



Kanton Bern  
Canton de Berne

CO<sub>2</sub>  
NEUTRAL **KÄSTLI**

Renaturierung  
Régénération des eaux

# Totholzstrukturen Aare Hunzigenau

Amt für Landwirtschaft und Natur





Amt für Landwirtschaft  
und Natur

Fischereiinspektorat  
des Kantons Bern

Renaturierungsfonds

## Schlussdokumentation

Gewässer	Aare	Gewässer-Nr.	
Gemeinde	Rubigen	Projekt-Nr.	6976_15
Erfüllungspflichtiger	Fischereiinspektorat des Kantons Bern	Plan-Nr.	101
Projekt vom	Januar 2015	Format	A4
Bericht vom	April 2015		

Technischer Bericht



# Totholzstrukturen in der Aare Hunzigenau

Dokumentation Realisierung

## Sicherung von Totholz im Abflussbereich der Aare

Kästli Bau AG  
Bierigutstrasse 16  
Postfach 102  
3608 Thun



# KÄSTLI



## Vermerke

### **Auftraggeber**

Fischereiinspektorat, Renaturierungsfonds, Schwand 17, 3110 Münsingen

Herr Olivier Hartmann

### **Projekt**

Totholzstrukturen in der Aare Hunzigenau

### **Fassung vom**

06. Mai 2015



### **Ersteller**

**KÄSTLI**

Kästli Bau AG  
Bierigutstrasse 16  
Postfach 102  
3608 Thun

David Hausammann

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Anlass und Auftrag</b>	<b>1</b>
1.1	Anlass	1
1.2	Bewilligung	1
1.3	Auftrag	1
<b>2</b>	<b>Beteiligte / Organisation</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>Ausgangslage</b>	<b>3</b>
3.1	Standort	3
3.2	Ausgangssituation	4
<b>4</b>	<b>Projektidee</b>	<b>5</b>
4.1	Grundidee	5
4.2	Nutzen	5
4.3	Lebensdauer	5
4.4	Verankerung	5
<b>5</b>	<b>Realisierung</b>	<b>6</b>
5.1	Einfacher Wurzelstock	7
5.2	Baum	13
5.3	Schwemholzhaufen	16
5.4	Verwendete Materialien und Geräte	18
<b>6</b>	<b>Dimensionierung</b>	<b>20</b>
6.1	Vorbehalt	20
6.2	Berechnungsgrundlagen	20
6.3	Einfacher Wurzelstock	21
6.4	Baum	21
6.5	Fazit	22
<b>7</b>	<b>Mögliche Anwendungsbereiche</b>	<b>23</b>
7.1	Einzelelemente	23
7.2	Elementgruppen	23
<b>8</b>	<b>Kosten</b>	<b>24</b>
8.1	Abrechnung Beispiel Hunzigenau	24
8.2	Weitere Projekte	24
<b>9</b>	<b>Schlussbemerkung</b>	<b>25</b>

## Beilagen:

<b>A</b>	<b>Wurzelstein Hunzigenau</b>
----------	-------------------------------

# 1 Anlass und Auftrag

## 1.1 Anlass

Grosse Stämme, Wurzelstöcke und Bäume in der Aare werden allgemein als schutztechnisches Problem betrachtet. Die tatsächliche Gefährdung stellt aber nicht das Holz an sich dar, sondern dessen Abtreiben. Die Stämme und Stöcke werden vom Ufer gelöst und verkeilen sich entweder erneut an einem Uferpunkt, was Risiken für Gummiboote bildet, können Brücken und Durchlässe verklausen oder werden gar bis zum Wasserkraftwerk der Stadt Bern im Schwellenmätteli getrieben, wo diese aufwendig entfernt werden müssen und gar den Schwemmholzrechen beschädigen können.

Im Rahmen der Bauarbeiten an der Aare in Rubigen, Instandsstellung Hunzigenau, wurden durch den Staatsforstbetrieb (FSB) Sicherheitsholzungen durchgeführt. Die Hochstämme, die an erosionsgefährdeten Ufer standen, wurden gefällt. Als die Bauarbeiten zur Sicherung des Inselkopfes in der Hunzigenau durch die Kästli Bau AG aufgenommen wurden, befanden sich die Wurzelstöcke noch vor Ort. Der SFB hatte durch das Tiefbauamt des Kantons Bern (TBA) den Auftrag, die Wurzelstöcke zu entfernen resp. zu fräsen. Da ein Teil der Wurzelstöcke bereits frei lag oder ohne grossen Aufwand auszugraben waren, bot sich an, diese anstatt aufwendig abzuführen, an Ort und Stelle zu sichern.

## 1.2 Bewilligung

Durch das TBA, Oberingenieurkreis II (OIK II), wurde die Bewilligung erteilt, einige Wurzelstöcke und die sich bereits in der Aaresohle befindlichen Bäume mit Blocksteinen zu sichern und im Niederwasserabflussbereich zu versetzen resp. zu belassen.

Die Totholzstrukturen mussten so positioniert werden, dass sie weder den Abflussquerschnitt der Aare einschränken, noch eine Gefährdung für Gummiboote darstellen. Sprich im Anströmbereich des Inselkopfes möglichst in Ufernähe.

## 1.3 Auftrag

Das Fischereiinspektorat des Kantons Bern (FI), Renaturierungsfonds (RenF) erteilte der Kästli Bau AG am 13. Februar 2015 den Auftrag, rund 10 Stöcke mit Blocksteinen zu sichern und im Niederwasserabflussbereich der Aare zu platzieren.

Am 2. März 2015 erteilt der RenF der Kästli Bau AG den Auftrag, die realisierten Arbeiten in Form eines technischen Berichts festzuhalten.

## 2 **Beteiligte / Organisation**

### **Auftraggeber und Bauherrschaft**

Amt für Landschaft und Natur des Kantons Bern  
Fischereiinspektorat  
Herr Olivier Hartmann  
Schwand 17  
3110 Münsingen

Amt für Landschaft und Natur des Kantons Bern  
Fischereiinspektorat  
Herr Martin Schmid  
Fischereistützpunkt Reutigen  
3647 Reutigen

### **Baubewilligung**

Tiefbauamt des Kantons Bern  
Oberingenieurkreis II  
Herr Adrian Fahrni  
Schermenweg 11  
3001 Bern

### **Ausführende**

Kästli Bau AG  
Bierigutstrasse 16  
Postfach 102  
3608 Thun

Polier:  
Herr Rudolf Krebs

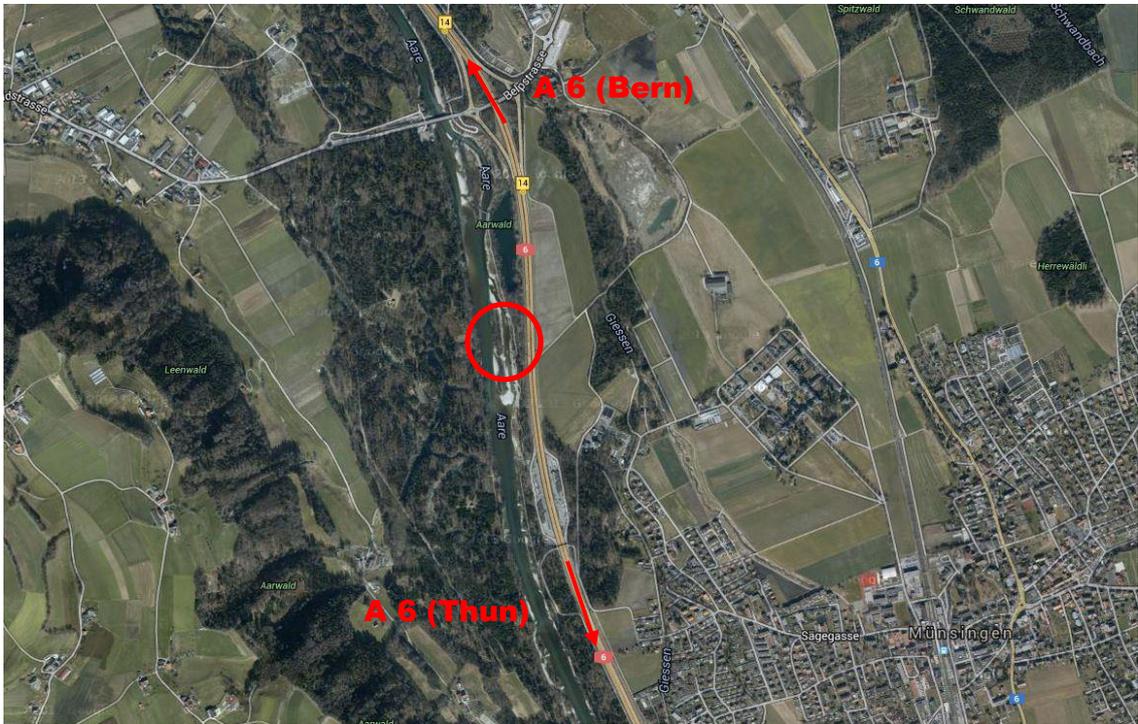
Facharbeiter Wasserbau:  
Herr Hans Kappeler  
Herr Martin Zimmermann

Bauführer:  
Herr David Hausammann

Bereichsleiter Wasserbau:  
Herr Markus Engeloeh

# 3 Ausgangslage

## 3.1 Standort



Flugbild Rubigen / Münsingen (Quelle: Google Maps)



Flugbild Rubigen. Einbaustellen Totholzstrukturen (Quelle: Google Maps)

## 3.2 Ausgangssituation

Durch den SFB wurden Sicherheitsholzungen durchgeführt. Die am erodierenden Ufer stehenden Hochstämme wurden gefällt. Das Nutzholz und die Äste wurden abtransportiert. Die Wurzelstöcke wurden vorerst wie gewachsen belassen. Die Stöcke wurden zu einem späteren Zeitpunkt gefräst. Dabei wird der Stamm bis auf das Erdreich ausgefräst, so dass im Falle der Ufererosion nicht der ganze Stock an einem Stück abgeschwemmt wird.

Ebenfalls fanden sich bereits gekippte und angeschwemmte Bäume und Stöcke in Ufernähe.



Bild nach Ausführung der Sicherheitsholzungen. Blick in Fließrichtung abwärts. (Foto Kästli Bau AG)



Bild nach Ausführung der Sicherheitsholzungen. Blick in Fließrichtung aufwärts. (Foto Kästli Bau AG)

## **4 Projektidee**

### **4.1 Grundidee**

Die eigentliche Idee ist, sich bereits im Abflussbett befindende Bäume Stöcke nicht aufwendig zu entfernen und zu entsorgen, sondern diese zu belassen und so zu platzieren und zu verankern, dass keine Gefährdung mehr durch sie ausgeht.

### **4.2 Nutzen**

Wenn Bäume und Wurzelstöcke in Ufernähe richtig platziert und gesichert werden, dienen diese nicht nur als Strukturelement und Lebensraum für viel Tierarten und Kleinlebewesen, sondern dienen zusätzlich als Uferschutz.

Ein bereits bekanntes und zum Einsatz kommendes System sind die Raubäume. Diese werden längs mit dem Wasserstrom an den angegriffenen Ufern verlegt und mit Stahlseilen an den anstehenden gewachsenen Bäumen befestigt. Bei diesem System sind die Bäume nur an der Stammwurzel befestigt und schwimmen dadurch auf.

### **4.3 Lebensdauer**

Holz, welches sich ständig im Wasser befindet, weist eine Lebenserwartung von weit mehr als 50 Jahren auf. Auch wenn diese mit einem Seil gesichert werden, lösen sich Stöcke nicht über die Zeit.

### **4.4 Verankerung**

Damit die Bäume und Stöcke an Ort und Stelle auch unter Wasser verharren, müssen diese von unten her angebunden werden. Dies kann durch gerammte Bahnschienen, Holzpfähle, Betonpfeiler oder Blocksteine möglich gemacht werden. Da inzwischen bei praktisch jedem Wasserbauprojekt Blocksteine verbaut werden, bieten sich diese an. Die Baumstämme und Wurzelstöcke können mit Stahlseilen an Blocksteinen befestigt werden. Möglich macht dies ein Felsanker, welcher mit einer Ringmutter im Stein vorgespannt wird.

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.

# 5 Realisierung

## 5.1 Realisierte Elemente

In der Aare Hunzigenau wurden unten aufgeführte Totholzelemente erstellt.



Skizze der realisierten Totholzelemente in der Aare Hunzigenau, Rubigen.

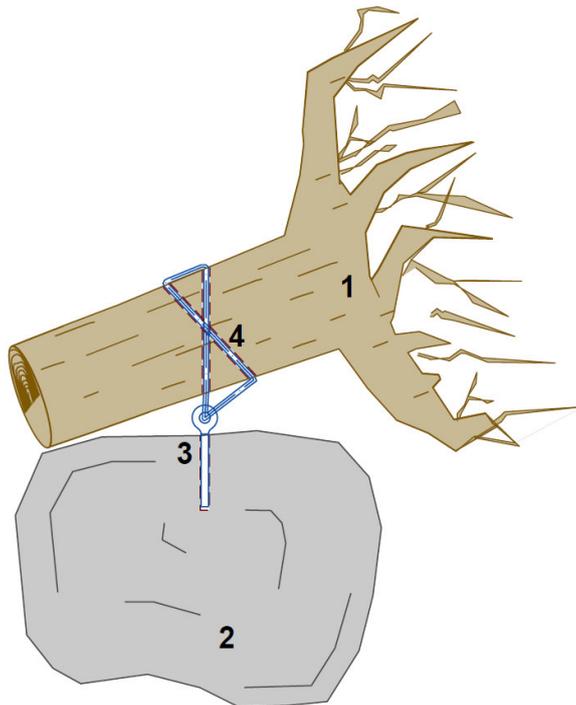
Technische Eckdaten der einzelnen Elemente:

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.	Totholzhaufen ca. 15 m <sup>3</sup> (lose)	2 x 2 t	1

## 5.2 Einfacher Wurzelstock

Ein einfacher Wurzelstock mit min. 1.0 m Stammlänge kann ohne weiteres am Ufer vorbereitet und an einem Stück versetzt werden. Das Versetzen kann auch Unterwasser erfolgen.

### Schemaskizze einzelner Wurzelstein



- 1 Wurzelstock mit ca. 1 m Stammlänge  
Stamm  $\varnothing$  ca. 0.3 m, Wurzelteller  $\varnothing$  ca. 1 m
- 2 Blockstein ca. 1.5 t Eigengewicht  
resp.  $\varnothing$  ca. 1 m
- 3 Felsanker M20 mit Ringmutter M20
- 4 Stahlseil  $\varnothing$  13 mm  
befestigt mit Drahtseilklammern

Skizze wie der Wurzelstock vorbereitet zum Versetzen am Ufer erscheinen könnte.

Nachfolgend die sinngemäße Beschreibung der Sicherung eines einfachen Wurzelstocks am Beispiel eines in der Hunzigenau erstellten Wurzelsteins. Der Stammdurchmesser allerdings betrug ca. 0.6 m. Zur Sicherung des Stockes wurden zwei Steine à ca. 2 - 3 t Eigengewicht eingesetzt. Kleinere Stöcke können mit nur einem Stein gesichert werden (vgl. Skizze oben).

Wenn alle Materialien vorhanden sind (vgl. Kap. 5.4 Verwendete Materialien), wird ein Loch mit Durchmesser 20 mm ca. 20 cm tief in den Blockstein gebohrt. In das Loch wird der Spreizanker eingeführt und die Ringmutter aufgeschraubt. Die Mutter wird mit einem Hebel vorgespannt.



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



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

Der Wurzelstock wird mit einem 20 mm Bohrer an zwei Stellen durchbohrt. Das Stahlseil wird Einendig an der Ringmutter montiert und mit einer Drahtseilklemme befestigt. Der Wurzelstock wird auf den Stein gelegt und das Drahtseil durch und um den Stamm geschlaft. Das Seil wird abgespannt und mit Seilklemmen fixiert.



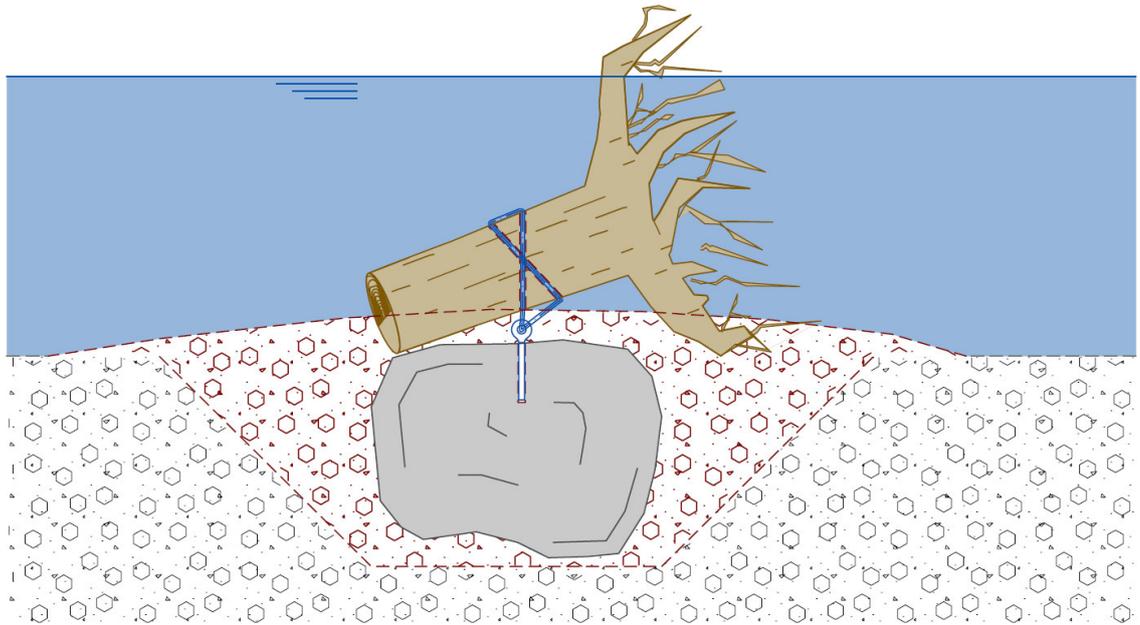
Befestigen des Drahtseils an der Ringmutter (Foto Kästli Bau AG)



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

Das fertig vorbereitete Element ist nun bereit, versetzt zu werden. Vor dem Einbringen des Wurzelsteins wird ein Graben in der Sohle ausgehoben, damit der Stein in der gewachsenen Flusssohle eingebettet werden kann. Der Wurzelstein wird ins Wasser gelegt und wieder mit Kies überdeckt.

## Schemaskizze versetzter einzelner Wurzelstein



Skizze wie der Wurzelstock fertig versetzt in der Flusssohle Ufer erscheinen könnte.

Der Wurzelstein wird mit einem ausreichend leistungsfähigen Bagger versetzt.



Fertig vorbereiteter Wurzelstein kurz vor dem Eintauchen ins Wasser (Foto Kästli Bau AG)



Vorsichtig wird der Stein in die vorbereitete Grube gelegt. (Foto Kästli Bau AG)



Der Blockstein wird wieder mit Flusskies eingedeckt. (Foto Kästli Bau AG)

Der Wurzelstock liegt so unmittelbar auf der Fusssohle und ist somit einer optimalen Wassertiefe ausgesetzt. Der in der Flusssohle eingebettete Blockstein wird zusätzlich vom anstehenden Kies stabilisiert und verursacht keine zusätzlichen ungewollten Kolkerscheinungen.



Wurzelstock einen Tag nach Erstellung. Blick in Fließrichtung abwärts. (Foto Kästli Bau AG)



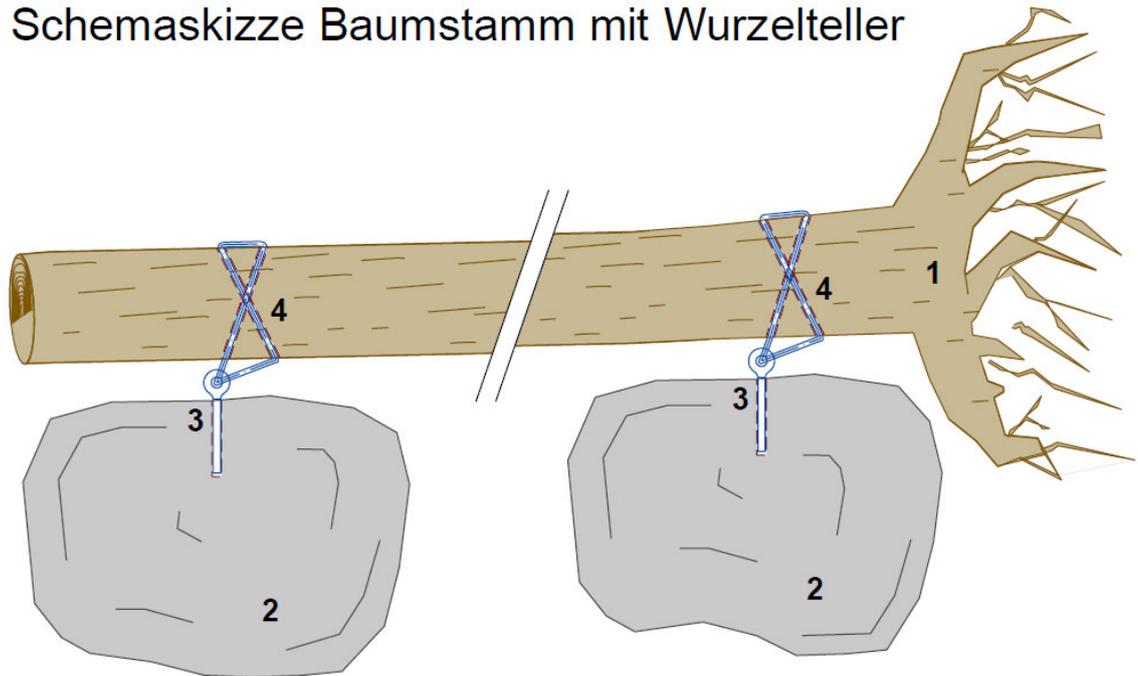
Wurzelstock einen Tag nach Erstellung. Blick in Fließrichtung aufwärts. (Foto Kästli Bau AG)

Der in der Hunzigenau realisierte Wurzelstein liegt bei einem absoluten Winterminimalwasserstand (Aareabfluss ca.  $35 \text{ m}^3/\text{s}$ ) zu mehr als der Hälfte im Wasser. Die Oberliegende Buhne sollte mit ihrer Kolkwirkung im Normalhochwasserfall unterhalb des Buhnenkopfes ausreichend Energie aufbringen, dass der Stock immer wieder von Ablagerungsgeschiebe freigelegt wird.

## 5.3 Baum

Ein angeschwemmter Baum muss in einem ersten Schritt mit einem Bagger oder Seilwinden wie gewünscht platziert und gerichtet werden. Im Beispiel der Hunzigenau mussten die Bäume näher in die Uferbereiche gerückt und parallel zu den Böschungen gedreht werden. Anschliessend wird der Baum so oft nötig an Ort und Stelle durchbohrt. Weiter werden die Blocksteine mit Stahlseilen am Baum befestigt und in der Flusssohle versetzt.

### Schemaskizze Baumstamm mit Wurzelteller



- |  |   |
|--|---|
| <b>1</b> Baumstamm mit ca. 6 m Stammlänge<br>Stamm $\varnothing$ ca. 0.3 m, Wurzelteller $\varnothing$ ca. 1 m | <b>3</b> Felsanker M20 mit Ringmutter M20                                 |
| <b>2</b> Blockstein ca. 2 t Eigengewicht<br>resp. $\varnothing$ ca. 1.1 m                                      | <b>4</b> Stahlseil $\varnothing$ 13 mm<br>befestigt mit Drahtseilklammern |

Skizze wie der gesicherte Baum erscheinen könnte.

Anders als beim einzelnen Wurzelstein kann der Baum in den meisten Situationen nicht am Ufer erstellt werden, sondern muss in bereits am Zielort befestigt werden.

Nachfolgend die sinngemässe Beschreibung der Sicherung eines Baumes am Beispiel eines in der Hunzigenau erstellten Totholzelements.

Die Blocksteine werden analog dem einzelnen Wurzelstein vorbereitet. Der Baum wird pro Anbindungsstelle einfach oder doppelt durchbohrt.



b

Vorbereitete Blocksteine mit Eigengewicht 1 - 3 t / Stk. Je Stein ein Anker mit Mutter (Foto Kästli Bau AG)



Durchbohrter Baumstamm in der Aare (Foto Kästli Bau AG)

Das Seil wird im ersten Schritt wieder Einendig am Stein befestigt und mit Drahtseilklemmen fixiert. Anschliessend wird der Stein mit dem Bagger neben den Stamm gelegt und das Stahlseil durch das Loch im Stamm geschlauft. Alsdann wird das Stahlseil wieder Einendig am Blockstein resp. der Ringmutter befestigt.



Befestigung des Stahlseils am Blockstein resp. der Ringmutter (Foto Kästli Bau AG)

Der mit dem Baumstamm verbundene Blockstein wird wie der einzelne Wurzelstein in eine vorgängig ausgehobene Grube gelegt. Anders als beim einzelnen Wurzelstein kann der Stein nicht direkt mit dem Stamm verbunden werden. Deshalb ist es umso wichtiger, dass der Stein exakt positioniert wird, damit das Seil und der daran befestigte Stock möglichst wenig Spielraum erhalten.

Das Drahtseil wird so bemessen, dass dieses, nachdem der Stein eingebracht wurde, bereits unter Zug steht. So kann gewährleistet werden, dass der Stamm weder weiter abtreibt noch durch den Auftrieb aufschwimmt.

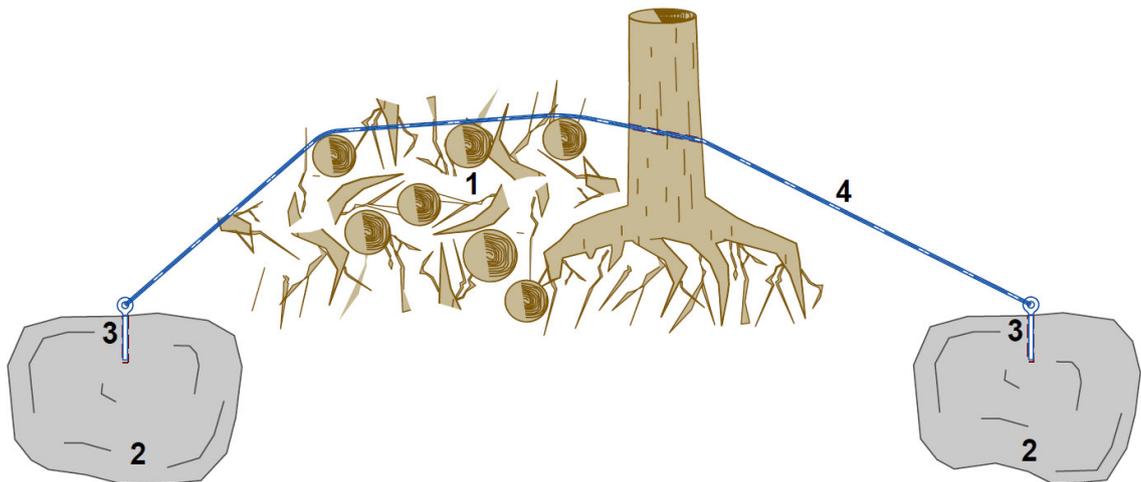


Gesicherter und versetzter Baumstamm. (Foto Kästli Bau AG)

## 5.4 Schwemmholzhaufen

Auch ein natürlich entstandener oder künstlich erstellter Schwemmholzhaufen kann mit Stahlseilen gesichert werden. Dazu werden hinter und vor dem Holzhaufen Blocksteine in die Sohle versetzt, welche ein satt am Holz anliegendes Stahlseil halten. So wird das Holz vor Ab- und Auftrieb geschützt.

### Schemaskizze Totholzhaufen



- |   |  |   |  |
|---|--|---|--|
| 1 | Gewachsener Totholzhaufen  | 3 | Felsanker M20 mit Ringmutter M20                                 |
| 2 | Blockstein ca. 2 t Eigengewicht<br>resp. $\varnothing$ ca. 1.1 m | 4 | Stahlseil $\varnothing$ 13 mm<br>befestigt mit Drahtseilklammern |

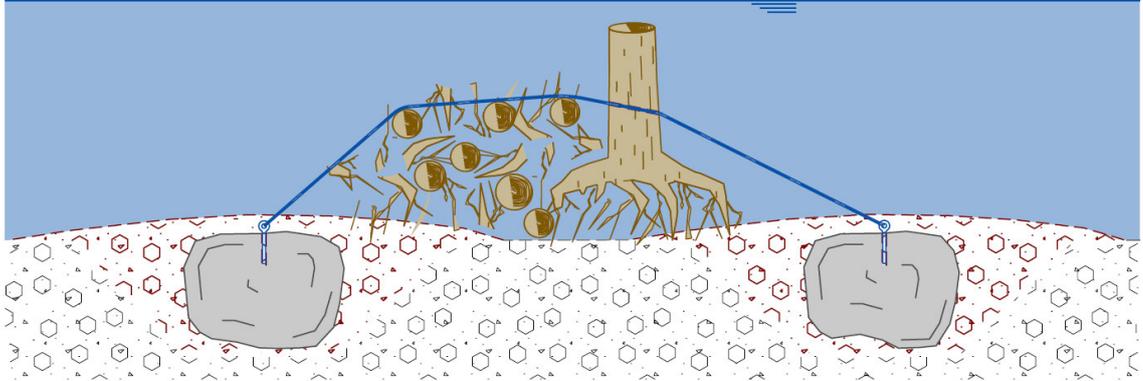
Skizze wie der gesicherte Totholzhaufen erscheinen könnte.

Wie beim Baum kann der Totholzhaufen in den meisten Situationen nicht am Ufer erstellt werden sondern muss in bereits am Zielort befestigt werden.

Die Erstellung erfolgt sinngemäss den vorhergehenden Elementen. Bei einem Totholzhaufen ist es wichtig, dass die Steine ausreichend tief in die Sohle eingelassen werden. Die Grösse und Struktur des ganzen Elements provoziert sichtbare Kolkungen rund um den Totholzhaufen. Dies ist einerseits wertvoll für das Strukturelement, da es stetig frei im Wasser steht, andererseits wird so der Sicherungsstein gefährdet, hinterspült zu werden. Sobald der Stein nicht mehr in der Sohle eingebettet ist, könnte die ganze Konstruktion instabil werden.

Ebenso muss geprüft werden, ob der Haufen lediglich an einer, zwei oder sogar mehreren Stellen abgebunden werden muss. Am Beispiel des in der Hunzigenau erstellten Totholzhaufens reichte es aus, diesen einfach abzubinden. Der unterliegende Wurzelstock bietet ausreichend Auflagemöglichkeiten und somit Stabilität für das oberliegende Holz.

## Schemaskizze versetzter Totholzhaufen



Skizze wie der gesicherte und fertig versetzte Totholzhaufen erscheinen könnte.

Die Seile müssen wie bei der Sicherung eines Baumstammes so bemessen werden, dass die Drahtseile nach dem Versetzen bereits unter Zug stehen. Ansonsten können sich einzelne Stämme und Äste lösen und abschwemmen, was wiederum die übrigen Stämme und Äste gefährdet.



Gesicherter und versetzter Totholzhaufen. Blick in Fließrichtung aufwärts. (Foto Kästli Bau AG)



Gesicherter und versetzter Totholzhaufen. Blick in Fließrichtung abwärts. (Foto Kästli Bau AG)

## 5.5 Verwendete Materialien und Geräte

Bei den durch die Kästli Bau AG realisierten Totholzstrukturen wurden die folgende Materialien und Geräte eingesetzt.

### Materialien:

- Formwilde Blocksteine mit Eigengewicht von 1 bis 3 to / Stk ab Reutigen
- Wurzelstöcke und Holzelemente welche vor Ort vorhanden waren
- Felsanker M 20 und passende Ringmuttern M 20
- Drahtseile 13 mm und passende Drahtseilklemmen 13 mm

### Geräte:

- Dumper mit 2 m<sup>3</sup> Mulde (für Zwischentransporte)
- Bagger 16 to (Strukturen oberhalb) und 33 to (Strukturen unterhalb)
- Mobiles Stromaggregat (klein)
- Hilti Schlagbohrmaschine mit 20 mm Stein- resp. Holzbohrer
- Kettensäge mit Verbrennungsmotor
- Div. Werkzeuge wie Drahtseilschere, Schaufel, Schraubenschlüssel, etc.

**Fotos der eingesetzten Materialien und Geräte (Fotos Kästli Bau AG)**



Stromaggregat



Hilti Schlagbohrmaschine



Felsanker und Ringmutter



Mit Drahtseilklemme befestigtes Seil



Drahtseilschere



Drahtseilklemme



Raupenbagger (16 t)



Dumper mit 2 m<sup>3</sup> bis 3 m<sup>3</sup> Mulden

# 6 Dimensionierung

## 6.1 Vorbehalt

Die Kästli Bau AG macht keine rechtlich verbindlichen Aussagen zu Statik und Hydraulik. Alle nachfolgenden Angaben sind als Annahmen zu betrachten und dürfen nicht oder nur auf eigene Verantwortung als Ausgangslage für weitere Berechnungen verwendet werden.

Um genaue Zahlen zu definieren, muss ein Bauingenieur resp. ein Hydraulikspezialist beigezogen werden. Allenfalls müssten gar Versuche wie Modellversuche oder Beobachtung und Festhaltung des Verhaltens der bereits erstellten Strukturen durchgeführt werden.

## 6.2 Berechnungsgrundlagen

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 Schwemholz-anpralls vernachlässigbar.

Zur Berechnung werden folgende Formeln verwendet:

**Hydrostatische Kräfte:**  $V_{\text{Holz}} \cdot \rho_{\text{Wasser}} - V_{\text{Holz}} \cdot \rho_{\text{Holz}} = F_s$

**Hydrodynamische Kraft:**  $0.5 \cdot c_w \cdot \rho_{\text{Wasser}} \cdot v^2 \cdot A = F_d$

**Gesamte einwirkende Kräfte:**  $F_s + F_d = F$

Für die jeweiligen Variablen werden folgende Annahmen getroffen:

**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:  $c_w = 0.3$ .

**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.

### 6.3 Einfacher Wurzelstock

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.

Berechnung:

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

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

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

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 Ø 0.3 m, l = 1.5 m, Wurzelteller Ø 1.2 m: Erforderliches Gegengewicht: ca. 1.0 t

Stamm Ø 0.4 m, l = 1.5 m, Wurzelteller Ø 1.6 m: Erforderliches Gegengewicht: ca. 2.0 t

Stamm Ø 0.5 m, l = 1.5 m, Wurzelteller Ø 2.0 m: Erforderliches Gegengewicht: ca. 3.0 t

Stamm Ø 0.6 m, l = 1.5 m, Wurzelteller Ø 2.4 m: Erforderliches Gegengewicht: ca. 4.5 t

### 6.4 Baum

Ein Baum bis zu einem Durchmesser von ca. 0.3 m und 10 m Stammlänge wurde mit zwei Steinen mit je einem Eigengewicht von rund 2 t gesichert.

Der Stamm wird parallel zum Wasserlauf verlegt. Wir berücksichtigen den Stamm in der Berechnung mit pauschal zusätzlich 50 % der Hydrodynamischen Kraft welche auf den Wurzelteller wirkt.

Berechnung:

$$F_s = 1.05 \text{ m}^3 * 10 \text{ kN} - 1.05 \text{ m}^3 * 8 \text{ kN} = 2.1 \text{ kN}$$

$$F_d = 0.5 * 0.3 * 10 \text{ kN} * 2 \text{ m/s}^2 * 0.7 \text{ m}^2 * 1.5 = 7.6 \text{ kN}$$

$$F = 9.7 \text{ kN}$$

Zwei Blocksteine mit je einem Eigengewicht von 2 t entsprechen einem Volumen von je ca.  $0.8 \text{ m}^3$  und unterliegen somit einem Auftrieb von gesamthaft 16 kN. Die Blocksteine weisen somit eine Gegenkraft von 24 kN auf. Bereits die Steine alleine reichen aus um die einwirkenden Kräfte auf den Baum zu kompensieren. Durch die Einbindung der Blocksteine 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 Baumgrößen:

Stamm  $\varnothing$  0.3 m,  $l = 10$  m, Wurzelteller  $\varnothing$  1.2 m: Erforderliches Gegengewicht: ca. 2.0 t

Stamm  $\varnothing$  0.4 m,  $l = 10$  m, Wurzelteller  $\varnothing$  1.6 m: Erforderliches Gegengewicht: ca. 3.0 t

Stamm  $\varnothing$  0.5 m,  $l = 10$  m, Wurzelteller  $\varnothing$  2.0 m: Erforderliches Gegengewicht: ca. 5.0 t

Stamm  $\varnothing$  0.6 m,  $l = 10$  m, Wurzelteller  $\varnothing$  2.4 m: Erforderliches Gegengewicht: ca. 7.0 t

## 6.5 Fazit

Einzelne Wurzelstöcke und gar ganze Bäume können bedenkenlos mit Blocksteinen gesichert in die Aare eingebracht werden.

Beim Einbringen von Tothholzelementen, wie in diesem Bericht beschrieben, in weiteren Gewässern, wie z.B. der Emme, muss berücksichtigt werden, dass die Fließgeschwindigkeiten im Hochwasserfall um einiges höher sein können und somit die einwirkenden hydrodynamischen Kräfte stark ansteigen. Am Beispiel des einzelnen Wurzelstocks mit Stammdurchmesser 0.3 m wird bei einer Fließgeschwindigkeit von 2 m/s ein Blockstein von 1 t Eigengewicht benötigt. Derselbe Stock in einem Gewässer, welches eine Abflussgeschwindigkeit von 3 m/s aufweist, erfordert bereits einen 2 t resp. bei 4 m/s ein 4 t schweren Blockstein.

# **7 Mögliche Anwendungsbereiche**

## **7.1 Einzelemente**

Einzelne Elemente wie ein Wurzelstock oder ein Baum können in jedem Gewässer angewendet werden. Die Elemente können am Ufer vorbereitet und am Stück versetzt werden. Voraussetzung ist, dass ausreichend leistungsfähige Maschinen vor Ort verfügbar sind.

Es bietet sich besonders an, natürlich angeschwemmte Stöcke und Bäume nicht aufwendig aus dem Flussbett zu entfernen und zu entsorgen, sondern diese an Ort und Stelle zu belassen und zu sichern.

Ebenfalls können die Elemente auch in Seen angewendet werden.

## **7.2 Elementgruppen**

In der Hunzigenau wurden Stellenweise Gruppen von 2 bis 4 Wurzelstöcken erstellt. Durch die Gruppenweise Anordnung werden grössere und ausgiebigere Strömungsviefalten und Kolkerscheinungen erwirkt. Durch die ergiebigeren Auskolkungen rund um die Totholzgruppe wird das dauerhafte Freiliegen der Stöcke im Wasser begünstigt.

## **8 Kosten**

### **8.1 Abrechnung Beispiel Hunzigenau**

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.

Die Kosten für den einzelnen, separat ausgeführten Wurzelstein beliefen sich auf rund CHF 1'000 netto inkl. MWSt.

Die Kosten für die 12 weiteren, zeitgleich ausgeführten Totholzelemente beliefen auf rund CHF 9'000 netto inkl. MWSt. Dies entspricht einem Elementstückpreis von ca. CHF 750 netto inkl. MWSt.

### **8.2 Weitere Projekte**

Die angefallenen Kosten in der Hunzigenau können als Referenzwert für weitere Projekte übernommen werden. Eine Zusammenstellung zu Kosten und Varianten befindet sich im Anhang A.

## 9 Schlussbemerkung

Totholzstrukturen sind mit angemessenem Aufwand realisierbar. Die Einsatzmöglichkeiten sind sehr gross. Die Erstellungskosten sind abhängig von der Umgebung, der Zugänglichkeit, des vorhandenen Materials und der zur Verfügung stehenden Maschinen vor Ort. Die Angegebenen Ausführungskosten können als Referenzwerte bedenkenlos angewendet werden. Für genau Angaben empfiehlt es sich, die Kästli Bau AG für eine Offerte anzufragen.

Ebenfalls steht die Kästli Bau AG jederzeit für Beurteilungen vor Ort, Begehungen und Beratungen zur Verfügung.

Für den Bericht

Thun, 06.05.2015

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'D. Hausammann', with a long horizontal stroke extending to the right.

David Hausammann, Kästli Bau AG

Mail.: [david.hausammann@kaestlibau.ch](mailto:david.hausammann@kaestlibau.ch)

Mob.: 079 738 25 91

# **BEILAGE A**

## **Wurzelstein Hunzigenau:**

- **Dokumentation Ausführung**
- **Kostenzusammenstellung**
- **Varianten**



1 Löcher in Wurzelstock und Blocksteine bohren



3 Drahtseil einschlaufen und mit Klemme sichern



6 Zweiten Stein neben Wurzelstock einschlaufen und mit Klemme befestigen.



2 Felsanker anbringen und Ringmutter aufdrehen



4 Beide Drahtseile einschlaufen und mit klemme sichern. Erster Blockstein einbinden.



7 Stein in vorgängig ausgehobene Vertiefung legen (Sohlleben)



5 Hybride mit einem Stein und einem losen, am Stamm befestigten Seil an Zielort legen.



8 Steine mit Aarekies eindecken

# Kosten des "Wurzelsteins" in der Hunzigenau:

Beispiel Hunzigenau (nur annähernd Übertragbar auf andere Projekte)

## Löhne

Vorarbeiter	2.5 h	à CHF 100	CHF 250
Maschinist	1.5 h	à CHF 92	CHF 138
<b>Total Löhne</b>			<b>CHF 388</b>

## Material

Felsanker M 20 mit Ringmutter <sup>1</sup>	3 Stk	à CHF 30	CHF 90
Drahtseil 13 mm <sup>2</sup>	8 m	à CHF 10	CHF 80
Drahtseilklemme 13 mm <sup>3</sup>	4 Stk	à CHF 5	CHF 20
Blocksteine <sup>4</sup>	6 t	à CHF 60	CHF 360
Wurzelstock mit min. 1.5 m Stamm <sup>5</sup>	1 Stk	vorhanden	CHF 0
<b>Total Material</b>			<b>CHF 550</b>

## Inventar

Bohrmaschine mit Steinbohrer <sup>4</sup>	0.25 h	à CHF 39	CHF 10
Stromaggregat mobil <sup>2</sup>	0.25 h	à CHF 24	CHF 6
Zwischentransport mit Dumper <sup>6</sup>	0.33 h	à CHF 64	CHF 21
Bagger mit Steinzange <sup>7</sup>	0.25 h	à CHF 267	CHF 67
<b>Total Inventar</b>			<b>CHF 104</b>

**Total Erstellungskosten exkl. Rabatt und MWSt. CHF 1'042**



"Wurzelstein" Hunzigenau  
Kostenzusammenstellung



10.02.2015 / David Hausammann

# Verschiedene Varianten "Wurzelsteine"

## 1. Variante gross

Ein Wurzelstock mit Stamm Durchmesser > 0.5 m und zwei Blocksteinen à 3 t / Stk (vgl. a. Bsp. Hunzigenau)

Die Erstellungskosten belaufen sich auf rund CHF 1'100\* je Wurzelstein. Dies bedingt eine Ausführung während eines laufenden Projekts resp. dass alle notwendigen Maschinen und der Wurzelstock bereits auf Platz stehen.

Diese Variante weist den grössten Wurzelteller auf. Die Blocksteine müssen allerdings in zwei Schritten angebracht werden, da der komplette Wurzelstein selbst mit einem Bagger > 30 t Eigengewicht nicht ausreichend weit angehoben werden kann. Diese Variante eignet sich zur Anwendung in Fliessgewässern wie der Aare.

## 2. Variante mittel

Ein Wurzelstock mit Stamm Durchmesser > 0.3 m und zwei Blocksteinen à 2 t / Stk

Die Erstellungskosten belaufen sich auf rund CHF 900\* je Wurzelstein. Dies bedingt eine Ausführung während eines laufenden Projekts resp. dass alle notwendigen Maschinen und der Wurzelstock bereits auf Platz stehen.

Diese Variante ist einfacher auszuführen als die Variante Gross. Dieser Wurzelstein kann mit einem Bagger > 30 t Eigengewicht problemlos angehoben und exakt positioniert werden. Diese Variante eignet sich zur Anwendung in mittleren bis grossen (im Strömungsschatten) Fliessgewässern (Gürbe, Zulg, Aare, u. vgl.).

## 3. Variante klein

Ein Wurzelstock mit Stamm Durchmesser > 0.2 m und einem Blocksteinen à 2 t

Die Erstellungskosten belaufen sich auf rund CHF 700\* je Wurzelstein. Dies bedingt eine Ausführung während eines laufenden Projekts resp. dass alle notwendigen Maschinen und der Wurzelstock bereits auf Platz stehen.

Diese Variante ist am einfachsten auszuführen. Dieser Wurzelstein kann könnte z.B. auch mit einem Schreitbagger problemlos angehoben und exakt positioniert werden. Diese Variante eignet sich zur Anwendung in kleinen bis mittleren (im Strömungsschatten) Fliessgewässern (Önz, Gürbe, u. vgl.).

## Ausführung unabhängig eines Projekts

Falls die notwendigen Maschinen nicht auf Platz stehen, fallen Zusatzkosten an (Ortsrayon Bern)

- Grundpauschale:	Personal, Lieferwagen, Kleingeräte, etc.	CHF 400*
- Installation Bagger:	Antransport eines Baggers	CHF 600*
- Installation Dumper (wenn notwendig):	Antransport eines Dumpers	CHF 500*
- Falls kein Wurzelstock vorhanden:	Beschaffung und Antransport eines Wurzelstocks	CHF 150*

## Anmerkungen und Präzisierungen

Folgende Punkte sind weiter zu beachten

- Die Kästli Bau AG kann als Bauunternehmung keine Verantwortung für die Abtriebsicherheit der Wurzelsteine (z.B. im Hochwasserfall) übernehmen. Allenfalls sollte durch die Bauherrschaft ein Wasserbauingenieur beigezogen werden.
- Das System "Wurzelstein" kann z.B. auch im Verbund in einem Längsverbau odereiner Buhne angewendet werden. So würde zusätzliche Abtriebsicherheit geschaffen.
- Die Kostenangaben setzen einigermass zugängliche Zielpunkte für die Wurzelsteine voraus. Es ist zu beachten, dass Hindernisse oder lange Anfahrts- und Erschliessungswege Zusatzkosten verursachen könnten.
- Die Angaben bieten eine Möglichkeit die Kosten für Wurzelsteine abzuschätzen. Für genaue Angaben erstellen wir nach einer Begehung vor Ort jederzeit gerne eine Offerte.
- \* Alle Preisangaben verstehen sich exkl. Rabatt und MWSt. Die Kästli Bau AG gewährt auf Spezialaufträge 5% Rabatt auf die Regieansätze des Kantonal-Bernischen Baumeisterverbands (KBB). Die Mehrwertsteuer von 8% ist aufzurechnen.

Bei Fragen stehen wir jederzeit gerne zur Verfügung: Markus Engloch, 079 656 54 65, markus.engloch@kaestlibau.ch  
David Hausammann, 079 738 25 91, david.hausammann@kaestlibau.ch

Varianten "Wurzelsteine"  
Möglichkeiten und Kosten



10.02.2015 / David Hausammann



Kanton Bern  
Canton de Berne

CO<sub>2</sub>  
NEUTRAL **KÄSTLI**

Renaturierung  
Régénération des eaux

# Totholzstrukturen Aare Hunzigenau

Amt für Landwirtschaft und Natur

