



## Wildbachverbau, Stallikon ZH

### Ersatz alter Holzperren

-Kombination verschiedener Bausysteme:

**Einwandige Holzperren** im unteren Bereich, **Stufen-Becken** aus Blöcken im mittleren Abschnitt und in den steilen, oberen Bereichen **Blockstufen**

-Mit dieser Kombination werden neben den wasserbaulich-hydraulischen Vorgaben auch die Anliegen des Naturschutzes berücksichtigt.



Neue, einwandige Holzperre im Silberbach, Stallikon ZH

### Ausführungsort Bsp. / Planer

Ausführungsort:	Silberbach, Stallikon ZH, 2 679 727 / 1 242 195
Bauherrschaft:	Einwohnergemeinde Stallikon
Oberaufsicht:	Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft (AWEL) Sektion Beratung & Bewilligung
Projektierung und Bauleitung:	belop gmbh, Sarnen Ingenieurbüro Solka + Partner AG, Stallikon Schubiger AG Obwalden, Kägiswil
Umweltbaubegleitung:	AquaPlus, Zug
Baumeisterarbeiten:	wsb AG, 8197 Rafz

### Funktion / Anwendungsgrenzen

Der Silberbach wurde seit der Überflutung im Jahr 1946 verbaut, zuletzt mit einwandigen, ca. 20 jährigen Holzperren. Im Juni 2012 entschieden sich die Vertreter der kantonalen Verwaltung für die Kombination verschiedener Verbausysteme: Einwandige Holzperren im unteren, gut erschlossenen Bereich, Stufen-Becken aus Blöcken im mittleren, wenig steilen Abschnitt und in den steilen, oberen Bereichen Blockstufen.

### Voraussetzungen Baugrund

Die Holzperren müssen seitlich eingebunden werden. Einsatz von Holzperren bei zu flachgründigem Boden, bzw. Fels wäre bezüglich Halt und Verankerung günstig. Oft kann in solchen Situationen aber auch direkt auf die natürliche, länger dauerhafte Felssohle als Gestaltungselement gesetzt werden. Bedingung ist das Einhalten der theoretischen Geometriewerte aus den hydraulischen Berechnungen.

Bei allen Werktypen ist auf eine genügende Sohlentiefe zu achten, zum Schutz vor Unterkolkung. An, bezüglich Böschungssicherheit (Grundbruch), heiklen Geländestellen sind leichte, gut durchlässige Holzwerke den anderen Werken eher vorzuziehen.



## Gesetze / Normen

### Gewässerschutzgesetz GSchG

#### Fachliche Grundlagen:

- Böll, A. (1997): Wildbach- und Hangverbau. Berichte der WSL 343, Birmensdorf.
- Böll, A., Gerber, W., Graf, F., Rickli, C. (1999): Holzkonstruktionen im Wildbach-, Hang- und Rensenverbau. WSL, Birmensdorf.

## Projektierung

### Normalie / Plan

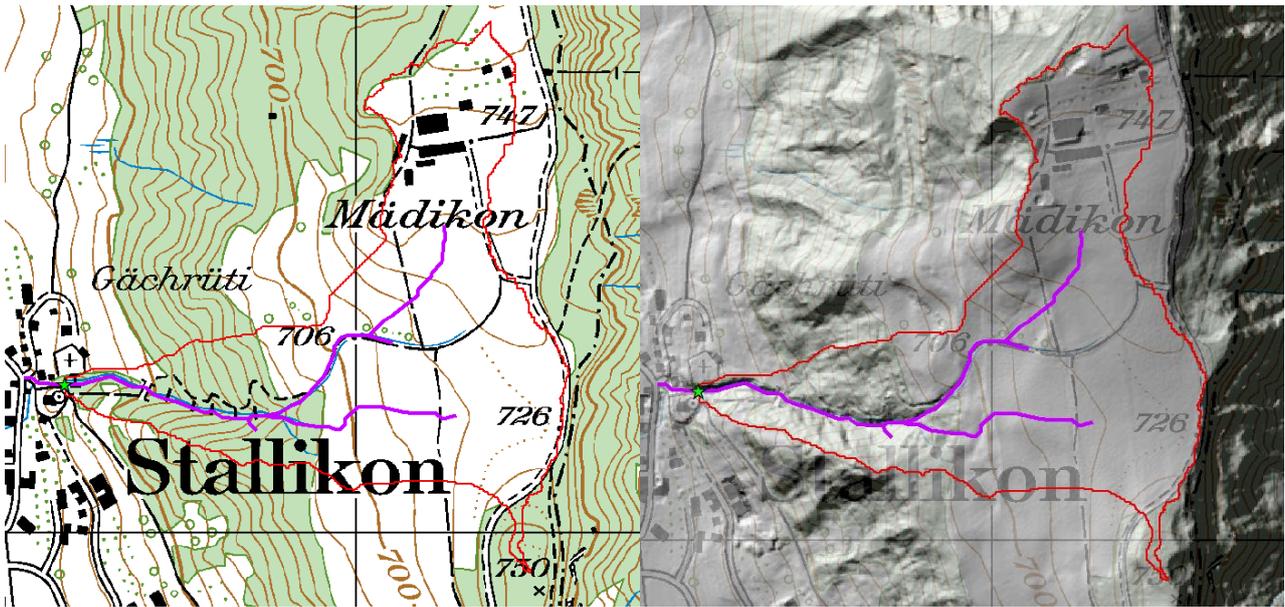


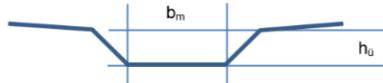
Abbildung 1 Situationsübersicht und Höhemodell des Silberbaches(Quelle:swisstopo.ch)





## Tragwerksanalyse

Es handelt sich bei allen drei Bautypen um befestigte Absätze zur kontrollierten Energievernichtung des Abflusses. Neben dem aktiven Erddruck sind das oberflächliche, aber auch das Bodenwasser und mitgeführte Kompartimente die wichtigsten Einwirkungen. Dazu die projektspezifischen Werte:

Hochwasserabschätzungen:	HQ <sub>100</sub> = 1.5 m <sup>3</sup> /s (Dimensionierungshochwasser HQ <sub>dim</sub> ) HQ <sub>300</sub> = 2.2 m <sup>3</sup> /s
Einzugsgebiet:	F = 0.19 km <sup>2</sup>
- Abflussektion nach Poleni:	b <sub>m</sub> = 1.6 m h <sub>ü</sub> = 0.6 m 
- Totale Abschnittslänge horizontal:	L = 362 m
- Totale Höhendifferenz:	H = 113 m
- Totale Abschnittslänge schräg:	L <sub>r</sub> = 380 m
- Baugrund:	<ul style="list-style-type: none"> <li>- bis Sperre 22 Hang- und Bachschutt, kein Fels</li> <li>- Sperren 22 – 38 flachgründige Flanken, Fels in Sohle teilweise anstehend</li> <li>- Sperren 38 – 51 Hangschutt, Moränenüberlagerung</li> </ul>

Die Auswirkungen aus den genannten Einwirkungen auf die Tragwerke sind Spannungen, die zu Kippen, Unterspülen und Umstossen führen können. Abrasion oder Abtrag einzelner Bauteile sind auch möglich.

## Bemessung

### Hydraulische Bemessung

Massgebend für die Hydraulik aller drei Bauwerktypen (Holzsperrren, Stufen-Becken System, Blocksteinsperrren) sind die Dimensionen der Abflussektionen. Die Bemessung wurde nach der Formel von Poleni (Böll, 1997) unter den folgenden Rahmenbedingungen vorgenommen:

Bemessungsabfluss Reinwasser (HQ <sub>100</sub> )	Q = 1.5 m <sup>3</sup> /s
Beiwert für Anströmung	μ = 0.55

Daraus ergibt sich für ein Trapezprofil mit Böschungsanzug 1:1:

Kritische Wasserabflusstiefe = Wasserspiegel HQ <sub>100</sub>	y <sub>c</sub> = 0.4 m
Flügelhöhe = Höhe der Energielinie	H <sub>A</sub> = 0.6 m
Breite der Überfallkante	b <sub>A</sub> = 1.6 m

Da aufgrund des Gesamtverbaukonzepts auch bei einem HQ<sub>300</sub> kein Systemkollaps zu erwarten ist, wird der Flügelhöhe kein zusätzlicher Freibord zugeschlagen. Bei einem HQ<sub>300</sub> ist das Trapezprofil knapp bordvoll.

Für die Sperrennutzhöhe wird im Wildbachverbau ein Wert von mindestens der doppelten kritischen Wasserabflusstiefe y<sub>c</sub> gefordert, um einen vollkommenen Überfall zu gewährleisten (Böll A. 1997):

Minimale Sperrennutzhöhe (≥2y <sub>c</sub> ) HS <sub>min</sub>	= 0.8 m
--	---------

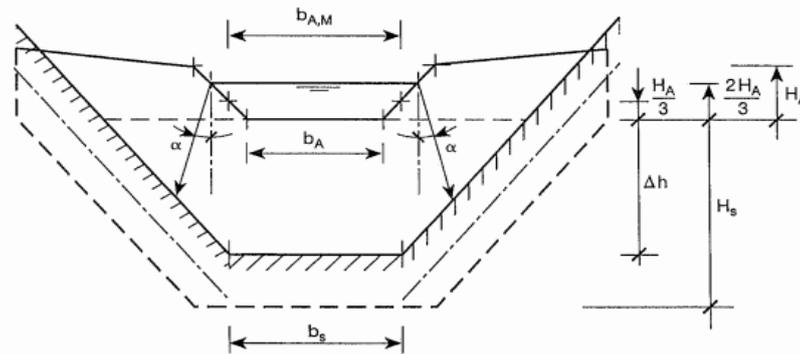


Abbildung 2 Überfallformel von Poleni für die Abflusssektion einer Wildbachsperre bei strömendem Zufluss und vollkommenem Überfall (Böll, 1997:24)

### Einwandige Holzsperrren

Die Sperren Nr. 1–16 werden als einwandige Holzsperrren (Lärche / Douglasie) neu gebaut. Eine baustatische Bemessung wird für Holzsperrren in der Praxis kaum vorgenommen, da für das Verhalten und insbesondere die Lebensdauer in der Regel Aspekte von Konstruktion und Bauausführung massgebend sind (Böll et al., 1999).

Die Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL hat aber untersucht, wie gross die maximale Rundholzlänge bei gegebenem Holzdurchmesser sein darf (vgl. Böll et al., 1999). Da es sich um ein einwandiges System handelt, ist vor allem die horizontale Tragwirkung massgebend, bei welcher sich die Rundhölzer unter Belastung senkrecht zur Sperrrenwand nach vorne biegen und die Lasten entsprechend auf die Flanken abtragen. Baustatisch gesehen wirkt das Tragwerk ähnlich einer Platte.

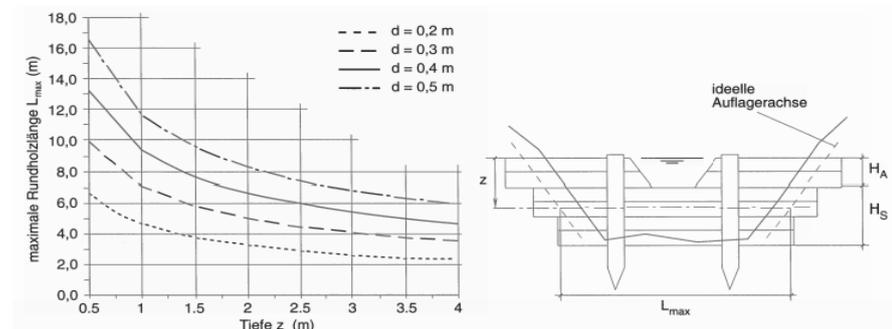


Abbildung 3 Maximale Rundholzlänge ( $L_{max}$ ) in Abhängigkeit der Tiefe  $z$  unter dem ideellen Wasserspiegel ( $H_A+H_S$ ) und des Rundholzdurchmessers ( $d$ ) (Böll et al., 1999:43).

Den Angaben von Böll et al. (1999) folgend wurde der Rundholzdurchmesser für das vorliegende Projekt auf 0.35 – 0.40 m festgelegt. An der Basis der Abflusssektion ( $z = 0.6$  m) beträgt die maximale Rundholzlänge somit 9.25 – 12.5 m, an der Sperrrenbasis ( $z = 2.6$  m) 4.5 – 6 m (vgl. Abbildung 3). Für die seitliche Einbindung der Rundhölzer in die Böschungen wird nach Böll et al. (1999) in der Regel eine Gesamtlänge von mindestens 1.0 m verlangt, wobei die ideellen Auflagerachsen in 50% der Einbindungstiefe angenommen werden (vgl. Abbildung 3, rechts). Die Ausbreitung des Wasserstrahls an der Überfallkante ( $\alpha \approx 10\text{--}15^\circ$ , vgl. Abbildung 2) wird in der Konstruktion über die seitliche Einbindetiefe an der Sperrrenbasis berücksichtigt. Die Holzsperrren müssen möglichst gut durch den Abfluss benetzt werden, um der Wechselfeuchte, welche die Lebensdauer des Bauwerks vermindert, entgegenzuwirken. Dazu sollte der Anzug des Sperrrenkörpers nicht steiler als 1:10 sein.

### Stufen-Becken-System

Die Sperren 16–32 und 40–51 werden durch ein Stufen-Becken-System (Blocksteine im Hinterbeton) ersetzt. Die Sperren sind aus ortsüblichem Steinmaterial (z. B. Quarzsandstein) mit einer maximalen Grösse von ca. 0.40 m<sup>3</sup> erstellt. Die statische Bemessung des Stufen-Becken-Systems basiert auf Erfahrungswerten mit ähnlichen Bauwerken.

### Blocksteinsperren



Die Sperren 33–39 werden als Blocksteinsperren im Hinterbeton und Betonzwischenlagen neu gebaut. Die Sperren sind aus ortsüblichem Steinmaterial (z. B. Quarzsandstein) mit einer maximalen Grösse von ca. 0.40 m<sup>3</sup> zu erstellen. Sehr wichtig sind genügend Entwässerungsdohlen (Rohreinlagen oder konstruktiv) um einen hydrostatischen Druck hinter dem Bauwerk möglichst auszuschliessen. Die statische Bemessung der Blocksteinsperren geht vom Prinzip der Schwergewichtsmauer aus und basiert auf Erfahrungswerten mit ähnlichen Bauwerken.

∅ Kosten pro Einheit

### Ausmass Baumeisterarbeiten

Tabelle 1 Übersicht Eckdaten Baumeisterarbeiten

Position	Menge/Betrag	Einheit
Wuhrsteine	2'139	t
Beton	564	m <sup>3</sup>
Holz	157	m <sup>3</sup>

Tabelle 2 Holzverbau

Position	Menge/Betrag	Einheit
Gerinnelänge	120	m
Holzsperrern	14	Stk.
Holzlieferung	157	m <sup>3</sup>
Baukosten (brutto, nur Baumeister-arbeiten)	243'028	CHF
Baukosten pro m <sup>3</sup> verbauten Holz	1'548	CHF/ m <sup>3</sup>
Baukosten pro verbauter Holzsperrere	17'359	CHF/ Stk.
Baukosten pro m neu erstelltes Gerinne	2'025	CHF/m

Tabelle 3 Stufen-Becken und Blocksperrern

Position	Menge/Betrag	Einheit
Gerinnelänge	254	m
Wuhrsteinlieferung	2'139	t
Betonlieferung	564	m <sup>3</sup>
Baukosten (brutto, nur Baumeister-arbeiten)	1'186'548	CHF
Baukosten pro t Wuhrsteine	555	CHF/t
Baukosten pro m neu erstelltes Gerinne	4'671	CHF/m

Tun und Vermeiden

Holzsperrern höher als 2 Meter vermeiden, da sonst doppelwandig gebaut werden muss.  
→aufwändiger, teurer

Materialien

Namen

Lärchenholz (Fleck gesägt, d.h. 2 Parallelseiten),  
formwilde Blöcke im Hinterbeton  
Beton, NPK C

NPK Kapitel / Position

NPK 213.537.2XX

Holzsperrern



	NPK 213.534.2XX	Blocksatz (Stufen-Becken)
	NPK 213.534.25X	Blocksperrern
Mindestanforderungen	Lärchenholz: Kernholzaufgabe (Splint zumindest bei Auflagepunkten entfernen)	
	Blöcke: auf gebietstypische Gesteinsarten achten. Hier Kalke oder Quarzsandsteine	
Verarbeitung Tipp	Lärchenholz: Hölzer vorbohren und mit Stahlnägeln vernageln.	
	Blöcke: die Blöcke rau und möglichst ohne durchgehend horizontale und vertikale Fugen versetzten. Die Fugen so verarbeiten, dass der Beton kaum mehr sichtbar ist.	
Ø Menge pro Einheit	Unterschiedlich	

## Mittel

Maschinen	Für die Bachverbauung wurde eine Materialseilbahn erstellt. Diese wurde davor für die dringende nötige Schutzwaldpflege im Gerinne verwendet.	
	Die Verbauungen wurden mit Hilfe eines Schreitbaggers errichtet.	
Geräte	Motorsäge für den Zuschnitt der Rundhölzer. Kompressor und Presslufthammer für das Verbauen der Nägel der Holzsperrern.	

## Installation

Die Baustellenerschliessung erfolgt mit Hilfe einer Transportseilbahn von oberhalb des Projektperimeters her.

Für die Baustellenerschliessung zur Seilbahn via Strasse bestehen zwei Möglichkeiten, die Anfahrt von Norden oder von Süden. Die relevanten Fahrdistanzen und weitere Kennwerte sind in der Tabelle 4 aufgeführt.

Tabelle 4 Kennwerte Zufahrt Baustelle

Anfahrtsrichtung	Distanz total	befestigte Wegstrecke	Strecke auf Wanderweg	Maximale Steigung auf unbefestigter Strecke
Nord	5.1 km	1.1 km (22%)	1.2 km (24%)	ca. 20–25%
Süd	9.3 km	5.9 km (63%)	0.7 km (8%)	ca. 10–15%

## Ausführung

Absteckung	Gemäss der Projektplanung
Erdarbeiten	Für die seitliche Einbindung der Sperrern und die Stufen-Becken mussten Erdarbeiten vorgenommen werden.
Arbeitsschritte	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Schutzwaldpflege, Bestockung der Böschung entfernen (inkl. Transportseilbahn)</li> <li>2. Einsammeln von Feuersalamander-Larven und adulte Tiere, Transport in nahegelegene Gerinne</li> <li>3. Teststrecke für Stufen Becken System</li> <li>4. Abschnittweise Installation der Wasserhaltung, auch um Trübung zu verhindern</li> <li>5. Start Sperrernverbau meist von unten nach oben.</li> <li>6. Arbeit in (zeitweise) drei Gruppen (Stufen Becken, Blocksperrern, Holzsperrern)</li> <li>7. Demontage Materialseilbahn</li> </ol>
Tun und Vermeiden	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Auf sorgfältige seitliche Einbindung der Sperrern achten.</li> <li>– Qualität des verbauten Betons überprüfen.</li> <li>– Um die Trübung des Wassers zu verhindern, wurde eine Wassererhaltung installiert.</li> <li>– Vor Beginn der Bautätigkeit wurden Feuersalamander gefangen und in einem nahe gelegenen Gewässer eingesetzt. (Aspekt Naturschutz. Die Arbeiter wurden zusätzlich mit Fangnetzen ausgerüstet und instruiert.</li> </ul>



## Abschlussarbeiten

Rückbau der Seilbahn und Wiederherstellung Bewirtschaftungsweg.

## 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 checked="" 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

### Betrieblich

Kontrolle der Verbauungen. Kleine Schadstellen sofort beheben, ansonsten ist der Aufwand sofort zu gross für betrieblichen Unterhalt. Periodische Pflege der Gerinneeinträge.

### Baulich

Erwartete Lebensdauer Holzsperrre 40-50 Jahre (bei konsequentem, betrieblichem Unterhalt). Erwartete Lebensdauer Blocksperren 60-80 Jahre. Erwartete Lebensdauer Stufen-Becken 80-100 Jahre.

## Rückbau

Für diese Bauwerke ist kein Rückbau vorgesehen.

### 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 4 Bau einwandige Holzsperr Nr. 4 (Quelle: belop gmbh, 25.06.2014)



Abbildung 5 Bau einwandige Holzsperr Nr. 4 mit gesägtem Lärchenrundholz (Quelle: belop gmbh, 25.06.2014)



Abbildung 6 Bau Blockstufe Nr. 9 in Fels (Quelle: bleop gmbh, 28.05.2014)



Abbildung 7: Stufen-Becken-System Nr. 9 nach Erstellung (Quelle: belop gmbh, 23.07.2014)



Abbildung 8: Stufen-Becken-System nach Erstellung (Quelle: belop gmbh, 12.05.2015)



Abbildung 9 Nachinjektionen bei 3 Blocksteinsperren mit zu trocken eingebauten Beton (Quelle: belop gmbh, 02.07.2014)



Abbildung 10: Blocksteinsperren nach Erstellung (Quelle: belop gmbh, 12.05.2015)



Abbildung 11: Erstellung Blocksteinsperre (Quelle: belop gmbh, 19.03.2014)