



Steinschlagdamm, Kandergrund

Steinschlagschutz Frutigen – Kandersteg, Fürten I Nordportal

-Wiederherstellung Steinschlagschutzdamm mit dem System
«bewehrte Erde» oder Blocksteinmauern vor bestehender
Betonmauer

-Räumung/Erweiterung des bisherigen Auffangraumes



Damm aus bewehrter Erde, vorgelagerter Betonmauer und
statisch wirkender Palisade

Ausführungsort Bsp. / Planer

BLS Strecke zwischen Frutigen und Kandersteg

Koordinaten: 2 617 701 / 1 154 477

Bauherrschaft: BLS Netz AG, 3001 Bern

Projektierung und Bauleitung: IMPULS AG, Wald, Landschaft, Naturgefahren, Thun

Ausführung: Marti AG Bern, Parallelstrasse 18. 3714 Frutigen

Funktion / Anwendungsgrenzen

Entlang des Bahngleises besteht bereits heute ein Erdwall, welcher Steine und Blöcke zu einem gewissen Anteil aufzuhalten vermag. Gestützt wird dieser talseitig mit einer Schwergewichts-Betonmauer, auf der zusätzliche Barragen angebracht wurden. Während den Felssturzereignissen im Laufe der letzten Jahrzehnte, lagerten sich rund 3'000 m³ hinter diesem Damm ab, wodurch das Auffangvolumen deutlich verkleinert wurde. Um das ursprüngliche Auffangvolumen wiederherzustellen, und den aktiven Erddruck auf die Mauer zu verringern, wurden 1'764 m³ Erdmaterial ausgehoben und mit der Bahn wegtransportiert. Zudem wurden brauchbare Blöcke hangseitig im Damm verbaut. Andere Massnahmen wie Felsabdeckung, Felsräumungen, Steinschlagschutznetze oder Galerien konnten in der Vorstudie auf Grund von schlechten Nutzen/Kosten - Verhältnissen ausgeschlossen werden. Da sich die Gleise sehr nahe an den Felswänden befinden, sind platzintensive Schutzmassnahmen nicht möglich.

Der neue Damm weist eine Wirkungshöhe von 2.5 m auf. Um Platz zu gewinnen und trotzdem Energieaufnahme sowie den passenden Auftreffwinkel zu erreichen, besitzt er eine bergseitige Blocksteinmauer. Bei fehlenden Blöcken wurde der übrige Dammkörper mit dem System «bewehrte Erde» aufgebaut.

Auf der Talseite des Dammes bleibt die vorhandene Stützmauer bestehen. Bis heute bestand keine Entwässerung bei der Schwergewichtsmauer auf der Bergseite der Gleise. Aufgrund des steinigen Untergrundes führte dies nie zu Problemen. Deshalb werden bei der Wiedererstellung des Erddammes keine Entwässerungsmassnahmen getroffen.

Voraussetzungen Baugrund

Für den Bau des Dammes konnte mehrheitlich das vorhandene Lockergestein verwendet werden. Vorhandene Blöcke wurden für den übersteilen Dammbabschluss in Form einer Blocksteinmauer genutzt. Die verbleibenden Dammbereiche wurden mit «bewehrter Erde» abgeschlossen. Zur Hinterfüllung des Systems «bewehrte Erde» sind Lockergesteine von geringer Korngrösse, also sicher ohne Anteile über 100mm, wichtig. Ansonsten funktioniert die Verdichtung nicht oder nimmt das System Schaden und eine Begrünung würde fehlschlagen

Die Massnahmen des vorliegenden Projektes liegen in kompliziert verfalteten und verschuppten helvetischen Sedimenten der Wildhorn-, Doldenhorn- und Gellihorndecke. Die Felswände und -bänder dort werden vorwiegend aus Helvetischem Kieselkalk sowie untergeordnet aus Mergelschiefern (Globigerinenschiefer und Palfriesschiefer) und Sichelkalken aufgebaut. Das Lockergestein in den



flacheren Hangabschnitten wird in erster Linie durch Gehängeschutt aus den darüberliegenden Felswänden und vereinzelt Moränenablagerungen gebildet, teilweise auch aus Tunnelausbruchmaterial aus der Zeit des Bahnbaus.

Die für die Gefahrensituation massgebenden Gesteinspakete und Felswände im Untersuchungsgebiet sind verschuppt und verfaltet. Das Haupteinfallen der Schichtung beträgt rund 15 bis 30° gegen Süden. Der Fels wird durch mehrere Kluftsysteme durchtrennt, welche für die Ausbildung der Bruchkörper verantwortlich sind:

- ein Kluftsystem verläuft mehr oder weniger hangparallel und ist senkrecht stehend
- ein zweites Kluftsystem verläuft ESE-WNW und ist ebenfalls mehr oder weniger senkrecht
- Ein drittes Kluftsystem verläuft SE-NW und fällt mit rund 60° gegen SW ein

Gesetze / Normen

SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke, Kapitel 4 Baugrund

SIA 267 Geotechnik, Kapitel 14 Hänge, Böschungen und Anschnitte

SIA 267 Geotechnik, Kapitel 15 Schüttungen und Dämme

SN 640 383a Stützbauwerke; Konzeption, Projektierung und Ausführung

SN 640 575 Erdarbeiten: Abbauklassen und Empfehlungen



Projektierung

Normalie / Plan

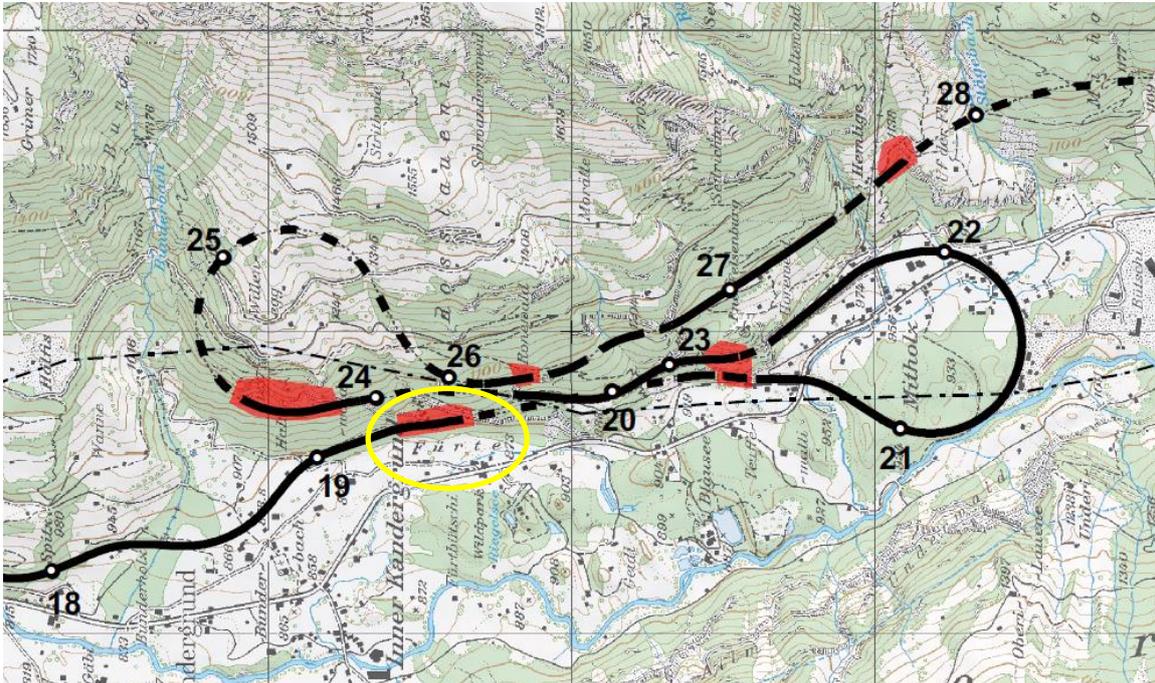


Abbildung 1: Übersicht des zu verbauenden Streckenabschnitts. Das vorliegende Schutzdammprojekt befindet sich zwischen Punkt 19 und 20 (gelber Kreis). Massstab 1:25'000

Legende

- Fläche Dammkrone
- Blocksteinmauer
- Gitternetz TerraMur
- Weg / Auffangraum

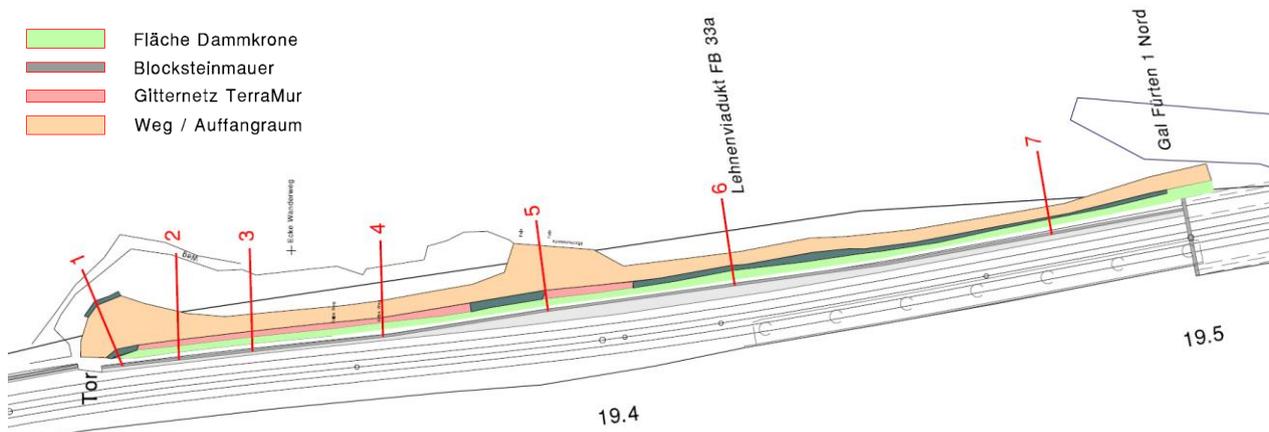


Abbildung 2: Darstellung des Schutzdammes



Tragwerksanalyse

Gemäss Sturzmodellierungen mit Rockfall 6.1 mit Waldmodul wurden folgende Einwirkungen berechnet (Abbildung 3):

Jährlichkeit	Volumen Stein [m³]	Kantenlänge Stein [m]	Energie Niveau Gleis (90 % Quantil) [kJ]	Sprunghöhe Niveau Gleis (90 % Quantil) [m]
Liefergebiet IV				
10-jährlich	0.1	0.46	Durch Schutzbauten gestoppt	
30-jährlich	0.5	0.79	Durch Schutzbauten gestoppt	
100-jährlich	4	1.59	550	3.5
300-jährlich	15	2.47	2'200	3.5
Liefergebiet V				
10-jährlich	0.5	0.79	Durch Schutzbauten gestoppt	
30-jährlich	1.0	1.00	200	3
100-jährlich	3.0	1.44	350	3
300-jährlich	7.5	1.96	1'000	3
Liefergebiet VI				
10-jährlich	0.1	0.46	Durch Schutzbauten gestoppt	
30-jährlich	0.5	0.79	Durch Schutzbauten gestoppt	
100-jährlich	1.0	1.00	Durch Schutzbauten gestoppt	
300-jährlich	2.0	1.26	800	3.5
Liefergebiet XXI				
10-jährlich	0.5	0.79	Durch Schutzbauten gestoppt	
30-jährlich	0.8	0.97	320	2 - 4
100-jährlich	2.0	1.26	500	2 - 4
300-jährlich	4.0	1.59	1'000	2 - 4

Abbildung 3: Steinschlagsimulationsergebnisse

Der Damm weist eine Höhe von ca. 2.5 m und eine Gesamtlänge von 183 m auf. Ca. 2 m Höhe bilden die Rollierung mit grossen Steinen oder Geogittern. Die obersten 0.5 m bildet eine Böschung mit einer Neigung von 4:5. Der Auffangraum weist eine Basisbreite von 2 m, der Damm eine Breite von ca. 2.3 m auf (Abbildung 4).

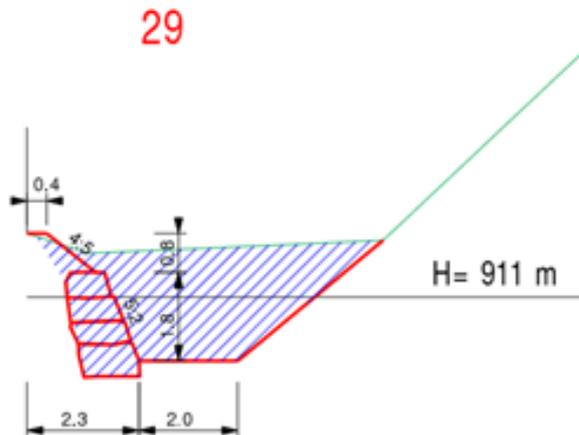


Abbildung 4: Dammquerschnitt bei Linie 29 (vgl. Abbildung 2). Der Materialabtrag ist blau schraffiert

Die Standsicherheit des Dammes kann als gegeben betrachtet werden, da er talseitig durch eine armierte Betonmauer gestützt wird. Es wurden folgende qualitative Überlegungen gemacht:

Ein Versagen des Dammes ohne zusätzliche Einwirkungen ist nur möglich, wenn die stützende Betonmauer versagt. Mit der vorgenommenen Instandsetzung wurde rund 1'800 m³ Erdmaterial aus dem bergseitigen Auffangraum entfernt und somit der einwirkende Erddruck auf die Mauer reduziert.

Einwirkungen aus Steinschlagereignissen: Die zu erwartenden Einwirkungen aus Sturzprozessen sind oben beschrieben. Eine Beurteilung der Tragsicherheit kann nur für den instand gestellten Teil des Dammes ohne die Stützmauer gemacht werden, da zu dieser keine



Informationen bekannt sind. Weiter muss berücksichtigt werden, dass teilweise ab dem 30-jährlichen Szenario der Damm übersprungen und damit die Tragsicherheit der darüber folgenden Barrage relevant ist. Aus diesen Überlegungen wurde vom auftragnehmenden Ingenieurbüro auf eine quantitative Bestimmung der Tragsicherheit der Gesamtverbauung im Ereignisfall verzichtet. Die Betrachtung der Risikoreduktion stand im Vordergrund.

Aufgrund der modellierten Sprunghöhen und Energien und der Wirkungsweise des Dammes wurden folgende Werte für die Risikoreduktion angenommen

Table: Risikoreduktion nach Liefergebiet für die vorgestellte Massnahme
 Legende für die nachfolgenden Tabellen

Liefergebiet	Max. Intensität auf Gleis nach Massnahmen				
	10-j	30-j	100-j	300-j	Szenario Felssturz
IV			100%	50%	50%
V		100%	100%	50%	tritt nicht auf
VI				50%	50%
XXI			100%	50%	50%

Der Steinschlagschutzdamm wurde ohne stützende Mauer (also freistehend) auf durch Steine einwirkende Energien bemessen. Das Konzept dabei lautete, dass die Scherkräfte im Damm grösser als die eintreffenden Energien der Steine sein sollen. Die Scherkräfte wurden nach Mohr-Coulomb

$$\tau = c' + \sigma' * \tan(\Phi')$$

berechnet, wobei τ die Scherspannung, σ die Druckspannung ausgelöst durch das Eigengewicht des Dammes, ϕ der effektive Reibungswinkel und c die Kohäsion ist. Die Kohäsion wurde mit $c = 0$ angenommen, und die der effektive Reibungswinkel mit $\phi = 30^\circ$. Die Gleitfläche, die vom Stein ausgelöst wird, wurde als waagrecht angenommen und der Aufprallwinkel der Steine gleich der Hangneigung der Transitstrecke von 38° .

Die einwirkende Kraft der Steine wurde anhand der Energie und der Impactzeit (gemäss Hofmann und Molk 2011) berechnet. Diese geben für bewehrte Dämme Impactzeiten von 0.1 – 0.2 s an. Da unser Damm eine Rollierung aufweist wurde mit eher kurzen Impactzeiten von 0.1 s gerechnet.

Es wurden Energien von 500 kJ berechnet, da diese ca. einem 100-jährigen Ereignis entsprechen.

Auswirkungen eines Einschlags auf den Dammkörper sind Spannungszunahmen bis zu Bruchdeformationen, sowohl in der Hülle, als auch ein Durchschlagen des gesamten Dammes.

Bemessung

Die Berechnungen zeigen, dass der Damm den Aufprall eines Steines mit 500 kJ grundsätzlich aufhalten kann. Nur auf den obersten ca. 0.3 m reichen die Scherkräfte nicht aus um den Stein aufzuhalten (Abbildung 5, Abbildung 6). Das heisst: auch bei einem unerwarteten Auftreffen eines 100-jährigen Steinschlagereignisses ist der bewehrte Erddamm ohne Stützmauer genügend gross dimensioniert um stabil zu bleiben.



Sicherheitsfaktor auf entsprechender Aufprallhöhe

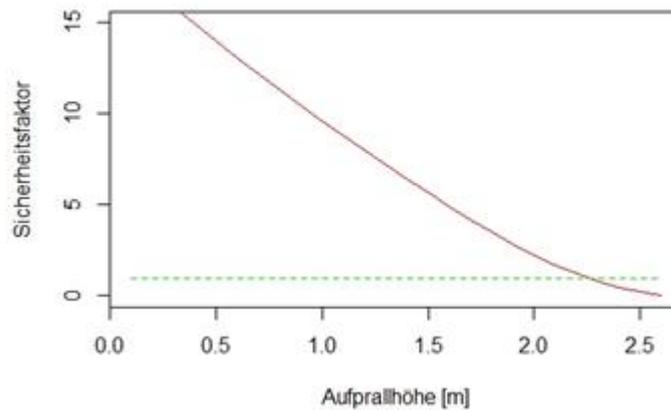


Abbildung 5: Die rote Linie bezeichnet den berechneten Sicherheitsfaktor in Abhängigkeit der Aufprallhöhe, der grösser als 1 sein muss (grüne Schwelle).

Treibende und haltende Spannungen beim Aufprall

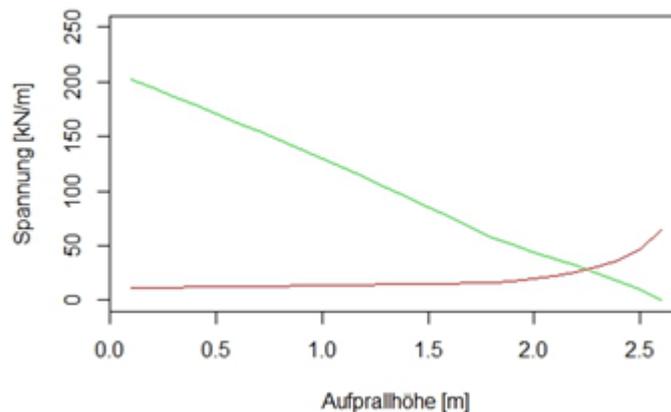
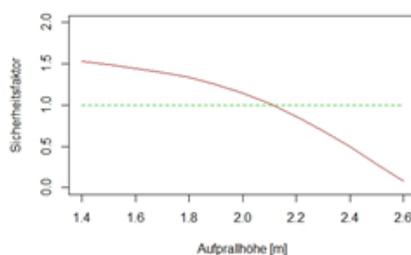


Abbildung 6: Treibende (rot) und haltende (grün) Spannungen, die auf die waagrechte Gleitfläche wirken. Der Schnittpunkt der beiden Linien befindet sich bei ca. 2.3m Dammhöhe.

Aufgrund mangelnder Informationen konnte nicht der gesamte Berechnungsansatz nach Hofmann und Mölk (2011) verwendet werden. Bei der Annahme einer nicht waagerechten Gleitfläche würde der Damm mit der Zunahme des Winkels laufend instabiler. Abbildung 7 zeigt, dass eine Neigung der aktivierten Gleitfläche von 15° die Höhe des Versagens auf ca. 2.1 m liegt. Bei einer Neigung gleich dem Aufprallwinkel wäre der Damm auch ohne äussere Einwirkung schon instabil.

Sicherheitsfaktor auf entsprechender Aufprallhöhe



Sicherheitsfaktor auf entsprechender Aufprallhöhe

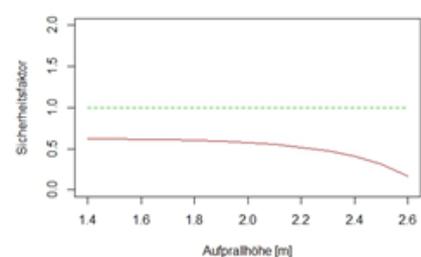




Abbildung 7: Sicherheitsfaktor bei einer Neigung der aktivierten Gleitfläche von 15° (links) bzw. 38° (rechts).

Es gibt eine neue Studie (AERES) der Hochschule Luzern, unterstützt vom BAFU, um genauere Anhaltspunkte für die Bemessung von Steinschlagschutzdämmen zu erhalten. Das Amt für Wald des Kantons Bern hat in der Folge ein [Merkblatt](#) zusammengestellt, welches die aktuellsten Bemessungsmethoden und [Beispiele](#) wiedergibt.

Ø Kosten pro Einheit

Steinschlagschutzdamm

– Länge [m]	183	
– Höhe [m]	2.5	
– Kosten Total [CHF]	223'000.-	(inkl. Planung/Bauleitung)
– Kosten pro m [CHF/m]	1'220.-	
– Jährliche Kosten [CHF]	5'575.-	
– Nutzen/Kosten Verhältnis	124	(gemäss Econome)

Tun und Vermeiden

Die Erstellung eines brauchbaren Geländemodells war schwierig, da das Gelände vor Massnahme stark verbuscht und zugewachsen und nur schwierig zugänglich war. GPS-Empfang gibt es nicht (Felswände, Nähe zu den Fahrleitungen usw.). Umso wichtiger war dann in der Realisierung ein Baggerführer vor Ort, der situativ auf die Verhältnisse reagieren konnte.

Die Abschätzung der vor Ort vorhandenen Blöcke hat zum Glück gut gestimmt, obwohl auch dies im Vorfeld sehr schwierig abzuschätzen war (Stichprobenflächen und Extrapolation auf das ganze Volumen)

Logistik (Zu- und Abfuhr von Materialien) sowie Installation sind bei Bauvorhaben entlang des Gleis meist die Schlüsselfragen und bestimmen schliesslich auch den Bauvorgang: Welche Kubaturen können pro Tag mit Bahnwagen abgeführt werden, und wie kommt das Material auf die Bahnwagen, ohne dass der ordentliche Bahnbetrieb gestört wird und die Bahnsicherheit in Frage gestellt ist? Solche Bauvorhaben müssen weit im Voraus (rund 1-2 Jahre) geplant werden, damit die entsprechenden Zeitfenster im engen Fahrplan beantragt werden können.

Materialien

Namen

- Material aus der Leerung des Auffangraums (Kies, Steine und Sand (GP))
- erdbewehrtes Stützsystem (Sytec TerraMur)
- Begrünung für TerraMur (UFA-Vertibord trocken)

NPK Kapitel / Position

NPK 181 535 Blocksteinmauern mit Hinterfüllung

NPK 211 300 Aushubarbeiten

NPK 211 670 Stützkonstruktionen aus bewehrter Erde

NPK 214 700 Montage von Steinschlagverbau

Mindestanforderungen

Material muss dem Erddruck des Dammes standhalten.

Verarbeitung Tipp

Einbau- und Pflegehinweise System TerraMur beachten

Lagenweise Einbau und Verdichtung

Blocksteinmauer: Ein erfahrener Baggerführer ist entscheidend für die Qualität der Blocksteinmauer. Verdichten des Materials hinter den Blöcken mittels Grabenstampfer und Vibroplatte

Ø Menge pro Einheit

~3.0 m³/m Lockermaterial pro Laufmeter Blockmauer



~6.0 m³/m Lockermaterial pro Laufmeter Bewehrte Erde
1'820 m³ (fest) Aushub / Abtrag
140 m² Terramur und rund 220 m² Ansichtsfläche Blocksteinmauer

Mittel

Maschinen Bagger und Trax für den Abtrag der Hinterfüllung und den Bau der Rollierung. Die Maschinen wurden mit der Bahn an- und abtransportiert. Auch das abgetragene Gestein konnte mit der Bahn mittels Hubkipper abgeführt werden.

Geräte Bagger, Trax, Vibroplatte oder Grabenstampfer sowie notwendige Kleingeräte

Installation

Auf der Baustelle selbst wurde kein Installationsplatz benötigt. Sämtliches Material und die Maschinen wurden via Bahn über den Schienenweg und das Metalltor im Damm zur Baustelle an- und abtransportiert. Da auch das Lockermaterial per Bahn transportiert wurde, musste während dem Verlad die Fahrleitung unterbrochen werden. Das Erdmaterial wurde auf die nahe, für die Bahn erschlossene Deponie gebracht.

Ausführung

Absteckung Die Eckpunkte des Materialabtrags und die Querprofile gemäss Ausschreibungsunterlagen wurden im Gelände abgesteckt. Die Höhe der Dämme orientierte sich an der bestehenden Betonstützmauer.

Erdarbeiten Die Hinterfüllung wurde gemäss obenstehenden Skizzen ausgeführt. Grundsätzlich wurde bis auf eine Dammhöhe von 2.5m Lockermaterial abgetragen.

Arbeitsschritte

1. Felskontrolle und punktuelle Reinigung der obliegenden Felswände
2. Holzerei auf der gesamten Fläche inkl. Schlagräumung im Winter, ein Grossteil des Holzes wurde vor Ort gehackt
3. Bagger und Trax mit Bahn antransportieren
4. Abtrag und Aushub gemäss Querprofilen
5. Aufbau der Blocksteinmauer mit Steinen aus dem Abtrag, gleichzeitig Damm schütten und verdichten
6. Aufbau System TerraMur
7. Abtransport und Deponie des Gerölls fortlaufend mit der Bahn
8. Trockenbegrünung



Tun und Vermeiden

Planen und Koordinieren der Abtrags- und Abtransportleistungen

Wiederverwenden des Hackgutes und einigen Wurzelstöcken auf den bergseitigen Böschungen des Auffangraumes (Starthilfe für die natürliche Wiederbegrünung, Struktur)

Abschlussarbeiten

Bewehrte Erde mit Begrünung sollte zum Gelingen der Ansaat in den ersten Jahren nach der Erstellung zweimal im Jahr gemäht werden (Frühsommer und Herbst). Dabei nie kürzer als 10cm. Nach zwei oder drei Jahren kann auf einen Schnitt pro Jahr (Herbst) reduziert werden.

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 checked="" 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 type="checkbox"/> Graben und Baugruben (SUVA Publikation 67148) |
| <input checked="" type="checkbox"/> | Strom auf der Baustelle (SUVA Publikation 67081, 67092) | <input type="checkbox"/> Zusammenarbeit mit Fremdfirmen (SUVA Publikation 66092/1) |
| <input checked="" 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 type="checkbox"/> Arbeiten am, im oder über Wasser (SUVA Publikation 67153) |

Bei Bauarbeiten an Bahnlinien, insbesondere bei Verwendung von Hebegeräten und Baumaschinen gelten besondere Sicherheitsvorschriften:

- Sicherheit bei Arbeiten im Bereich von Bahnstromanlagen (RTE 20600, SBB und VÖV, 2012)
- Sicherheit bei Arbeiten im Gleisbereich (R RTE 20100, SBB und VÖV, 2016)
- SUVA Dokumentation 66138 d

Werterhalt

betrieblich

Kontrollen, einmal jährlich im Spätherbst mähen

baulich

Entleeren des Auffangraumes von sich ansammelndem Sturzmaterial

Allenfalls Reparatur des Systems TerraMur nach schädigenden Ereignissen.

Rückbau

Bei einem allfälligen Rückbau sollten keine problematischen Baustoffe anfallen.

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

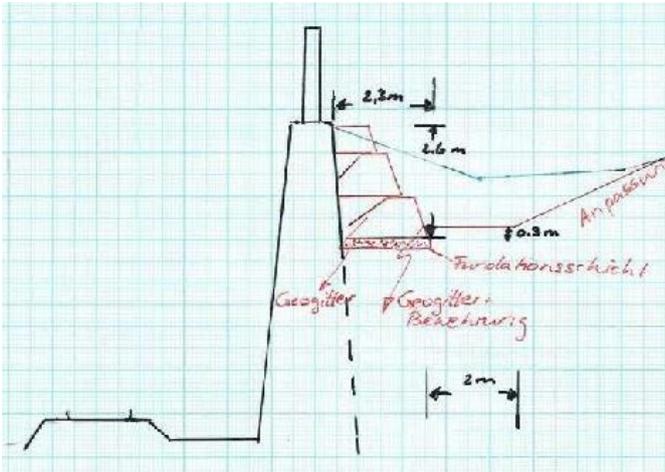


Abbildung 8 Skizze des Vorhabens aus der Planungsphase.

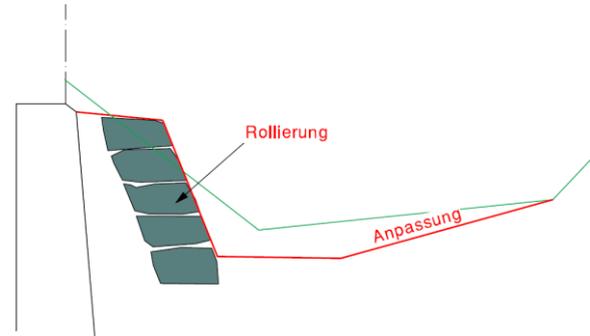


Abbildung 9 Normalprofil der Abschnitte mit Blocksteinmauer.

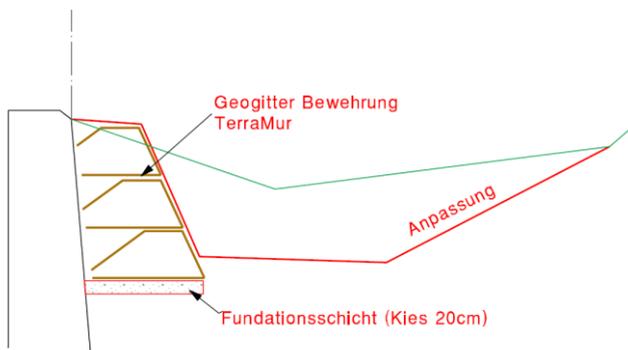


Abbildung 10 Normalprofil der Abschnitte mit bewehrter Erde.



Abbildung 11 Blocksteinmauer und auf der vorgelagerten Betonmauer aufgesetzte Palisade.



Abbildung 12 Die statisch wirkende Palisade besteht aus zwischen Trägern eingespannten Eisenbahnschienen und vorgelagerten Holzschwellen (Dämpfung).



Abbildung 13 Bewehrte Erde zur Gestaltung der übersteilen Damfront, mit welcher der Einschlagwinkel verbessert und dynamische Energieaufnahme ermöglicht wird.