

## Steinschlagdamm Botegh / Diga di protezione da caduta massi, Buseno ([versione italiana](#))

### Schutzdamm und Netz gegen Stein- und Blockschlag

-Schutz der Kantonsstrasse gegen Steinschlag

-



Damm und Netze, sowie ältere Palisaden an der Kantonsstrasse 741

### Ausführungsort Bsp. / Planer

Ausführungsort:	Buseno, Botegh (2 729 054 / 1 126 580)
Bauherrschaft:	Tiefbauamt Kanton Graubünden
Projektleitung:	Amt für Wald und Naturgefahren GR
Projektierung / Bauleitung:	Abbacco SA, Lostallo
Geologische Begleitung:	BauGrundRisk GmbH, Chur
Ausführung:	Baumeisterarbeiten Otto Scerri SA, Castione; Bohr- und Ankerarbeiten u. Montage Geotecnica Sagl, Roveredo
Baujahr:	2014/2015

### Funktion / Anwendungsgrenzen

Wiederholte Steinschlagereignisse und schliesslich ein grösserer Blocksturz im November 2012, welcher die starren Holzpalisaden durchschlug, bewog die Betreiber der betroffenen Kantonsstrasse, das Tiefbauamt Graubünden, Massnahmen einzuleiten. Ein geologisches Gutachten zeigte die weitere Exposition sowie aufgrund von Steinschlagsimulationen an zwei Sturzprofilen die Szenarien möglicher Ereignisse auf. In der Folge entschied man sich für die Realisierung eines Schutzdammes sowie von Steinschlagnetzen, um künftig das Risiko akzeptierbar klein zu halten.

Schutzdämme haben bei entsprechendem Aufbau eine gute Energieaufnahmekapazität und wirken mehrheitlich plastisch. Etwas einschränkend ist ihr grosser Platzbedarf. Bei genügend Platz können jedoch fast beliebig grosse Dammbauten mit hoher Schutzfunktion erstellt werden. Durch spezielle Aufbauten kann man auch hohe Schutzwirkung in relativ geringmächtigen Dämmen erreichen. Dazu gehören die Einbindung von Geotextilien, Holzverbundwerken, oder das System «bewehrte Erde», aber auch Werke aus Blocksteinen. Alle diese Massnahmen erhöhen die innere Reibung des Dammkörpers.

Steinschlagnetze wirken ebenfalls dynamisch. Es kommt dadurch zu wesentlich geringeren Belastungsspitzen, als bei starren Werken, wie Palisaden o.ä. Bisweilen liegt die technische Grenze der Energieaufnahme-Kapazität bei 8'000 kJ (System RXE, Geobrugg AG). Prinzipiell können Steinschlagnetze, ungeachtet der Kosten, nahezu an jedem beliebigen Standort erstellt werden, der eine Verankerung zulässt. Allen Steinschlagnetzen ist gemeinsam, dass ihre Stützen einem Restrisiko von Direkt-Treffern ausgesetzt sind. Die Lebensdauer wird bei rund 50 Jahren angenommen, sofern nach rund der halben Lebensdauer die Netze ersetzt werden.

Bei Botegh kam ein 500kJ Netz nach der schweizerischen Typenprüfung (Gerber 2006) zur Anwendung. Diese Typenprüfung ist mittlerweile ausser Kraft und wird neu durch europäische Prüfungen (ETAG 027 u. folgende) ersetzt. Künftig können Bauherren und Anwender Hinweise zum Produktvergleich aus einer neuen Anleitung für die Praxis (Baumann 2018) entnehmen.

## Voraussetzungen Baugrund

Dammbauten brauchen wie erwähnt relativ viel Platz. Bei entsprechender Topografie können sie aber auf fast jedem Baugrund realisiert werden. Bei Schutzdämmen können in der Regel hohe Setzungsraten akzeptiert und in der Planung rechnerisch berücksichtigt werden. Solange die projektierte Wirkungshöhe erhalten bleibt, sollte die Funktion nicht eingeschränkt sein. Befindet sich der Baugrund an Böschungen ist die Böschungstabilität auch mit Auflast nachzuweisen.

Steinschlagnetze werden mit ungespannten Anker und Mikropfählen fundiert. Auch diese Fundationsart ist auf beinahe allen Untergrundarten möglich. Zur Erreichung der nötigen Tragsicherheit (äusserer Tragwiderstand) ist die Ankerlänge so zu wählen, dass die Anker genügend im stabilen Untergrund verankert werden. Weiter muss der Boden injektionsfähig sein, d.h. zwischen Anker, Mörtel und dem umliegenden Baugrund muss ein kraftschlüssiger Verbund erfolgen können. Bei vorhandenen Klüften können für die Vermörtelung Ankerstrümpfe eingesetzt werden, welche einen unerwünschten Mörtelverlust verhindern und eine bessere Verankerung ermöglichen.

Sehr schwierig wird die Verankerung in Rutschhängen mit Gleithorizonten im Bereich der Verankerungslänge, oder in Hängen, die wasserführend sind (Hang- oder Grundwasser, temporär oder dauernd). Auch bieten sehr locker gelagerte Böden oder auch Lockermaterial mit einem hohen Anteil an Ton und Tonmineralien schwierige Verankerungsbedingungen. Daneben gelten Einschränkungen in Grundwasserschutz-Zonen.

## Gesetze / Normen

### Richtlinien

- ASTRA, 2007. Richtlinie Boden- und Felsanker. Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bern, 38 S.
- Baumann R, 2018. Grundlagen für die Qualitätssicherung von Steinschlagschutznetzen und deren Fundation. Anleitung für die Praxis. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Umwelt-Wissen Nr. 1805, Bern 42 S.
- Baumann R, 2016. Typenliste Ankermörtel, Stand September 2016. Umwelt-Vollzug Nr. 1007, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Ittigen, 4 S.
- Gerber W, 2006. Richtlinie über die Typenprüfung von Schutznetzen gegen Steinschlag. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Ittigen, 39 S.

In Bezug auf Ankerarbeiten ist des Weiteren zu beachten:

- Margreth S., 2007: Lawinerverbau im Anbruchgebiet. Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Umwelt-Vollzug Nr. 0704. Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos. 136 S.
- Störi R., 2014: Merkblatt zur Anwendung der erweiterten Zugprobe im Lawinen- und Steinschlagverbau. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Ittigen, 41 S.

### Normen

- SIA 260 Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
- SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke; SIA 261/1 Ergänzende Festlegungen
- SIA 267 Geotechnik; 267/1 Ergänzende Festlegungen



## Projektierung

Normalie / Plan

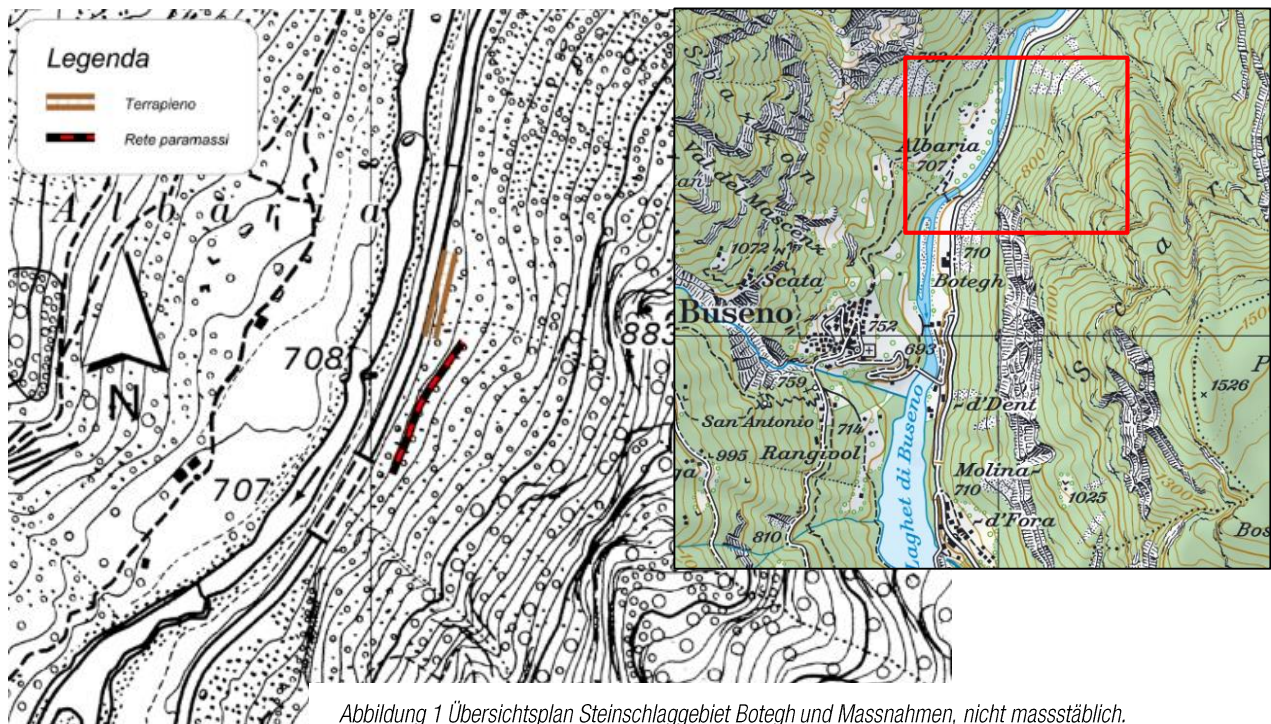


Abbildung 1 Übersichtplan Steinschlaggebiet Botegeh und Massnahmen, nicht massstäblich.

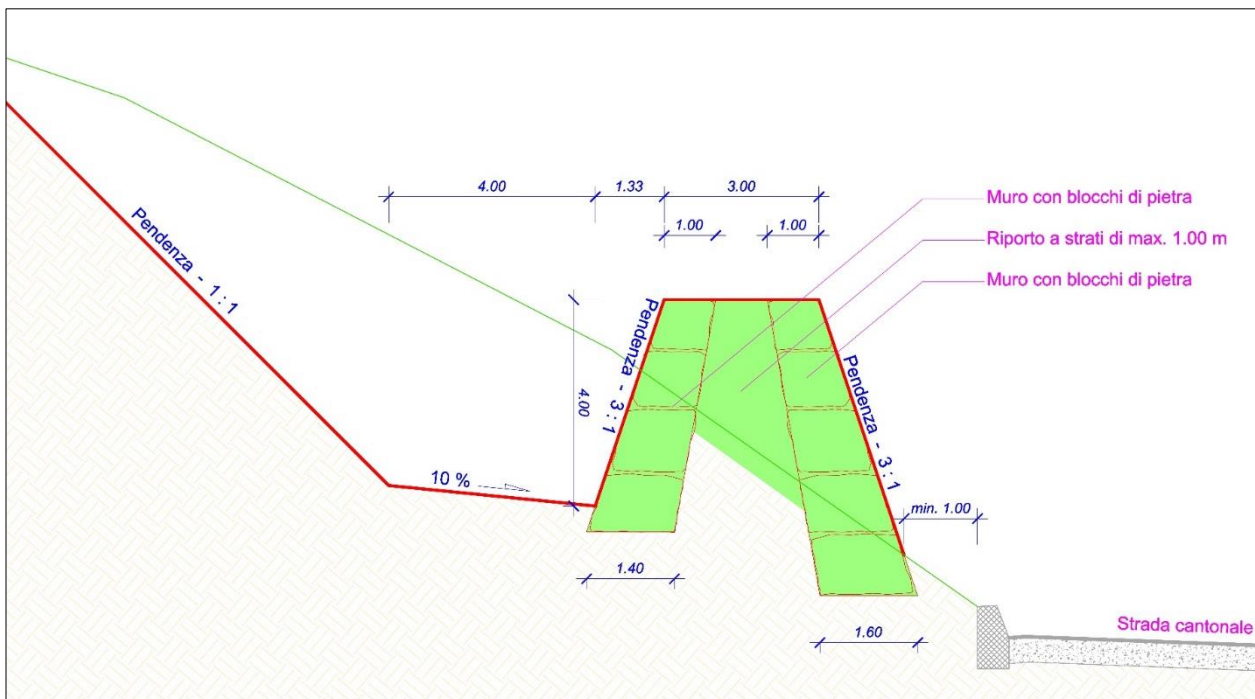


Abbildung 2 Normalie des schliesslich 60 m langen Schutzdammes.

## Tragwerksanalyse

Von oberhalb 800 m.ü.M. sammelt sich Steinschlag in einem Einzugsgebiet von knapp 200 m Breite und wird über die aus der Hangfalllinie nach NW abgewinkelten Felsrinne im Bereich der Kantonsstrasse auf eine Breite von < 100 m Breite kanalisiert.

Spuren einer alten Murgangrinne sind im Gelände ~ 20 m südlich des frischen Schuttkegels erkennbar. Die Materialmobilisierung stammt mutmasslich aus der breiten Felswand und gehen auf





seltene Konstellationen von Extremniederschlägen zurück. Aufgrund der Randbedingungen vermögen solche künftig nicht viel Material zu mobilisieren.

Einwirkungen: Aufgrund der Ereignisdokumentation und anhand stummer Zeugen wurden Sturzblockgrößen und –formen für die Simulation definiert. Grossmehrheitlich sind Blöcke bis  $0.25\text{m}^3$  und nur einzelne grössere bis max.  $1.3\text{m}^3$  zu erwarten. An zwei Profilen wurden anschliessend zwei, respektive drei Szenarien formuliert und modelliert (pro Berechnung 1000 Blöcke – massgebend das 95% Quantil der auftretenden Energien).

Tabelle 1 Simulationsergebnisse, Software Rocfall V4.0

Profil	Szenario	Blockgrösse [m <sup>3</sup> ]	Energie [kJ]		Sprunghöhe [m]		Bemerkung
			95% Quantil	Max.	95% Quantil	Max.	
P1	SZ <sub>01</sub>	0.25	< 300	< 700	< 1	< 5.5	
	SZ <sub>10</sub>	1.0	< 1'000	< 2'500	< 1	< 8	
	SZ <sub>30</sub>	2.0	< 2'000	> 3'000	< 1	< 8	
P2	SZ <sub>10</sub>	0.25	< 300	< 600	< 3	< 7	
	SZ <sub>30</sub>	0.5	< 600	< 1'200	< 4	< 6	

Sturzbahnsimulationen beruhen auf Vereinfachungen im Berechnungsmodell und auf meist pauschalisierten Annahmen der Eingabeparameter und sind daher Abschätzungen. Ein Umstand, den es bei der Dimensionierung von Schutzbauten entsprechend zu berücksichtigen gilt. Vorliegend boten vermutlich die abrupten Richtungsänderungen in der Runse Grund für Schwierigkeiten, die reale Ablagerung im Modell nachzuvollziehen.

#### Tragwerksmodell:

Ein Schutzdamm von 4 m Höhe vermag fast 100 % aller Sturzblöcke in P1 zurückzuhalten. In den grobblockigen Schuttablagerungen kann zur Ausbildung des Auffangraumes aus geotechnischer Sicht eine Böschungsneigung von 1:1 als dauerhaft standfest betrachtet werden. Falls die Böschung lokal leicht nachbricht, wirkt sich dies kaum nachteilig auf die Sturzbahnen aus. Der Dammaufbau entspricht der Abbildung 1 und gehört mit den beidseitigen Blockmauern zu den eher starren Schutzdämmen. Dies wurde vor allem aus Platzgründen so gewählt, ist für den Energieabbau aber ungünstig (Kister, Lambert 2017). Seine Länge wurde auf 60m festgelegt. Falls auf einen Damm verzichtet worden wäre, wäre im unteren Teil des Schuttkegels des Profils P1 ein Netz von ~ 1'500 kJ erforderlich gewesen.

In P2 konnten im Schuttkegel oberhalb der Strasse Schutznetze platziert werden. Zwischen dem frischen Schuttkegel und der Galerie bot auf Höhe ~ 720 m.ü.M. ein leichter Geländeknick einen bevorzugten Netzstandort. Für das 30-jährige Ereignis genügt bei Profil P2 voraussichtlich ein Netz von 500 kJ, das auf knapp hundert Meter Länge realisiert wurde.

#### Bemessung

Die Sprunghöhen und Energien an den Bauwerksstandorten sind in Tabelle 1 aufgeführt.

#### Dammbemessung

Vorerst wird die Tragsicherheit des Dammes nach SIA 267 ohne Steinschlageinwirkung nachgewiesen. Weiter ist die Tragsicherheit im Lastfall des vorgängig definierten Bemessungsereignisses nachzuweisen. Ansätze bilden bspw. die Methoden Gerber und Volkwein (2012) oder Hofmann und Molk (2012). Aktuell laufen Studien zur Weiterentwicklung des methodischen Vorgehens.

Der Nachweis der Gebrauchstauglichkeit schliesst Überrollen oder-springen aus. Dies wird mit Hilfe geeigneter Simulationsmodelle erbracht.

#### Netzbemessung

Die oben genannten Werte bestimmen die erforderliche Höhe und Energieklasse des Netzes. Da es sich bei Steinschlag-Schutznetzen um homologierte Systemwerke handelt, ist weiter nur die Verankerung zu bemessen. Dies geschieht mittels vorgängigen Ausziehversuchen und Zugproben, nach der Ausführung. Sehr wichtig ist die Platzierung und richtige Montage im Gelände.



#### Quellangaben:

Gerber, W., & Volkwein, A. (2012). Fallversuche auf Bodenmaterial: Messung der Verzögerung. In G. Koboltschnig, J. Hübl, & J. Braun (Eds.), 12th congress interpraevent conference proceedings (pp. 143-149). Klagenfurt: International Research Society Interpraevent.

Hoffmann R., Mölk M., 2012. Bemessungsvorschlag für Steinschlagschutzdämme. Geotechnik, 35 (1), 22-33.

Kister B., Lambert S. 2017: Analysis of Existing Rockfall Embankments of Switzerland (AERES). Federal Office for the Environment, Bern, 166 p.

Ø Kosten pro Einheit	Damm	Total	pro m
	Kostenvoranschlag	Fr. 450'000	Fr. 6'925
	Abrechnung (inkl. Pr. u. BL.)	Fr. 411'180	Fr. 6'853
	<b>Steinschlagnetz</b>	<b>Total</b>	<b>pro m</b>
	Kostenvoranschlag	Fr. 250'000	Fr. 2'600
	Abrechnung (inkl. Pr. u. BL.)	Fr. 184'775	Fr. 1'925

Tun und Vermeiden Engmaschigeres Netz auf dem eigentlichen Steinschlagschutznetz verhindert das Durchkommen kleiner Steine.

#### Materialien

Namen	Steinschlagnetz	Geobrugg Typ RXE 500
	Stabanker	Swiss Gewi, Ø 28 mm
	Seilanker	Geobrugg div.
	Blocksteine	Calanca Gneis, Alfredo Polti SA
	Hinterfüllung	vorhandenes Material, skelettreich
NPK Kapitel / Position	214.612 und 214.67X Lieferungen, 214.77X Bohr- und Versetzarbeiten und 214.712 Montage 211.63X Schutzdammbau, allenfalls 181.535 Blocksteinmauern	
Mindestanforderungen	Sind definiert durch Ausziehversuche, und Norm Blocksteine müssen genügend lagerfähig sein (Kraftschlüssige Schichtung) Hinterfüllungsmaterial sollte durchlässig sein	
Verarbeitung Tipp	Blocksteinlieferungen zu Beginn prüfen und abnehmen (schon so ausschreiben). Wasserableitung aus dem Auffangraum, dass kein Wasser gestaut und der Damm oder die Aufstandsfläche gesättigt wird.	
Ø Menge pro Einheit	~16 m <sup>3</sup> /m Blocksteine und ~ 8m <sup>3</sup> /m Hinterfüllungsmaterial (mehr wäre besser)	

#### Mittel

Maschinen	Hydraulik- Raupenbagger 32t, Leichtbohrlafette, Kompressor >7 bar u 10m <sup>3</sup>
Geräte	Mörtelpumpe

#### Installation



Vorgängige Felsreinigung, Strassensicherheit organisieren (Einspurige Verkehrsführung und temporäre Sperrungen), Zur Vermeidung häufiger Sturzereignisse während der Bauzeit, diese zwischen Mai und Ende September ansetzen. Maschinen und Geräte ausserhalb der Gefahrenzone positionieren und bei Arbeitsunterbruch abstellen.

## Ausführung

Absteckung	Das Netz gemäss Systemlieferant durch den Unternehmer, den Damm gemäss Plänen
Erdarbeiten	Blockiges Material machten die Arbeiten schwieriger. Grössere Maschinen kommen in solchen Bedingungen besser voran.
Arbeitsschritte	Felsreinigung und Holzerei zur Bauflächenvorbereitung Ausziehversuche Temporäre Sicherheitseinrichtungen (Stahlpalisaden) Erdarbeiten und Dammbau Bohr- und Ankerarbeiten (mit Zugproben) Netzmontage
Tun und Vermeiden	-
Abschlussarbeiten	Begrünung der Krone und allenfalls der neuen Böschungen
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

betrieblich	Kontrolle der Werke, Reinigung von kleineren Sturzkörpern und -material
baulich	Ersatz von grösseren Komponenten oder ganzen Abschnitten, Instandsetzung des Dammes

## Rückbau

Die Werke sind mit Ausnahme der Anker ohne bedenkliche Abfälle rückbaubar. Die Komponenten können alle wiederverwendet werden.

### 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 (aus dem Projekt oder TBA GR)



Abbildung 3 Ausbruchgebiet vom 12.12.2012 und potentielle Liefergebiete (gestrichelt).



Abbildung 4 Übergang Felswand in das 32° geneigte Blockschuttfeld.



Abbildung 5 Viele Blöcke werden bis hierhin schon zerschlagen bis grossmehrheitlich  $< 0.25 \text{ m}^3$ .



Abbildung 6 Die Ausbruchsstelle mit weiteren losen Partien.





Abbildung 7 Vorerst schlagen Sturzblöcke vorwiegend auf Fels auf.



Abbildung 8 a und b Blöcke weisen nur einzeln Grössen über  $0.25 \text{ m}^3$  auf, bis maximal  $1.0 \text{ m}^3$ .

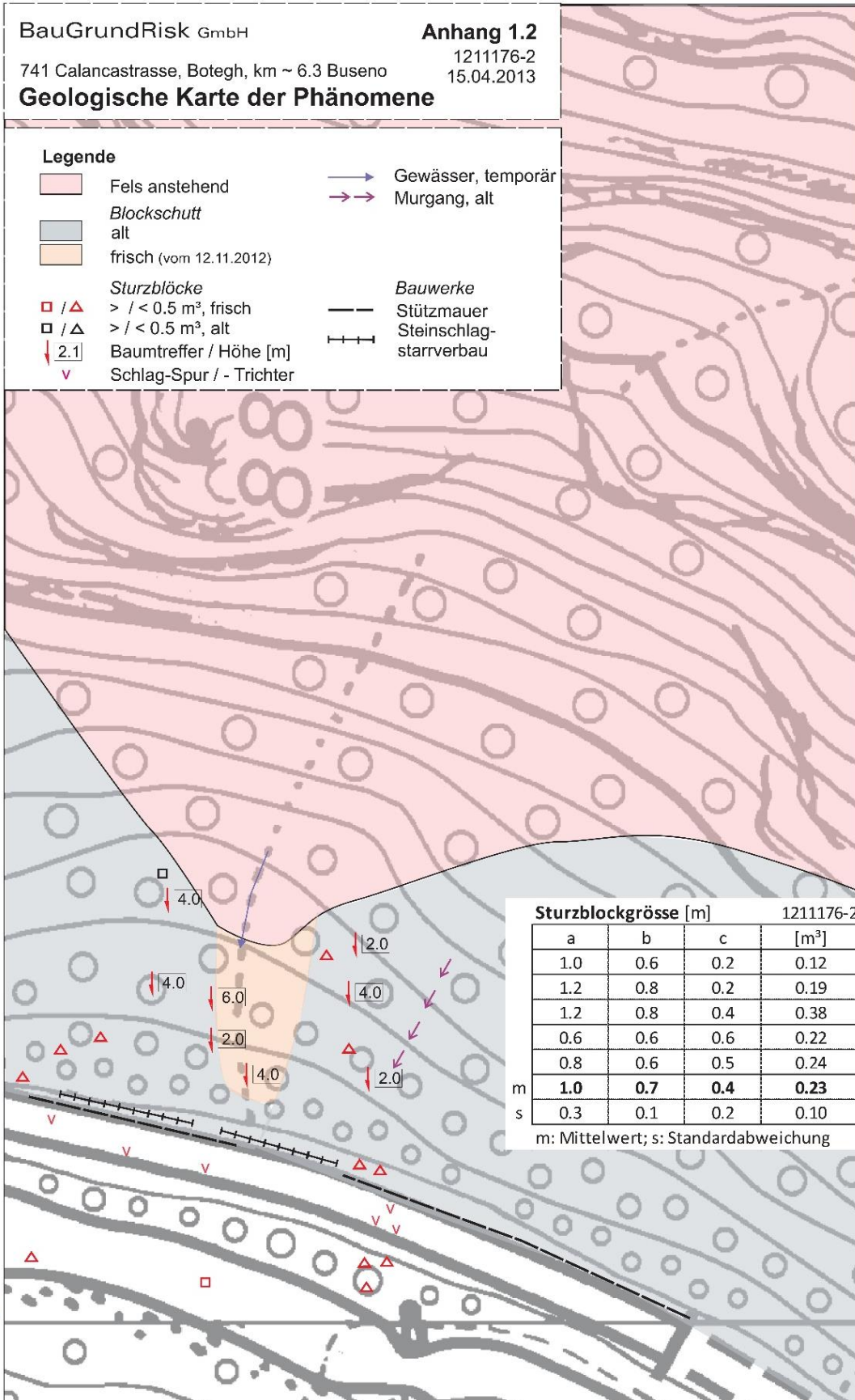


Abbildung 9 Geplante Massnahmen schematisch skizziert.





Geodatendrehscheibe Graubünden



Massstab 1:1000

Druckdatum: 10.03.2013

Die Daten haben keine rechtliche Gültigkeit. Verantwortliche Auskünfte erlenen ausschliesslich die zuständige Dienststelle des Datenanbietens. Angaben zum Datenanbietensstand sind unter [www.geogr.ch/natzauboo](http://www.geogr.ch/natzauboo).

Abbildung 10 Karte der Phänomene.



Geodatendrehscheibe Graubünden



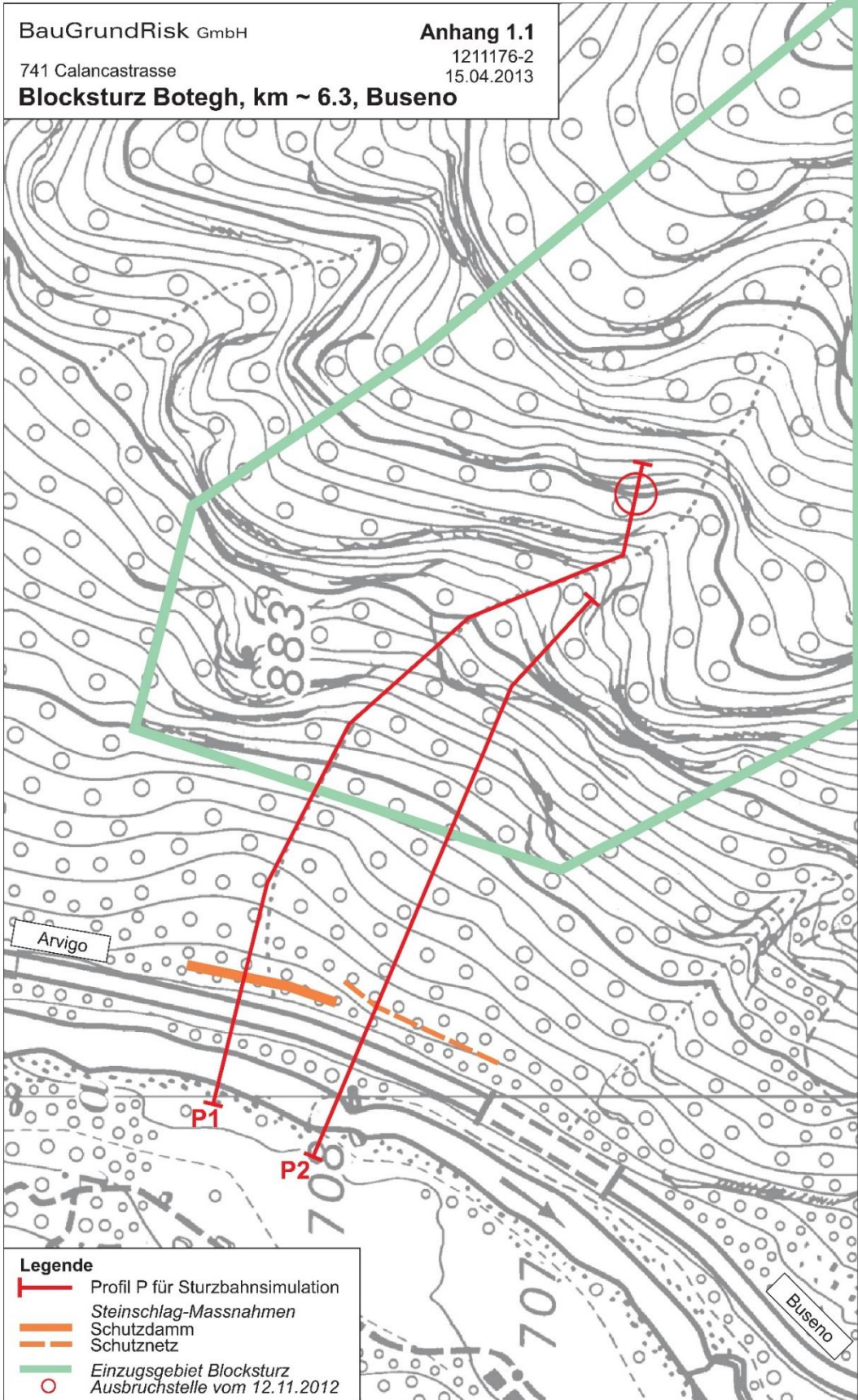
BauGrundRisk GmbH  
741 Calancastrasse  
**Blocksturz Botegh, km ~ 6.3, Buseno**

**Anhang 1.1**  
1211176-2  
15.04.2013



Massstab 1:2000

Druckdatum: 10.03.2013



729'000

Das Urheberrecht an diesem Plan und den dargestellten Daten gehört der GeoGR und den Dateneigentümern. Die Darstellung basiert auf den der GeoGR gelieferten Daten. Die Daten haben keine rechtliche Gültigkeit. Verbindliche Auskünfte erteilen ausschliesslich die zuständigen Dienststellen des Dateneigentümers. Angaben zum Dateneigentümer und zum Nachfrüherungsstand sind unter [www.geo.gr.ch](http://www.geo.gr.ch) nachzulesen.

Abbildung 11 Profile der Sturzbahnsimulationen.





Abbildung 12 Vollendete Massnahmen: Blockmauer umrahmter Schutzdamm und im Hintergrund die Schutznetze sowie ältere Palisaden aus Holz. TBA GR



Abbildung 13 Steinschlagdamm Botegh



Abbildung 14 Steinschlagnetze Botegh





## Diga di protezione da caduta massi Botegh, Buseno

### Diga di contenimento e rete di protezione contro la caduta di sassi e blocchi

-Protezione della strada cantonale



Diga, reti di protezione e vecchie palizzate sulla strada cantonale 741

### Luogo d'esecuzione dell'oggetto / Progettista

Luogo:	Buseno, Botegh (2 729 054 / 1 126 580)
Committente:	Ufficio tecnico GR
Direzione progetto:	Ufficio foreste e pericoli naturali GR
Progettazione e direzione lavori:	Abbacco SA, Lostallo
Monitoraggio geologico:	BauGrundRisk GmbH, Chur
Esecuzione:	lavori edili: Otto Scerri SA, Castione; foratura, ancoraggi e montaggio: Geotecnica Sagl, Roveredo
Realizzazione:	2014/2015

### Funzione / Limite d'impiego

Le ripetute cadute di massi e una grande frana (caduta a novembre 2012) che ha rotto le rigide palizzate di legno, hanno spinto i gestori della strada cantonale interessata e l'Ufficio tecnico dei Grigioni a prendere dei provvedimenti. Un rapporto geologico ha rivelato il pericolo e, sulla base di simulazioni di caduta massi su due profili di caduta, gli scenari dei possibili eventi. Di conseguenza, è stata presa la decisione di costruire una diga di contenimento in combinazione a delle reti paramassi per mantenere in futuro il rischio di catastrofi ad un livello accettabile.

Con una costruzione adeguata, le dighe di protezione hanno una buona capacità di assorbimento di energia e nella maggior parte dei casi hanno un effetto plastico. La loro grande necessità di spazio per la costruzione risulta spesso un fattore limitante. Se c'è spazio sufficiente, tuttavia, si possono costruire dighe di quasi tutte le dimensioni con un'elevata funzione protettiva. Tramite la costruzione di strutture speciali, è possibile fornire un alto livello di protezione anche con delle dighe relativamente piccole. Questo include l'integrazione di geotessili, opere in legno, il sistema "terra rinforzata", ma anche costruzioni in blocchi di pietra. Tutte queste misure aumentano l'attrito interno del corpo della diga.

Anche le reti di protezione da caduta massi hanno un effetto dinamico. Questo si traduce in picchi di carico significativamente più bassi rispetto a strutture rigide come le palizzate o simili. Il limite tecnico della capacità di assorbimento di energia è solitamente di 8'000 kJ (System RXE, Geobrugg AG). In linea di principio, senza considerare i costi, le reti da caduta massi possono essere installate in quasi tutti i punti che permettono l'ancoraggio. Ciò che tutte le reti da roccia hanno in comune è che i loro supporti (Stützen) sono esposti ad un rischio residuo di urti diretti. Si presume che la durata di vita utile sia di circa 50 anni, a condizione che le reti vengono sostituite dopo circa la metà della vita utile.

A Botegh è stata installata una rete da 500kJ con omologazione svizzera (Gerber 2006). Attualmente questo riconoscimento è ormai scaduto e sarà sostituito da prove europee (ETAG 027 e seguenti). In futuro, i committenti e gli utilizzatori potranno ottenere informazioni sui confronti dei prodotti da un nuovo manuale d'uso pratico (Baumann 2018).

## Condizioni del terreno

Come già spiegato in precedenza, la costruzione di dighe richiede uno spazio relativamente grande. Con la giusta topografia, tuttavia, possono essere costruite su quasi tutti i terreni. Nelle dighe di protezione, in linea di massima, si possono accettare elevati tassi di assestamento che vanno però presi in considerazione durante la progettazione. Finché è mantenuta l'altezza effettiva progettata, la funzione di protezione non dovrebbe essere limitata. Se le basi della costruzione si trovano su dei terrapieni, deve essere verificata anche la stabilità del sottosuolo.

Le reti da caduta massi vengono consolidate con ancoraggi e micropali non in tensione. Anche questo tipo di fondazione è possibile su quasi tutti i tipi di sottosuolo. Per ottenere la necessaria sicurezza di carico (resistenza al carico esterno), la lunghezza dell'ancoraggio deve essere scelta in modo che gli ancoraggi siano sufficientemente ancorati nel sottosuolo stabile. Inoltre, il terreno deve essere iniettabile, ossia deve essere possibile ottenere un legame di bloccaggio forzato tra l'ancoraggio, la malta e il terreno di costruzione circostante. In caso di presenza di fessure, possono essere utilizzate delle boccole di ancoraggio (Ankerstrümpfe), che prevengono perdite indesiderate di malta e consentono un migliore ancoraggio.

L'ancoraggio diventa molto difficile nei pendii instabili con orizzonti scorrevoli nella zona della lunghezza dell'ancoraggio, o nei pendii che portano acqua (acqua di pendio o freatica, temporanea o permanente). Terreni molto sciolti o materiale sciolto con un'alta percentuale di argilla e minerali argillosi offrono anche difficili condizioni di ancoraggio. Inoltre nelle zone di protezione delle acque sotterranee vigono delle restrizioni.

## Leggi / Norme

### Direttive

- ASTRA, 2007. Richtlinie Boden- und Felsanker. Bundesamt für Strassen (ASTRA), Bern, 38 S.
- Baumann R, 2018. Grundlagen für die Qualitätssicherung von Steinschlagschutznetzen und deren Fundation. Anleitung für die Praxis. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Umwelt-Wissen Nr. 1805, Bern 42 S.
- Baumann R, 2016. Typenliste Ankermörtel, Stand September 2016. Umwelt-Vollzug Nr. 1007, Bundesamt für Umwelt (BAFU), Ittigen, 4 S.
- Gerber W, 2006. Richtlinie über die Typenprüfung von Schutznetzen gegen Steinschlag. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Ittigen, 39 S.

In Bezug auf Ankerarbeiten ist des Weiteren zu beachten:

- Margreth S., 2007: Lawinerverbau im Anbruchgebiet. Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Umwelt-Vollzug Nr. 0704. Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL Eidgenössisches Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos. 136 S.
- Störi R., 2014: Merkblatt zur Anwendung der erweiterten Zugprobe im Lawinen- und Steinschlagverbau. Bundesamt für Umwelt (BAFU), Ittigen, 41 S.

### Norme

- SIA 260 Grundlagen der Projektierung von Tragwerken
- SIA 261 Einwirkungen auf Tragwerke; SIA 261/1 Ergänzende Festlegungen
- SIA 267 Geotechnik; 267/1 Ergänzende Festlegungen



## Progettazione

### Piani tipo / Piani

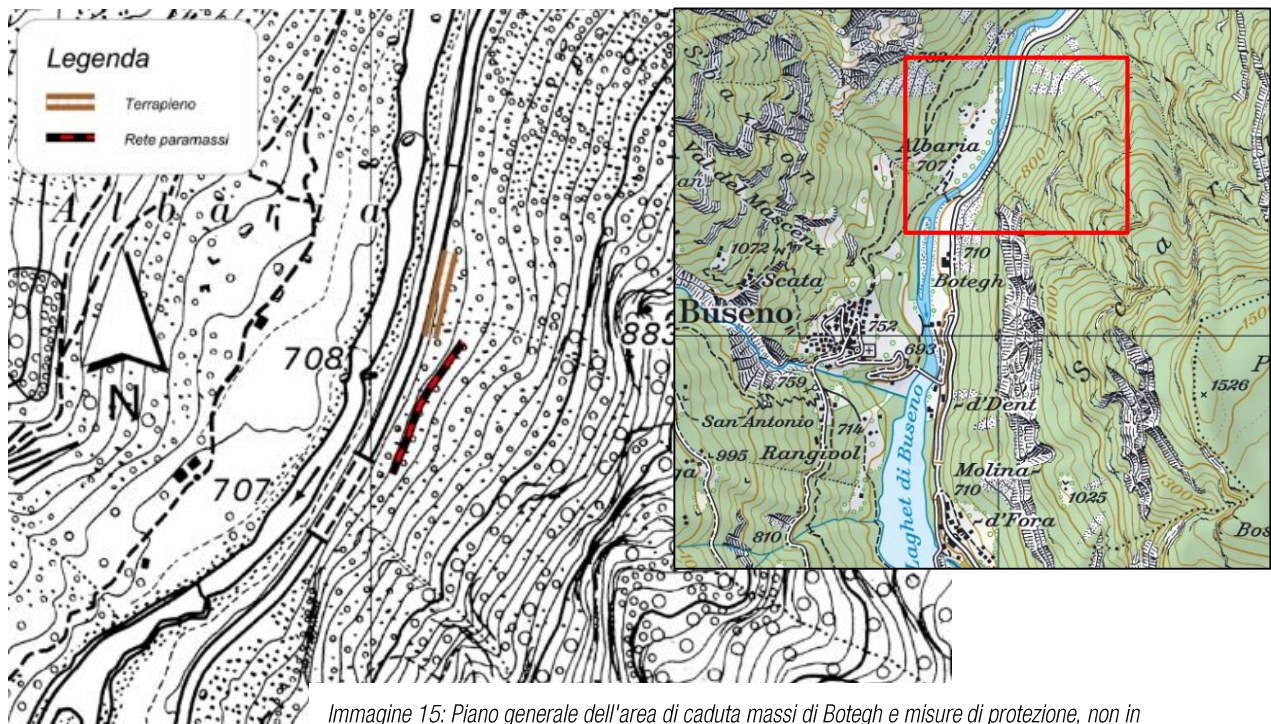


Immagine 15: Piano generale dell'area di caduta massi di Botegh e misure di protezione, non in scala.

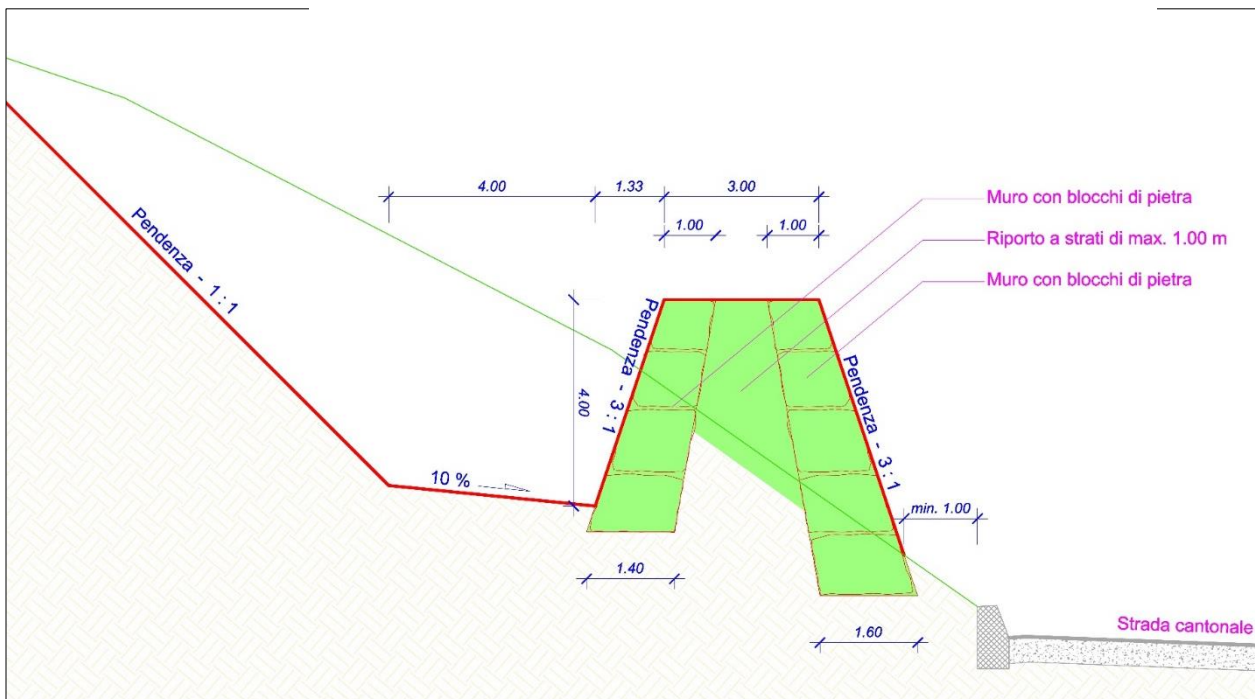


Immagine 16: Piano tipo della diga di contenimento lunga 60 m.

### Analisi strutturale

Da sopra gli 800 m.s.l.m. la caduta sassi si raccoglie in un bacino idrografico di quasi 200 m di larghezza e viene convogliata attraverso il canale roccioso inclinato a NO nella zona della strada cantonale su una larghezza di circa 100 m.

Tracce di un vecchio canale di flusso detritico sono visibili sul terreno ~ 20 m a sud della pietraia fresca. Il materiale crollato proviene presumibilmente dall'ampia parete rocciosa ed è dovuto a rari





insiemi di precipitazioni estreme. A causa delle condizioni attuali, in futuro la parete non dovrebbe essere in grado di mobilitare grandi quantità di materiale.

Effetti: sulla base della documentazione degli eventi e dei detriti presenti sul terreno, sono state definite le dimensioni e le forme dei blocchi da utilizzare per la simulazione di caduta massi. La maggior parte dei blocchi raggiunge dimensioni fino al massimo 0,25 m<sup>3</sup>, solo alcuni hanno grandezze maggiori ma non superano il volume di 1,3 m<sup>3</sup>. In seguito sono stati formulati e modellati su due profili di caduta diversi 2 e rispettivamente 3 possibili scenari (1000 blocchi per calcolo – determinante è il 95% quantile delle energie presenti).

Le simulazioni di caduta massi si basano su semplificazioni del modello di calcolo e su ipotesi per lo

Tabella 2 Risultati della simulazione, Software Rocfall V4.0

Profil	Szenario	Block-grösse [m <sup>3</sup> ]	Energie [kJ]		Sprunghöhe [m]		Bemerkung
			95% Quantil	Max.	95% Quantil	Max.	
P1	SZ <sub>01</sub>	0.25	< 300	< 700	< 1	< 5.5	
	SZ <sub>10</sub>	1.0	< 1'000	< 2'500	< 1	< 8	
	SZ <sub>30</sub>	2.0	< 2'000	> 3'000	< 1	< 8	
P2	SZ <sub>10</sub>	0.25	< 300	< 600	< 3	< 7	
	SZ <sub>30</sub>	0.5	< 600	< 1'200	< 4	< 6	

più generalizzate dei parametri dei dati immessi e sono quindi delle stime. Questa è una condizione che deve essere presa in considerazione nella determinazione delle dimensioni delle opere di premunizione. Probabilmente i bruschi cambiamenti di direzione nel canale hanno causato difficoltà nella riproduzione sul modello della reale deposizione dei detriti.

Modello strutturale:

Una diga di protezione alta 4 m è in grado di trattenere quasi il 100% di tutti i blocchi del profilo 1 (P1). Da un punto di vista geotecnico, una scarpata con pendenza a 1:1 può essere considerata permanentemente stabile come bacino di raccolta nel deposito di detriti di blocchi grossolani. Anche se l'argine presenta localmente delle piccole rotture, esse non dovrebbero causare quasi nessun effetto negativo sull'efficacia dell'opera. La struttura della diga corrisponde alla Figura 1 e, con le pareti a blocchi su entrambi i lati, è una delle dighe di protezione più rigide. Questo è stato scelto principalmente per motivi di spazio, ma non è favorevole all'assorbimento e alla riduzione dell'energia (Kister, Lambert 2017). La lunghezza dell'opera in questione corrisponde a 60m. Se l'opzione di costruire questa diga fosse stata scartata, sarebbe stata necessaria una rete paramassi di ~ 1.500 kJ nella parte inferiore della pietraia del profilo P1.

Nel profilo P2, le reti paramassi possono essere posizionate nel deposito di detriti sopra la strada. Tra la pietraia fresca e la galleria una leggera angolazione del terreno ad un'altitudine di ~ 720 m s.l.m. offre una buona posizione per l'installazione delle reti. Per un evento trentennale, lungo il profilo P2, è risultata sufficiente una rete di 500 kJ che è stata realizzata su una lunghezza di quasi cento metri.

## Dimensionamento

Le altezze degli sbalzi e le energie nella zona di costruzione dell'opera sono elencate nella tabella 1.

### Dimensionamento della diga

Inizialmente sarà verificata la sicurezza portante della diga secondo la norma SIA 267 senza l'effetto di caduta massi. Successivamente deve essere verificata la sicurezza di portata nel caso di carico secondo le dimensioni dell'evento definite precedentemente. I procedimenti sono, ad esempio, i metodi Gerber e Volkwein (2012) o Hofmann e Molk (2012). Sono attualmente in corso studi per sviluppare ulteriormente il metodo di procedimento.

La prova di idoneità dell'opera esclude il sovraccarico o il salto. Ciò si ottiene con l'aiuto di appropriati modelli di simulazione.

### Dimensionamento della rete

I valori elencati sopra determinano l'altezza richiesta e la classe energetica della rete. Poiché le reti paramassi sono strutture omologate, rimane solamente da calcolare le dimensioni degli ancoraggi. Questo viene fatto per mezzo di prove di estrazione (Ausziehversuche: prove per testare la resistenza del terreno e determinare la lunghezza e dimensione degli ancoraggi) e prove di trazione dopo l'esecuzione (Zugproben: prove di trazione fino all'80% della resistenza richiesta per testare la qualità degli ancoraggi). Molto importante è il posizionamento e il corretto montaggio sul terreno.



#### Riferimenti bibliografici:

Gerber, W., & Volkwein, A. (2012). Fallversuche auf Bodenmaterial: Messung der Verzögerung. In G. Koboltschnig, J. Hübl, & J. Braun (Eds.), 12th congress interpraevent conference proceedings (pp. 143-149). Klagenfurt: International Research Society Interpraevent.

Hoffmann R., Mölk M., 2012. Bemessungsvorschlag für Steinschlagschutzdämme. Geotechnik, 35 (1), 22-33.

Kister B., Lambert S. 2017: Analysis of Existing Rockfall Embankments of Switzerland (AERES). Federal Office for the Environment, Bern, 166 p.

#### Ø costi per unità

<b>Diga</b>	<b>Totale</b>	<b>per m</b>
Stima dei costi	Fr. 450'000	Fr. 6'925
Consuntivo (incl. Prog. e DI.)	Fr. 411'180	Fr. 6'853

<b>Rete</b>	<b>Totale</b>	<b>per m</b>
Stima dei costi	Fr. 250'000	Fr. 2'600
Consuntivo (incl. Prog e DI.)	Fr. 184'775	Fr. 1'925

#### Fare ed evitare

Una rete a maglia più stretta sulla rete di protezione contro la caduta massi impedisce il passaggio di piccole pietre.

#### Materiali

Denominazione	Rete da caduta massi	Geobrugg Typ RXE 500
	Ancoraggio a stelo	Swiss Gewi, Ø 28 mm
	Ancoraggio a fune	Geobrugg div.
	Blocchi di pietra	Calanca Gneis, Alfredo Polti SA
	Materiale di riempimento	Materiale disponibile, ricco di scheletro
Capitolo CPN / posizioni	214.612 und 214.67X Lieferungen, 214.77X Bohr- und Versetzarbeiten und 214.712 Montage 211.63X Schutzdammbau, allenfalls 181.535 Blocksteinmauern	
Requisiti minimi	Sono definiti da prove di estrazione (Ausziehversuche) e norme I blocchi di pietra devono essere sufficientemente resistenti (stratificazione negativa). il materiale di riempimento dovrebbe essere permeabile	
Consigli d'esecuzione	All'inizio dei lavori controllare e esaminare le consegne dei blocchi di pietra (descrivere già in questo modo nel bando di concorso). Evacuare l'acqua dalla camera di raccolta in modo da evitare accumuli e una conseguente saturazione della diga o della superficie di contatto.	
Ø Quantità per unità	~16 m <sup>3</sup> /m di blocchi di pietra e ~ 8m <sup>3</sup> /m di materiale di riempimento (sarebbe meglio di più)	

#### Mezzi

Macchine	Escavatore cingolato 32t, impianto di perforazione leggera, compressore >7 bar u 10m3
Attrezzi	Pompa per la malta

#### Installazione



Pulizia preliminare delle rocce e organizzazione della sicurezza stradale (gestione del traffico a corsia unica e chiusure temporanee). Per evitare possibili cadute durante il periodo di costruzione, programmare l'esecuzione dei lavori tra maggio e la fine di settembre. Posizionare le macchine e le attrezzature al di fuori dell'area di pericolo e spegnerle in caso di interruzione del lavoro.

## Esecuzione

Picchettazione	Le reti devono essere installate da parte dell'impresa secondo le indicazioni del fornitore mentre la diga deve essere costruita secondo i piani
Lavori di scavo	Il materiale composto da blocchi rende il lavoro più difficile. In queste condizioni delle macchine più grandi agevolano i lavori.
Fasi di lavoro	Pulizia delle rocce e taglio alberi per la preparazione delle aree di costruzione Prove di estrazione (prove per testare la resistenza del terreno e determinare la lunghezza e dimensione degli ancoraggi) Dispositivi temporanei di sicurezza (palizzate in acciaio) Lavori di scavo e costruzione della diga Lavori di foratura e ancoraggio (con prove di trazione) Installazione delle reti
Fare ed evitare	-
Lavori finali	Rinverdimento della corona e, se necessario, anche delle nuove scarpe
Sicurezza	Aspetti particolari di sicurezza da considerare:

- |                                     |  |   |
|-------------------------------------|--|---|
| 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)                       |

## Conservazione dell'opera

operativa	Controllo dell'opera, pulizia e rimozione del materiale e dei piccoli blocchi caduti
strutturale	Sostituzione di grandi componenti o sezioni intere, riparazione della diga





## Smantellamento

Fatta eccezione degli ancoraggi, le opere possono essere smantellate senza rifiuti pericolosi. Tutti i componenti sono riutilizzabili.

### Esonero:

Questa documentazione è una relazione sul campo di un progetto edilizio realizzato concretamente. Dovrebbe mostrare ai pianificatori e agli esecutori possibili soluzioni, aiutandoli a pensare alle relative procedure e fornire consigli per un'attuazione analoga. Sebbene la presente documentazione sia stata redatta con la massima cura, essa può contenere errori e non viene fornita alcuna dichiarazione o garanzia, esplicita o implicita, circa l'accuratezza o l'affidabilità dei dati. Il centro per il genio forestale non si assume alcuna responsabilità per la correttezza, la completezza e la scelta dei contenuti. Se le informazioni sono utilizzate per scopi propri, devono essere rispettati gli standard superiori e le informazioni devono essere adattate alla situazione dell'utente.

L'utilizzo dei dati è quindi a rischio e pericolo dell'utente. In particolare, il centro per il genio forestale non è responsabile se l'utente agisce o si astiene dal fare affidamento sulla correttezza e completezza del contenuto e se ne subisce un danno come segue.



Immagini (provenienti dal progetto o dall'ufficio tecnico GR)



Immagine 17: Zona di stacco del 12.12.2012 e potenziali aree di crollo (cerchi tratteggiati).



Immagine 18: Parete rocciosa in zona di transizione con deposito di detriti (pendenza del terreno di 32°).



Immagine 19: Molti blocchi, durante la caduta fino al punto rappresentato nella foto, vengono già frantumati ad una dimensione di  $< 0,25 \text{ m}^3$ .



Immagine 20: Zona di stacco con ulteriori blocchi sciolti.





*Immagine 21: All'inizio della caduta i blocchi colpiscono principalmente la roccia.*



*Immagine 22 a / b: Solo singoli blocchi hanno dimensioni superiori a  $0,25 \text{ m}^3$ , fino ad un massimo di  $1,0 \text{ m}^3$ .*



*Immagine 23: Misure pianificate schizzate schematicamente.*





Geodatendrehscheibe Graubünden

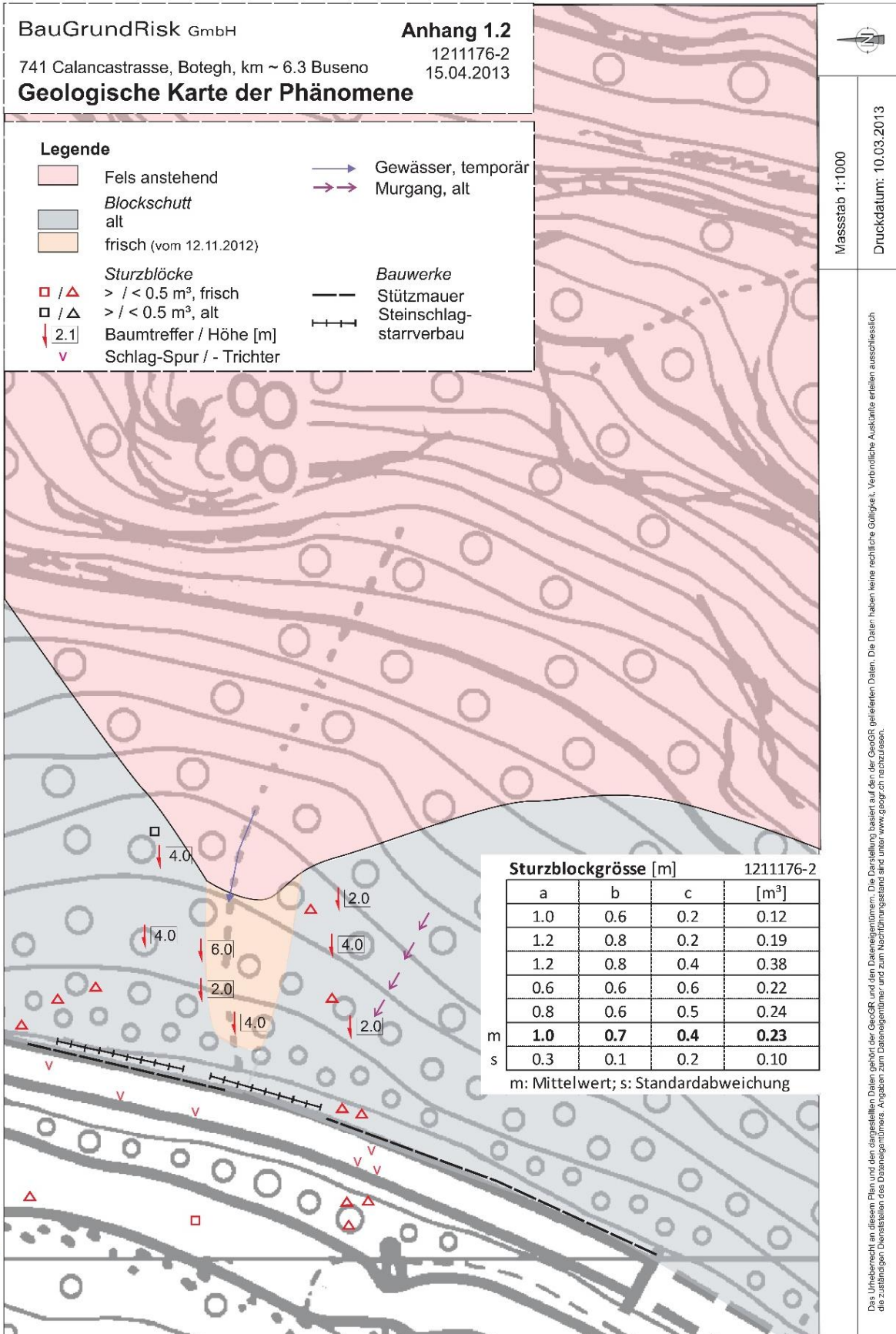


Immagine 24: Carta dei fenomeni.



Geodatendrehscheibe Graubünden



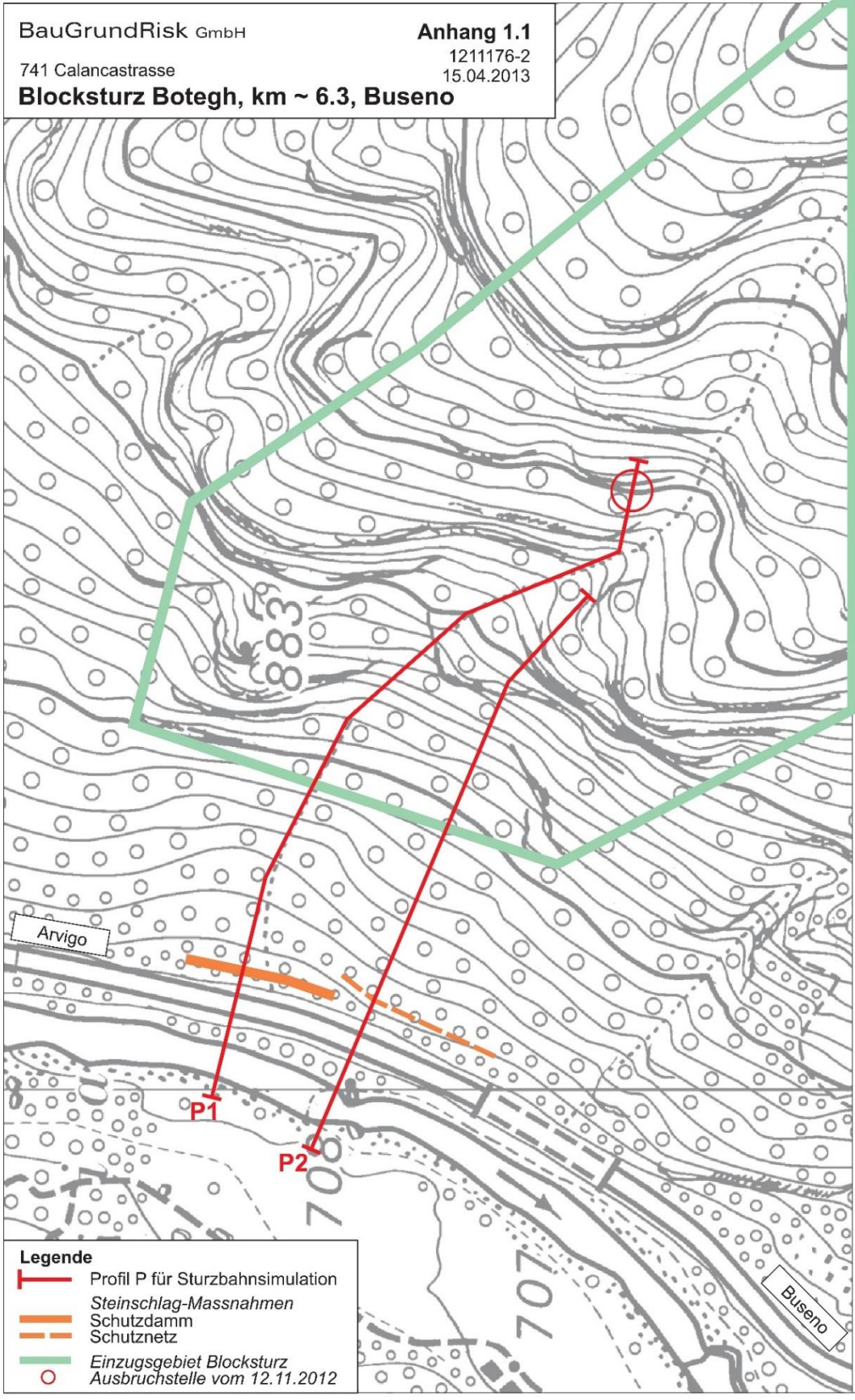
BauGrundRisk GmbH  
741 Calancastrasse  
**Blocksturz Botegh, km ~ 6.3, Buseno**

**Anhang 1.1**  
1211176-2  
15.04.2013



Massstab 1:2000

Druckdatum: 10.03.2013



- Legende**
- Profil P für Sturzbahnsimulation
  - Steinschlag-Massnahmen
  - Schutzdamm
  - - - Schutznetz
  - Einzugsgebiet Blocksturz
  - Ausbruchstelle vom 12.11.2012

729'000

Das Urheberrecht an diesem Plan und den dargestellten Daten gehört der GeoGR und den Dateneigentümern. Die Darstellung basiert auf den der GeoGR gelieferten Daten. Die Daten haben keine rechtliche Gültigkeit. Verbindliche Auskünfte erteilen ausschliesslich die zuständigen Dienststellen des Dateneigentümers. Angaben zum Dateneigentümer und zum Nachfrüherungsstand sind unter [www.geo.gr.ch](http://www.geo.gr.ch) nachzulesen.

Immagine 25: Profili delle simulazioni di caduta massi.



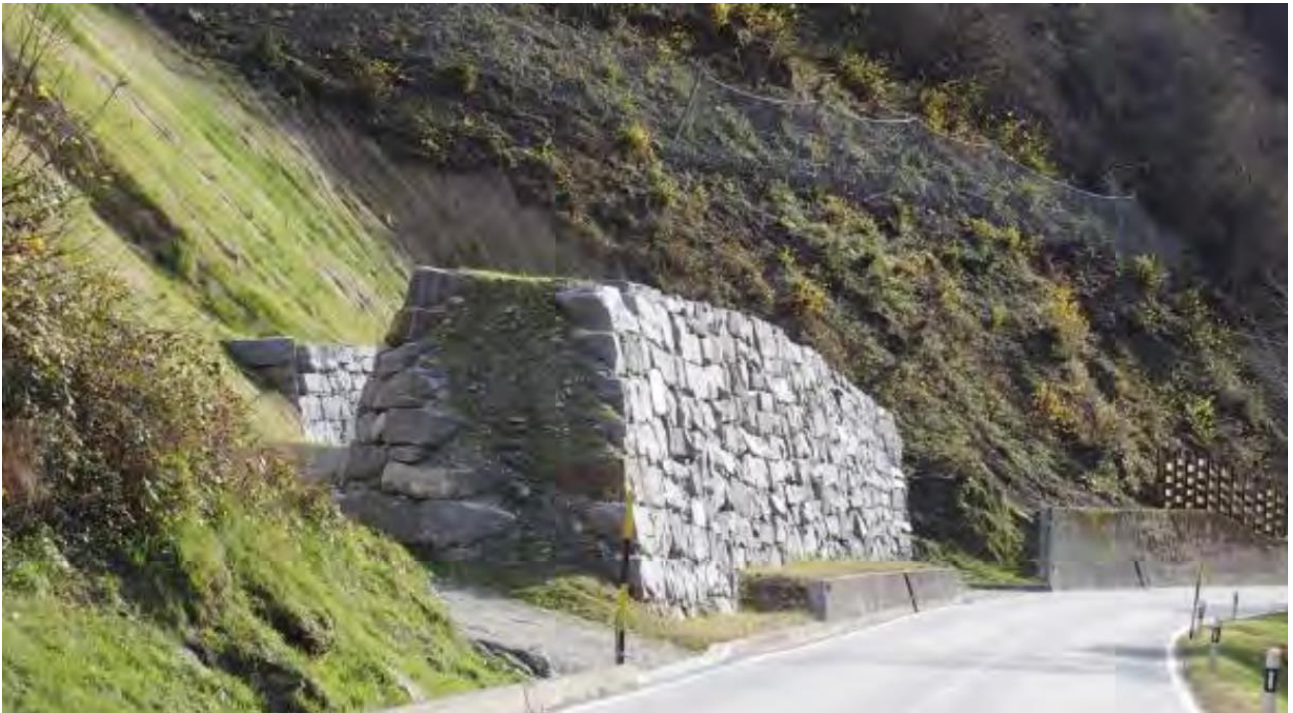


Immagine 26: Opere completate: diga di protezione rivestita da muri in blocchi di pietra, sullo sfondo si vedono invece le reti di protezione e le vecchie palizzate in legno. Ufficio tecnico GR



Immagine 27: Diga di protezione di Botegh

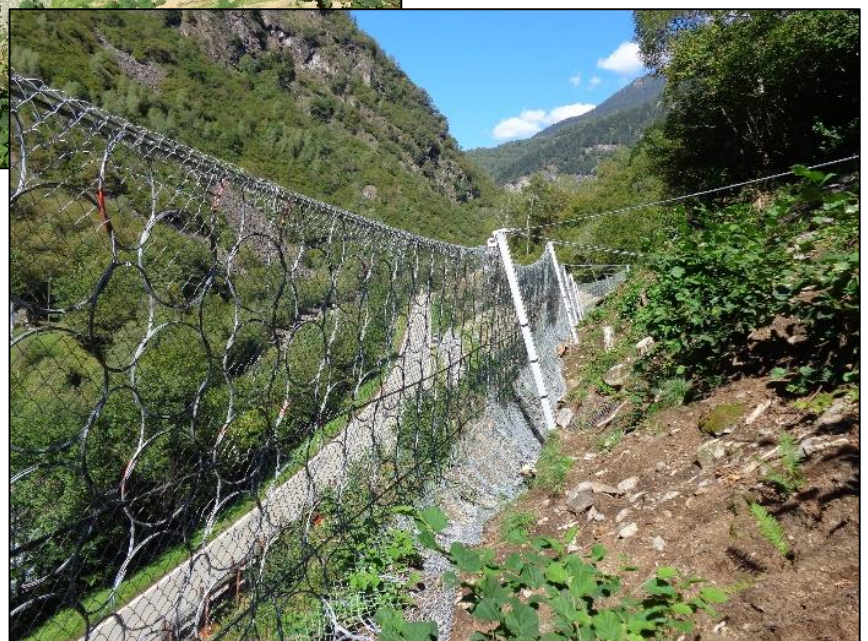


Immagine 28: Rete di protezione da caduta massi Botegh