



Fachbericht

Wurzelstämme in der Aare

Ein Kurzbericht über die Sicherheit von
Wurzelstämmen in der Aare Talmatt

CO₂
NEUTRAL

KÄSTLI

Wasserbau

Kästli Bau AG
Bierigutstrasse 16
3608 Thun

Tel. 033 334 11 30
info@kaestlibau.ch
www.kaestlibau.ch

Inhaltsverzeichnis

1	Vorbemerkungen.....	2
2	Ausgeführte Strukturen.....	3
2.1	Verwendete Baumaterialien	3
2.2	Bausystem	5
3	Nachweis	6
3.1	Berechnungsgrundlagen Hydraulik	6
3.2	Hydraulischer Nachweis.....	7
3.3	Worst Case Szenario Betrachtung	7
3.4	Fazit.....	8
4	Erkenntnisse	9
5	Schlussbemerkung	10

1 Vorbemerkungen

Totholzstrukturen gewinnen an Anerkennung und können immer öfter auch umgesetzt werden. Die Sicherheit der Strukturen ist aber nach wie vor ein grosses Thema.

Dieser Bericht befasst sich mit der technischen Sicherheit am Beispiel der in Radelfingen erstellten Wurzelstamm-Strukturelementen.

In Radelfingen wurden an der Aare, Talmatt, verschiedene Aufwertungsmassnahmen umgesetzt. Unter anderem wurden Wurzelstöcke in das Aarebett eingebracht. Dem Verankerungssystem und den eingesetzten Materialien mussten, in diesem heiklen Abschnitt der Aare direkt oberhalb der Kühlwasserfassung des Kernkraftwerks Mühleberg (KKM), besondere Beachtung geschenkt werden.

Die nachfolgend beschriebene Baumethode wurde im besagten Aareabschnitt gutgeheissen und entsprechend umgesetzt.



Standort der Wurzelstöcke in der Aare (Orthofoto www.geo.admin.ch)

2 Ausgeführte Strukturen

Die mit je 3 Blocksteinen fixierten Wurzelstämme wurden auf die Aaresohle gelegt. Insgesamt wurden 5 Wurzelstämme versetzt.



Sicht auf die erstellten Strukturen. Blick in Fliessrichtung (Foto 2017, Kästli Bau AG)

2.1 Verwendete Baumaterialien

Alle 5 Einzelstrukturen wurden identisch ausgeführt. Folgende Materialien wurden eingesetzt.

Wurzelstamm

Fichten-Wurzelstamm (Durchmesser Wurzelteller 1.5 - 2 m) mit 4 - 6 m Stammlänge (Stammdurchmesser 30 - 40 cm), grün (frisch für das Projekt geschlagen)

Blocksteine

Formwilde Blocksteine, Alpenkalk 1.8 - 2.2 to / Stk ab Steinbruch Reutigen

Befestigungseinheit Spannstahl

Ankerstab

Dywidag Ankerstab roh, 15 mm



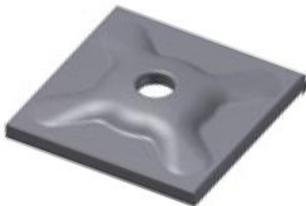
Dübel

Dywidag Spreizdübel zu Ankerstab 15 mm



Unterlagsplatte

Dywidag Ankerplatte, roh, 100 x 100



Mutter

Dywidag Sechskantmutter, roh, 15 / 50



Befestigungseinheit Drahtseil

Drahtseil

Drahtseil Konstr. 6 x 36, 13 mm, verzinkt



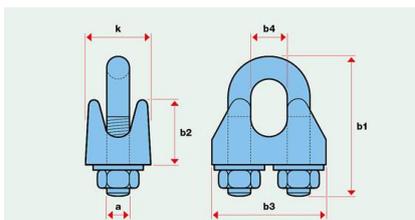
Dübel

Bolzenanker, M20, 200 mm, verzinkt



Drahtseilklemmen

Bügelklemme, für Seil - 13 mm, verzinkt



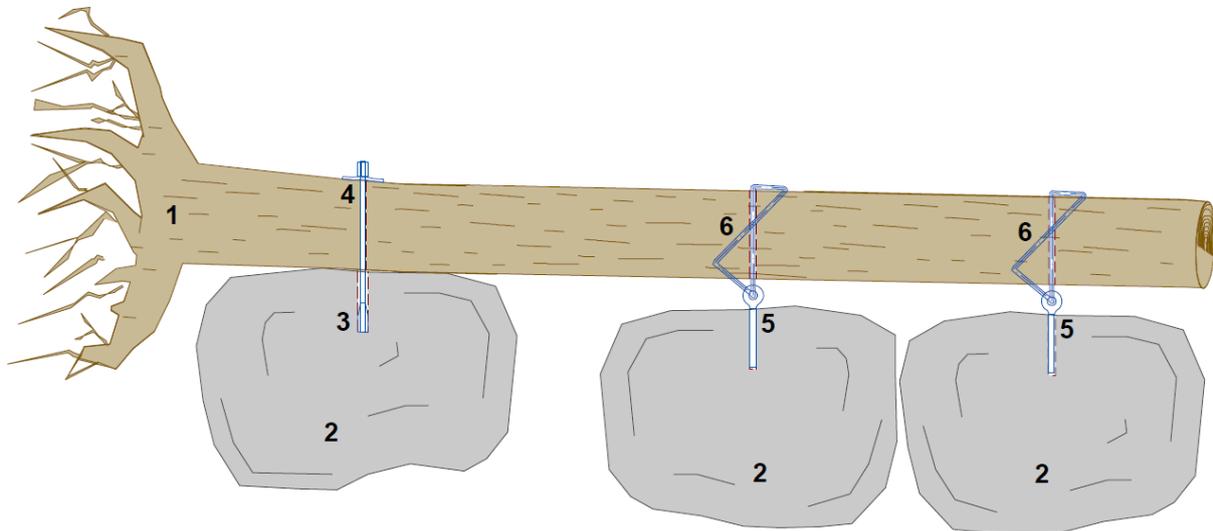
Mutter

Ringmutter, M20, Edelstahl rostfrei



2.2 Bausystem

Schemaskizze Wurzelstamm Aare Talmatte, Radelfingen



- | | |
|--|---|
| <p>1 Wurzelstamm mit ca. 4 m Stammlänge
Stamm ø ca. 0.4 m, Wurzelteller ø ca. 1.6 m</p> <p>2 Blockstein ca. 2 t Eigengewicht</p> <p>3 Dywidag Spreizdübel</p> | <p>4 Diwydag Ankerstab mit Mutter und Unterlagsplatte</p> <p>5 Profix Bolzenanker mit Ringmutter</p> <p>6 Drahtseil befestigt mit Drahtseilklemmen</p> <p>4/6 Stamm mittig durchbohrt (einfach)</p> |
|--|---|

Skizze des Wurzelstamm-Elements (Skizze Kästli Bau AG)



Sicht auf einen Wurzelstock. Blick ab rechtem Aareufer (Foto 2017, Kästli Bau AG)

3 Nachweis

Die Kästli Bau AG hat einen Sicherheitsnachweis des vorangehend beschriebenen Bausystems verfasst, welcher durch die Sicherheitsbeauftragten des KKM gutgeheissen wurde. Für die Aussagen und Richtigkeit der Berechnungen kann keine Verantwortung übernommen werden. Jedes System muss den örtlichen Gegebenheiten angepasst werden und individuell beurteilt werden.

3.1 Berechnungsgrundlagen Hydraulik

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:

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_{Holz} : Schnittfläche Baumstamm * Stammlänge + Fläche Wurzelteller (Annahme Durchmesser Wurzelteller = 4 * Stammdurchmesser) * Dicke Stammdurchmesser (Annahme Festvolumen Wurzelteller entspricht Stammdurchmesser)

Rohdichte ρ : Wasser: 10 kN / m³, Holz: 8 kN / m³

Formwiderstandsbeiwert c_w : Die Objektgeometrie und -Lage führen im Vorliegenden Fall zu der Annahme, die den Wurzelteller als Scheibe zu betrachten. Einfachheitshalber wird der Stamm ebenfalls als flach in die Berechnung einbezogen. Somit: $c_w = 1.0$.

Fliessgeschwindigkeit v : Die Aare weist mit ihrem flachen Sohlengefälle im Abschnitt Talmatt 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 Wurzelgefläch nicht Flächendeckend erscheint, wird die Angriffsfläche um 25 % reduziert.

3.2 Hydraulischer Nachweis

Ein Baum mit einem Durchmesser von max. 0.4 m und 6 m Stammlänge wurde mit drei Steinen mit je einem Eigengewicht von durchschnittlich 2 t gesichert.

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

Berechnung (abstrahierte Näherung):

$$F_s = 1.6 \text{ m}^3 * 10 \text{ kN} - 1.6 \text{ m}^3 * 8 \text{ kN} = 3.2 \text{ kN}$$

$$F_d = 0.5 * 1.0 * 10 \text{ kN} * 2 \text{ m/s}^2 * (1.5 + 1.2 \text{ m}^2) * 1.5 = 22.5 \text{ kN}$$

$$F = \mathbf{25.4 \text{ kN}}$$

Drei Blocksteine mit je einem Eigengewicht von 2 t entsprechen einem Volumen von je ca. 0.85 m³ und unterliegen einem Auftrieb von gesamthaft 26 kN. Die Blocksteine weisen somit eine Gegenkraft von **34 kN** auf. Die Angriffsfläche der Blocksteine wird in der Berechnung nicht berücksichtigt, da einerseits der Stamm bereits zu 50 Flächenprozent eingerechnet wurde und der Stein in die ca. 30 cm starke Kiessohle welche die Felsoberfläche bedeckt einsinken und so gestützt wird.

Das Gleiten auf der Felssohle wird vernachlässigt, da die Kiesschicht von ca. 0.3 m Mächtigkeit, welche die verwitterte Sandsteinoberfläche bedeckt, einen bedeutenden Widerstand bildet. Blocksteine dieser Grösse und Verbund werden im Aareabschnitt Talmatt nicht oder nur minimal mit dem normalen Geschiebetrieb mitgetragen.

Das Szenario eines Holzanpralls wird nicht berücksichtigt, da der Stamm auch bei Niederwasser min. 0.5 m unter der Wasseroberfläche liegt und der Wurzelteller einem massgebenden Anprall nachgeben würde.

Somit wird der Nachweis erbracht mit einem **Faktor = 1.33**

3.3 Worst Case Szenario Betrachtung

Falls im Hochwasserfall trotz des 2 m höheren Wasserspiegels (Annahme) ein massgebendes Schwemmholzteil oder eine Schwemmholzansammlung den Wurzelstamm tangiert, muss davon ausgegangen werden, dass die entstehenden Kräfte nicht durch die Foundation aufgenommen werden können. Ebenso könnten die Blocksteine über Jahre während Hochwasserabflüssen im Geschiebetrieb unerwartet wandern. Diese Ereignisse hätten zur Folge, dass das ganze Element mit der Strömung gleiten würde. Das Ergebnis wäre, dass sich das Element nach Rückgang des Hochwassers vermutlich im Talweg des Flusses befinden würde.

Aus folgenden Gründen wird eine Verschiebung des Elements als unbedenklich erachtet:

- Die Blocksteine wurden satt mit dem Baumstamm verbunden. Der mit einem Ankerstab angenagelte Stein liegt direkt am Stamm. Die Mutter wurde vorgespannt und die Drahtseile stehen unter Spannung. Diese zeigen im versetzten Zustand einen Spielraum vom 5 bis 10 cm. Somit entstehen keine zusätzlich wirkenden Kräfte auf Grund von Spielraum der Drahtseile. Die Verbauten Teile können so als Element betrachtet werden.
- Jedes Drahtseil ist mindestens mit einem Blockstein resp. einem Anker verbunden und kann nicht abgeschwemmt werden. Der Stamm wurde je Blockstein einmal durchbohrt. Jedes Drahtseil ist einmal durch und einmal um den Stamm geschlaucht und an jedem Ende mit der Ringmutter verbunden. Falls der Wurzelstamm versagen sollte und sich dieser vollständig von den Drahtseilen löst, werden keine Drahtseile mit dem Holz mitgetragen.
- Da die verwendeten hochwertigen Materialien ein um vielfaches höhere Bruchlast aufweisen als das verankerte Holz, wird ein technisches Versagen von Anker, Stäben und Seilen ausgeschlossen.
- Die Wahrscheinlichkeit, dass ein Blockstein versagt wird ausgeschlossen. Diese wurden während des Versetzens (Anheben des Wurzelstamms mit zwei Baggern) am angebrachten Anker je Struktur einzeln frei hängend auf ihre Beständigkeit geprüft. Zusätzlich wurde so die genügend widerstandsfähige Montage der Verankerungen aufgezeigt.

Ein unerwartetes Materialversagen, wird aus folgenden Gründen als unbedenklich erachtet:

- Weder die Blocksteine, noch die verbauten Stahlteile, schwimmen als Einzelteile auf.
- Falls alle Drahtseile und der Ankerstab versagen, werden die Drahtseile ausfädeln und am Stein verbleiben. Der Stamm mit dem allfällig verbleibenden Ankerstab kann dem Wasser problemlos entnommen werden.
- Falls die Verbindungen zu einem oder zwei Steinen versagt, wird der Stamm mit dem verbleibenden Stein auf dem tiefsten Punkt der Sohle wandern und stellt keine Gefahr dar. Ein aufschwimmen des Stammes mit dem Stein ist auch in diesem Fall nicht möglich.

3.4 Fazit

Es kann nicht ohne Restrisiko festgestellt werden, dass die Wurzelstamm-Elemente an Ort und Stelle bleiben. Es kann aber die Aussage gemacht werden, dass weder die Stahlseile noch die Blocksteine mit dem Stamm abgeschwemmt werden. Es besteht kein Risiko, dass Stahl- oder grössere Steinteile den Kühlwassereinlauf des KKM erreichen.

4 Erkenntnisse

Totholzstrukturen in der Aare werden als Risikofaktor betrachtet. Insbesondere Bausysteme die mit Drahtseilen befestigt sind. Gründe für die Vorbehalte sind einerseits die Schwimmer und Bootsfahrer, andererseits die Befürchtung, dass Stahlteile in Kraftwerke oder ähnliche Einrichtungen gelangen.

Das vorangehend beschriebene Objekt ist nicht nur ein Erfolg im Projekt Talmatt, sondern ein übergreifender Meilenstein in der Geschichte des Totholzes in grossen Fließgewässern. Denn wenn diese Strukturen in der Aare direkt oberhalb eines Kernkraftwerks erstellt werden konnten, welche Sicherheitsbedenken könnten noch gegen die Erstellung weiterer Totholzeinbauten sprechen?



Sicht auf die erstellten Strukturen – im Hintergrund ist das KKM zu erkennen (Foto 2017, Kästli Bau AG)

5 Schlussbemerkung

Die Kästli Bau AG durfte in der Vergangenheit bereits unterschiedlichste Strukturen in Zusammenarbeit mit Kantonalen Behörden, mit Fonds oder Vereinen realisieren. Einzelne Objekte wurden durch die Kästli Bau AG oder durch das begleitende Ingenieurbüro dokumentiert. Die wichtigsten Berichte sind auf der Homepage der Kästli Gruppe verfügbar (www.kaestligruppe.ch/bau/wasserbau).

Die Kästli Bau AG kann, als eine der wenigen Bauunternehmungen im Raum Bern mit einer eigenen Wasserbauabteilung mit mehr als 20 Spezialisten, auf jahrzehntelange Erfahrung im Wasserbau zurückgreifen.

Die Kästli Bau AG verfügt über einen umfangreichen Maschinenpark und hat durch die firmeneigene Kiesgrube und die grosse Logistikflotte Zugriff auf ein ausgedehntes Angebot. Wir bieten für jede Arbeit die richtige Maschine, qualitativ hochstehende Materialien und garantieren eine termingerechte Realisierung.

Gerne steht Ihnen die Kästli Bau AG auch beratend zur Verfügung.

Auf Anfrage nehmen wir gerne an Begehungen vor Ort teil und / oder erstellen eine unverbindliche Offerte für Baumeisterarbeiten.

Thun, 17.05.2017



David Hausammann

Bauführer Wasserbau

Mobil +41 79 738 25 91

david.hausammann@kaestlibau.ch

Kästli Bau AG

Biergutstrasse 16

Postfach 102

3608 Thun

Tel. 033 334 11 30