



Renaturierung  
Régénération des eaux

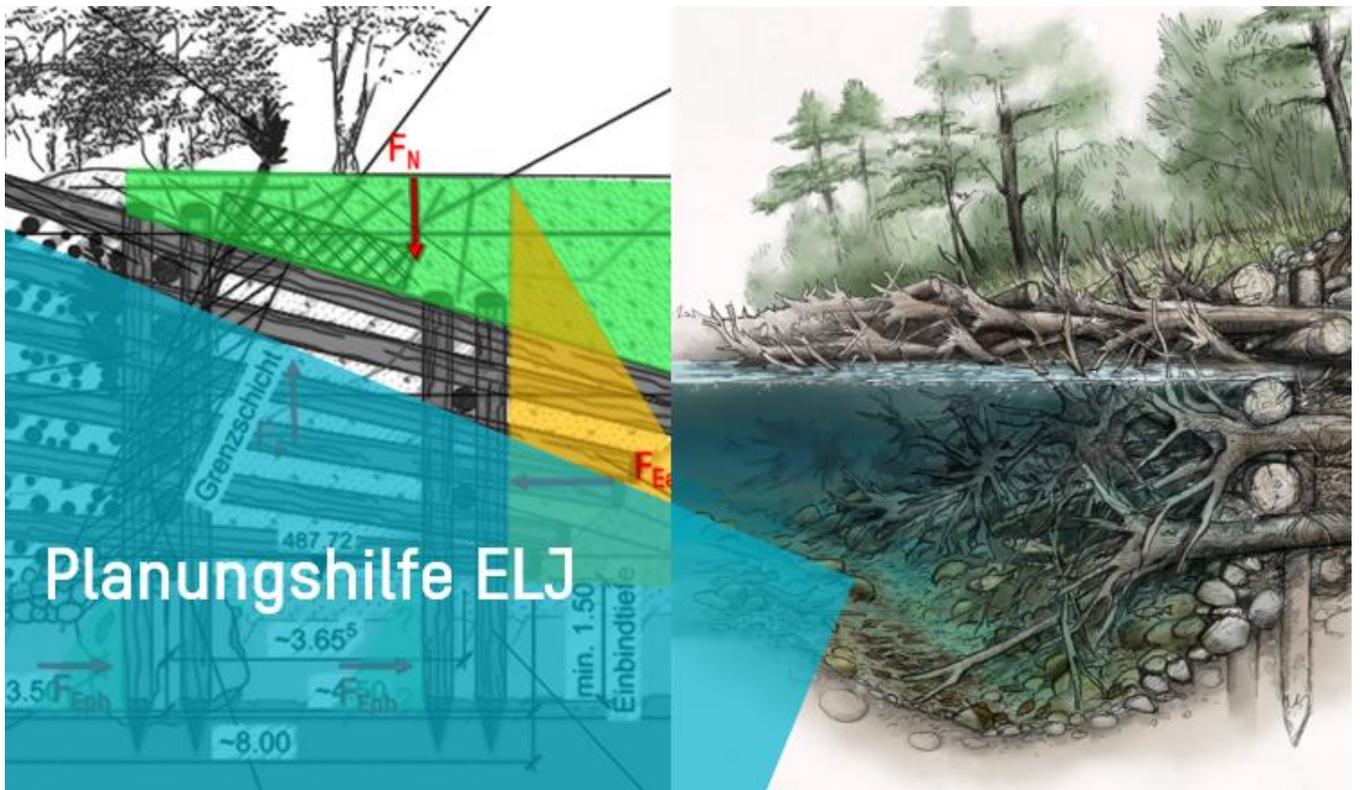
# Engineered Log Jam (ELJ) Planungshilfe

Amt für Landwirtschaft und Natur



# Planungshilfe Engineered Log Jam (ELJ)

Grundlagen – Dimensionierung – Planung – Bau



## Impressum



Emch+Berger AG Bern  
bern@emchberger.ch | www.emchberger.ch

**Gesamtlösungen sind unser Plus**



Auftraggeber	UE170034.100 Renaturierungsfonds des Kantons Bern Olivier Hartmann
Datum	13. Januar 2019
Version	1.0
Vorversionen	-
Autor(en)	Andreas Widmer (andreas.widmer@emchberger.ch) Simon Haupt (simon.haupt@emchberger.ch) Niels Werdenberg (niels.werdenberg@emchberger.ch)
Zeichnungen	© Emch+Berger AG Bern, Denis Rochat (denis.rochat@emchberger.ch)
Illustrationen	© Emch+Berger AG Bern, Denis Rochat (denis.rochat@emchberger.ch)
Planausschnitte	© Emch+Berger AG Bern
Fotos	© Emch+Berger AG Bern
Freigabe	Warin Bertschi (warin.bertschi@emchberger.ch)
Verteiler	öffentlich
Datei	J:\F_WN\F_Fs17\UE170034_UHA_Aare\4_plan\47_abschl\Handbuch_ELJ\UE170034_B_190113_Handbuch_ELJ.docx
Seitenanzahl	60

---

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Vorwort</b>	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>Einleitung</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>7</b>
<b>3.1</b>	<b>Referenzzustand natürliche Fließgewässer</b>	<b>7</b>
3.1.1	Anthropogene Beeinflussung in Europa	8
3.1.2	Natürliches Vorkommen von Totholz in Fließgewässern	8
3.1.3	Was wäre ein natürlicher Referenzzustand?	9
<b>3.2</b>	<b>Definition Engineered Log Jam (ELJ)</b>	<b>9</b>
<b>3.3</b>	<b>Herkunft und Verbreitung</b>	<b>9</b>
<b>3.4</b>	<b>Funktionsprinzip</b>	<b>10</b>
3.4.1	Natürliche Sukzession im Referenzzustand	10
3.4.2	Natürliche Sukzession bei Totholzangel	11
3.4.3	Natürliche Sukzession bei ELJ-Strukturen	12
3.4.4	Wirkung bei Hochwasser	13
3.4.5	Lebensraumaufwertung	14
3.4.6	Versagensmechanismen	17
3.4.7	Zeitliche Entwicklung / Lebensdauer	17
3.4.8	Zielzustand	20
<b>3.5</b>	<b>Einsatzgebiete</b>	<b>20</b>
3.5.1	Uferschutz	20
3.5.2	Strömunglenkung	20
3.5.3	Strömungsaufteilung, verzweigte Gerinne	20
3.5.4	Sohlensicherung	20
<b>3.6</b>	<b>ELJ Bauformen</b>	<b>20</b>
3.6.1	ELJ-Uferverbau	22
3.6.2	ELJ-Buhne	22
3.6.3	ELJ-Inselkopf	22
3.6.4	Gerinnequerende ELJs	22
<b>3.7</b>	<b>Strukturaufbau</b>	<b>23</b>
<b>4</b>	<b>Planung und Projektierung</b>	<b>26</b>
<b>4.1</b>	<b>Ausgangslage</b>	<b>26</b>
<b>4.2</b>	<b>Von der Idee zum Projekt</b>	<b>26</b>
<b>4.3</b>	<b>Teamentleistung ist gefragt</b>	<b>27</b>
<b>4.4</b>	<b>Baumaterial (Holz) als zentraler Faktor für die Planung</b>	<b>27</b>
4.4.1	Abstimmung mit forstlicher Planung	27
4.4.2	Gesteigerte Wertschöpfung	28
<b>4.5</b>	<b>Fachbegriffe</b>	<b>28</b>
<b>4.6</b>	<b>Planungsprozess</b>	<b>29</b>
4.6.1	Planen mit nicht normierten Naturmaterialien	29
4.6.2	Erforderliche Grundlagen	30
4.6.3	Variantenstudium - Vorprojekt	31
4.6.4	Bauprojekt	31
4.6.5	Finanzierung sicherstellen	33
<b>5</b>	<b>Dimensionierung</b>	<b>34</b>
<b>5.1</b>	<b>Integraler Flussbau</b>	<b>34</b>
<b>5.2</b>	<b>Flussabschnittsbetrachtung</b>	<b>34</b>
<b>5.3</b>	<b>Grundlagen</b>	<b>34</b>
5.3.1	Hydrologie	34
5.3.2	Hydraulik	34

5.3.3	Sediment.....	35
5.3.4	Baugrund .....	35
5.3.5	Baumaterial Holz .....	35
5.3.6	Schwemmholz .....	35
<b>5.4</b>	<b>Einwirkende Kräfte .....</b>	<b>36</b>
<b>5.5</b>	<b>Hydraulik .....</b>	<b>37</b>
5.5.1	Kolk .....	37
5.5.2	Strömungskraft .....	39
5.5.3	Überströmen.....	39
5.5.4	Anprall .....	39
5.5.5	Ökomorphologische Gesamtbetrachtung .....	39
<b>5.6</b>	<b>Statik .....</b>	<b>40</b>
5.6.1	Rückhaltende Kräfte.....	40
5.6.2	Treibende Kräfte .....	40
5.6.3	Gleitsicherheit .....	41
5.6.4	Kippsicherheit .....	41
<b>5.7</b>	<b>Verbindungstechnik .....</b>	<b>41</b>
5.7.1	Empfohlene mechanische Verbindungstypen .....	41
5.7.2	Problematische mechanische Verbindungstypen.....	42
5.7.3	Pro und kontra verbundene Bauweise .....	43
<b>5.8</b>	<b>Etablierung der Vegetation .....</b>	<b>43</b>
5.8.1	Recruitment Box Model .....	43
<b>5.9</b>	<b>Handhabung Versagensmechanismen .....</b>	<b>44</b>
<b>6</b>	<b>Realisierung und Bauleitung .....</b>	<b>45</b>
<b>6.1</b>	<b>Baumeistersubmission .....</b>	<b>45</b>
6.1.1	Leistungsverzeichnis .....	45
<b>6.2</b>	<b>Ausführungsplanung .....</b>	<b>46</b>
6.2.1	Alternativen sind vorzusehen .....	46
6.2.2	Baumschau.....	46
6.2.3	Bauleitung.....	46
6.2.4	Spezialgeräte und vorgängige Tests.....	47
<b>6.3</b>	<b>Bauausführung / Bauleitung.....</b>	<b>47</b>
6.3.1	Musterstrecke (-Etappe).....	47
6.3.2	Überwachung .....	47
<b>7</b>	<b>Chancen / Gefahren .....</b>	<b>48</b>
7.1	Chancen .....	48
7.2	Gefahren.....	48
<b>8</b>	<b>Zeitbedarf ELJ Projekt .....</b>	<b>50</b>
8.1	Wasserbauprojekt mit Rodungsarbeiten (z.B. Flussaufweitung) .....	50
8.2	ELJ Projekt nach einem Sturmereignis mit Windwurf .....	50
8.3	ELJ Projekt im Zuge einer geplanten forstlichen Massnahme.....	50
8.4	ELJ Projekt ohne konkrete Bezugsquelle für das Holz .....	50
<b>9</b>	<b>Kosten und Kostenvergleich .....</b>	<b>51</b>
<b>9.1</b>	<b>Erfahrungswerte .....</b>	<b>51</b>
9.1.1	International.....	51
9.1.2	Schweiz .....	52
<b>9.2</b>	<b>Kostenvergleich ELJ Ufersicherung – klassischer Uferverbau .....</b>	<b>52</b>
9.2.1	Fallbeispiel Aare Löchligut, Bern .....	52
<b>10</b>	<b>Fallbeispiele und Potentiale .....</b>	<b>53</b>
<b>10.1</b>	<b>Fallbeispiele International .....</b>	<b>53</b>
10.1.1	Nordamerika.....	53

10.1.2	Australien.....	54
<b>10.2</b>	<b>Fallbeispiele Schweiz .....</b>	<b>55</b>
10.2.1	Aare, Löchligut Bern .....	55
10.2.2	Emme, Utzenstorf BE .....	55
10.2.3	Sense, Oberflamatt BE / FR .....	55
10.2.4	Aare Fahrhubel, Belp BE.....	55
<b>10.3</b>	<b>Potential Schweiz .....</b>	<b>56</b>
10.3.1	Auenrevitalisierung.....	56
10.3.2	Sicherung Interventionslinien .....	56
10.3.3	Strömunglenkung .....	56
10.3.4	Uferschutz .....	56
10.3.5	Schwemmholzurückhalt .....	56
10.3.6	Sohlensicherung .....	56
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	<b>57</b>



# 1 Vorwort

Der Begriff «Engineered Log Jams» beschreibt eine Reihe grosser, holziger Bauweisen, die – der Natur abgeschaut – praktisch sofort nach Einbau auch starken Strömungsangriffen standhalten. Der Hauptbestandteil eines ELJs 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 Habitats 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 Totholzverklausungen – 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. Nicht zuletzt aufgrund der fehlenden Beispiele aus der Natur galten 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, Geschiebe, Raum und Zeit auch den fünften Prozesstreiber 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. 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 zu erkennen, zu kopieren und die daran ablaufenden Prozesse zu re-integrieren.

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.

Andreas Widmer  
Simon Haupt  
Niels Werdenberg  
Olivier Hartmann

## 2 Einleitung

Dieses Handbuch widmet sich den aus den USA stammenden «Engineered Log Jams», welche den ingenieurbioologischen Nachbau von natürlichen Stammverkläusungen 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 laufend selbst erneuern können und sich deutlich positiv auf die Fischfauna auswirken [Brooks, et al., 2006].

Einerseits soll mit dem vorliegenden Handbuch ein Verständnis für den grossen ökologischen und morphodynamischen Wert von massiven Totholzstrukturen 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 des Handbuchs 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 erste Version des Handbuchs spiegelt den aktuellen Stand des Wissens. Die Planungshilfe kann zukünftig mit weiteren Erkenntnissen und Praxisbeispielen erweitert werden.

## 3 Grundlagen

### 3.1 Referenzzustand natürliche Fließgewässer

Im Rahmen von Flussrevitalisierungen wird generell ein sogenannter natürlicher Referenzzustand des Fließgewässers angestrebt. Für gewöhnlich ist die Definition eines solchen Referenzzustands nicht trivial und insbesondere spezifisch pro Fließgewässer. Häufig werden daher historische Karten und ähnliche, vermeintlich naturbelassene Fließgewässer als Vergleich beigezogen. Das bekannte Paradebeispiel für einen naturbelassenen Fluss ist der Tagliamento in Italien. Allerdings sind solche Referenzzustände meist bereits von anthropogenen Einflüssen geprägt und entsprechen folglich nicht einem vollständig naturbelassenen Zustand. So wurde das Einzugsgebiet des Tagliamento bereits in früheren Zeiten gerodet, was zu einer Mobilisierung von grossen Geschiebemengen geführt hat (Hartmann, 2016). Weiter erreichen die Bäume im gewässernahen Bereich durch den Einfluss der Forstwirtschaft nicht mehr die natürliche Grösse (und entsprechendes Gewicht durch das Alter), welches dazu führt, dass die Bäume grösstenteils im Gewässer verfrachtet werden und nicht mehr als Fixpunkt für künftige Totholzansammlungen dienen können. Als Folge davon weist der Tagliamento noch heute ein beträchtliches Defizit an Totholzstrukturen und Vegetation auf und die natürliche Sukzession ist gestört. Die obere Isar in Bayern ist ein weiterer weitgehend naturbelassener Flussabschnitt in Europa, der noch eine sich dynamisch entwickelnde Auenvegetation und grössere Mengen an Totholzstrukturen aufweist (Bayerisches Landesamt für Umwelt). Jedoch gilt auch hier eine Einschränkung aufgrund der grösstenteils fehlenden alten Bäume. Gemäss Kail (2005) sind nahezu alle Fließgewässer in Mitteleuropa in Hinblick auf ihre Totholz-Ausstattung als extrem degradiert einzustufen. Selbst in scheinbar naturnahen Gewässern besteht ein Totholz-Defizit.



Abbildung 1 : Totholzstrukturen und Auenvegetation im Flussbett der oberen Isar (Bayerisches Landesamt für Umwelt).

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 nicht forstwirtschaftlich genutzt wurden, so beispielsweise der Taiya River in Alaska (Abbildung 2, links). Entsprechend ist in vielen Teilen Nordamerikas der natürliche Zustand der Gewässer noch relativ gut dokumentiert. Es ist offensichtlich, dass omniprésente Auenwälder, beholzte Inseln sowie grosse Mengen an mehr oder weniger dauerhaften Totholzstrukturen sowie

mobiles Schwemmholz, Bestandteile dieser natürlichen Zustände waren. Es scheint klar, dass auch für europäische Flüsse ähnliche natürliche Referenzzustände gelten sollten.

Im Gegensatz dazu das Beispiel des Quinault River (Abbildung 2, rechts) dessen Aufkommen von Auenwald durch starken Geschiebetrieb gestört ist. Rodungen im Einzugsgebiet haben zu einen übermässig starken Geschiebetrieb ausgelöst.



Abbildung 2: Taiya River, Alaska (links) und Quinault River, Washington (rechts).  
Quellen: Tim Abbe, 2011, entnommen von (Herrera Environmental Consultants, Inc., 2006);  
<http://static.panoramio.com/photos/large/27632206.jpg>.

### 3.1.1 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 wurde. Bereits die Römer rodeten grosse Waldflächen, welche die mediterrane Landschaft nachhaltig geprägt und verändert haben (Kuster, 2008). Dies veränderte die Wälder grundlegend und heute findet man fast keine Bäume in ihrer natürlichen maximalen Wuchsrösse mehr vor. Auch die Dezimierung und Ausrottung des Bibers führte zu einer morphologischen und ökologischen Verarmung des Flusslebensraums. Zusätzlich wurden in den letzten zwei Jahrhunderten die Flusssysteme in Form von Flusskorrekturen und -begradigungen, Hochwasserschutzbauten, Auenwaldrodungen, Staubauten, Flusswasserkraftwerken, usw. massiv manipuliert. 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 und Anzahl von Habitaten, durchgehende Sohlenabsenkungen, Grundwasserbeeinträchtigung, 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. Aufgrund solcher Erkenntnisse wird in jüngerer Zeit vermehrt versucht, Flusssysteme wo möglich wieder gezielt einem natürlichen Zustand anzunähern, um damit einige der geschaffenen Probleme zu entschärfen.

### 3.1.2 Natürliches Vorkommen von Totholz in Fließgewässern

Vor der menschlichen Einflussnahme waren Fließgewässer in Europa weitgehend von Primärwald (Urwald) gesäumt (Klimaxgesellschaft). Durch Alterungsprozess, Erosion, Windwurf und biologische Aktivität (Biber, Krankheitsbefall usw.) sowie durch Schwemmholz liefernde Hochwässer konnte laufend Totholz auf natürlichem Weg ins Gerinne gelangen. Tatsächlich sind Totholz mengen in vom Menschen unbeeinflussten Fließgewässern oft erstaunlich gross. Man schätzt, dass der Naturzustand für weite Teile der Schweiz bei 50 bis 80 m<sup>3</sup> grobem Totholz je 100 m Gewässerslänge liegt (Mende, 2018).

Aufgrund der genannten anthropogenen Einflüsse ging aber das Eintragungspotential von Totholz bereits relativ früh stark zurück. Zudem wurde (und wird) dennoch eingetragenes Tot- und Schwemmholz meist aus dem Gewässer entfernt, um Anlagen zu schützen und Verkläusungen bei Brücken u.ä. zu verhindern. Die Folge daraus ist, dass die europäischen Flusssysteme i.d.R. bereits seit Jahrhunderten ein massives Totholzdefizit aufweisen (Kail, 2005).

### 3.1.3 Was wäre ein natürlicher Referenzzustand?

Der natürliche Referenzzustand beschreibt denjenigen Zustand, der durch langfristige, natürliche Entwicklung vom Flusssystem erreicht wird. Im natürlichen Referenzzustand stehen Hydraulik, Morphologie und Ökologie in einem dynamischen Gleichgewicht. Da dieser heute in Europa kaum mehr vorhanden ist, orientiert man sich behelfsweise an historischen Karten und den wenigen Referenzgewässern, die noch bestehen. Für alpine Flüsse mit Totholz bietet sich die obere Isar als eines der besten, noch vorhandenen Referenzgewässer an. Wie bereits ausgeführt, ist aber zwingend zu berücksichtigen, dass auch unsere Referenzgewässer bereits vom Mensch beeinflusst sind, wenn auch weniger als die übrigen. Daher lohnt sich der Blick in klimatisch und geologisch vergleichbare Regionen wie in Nordwestamerika: dies offenbart, dass ein weit grösseres Vorkommen von Auenwäldern, alten Bäumen, beholzten Inseln, Schwemmholz und Totholzstrukturen zum natürlichen Referenzzustand gehören. Solche Naturbeispiele zeigen ausserdem auf, dass die uns bekannten, ökologisch wertvollen Kiesbänke und Trockenstandorte auch in einer mit Totholz durchsetzten Flussaue Bestand haben, jedoch in kleinräumigere, mosaikhafte Einheiten aufgeteilt sind.

## 3.2 Definition Engineered Log Jam (ELJ)

Engineered Log Jam (ELJ; auf Deutsch etwa «künstliche Stammverklauung») ist eine vielseitig einsetzbare flussbauliche Grobstruktur aus Totholz, welche sowohl für ökologische Aufwertungsmassnahmen als auch zur Behebung von herkömmlichen flussbaulichen Problemen wie z.B. Ufererosion eingesetzt werden kann. Grundsätzlich imitieren ELJs die natürlicherweise eigendynamisch entstehenden, komplexen und dauerhaften Totholzverklauungen, wie sie in mittleren bis grossen Fließgewässern beispielsweise im Nordwesten der USA noch vorkommen. Dabei werden gegenüber dem Naturbeispiel gewisse strukturelle Vereinfachungen vorgenommen, um die bautechnische Realisierbarkeit zu erleichtern und die erforderlichen Stabilitätsnachweise zu erbringen. 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 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 bzw. ökomorphologische Referenzprozesse angestrebt, indem dauerhafte, grobe Stammverklauungen nachhaltig in das Flusssystem re-integriert werden, wo sie insbesondere als zentrale Strukturgeber, Initiallebensraum, Nährstoffquelle und Sukzessionshilfe dienen (vgl. Kap 3.4). Ähnliche Ansätze werden beispielsweise auch im Bereich der Biomimikry angewandt (Benyus, 2002).

## 3.3 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 ein Fokus auf die „Revitalisierung / Rekultivierung“ von Auenwäldern und die Förderung von Sohlenfixpunkten aus Totholzstrukturen im Flussauensystem gelegt. 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 (Brooks, et al., 2001). 2006 wurde ein Konzept für die Verwendung von ELJs in Schottland erarbeitet (Herrera Environmental Consultants, Inc., 2006). Im deutschsprachigen Raum ist das Konzept bisher erst wenig bekannt. 2016 wurden in der Schweiz an der Alten Aare und im Scherlibach umfassende Totholzstrukturierungen umgesetzt, wobei teilweise auch ELJ-ähnliche Grobstrukturen erstellt wurden (Werdenberg, et al., 2018)

[Meier, et al., 2018]. Im Frühjahr 2018 wurde mit dem Unterhaltsprojekt UHA Aare Löchligut erstmals ein ELJ-Projekt in einem grossen Schweizer Fluss realisiert [Widmer, et al., 2018]. Weitere Informationen zu konkreten Projekten finden sich im Kapitel 10.

### 3.4 Funktionsprinzip

#### 3.4.1 Natürliche Sukzession im Referenzzustand

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, anthropogen unbeeinflussten Referenzzustand folgt die natürliche Sukzession dem in Abbildung 3 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. 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 hervorbringt, die als Totholz selbst in grossen Hochwasserereignissen kaum verdriftet werden. Im Ausgangszustand laufen dann an diesen sogenannten Schlüsselhölzern [engl. «key pieces»] Akkumulationsprozesse ab, indem sich laufend weitere, leichtere Stämme daran verfangen und verkeilen [Abbe, 2000] [Collins, et al., 2012].

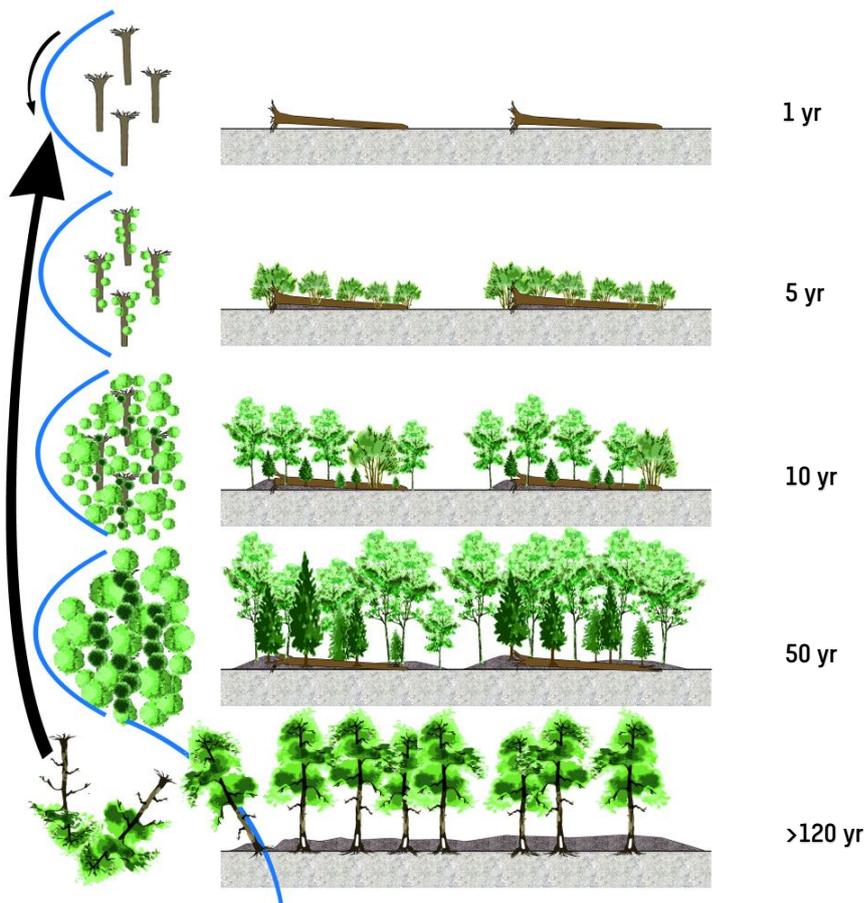


Abbildung 3: Natürliche Sukzession im anthropogen unbeeinflussten Referenzzustand. Schema adaptiert nach [Fetherston, et al., 2012].

### 3.4.2 Natürliche Sukzession bei Totholzangel

Weist das Fließgewässer jedoch ein Defizit an Tot- und Schwemmholz auf, wird die Bildung von dauerhaften Totholzstrukturen gehemmt. Auch in einem ansonsten natürlichen, eigendynamischen Gewässer bilden sich dann vorwiegend kahle Kiesbänke. Die Sukzession beschränkt sich in diesem Fall auf die ersten drei Stufen (Abbildung 3) und die Vegetation kommt nie über das Stadium der Weichholzaue hinaus (Hartmann, 2016). 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 im Flussraum relativ breite Zonen, vorwiegend mit kahlen oder leicht bewachsenen Kiesbänken, aus. Ausgereifte Hartholzauen – wie erwähnt die Quelle des groben Totholzes – sind dann nur im entfernten Randbereich der Flutebene zu finden. Dadurch ist die natürliche Eintragsrate von neuem Totholz in den Fluss stark reduziert. Ohne diese als Aufwuchshilfe wirkenden Strukturen findet das System nicht mehr zum natürlichen Referenzzustand zurück. Dieser Zustand entspricht dem heutigen Tagliamento (IT) oder auch dem Cowlitz River (USA), siehe Abbildung 4.



Abbildung 4: Mögliche stabile Zustände eines Flusses; ohne Abholzung von grossen Uferbäumen (links) oder nach langjähriger Entnahme der grossen Uferbäumen (rechts). Abbildung aus (Collins, et al., 2012). Links: Hoh River, USA; Rechts: Cowlitz River, USA.

Nachfolgend sind die wesentlichen Unterschiede beider Zustände gegenübergestellt:

<b>Höhere Komplexität und Diversität (Totholz ausreichend vorhanden)</b>	↔	<b>Tiefere Komplexität und Diversität (Totholzmangel)</b>
<i>z.B. Hoh Silver, USA</i>		<i>z.B. Cowlitz River, USA</i>
1. Vielfalt an stabilen Haupt- und Nebenaggregaten, mehrjähriger Nebenarm		1. Verzweigtes Gerinne mit instabilem Hauptkanal und flüchtige Nebenarme
2. Hochwertige Grenzlebensräume		2. geringe Qualität der Grenzlebensräume
3. Große Bäume, die an erodierten Ufern vom Fluss mitgerissen werden		3. Auenwalderneuerung ist beschränkt auf kleine Totholzansammlungen
4. Stabile Totholzverklausungen bei Strömungsteilern und Einläufen zu Nebenarmen		4. Instabile Lebensraumfragmente und Totholzansammlungen
5. Tiefe Kolkbecken in Kombination mit stabilen Totholzverklausungen		5. Wenige, flache Becken
6. Mosaikartige Verteilung der Flächen in Bezug auf Waldalter und Lebensräume, einschliesslich reifer Samenbäume auf stabilen «Fixpunkten». Hohe Artenvielfalt.		6. Geringes Alter der Waldflächen und tiefe Artenvielfalt dominiert von Pionierbaumarten.

### 3.4.3 Natürliche Sukzession bei ELJ-Strukturen

Wie Kapitel 3.4.2 darlegt, ist die natürliche Sukzession einer Aue ohne grobe Totholzstrukturen limitiert. Dies betrifft die allermeisten unserer Fließgewässer. Mit ELJs werden natürlich vorkommende, lagestabile Totholzstrukturen künstlich nachgebildet und so eine natürliche Sukzession ermöglicht, wie sie im Referenzzustand zu erwarten wäre.

In Abbildung 5 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 und mit anstehendem Material hinterfüllt. Danach werden sie i.d.R. umgehend mit Gehölzen bepflanzt (Initialbepflanzung), insbesondere mit Arten der Hartholzau. Diese Starthilfe ermöglicht es, die Gehölzetaablierung und Durchwurzelung der Struktur gezielter und rascher zu erreichen.

Im weiteren Verlauf beginnt sich die Struktur zu verändern, wobei sich Zersetzungs- und Anlagerungsprozesse in etwa die Waage halten: Während an den strömungsexponierten Flanken laufend Schwemmholz zurückgehalten wird, lagert sich im Strömungsschatten des ELJs Geschiebe ab. Zeitgleich übernimmt der Bewuchs (gepflanzte Gehölze und Spontanvegetation) zusammen mit dem angeschwemmten Totholz zunehmend die Funktion der Stabilisierung. Am Ende des ersten vollständigen Sukzessionszyklus erneuern die ausgewachsenen Gehölze als Totholz die ELJ-Struktur und läuten damit den nächsten Zyklus ein.

Für weitere Details zum Lebenszyklus der ELJs wird auf Kap.3.4.7 verwiesen.

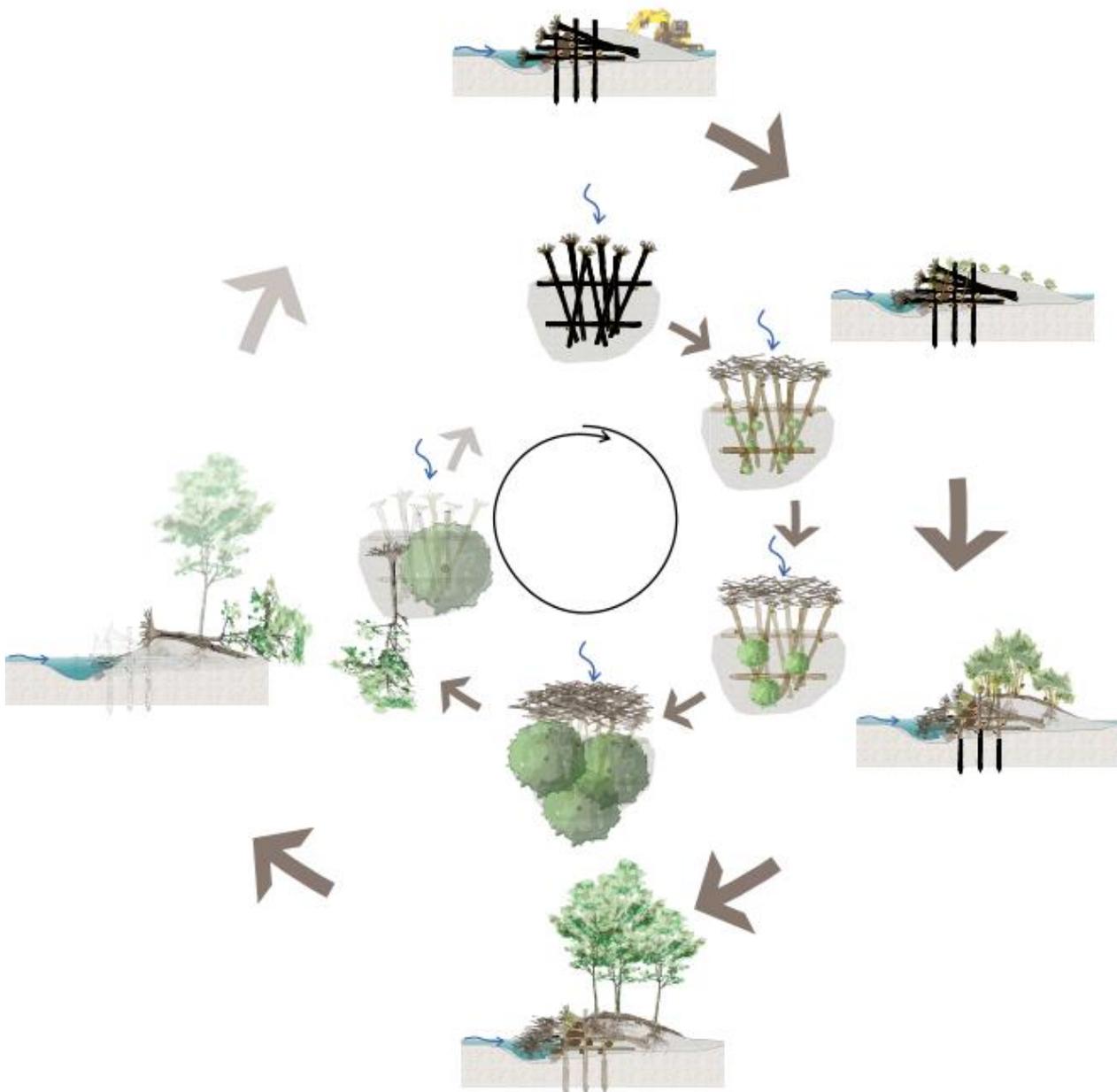


Abbildung 5: Natürliche Sukzession bei einer ELJ-Struktur (Typ Inselkopf) nach Abschluss der Bautätigkeit.

### 3.4.4 Wirkung bei Hochwasser

ELJs können vielfältig eingesetzt werden und übernehmen, je nach Ausführung und Typ, verschiedene flussbauliche Funktionen (siehe auch Kapitel 3.5). So dient ein durchgängiger ELJ-Verbau entlang dem Ufer hauptsächlich dem Ufer- und Hochwasserschutz. Bei dieser Art ELJs, wie sie auch am Löchligut in Bern umgesetzt wurden, wird die Uferlinie leicht versetzt und es wird ein natürlich stabilisiertes Ufer geschaffen. Die Holzstrukturen und später die Wurzeln, der etablierten Vegetation, stabilisieren das Ufer und schützen dieses vor Erosion. ELJs können auch punktuell entlang dem Ufer erstellt werden. Indem sie dann vom Ufer her in die Strömung ragen, übernehmen sie bei Hochwasser die gleichen strömungslenkenden und stabilisierenden Funktionen wie herkömmliche Buhnen; unter anderem Uferschutz, Vertiefung des Hauptgerinnes und Diversifikation der Strömung. Sogenannte Inselkopf-ELJs, welche eine Insel in der Strömung bilden, sind im Hochwasserfall beidseitig stark umströmt. Sie dienen zur Strömungslenkung bzw. zur Diversifizierung der Bettmorphologie. Buhnenartige und Inselkopf-ELJs können einerseits bestehende, erosionsgefährdete Kiesinseln schützen und langfristig erhalten, andererseits können sie gezielt eingesetzt werden um die Strömung aufzuteilen, z.B. um damit neue Kiesinseln, Nebengerinne und Aufweitungen zu initiieren [Kail, 2015].

Alle genannten ELJ-Bautypen können eingesetzt werden, um gezielt einzelne Schutzobjekte im oder am Fließgewässer angrenzend vor Strömungseinflüssen zu schützen.

In entsprechender Anzahl eingebaut, tragen ELJs generell zur Erhöhung der Rauigkeit eines Gerinneabschnitts und damit zur Energiedissipation der Strömung bei. In der Gewässersohle verbaute ELJs (Insel-Typ, Bühnen-Typ) können in ausreichender Anzahl auch einer Sohlenerosionstendenz nachhaltig entgegenwirken: Z.B. unterbinden sie in Flussaufweitungen mit durchgehend mobilem Sohlensubstrat die Entstehung von erosionsfördernden, gestreckten Gerinneverläufen (mit einhergehender ökomorphologischer Verarmung) oder können - bei bereits gestrecktem Verlauf - auf natürliche Weise wieder Strömungsaufteilungen, Laufverlängerungen, Geschieberückhalt und -ablagerungen anregen, welche die Sohlenlage stabilisieren helfen. Über den ökomorphologischen Wert hinaus sind langfristig stabile Sohlenlagen entscheidend für flussnahe Schutzbauten und Infrastrukturen sowie für Grund- und Trinkwasser. 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. Kap5.5.3).

Aufgrund ihrer Grösse können weit ins Gerinne ragende, buhnenähnliche 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.

Wie erwähnt, übernehmen ELJ-Strukturen, unabhängig des Bautyps, wichtige Funktionen als Schwemmholz- und Geschiebefänger. Dabei ist ihre Wirkung zweifach: Einerseits werden Geschiebe und Schwemmholz direkt durch Anschwemmen und Verkanten am Hindernis ELJ aufgefangen. Andererseits herrschen in unmittelbarer Nähe und im Strömungsschatten der ELJ-Strukturen wesentlich geringere Strömungsgeschwindigkeiten, was insbesondere die Deposition von Geschiebe begünstigt. Das Auffangen von Schwemmholz und Geschiebe ist auch für die langfristige Stabilität der ELJs von grosser Bedeutung.

### 3.4.5 Lebensraumaufwertung

Während ELJs also dauerhaft genug sind, um die Funktion von herkömmlichen flussbaulichen Massnahmen wie Längsverbau oder Bühnen zu übernehmen, bieten sie einen ganz entscheidenden ökologischen Mehrwert: Wie bereits im Kapitel Lebenszyklus angedeutet, schaffen sie ein Mosaik an Lebensräumen. Zum einen wird die Strömung durch die oberflächenreichen Totholzstrukturen stark diversifiziert. Es entstehen Bereiche mit signifikant unterschiedlichen Fliessgeschwindigkeiten, welche durch ihre jeweiligen Erosions- und Depositionsprozesse sowohl die Fliesstiefe als auch die Zusammensetzung bzw. Fraktionierung des Sohlensubstrats beeinflussen. Mit der Entstehung von Kolken, Bänken und Riffeln bilden sich unterschiedliche physikalische Makrohabitate. In unmittelbarer Nähe der ELJs entstehen aufgrund der vielfältigen 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. Auf einer Flussabschnitts-Skala werden monotone Flüsse mit geringer Vielfalt an Gefälle und Struktur zu komplexen Pool-Riffel- oder verzweigten Systemen. Werden mit ELJs Aufweitungen oder Nebengerinne induziert, entstehen vollständig neue Biotope mit verschiedenen Habitaten. Die totale Anzahl verfügbarer Habitate wird so um ein Vielfaches erhöht.

Komplexe und vielfältige Makro- und Mikrohabitate sind von grosser Bedeutung für die erfolgreiche Etablierung verschiedener Tiere und Pflanzen. Dies soll am Beispiel der Salmoniden (unter anderem Lachse, Forellen und Äschen) verdeutlicht werden. Salmonide 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 Salmonide 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 Salmonide 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, welche Vielfalt an physikalischen Habitaten nötig ist, um einen geeigneten Lebensraum zu bilden. Kalleberg (1958) berichtete, dass strukturelle Vielfalt die Fisch-

dichte begünstigt. Verschiedene Studien haben gezeigt, 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 (Herrera Environmental Consultants, Inc., 2006). Die Forschungsgruppe um Herr Pess (Pess, et al., 2002) zeigte, dass im Pacific Northwest Becken Fließgewässer mit log jams eine grössere Vielfalt an Fischarten aufweisen, als solche ohne Totholzstrukturen. Ausserdem berichteten sie von bedeutend grösseren Dichten an Invertebraten und organischem Material in Bereichen rund um ELJs. ELJs bieten also Strukturen, welche die Fische direkt als Habitat nutzen können und Nahrung durch die grössere Produktivität der niederen trophischen Levels.

Aufgrund der eigendynamischen Entwicklung der Ufervegetation und der Uferstruktur ist zu erwarten, dass sich eine vielfältige Vegetation entwickelt. Entsprechend werden Nischen und Mikrohabitate sowohl für terrestrische als auch für litorale Flora und Fauna geschaffen. Damit einhergehend wird die Vernetzung aquatischer und terrestrischer Lebensräume verbessert, da die ELJ-Strukturen, im Gegensatz zu herkömmlichen Massnahmen, aus natürlichen Materialien bestehen und inhärent nicht monoton sind.

Die naturnahe Bauweise der ELJs erlaubt eine natürliche Sukzession (siehe auch Kapitel 3.4.1) auf den geschaffenen Totholzstrukturen und anliegenden Kies-/Sandbänken. So wird dem Lebensraum eine natürliche Dynamik zurückgegeben. Das System reagiert frei auf jegliche, physikalischen Einflüsse. Dadurch werden auch zyklische Prozesse, wie beispielsweise die saisonale Verjüngung der Ufervegetation, wieder verstärkt auftreten. Wie beschrieben, können sich als Folge der natürlichen Sukzession im Strömungsschatten der ELJs auch im Hauptgerinne wieder Arten der Hartholzauen und damit die natürliche Klimax-Pflanzengesellschaft etablieren. Durch diese Wiederherstellung einer naturgemäss mosaikartigen und kleinräumigen Verteilung von bestockten Inseln und offenen Kiesbänken in Flussebenen wird einerseits die Habitatdiversität pro Fläche wesentlich gesteigert, andererseits kommt nur so die natürliche Gewässerbeschattung durch die Hartholzarten zum Tragen. Nicht zuletzt führen uns extreme Trockenjahre wie 2013, 2016 und 2018 derzeit deutlich vor Augen, dass Fischlebensräume hinsichtlich zukünftiger, klimabedingter Ansprüche stark von ELJs profitieren können (Tiefwasserzonen mit Deckung, Beschattung).



Abbildung 6 : Visualisierung einer ELJ-Ufersicherung mit ihren unterschiedlichen Lebensräumen.

### 3.4.6 Versagensmechanismen

Die wichtigsten Versagensursachen und -mechanismen werden im Folgenden kurz erläutert. Eine detaillierte Diskussion der Handhabung dieser Versagensmechanismen ist im Kapitel 5.9 zu finden.

ELJs bilden Hindernisse in der Strömung und führen entsprechend zu Strömungsumlenkungen und -Ablösungen. Diese lokalen Veränderungen der Strömung können Kolke herbeiführen (siehe auch Kapitel 5.5.1). Bei einer gewissen Kolktiefe 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.

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.

Die Vegetation übernimmt eine sehr wichtige Funktion bezüglich der langfristigen Stabilität einer ELJ-Struktur. Kann sich keine Pflanzengesellschaft mit den dazugehörigen Gehölzen etablieren, erhält der ELJ die geplante Stabilisierung langfristig nicht aufrecht, denn die Holzstruktur in der Wasserwechselzone ist ständig wechselnden Bedingungen ausgesetzt und wird relativ schnell zersetzt. Fehlt die geplante Vegetation, kann die statische Funktion der zersetzten Holzpartie nicht von den nachkommenden Gehölzen 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.

### 3.4.7 Zeitliche Entwicklung / Lebensdauer

Die zeitliche Entwicklung eines ELJs lässt sich in verschiedene Abschnitte unterteilen, welche nachfolgend beschrieben und in Abbildung 7 dargestellt werden.

Der **Ausgangszustand** oben zeigt eine Flussebene, die sich zwar auf weiten Strecken eigendynamisch entwickelt, allerdings auch ein starkes Defizit an Totholz und groben Widerständen aufweist. Im vorliegenden Beispiel werden nun einige ELJ-Strukturen eingebaut – einerseits im Flussbett selbst zur Diversifizierung der Morphologie (Bautyp «Inselkopf») und andererseits entlang von Uferpartien zu deren Sicherung («ELJ-Verbau»).

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 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 Schwemholz. 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 sehr langsam zersetzt. Unter diesen Bedingungen kann Holz auch mehrere hundert Jahre überdauern. Bereiche, die aus dem Wasser ragen, können sich jedoch bereits 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. Somit wird der Kreislauf der Sukzession geschlossen.

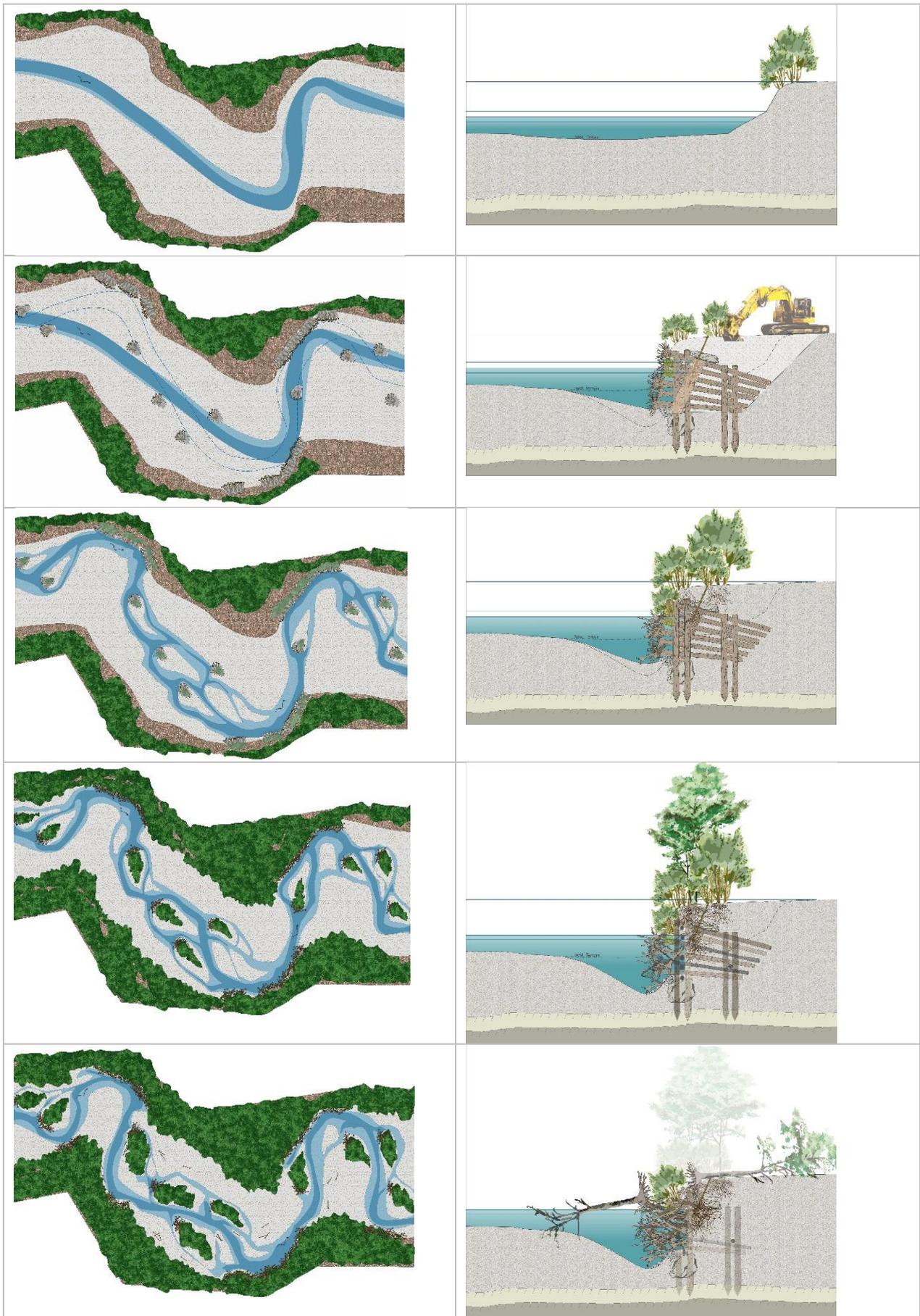


Abbildung 7 : Zeitliche Entwicklung von ELJ-Strukturen innerhalb einer Flussebene (linke Seite) und als Querschnitt einer ELJ-Ufersicherung (rechte Seite).

### 3.4.8 Zielzustand

Im Zielzustand wird die ehemals künstlich angelegte Struktur durch natürliche Sukzession, eingetragenen Geschiebe und Schwemmholz laufend eigendynamisch erneuert. Aus dem ELJ-Verbau entsteht ein natürliches Ufer mit grob vorgegebenem Verlauf ohne jegliche harte Verbauungen. Das Flusssystem hat sich im Zielzustand an die eingefügten ELJ-Strukturen angepasst und weist eine grosse Diversität bezüglich Strömung, Strukturen und Sohlensubstrat auf.

## 3.5 Einsatzgebiete

Die Einsatzmöglichkeiten von ELJs sind vielfältig. Ihr erprobter Einsatz deckt ein breites Spektrum an flussbaulichen Zielen ab. Die Haupteinsatzgebiete lassen sich thematisch in drei Gruppen unterteilen, die nachfolgend erläutert werden.

Unabhängig dieser Einsatzgebiete gilt, dass ELJs jeweils deutliche **Vorteile gegenüber herkömmlichen Massnahmen** aufweisen:

- ELJs sind den fehlenden, natürlichen Stammholzverkläusungen nachempfunden
- ELJs führen zu einer deutlichen ökologischen Aufwertung
- ELJs halten Schwemmholz und Geschiebe zurück
- ELJs haben durch Sukzession und Akkumulation das Potential, sich laufend selbst zu erneuern (im Idealfall sind weder Reparaturen noch Ersatz notwendig)

### 3.5.1 Uferschutz

Eines der wichtigsten Einsatzgebiete von ELJs ist daher der Ufer- und Hochwasserschutz. Dabei sollte zwischen durchgängigem und aufgelöstem Uferschutz unterschieden werden: Beim durchgängigen Uferschutz werden ELJ-Strukturen parallel entlang dem Ufer eingebaut, sodass sie einen zusammenhängenden, neuen Uferabschnitt bilden. Die ELJs stabilisieren das Ufer dauerhaft. Der Strömungsangriff wird insgesamt durch die Holzstrukturen aufgenommen. Insbesondere die in die Strömung ragenden, oberflächenreichen Wurzelteller führen zu einer starken Verwirbelung, wodurch die Fließenergie im Bereich des Ufers stark abgebaut werden kann.

Aufgelöster Uferschutz kann mit buhnenartigen ELJs erreicht werden. Auch hier sind die Funktionen identisch zu herkömmlichen Buhnen. Die Struktur lenkt die Strömung um und entlastet somit das zu schützende Ufer. Zusätzlich wird das Gerinne in der Mitte eingetieft und so die Abflusskapazität erhöht.

### 3.5.2 Strömunglenkung

Eine Umlenkung der Strömung kann beispielsweise als Objektschutz angestrebt werden oder um Uferanrisse oder Flussaufweitungen zu initiieren. Hier werden ebenfalls buhnenähnliche ELJs eingesetzt.

### 3.5.3 Strömungsaufteilung, verzweigte Gerinne

Inselkopf-ELJs können eingesetzt werden, um die Strömung zu teilen. So können beispielsweise Aufweitungen oder verzweigte Gerinne initiiert werden. Dadurch wird auch die Vernetzung aquatischer und terrestrischer Lebensräume verbessert. Die vergrösserte Flutebene kann gegebenenfalls wichtige Retentionsaufgaben im Hochwasserfall übernehmen.

### 3.5.4 Sohlensicherung

Da ELJs als Sohlenfixpunkte wirken können sie im Verbund auch für eine Sohlenstabilisierung verwendet werden. Weiter können sie im Einsatz als Strömunglenker die Fließlänge eines Gerinnes erhöhen und somit auch Einfluss auf die Sohlenstabilität nehmen (siehe Kap. 3.4.4).

## 3.6 ELJ Bauformen

Je nach Einsatzgebiet bzw. gewünschter Funktion ändert sich der Aufbau der spezifischen ELJ-Struktur, wodurch verschiedene Bautypen entstehen. Für jeden ELJ-Bautyp gelten die in Kap. 3.5 aufgeführten Vorteile gegenüber herkömmlichen Methoden.

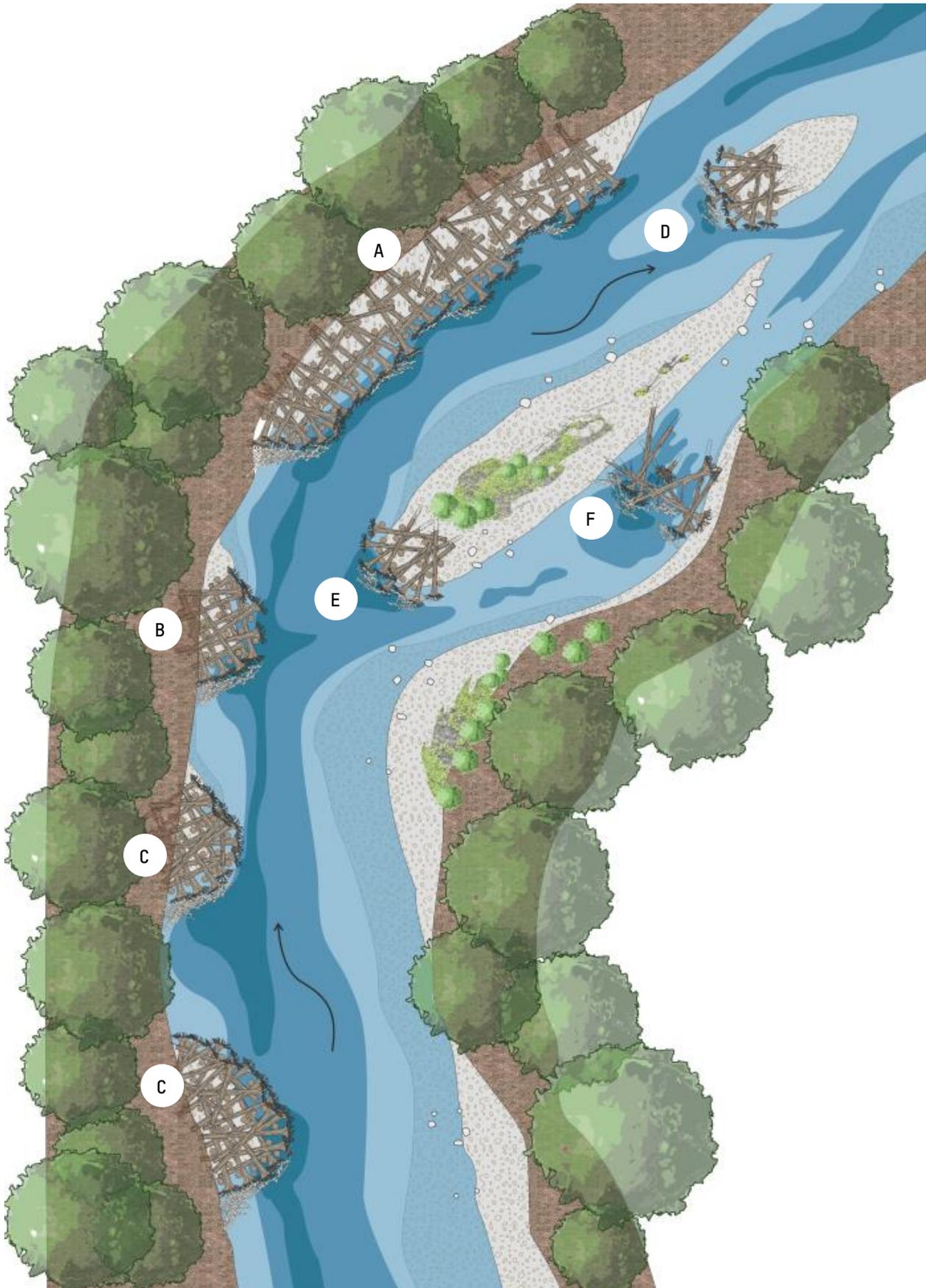


Abbildung 8 : Beispiel Flussabschnitt mit möglichen Einsatzgebieten und verschiedenen ELJ Bautypen.

Abbildung 8 zeigt einen beispielhaften Flussabschnitt mit Verortung möglicher Einsatzgebiete und verschiedenen ELJ Bautypen. Die Eigenschaften dieser Bautypen werden nachfolgend erläutert.

### 3.6.1 ELJ-Uferverbau

Der ELJ-Uferverbau (engl. «bank revetment») bildet eine durchgehende Kette aus Elementen der ELJ-Grundstruktur (vgl. Kap. 3.7). Der Einbau erfolgt abschnittsweise oder wird mit bauseits vorgefertigten Elementen entlang der zu schützenden Uferpartie erstellt (**siehe A in Abbildung 8**). Hinsichtlich der Foundationstiefe sind die zu erwartenden Kolke zu berücksichtigen. Die quer zur Fließrichtung eingebauten Stämme sind mindestens zu 3/4 im Ufer verankert und ragen mit ihren Wurzeltellern in die Strömung. Das Bauwerk wird hinterfüllt und bepflanzt. Abgesehen von den tief verankerten, senkrechten Holzpfählen, ähnelt der Aufbau der Holzlagen einer herkömmlichen Kraierwand oder einer Grünholzschwelle. Aufgrund der hohen Rauigkeit (insbesondere aufgrund der in die Strömung ragenden Wurzelteller) bietet der ELJ-Verbau jedoch einen effizienteren Energieabbau, schafft deutlich mehr Habitate und besitzt darüber hinaus das Potential zur Selbsterneuerung.

### 3.6.2 ELJ-Buhne

Im Unterschied zum ELJ-Verbau wird der Buhnentyp (engl. «deflector jam») punktuell erstellt. Um das Ziel Ufersicherung zu erreichen, erfolgt die Dimensionierung von Länge und Zwischenabständen analog herkömmlichen, nicht überströmten Buhnen. Eine einzelne ELJ-Buhne wird - je nach ihrer Länge und Breite - aus nur einem Grundstruktur-Element (simple ELJ-Buhne, **siehe B in Abbildung 8**) oder aus einer entsprechend ausgeformten Kette dieser Elemente gebildet (komplexe ELJ-Buhne, **siehe C in Abbildung 8**). Wichtig ist bei komplexen ELJ-Buhnen, dass die angeströmte Stirnseite massiv ausgebildet wird. Die der Strömung abgewandte Seite kann auch eine leicht reduzierte Einbauhöhe aufweisen. Das Bauwerk wird jeweils hinterfüllt und bepflanzt.

### 3.6.3 ELJ-Inselkopf

Der Inselkopf-Typ (engl. «apex jam») wird i.d.R. im Flusslauf eingebaut. Er wirkt direkt im Flussbett als Fängerstruktur und Widerstand. Er verfügt damit über das grösste ökologische und morphodynamische Aufwertungspotential. Vom Aufbau her ähnlich einem simplen Buhnentyp bzw. der ELJ-Grundstruktur, wirkt die Strömung erst frontal auf die massive, holzige Stirnseite des Bauwerks und umströmt es dann von beiden Seiten. Das Bauwerk wird hinterfüllt und bepflanzt. Im Strömungsschatten der neu geschaffenen Flussinsel (**siehe D in Abbildung 8**) können sich Gehölze etablieren. Ebenfalls kann sich dort weiteres Geschiebe ablagern. Alternativ kann der Inselkopf-Typ auch zur Sicherung einer bestehenden, erosionsgefährdeten Flussinsel (**siehe E in Abbildung 8**) und zur Strömungsteilung (Initialisierung und Erhalt eines neuen Seitenarms) eingebaut werden.

### 3.6.4 Gerinnequerende ELJs

In kleineren Fließgewässern oder schmalen Flussarmen können die gerinnequerenden ELJs (engl. «cross channel spanning structure») zum Einsatz kommen. Die Sohlenbreite des Gerinnes ist i.d.R. kaum grösser als die ausgewachsenen Bäume lang sind. Als standorttypische Variante der Verklausung entstehen in diesen Gewässern natürlicherweise gerinnequerende Totholzstrukturen. Die Grundform dieser ELJs weicht daher von den übrigen Bautypen etwas ab und imitiert die natürliche Totholzakkuumulation in kleineren Gewässern, wo punktuell einer oder mehrere grosse Bäume (Schlüsselhölzer) quer über das Gerinne gefallen sind und sich dann weiteres Totholz ansammelt und verkeilt (**siehe F in Abbildung 8**). Bei weiterer Verklausung bzw. Verlegung mit Geschwemmsel kann dieser Typ zu Rückstau im oberliegenden Abschnitt und zur Flutung des umliegenden Auenwalds führen. Der Bautyp wirkt dann wie ein Biberdamm und dürfte auch ähnlich positive Effekte auf Biodiversität, Grundwasseranreicherung und Wasserqualität aufweisen (Dalbeck, 2018) (Zahner, 2018) (Larsen, et al., 2018). Beim Einbau dieses Typs ist jeweils sicherzustellen, dass ein angemessener Raum für die seitlichen Ausuferungen zur Verfügung steht, oder dass flankierende Massnahmen greifen.



Im Nachfolgenden werden die einzelnen Bauelemente einer ELJ-Struktur aufgelistet (Abbildung 9):

- **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 5.4). 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 Grenzschiicht:**  
Die Grenzschiicht 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 Schropfenlagen inkl. einer Filterschiicht eingebaut werden. Durch die Grenzschiicht 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 Schropfen:**  
Die Schropfenlage kann bei Bedarf vor die erste Längsholzreihe geschüttet werden. Diese soll während der Ausbildung des Kolks entlang der Struktur als lose Rollierung die Kolk- ausdehnung 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. Es ist eine diversifizierte Bepflanzung zu wählen, welche unbedingt auch tiefwurzelnd, staunässe vertragend und in möglichst unterschiedlichen Wuchsformen auftritt. Besonders empfohlen wird dabei die Verwendung von Schwarzerlen und Hasel (Hacker, et al., 2012).
- **10 Setzstangen:**  
Die Setzstangen bestehen aus Weideästen mit einem Durchmesser von 5 - 15 cm. Die Stangen werden bis über den Bereich der Niedrigwasserspiegellage im Bereich der Grenzschiicht platziert. Die schnell treibenden Weidensetzstangen stabilisieren durch ihr Wurzelwachstum die Grenzschiicht und übernehmen langfristig deren Funktion.

- **11 Weidenstecklinge:**

Entlang der wasserseitigen ELJ-Struktur werden Weidenstecklinge im Bereich vom Füllholz und der ersten Längsholzreihe eingebracht. Diese Weidenbestockung dient zur 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 Kapitel 5.7). Die Verbindung zu den Pfählen soll möglichst schwimmend erfolgen, damit die Gewichtskraft der Struktur (Bauholz und Auffüllung) nicht über die Pfähle abgetragen wird.

## 4 Planung und Projektierung

### 4.1 Ausgangslage

Die starke Beeinträchtigung unserer Fließgewässer durch die vielfältigen baulichen Tätigkeiten der letzten Jahrhunderte, wie auch die damit verbundenen negativen Auswirkungen und gesteigerten Risiken, sind heute allseits bekannt: Hochwasserschäden, Rückgang der Fischarten und -bestände sowie durchgehende Sohleneintiefungen mit negativen Konsequenzen für unser Grund- und Trinkwasser. In den letzten Jahrzehnten hat deshalb vielerorts ein Umdenken stattgefunden. Um Hochwasserprobleme zu lösen 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 Fischlebensräume und Sohlenerosionsprobleme nach wie vor grosse Defizite und viele einst häufige Fischarten sind noch immer bedroht. Nicht zuletzt sind aufgrund der sich abzeichnenden klimatischen Veränderungen künftig zusätzlich erhöhte (Lebensraum-) Ansprüche zu erwarten (Beschattung, ausgeprägte Tiefwasserzonen mit Deckung).

Ein ausreichendes Totholzangebot bildet eine zentrale Voraussetzung für einen intakten Gewässerlebensraum. Dennoch wird diesem Aspekt insbesondere mengenmässig immer noch eine viel zu geringe Bedeutung beigemessen: Konkret wird Totholz in Wasserbauprojekten bisher nur sehr zurückhaltend eingesetzt oder im Zuge des Gewässerunterhalts sogar entnommen. Die Gründe hierfür sind vielschichtig, jedoch meist auf das fehlende Bewusstsein für dessen grosse Bedeutung im Gewässer zurückzuführen. Ein weiterer Grund ist freilich, dass Kenntnisse zu spezifischen Bau-techniken noch zu wenig verbreitet sind.

Die Realisierung von ELJs kann zusammen mit weiteren Totholzbautypen helfen, die oben genannten Probleme aktiv anzugehen. Kapitel 4 und 6 sollen hierzu die bau- und ingenieurtechnischen Möglichkeiten aufzeigen.

Da es sich um relativ komplexe Strukturen handelt, sind für ELJs ausführliche Betrachtungen in der Dimensionierung notwendig. 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 lassen sich simplere Totholzeinbauten problemlos mit ELJs kombinieren. In vielen Fällen – insbesondere in kleineren Gewässern – sind sie sogar zielführender als ELJs.

### 4.2 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 neue Methode zu schaffen. Erfahrungsgemäss ist dabei entscheidend, den Fokus auf die grossen Defizite im Bereich der Gewässerlebensräume, die Dringlichkeit der zu lösenden Probleme und auf den grossen Nutzen eines solchen Projekts zu legen. Viele Gesprächspartner sind grundsätzlich gewillt, wirkungsvolle Aufwertungsmassnahmen gegen den sich abzeichnenden Rückgang der Fischpopulationen mitzutragen. Schliesslich möchten auch sie sicherstellen, dass sich ihre Kinder und Enkelkinder noch an Fischarten wie z.B. der Bachforelle erfreuen können. 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.

Um den Weg von der ersten Idee bis zum eigentlichen Projektstart mit Erfolg bewältigen zu können, bedarf es dem Willen, 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 4.4.1). Sind die Ergebnisse der Gespräche erfolgsversprechend, kann die eigentliche Projektierung angegangen werden.

### 4.3 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 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.

### 4.4 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 5.3.5). 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 kann dabei oft hilfreich sein.

#### 4.4.1 Abstimmung mit forstlicher Planung

Oftmals wird es nicht möglich sein, die verschiedenen benötigten Holzmengen ohne vorausschauende Planung innerhalb des normalen 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 Forst-

stellen 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.

#### 4.4.2 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 potentiellen 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.

#### 4.5 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.

Tabelle 1 : Fachbegriffe und Empfehlung zur Verwendung

Empfohlener Begriff	Fachbegriff Forst	Fachbegriff Bau	Umgangsbezeichnung	Erläuterung
<b>Wurzelteller</b>	Wurzelteller Wurzelstock	Wurzelstock Wurzelstrunk	Baumstrunk Wurzelstock Wurzeln	Baumstrunke von Flachwurzlern (Fichte, Weisstanne). Ohne Stammanteil
<b>Wurzelstamm</b>	Wurzelstock Wurzelstamm Stamm mit Wurzelteller	Wurzelstamm	Baumstrunk Wurzelstock	Wurzelstock mit mindestens 2 m Stammanteil
<b>Langholz</b>	Langholz	Rundholz Langholz Baumstamm	Baumstamm	Ab Stock bis zum Giebel, Länge abhängig von Baumgrösse
<b>Stammholz</b>	Stammholz	Rundholz Langholz Baumstamm	Baumstamm	Definiertes Sortiment mit 4 oder 5 m Länge, ab Stock
<b>Rundholz</b>	Rundholz; (Spez. Sortiment von Stammholz)	Rundholz	Rundholz	Spez. Sortiment von Stammholz 4 oder 5 m mit einheitlichem Durchmesser
<b>Giebelholz</b>	Giebel	Giebel	Baumkrone Tauer Giebel	Oberster Teil des Baums, ab 20 cm - 0 cm Durchmesser
<b>Zopfholz</b>	Zopf	Zopf	Baumkrone Giebel Zopf	Oberer Teil des Baums, ab Ende Stammholz bis Giebel
<b>Bodenstück</b>	Bodenstück	Abschnitt Bodenstück	Abschnitt	Zwischenstück ab Wurzelstock bis Langholz

Empfohlener Begriff	Fachbegriff Forst	Fachbegriff Bau	Umgangsbezeichnung	Erläuterung
				oder Stammholz
<b>Pfahlholz</b>	Stammholz	Pfahl	Pfahl Langer Pfosten	Stammsortiment, ange- spitzt
<b>Pfähle</b>	Pfähle	Pfähle	Schwiir Pfosten	Definierte Länge von 1.80 m
<b>Setzstange</b>	Setzstange	-	-	1.50 m Länge mit Schrägschnitt
<b>Stecklinge</b>	Stecklinge	Stecklinge	Stecklinge	Bis 80 cm, 5 cm Durch- messer
<b>Ankerstein</b>	-	-	-	Feste verbundener Blockstein (> 1.5 to) mit holziger Struktur ohne Spiel (z.B. Wurzel- stamm). Verbindung mit Felsanker (Spreizanker) und Di-widag Stab
<b>Diwidag-Stab</b>	-	Diwidag-Stab Ankerstab	Gewindestab	Ankerstab (16 oder 22 mm) Durchmesser zu Felsanker (Spreizanker) als Verbindungselement (mit Unterlagscheibe und Mutter)
<b>Schroppen</b>	-	Schroppen	Grob-Schotter	z.B. 60 - 140 mm oder 150 - 300 mm kleine Blocksteine, gebroche- ne Mineralsteine oder natürliches Geröll (nicht gerundet)
<b>Sprengmaterial</b>	-	Sprengmaterial		0 - 300 mm Restmaterial ab Sprengung im Stein- bruch, enthält teilweise viel Feinmaterial
<b>Schotter</b>	-	Schotter	(Bahn-) Schotter Grosse	Gebrochene Mineral- steine und Gerölle > 30 mm bis ca. 80 mm, meist normiert

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

## 4.6 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 guten 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)

### 4.6.1 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. Wird nämlich versucht ein ELJ mit «schönem», geraden und einheitlichen Holz zu erstellen, widerspricht dies dem Wertschöpfungspotential (siehe Kapitel 4.4.2) und die Kosten werden unnötig erhöht. 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.

#### **4.6.2 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 Foundation 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 Grenzsicht 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 3.4.4) 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.

### 4.6.3 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.

### 4.6.4 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

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 die notwendigen Abklärungen zu tätigen, dass die Bewilligungsfähigkeit eines solchen Eingriffs sichergestellt ist. Alternativ ist auf die Verwendung von Langholz mit Wurzelteller zu verzichten und „lediglich“ Langholz für den ELJ-Bau zu verwenden. Danach ist auch 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 Wurzelteller zu achten, da dieses einen zentralen Wert im Bauwerk darstellt und nicht bereits stark beschädigt auf der Baustelle eintreffen sollte.

#### Dimensionierung mit angemessenen Reserven

Für die Dimensionierung des ELJ (ausführliche Hinweise in Kapitel 5) ist auf genügende Reserven in den Berechnungen zu achten, da die Umsetzung nicht mit den angenommenen Spezifikationen erfolgen wird (siehe Kapitel 4.6.1). 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.

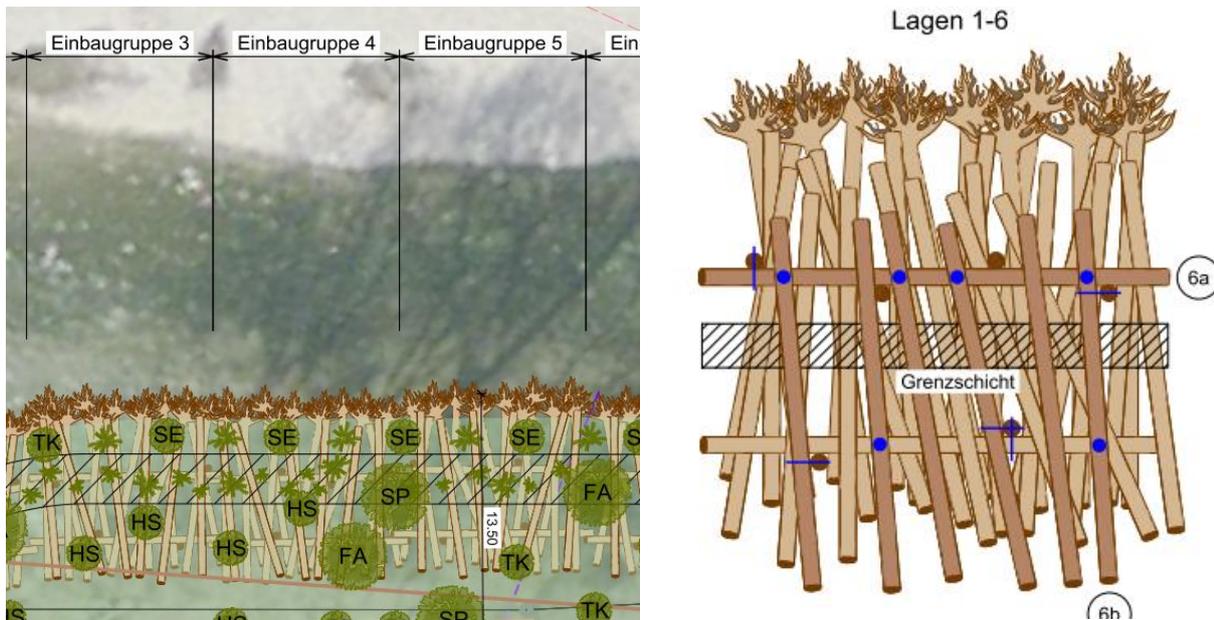


Abbildung 11 zeigt eine mögliche Segmentierung eines Uferschutz-ELJs (links) mit dazugehörigem Segmentaufbau (rechts)

### 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 Baulegistik. 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 Uferkrainerwänden oder Grünholzschwelen 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.

### Baulegistik

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. 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 im 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 12: Vorbau des Unterbaus einer Einbaugruppe / Segment für die Platzierung 2.5 m unter dem Wasserspiegel, stark angeströmt (Aare in Bern).

#### 4.6.5 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.

## 5 Dimensionierung

### 5.1 Integraler Flussbau

In der Schweiz wird seit einigen Jahren ein Fokus auf den integralen Hochwasserschutz gelegt. Hierbei ist ein gesamthafter 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.

### 5.2 Flussabschnittsbetrachtung

Bevor mit der Planung von spezifischen ELJ-Strukturen begonnen werden kann, müssen der betreffende Gewässerabschnitt und die möglichen Einwirkungen der ELJs auf ebendiesen analysiert werden. Die physikalischen, biologischen und gesellschaftlichen Rahmenbedingungen sind in diese Betrachtungen miteinzubeziehen. 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. Dabei werden in jedem Fall die physikalische und biologische Umwelt im betroffenen Flussabschnitt beeinflusst. Beispielsweise die Bildung von Pool-Riffle-Strecken oder verzweigten Gerinnen verdeutlicht die grössere Skala der Einflüsse von ELJ-Strukturen.

### 5.3 Grundlagen

#### 5.3.1 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 höheren 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.

#### 5.3.2 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. Das bedeutet jedoch nicht, dass ein 2D-Modell zwingend genauere Resultate liefert.

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 potentielle Standorte während dem Jahr teilweise oberhalb des Wasserspiegels, was sich aus ökologischer Sicht nachteilig auswirkt.

### 5.3.3 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).

### 5.3.4 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.

### 5.3.5 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 2 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 Holzzerfall deutlich schneller stattfinden (siehe Kapitel 3.4.7).

*Tabelle 2: 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.

### 5.3.6 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).

## 5.4 Einwirkende Kräfte

Auf die ELJ-Uferstruktur wirken grundsätzlich unterschiedliche Kräfte, welche zur statischen Dimensionierung der Struktur massgebend sind. In Abbildung 13 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.

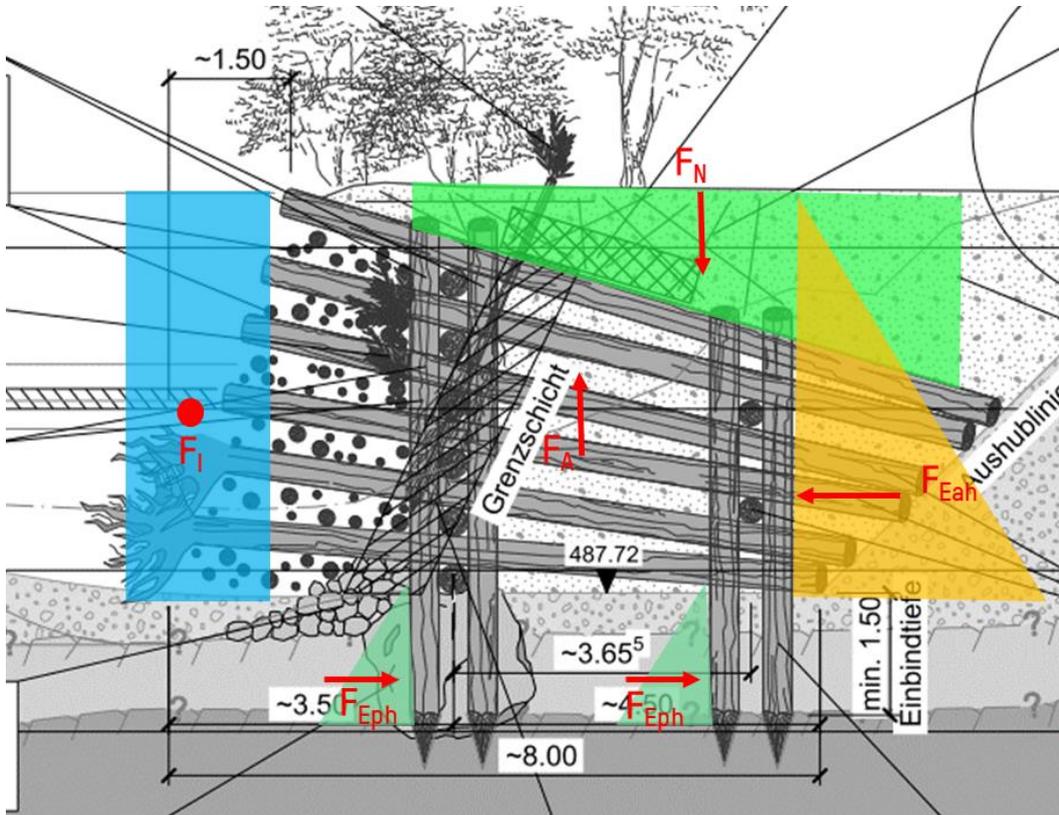


Abbildung 13: Einwirkende Kräfte auf die ELJ-Uferstruktur im QP 1 als Schemaschnitt dargestellt.

Im Nachfolgenden werden die in Abbildung 13 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 Verkläusung 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.

## 5.5 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. 5.9). 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 verbundenen ökomorphologischen Prozessen entlang und im Abstrom der Struktur beschrieben.

### 5.5.1 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 Kolk- ausbildung entlang einer wasserbaulichen Struktur. In Tabelle 3 wird auf die fünf verschiedenen ELJ-Bautypen und der zu erwartenden Kolk- ausbildung eingegangen.

*Tabelle 3: 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 Kolk- ausbildung. 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 Kolk- ausbildung. 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 Kolkttiefe 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 Kolkttiefe.

In der Tabelle 4 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 4: 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"> <li>• Froehlich [1989]</li> <li>• Melville [1997]</li> <li>• Hoffmans [1995]</li> </ul>
Pfeilerkolk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Melville [1991]</li> <li>• Breusers und Raudkivi [1997]</li> <li>• Hoffmanns und Verheij [1997]</li> </ul>
Kolk durch Vertikalstrahl	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Kotulas [1967]</li> <li>• Tschopp und Bisaz [1972]</li> </ul>
Kurvenkolk	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peter [1986]</li> <li>• Bridge [1976]</li> <li>• Kikkawa et al. [1976]</li> </ul>
Kolk bei Verengung	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bezzola resp. Breusers und Raudkivi [1991]</li> </ul>
Kolk bei Zusammenflüssen	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ashmore und Parker [1983]</li> <li>• Best [1988]</li> </ul>

Für die Berechnung der unterschiedlichen Kolkformen ist wie in Kap. 5.3.2 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.

### 5.5.2 Strömungskraft

Die Strömungskraft oder Schleppspannung, die auf die ELJ-Struktur einwirkt, ist neben der Kolktiefe die zweite wesentliche hydraulische Grösse für die Dimensionierung der Struktur. Wie in Abbildung 13 ersichtlich, wirkt die Strömungskraft  $F_i$  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.

### 5.5.3 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.

### 5.5.4 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 Exponierung 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.

### 5.5.5 Ökomorphologische Gesamtbetrachtung

Bei der hydraulischen Dimensionierung sind neben den Fliessprozessen im und um die ELJ-Struktur (Kap. 5.5.1-5.5.4) 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 dieser Prozess mit der Strömungsablenkung und der damit verbundenen Geschiebeumlagerung sehr komplex und mehrdimensional ist, wird der Einbezug von numerischen 2D Modellen und/ oder die Erstellung eines physikalischen Modells oft nötig. Dabei hängt die Betrachtungstiefe der mor-

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

## 5.6 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 13 erläutert.

### 5.6.1 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  $F_N$  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.

### 5.6.2 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.  $10 \text{ kN/m}^3$  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. 5.5.2) sowie die Aufprallkraft (Kap. 5.5.4), 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.

### 5.6.3 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  $\varphi$  des Sohlenmaterials. Die horizontale Kraft  $H$  ergibt sich aus der resultierenden Kraft aus dem Erddruck  $F_{\text{Eah}}$  der Hinterfüllung und der Strömungskraft  $F_i$ . Diese Kraft wird durch den Erdwiderstand der Pfähle  $F_{\text{Eph}}$  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.

### 5.6.4 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. 3.4.6).

## 5.7 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 Tothholzverklausungen, 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.

### 5.7.1 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 15) oder Stabspannsysteme eingesetzt werden (siehe Abbildung 14). 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 14: Dywidag Stabspannsystem mit Unterlagscheibe und Mutter



Abbildung 15: 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 16 zeigt die Verankerung mittels Felsanker auf einen Blockstein, welcher im Flussschotter eingegraben werden kann und Abbildung 17 illustriert das direkt dran befestigte Bauholz.



Abbildung 16: Felsanker mit Ankerstange in Blockstein



Abbildung 17: 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. Den Autoren sind jedoch keine Praxiserfahrungen mit diesen Verbindungen bekannt und es wird aus diesem Grund nicht weiter auf diese Möglichkeit eingegangen. Einsatzversuche zu dieser Verbindungstechnik könnten lohnend sein, um gänzlich auf die Verwendung von Fremdmaterialien zu verzichten.

#### 5.7.2 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 potentiell 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.

### 5.7.3 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

## 5.8 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 Pflanzenwachstum. Es sollte darauf geachtet werden, einheimische, standortgerechte und autochthone Pflanzen aufzustocken (höherer Aufwuchserfolg). Weiter sind die Lage (in Bezug auf Wasserspiegellagen) und der Zeitpunkt der Bestockung wichtig, sodass sich die Pflanzen auch etablieren können. In der Literatur sind verschiedene Modelle vorhanden, die eine Planung der Vegetationsetablierung unterstützen. Als Beispiele sind hier das Recruitment Box Model sowie das Minimalistic Stochastic Model zu nennen (Siviglia, et al., 2017).

### 5.8.1 Recruitment Box Model

Das Recruitment Box Model wurde ursprünglich für Pappeln in den USA entwickelt (Mahoney, et al., 1998). Später wurde die Anwendung auch auf Weidengewächse im Allgemeinen ausgeweitet (USDA - Natural Resources Conservation Service, 2017) und grundsätzlich ist eine Anwendung für andere Pflanzenarten nicht auszuschliessen. In der Schweiz sind Weiden wichtige Vertreter von Pionierpflanzen, weshalb das Modell als Abschätzungsmethode genutzt werden kann. Das Recruitment Box Model basiert auf dem Verlauf des 3-Tage-Moving-Average Wasserstands und Pflanzeigenschaften. Die eigentliche Recruitment Box ist eine Kombination aus einem Höhenabschnitt (Recruitment Band) und einem zeitlichen Abschnitt (Seed Release), welche von der Pflanzenart abhängt. Als weitere Bedingung für eine Region, die eine erfolgreiche Etablierung der Vegetation ermöglichen sollte, wird das Gefälle des 3-Tage-Moving-Average Wasserstands zugezogen. Dabei wird die Annahme getroffen, dass Sämlinge nur bis zu einem gewissen Gefälle der Ganglinie (abhängig von der Art) gedeihen können. So lassen sich ein Zeitraum und ein Höhenbereich abschätzen, welche eine erfolgreiche Etablierung der Pflanze ermöglichen sollten.

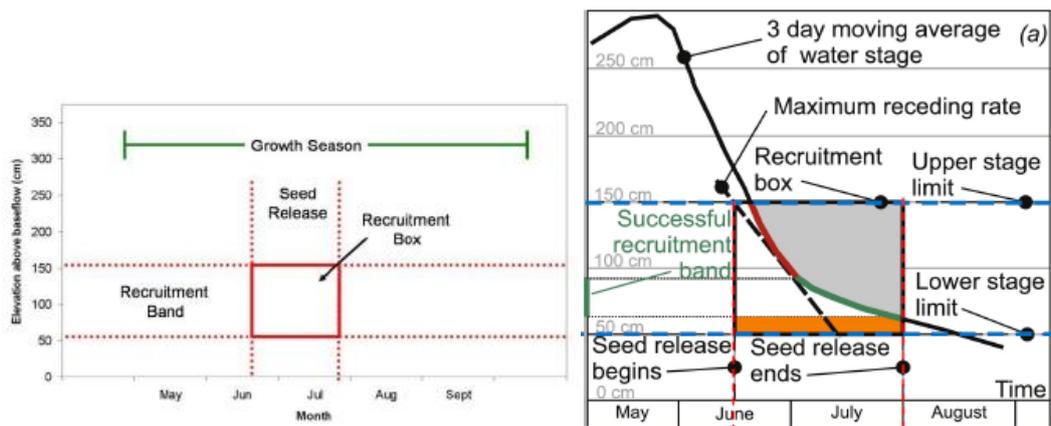


Abbildung 18: Recruitment Box Model

## 5.9 Handhabung Versagensmechanismen

Die verschiedenen Versagensursachen und -mechanismen von ELJs wurden im Kapitel 3.4.6 abgehandelt. Welche dieser Mechanismen relevant sind und wie diesen vorgebeugt werden kann, ist stark projektspezifisch. Insbesondere die Art der betrachteten ELJ-Struktur sowie deren Zweck sind von grosser Bedeutung.

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 Kolkenschutz sorgfältig zu planen und einzubauen. Weiter können mechanische Verbindungen die ELJ-Struktur weiterhin stabilisieren, auch wenn Teile der Struktur unterspült wurden. Kontinuierliche Versagensmechanismen sind weitaus weniger relevant für Ufer- und Objektschutz-ELJs. Schäden an der ELJ-Struktur durch Ausspülungen und Zerfall der Holzstruktur werden im Zielzustand mittelfristig eigendynamisch durch eingetragenes Geschiebe und Totholz kompensiert. Ist das nicht der Fall, können gegebenenfalls Reparaturmassnahmen einfach ergriffen werden.

Für Inselkopf-ELJs ist neben der Kolkbildung insbesondere auch das Überströmen relevant. Da sich Inselkopf-ELJs meist mitten in der Strömung befinden, sind der Strömungsdruck und die Schubspannungen entsprechend grösser als beispielsweise am Ufer. Bei Grossereignissen können so auch ganze Strukturen durch Oberflächenerosion weggespült werden.

Das Versagen von ELJs, die ausschliesslich der ökologischen Aufwertung dienen, kann nicht allgemeingültig bewertet werden. Ein Versagen der Struktur muss nicht zwingend ein Verfehlen des Zwecks der Massnahme bedeuten. Oft soll mit Aufwertungs-ELJs dem Fluss eine Eigendynamik zurückgegeben werden. Wird eine solche ELJ-Struktur ganz oder teilweise zerstört, ist die Wahrscheinlichkeit gross, dass sich weiter flussabwärts aus den Trümmern neue Strukturen bilden, was einem natürlichen Mechanismus entspricht.

Bei einem Versagen einer ELJ-Struktur wird immer auch Material ins Fließgewässer eingetragen und stromabwärts transportiert. Grosse Mengen Schwemmhölz oder Geschiebe können für Anlieger flussabwärts eine Gefahr darstellen, zum Beispiel durch Verklausungen bei Brücken oder Beschädigung von Kraftwerken. Solche Schadenspotentiale abseits des eigentlichen Projektperimeters sind in der Planung von ELJ-Projekten angemessen zu berücksichtigen.

## 6 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).

### 6.1 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 4.4) 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 6.2.3).

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.

#### 6.1.1 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 4.6.4) 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 Holzmenge in der Ausführung stark abweicht, erhöht sich das Risiko, dass die Unternehmung aus wirtschaftlichen Gründen bei der Ausführungsqualität Abstriche macht, was nicht im Sinne des Projekts sein kann.

## **6.2 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 anderen durch qualitativ gute Submissionsunterlagen das Verständnis der Beteiligten und die Qualität in der Zusammenarbeit.

### **6.2.1 Alternativen sind vorzusehen**

Wie schon im Kapitel 4.6 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.

### **6.2.2 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 Unstimmigkeiten und Schuldzuweisungen zu rechnen.

### **6.2.3 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 Wurzelwerk) ist auch auf dem Bodenschutz im Wald zu achten und es sind die entsprechenden Vorkehrungen zu treffen. Für den Aufruf 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 Wurzelstämme 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.

#### 6.2.4 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 vernünftigen 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.

### 6.3 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.

#### 6.3.1 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.

#### 6.3.2 Überwachung

In der Ausführung sind durch die Bauleitung Protokolle über die Pfählungen (Eindringtiefen) und den Verbau der Grenzsicht (lückenloser Verbau) 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.

## 7 Chancen / Gefahren

### 7.1 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.

- Initiierung Auenwaldprozess (siehe Kapitel 3.4.3)
- Synergie Gerinneinhangpflege nutzen (siehe Kapitel 4.4.1)
- Gesteigerte Wertschöpfung in der Region bewirken (siehe Kapitel 4.4.2)
- Aufwertung Auenlebensräume (siehe Kapitel 3.4.5)
- Lebensraum aufwerten und neue Lebensräume schaffen (terrestrisch und aquatisch, Lebensraum für Kleintiere, Pionierstandort, etc.) (siehe Kapitel 3.4.5)
- Strömungsdiversifizierung und Morphologie (siehe Kapitel 3.4.4)
- Austausch mit Grundwasser fördern und Kaltwasseraufstosse im Sommer als Rückzugsort für Fische begünstigen (siehe Kapitel 3.6.4)
- Vernetzung der terrestrischen und aquatischen Ökosysteme begünstigen (siehe Kapitel 3.5.1)
- Aufwertung für die Naherholung (Vegetation, Badepools, etc.) (siehe Kapitel 3.4.5 und 3.5.3)
- Zugänglichkeit zum Gewässer fördern (Auflandung im Strömungsschatten einer ELJ-Buhne) (siehe Kapitel 3.5.1)
- Beschattung der Gewässer erhöhen (siehe Kapitel 3.4.7)
- Naturnahe und nachhaltige Sohlenstabilisierung, Ausweg aus der Erosionstendenz bei gestreckten Flussläufen (siehe Kapitel 3.5.4)
- Usw.

### 7.2 Gefahren

Wie alle Wasserbauprojekte bergen auch ELJs Gefahren, welchen mit einer angemessenen Planung bestmöglich entgegengewirkt werden sollte. Dabei sind die 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.

#### **Abschwemmen von Holz oder ganzen ELJs**

Bereits im Planungsprozess ist es wichtig auf mögliche Gefahren durch potentiell abgeschwemmtes Holz einzugehen. Bei Bauwerken wie Brücken oder auch bei Wasserkraftanlagen können grössere Mengen von abgeschwemmten Holz zu Problemen führen (wie dies während Hochwasserereignissen auch natürlich stattfindet). Durch die in diesem Dokument vorgestellten Dimensionierungsansätze (siehe Kapitel 5) können diese Gefahren auf ein vertretbares Restrisiko reduziert werden und das Potential von zusätzlichem Schwemmholzurückhalt kann wahrgenommen werden (siehe Kapitel 3.4.4). 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 Erkenntnis 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 dazu auch Kapitel 10.2).

#### **Gefährdung der Freizeitaktivität auf und im Wasser (Schwimmer, Gummiboote, etc.)**

Um dieser Gefahr angemessen zu begegnen, ist es wichtig die ELJ-Struktur in ihrer Form und Ausbildung angemessen zu planen. Empfohlen wird dabei auch ein Augenmerk auf die Anströmbedingungen zu legen und dies in die notwendige Gefahrenbeurteilung einfliessen zu lassen. Ein gutes Mittel für diese Betrachtung stellt beispielsweise eine zweidimensionale-morphodynamische Modellierung oder ein physikalischer Modellversuch dar.

### **Verschleppung / Verbreitung von invasiven Neophyten**

Durch die Verwendung von 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 nahegelegenen 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 einer regelrechten Explosion der Neophytenbestände flussabwärts führen.

## 8 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)).

### 8.1 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**.

### 8.2 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**.

### 8.3 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) 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 Sturmereignis mit Windwurf.

Für ein Projekt mit einem mittleren Umfang, kann bei einer regulären Planung und Bauumsetzung 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**.

### 8.4 ELJ Projekt ohne konkrete Bezugsquelle für das 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 4.4 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**.

## 9 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.

### 9.1 Erfahrungswerte

#### 9.1.1 International

##### Aus: ELJ Konzepthandbuch Staat Washington, USA

(Herrera Environmental Consultants, Inc., 2006)

Typ	Einheit	Kosten
ELJ-Inselkopf mit ca. 85 Bäumen BHD >40 cm (ohne Wasserhaltung)	Stk.	USD 150'000
Status: ELJ-Inselkopf mit ca. 85 Bäumen BHD >40 cm (mit Wasserhaltung)	Stk.	USD 164'000
ELJ-Buhne	Stk.	USD 136'000

##### Aus: Richtlinien zur Wiederherstellung von Bachlebensräumen, Staat Washington, USA

(Kay Saldi-Caromile, 2004), (Cramer, 2012)

Typ	Einheit	Kosten
ELJs generell (Ausgabe 2012)	Stk.	USD 5'000 – 100'000
ELJs generell (Ausgabe 2004)	Stk.	USD 1'000 – 50'000
Kosten pro Baum für Verbau (auf Platz)	Stk.	USD 100

##### Aus: Uferschutzprojekt am Fluss Cowlitz, Staat Washington, USA

(Abbe, et al., 1997)

Typ	Einheit	Kosten
Uferschutz-ELJ	m'*	USD 23-100

\* beinhaltet keine Kosten für Holz und Transport, ausschliesslich Aufwendungen für den Verbau

##### Aus: Gestaltungsrichtlinie für die Wiedereinführung von Holz in australischen Flüssen

(Brooks, et al., 2006)

Typ	Einheit	Kosten
ELJ-Klein (BHD >25 cm, 38.4 m <sup>3</sup> )	Stk.	AUD 3'568
ELJ-Kl./Mittel (BHD 25-40 cm, 174.5 m <sup>3</sup> )	Stk.	AUD 16'208
ELJ-Mittel (BHD 40-45 cm, 65.7 m <sup>3</sup> )	Stk.	AUD 6'106
ELJ-Mi./Gross (BHD 45-50 cm, 22.4 m <sup>3</sup> )	Stk.	AUD 2'080
ELJ-Gross (BHD 50-90 cm, 75.8 m <sup>3</sup> )	Stk.	AUD 7'038

### 9.1.2 Schweiz

#### Aare Löchligut, Bern

(Widmer, et al., 2018)

Typ	Einheit	Kosten
Uferschutz-ELJ	Stk.	CHF 100'000 - 150'000
Uferschutz-ELJ	m'	CHF 3'000

## 9.2 Kostenvergleich ELJ Ufersicherung – klassischer Uferverbau

### 9.2.1 Fallbeispiel Aare Löchligut, Bern

Beim Uferverbau an der Aare in Bern wurden die Kosten eines klassischen Uferverbaus mit Blocksteinen dem ELJ-Uferverbau gegenübergestellt:

	ELJ CHF	Blockstein CHF	Differenz %
Kosten 'm (ohne Installation und Erschliessung)	3'000	2'800	ELJ: +10
Kosten 'm (mit Installation und Erschliessung)	3'820	3'550	ELJ: +8

## 10 Fallbeispiele und Potentiale

### 10.1 Fallbeispiele International

Im Folgenden werden einige Beispiele von durchgeführten ELJ-Projekten aufgelistet. Dabei beschränken sich die untenstehenden Ausführungen auf die Projektziele, die jeweils verwendeten ELJ-Typen, den Erfolg der Projekte sowie auf relevante Erfahrungen. Für weiterführende Informationen wird auf die Literatur verwiesen.

#### 10.1.1 Nordamerika

##### Upper Cowlitz River, Washington, USA

(Herrera Environmental Consultants, Inc., 2006), (Southerland, et al., 2010), (Abbe, et al., 1997)

Ziele: Schutz vor Ufererosion  
Erhaltung/Verbesserung der Ufer- und Gewässerhabitate

ELJ-Typen: Inselkopf-ELJs  
Uferschutz-ELJs

Erfolg: Gewählte Uferlinie seit 1995 erfolgreich geschützt  
Kolkbecken führten zu mehr Habitatsvielfalt

Erfahrungen: Erstes ELJ-Projekt  
grössere Ereignisse (u.a. R = 20 Jahre) ohne Schäden überstanden  
Geschiebe- und Schwemmholfangfunktionen von ELJs ersichtlich

##### Cispus River, Washington, USA

(Herrera Environmental Consultants, Inc., 2006), (Southerland, et al., 2010)

Ziele: Objektschutz Strasse  
Schutz vor Ufererosion  
neue Habitate für Salmonide

ELJ-Typen: Inselkopf-ELJs  
Uferschutz-ELJs  
Buhnen-ELJs

Erfolg: Strasse geschützt  
Pufferzone zwischen Flussbett und Strasse etabliert  
Salmonide im Cispus River wieder angesiedelt  
Kolkbecken bei ELJs bilden Habitate für Jungfische

Erfahrungen: Rasche ökologische Aufwertung möglich (Wiederansiedlung von Salmoniden innert einem Jahr)

##### North Fork Stillaguamish River, Washington, USA

(Herrera Environmental Consultants, Inc., 2006), (Southerland, et al., 2010)

Ziele: Verbesserung und Vervielfältigung der Ufer- und Gewässerhabitate  
bessere Vernetzung zwischen Gerinne, Ufer- und Auengebieten  
Hochwasserschutz der Anlieger  
Objektschutz Brücke (Verkläusungen, Kolk)

ELJ-Typen: Inselkopf-ELJs  
Uferschutz-ELJs

Erfolg: Kolkbecken bei ELJs bieten Habitate  
Sanddeposition in Kolkbecken vergrössert Substratvielfalt  
seit ELJ-Bau keine Verkläusungen der Brücke registriert

Erfahrungen: Kolkbildung führte zu Schäden und Setzungen einzelner ELJ-Strukturen, jedoch nicht zum Versagen  
Beschriftung der verwendeten Baumstämme zeigte geringe Verluste von eingebauten Stämmen

### Hoh River, Washington, USA

(Herrera Environmental Consultants, Inc., 2006), (Peters, et al., 2012)

Ziele:	Objektschutz Highway 101 Uferschutz
ELJ-Typen:	4 Inselkopf-ELJs 8 Uferschutz-ELJs
Erfolg:	Erfolgreicher Schutz des Highway 101 und des Ufers aufgrund dessen ein zweites ELJ-Projekt im Hoh River durchgeführt wurde
Erfahrungen:	Bis dato eines der grössten ELJ-Projekte ELJs ersetzen in diesem Projekt erfolgreich herkömmliche Riprap-Verbauungen Für zusätzliche Sicherheit wurden die ELJ-Strukturen mit Stahlträgern verankert und mit Steinballast zusätzlich beschwert ökologische Aufwertung beschränkte sich auf sekundäre Habitate

### 10.1.2 Australien

#### Williams River, New South Wales, Australien

(Brooks, et al., 2006)

Ziele:	Sohlenstabilisierung Geschiebefang Habitataufwertung Uferschutz
ELJ-Typen:	Inselkopf-ELJs Uferschutz-ELJs Buhnen-ELJs Schwellen-ELJs
Erfolg:	Vergrösserter Geschieberückhalt vielfältigere Gerinnestrukturen (Pool-Riffle, Bänke) langfristig keine signifikante Steigerung der Anzahl Fische im Flussabschnitt erfolgreicher Uferschutz zwei Schwellen-ELJs versagten aufgrund Stromumlenkung, seitlicher Erosion
Erfahrungen:	Schwellen-ELJs mit grösseren, seitlichen ELJ-Strukturen kombinieren

## 10.2 Fallbeispiele Schweiz

### 10.2.1 Aare, Löchligut Bern

Auftraggeber: Tiefbauamt des Kantons Bern

Planer: Emch+Berger AG Bern

(Widmer, et al., 2018)

Ziele: Habitataufwertung  
Uferschutz

ELJ-Typen: Uferschutz-ELJs

Status: Umgesetzt

Erfolg: ELJ Umsetzung unter Restriktion von Nutzung durch Schwimmer und Böttler

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

### 10.2.2 Emme, Utzenstorf BE

Auftraggeber: Schwellenverband Emme Sektion II

Planer: Stebler + Dällenbach, Kirchberg

Ziele: Habitataufwertung  
Flussaufweitung / Auenrevitalisierung

ELJ-Typen: Uferschutz-ELJs  
Inselkopf-ELJs

Status: Genehmigt, Bau 2019-2021

### 10.2.3 Sense, Oberflamatt BE / FR

Auftraggeber: Gemeinde Wünnewil-Flamatt FR und Neuenegg BE

Planer: Emch+Berger AG Bern, Flussbau AG, Bern

Ziele: Habitataufwertung  
Uferschutz  
Flussaufweitung / Auenrevitalisierung  
Geschiebefang

ELJ-Typen: Inselkopf-ELJs  
Uferschutz-ELJs  
Buhnen-ELJs

Status: In Genehmigung, Bau ca. 2020-2022

### 10.2.4 Aare Fahrhubel, Belp BE

Auftraggeber: Tiefbauamt des Kantons Bern

Planer: Kissling + Zbinden AG, Bern

Ziele: Habitataufwertung  
Uferschutz

ELJ-Typen: Buhnen-ELJs

Status: In Genehmigung, Bau 2019 / 2020

## 10.3 Potential Schweiz

### 10.3.1 Auenrevitalisierung

Zur Erfüllung der Ziele einer Auenrevitalisierung stellen ELJs ein optimales Bauwerk dar, da insbesondere eine genügend grosse Totholzmenge in solchen Projekten ein zentraler Faktor spielt (Werdenberg, et al., 2018). Somit weisen Auenrevitalisierungsprojekte ein grosses Potential für den Einsatz von ELJs auf. In Anbetracht des Einflusses von ELJs auf die natürliche Sukzession (siehe Kapitel 3.4.3) sollten bei einer Auenrevitalisierung eigentlich immer auch ELJs zum Einsatz kommen.

### 10.3.2 Sicherung Interventionslinien

Bei der Sicherung von Interventionslinien können ELJs in Form von Bühnen-ELJs oder Uferschutz-ELJs verwendet werden. Voraussetzung dafür ist neben der Verfügbarkeit von geeignetem Bauholz auch das Raumangebot. Bei sehr knappen Platzverhältnissen eignen sich steinige Bauweisen wahrscheinlich besser für die Aufgaben. Bei einem genügenden Raumangebot können die ELJs eingesetzt werden. Sollte ein «schlafender» Verbau zum Schutz einer Interventionslinie vorgesehen sein, ist von der Verwendung von ELJs abzuraten (Holzabbau findet dann ohne gleichzeitigen Aufwuchs der Bepflanzung statt).

### 10.3.3 Strömunglenkung

Zur Strömunglenkung eignen sich Bühnen-ELJs und Inselkopf-ELJs grundsätzlich gut. Bei einem sehr technischen Ansatz und entsprechend genauer und detaillierter Geometrie der Strömunglenkung (z.B. Wasserteiler usw.) wird von der Anwendung von ELJs abgeraten, da diese Bauwerke nicht in sehr exakten Abmessungen erstellt werden können. Für eine Strömunglenkung im Sinne von Instream River Training (IRT), also als dauernd überströmte Bauwerke, welche eine Sekundärströmung induzieren sollen, eignen sich ELJs ebenfalls nicht.

### 10.3.4 Uferschutz

Beim Einsatz als Uferschutz bieten sie (Bühnen-ELJs oder Uferschutz-ELJs) ein grosses Potential. In diesem Einsatzgebiet können Uferschutz-ELJs auch bei deutlich kleineren Gewässern zur Anwendung kommen.

### 10.3.5 Schwemmholzurückhalt

Im ökologischen Sinne ist es sehr sinnvoll, ELJs für den Schwemmholzurückhalt einzusetzen. Gilt es Schwemmholz aus Sicherheitsgründen zurückzuhalten, können sie einen klassischen Schwemmholzurückhalt nicht ersetzen. Wird jedoch ein solcher notwendig, ist der Einsatz von ELJs im Oberlauf zu prüfen, um so die Schwemmholzfracht im Rechen zu reduzieren und so die Unterhaltskosten zu senken.

### 10.3.6 Sohlensicherung

In der Gewässersohle verbaute ELJs (Inselkopf-ELJs) wirken im Grundsatz als Sohlenfixpunkte, welche die Sohle zumindest teilweise sichern können. Im Verbund betrachtet, kann so auch eine Sohlensicherung erreicht werden (Siehe Kapitel 3.5.4 und 5.5.5).

## Literaturverzeichnis

- 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, Montgomery, David und Petroff, Catherine. 1997.** *Design of stable in-channel wood debris structures for bank protection and habitat restoration: an example from the cowlitz river, WA.* 1997.
- 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.
- Bayerisches Landesamt für Umwelt.**  
[https://www.lfu.bayern.de/geologie/geotope\\_schoensten/93/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/geologie/geotope_schoensten/93/index.htm). [Online] [Zitat vom: 25. 05 2018.]
- 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.
- Böll, Albert, et al. 1999.** *Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Runsenverbau.* s.l. : WSL, 1999.
- Brooks, Andrew P und Abbe, Tim B. 2001.** Putting the wood back into our rivers: An experiment in river rehabilitation. *Third Australian 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.
- 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.
- Cramer, Michelle L. 2012.** *Stream Habitat Restoration Guidelines.* Olympia, Washington, USA : Washington Departments of Fish and Wildlife, Natural Resources, Transportation and Ecology, Washington State Recreation and Conservation Office, Puget Sound Partnership, and the U.S. Fish and Wildlife Service., 2012.
- Dalbeck, Lutz. 2018.** *Biber und Biodiversität.* Schweizer Fachtagung Biber : s.n., 2018.
- 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.
- 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.
- 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.
- Kalleberg, H. 1958.** Observations in a stream tank of territoriality and competition in juvenile salmon and trout. *Rep. Inst. Freshw. Res. Drottningholm.* 1958, 39.

- Kay Saldi-Caromile, P.E., WDFW, Ken Kozmo Bates, P.E., KOZMO, Inc., Peter Skidmore, Inter-Fluve, Inc., Juliet Barenti, USFWS, Doug Pineo, WDOE. 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.
- 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.
- Mackensen, Jens und Bauhus, Jürgen. 1999.** The Decay of Coarse Woody Debris. *National Carbon Accounting System*. 1999, Bd. 6.
- Mahoney, John M. und Rood, Stewart B. 1998.** Streamflow Requirements for Cottonwood Seedling Recruitment - an Integrative Model. *WETLANDS*. 18, 1998, Bd. 4.
- Mc Henry, Michael, Pess, George und Abbe, Tim. 2007.** *The Physical and Biological Effects of Engineered Logjams (ELJs) in the Elwha River, Washington*. 2007.
- Meier, Luzia und Mende, Matthias. 2018.** Revitalisierung "bissiger" Gewässer mit Schlüsselhölzern - Beispiel Scherlibach BE. *Ingenieurbiologie*. 2018, Mitteilungsblatt 2/2018.
- Mende, Matthias. 2018.** Totholzmenigen in Fließgewässern. *Ingenieurbiologie*. 2018, Mitteilungsblatt Nr. 2 /2018.
- Minor, H.-E, Lange, Daniela und Bezzola, Gian Reto. 2006.** *Schwemholz - Probleme und Lösungsansätze*, VAW Mitteilung 188. 2006.
- 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.
- Pess, G.R., et al. 2007.** Juvenile and adult salmonid response to the placement of logjams in the Elwha and Stillaguamish Rivers: preliminary results. *Stillaquamish Tribes, Lower Elwha Klallam Tribe, and Washington Trout*. 2007.
- Peter, Armin und Stocker, Roman. 2017.** *Vorlesungsunterlagen "Ecohydraulics"*. Zürich : IfU ETH, 2017.
- Peters, R.J., et al. 2012.** *Fish Abundance, Habitat, and Habitat Use at Two Stabilized Banks in the Hoh River, Washington: Preliminary Data to Evaluate the Influence of Engineered Logjams*. s.l. : Washington State Department of Transportation WSDOT, 2012. WA-RD 786.1.
- Siviglia, Annunziato und Stocker, Roman. 2017.** *Vorlesungsunterlagen "Ecohydraulics"*. Zürich : IfU ETH, 2017.
- 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.
- USDA - Natural Resources Conservation Service. 2017.** *Cottonwood and Willow Recruitment along the Musselshell River Following the 2011 Flood-of-Record*. 2017.
- Werdenberg, Niels und Widmer, Andreas. 2018.** "Stammzellenkur" für die Alte Aare - ein Totholz-Grossprojekt im Mittelland. *Ingenieurbiologie*. 2018, Mitteilungsblatt 2/2018.
- Widmer, Andreas, Haupt, Simon und Zeugin, Till. 2018.** *Ausführliche Schlussdokumentation ELJ Aare Löchligut*. s.l. : Renaturierungsfonds des Kantons Bern, 2018.
- 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](http://www.lfi.ch/glossar).
- Zahner, Volker. 2018.** *Einfluss des Bibers auf den Wasserhaushalt*. Schweizer Fachtagung Biber, Frauenfeld : s.n., 2018.