



Blocksteinbuhne, Tentlingen

Buhnen für Renaturierung und Uferschutz

- Dammartiges Querbauwerk, welches vom Ufer her in das Gewässer gebaut wird und das Querprofil des Gerinnes einengt
- Buhnen dienen grundsätzlich der Wasserlenkung und der Erhöhung der Rauigkeit des Gerinnes. Sie bewirken zudem, je nach Bemessung, projektspezifisch erwünschte Effekte und beeinflussen die Gewässermorphologie
- Einsatzgebiet u.a. in der Naturgefahrenabwehr (Erosionsschutz für die Uferböschung) und bei Renaturierungsmassnahmen (Förderung einer eigendynamischen Gewässerentwicklung)



Fertiggestellte Lage der sich im Bau befindenden Blocksteinbuhne

Ausführungsort Bsp. / Planer

Ausführungsort: Tentlingen (FR), Aegera bei Stersmühle (2 581 860 / 1 178 580)

Bauherrschaft: Gemeinde Tentlingen (Kostenbeteiligung Gemeinde Giffers)

Idee, Projekt und Bauleitung: pbplan AG, 1716 Plaffeien; Beat Philipona, Dipl. Forsting. ETH

Ausführung: Raemy Hoch- und Tiefbau AG, 1716 Plaffeien

Baujahr: 2015

Funktion / Anwendungsgrenzen

Buhnen sind dammartige Querbauwerke, welche (meistens) vom Ufer her quer in das Gewässer hineingebaut werden und dabei u.a. das Querprofil einengen. Dies führt kurzfristig zur Anhebung des Wasserspiegels und der Geschiebetransportkapazität (und daraus allenfalls resultierenden Vertiefung der Gerinnesohle). Langfristig reduzieren sich Fließgeschwindigkeit und Strömungsenergie durch Rückströmungen und durch Sedimentation neu entstehender Geschiebebänke (Wasserberuhigung durch Erhöhung der Fließlänge). Somit dienen Buhnen grundsätzlich der Wasserlenkung und werden nach drei Typen unterschieden (gemäss Winkel zur Fließrichtung), welche verschiedenen Zielsetzungen dienen, u.a. dem Hochwasser- und Uferschutz oder der Renaturierung (Details s.u. Bemessung).

Sie können direkt im Wasser oder mit einem Versatz zum Ufer erstellt werden, damit v.a. bei Hochwasser die erwünschte Lenkung des Wassers weg vom Ufer erfolgen kann.

Buhnen können aus verschiedenen Materialien erstellt werden, wobei grundsätzlich zwischen lebenden (bspw. bepflanzen Blockwürfe oder Faschinen) und toten Buhnen (Holz, Steine, Beton, Stahl) unterschieden wird.

Die im vorliegenden Projekt erstellten Blocksteinbuhnen können grundsätzlich dort zum Einsatz kommen, wo eine naturnahe Verbauungsmethode erwünscht ist. Im vorliegenden Projekt dienen sie dem Schutz eines Dammes am Rand eines schützenswerten Auengebietes.

Die Blocksteinbuhnen (nachfolgend nur noch als Buhne bezeichnet) bestehen aus einzelnen grösseren Blocksteinen, welche mit Stabankern und deren Verbindung mit Drahtseilen fixiert werden, damit sie als Ganzes zusammenhalten. Dieser Verbund stellt sicher, dass einzelne Blöcke nicht ausbrechen und damit die Gesamtstabilität des Werks gefährdet würde. Die Buhne wird nicht im Baugrund verankert, sondern nur in den Baugrund eingebunden, damit das Werk als Ganzes relativ flexibel bleibt. Die Anker(-köpfe) befinden sich innerhalb der fertiggestellten Buhne, womit sie gegen Anprall durch potentielles Geschiebematerial geschützt sind.

Voraussetzungen Baugrund

Keine besonderen, die Buhne muss jedoch genügend vertieft werden, damit sie bei Wasserkontakt nicht unterspült wird. Deshalb sollte der Baugrund einigermaßen stabil sein. Es gelten grundsätzlich dieselben Kriterien wie für eine Blockrampe (Abstufung des Untergrundmaterials als Filterschicht, allenfalls Unterstützung durch Geotextilien).



Gesetze / Normen

Im vorliegenden Projekt wurde auf vorhandenes Erfahrungswissen zurückgegriffen; nachfolgend mögliche Literatur zur Konsultation:

BAFU, 2010. Ingenieurblogische Bauweisen im naturnahen Wasserbau. Praxishilfe, Bundesamt für Umwelt (BAFU), 59 S.

Patt H und Gonsowski P, 2011. Wasserbau. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 7., aktualisierte Auflage, 410 S.

Patt H, Jürging P, Kraus W, 2012. Naturnaher Wasserbau - Entwicklung und Gestaltung von Fließgewässern. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 4., aktualisierte Auflage, 466 S.

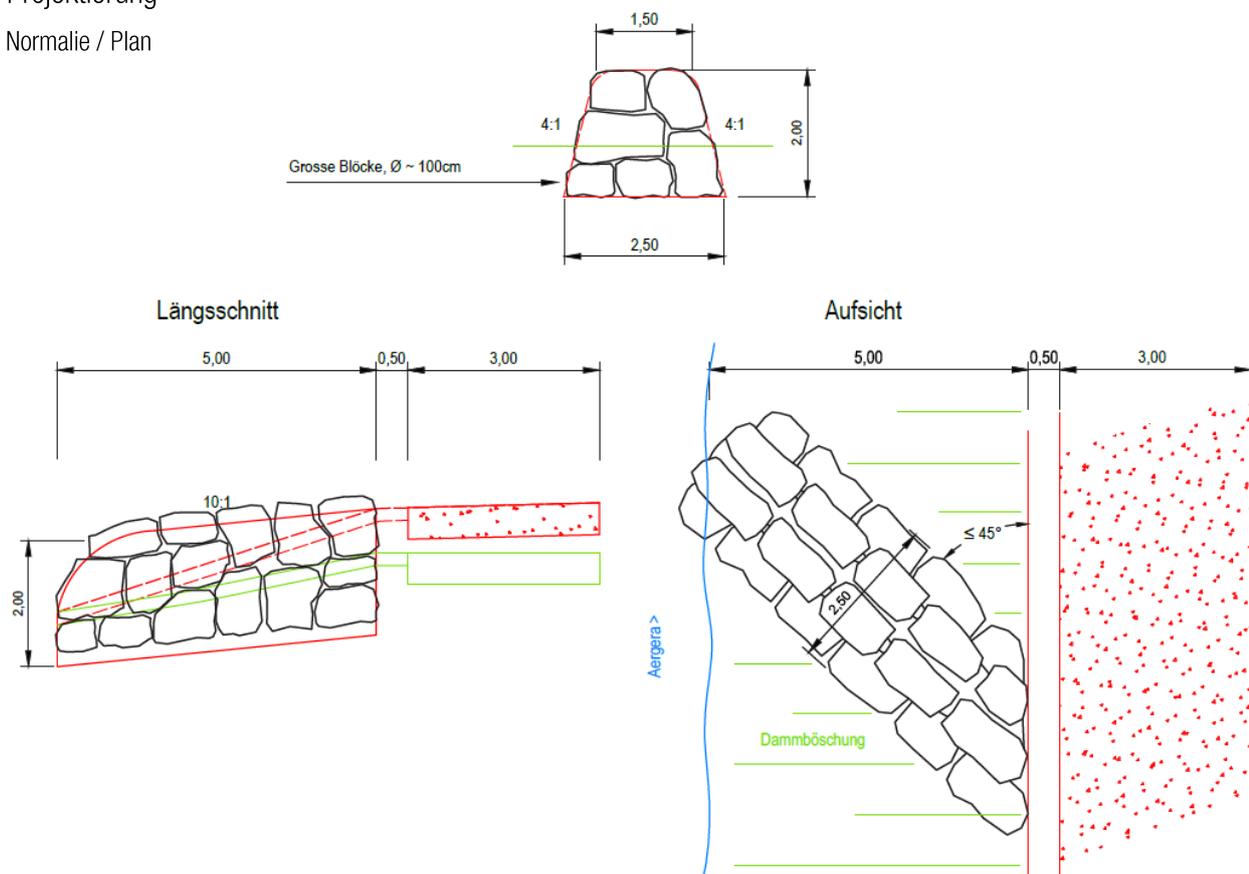
Schiechl H M und Stern R, 2002. Naturnaher Wasserbau: Anleitung für ingenieurblogische Bauweisen. John Wiley & Sons, 229 S.

SN 670 105-1 Wasserbausteine

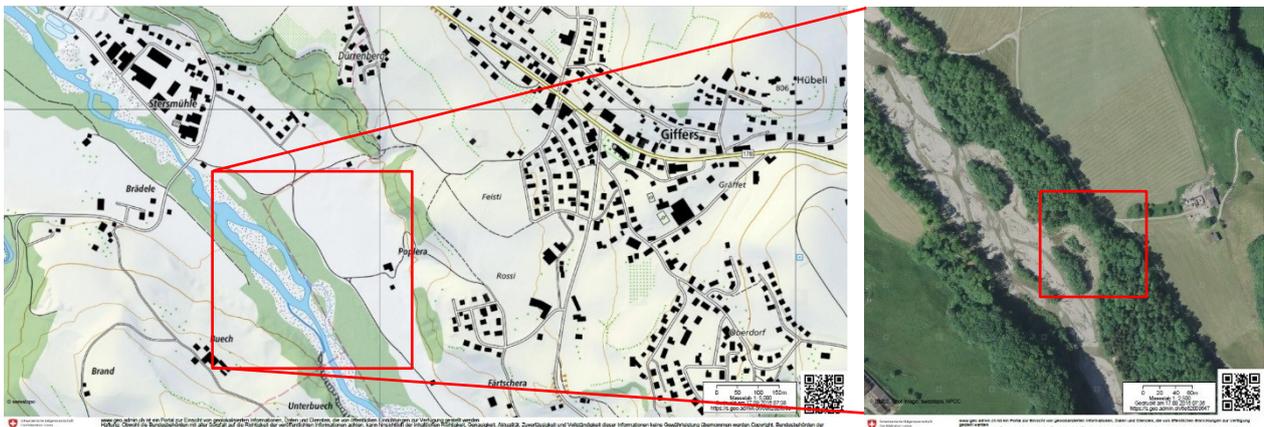
Kantonale Praxishilfen

Projektierung

Normalie / Plan



Normalie Blocksteinbuhne (Beispiel); im vorliegenden Projekt wurde abweichend und situativ angepasst gebaut (Quelle: pbplan AG 2015)



Situationsübersicht: Blocksteinbuhnen an der Aergera bei Sterstmühle (Quelle: map.geo.admin.ch, 2016, verändert, nicht massstabsgetreu)

Tragwerksanalyse

Die Tragsicherheit, also das Standhalten gegen die potentielle Belastung (Strömungs- und Geschiebeenergie entsprechend dem Abflussregime inkl. HQ_{100}) und die Gebrauchstauglichkeit (Nachweise gegen Kippen, Gleiten und Grundbruch) werden grundsätzlich durch hydraulische und statische Berechnungen gezeigt. Hierfür können verschiedene EDV-Tools eingesetzt werden; u. a. sind Abflussmodellierungen durch den Einbezug von digitalen Geländemodellen durchführbar (z.B. Hydro-AS 2D [Hydrotec, neueste Version 2016] oder Basement [Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie VAW, 2006; neueste Version 2016]). Im vorliegenden Projekt wurde aufgrund von Erfahrungswissen auf detaillierte Berechnungen verzichtet.

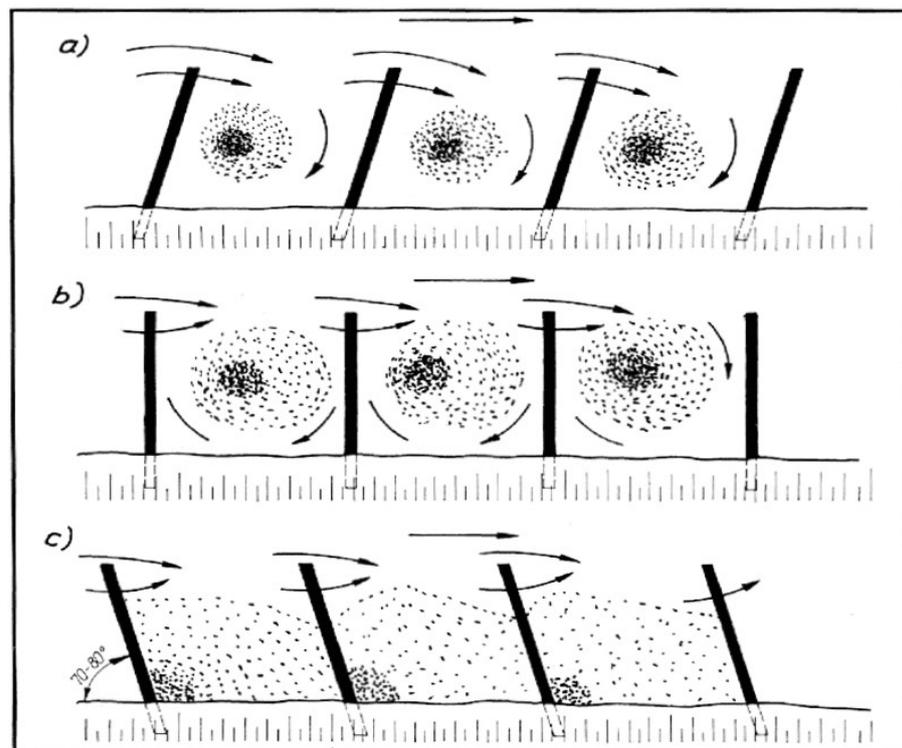
Für die Tragwerksanalyse sollen entsprechend der Zielsetzung weiter die Geometrie, Ausdehnung und Anordnung sowie das Material der Buhnen bestimmt werden:

Die Höhe der Werke (hier ca. 2.5 m) wird meist so bemessen, dass die Oberkante des Buhnentrumpfes mittig ungefähr auf den mittleren Wasserstand festgelegt wird, wobei der Buhnenkopf unter Wasser und die Buhnenwurzel ständig über Wasser zu liegen kommen sollte (auch bei Hochwasser). Die Länge der Buhnen wird projektspezifisch, je nach zu erzielender Wirkung bestimmt (hier ca. 7 m).

Auch der Abstand zwischen den Buhnen (sog. Buhnenfeld) wird je nach Zielsetzung bzw. zu erreichender Wirkung gewählt, wobei Länge wie Abstand der Buhnen den Strömungsstrahl des Wassers beeinflussen. Um das Ufer zu schützen und die Sedimentation zu begünstigen, wird der Buhnenabstand so gross gewählt, dass der Strömungsstrahl mittig auf die nachfolgende Buhne trifft. Dies entspricht oftmals einem Anstand in der Grössenordnung der Gerinnebreite oder einem Abstand von 1.5 bis 2.5-facher Buhnenlänge (u. a. BAFU 2010).

Die Tiefe der Foundation wird normalerweise auf eine halbe bis ganze eingebundene Blocksteinhöhe projektiert. Weiter soll auf eine sorgfältige Einbindung der Buhnenwurzel ins Ufer sowie die Sicherung des Buhnenkopfes im Gerinne (turbulente Strömungen) geachtet werden.

Des Weiteren ist die Bemessung grundsätzlich flexibel und projektgebunden (Welche Wirkung soll erzielt werden?); die Ausrichtung ist aber essentiell und wird wie folgt unterteilt:



Prinzipische Buhnenwirkung: Wasserlenkung und Verlandung bei a) Deklinanter, b) Orthogonaler und c) Inklinanter Ausrichtung (Quelle: B. Hentschel u. Söhngen B., 2001. Bundesanstalt für Wasserbau, BAW-Kolloquium, Karlsruhe 25.10.2001 [verändert])

Variante a) Die Buhne wird mit einer variablen Neigung in Fließrichtung erstellt (deklinant). Diese Anwendung diente v.a. in der Vergangenheit der Wasserlenkung und dem Schutz des rückwärtigen Ufers, wobei sie dann grundsätzlich nicht überflossen werden durfte (deklinante Buhnen können Kolke an der Buhnenwurzel verursachen). Heutzutage wird die deklinante Ausrichtung vermehrt in Renaturierungsprojekten eingesetzt, wobei das Überströmen der Werke hin zum Ufer zu dessen



gezielten eigendynamischen Formung genutzt wird (Mäander- und Kolkbildung zur Aufhebung von Begradigungen). Die Verlandung ist eher gering.

Variante b) Die Buhne wird senkrecht zur Fliessrichtung ins Gerinne (oder in die erwartete Fliessrichtung) hineinverbaut (orthogonal). Diese Ausrichtung bildet eine Mischform zwischen den zwei anderen, wobei die Buhne dann nicht komplett überschwemmt werden sollte; sie muss gegen eine entsprechende Hochwassermenge mit entsprechender Sicherheitsmarge konzipiert sein.

Variante c) Die Buhne wird mit 70° - 80° Neigung gegen die Fliessrichtung erstellt (inklinant), um v.a. bei einem allfälligen Hochwasser eine verstärkte Wasserlenkung in die Gerinnemitte bzw. weg vom Ufer zu bewirken (Hochwasser- und Uferschutz). Hier ist die Verlandung relativ hoch.

Anordnung: Die Buhnen können nur auf einer oder auf beiden Seiten des Gerinnes einander gegenüber (stärkere Verengung der Gerinnebreite) oder versetzt zueinander erstellt werden (Mäanderbildung; Distanz ca. 8 – 12mal die Gewässerbreite).

Im naturnahen Wasserbau sollen möglichst natürliche und lokale Materialien verwendet werden (Holz, Wasserbausteine, Stein- und Erdmaterial etc.). Solche Buhnen, welche ein Durchströmen des Wassers ermöglichen (neben Blocksteinen auch lebende Buhnen mit Bewuchs), bieten zudem ökologische Nischen für Wasserflora und -fauna.

Bemessung

Im vorliegenden Projekt wurde für die Bemessung auf vorhandenes Erfahrungswissen zurückgegriffen, wobei das System flexibel ist und die Blöcke miteinander verbunden sind. Die ungefähren Dimensionen im vorliegenden Projekt betragen: L x B x H = 7 m x 2 m x 2.5 m.

Die Buhnen wurden aus Blocksteinen (Wasserbausteinen) erstellt und sind deklinant ausgerichtet, jedoch mit einer genügenden Höhe, damit sie nicht überflossen werden können (Schutz des Ufers).

Die Bemessung kann nach berechneter möglicher Abflussmenge HQ₁₀₀ für ein hundertjähriges Ereignis, bspw. gemäss Richtlinie WSL (Böll 1997) erfolgen.

Ø Kosten pro Einheit

Rund CHF 8'700.- pro Buhne mit rund 30-35 m³ Kubatur

Pro m³ ca. CHF 300.- (bzw. Tonnage Blöcke ca. CHF 150.-); kann aber auch je nach Projekt weniger, d.h. zwischen CHF 100 – 200.-/m³ betragen

	Anzahl	Einheit	Einheitspreis [CHF]	Kosten/Einheit [CHF]
Anker + Mörtel	20	Stk	30	600
Blöcke	60	to	60	3'600
Arbeit	1	pauschal	4'500	4'500
Total Kosten pro Buhne				8'700
Kosten pro t Blöcke				150
Kosten pro m ³ Buhne				300

Tun und Vermeiden

Möglichst grosse Blocksteine verwenden (sinnvolle Grösse im Verhältnis zur Gerinnebreite und Geschiebetransportkapazität), denn die Kosten steigen direkt mit zunehmender Anzahl Anker (Bohrarbeiten).

Anker und Verbindungsseile müssen innen vor Erosion geschützt angelegt werden (schichtweiser Aufbau).

Materialien

Namen

Blocksteine (Wasserbausteine): Etwa 1 m³ gross, keine runden, sondern unterschiedliche und eckige Formen wählen, damit sich die Steine beim Einbau gut ineinander verkeilen lassen. Ansonsten sind möglichst lokale Blocksteine zu wählen, welche robust (wenig Abrieb) und nicht brüchig sind. Im vorliegenden Projekt wurde Flyschsandstein verbaut, welcher die geforderten Eigenschaften gut erfüllt.

Anker: Seilanker Ø 12 mm, mind. 40 cm tief als Schlaufe eingebaut und entsprechend je gut 1 m lang (2 x Ø 12 mm im Bohrloch vermörtelt), aus rostsicherem Stahl (Inox) bestehend (relativ teuer, hat sich aber bewährt: Die Anker sind nachträglich nicht mehr zugänglich, es ist also keine Sichtkontrolle mehr möglich, d.h. die Anker müssen die ganze Lebensdauer standhalten [50 – 100 Jahre]).



Stahlseile: Inox-Seile \varnothing 12 mm, zur Verbindung der Seilanker; Gesamtlänge entsprechend der Anzahl
Seilklemmen: Wahl gemäss \varnothing Stahlseil (im vorliegenden Projekt entsprechend 12 mm Seilklemmen)
Lawinenmörtel (zertifiziert und bewährt)

NPK Kapitel / Position	Wasserumleitung, -haltung: NPK 213.2XX.XXX Materiallieferungen: NPK 213.51X.XXX Buhnen mit Natursteinen: NPK 213.546.1XX
Mindestanforderungen	Gesteinseigenschaften entsprechend der Belastung (Strömungs-, Geschiebepotential; Witterung etc.) Rostfreie und rost sichere Stahlteile (Inox)
Verarbeitung Tipp	Die Anordnung der Blocksteine ist wichtig, auf gegenseitiges Ein- und Anpassen sollte ein spezielles Augenmerk gelegt werden (Berücksichtigung aller Kontaktpunkte). Die Blocksteine sollen so verlegt werden, dass sie als Ganzes bzw. als Buhne, auch ohne Seilverbindung zusammenhalten würden. Bei ersten Steinlieferungen besonderes Augenmerk auf die Steinformen und -qualitäten legen. Der Maschinist sollte einschlägige Erfahrung haben bzw. hohe Fachkompetenz besitzen, denn die Reihenfolge der Blocksteinauswahl aus dem verfügbaren Material sollte letztlich zu einem der Projektierung entsprechenden Werk führen. Möglicherweise können einzelne, passende Blocksteine aus dem Abbau alter Verbauungen vor Ort verwendet werden, wie dies im vorliegenden Projekt geschah (alter Damm).
\varnothing Menge pro Einheit	Grundsätzlich projektspezifisch (Dimension); hier wurden pro Buhne durchschnittlich 20 Blocksteine mit gleich vielen Ankern verbaut (mind. 1 Anker pro Block).

Mittel

Maschinen	Grosser Bagger entsprechend der zu manipulierenden Blockgrösse mit Löffel und/oder Greifzange (je nach Grösse Material und Kompetenz Maschinist)
Geräte	Kompressor für Bohrgeräte (Handbohrgerät) für 40/42 mm Dimension

Installation

Die Installation ist situativ und projektgebunden. Im vorliegenden Projekt konnte durch die kurze Distanz zur Erschliessung das Material pro Bauwerk direkt neben dem jeweiligen Bestimmungsort deponiert werden. Die Lieferung des Materials erfolgte direkt vom Steinbruch, womit ein vorgelagerter Deponieplatz umgangen werden konnte (keine Vorlieferung).

Allenfalls kann eine Baupiste sinnvoll sein und sollte zumindest angedacht werden.

Im Bereich von Grundwasserschutzzonen und am Gewässer sind die jeweils geltenden Bestimmungen zu beachten (Maschinen ausserhalb der Schutzzonen abstellen, betanken und warten).

Allenfalls muss zur Erleichterung der Bauarbeiten das Wasser genügend weit stromaufwärts vor der Baustelle gefasst, in einer entsprechend dem Wasservolumen genügend gross dimensionierten Umleitung gesammelt und genügend weit stromabwärts wieder ins vorhandene Gerinne zugeführt werden (Dämme, Spuntwände, Rohrleitungen, o.ä.). Eine Wasserhaltung mit zusätzlichem Pumpen kann nötig sein. Ebenso zusätzlich Ausfischen.

Ausführung

Absteckung	Wichtig: Was ist die Zielsetzung, was soll wie und wo erreicht werden? Dadurch ergeben sich die jeweiligen Längen und Höhen der Buhnen, deren Abstände zueinander und die jeweiligen Winkel zur Fliessrichtung, aber v.a. auch die effektive Platzierung im Gerinne.
Erdarbeiten	Fundationsarbeiten zur Einbindung der Buhnen in den Baugrund zum Erosionsschutz (Aus- und Unterspülung). Im vorliegenden Projekt wurden die Werke in mind. 1 m Tiefe unterhalb Bachsohle fundiert.
Arbeitsschritte	<ol style="list-style-type: none">(1) Absteckung(2) Allenfalls maschineller Zugang zur Baustelle ermöglichen, bspw. Baupiste erstellen(3) Ausfischen und genügend Wasserumleitung; allenfalls zusätzliches Abpumpen(4) Erdarbeiten zur Fundation(5) Materiallieferung und Deponie vor Ort (Blocksteine und Ankermaterial)



- (6) Nacheinander Blocksteinpakete schichten, Anker setzen und Seile installieren, fixieren und sichern
- (7) Einbindung der Bühnenwurzel in die Uferböschung
- (8) Überdecken der Bühnen mit Aushubmaterial

Tun und Vermeiden

Die Anordnung der Blocksteine ist wichtig (Kompetenz Maschinist und Handlanger) und auch bei der Platzierung der Blocksteine sollte sorgfältig gearbeitet werden, damit Anker und Seile keinen Schaden nehmen.

Die Seile sollen die Blocksteine auch über Kreuz verbinden und werden an jedem Block zusätzlich mit Seilklemmen fixiert, dies bietet eine zusätzliche Sicherheit.

Mindestens einen Tag abwarten, bis der Mörtel sicher trocken ist (Deformation unter Belastung [Zug]); bei feuchter Witterung länger zuwarten.

Vorgängig eine gute Arbeitsorganisation andenken, d.h. ein effektives Einsetzen der Arbeitskräfte planen, damit bei Bedarf an verschiedenen Stellen (gleichzeitig) gearbeitet werden kann.

Die Arbeiten sollten nicht im Nassen durchgeführt werden (bohren, vermörteln etc.). Es wird empfohlen, die Arbeiten möglichst bei niedrigem Wasserstand durchzuführen (Winterhalbjahr) und bei grösseren Niederschlagsereignissen die Arbeiten einzustellen (Arbeitssicherheit).

Abschlussarbeiten

Rückbau der Wasserumleitung und allfälliger Baupiste

Sicherheit

Besonders zu beachtende Sicherheitsaspekte:

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

Werterhalt

laufend

unterhaltsfrei

periodisch

Bei Beschädigungen, welche die erwünschte Funktion verhindern oder bei kompletter Zerstörung muss das Werk neu erstellt werden; es ist kein Unterhalt an sich möglich.

Rückbau

Die Stahlteile können entfernt werden und die Blocksteine sind ev. wiederverwendbar.

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 (Quelle: pbplan AG; 2015)



Abbildung 1: Bohrarbeiten für die Versetzung der Stabanker



Abbildung 2: Erste fertiggestellte Blocksteinschicht mit versetzten Anker und fixierten Stahlseilen



Abbildung 3: Detail: Schlaufe, an welcher das Stahlseil befestigt wird

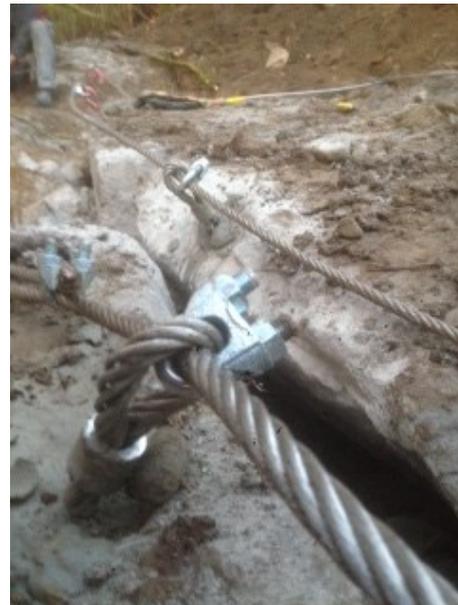


Abbildung 4: Detail: Seilklemmen zur zusätzlichen Sicherung der Stahlseile