



Holzkasten mit Drainage, Illnau-Effretikon (Kyburg)

Stabilisierung einer talseitigen Strassenböschung

- Stützkonstruktion aus einem Verbund aus Holz und Verfüllung mit Aushubmaterial
- Integriertes Drainagesystem zum Abbau hydrostatischen Druckes
- Temporäre Schutzmassnahme bis zur Übernahme der stabilisierenden Wirkung durch Gehölzpflanzen.



Holzkasten zur Hang- und Strassenstabilisierung (Bild: C. Zollinger)

Ausführungsort / Planer

Ausführungsort	Leimenegg, Forstrevier Kyburg (ZH), Sennhofstrasse (2'699'204 / 1'257'632), Gemeinde Illnau-Effretikon
Planung:	Forstrevier Kyburg
Bauleitung:	C. Zollinger, ALN Kt. Zürich
Ausführung:	Würmli & Söhne AG, Bäretswil, A. Würmli
Baujahr:	2017

Funktion / Anwendungsgrenzen

Holzkästen sind Stützsysteme aus meist lokal anfallendem Rundholz zur Stabilisierung von Böschungen und Hangpartien. Die Rundhölzer werden in mehreren Lagen im Aushub als Längs- und Querhölzer kreuzweise und kraftschlüssig verbunden, mit Erdreich verfüllt und möglichst zugedeckt. Es wird zwischen ein-, und zweiwandigen Holzkästen unterschieden, wobei Erstere lediglich talseitig Längshölzer aufweisen, während beim zweiwandigen Holzkasten sowohl tal- als auch bergseitige Längshölzer eingebaut werden. Der zweiwandige Holzkasten ist im forstlichen Bauwesen heute zum Standard geworden, da sich beim einwandigen System die Verankerung der Querhölzer (auch Zangen) als schwieriger erwiesen hat und die Lebensdauer höher ist. Die stabilisierende Wirkungsweise von doppelwandigen Holzkästen ist mit denjenigen von Schwergewichtsmauern (Stützmauern) vergleichbar. Dabei wirkt in erster Linie das Eigengewicht der Verbundkonstruktion gegen den aktiven Erddruck. Weiter bringt die überbrückende Wirkung, ähnlich einer Bewehrung, zusätzliche Stabilität. Eine Neigung im Planum und genügend Anzug sorgen für Sicherheit gegen Kippen und Gleiten.

Die Lebensdauer eines Holzkastens ist wegen den verschiedenen Zersetzungsprozessen am Baustoff Holz begrenzt. Daher dienen Holzkasten in erster Linie als temporäre Massnahme bis sich eine stabilisierende Vegetationsschicht etabliert hat. Gehölzpflanzungen gehören denn auch meist integral zum Bau von Holzkästen.

Im vorliegenden Projekt handelt es sich um eine Sanierung der talseitigen Strassenböschung, welche mit Teilen des Strassenkörpers weggerutscht ist. Da sich die Böschung im Einflussbereich der Strassenentwässerung befand, musste ergänzend ein Drainagesystem vorgesehen werden, um die hangwasserbedingte Zusatzbelastung zu mindern.



Voraussetzungen Baugrund

Ein Holzkasten sollte grundsätzlich auf gewachsenem Boden aufgebaut werden. Hierfür muss der Rutschhorizont soweit abgetragen werden, bis ein stabiler Untergrund erreicht werden kann. Daher eignen sich Holzkasten nur für den Verbau flachgründiger und allenfalls kleinerer, mittelgründiger Rutschungen. Im Idealfall können im Mittelland die Längshölzer auf Sandstein befestigt werden, da dieser sich im Vergleich zu anderen Grundgesteinen relativ einfach bearbeiten lässt und zugleich fest ist.

Wird der Holzkasten auf unstabilem Untergrund (Planum) gegründet, wird durch die meist grösser gestaltete Auflast eine Destabilisierung des Hanges oder der Böschung riskiert.

Gesetze / Normen

Normen

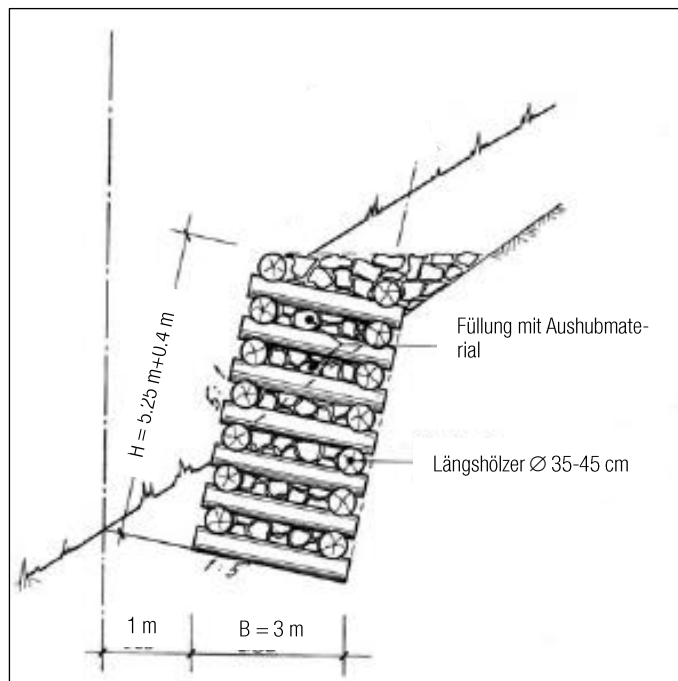
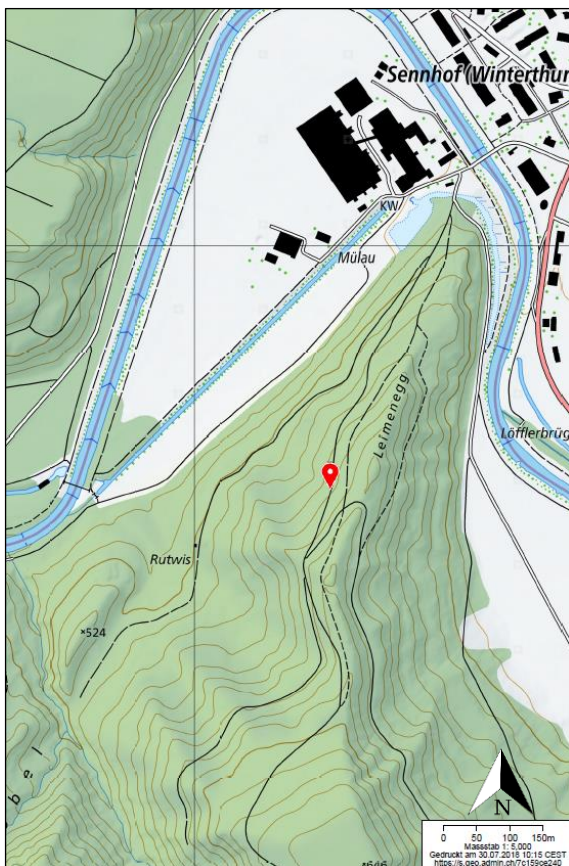
- SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke
- SIA 267 Geotechnik
- SN 640 582 Erdbau, Boden
- SN 640 585 Verdichtung und Tragfähigkeit
- SN 640 621 Ingenieurbiologie

Literatur

- AWL, 2006. Handbuch Ingenieurbiologie und Hangverbau. Amt für Wald und Raumentwicklung Obwalden AWL, 2. Auflage, 75 S.
- Böll A, 1997. Wildbach- und Hangverbau. Bericht Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, 125 S.
- Böll A, Gerber W, Graf F, Rickli Ch, 1999. Holzkonstruktionen im Bach-, Hang- und Runsenverbau. Eidgenössische Forschungsanstalt Wald, Schnee und Landschaft WSL, Birmensdorf, 60 S.

Projektierung

Normalie / Plan



Links: Lageplan des Ausführungsortes an der «Leimenegg» (roter Pin; Quelle: SwissTopo, verändert).

Oben: Schematische Darstellung eines Holzkastens. Sie entspricht der ausgeführten Variante nur teilweise (Quelle: AWL 2006, verändert).



Tragwerksanalyse

Im Rahmen des vorliegenden Projekts wurde keine explizite Tragwerksanalyse durchgeführt. Nachfolgende Ausführungen gehen etwas detaillierter auf die Einwirkungen auf die Tragwerkskonstruktion ein.

Tragwerksmodell: Holzkästen der im vorliegenden Projekt geplanten Grösse und Funktion werden doppelwandig ausgeführt. Neben der Gesamtstabilität (Gleiten, Kippen und Grundbruch) müsste grundsätzlich auch die innere Statik untersucht werden. Denn das Verfüllungsmaterial erzeugt einen Innendruck (abhängig vom Winkel der inneren Reibung des Materials) auf die Wände, welcher die Längshölzer auseinanderdrückt. Die Querverbindungen (Zangen) sollen diesen Kräften entgegenwirken, dabei werden die horizontalen Komponenten der Kraft auf die Nagelverbindungen und die vertikalen Komponenten der Kraft als Druckspannung auf das Holz übertragen. Jedoch wird oft darauf verzichtet, da die sorgfältige Ausführung des Werkes entscheidender ist, als deren Bemessung aufgrund eines Modells.

Baugrund: Bis zum Aushub war die genaue Lage des Rutschhorizontes nicht bekannt. Weiter führte ein Durchlass der Strasse in die zu verbauende Böschung. Die Beurteilung der Vernässung des Untergrundes ist für die zu treffenden Entwässerungsmassnahmen essentiell. Im vorliegenden Projekt entschied man sich, nebst der oberflächlichen Weiterleitung des Gerinnes mit Holzkänel, im Bereich des Holzkastens eine Sickerbeton- und im Hang eine Sickerkiesschicht unter die Holzkänel einzubauen (Abb. 6,7,9).

Einwirkungen: Zu den massgeblichen Wirkungen auf die Gesamtstabilität des Holzkastens gehören der aktive Erddruck und das eigene Raumgewicht. Durch das Abführen des Wassers kann die Wirkung des hydrostatischen Druckes verringert werden. Der hydrostatische Druck würde bei schwach durchlässigen Holzkasten in bindigem Boden ohne Drainage eine Rolle.

Die Neigung des Planums sollte bergseitig mindestens 10 % betragen (gegenüber Horizontalen) und der Holzkasten sollte seitlich in den festen Untergrund eingebunden werden.

Bemessung

Holzkasten werden rechnerisch nur selten bemessen, auch die äussere Tragsicherheit. Die Standsicherheit hängt stark vom Raumgewicht, dem Ausmass und der Einbindung der verschiedenen Komponenten (Boden, Holz, Verfüllung etc.) ab. Allerdings werden geometrische Grundregeln berücksichtigt, welche eine ausreichende Standsicherheit erfahrungsgemäss gewährleisten.

Nach einschlägiger Literatur werden bezüglich der Bemessung folgende Abmessungen als Randbedingungen vorgegeben:

- Breite = ½ Höhe Bei bindigem Boden ist auch Breite ~0.35 bis 0.4 Höhe möglich
- H_{\max} = 5 m Abhängig von der Hangneigung und dem Aushubvolumen (erschwerend) sowie den Bodenverhältnissen (verbessernd).
- Anzug = 5:1 Maximum

Der ausgeführte Holzkasten wurde in folgenden Dimensionen ausgeführt:

- Höhe = 5.25 m (+0.4 m durch Abschlusschwelle)
- Länge = 20 m
- Zangen = 3 m
- Anzug = 4:1 (vollständig eingedeckt)

Die globalen Sicherheitsmargen (SF) auf Kippen und Gleiten wurden im Rahmen einer Projektarbeit nachträglich berechnet (ohne Partialfaktoren):

- $SF_{\text{kippen}} = 4.04$
- $SF_{\text{gleiten}} = 2.22$

Zu erwähnen bleibt, dass geotechnische Bauwerke nach Norm mit Partialsicherheiten bemessen werden, im Gegensatz zur globalen Methode, welche hier angewendet wurde.

Weitere Abmessungen sind im Kapitel *Materialien* aufgeführt. Die Eindeckung entsprach der Neigung des ursprünglichen Geländes und wies eine Neigung von 4:3 auf.



Ø Kosten pro Einheit

Der Holzkasten fand im Rahmen eines Forstwart-Lehrlingskurses statt, weshalb die Baukosten relativ niedrig ausfielen.

Bezugseinheit	Kosten	Bemerkungen
Total pro m ³ Rundholz, verbaut	CHF 449.80	(Sämtliche Leistungen inklusive*)
davon Holzpreis pro m ³	CHF 90.—	(Ta/Fi in BC-Qualität)

* Leistungen:

- Baustellenvorbereitung-/ installation
- Aushubarbeiten
- Personal
- Maschinen
- Material (siehe Materialien)
- Begrünung durch Aussaat von Trockenheits-toleranten Krautpflanzen

Tun und Vermeiden

Entwässerung

- Bei der Entwässerung darf nicht gespart werden (häufig Folgeschäden und Folgekosten).
- Der Einbau der Sickerleitungen erfolgte auf zwei Ebenen, in der Sohle und etwa 1-2 Meter darüber

Hinweise zum Baustoff Holz

- Zur Verlängerung der Dauerhaftigkeit (Hemmung der biogenen Zersetzung) und zur Erhöhung der Raumdicke empfiehlt sich die Verwendung von möglichst feinjähriem Holz
- Verarbeitung von möglichst frischem Holz verhindert den Befall durch Pilze und Insekten bereits vor dem Verbau, wodurch die Dauerhaftigkeit ebenfalls begünstigt wird
- Fichtenholz soll so weit als möglich im hinteren Holzkastenteil verbaut werden, da dort ein besserer Luftabschluss vorherrscht und damit der Holzabbau gehemmt wird.
- Für jede Holzlage möglichst gleich starkes Holz verwenden (Einhalten der Geometrie)

Materialien

Namen

Holzkasten:

- Längshölzer Länge: 20 m; Mitten-Ø 45 cm sieben Lagen (14 Längshölzer)
- Zangen Ø 30 cm
- Füllholzlöcher Ø 35 cm
- Armierungsnägel Länge: 80cm; Ø 16 mm
- Verfüllung Aushubmaterial (Erd- und Steinmaterial) sowie Füllhölzer

Entwässerung

- PP-Drainflex Rohre Ø 20 cm
- Geo-Textil Funktion Trennen und Filtern

Begrünung

- Grassaat für Trockenstandorte
- Eine Gehölzpflanzung wurde noch nicht getätigt, wurde aber in Betracht gezogen

NPK Kapitel / Position

- Holzkasten erstellen NPK 181.642.XXX
- Ingenieurbiologie NPK 181.630.XXX

Mindestanforderungen

- Holz, nagelfest, in Rinde



Verarbeitung Tipp

- Pro Lage sollte möglichst gleich starkes Holz verwendet werden.
- Vor dem Nageln vorbohren (erleichtert Arbeit und verhindert Aufreißen des Holzes)
- Verwendung von Füllhölzern. Zur Verhinderung von herausquellendem Verfüllungsmaterial beim Verdichten.

Ø Menge pro Einheit

Gemäss dem Handbuch für Ingenieurbilogie und Hangverbau des Kantons Obwalden (2006), beträgt das benötigte Holzvolumen zwischen 20-30 % des Gesamtvolumens des Holzkastens. Mit der erwähnten Dimensionierung wurde eine Holzmenge von 70 m³ benötigt. Empfohlen wird ein kleiner Mengenzuschlag als Reserve.

Mittel

Maschinen

Transportmittel zur Handhabung von Rundholz rund um die Baustelle (Lagerplatz – Baustelle).
Für die Erstellung des Holzkastens:

- Schreitbagger
- Raupenbagger 14 t

Geräte

Motorsäge, Benzinbohrgerät, Kleingeräte

Installation

Die Baustelle war über die Strasse gut erreichbar. Sie musste jedoch für jeglichen Verkehr gesperrt werden. Die Baustelleneinrichtung bestand hauptsächlich in der Absturzsicherung durch DEMA Schutznetze (an abschüssiger Krete) und einer Wasserführung. Das kleine Gerinne (nicht immer wasserführend) musste umgeleitet werden.

Ausführung

Absteckung

Es wurde keine Absteckung im eigentlichen Sinne vorgenommen, da die unsicheren Baugrundverhältnisse eine laufende Anpassung bedingten.

Erdarbeiten

Aushub bis auf den gewachsenen Boden und für die seitliche Einbindung.

Arbeitsschritte

- (1) Entfernung der bestehenden Bestockung
- (2) Abführen und umleiten des vorhandenen Gewässers
- (3) Aushub und Erstellen des Planums (rechter Winkel zum Holzkasten-, 10 % Anzug)
- (4) Erstellen des Holzkastens (lagenweise), Vernagelung, verfüllen und verdichten und Einbringen der Sickerleitungen
- (5) Vollständige Eindeckung

Abschlussarbeiten

Die Eindeckung wurde abschliessend mit einer Grassaat für Trockenstandorte begrünt. Um Folgeschäden im Strassenkörper wegen Setzungen zu vermeiden, wurde die Strasse erst nach ungefähr einem Jahr mit einer Deckschicht fertiggestellt.

Tun und Vermeiden

- Vollständige Eindeckung des Holzkastens (Dauerhaftigkeit)
- Verbau von Holz in Rinde (Minimierung der Verletzungen und Eintrittspforten für Pilze)
- Zur Vermeidung eines Aufreißen der Rundhölzer (v.a. kleinerer Dimensionen wie 30 cm) ungespitzte Armierungseisen verwenden
- Sollte ein Holzkasten aufgrund der steilen Neigung der Böschung nicht vollständig zugedeckt wer-



24.08.18, 22102

- den können, Beschattung sicherstellen, damit Trocken-/Feuchtzyklen möglichst reduziert werden.
- Wegen möglichen Setzungen sollte auf der darüberliegenden Strasse während eines Jahres keinen Kies aufgetragen werden (Ressourcen-Schonung)

Sicherheit

Besonders zu beachtende Sicherheitsaspekte:

- immer
 - **9 lebenswichtige Regeln** für den Verkehrsweg- und Tiefbau (SUVA Publikation 88820)
 - **Notfallplanung** (SUVA Publikation 67061)
 - **Arbeitsvorbereitung (AVOR)** (SUVA Publikation 67124)
- Naturgefahren, Gebirge** (SUVA Publikation 33019, 67154)
- Maschineneinsatz** (SUVA Publikation 67041, 67039, 67161, 1574)
- Strom auf der Baustelle** (SUVA Publikation 67081, 67092)
- Verkehr und Infrastruktur** (SN 640886)
- 9 lebenswichtige Regeln für das Helikopter-Bodenpersonal** (SUVA Publikation 88819)
- Absturz am Arbeitsplatz inkl. Zugang** (SUVA Publikation 33016, 44002)
- Graben und Baugruben** (SUVA Publikation 67148)
- Zusammenarbeit mit Fremdfirmen** (SUVA Publikation 66092/1)
- Waldarbeiten** (SUVA Publikation 84034)
- Arbeiten am, im oder über Wasser** (SUVA Publikation 67153)

Werterhalt

Betrieblich

Sichtkontrollen. Allenfalls Bepflanzung pflegen.

Baulich

Keine.

Rückbau

Der Rückbau ist im Falle von Holzkasten unproblematisch. In der Regel wird darauf verzichtet. Es verbleiben einzig die Stahlnägel im Erdreich. Werden Holzkasten nicht vollständig überdeckt, kann ein Entsorgen des morschen Holzes und vor allem der Stahlnägel (Sicherheit) nötig sein.

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

Bildquelle: Amt für Landschaft und Natur, Kanton Zürich; C. Zollinger



Abb. 1: Ausgangslage vor dem Bau: Das Strassenbankett und Teile des Strassenkörpers sind weggerutscht.



Abb. 2: Erste Lage des Holzkastens: Unter dem talseitigen Längsholz wurde die erste (von zwei) Sickerleitung angebracht. Es besteht sowohl eine seitliche als auch eine Sohl-Einbindung.



Abb. 4 (oben): Zudecken und Verdichten der ersten Holzlage.

Abb. 3 (links): Bedeckung mit Geotextil zur Verhinderung einer Verlagerung und Verstopfung durch Feinanteilen in das Sickergeröll.



Abb. 5: Die Verfüllung wurde mit Kleinmaschinen verdichtet, um einerseits Setzungen innerhalb des Holzkastens gering zu halten, andererseits um das spezifische Gewicht zu erhöhen.



Abb. 6: Sickerbeton im Bereich der Durchlassmündung, um hydraulischen Staudruck zu verhindern.



Abb. 7: Im Abfluss- und Einflussbereich des Entwässerungskän- nels wurde Sickerkies eingebracht, das als präferenzierter Fließweg den Boden vor zu hoher Wassersättigung schützen soll.



Abb. 8: Der Holzkasten wurde mit der ursprünglichen Böschungs- neigung vollständig eingedeckt.



Abb. 9: Neue Wasserführung nach der Durchlassöffnung mit Sickerkies /-beton unter den «Känel» (nicht sichtbar).