



## Sicherung von Totholzstrukturen in der Aare, Rubigen BE

### Verankerung von Totholzstrukturen

- Verankerung eines einfachen Wurzelstocks im Uferbereich der Aare im Zuge von weiteren ökologischen Aufwertungsmassnahmen.



Wurzelstock mit Blockstein als Verankerung (Foto: Kästli Bau AG)

### Allgemeine Informationen

Ausführungsort: Aare Hunzigenau, Rubigen BE, 2'607'722 / 1'192'332

Bauherrschaft / Projektleitung: Fischereiinspektorat des Kantons BE, Renaturierungsfonds, Olivier Hartmann

Projektverfasser: Kästli Bau AG, David Hausammann

Bauleitung: Kästli Bau AG

Realisierungsjahr: 2015

### Funktion / Anwendungsgrenzen

Totholz in Fließgewässern ist ein wichtiges Element für die Ökologie. Speziell im Uferbereich schaffen Totholzstrukturen vielfältige Lebensräume und fördern die Diversität der Strömungsgeschwindigkeit eines Fließgewässers. Heutzutage wird im Zuge von Renaturierungsmassnahmen oder zur Lebensraumaufwertung Totholz oft künstlich in den Fluss eingebaut. Damit es nicht durch die Strömung wegtransportiert und im Hochwasserfall zum Gefahrenpotential wird, werden grössere Totholzstrukturen in Fließgewässern verankert.

Im vorliegenden Projekt wurde eine Sicherheitsholzerei entlang der Uferböschung durchgeführt. Nutzholz und Äste wurden abtransportiert. Die Idee des Projektes war, Stöcke, welche sich bereits im Abflussbett befinden, nicht aufwendig zu entfernen oder zu fräsen, sondern diese zu belassen bzw. so zu platzieren und zu verankern, dass keine Gefährdung mehr von ihnen ausgeht.

Im Zuge des Projekts wurden verschiedene Massnahmen durchgeführt (Verankerung von einfachen Wurzelstöcken, Verankerung von Bäumen, Verankerung von Totholzhaufen). Im vorliegenden Bericht wird nur der einfache Wurzelstock näher beschrieben.

### Voraussetzungen Baugrund

Zur Befestigung der Totholzstrukturen gibt es verschiedene Methoden (gerammte Bahnschienen, Holzpfähle, Betonpfeiler, Blocksteine). Lockergestein (Kies) eignet sich ideal als Baugrund, da die Verankerungselemente direkt in den Boden gerammt/eingebettet werden können. Festgestein (Fels) ist eher ungeeignet, da in diesem Fall unterirdische Anker verbaut werden müssen. Auch die Einbettung von Blocksteinen als Anker für das Totholz ist bei Festgestein nur schlecht möglich.



## Gesetze / Normen

### Gesetze Bund:

- SR 814.20 Gewässerschutzgesetz (GSchG)
- SR 814.201 Gewässerschutzverordnung (GSchV)

### Gesetze Kanton:

- BSG 752.41 Wassernutzungsgesetz
- BSG 752.413 Renaturierungsdekret
- BSG 751.11 Gesetz über Gewässerunterhalt und Wasserbau (Wasserbaugesetz)
- BSG 751.111.1 Wasserbauverordnung

### Normen:

- SIA 118 Allgemeine Bedingungen für Bauarbeiten

## Projektierung

### Normalie / Plan

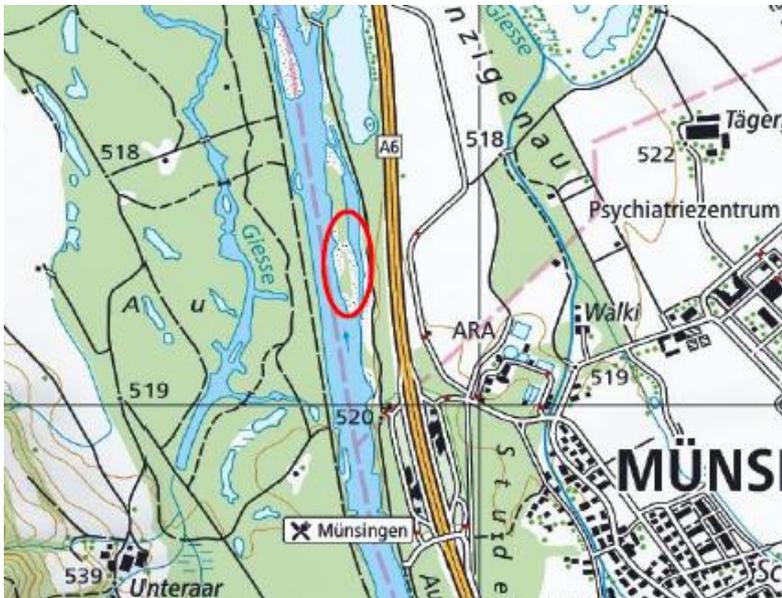


Abbildung 1: Übersichtskarte mit dem rot umrandeten Projektgebiet

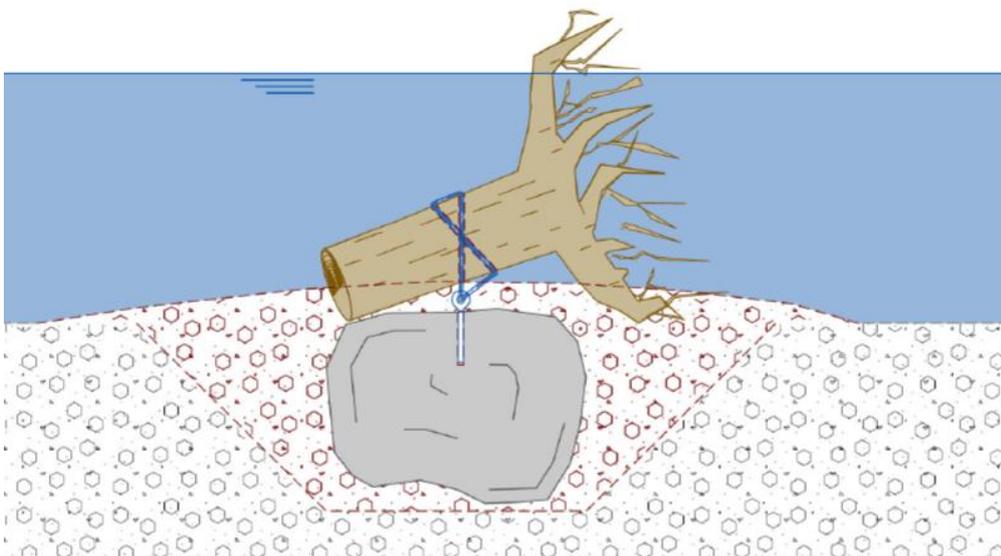


Abbildung 2: Schematische Abbildung des in der Flussole versetzten Wurzelstocks (Foto: Kästli Bau AG)



Abbildung 3: Im Zuge des Projekts realisierte Tothholzelemente in der Aare (Foto: Kästli Bau AG)

Nr.	Elementtyp	Blockgewicht	Anzahl Elemente
1	Wurzelstock Ø 0.4 m	1 x 2 t	1
n.s.	Wurzelstock Ø 0.6 m	2 x 2 t	1
2	Baum Ø 0.3 m, Stammlänge ca. 10 m	2 x 2 t	1
3	Baum Ø 0.6 m, Stammlänge ca.8 m	2 x 2 t	2
4	Baum Ø 0.7 m, Stammlänge ca. 6 m	2 x 2 t	2
n.s.	Tothholzhaufen ca. 15 m <sup>3</sup> (lose)	2 x 2 t	1

Abbildung 4: Technische Eckdaten der realisierten Tothholzelemente



## Tragwerksanalyse

Eine Tragwerksanalyse im eigentlichen Sinne wurde nicht durchgeführt bzw. ist nicht bekannt.

Die Verankerungsmethode mittels Blocksteinen wurde gewählt, da sie einfach umzusetzen ist, geringe Umwelteinwirkungen mit sich bringt und bereits Blocksteine vor Ort verfügbar waren.

Die Aare hat in diesem Auengebiet über das Jahr hinweg sehr unterschiedliche Wasserspiegel. Damit der Stein nicht der Strömung ausgesetzt ist und keine Kolkphänomene auftreten, wird der Stein in die Sohle eingebunden. So wird der Stock auf der Flusssohle gehalten.

### Einwirkungen:

- Hydrodynamische Kräfte
- Hydrostatische Kräfte
- Erosion

### Auswirkungen:

- Kolk und strömungsdynamische Auswirkungen
- Elemente als Sicherheitsrisiko

## Bemessung

### Bemessungsgrundlagen:

Für die Berechnung der einwirkenden Kräfte auf Bäume und Wurzelstöcke werden die hydrostatischen (Auftrieb) und hydrodynamischen (Wasserdruck) Kräfte berücksichtigt. Auf die Berücksichtigung von Holzanprall wird verzichtet. Da sich die Totholzstrukturen auf der Höhe der Flusssohle befinden, ist die Wahrscheinlichkeit eines Schwemmholtzanpralls vernachlässigbar.

Zur Berechnung werden folgende Formeln verwendet:

$$\text{Hydrostatische Kraft (F}_s\text{): } F_s = V_{\text{Holz}} \cdot \rho_{\text{Wasser}} - V_{\text{Holz}} \cdot \rho_{\text{Holz}}$$

$$\text{Hydrodynamische Kraft (F}_d\text{): } F_d = 0.5 \cdot c_w \cdot \rho_{\text{Wasser}} \cdot v^2 \cdot A$$

$$\text{Gesamte einwirkende Kräfte (F): } F = F_s + F_d$$

**Volumen  $V_{\text{Holz}}$ :** Schnittfläche Baumstamm \* Stammlänge + Fläche Wurzelteller (Annahme Durchmesser Wurzelteller = 4 \* Stammdurchmesser) \* Dicke Stammdurchmesser (Annahme Festvolumen Wurzelteller entspricht Stammdurchmesser)

**Rohdichte  $\rho$ :** Wasser = 10 kN / m<sup>3</sup>, Holz = 8 kN / m<sup>3</sup>

**Formwiderstandsbeiwert  $c_w$ :** Die günstigen Anströmungsbedingungen erlauben die Annahme den Wurzelstock als Halbkugel, Kugelseitig angeströmt, zu betrachten. Somit ergibt das  $c_w = 0.3$ .

**Fliessgeschwindigkeit  $v$ :** Die Aare weist mit ihrem flachen Sohlengefälle im Abschnitt Hunzigenau in der Flussmitte Fliessgeschwindigkeiten von 2.5 bis 3.5 m/s auf. In den Uferbereichen wird eine durchschnittliche Fliessgeschwindigkeit bei Hochwasser von 2 m/s angenommen.

**Angriffsfläche  $A$ :** Fläche Wurzelstock (Durchmesser Wurzelteller = 4 \* Stammdurchmesser). Der Stamm ist in der Fläche des Wurzeltellers enthalten und wird nicht separat berücksichtigt. Da das Wurzelgeflecht nicht flächendeckend erscheint, wird die Angriffsfläche um 25 % reduziert.

### Konkrete Bemessung:

Ein Wurzelstock bis zu einem Durchmesser von ca. 0.3 m und 1 m Stammlänge wurde mit einem Stein mit einem Eigengewicht von rund 1.5 bis 2 t gesichert.

$$F_s = 0.41 \text{ m}^3 \cdot 10 \text{ kN} - 0.41 \text{ m}^3 \cdot 8 \text{ kN} = 0.8 \text{ kN}$$

$$F_d = 0.5 \cdot 0.3 \cdot 10 \text{ kN} \cdot 2 \text{ m/s}^2 \cdot 0.7 \text{ m}^2 = 4.2 \text{ kN}$$

$$F = 5.0 \text{ kN}$$

Ein Blockstein mit einem Eigengewicht von 1.5 t entspricht einem Volumen von ca. 0.6 m<sup>3</sup> und unterliegt somit einem Auftrieb von 6 kN. Der Blockstein weist somit eine Gegenkraft von 9 kN auf. Bereits der Stein alleine reicht aus um die einwirkenden Kräfte auf den Wurzelstock zu kompensieren. Durch die Einbindung des Blocksteins in die Sohle wird der Widerstand zusätzlich erheblich erhöht. Da der Sicherheitsnachweis bereits



ohne Einbindung erbracht werden kann, wird die Berechnung des Widerstandes durch die Einbettung verzichtet.

Untenstehend einige Berechnungen der notwendigen Blockgrössen in Abhängigkeit unterschiedlicher Wurzelstockgrössen:

Stamm  $\varnothing$  0.3 m, l = 1.5 m, Wurzelteller  $\varnothing$  1.2 m: Erforderliches Gegengewicht  $\hat{=}$  ca. 1.0 t

Stamm  $\varnothing$  0.4 m, l = 1.5 m, Wurzelteller  $\varnothing$  1.6 m: Erforderliches Gegengewicht  $\hat{=}$  ca. 2.0 t

Stamm  $\varnothing$  0.5 m, l = 1.5 m, Wurzelteller  $\varnothing$  2.0 m: Erforderliches Gegengewicht  $\hat{=}$  ca. 3.0 t

Stamm  $\varnothing$  0.6 m, l = 1.5 m, Wurzelteller  $\varnothing$  2.4 m: Erforderliches Gegengewicht  $\hat{=}$  ca. 4.5 t

Ø Kosten pro Einheit

<b>Löhne</b>	<b>Menge</b>	<b>Ansatz</b>	<b>Total</b>
Vorarbeiter	2.5 h	CHF 100	CHF 250
Maschinist	1.5 h	CHF 92	CHF 138
<b>Zwischentotal Löhne</b>			<b>CHF 388</b>
<b>Material</b>			
Felsanker M20 mit Ringmutter	3 Stk.	CHF 30	CHF 90
Drahtseil 13 mm	8 m	CHF 10	CHF 80
Drahtseilklemme 13 mm	4 Stk.	CHF 5	CHF 20
Blocksteine	6 t	CHF 60	CHF 360
Wurzelstock mit mind. 1.5 m Stamm	1 Stk.	vorhanden	CHF 0
<b>Zwischentotal Material</b>			<b>CHF 550</b>
<b>Inventar</b>			
Bohrmaschine mit Steinbohrer	0.25 h	CHF 39	CHF 10
Stromaggregat mobil	0.25 h	CHF 24	CHF 6
Zwischentransport mit Dumper	0.33 h	CHF 64	CHF 21
Bagger mit Steinzange	0.25 h	CHF 267	CHF 67
<b>Zwischentotal Inventar</b>			<b>CHF 104</b>
<b>Total Erstellungskosten exkl. MwSt.</b>			<b>CHF 1'042</b>

Die erstellten Totholzstrukturen in Rubigen konnten in Zusammenhang mit den laufenden Bauarbeiten Instandstellung Hunzigenau umgesetzt werden. Die laufenden Arbeiten boten sämtliche notwendigen Geräte und Materialien vor Ort und das Gelände optimale Bedingungen zur Ausführung der Arbeiten.

Tun und Vermeiden

- 5 Jahre nach der Realisierung (Stand 2020) werden Stahlseile nur noch bedingt zur Verankerung von Wurzelstöcken eingesetzt. Obwohl sie verzinkt sind, hat sich gezeigt, dass die stetige Belastung durch die hydraulischen Kräfte und das Geschiebe den Stahlseilen stark zusetzt und diese (trotz Verzinkung) korrodieren lässt.
- Der Einbau von Totholz im Gewässer muss immer dem individuellen Gerinne entsprechend ausgeführt werden (Grösse, Lage, Einbindung etc.). Der Wurzelstock ist eines der einfachsten und vermutlich wirkungsvollsten Strukturelemente in allen Gerinnearten und -grössen.
- Da der Massnahmenperimeter in einem BLN-Gebiet (Bundesinventar der Landschaften und Naturdenkmäler) liegt, mussten die Eingriffe die jeweiligen Schutzziele des Gebietes respektieren.

## Materialien

- Namen
- Felsanker M20 mit Ringmuttern
  - Drahtseil (13 mm)
  - Drahtklemme
  - Blocksteine
  - Wurzelstock

NPK Kapitel / Position 213.XXX.XXX Wasserbau



**Mindestanforderungen** Die Blocksteine müssen ein Eigengewicht von mindestens 1.5 t aufweisen.

**Verarbeitung Tipp** [Klicken Sie hier, um Text einzugeben.](#)

Ø Menge pro Einheit	Felsanker M 20 mit Ringmutter	3 Stk.
	Drahtseil 13 mm	8 m
	Drahtseilklemme 13 mm	4 Stk.
	Blocksteine	6 t
	Wurzelstock mit min. 1.5 m Stamm	1 Stk

## Mittel

**Maschinen** Bagger mit Löffel und Steinzange (16 t), Dumper mit 2 m<sup>3</sup> - Mulde

**Geräte** Mobiles Stromaggregat, Schlagbohrmaschine, Kettensäge, Handwerkzeug

## Installation

-

## Ausführung

**Absteckung** -

**Erdarbeiten**

- Vertiefung in der Flussole für den Blockstein ausheben
- Nach dem Einsetzen des Wurzelstocks bedecken des Blocksteins mit Flusskies

**Arbeitsschritte**

1. Löcher in Wurzelstock und Blocksteine bohren
2. Felsanker anbringen und Ringmutter aufdrehen
3. Drahtseil beim Blockstein/Wurzelstock einschlaufen und mit Klemme sichern
4. Vertiefung am Einbauort mit dem Bagger ausheben
5. Hybrid mit Stein/Wurzelstock an Zielort legen
6. Bedecken des Steins mit Flusskies

**Tun und Vermeiden**

- Die Totholzstrukturen müssen so positioniert werden, dass sie weder den Abflussquerschnitt der Aare einschränken noch eine Gefährdung für Gummiboote darstellen.
- Die Arbeiten müssen bei tiefem Wasserstand durchgeführt werden.
- Bei Arbeiten in Gewässernähe gelten besondere Bestimmungen (siehe Gewässerschutzgesetz GSchG, Gewässerschutzverordnung GSchV)

**Abschlussarbeiten** -

## Sicherheit

Besonders zu beachtende Sicherheitsaspekte:

- |                                     |  |  |
|-------------------------------------|--|--|
| immer                               | <ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>9 lebenswichtige Regeln</b> für den Verkehrsweg- und Tiefbau (SUVA Publikation 88820)</li><li>▪ <b>Notfallplanung</b> (SUVA Publikation 67061)</li><li>▪ <b>Arbeitsvorbereitung (AVOR)</b> (SUVA Publikation 67124)</li></ul> |  |
| <input type="checkbox"/>            | <b>Naturgefahren, Gebirge</b> (SUVA Publikation 33019, 67154)  | <input type="checkbox"/> <b>Absturz am Arbeitsplatz inkl. Zugang</b> (SUVA Publikation 33016, 44002) |
| <input checked="" type="checkbox"/> | <b>Maschineneinsatz</b> (SUVA Publikation 67041, 67039, 67161, 1574)   | <input type="checkbox"/> <b>Graben und Baugruben</b> (SUVA Publikation 67148)                        |
| <input type="checkbox"/>            | <b>Strom auf der Baustelle</b> (SUVA Publikation 67081, 67092)   | <input type="checkbox"/> <b>Zusammenarbeit mit Fremdfirmen</b> (SUVA Publikation 66092/1)            |
| <input type="checkbox"/>            | <b>Verkehr und Infrastruktur</b> (SN 640886)   | <input checked="" type="checkbox"/> <b>Waldarbeiten</b> (SUVA Publikation 84034)                     |
| <input type="checkbox"/>            | <b>9 lebenswichtige Regeln für das Helikopter -Bodenpersonal</b> (SUVA Publikation 88819)  | <input checked="" type="checkbox"/> <b>Arbeiten am, im oder über Wasser</b> (SUVA Publikation 67153) |



## Werterhalt

### betriebllich

Die Totholzstrukturen müssen regelmässig kontrolliert werden. Denn obwohl der Wurzelstock sich mehrheitlich unter Wasser befindet und damit gewissermassen konserviert ist, ist er der Strömung und dem Zersetzungsprozess ausgesetzt. Irgendwann wird er sich vom Blockstein bzw. Seil lösen. Sollte sich der Wurzelstock lösen, muss dieser entweder neu befestigt oder aus dem Uferbereich gebracht werden, damit er kein Gefahrenpotential mehr darstellt. Alternativ kann er auch gefräst werden.

### baulich

-

## Rückbau

Sollte der Wurzelstock einmal entfernt werden müssen, wird er mit dem Bagger aus dem Flussbett gehoben. Das Stahlseil wird recycelt und der Felsanker bündig mit der Blocksteinoberfläche abgetrennt. Der Stein kann im Uferbereich belassen werden währenddessen der Wurzelstock entweder aus dem Uferbereich gebracht oder gefräst werden muss, damit er keine potenzielle Schwemmh Holzmasse darstellt.

### Haftungsausschluss:

Die vorliegende Dokumentation ist ein Erfahrungsbericht eines konkret realisierten Bauobjektes. Sie soll Planern und Ausführenden Lösungsmöglichkeiten aufzeigen, zum Nachdenken über die eigenen Vorgehensweisen anregen und Anhaltspunkte zur ähnlichen Realisierung geben. Obwohl alle Sorgfalt bei der Erarbeitung der Dokumentation verwendet wurde, können Fehler enthalten sein und kann für die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Daten weder eine explizite noch implizite Zusicherung und Gewährleistung abgegeben werden. Für die inhaltliche Richtigkeit, Vollständigkeit und Auswahl lehnt die Fachstelle für forstliche Bautechnik jede Haftung ab. Bei Verwendung von Informationen zu eigenen Zwecken sind die übergeordneten Normen einzuhalten und sind die Angaben situativ an die eigenen Gegebenheiten anzupassen.

Die Nutzung der Daten erfolgt somit auf eigene Gefahr. Insbesondere ist die Fachstelle für forstliche Bautechnik nicht verantwortlich, wenn der Nutzer im Vertrauen auf die Fehlerfreiheit und Vollständigkeit der Inhalte Handlungen vornimmt oder unterlässt und ihm im Folgenden daraus ein Schaden erwächst.



## Bilder



Abbildung 5: Situation nach Ausführung der Sicherheitsholzerei mit Blick in Fließrichtung abwärts (Foto: Kästli Bau AG)



Abbildung 6: Vorbereiteter Wurzelstock mit Loch für das Drahtseil (Foto: Kästli Bau AG)

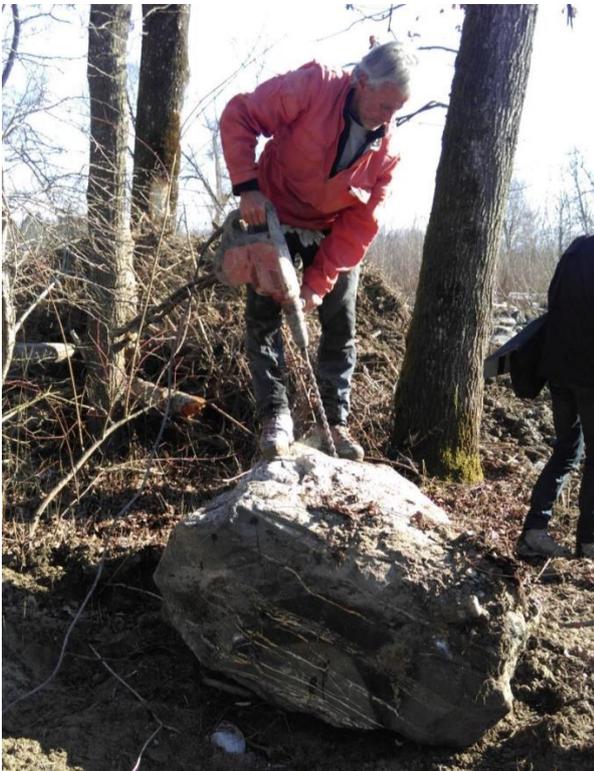


Abbildung 7: Bohren des Loches in den Blockstein (Foto: Kästli Bau AG)



Abbildung 8: Einsetzen des Felsankers, anbringen und vorspannen der Ringmutter (Foto: Kästli Bau AG)



Abbildung 9: Befestigen des Drahtseils an der Ringmutter (Foto: Kästli Bau AG)



Abbildung 10: Durch- und Umschlaufen des Wurzelstocks mit dem Stahlseil (Foto: Kästli Bau AG)



Abbildung 11: Fertig vorbereiteter Wurzelstock kurz vor dem Eintauchen ins Wasser (Foto: Kästli Bau AG)



Abbildung 12: Überdecken des Blocksteins mit Flussskies (Foto: Kästli Bau AG)



Abbildung 13: Wurzelstock einen Tag nach der Erstellung mit Blick in Fließrichtung abwärts (Foto: Kästli Bau AG)