhang F) die ELJ-Struktur weiterhin stabilisieren, auch wenn Teile der Struktur unterspült wurden. Kontinuierliche Versagensmechanismen sind weitaus weniger relevant für Ufer- und Objektschutz-ELJs. Für Inselkopf-ELJs ist neben der Kolkbildung insbesondere auch das Überströmen relevant (Kap. E.5.3). Da sich Inselkopf-ELJs meist mitten in der Strömung befinden, sind der Strömungsdruck und die Schubspannungen entsprechend grösser als beispielsweise am Ufer. Dem kann bis zu einem gewissen Grad mit der Planung einer entsprechend höheren ELJ-Struktur (über dem Dimensionierungswasserspiegel) begegnet werden. Die Auffüllung oberhalb der ELJ-Struktur muss der maximal einwirkenden Schubspannung, die während dem Dimensionierungsereignis auftreten kann, standhalten. Kann dies nicht gewährleistet werden, sollte ein Erosionsschutz angebracht werden. Bei Grossereignissen sind insbesondere noch nicht ausreichend durchwurzelte Inselkopf-ELJs bzw. dessen obere Schichten durch Oberflächenerosion gefährdet. Das Versagen von ELJs, die ausschliesslich der ökologischen Aufwertung dienen, ist nicht zwingend einem Totalausfall der ökologischen Aufwertung gleichzusetzen: Wird eine ELJ-Struktur ganz oder teilweise zerstört, ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass sich weiter flussabwärts aus den Trümmern neue Strukturen bilden, was grundsätzlich dem natürlichen Mechanismus entspricht. Dennoch gilt, dass beim Versagen einer ELJ-Struktur grundsätzlich grosse Mengen Schwemmholtz oder Geschiebe mobilisiert und transportiert werden können. Stromabwärts können diese eine Gefahr darstellen, zum Beispiel durch Verklauungen bei Brücken oder Beschädigung von Kraftwerken. Solche Schadenspotentiale abseits des eigentlichen Projektperimeters sind in der Planung von ELJ-Projekten angemessen zu berücksichtigen.

Schäden durch Ausspülungen / Zerfall

Schäden an der ELJ-Struktur durch Ausspülungen und Zerfall der Holzstruktur werden im Zielzustand mittelfristig eigen-dynamisch durch eingetragenes Geschiebe und Totholz kompensiert. Ist das nicht der Fall, können gegebenenfalls Reparaturen / ingenierbiologische Massnahmen einfach ergriffen werden.

Innere Erosion

Der Inneren Erosion ist zwingend durch die Dimensionierung und Ausbildung einer ausreichend dichten Grenzschicht zu begegnen (siehe Anhang A.1).

Fehlender Aufwuchererfolg und Schwemmholtznachschub

Eine Initialbepflanzung sowie der Einbau von ausschlagfähigen Setzhölzern kann helfen, den nötigen Gehölzbewuchs in kürzerer Zeit zu etablieren. Ferner ist es möglich, Art und Zustand der Bestockung periodisch zu kontrollieren und bei Bedarf Nachpflanzungen vorzunehmen. Nicht jedes Hochwasser führt Schwemmholtz mit sich und für die Erneuerung der ELJ Struktur können auch seltene Akkumulationsereignisse ausreichend sein. Gänzlich fehlendem Schwemmholtznachschub kann nur schwer begegnet werden und ist daher bereits in der Planung zu berücksichtigen (mögliche Herabsetzung der Lebensdauer).

Anhang F Verbindungstechnik

Um das Bauholz ineinander und gegenüber den Pfählen zu verzahnen, stellt sich die Frage der anzuwendenden Verbindungstechnik. Angelehnt an die Herkunft der ELJs, namentlich natürlichen Tothholzverkläusungen, welche übrigens auch durch den Biber erstellt werden, sollte zuerst über die Notwendigkeit einer künstlichen Verbindung nachgedacht werden. In gewissen Fällen, abhängig vom vorhandenen Baumaterial und den möglichen Auswirkungen beim Abschwemmen oder gar Zerfallen der Struktur, kann möglicherweise auf eine künstliche Verbindung der Elemente verzichtet werden. Sollte es dennoch notwendig sein eine künstliche Verbindung auszuführen, gilt es folgende Grundsätze zu beachten:

In einer langfristigen Betrachtung werden Verbindungselemente aus Fremdmaterial zwangsläufig im Gewässer verbleiben und möglicherweise verfrachtet werden. Aus diesem Grund sollte in keinem Fall Material verwendet werden, welches Mensch, Tier und Anlagen wie Wasserkraftwerke gefährden könnte. Verbindungen mittels Stahlseilen sollten deshalb nicht verwendet werden. Weiter sind die Verbindungen im Grundsatz schwimmend auszuführen, um keine zusätzlichen Belastungen vom Bauholz auf die Pfähle zu übertragen. Sollte dies nicht gewünscht oder möglich sein, sind die Auswirkungen zwingend in der Dimensionierung zu berücksichtigen.

F.1.1 Empfohlene mechanische Verbindungstypen

Stabverbindungen

Unbehandelte Stabstahlverbindungen (Stahl schwarz) eignen sich grundsätzlich für den Bau von ELJs, da sie auch langfristig keine Belastungen für das Gewässer darstellen und die auftretenden Kräfte übertragen können. Weiter werden sie beim Versagen von einzelnen Hölzern oder nach dem Zerfall der Bauhölzer aufgrund ihrer Materialdichte nicht oder nur leicht verfrachtet (Verbleib im Flussschotter). Der Stabstahl wird für die Verbindung des Bauholzes ineinander eingesetzt. Je nach Bedarf und Anwendung können einfache Armierungseisen (Schwellennägel, Abbildung 48) oder Stabspannsysteme eingesetzt werden (siehe Abbildung 47). Dabei ist das Holz vorzubohren und die Eisen nicht direkt durch das Holz zu treiben (Verletzung vom Baumaterial mit wesentlichen Auswirkungen auf die Lebensdauer).



Abbildung 47: Dywidag Stabspannsystem mit Unterlagscheibe und Mutter



Abbildung 48: Armierungseisen als Nagelverbindung

Ankerverbindungen

Um bei Bedarf die Struktur auf eine feste, felsige Unterlage zu verankern, können Felsanker ggf. in Kombination mit Stabverbindungen verwendet werden. Diese Technik eignet sich v.a. wenn felsiger Untergrund anstehend ist oder ein Ankerstein verwendet werden soll. Abbildung 49 zeigt die Verankerung mittels Felsanker auf einen Blockstein, welcher im Flussschotter eingegraben werden kann und Abbildung 50 illustriert das direkt dran befestigte Bauholz.



Abbildung 49: Felsanker mit Ankerstange in Blockstein



Abbildung 50: Befestigter Wurzelstamm auf Ankerstein

Holzverbindungen (Holznägel, Zimmermannsknoten oder ähnliches)

Alternativ zu den beschriebenen Stabverbindungen sind gemäss der alten Holzbautradition auch Verbindungen mit Holznägeln oder ineinandergreifenden Holzzuschnitten denkbar. Für den Einsatz von Holznägeln empfiehlt sich die Verwendung von dauerhaften, gedrechselten Holzstäben (in entsprechende Bohrlöcher). Dabei ist zu beachten, ausschliesslich Kernholz zu verwenden um die negativen Aspekte durch den schnellen Verfall des Basts, Splintholzes und der Rinde auszuschliessen. Idealerweise wird Kastanienholz verwendet, da dies einerseits in der Schweiz gut verfügbar ist, sich im mittleren Preissegment bewegt (entgegen z.B. der Eiche) und sehr dauerhaft ist. Von der Verwendung von weniger dauerhaften Holzarten wird abgeraten (vgl. Tabelle 3). Die Materialstärke der Holznägel hängt von den auf die Struktur wirkenden Kräften und der Anzahl vorgesehener Verbindungen ab und ist somit jeweils projektspezifisch festzulegen. Einfache Feldversuche zu den Belastungsgrenzen der Verbindungen können zudem kostengünstig, während dem Bau mit den vorhandenen Geräten vorgenommen werden.



Abbildung 51: Holzverbindung mit Robinen-Kantholz. Der Einschnitt im Baumstamm fällt relativ gross aus und schwächt die Dauerhaftigkeit der Struktur.



Abbildung 52: Holz Verbindung mit gedrechseltem Rundholz und gebohrtem Verbindungsloch. Ideale Holzverbindung durch die geringe Schwächung des Baumstammes, sowie feste Verbindung durch das Quellverhalten des Holzes.

F.1.2 Problematische mechanische Verbindungstypen

Seilverbindungen

Alternativ zu Stahlseilen («loser» Verbleib der Seile im Gewässer führt zu Verletzungsgefahr, Problemen bei unterliegenden Kraftwerken, etc.) können synthetische Seile oder Naturseile verwendet werden. Aufgrund der mechanischen Beanspruchung durch die innere Bewegung der Struktur und durch den Geschiebetrieb wird die Lebensdauer jedoch derart reduziert, dass mit diesem Verbindungstyp kein befriedigendes Resultat erzielt werden kann. Die Verbindungen werden höchstwahrscheinlich vor der vollständigen Durchwurzelung versagen und die Stabilität des Bauwerks kann nicht mehr gewährleistet werden.

Kunststoffverbindungen

Moderne Kunststoffe sind sehr widerstandsfähig, können die auftretenden Kräfte übertragen, sind potenziell günstig und in beinahe jeder Form erhältlich. Somit wären sie eigentlich gut geeignet für das vorliegende Einsatzgebiet. Die Erfahrung zeigt jedoch, dass der Kunststoff aufgrund der mechanischen Beanspruchung des Geschiebetriebes und der UV-Strahlung langfristig zerfällt und so Mikroplastik entstehen kann. Aufgrund der bereits bekannten grossen Probleme von Mikroplastik in verschiedenen Ökosystemen wird von der Anwendung solcher Verbindungstypen abgeraten. Im Grundsatz kann auch pauschal die Aussage gemacht werden, dass Kunststoff nicht in ein Ökosystem eingebracht werden sollte.

F.1.3 Pro und kontra verbundene Bauweise

Pro:

- Örtlich lokales Versagen der Struktur (z.B. frühzeitiger Zerfall, Unterspülung, innere Erosion, etc.) wird durch die seitlich angrenzenden, verbundenen Elemente aufgenommen (Verbindung von Segment zu Segment)
- Geschlossene Bauweisen bieten weniger Anprallfläche für Schwemmholz (lokale erhöhter Kraftabtrag) und lokale Strömungsablösungen (Gefahr von innerer Erosion)
- Die statische Sicherheit wird erhöht

Kontra:

- Grössere Anzahl an Stahlverbindungen (Verbleib im Gewässer)
- Arbeitsaufwändig
- Weniger natürlicher Verwitterungs- und Umbauprozess der Struktur (Freiheitsgrad der Entwicklungsmöglichkeit wird tendenziell reduziert)
- Bei einem allfälligen Versagen wird die gesamte Struktur betroffen sein

Anhang G Spezialgeräte / Bautechnik

G.1 Pfählen

Für die Erstellung der Pfähle kommen unterschiedliche Techniken zum Einbringen der Pfähle in Frage. Abhängig vom Untergrund (Material, Lagerungsdichte, etc.) eignen sich teilweise Rammgeräte oder Vibrationshämmer besser. Nachfolgend sind die in der Schweiz eingesetzten Baugeräte kurz beschrieben.



Abbildung 53: Rammgerät Hänge- und Schwingmäkler (Bildquelle: Liebherr-International AG)

Vorteil: Sehr leistungsstark, grosse Reichweite

Nachteil: Zugänglichkeit (Bautrasse) oft einschränkend. Kostenintensiv.



Abbildung 54: Bohrergerät mit Kellybohrverfahren. (Bildquelle: Liebherr-International AG)

Vorteil: Möglichkeit in Sandstein zu Bohren

Nachteil: Zugänglichkeit (Bautrasse) oft einschränkend. Kostenintensiv.



Abbildung 55: Umgebauter Abbauhammer mit Glockenaufnahme für Baumstämme als Anbauwerkzeug am Hydraulikbagger.

Vorteil: Einfach und kostengünstig

Nachteil: Kann die Stämme nur einhämmern, nicht positionieren und halten. Begrenzte Leistung



Abbildung 56: Vibro-Ramme mit Klemmaufnahme als Anbaugerät an Hydraulikbagger. Typ Oscar Meier AG.

Vorteil: Klemmaufnahme für direktes Versetzen und einvibrieren der Pfähle. Relativ leistungsstark.

Nachteil: Bedarf einen grösseren Hydraulikbagger (> 30 to.). Aufnahme für grössere Durchmesser nicht geeignet.



Abbildung 57: Umgebaute Vibroplatte mit Glockenkopf für Stammaufnahme und Greifer als Anbauwerkzeug an Hydraulikbagger.



Abbildung 58: Detailfoto (umgebauter Abbauplatte mit Glockenaufnahme links, umgebaute Vibroplatte mit Glockenkopf rechts).

Vorteil: Einfach und kostengünstig

Nachteil: Leistungsschwach.

6.2 Pfahlspitzen



Abbildung 59: Baum-Pfähle mit Stahlspitzen: Vollmantelspitzen (für dicht gelagerten Kies und stark verwitterter Fels) empfohlen

Streifen-Verstärkte Spitzen: Für normal gelagerten Kies und sonstig weicheren Untergrund ausreichend und kostengünstig.

Bezug beim Baumeister oder Metallbauer (Eigenbau).

Anhang H Fallbeispiele Schweiz

H.1 Aare, Löchligut Bern

Auftraggeber: Tiefbauamt des Kantons Bern

Planer: Emch+Berger AG Bern

Literatur: (Widmer, et al., 2018)

Ziele: Habitataufwertung
Uferschutz

ELJ-Typen: Uferschutz-ELJs, als Längsverbau (90 m) und als Objektschutz (60 m)

Status: Umgesetzt Frühjahr 2018

Erfolg: Erste Flussufersicherung aus Holz in Europa
ELJ Umsetzung unter Restriktion von Nutzung durch Schwimmer und Boote

Erfahrungen: Schweizweit erste grössere ELJ Struktur in einem Fluss, Ausführliche Schlussdokumentation vorhanden, siehe (Widmer, et al., 2018)

Links: [Ufersanierung Aare im Löchligut, Stadt Bern | Emch+Berger](#)

Abbildungen,
Bildmaterial:



H.2 Sense, Ruchmühle BE

Auftraggeber: Renaturierungsfonds des Kantons Bern

Planer: Emch+Berger AG Bern

Literatur: (Werdenberg, et al., 2020); (Kislig, et al., 2020)

Ziele: Habitataufwertung
Auenrevitalisierung

ELJ-Typen: Inselkopf-ELJs (2 Stk.)
Deflektor-ELJ (1 Stk.)

Status: Umgesetzt Frühjahr 2020

Erfolg: Schweizweit erstes ELJ-Design mit Inselkopf und Deflektor in Aue von nationaler Bedeutung.

Erfahrungen: Materialoptimierte Insel-ELJs, relativ kostengünstig. Begehung Herbst 2021: Deutliche morphologische Anpassungen und Schwemmholzakkumulation im Gange. Strukturen gut angeströmt, tiefe Kolke. Strömungslenkung im Gang, Inselbildung teils in Entwicklung, teils Geschiebeanlandung hinter ELJ durch Überströmung verringert.

Links: [Engineered Log Jams in der Sense, Ruchmühli | Emch+Berger](#)

Abbildungen,
Bildmaterial:



H.3 Aare Fahrhubel, Belp BE

Auftraggeber: Tiefbauamt des Kantons Bern

Planer: Kissling + Zbinden AG, Bern

Ziele: Habitataufwertung
Uferschutz

ELJ-Typen: Bühnen-ELJs (2 Stk.)

Status: Umgesetzt Winter 2019/2020.
Material: 210 Stammstücke \approx 220 m³ Holz, 170 m³ Schroppen & Blocksteine

Erfolg: Schweizweit erste ELJ-Bühnen für Uferschutz

Erfahrungen: Dimensionierungshochwasser (Juli 2021) schadlos überstanden. ELJ sehr gross und daher teuer. Im Sinne einer Optimierung wird zukünftig Typ B.2 erstellt. Pflanzung trotz Hochwasser erfolgreich, jedoch auch Neophyten (konnten aber erfolgreich eliminiert werden kann).

Links: [Fahrhubel](#)

Abbildungen,
Bildmaterial:



H.4 Emme, Utzenstorf-Bätterkinden BE

Auftraggeber: Schwellenverband Emme Sektion II

Planer: Stebler+Dällenbach GmbH, Burgdorf

Ziele: Habitataufwertung in Flussaufweitung
Auenrevitalisierung

ELJ-Typen: Inselkopf-ELJs (6 Stk.)

Status: Umgesetzt Winter 2020/2021 (2 Stk), Winter 21/22 (4 Stk)

Erfolg: Schweizweit erste ELJ Strukturen in eigendynamischer Flussaufweitung

Erfahrungen: Begehungen Frühjahr 2021: Erste morphologische Anpassungen, Inselbildung sowie Schwemmholzakkumulation und Gehölzaufwuchs im Gange. Seitenerosion / Flussverbreiterung im Bereich des oberen Inselkopf-ELJ deutlich. Weitere grosse Bäume sind durch Seitenerosion in das aufgeweitete Gerinne gefallen. Einige davon wurden zusätzlich verankert und wirken als natürliche log jams..

Links: [Revitalisierung Ämmeschache-Urtenesumpf - Gemeinde Utzenstorf](#)

Abbildungen,
Bildmaterial:

