



## Holzkasten, Wolfenschiessen

### Holzkasten als Hangstützwerk oder Rutschungsverbau

- In Bau und Funktion sehr flexibles Stützbauwerk mit relativ kleiner Eigenlast (Zusatzbelastungen klein halten)
- Im Prinzip temporäre Verbauung: Ziel ist (meist) die Wiederbewaldung, z.T. wird der Holzkasten auch mit Begrünungsmassnahmen kombiniert
- Die dokumentierten Holzkasten sind Teil weiterer Massnahmen, die nur am Rand beschrieben sind (Tiefendrainage, Oberflächenbefestigung, Blockmauern, Kännelentwässerung)



Holzkasten und Holzkännel zur Entwässerung (2012)

### Ausführungsort Bsp. / Planer

- Ausführungsort: Wolfenschiessen (NW), Wandfluebergstrasse (2 673 770 / 1 197 670), oberhalb Büren ob dem Bach
- Bauherrschaft: Flurgenossenschaft Buoholzbach, 6386 Wolfenschiessen
- Projektleitung: GEOTEST, 6048 Horw, Stefan Spichtig, Dipl. Natw. ETH, Geologe
- Bauleitung: Oeko-B, 6370 Stans; Karl Grunder, Dipl. Forsting. ETH
- Ausführung: Hurschler Forst AG, 6388 Grafenort (Hangverbau und Pflanzungen)  
Buchertiefbau GmbH, 6064 Kerns; Gebr. Töngi, 6388 Grafenort (Schreitbaggerarbeiten)
- Baujahr: 2012 – 2017

### Funktion / Anwendungsgrenzen

Nach Böll (1997) umfasst eine Hangstabilisierung immer Massnahmen zur Hangfussssicherung, die Bestimmung und Erreichung der zulässigen Hangneigung und den Oberflächenschutz durch zusätzliche Massnahmen. Im vorliegenden Projekt wurden doppelwandige und einfache Holzkasten, welche eigentlich nur gegen flachgründige Rutschungen wirken, durch Bohrungen zur Tiefendrainage ergänzt.

Doppelwandige Holzkasten werden zu den Schwergewichts Stützbauwerken gezählt. Die im Lockergestein eingebettete Holzkonstruktion erhöht blockweise die innere Tragsicherheit des vorhandenen Materials, ähnlich einer Bewehrung im Stahlbeton. Der stabilisierte Block wirkt so dem treibenden Erddruck mit seinem Eigengewicht entgegen und leitet die Kräfte über das Fundament in den Baugrund ab. Unbedingt zu beachten ist dabei die zusätzliche Belastung des Hangs durch die Einbindung des massigen Stützbauwerkes. Bei Holzkasten ist dies durch das geringe zusätzliche Materialgewicht (Holz) und die vergleichsweise grosse Aufstandsfläche jedoch günstiger als bei anderen Schwergewichtskonstruktionen. Dennoch ist die Foundation in standfestem Material Voraussetzung. Daher wurde im vorliegenden Projekt die unterste Verbauungsreihe mit Selbstbohrankern in stabile Schichten rückversichert.

Ein spezielles Augenmerk gilt im Weiteren dem hinter dem Stützbauwerk sich ansammelnden Wasser. Bei Stauung würde das Stützbauwerk zusätzlich beansprucht. Durch Drainagen und/oder offene Bauweise des Stützbauwerkes kann das Wasser abgeführt und ein Staudruck verhindert werden.

Die Wirksamkeit eines Holzkastens ist grundsätzlich auf eher flachgründige Rutschprozesse begrenzt (Gleitfläche in maximal 2 – 3 m Tiefe). Er gelangt vorzugsweise dort zum Einsatz, wo steifere Verbauungen (bspw. Beton- oder Blockmauern) zu wenig flexibel, zu schwer oder weniger wirtschaftlich wären. Dennoch ist er als hartes Bauwerk zu betrachten, welches nach den Regeln der Bautechnik zu planen und auszuführen ist.

Ein Vorteil des Holzkastenbaus ist die Verwendung des oft lokal verfügbaren Baumaterials Holz, denn Holz ist selbst in schlecht erschlossenen Gebieten meist leicht verfügbar. Weiter ist es leicht bearbeitbar und hat gute Festigkeitswerte bei geringem Gewicht. Die relativ geringe Lebensdauer durch Materialzersetzung kann durch Luftabschluss und Vermeiden von Wechselfeuchte mittels Eindeckens verlängert werden. Im Hang- und Rutschungsverbau ist daher eine möglichst flache und mit Erdreich überdeckte



Konstruktion anzustreben. Holzkasten sind situativ gut anpassbar und nach Fertigstellung sofort voll belastbar (auch als Sofortmassnahme). Einschränkungen gibt es bei den möglichen Werksabmessungen (s.u. Tragwerksanalyse).

## Voraussetzungen Baugrund

Grundsätzlich können alle instabilen Lockergesteinsmaterialien mit Holzkasten verbaut werden. Wie erwähnt, muss der Holzkasten in standfestem Untergrund fundiert oder verankert werden. Das heisst ein Einsatz vorwiegend bei flachgründigen oder im Ausmass beschränkten, mittelgründigen Rotationsrutschungen. Mit Ausführung der Massnahmen sollte die Neigung des Geländes in den Bereich des Winkels der inneren Reibung des vorhandenen Lockergesteinmaterials gelangen. Zudem müssen der Boden und das Klima einen Pflanzenbewuchs zulassen. Ansonsten wird mit Holzkasten keine nachhaltige Befestigung erreicht. Ebenso wichtig ist parallel dazu das Abführen von Hang- und Oberflächenwasser.

Im vorliegenden Projekt war typischerweise Hangwasser wahrscheinlicher Auslöser für die Rutschbewegung. Es wurden dazu geotechnische Untersuchungen durchgeführt (Sondierbohrungen). Dabei wurde ein 12m tiefer Gleitkreis mit fliessendem Wasser gefunden. Steiler Hangschutt ohne Stabilitätsreserven und neu freigelegtes Toteis führten zu grossen, treibenden Kräften, die zum Rutschprozess beitrugen. Gemäss map.geo.admin.ch besteht der Baugrund aus einer Sackungsmasse aus dem Quartär.

## Gesetze / Normen

AWL, 2003. Ingenieurbilogie und Hangverbau. Handbuch, Amt für Wald und Raumentwicklung Obwalden (heute: Amt für Wald und Landschaft [AWL]). 2. Auflage, Juni 2006, 74 S inkl. Anhang. (siehe Downloadbereich [www.fobatec.ch](http://www.fobatec.ch))

Böll A, 1997. Wildbach- und Hangverbau. Bericht Eidgenössische Forschungsanstalt Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, 123 S. (siehe Downloadbereich [www.fobatec.ch](http://www.fobatec.ch))

Böll A, Gerber W, Graf F, Rickli Chr, 1999. Holzkonstruktionen im Bach-, Hang- und Runsenverbau. Eidgenössische Forschungsanstalt Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, 60 S. (siehe Downloadbereich [www.fobatec.ch](http://www.fobatec.ch))

## Projektierung

### Normalie / Plan

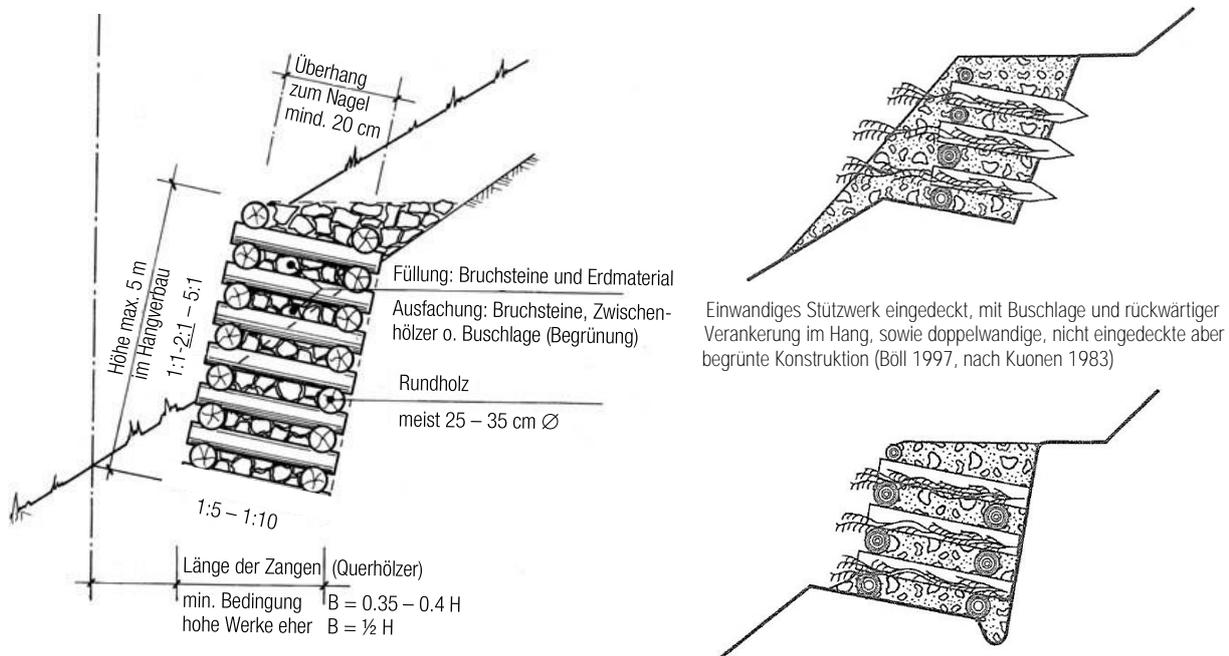


Abbildung 1 Querschnitt eines Holzkastens im Hangverbau (Quelle: AWL 2003; verändert)

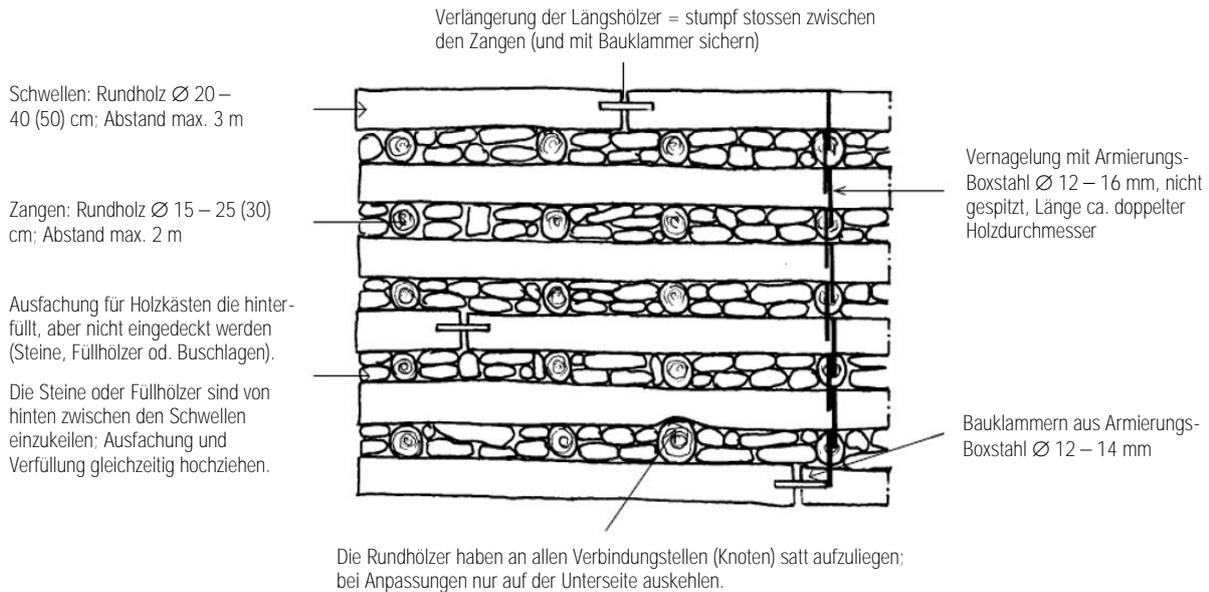


Abbildung 2 Frontansicht Holzkasten (veränderter Auszug aus: AWN GR, 2012. Bau von Holzkasten, Eigenverlag, Chur, 14 S.; und Fahrni F. und Romelli N., 2013. Grundsätze für den Bau von Holzkasten und anderen Holzverbauungen (UK E Instruktoeren Weiterbildung), 6 S.)

## Tragwerksanalyse

Die wesentlichen, dauernden Einwirkungen auf das Stützwerk sind im Hangverbau das Eigengewicht, der Erddruck und der Wasserdruck, wobei letzterer bei korrekter Drainage hinfällig wird. Häufig sind Sickerströmungen und Vernässungen an Teilen der Konstruktion aber nicht zu vermeiden. Mit fortschreitendem Alter kommen verstärkt holzersetzende Organismen hinzu. Bei vorgesehener Kombination mit Gehölzpflanzen lösen deren Wurzeln allmählich die armierende Funktion der Holzkonstruktion ab und wirken letztendlich positiv.

Holzkasten sind über Kreuz gelegte und mit Nägeln aus Armierungsstahl verbundene Rundholztragwerke und werden in zwei verschiedene Typen unterteilt:

**a)** Einwandige Holzkasten bestehen aus einer oberflächennahen Wand aus Schwellen, welche durch frei ins Erdreich langende, dazwischenliegende Zangen in den Hang verankert werden. Die Ausfachung mit Lockergestein wird oftmals durch bewurzelte Pflanzen (Heckenlagen) oder ausschlagfähige Stecklinge (Buschlagen) ergänzt, wodurch ein begrüntes System geschaffen wird (auch als Holzgrünschwelle bezeichnet). Wo nötig, werden hierbei die untersten Schwellen mit Erd- oder Felsankern rückverankert. Es werden Höhen bis 2 m realisiert, darüber kommen meist doppelwandige Systeme zum Einsatz.

**b)** Der doppelwandige Holzkasten ist ein Kreuzverbund aus zwei hangparallel angeordneten Wänden aus Schwellen und quer dazwischenliegenden Zangen. Die entstehenden Hohlräume werden mit örtlichem Lockergestein hinterfüllt (Abstand zwischen Zangen 1.5 und 2 m). Den Beginn und den Abschluss bilden immer quer zum Hang liegende Schwellenlagen. Die Abstände zwischen den Schwellen einer Lage sollten 3 m nicht überschreiten. Die normal zum Hang liegenden Zangen liegen übereinander (durchgehender Kraftabtrag über Kreuzungspunkte) und werden nur ausnahmsweise versetzt angeordnet. Genügend schwer und möglichst steif wird diese Holzkonstruktion erst durch die Verfüllung, welche idealerweise aus grobem Steinmaterial (hohes Eigengewicht), meist aber aus vorhandenem Lockermaterial besteht. Auf quellfähiges Lockermaterial ist zu verzichten (zunehmender Innendruck und Abdichtung bei steigendem Wassergehalt).

Das Gewicht der Verbundkonstruktion muss auf standfestem Baugrund, oder die Basis in standfeste Schichten verankert werden. Die Neigung der Fundamentsohle gegen den Hang sollte zur Erhöhung der Gleitsicherheit mind. 10 eher aber 15 % betragen und in den folgenden Lagerflächen beibehalten werden.

Wenn immer möglich wird ein Holzkasten im Hangverbau zur Erhöhung seiner Lebensdauer möglichst vollständig eingedeckt und begrünt. **Beim Einbau daher möglichst der Hangneigung**



**folgend, Anzug 1:1 oder höchstens wenig steiler, ca. 4:3 (53°) nicht überschreiten. Nicht zu hohe Werke, im Zweifelsfall zwei niedrige Kästen statt ein hoher.**

Andernfalls sollte möglichst dauerhaftes Holz, zumindest an der luftseitigen Wand verwendet werden (bspw. Kastanie, Eiche oder Lärche). Wenn nicht begrünt wird, muss eine Ausfachung erstellt werden (Bruchsteine oder Füllhölzer, welche nicht durchrutschen dürfen und daher hinter den Schwellen verkeilt werden. Bei Eindeckung ist eine Ausfachung nicht zwingend nötig.

Ein Holzkasten kann zu den offenen Bauweisen gezählt werden, da Wasser durchtreten kann. Eine saubere Entwässerung hinter dem Werk ist jedoch ratsam, da Verlagerungsprozesse im Bodenmaterial zu Abdichtungen und letztlich Stauungen führen können. Dabei sollte das Wasser durch Sickerleitungen, Rohreinlagen, Astpackungen oder Stecklinge an die Oberfläche und von dort in den Vorfluter oder sicheres Gelände geleitet werden (Wahl der Drainage durch Wassermenge bestimmt). Vorsicht: Mit der Entwässerung keine neuen Erosions- oder Rutschprozesse auslösen! Allenfalls ist der Einsatz von offenen, gesicherten Rinnen nötig (bspw. V-Kännel, wie auch im vorliegenden Projekt angewendet).

Der Einsatz von lebenden und toten Pflanzen(-teilen) kann durch den pflanzlichen Wasserverbrauch, aber auch durch die präferenziellen Fliesswege entlang der Äste und/oder Stämme zur Unterstützung der Entwässerung aus der offenen Bauweise eingesetzt werden. Lebend eignen sich v.a. Gehölze mit grosser Blattoberfläche und genügend Nassetoleranz (Weiden, Spitz- und Bergahorn, Schwarz- und Weisslerle, Esche und Bergulmen).

Berechnungsmodell:

Äussere Tragsicherheit: Kippen, Gleiten, Grundbruch nach SIA 260/261 resp. 267

Innere Tragsicherheit: nach Angaben Böll et. al. 1999 (S 40ff)

Als Auswirkungen treten Spannungen in Knoten und Balken sowie Baugrund auf. Allmählicher Holzabbau wirkt destabilisierend, dagegen nimmt die Wurzelverstärkung laufend zu. Verformungen können vom System in relativ hohem Mass mitgemacht werden.

Bemessung

Bei der Bemessung nach Norm sind für Stützbauwerke Tragsicherheitsnachweise für die Szenarien Gleiten, Kippen und Grundbruch zu führen (SIA 267, 267/1; SN 640 383a). Jedoch weisen Böll et al. (1999) darauf hin, dass für einen Holzkasten als statisch kompliziertes System, nicht nur die Gesamtstabilität, sondern die innere Statik der einzelnen Kasten-elemente zu bemessen sei (entsprechende Bemessungsgrundlagen finden sich dann auch in Böll et al. 1999). Weiter führen sie aus, dass Holzkästen aber nur in besonderen Fällen bemessen werden. Grundsätzlich ergibt sich eine genügende Sicherheit gegen Kippen und Gleiten bei Einhalten einer

- Basisbreite von  $B = \frac{1}{2} H$  (für bindige Böden sind auch  $B \approx 0.35 - 0.4 H$  möglich),
- einer max. Höhe von 5 m (Hangneigung bzw. Aushubvolumen einschränkend) und
- einem Anzug nicht steiler als 5:1 (mit Eindeckung 4:3).

Falls diese Basisbreite nicht realisierbar ist, muss der Holzkasten verankert werden (Fels- oder Lockermaterialanker). Die Erfahrung zeigt, dass eine saubere konstruktive Ausführung, sorgfältige Verfüllung (z.T. ist Handarbeit gefragt) sowie konsequenter Unterhalt wichtiger für die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit sind, als eine ausführliche Bemessung.

Grundlagen, welche die Projektierung vereinfachen können, sind neben Rutschkartierungen vor Ort, die Aufnahme eines Geländemodells (heutzutage mit Drohnen einfach und erschwänglich realisierbar). Weiter können Sondierbohrungen Aufschluss über den Bodenaufbau geben, wie im vorliegenden Projekt (hier wurde das Sondierrohr in 12 m Tiefe abgeschert).

Im vorliegenden Projekt konnte keine seitliche Verzahnung der Rutschfläche in sicheres Gelände erfolgen, denn die seitlichen Scherkräfte waren zu gross. Letztlich wurden auf rund 125 lfm doppelwandige (ca. 265 m<sup>2</sup> Frontfläche) und auf 160 lfm einwandige Holzkästen (ca. 240 m<sup>2</sup> Frontfläche) eingebaut; was insgesamt knapp 150 m<sup>3</sup> Holz benötigte. Am Rutschaussbiss wurde ein doppelwandiger Holzkasten mit Selbstbohranker verankert; die Ankerlänge beträgt 12 m, die Werkhöhe 2.0 m, der Anzug 2:1. Im oberen Teil der Rutschfläche wurden auch einwandige Holzkästen erstellt. Wegen des tiefen Gleithorizontes wurde eine Tiefenentwässerung per Bohrdrainagen realisiert. Zusätzlich musste auch oberflächlich mit Holzkännel entwässert werden



|                      |   |
|----------------------|---|
|                      | <p>(ca. 60 lfm V-Kännel). Weiter wurden die einwandigen Holzkasten durch Weidenbuschlagen und Astpackungen drainiert.</p>   |
| Ø Kosten pro Einheit | <p>Projektspezifisch (Installation, Erschliessung, Gelände, Ausführung [Forstunternehmer, eigene Equipe])</p> <p>„Ingenieurbioogie und Hangverbau“ (Amt für Wald und Landschaft Obwalden, 2003): Holzkasten: 450 – 800.- CHF pro m<sup>3</sup> Holz; Vorbehalt: -&gt; sehr situativ!</p>  |
| Tun und Vermeiden    | <p><b>Erfahrungswerte Hurschler Forst: doppelwandige Holzkasten im Hangverbau, inkl. Aushub, Eindecken, Entwässerung und Begrünung – CHF 600 bis 650 pro m<sup>3</sup> verbautes Rundholz.</b></p> <p>Bei grossen Rutschprozessen immer Alternativen andenken, was v.a. bei politisch exponierten Projekten wichtig ist (öffentlichkeitswirksam, teuer). Im vorliegenden Projekt wurden Umfahrungsmöglichkeiten bzw. alternative Routen innerhalb einer integralen Erschliessungsplanung geprüft, ob eine solche allenfalls realistisch und sinnvoll wäre (Kosten / Nutzen-Abwägung).</p> <p>Bei der Planung von Hangverbauungen, speziell mit Holzkasten, sollte eine gewisse Flexibilität beibehalten werden: Eher schematische Planung und die Werke direkt und situativ im Gelände einpassen, was auch bezüglich der Standortfaktoren und der Witterung wichtig sein kann. Dabei ist es von Vorteil, wenn der Bauunternehmer durch seine Erfahrung sehr selbstständig arbeiten kann.</p> <p>Bei Rutschprozessen immer auch (Tiefen-)Drainagen andenken (Rutschmasse und/oder Oberfläche): Sinnvoll oder sogar grundlegend nötig?</p> <p>Teilweise kann ein lokaler Geländeabtrag zur Entlastung des Hanges zielführend sein.</p> <p>Am Ausbiss der Rutschmasse verankerte Kleinstützbauwerke erstellen, welche auf nicht rutschendem Gelände fundiert sind.</p> <p>An kritischen Stellen des Holzkastens (bspw. Stösse) sind durchgehend verschraubte Verbindungen der traditionellen Vernagelung vorzuziehen. Bei Stössen sind zudem immer beidseitig des Stosses Querhölzer anzuordnen (u.U. sind gestossene Längshölzer aufzudoppeln).</p> <p>Für die Wiederbewaldung (im vorliegenden Projekt ein Weisserlen-/Weiden-Vorwald mit weitständig eingepflanzten Bergahornen) kann z.T. ein Erosionsschutz aus Jutenetz und Saat unterstützend wirken (weitere Möglichkeiten sind Kokosmatten). Dies bewirkt auch eine Beschattung des sichtbaren Holzes, was wiederum für dessen Dauerhaftigkeit vorteilhaft ist.</p> <p>Bepflanzungen möglichst in der Vegetationsruhe durchführen, Begrünungen bei für Saaten günstigen Bedingungen.</p> <p>Für die Überwachung der Rutschmasse und zur Gewährleistung der Arbeitssicherheit wurden Messdrähte in einem Polygonzug am oberen Strassenabschnitt installiert.</p> <p>Bei derartigen Spezialtiefbau-Projekten nur ausgewiesenes Fachpersonal mit enger Baubegleitung einsetzen; Sicherheitsverantwortung bei den zwei engsten involvierten Personen ansiedeln.</p> <p><b>Erfahrungen Hurschler Forst:</b></p> <p>Je höher der Kasten, desto geringeren Anzug wählen. Anzug in der Regel ca. 2:1, bei niedrigen Werken auch steiler zulässig.</p> <p>Nicht zu hohe Werke, im Zweifelsfall 2 niedrige Kasten statt 1 hoher. Das ist auch hinsichtlich Arbeitssicherheit besser (Absturz, Baugrubensicherheit).</p> <p>Unterstes Längsholz mind. 40cm Durchmesser.</p> <p>Wirkung des Eindeckens hängt stark vom Bodenmaterial und von der Entwässerung ab. In dichtem, luftundurchlässigem Material ist Entwässerung ein Muss (Wasserdruck verhindern), in der Entwässerung zirkuliert auch Luft =&gt;vermindert Lebensdauer des Holzes.</p> <p>Priorität hat die Entwässerung der Basis =&gt; Hurschler baut zu diesem Zweck oft doppelte Zange ein (Wasser fliesst zwischen den beiden Zangen hinaus).</p> <p>Vorsicht: In kalkhaltigem Wasser versintern Vliese innert Kürze und werden dicht.</p> <p>Im Objekt wurde die Entwässerung mit 2m langen Weidenbuschlagen gelöst und so gleichzeitig Begrünung erzielt.</p> |



## Materialien

**Namen**

Längs-(Schwellen) und Querhölzer (Zangen); projektspezifische Durchmesser (15-50 cm möglich, 20-30 ideal; Zangen jeweils 5 cm kleiner) und Längen der Rundhölzer; Holzart meist je nach lokaler Verfügbarkeit; im vorliegenden Projekt wurde Fichten- und Tannenholz verwendet (Näheres zu den Holzeigenschaften unter „Verarbeitung Tipp“).

Nägel aus Armierungsstahl; Ø 12-18 mm (Böll et al. 1999), normalerweise Ø 14 mm; Längen von 400, 500 oder 600 mm (AWL 2003)

Ausfachung, wenn Holzkasten nicht eingedeckt wird: Bruchsteine, Füllhölzer oder Buschlagen (im vorliegenden Projekt die zwei letzteren)

Vorhandenes Aushubmaterial (Erd- und Steinmaterial) zur Verfüllung

Saatgut, Stecklinge und/oder Jungbäume zur Begrünung bzw. Wiederbewaldung (im vorliegenden Projekt wurden Weisslerlen, Weiden und Bergahorne gepflanzt)

**NPK Kapitel / Position**

Holzkasten erstellen NPK 181.642.XXX  
 Ingenieurbiologie NPK 181.630.XXX

**Mindestanforderungen**

Nur gesundes, idealerweise feijnähriges Holz ohne hohe Astigkeit

**Verarbeitung Tipp**

Holz mit hoher Raumdichte wählen, was sich durch die Holzartwahl, aber auch durch die Auslese geeigneter Einzelstämme mit optimalen Eigenschaften steuern lässt: gesund (keine Rot- und Faulstellen), frisch (2 – 3 Monate alt, auch frisches Käferholz unbedenklich), relativ geradschaftig (keine grossen Krümmungen), geringe Abholzigkeit, feijnährig (hohe Lage, eher unterdrückte oder mitherrschende Bäume, mässig bis schlecht wüchsige Böden).

Verschiedene Holzarten haben grundsätzlich eine unterschiedliche Dauerhaftigkeit, wie in untenstehender Tabelle aufgeführt. Da meist lokales Holz verwendet wird, ist die Wahl beschränkt. Aber auch deshalb, weil gewisse Baumarten gar nicht in den gewünschten Dimensionen bzw. die gewünschten Formeigenschaften aufweisen oder nicht in der benötigten Menge vorhanden sind.

Tab. 8. Dauerhaftigkeit einiger einheimischer Holzarten, eingeteilt in Klassen aufgrund der Lebensdauer von Holzstäben (5 x 5 cm) in Berührung mit dem gewachsenen Boden (nach FINDLAY 1962, zit. in BOSSHARD 1984).

| Dauerhaftigkeit (Klassen)     | sehr dauerhaft | dauerhaft                        | mässig dauerhaft             | nicht dauerhaft                            | hinfällig   |
|-------------------------------|----------------|----------------------------------|------------------------------|--|---|
| Lebensdauer bei Feldversuchen | >25 Jahre      | 15–25 Jahre                      | 10–15 Jahre                  | 5–10 Jahre                                 | <5 Jahre  |
| Holzart                       | Eibe           | Edelkastanie<br>Eiche<br>Robinie | Lärche<br>Douglasie<br>Föhre | Fichte<br>Tanne<br>Esche<br>Ulme<br>Pappel | Splintholz allgem.<br>Erle<br>Buche<br>Hagebuche<br>Birke<br>Ahorn<br>Weide |

Tabelle entnommen aus Böll et al. (1999)

Je kurzlebiger das Holz, desto wichtiger ist das Eindecken (dauernde Feuchtigkeit und langsamere Fäulnis).

### Erfahrungen Hurschler Forst:

**Dauerhaftigkeit von Fichtenholz in Holzkasten:** Am dauerhaftesten ist selbstdürres Holz (z.B. Käferholz, am Schatten getrocknet). Frisch gefälltes Holz (besonders sommergefälltes) ist viel weniger dauerhaft.

**Entrindung:** Sichtbare Rundhölzer und in diesen Bereichen auch die Zangen mindestens 2/3 nach hinten entrinden. Entrinden nur von Hand (sonst besser auf Entrinden verzichten).

**Nägel:** Im Hangverbau 14mm im Wasserbau 16mm, Einschlagen mit Kompressor ohne Vorbohren für bessere Festigkeit (besonders bewährt: leichter Einhandkompressor im Einmannbetrieb). Dem „Verleiten“ kann durch richtige Ausrichtung des Eisens weitgehend



**vorgebeugt werden (bei abgeklebten Eisen die geschnittene Seite auf das Holz, nicht die gekrümmte).**

Zur Verlängerung der Schwellen können diese stumpf gestossen werden (mit Bauklammern sichern), jedoch nicht direkt über den Zangen, sondern in den Zwischenräumen. Alle Hölzer müssen bei den Verbindungen (Knoten) direkt aufliegen, weshalb ähnliche Durchmesser verwendet werden sollten. Anpassungen durch Einkerbungen sind nur, wenn nicht vermeidbar und in jedem Fall auf der Stammunterseite zulässig.

Eine umfassende Holzliste ist v.a. für grosse Verbauungen vorteilhaft.

Je nach Verarbeitung, den Bodenverhältnissen und dem gewählten Holz ist mit einer Funktionstauglichkeit zwischen 20 bis 40 Jahren, vollständig eingedeckt sogar bis 60 Jahren möglich.

Ø Menge pro Einheit

Abschätzung Holzverbrauch doppelter Holzkasten:

$$m^3 \text{ Holz} = \text{Länge [m]} \times \text{Breite [m]} \times \text{Höhe [m]} \times 0.2$$

Die Holzkubatur kann anhand der Angaben im Anhang des Handbuchs „Ingenieurbiologie und Hangverbau“ abgeleitet werden (AWR, 2006; siehe Downloadbereich [www.fobatec.ch](http://www.fobatec.ch)).

Menge an Erd- und Steinmaterial entsprechend der Innenkubatur der Holzkasten und allenfalls genügend zur Eindeckung bereitstellen.

Stecklinge: rund 10 Äste/lfm und Lage

Mittel

Maschinen

Der Zugang zur Verbauungsfläche ist entscheidend für die Maschinen- und Geräteauswahl, im vorliegenden Projekt waren folgende im Einsatz:

Schreitbagger mit Seilwinde, MSK (Mobileseilkran) für den Materialtransport

Geräte

Holzreiausrüstung, Leichtbohrgerät, Pneumatischer Schlaghammer mit Kompressor

Installation

Der Sicherheitsaspekt war im vorliegenden Projekt sehr wichtig, da die Strasse mehr oder weniger ständig offen und befahrbar bleiben musste:

- Notfall- und Alarmorganisation (Baustellensicherheit)
- Mobile Schutzpalisaden gegen stürzendes Material (Erd-, Steinmaterial),
- Verkehrsregelung z.T. Absperrungen und temporäre Sperrung, kritische Phasen: Sicherheitswärter
- periodische Hangreinigung
- Absturzsicherheit
- präventives Baumfällen, wo nötig wurden instabile Bäume oder Wurzelstöcke und Lockergesteinsnasen entfernt

Das abzutragende Material konnte für den Ausbau der forstlichen Infrastruktur (Installations-, Holzlagerplatz) verwendet werden.

Ausführung

Absteckung

Bei Holzkasten oftmals nur grob; situative Entscheidung vor Ort, wo und welches Ausmass

Erdarbeiten

Entfernung von Rutschmaterial, Aushub (bis auf festen Grund), Foundation/Gründung Holzkasten und dessen Verfüllung

Arbeitsschritte

- (1) Absteckung (Bestimmung des zu verbauenden Geländeabschnitts)
- (2) Rodung bestehender Bestockung und Wurzelstockentfernung laufend
- (3) Aushub und z.T. Sprengen und Spitzen von Fels oder Terrainanpassungen
- (4) Sauberes Fundament (rechter Winkel zum Holzkasten-Anzug)
- (5) Holzkasten lagenweise erstellen, evtl. ausfachen, vernageln, verfüllen und verdichten (konstante Präsenz Baumaschine); unterste Lage aus Längshölzer



- (6) Z.T. Einbringen von Buschwerk oder Stecklingen
- (7) Einbinden und Zudecken

#### Tun und Vermeiden

Eine korrekte Ausführung reduziert den Unterhalt und verlängert die Lebensdauer des Holzkastens.  
Holzkörperverletzungen durch allgemeine Sorgfalt vermeiden (Holzabbau!).

Eingebautes Material stets verdichten, am besten mit Vibroplatte an Schreitbagger. Bereiche, welche durchwurzelt werden sollen jedoch nicht verdichten (nur andrücken).

Lebensdauer erhöhen, indem der Kontakt von Holz und Erdreich vermindert wird: Filterschicht (Kiespackung oder Fichten-/Tannenäste) zwischen Holzkastentrückwand und Aushubrand einbauen.

Die Arbeiten werden von unten nach oben ausgeführt („Füsse zuerst stabilisieren“).

Aushub jeweils seitlich oder oberhalb zwischendeponieren (Wiedereinbau). Übrig bleibendes Aushubmaterial möglichst sinnvoll lagern bzw. einbauen (bspw. Holzlager-, Installationsplatz).

Verbindungen:

- Durch Vorbohren (und Spitzen der Nägel) kann dem Aufreißen des Holzes beim Nageln vorgebeugt werden und die Angriffsfläche für holzeretzende Organismen (v.a. Pilze) wird reduziert (jedoch nicht ganze Holzstärke bohren und den Bohrkopf mit leicht kleinerem Durchmesser als Nagelstärke wählen [2 mm])
- Nicht zu nahe an der Rundholzstirn nageln (Mindestabstand 20 cm wegen Spaltgefahr)
- Exponierte Bauteile ersetzbar halten; mit Schrauben oder Bauklammern sichern
- Kerbung der Querhölzer (unterseitig) verleiht der Verbindung zusätzliche Stabilität und erhöht die Auflagefläche

Aufgabe Bauleitung: Standortwahl; Werksausrichtung; Kontrolle: Holzqualität, Verbindungen, Ausfachungen, Verfüllung und Verdichtung

Enge Teamarbeit und Kommunikation vom ausführenden Maschinisten bis hin zum planenden Ingenieur

Bei widrigen Witterungsbedingungen sind die Arbeiten aus Gründen der Arbeitssicherheit, aber auch bezüglich möglichem Qualitätsverlust (schwierigere Verdichtung, Auswaschung) unbedingt zu unterbrechen.

#### Abschlussarbeiten

Absägen der weit herausragenden Querhölzer (Frontabschnitt) nicht zu kurz (10 – 20 cm) und erst am Schluss (vorherige Montagehilfe)

#### 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 checked="" type="checkbox"/> | <b>Naturgefahren, Gebirge</b> (SUVA Publikation 33019, 67154)  | <input checked="" 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 checked="" type="checkbox"/> <b>Zusammenarbeit mit Fremdfirmen</b> (SUVA Publikation 66092/1)            |
| <input checked="" 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 type="checkbox"/> <b>Arbeiten am, im oder über Wasser</b> (SUVA Publikation 67153)                       |

#### Werterhalt

laufend

Während der ersten Phase nach Erstellung des Werkes sollte die Wirkung laufend kontrolliert werden (Hangbewegungen vorerst gestoppt?).

periodisch

Bereits bei der Projektierung andenken, um regelmässige, zumindest jährliche Sichtkontrolle, v.a. nach ausgeprägten Nässeperioden (Niederschlag und Schneeschmelze) oder bei starken Hangbewegungen (Stauchungen und Deformation) durchzuführen, damit allfällige Schwachstellen identifiziert und behoben werden können (selbst kleine Schäden baldmöglichst beheben).  
Periodische Zustandserfassung und –dokumentation erlauben gute Beurteilung der



Zustandsentwicklung sowie die Planung allfälliger Erneuerungsarbeiten (Protokoll zu Schäden, Ursachen, notwendige Unterhalts- oder Instandstellungsarbeiten).

Bei Bedarf Erneuerungen bzw. Ersatz von schadhaften Teilen durchführen (z.T. Verstärkungen von oder Wiederaufbau auf noch gesunden Teilen möglich). Bei Kombination mit Pflanzungen bzw. Wiederbewaldung ist eine entsprechende Pflege durchzuführen. Allenfalls werden bei ungenügendem Lichteinfall auf die Verbauungsfläche im umliegenden Wald waldbauliche Massnahmen nötig (lebendes Astmaterial und Stecklinge sind für üppiges Gedeihen besonders lichtbedürftig). Weiden können zur Erhaltung eines möglichst elastischen Weidengebüsches alle 3 – 6 Jahre auf den Stock gesetzt werden.

Mit der Zeit sollte die Bepflanzung die Funktion der Stützbauwerke übernehmen, wodurch der technische Unterhalt hinfällig wird.

Die Lebensdauer von Holzkonstruktionen beträgt rund 50 Jahre, bei guten Bedingungen auch 80 Jahre (nach Zeller und Röthlisberger 1987, zitiert in Böll et al. 1999), bei sehr schlechten aber auch nur 20 – 30 Jahre.

## Rückbau

Ein eigentlicher Rückbau ist nicht angedacht; mit der Zeit soll der aufkommende Schutzwald die Schutzfunktion der langsam verrottenden Holzkasten übernehmen. Auch die Drainage soll zukünftig weiterhin bestehen bleiben und Wasser aus der ehemaligen Rutschmasse abführen.

### 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: oeko-b ag 2012 – 2013, wenn nicht anders beschriftet)



Abbildung 1: Anrisse und Aufstauchungen im Rutschhang an der Wandfluebergstrasse (13.07.2012)



Abbildung 2: Plastikabdeckung als Sofortmassnahme, um Niederschlagswasser oberflächlich abzuführen (01.09.2012)



Abbildung 3: Der Hangfuss wird mit doppelwandigem Holzkasten abgestützt, luftseitige Hölzer werden entrindet (19.10.2012)



Abbildung 4: Einbau der Rundhölzer mithilfe des am Seil gesicherten Schreitbaggers (12.03.2013)



Abbildung 5: Der Materialtransport und dabei v.a. das Holz erfolgt mit dem Mobilseilkran (12.04.2013)



Abbildung 6: Fertiggestellte Böschungssicherung. Der Holzkasten wurde am Schluss bis auf  $\frac{3}{4}$  seiner Höhe angeeckt (21.06.2013).



Abbildung 7: Die Selbstbohranker werden mit einem Lawinenbohrgerät (Bohrlafette) eingetrieben (05.09.2012)



Abbildung 8: Im Anrissgebiet kamen z.T. auch einwandige Holzkasten zum Einsatz (Quelle: geotest, 21.08.2012)



Abbildung 9: Die erstellten Holzkasten im steilen und vernässten Hang werden eingedeckt (24.09.2012)



Abbildung 10: Der Einsatz von Weidenbuschlagen dient der Begrünung und begünstigt die Entwässerung (12.04.2013)



Abbildung 11: Oberflächensicherung mittels Jutenetz und Stecklingen (25.04.2013)



Abbildung 12: Zur oberflächlichen Entwässerung wurden die V-Holzkännel fischgratförmig angeordnet (25.04.2013)