

SLF Gutachten G2020.04

Lawineneinwirkungen auf die geplante Lehenbrücke, Strassenabschnitt Dieni – Sta. Brida, Oberalpstrasse H19

Auftraggeber:

Tiefbauamt Graubünden
Sägenstrasse 78
7001 Chur

Auftragnehmer:

WSL-Institut für Schnee-
und Lawinenforschung SLF
Flüelastr. 11
7260 Davos Dorf

Davos, 17. März 2020

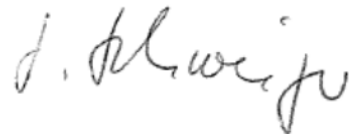
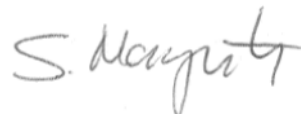
SLF Gutachten G2020.04

Lawineneinwirkungen auf die geplante Lehenbrücke, Strassenabschnitt Dieni – Sta. Brida, Oberalpstrasse H19

Sachbearbeiter:

Leiter Schutzmassnahmen:

Leiter SLF:



L. Stoffel, Dipl. Ing. ETH

S. Margreth, Dipl. Ing. ETH

Dr. J. Schweizer

Davos, 17. März 2020

Inhaltsverzeichnis

1.	Auftrag und Einleitung _____	3
2.	Grundlagen _____	3
3.	Geländesituation, Lage der Brücke und Lawinenkataster _____	4
4.	Lawinenberechnungen _____	6
4.1	Allgemeines zu Lawinenberechnungen _____	6
4.2	Anrissgebiet und Anrissmächtigkeit d_0 _____	7
4.3	Lawinenberechnungen mit RAMMS::Avalanche _____	8
4.4	Lawinenberechnungen mit RAMMS::Extended _____	11
5.	Zusammenfassung der Lawinenberechnungen _____	18
6.	Lawineneinwirkungen auf die Lehenbrücke und auf die Stützmauern _____	20
6.1	Allgemeines _____	20
6.2	Lawineneinwirkungen auf die Lehenbrücke _____	20
6.3	Lawineneinwirkungen auf die Stützmauern _____	23
7.	Zusammenfassung _____	24
Anhang A: Kilometrierung im Bereich der geplanten Lehenbrücke und Grobkonzept__		25
Anhang B: Schneelasten _____		26

1. Auftrag und Einleitung

Im Februar 2020 beauftragte Hr. Glover (Tiefbauamt Graubünden) das WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung (SLF), Davos, mit einem Gutachten bezüglich der Einwirkungen der Lawine Val Vadretg auf die Lehenbrücke und die Stützmauern des Strassenabschnitts Dieni – Sta. Brida (H19). Das Ziel des Gutachtens ist die Bestimmung der normalen (30-jährliche Lawine) und der aussergewöhnlichen Einwirkung (100-jährliche und 300-jährliche Lawine).

2. Grundlagen

Folgende Unterlagen wurden verwendet:

- [1] Landeskarte der Schweiz 1:25'000, Blatt 1232 Oberalppass
- [2] Schadenlawinendatenbank des SLF, Lawinenkataster Tiefbauamt Graubünden (1975 – 2019) Strassenabschnitt Val Vadretg
- [3] SLF Schneedatenbank, Daten der Station Sedrun 1420 m ü.M.
- [4] SLF-Gutachten G 2008.04: Schutzmassnahmen Lawinenzug Val Vadretg, Kantonsstrasse Rueras-Selva und Matterhorn-Gotthardbahn, Tujetsch, Kt. GR, 26.8.2008. Sachbearbeiter L. Stoffel
- [5] SilvaING, Ilanz: Gefahrenbeurteilung Lawinenprozess. H19 Oberalpstrasse: Dieni – Sta. Brida, 28.11.2019. Dumeni Cavegn
- [6] Lawinenberechnungsprogramm RAMMS (RAMMS::Avalanche Version 1.7.20, RAMMS::Extended Version 2.7.73); und: Berechnung von Fließlawine, Anleitung für den Praktiker, SLF-Mitteilung Nr. 47, 1990.
- [7] Diverse Unterlagen des Tiefbauamtes Graubünden: Querprofile File «Brida_VP_1000540_QP.pdf», Grobkonzept File «2020.01.20_QP 390 bis 885_Konzept-KB-Visu_MC.pdf»

3. Geländesituation, Lage der Brücke und Lawinenkataster

Das Anrissgebiet der Lawine Val Vadretg reicht auf 2240 m ü.M. unterhalb Plauns dils Umens Crap hinauf und ist im oberen Bereich 250 m breit (Abb. 1, 2, 3). Von 2240 m bis 2070 m ü.M. liegen die Neigungen zwischen 35 und 40°, anschliessend folgen bis 2000 m Neigungen von ca. 30°. Zwischen 2000 m und 1800 m verengt sich die Sturzbahn in zwei markante, über 40° steile Rinnen mit einer totalen Breite von rund 150 m. Diese beiden Rinnen vereinen sich auf 1720 m.

Die kanalisierte Sturzbahn führt geradlinig gegen den Vorderrhein hinunter (1420 m). Unterhalb 1600 m liegen die Neigungen mehrheitlich bei ca. 20°. Erst die letzten ca. 50 m südlich des Vorderrheins sind etwas flacher. Bis zum Vorderrhein besteht jedoch keine eigentliche Auslaufstrecke, da das Gelände zu steil ist. Grossflächige Abgänge, d.h. auch neben der Rinne, sind bekannt. Unterhalb 1600 m ist v.a. östlich Wald vorhanden. Das Pauschalgefälle von 2240 m bis zum Vorderrhein beträgt 61%, d.h. bereits mittelgrosse Lawinen können den Rhein erreichen.

Nördlich des Rheins ist der Gegenhang ca. 38° steil. Nach 40 m Gegensteigung werden die Kantonsstrasse (ca. 1460 m ü.M.) und die ca. 1 m erhöhte Linie der Matterhorn-Gotthardbahn erreicht.

Abb. 2 und Anhang A enthalten die Lage der geplanten Lehenbrücke.

In Tab. 1 sind die bekannten Abgänge der Lawine Val Vadretg, die die Strasse am Gegenhang verschütteten, ersichtlich.

Tab. 1 Lawinenabgänge Val Vadretg [4]

Datum	Breite Strassenverschüttung	Wetter-situation	Neuschneesumme in Sedrun 1420 m
6.4.1975	ca. 40 m (zusätzlich Val Puoza)	S-Lage	3-Tagessumme 190 cm
12.2.1979	Nicht bekannt	SW-Lage	10-Tagessumme 60 cm (31.1.-9.2.), 11.2. Südföhn, 12.2. Regen bis 2000 m
4.2.1980	Rund 250 m, bis 3 m hoch (Staublawine), inkl. Val Puoza	SW/W-Lage	4-Tagessumme 70 cm
8.2.1984	60 m, Höhe 4-5 m	W/NW-Lage	2-Tagessumme 80 cm
1.4.1992	An Strassenrand, zusätzlich Lawine Val Cavrera	SW-Lage	2-Tagessumme 70 cm
22.2.1999	30 m, 2-3 m hoch	NW-Lage	5-Tagessumme 80 cm
6.2.2003	50 m, 1-2 m hoch (Staub), Law. Val Vadretg bis Val Vallatsch	NW-Lage	3-Tagessumme 80 cm
20.2.2006	20 m, bis 1 m	SW/W-Lage	5-Tagessumme 75 cm
12.1.2008	50 m, max. 0.5 m	S-Lage	Neuschnee 1 Tag 40 cm, Schneefall kurz, intensiv

Im Gutachten 2008.04 [4] wurde hergeleitet, dass alle 4 Jahre eine spontane Lawine zur Verschüttung der Strasse führt. Aus den Daten kann auch eine Verschüttungswiederkehrdauer von rund 5 Jahren herausgelesen werden (7-8 Abgänge zwischen 1970 und 2010). Oft wurden Verschüttungsbreiten von 50 m beobachtet. Die Lawinen 2003, 2006 und 2008 verursachten am Gegenhang keine Schäden an Bäumen.

2010 wurden im Anrissgebiet Val Vadretg **zwei Wyssen Sprengmasten** installiert. Sicherungsaktionen wurden der Situation angepasst durchgeführt. Die Strasse wurde seither nicht mehr von Lawinen verschüttet.

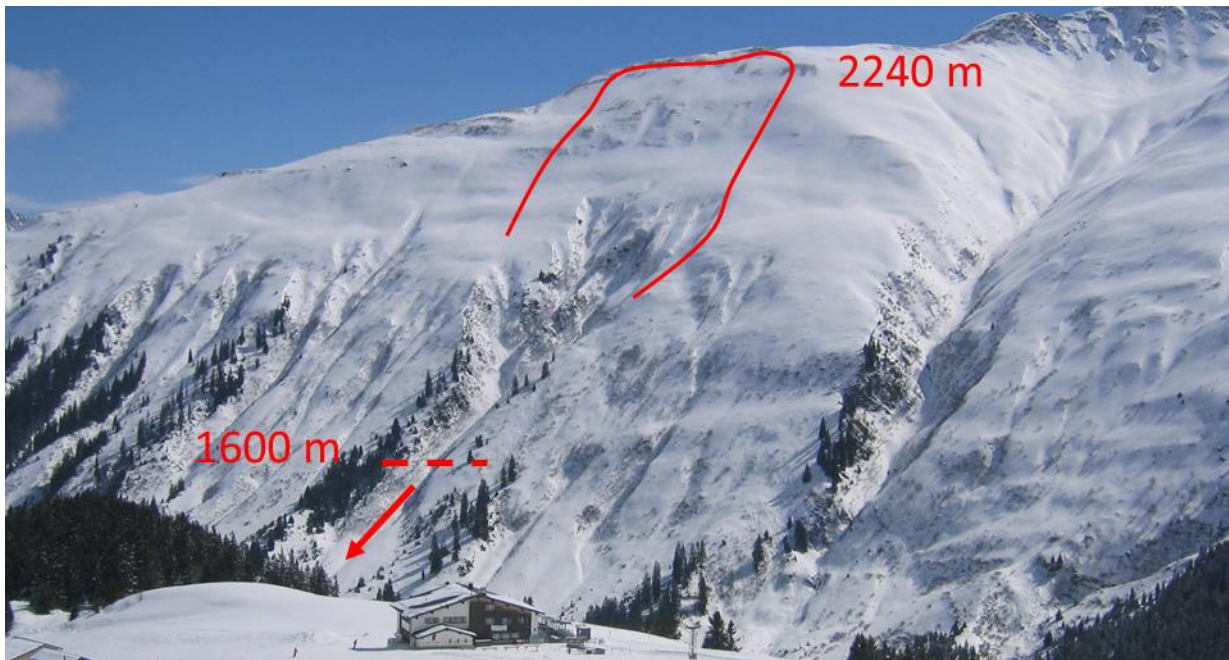


Abb. 1 Anrissgebiet der Val Vadretg Lawine und Sturzbahn entlang der Rinne

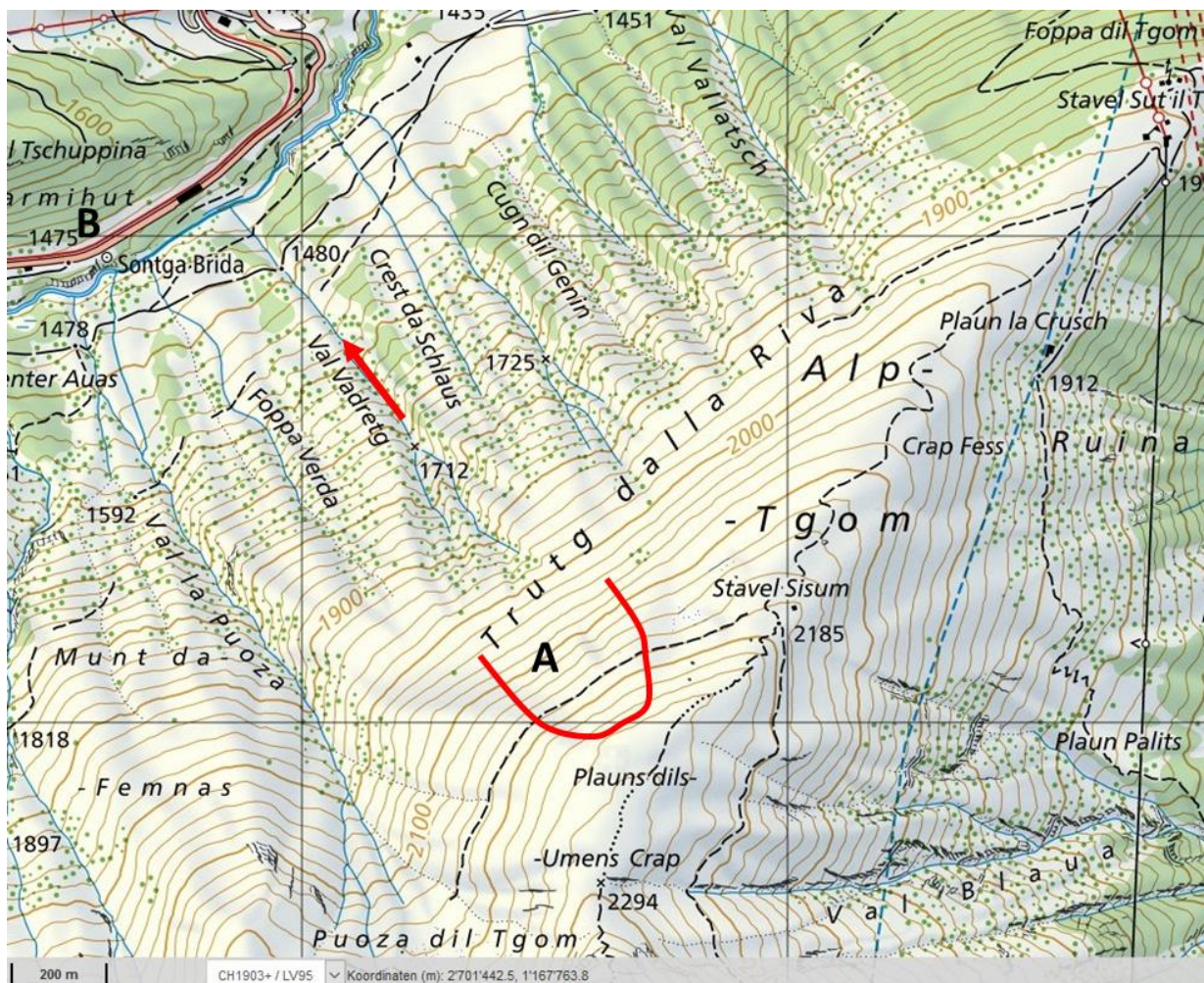


Abb. 2 Übersichtskarte Val Vadretg mit dem Anrissgebiet (A), der Sturzbahn (Pfeil) und der Strasse H19 (B) am Gegenhang. Lehenbrücke = schwarze Linie

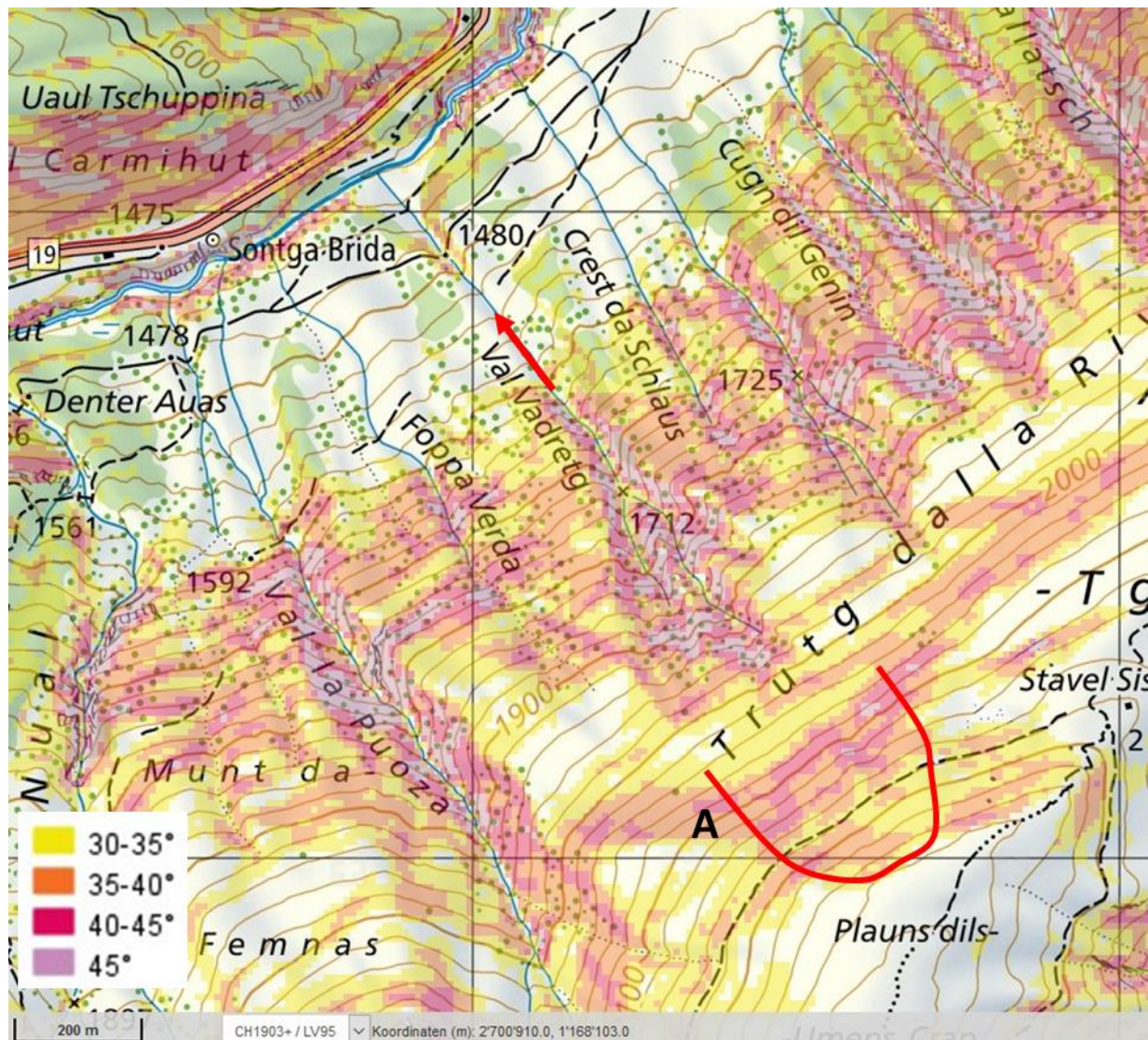


Abb. 3 Hangneigungskarte Val Vadretg mit dem Anrissgebiet (A) und der Sturzbahn (Pfeil).

4. Lawinenberechnungen

4.1 Allgemeines zu Lawinenberechnungen

Mit Lawinenberechnungen können u.a. Auslaufstrecken und Fliesshöhen unterschiedlicher Lawinentypen und -grössen bestimmt werden.

Das Berechnungsprogramm RAMMS::Avalanche [6] berechnet aufgrund der Topografie (u.a. Hangneigung) und der Stoffgesetze für Fließlawinen die Richtung, Breite, Geschwindigkeit und Fliesshöhe einer Lawine. Die Schneeaufnahme in der Sturzbahn wird dabei nicht berücksichtigt.

Heutzutage ist es möglich, Lawinenberechnungen durchzuführen, die die Schneeaufnahme berücksichtigen (z.B. Berechnungsprogramm RAMMS::Extended des SLF [6]). Mit RAMMS::Extended können auch Staublawinen berechnet werden.

Als Grundlage für die Modellierung dient ein digitales Geländemodell (5 m Grid) und ein vom Benutzer definiertes Anrissgebiet mit einer entsprechenden Anrissmächtig-

keit. Die für die Berechnungen verwendete Anrissmächtigkeit stellt einen Mittelwert über das gesamte Anrissgebiet dar und kann sich von am Anriss beobachteten Anrissmächtigkeiten unterscheiden (d.h. ein beobachteter Anriss kann bedeutend grösser sein).

Nachfolgend werden Lawinen mit RAMMS::Avalanche und RAMMS::Extended berechnet. Zur Überprüfung der Resultate haben wir zusätzlich das eindimensionale Simulationsprogramm AVAL-1d verwendet.

Bemerkungen zu Lawinenberechnungen im Zusammenhang mit der Geländesituation Val Vadretg

In den Berechnungen ist der Energieverlust beim Aufprall der Lawine am Gegenhang nur teilweise berücksichtigt. Demgegenüber ist aber auch die Situation, dass im Tobel mehrere Meter Lawinschnee vorhanden sein können, nicht berücksichtigt. Wir nehmen an, dass sich die beiden Effekte ungefähr aufheben (insbesondere für Ablageungshöhen im Tobel von $< \text{ca. } 10 \text{ m}$). Die berechneten Auslaufstrecken der Fliesslawine dürften realistisch sein.

4.2 Anrissgebiet und Anrissmächtigkeit d_0

Das für die Berechnungen verwendete Anrissgebiet liegt rund 2100 m ü.M. (Abb. 4).

Die Anrissmächtigkeit d_0 wird wie folgt hergeleitet (vgl. Tab. 1):

- 3-tägiger Schneehöhenzuwachs ΔH_{S_3} eines in der Nähe gelegenen Messfeldes, z.B. 1 m
- Höhenkorrektur von der Höhe des Messfeldes ins Anrissgebiet, 5 cm Neuschnee pro 100 m; ergibt z.B. 1.4 m
- Korrekturfaktor $\cos 28^\circ (= \times 0.88)$: 1.23 m. Für RAMMS::Extended Berechnungen entspricht dies dem Ausgangswert für die erodierbare Schneemächtigkeit in der Sturzbahn d_0^*
- Für die Bestimmung der Anrissmächtigkeit d_0 wird i.d.R. ein Tribschneezuschlag berücksichtigt (z.B. 0.2 m: ergibt in diesem Beispiel ein Total von 1.43 m) und als letzter Schritt wird eine Hangneigungskorrektur durchgeführt. Für 40° ist der Faktor 0.6, d.h. d_0 ist in diesem Beispiel $0.6 \times 1.43 \text{ m} = 0.85 \text{ m}$.

Tab. 1 enthält die Herleitung von d_0^* (Ausgangswert für die erodierbare Schneemächtigkeit) und der Anrissmächtigkeit d_0 für die Berechnungen der Lawine Val Vadretg für Wiederkehrdauern von $T = 30$, $T = 100$ und $T = 300$ Jahren. Dazu wurde der 3-tägige Schneehöhenzuwachs ΔH_{S_3} des Messfeldes Sedrun 1420 m berücksichtigt.

Tab. 1 Herleitung von d_0^* und der Anrissmächtigkeit d_0 für Wiederkehrdauern von 30, 100 und 300 Jahren

Wiederkehrdauer	$T = 30 \text{ J.}$	$T = 100 \text{ J.}$	$T = 300 \text{ J.}$
ΔH_{S_3} Sedrun (Gumbel-Statistik)	1.13 m	1.37 m	1.58 m
Höhenkorrektur, d.h. auf 2100 m	+ 0.35 m = 1.48 m	+ 0.35 m = 1.72 m	+ 0.35 m = 1.93 m
Umrechnung $\cos 28^\circ$: $d_0^* =$	1.30 m	1.50 m	1.70 m
Tribschneezuschlag	+ 0.30 m = 1.60 m	+ 0.40 m = 1.90 m	+ 0.50 m = 2.20 m
d_0 für $35^\circ =$	1.15 m	1.35 m	1.55 m
d_0 für $40^\circ =$	0.95 m	1.15 m	1.30 m

4.3 Lawinenberechnungen mit RAMMS::Avalanche

30-jährliche Lawinen

Abb. 4 enthält die berechnete 30-jährliche Lawine (Neigung Anrissgebiet 37°; Anrissmächtigkeit $d_0 = 1.05$ m, Anrissvolumen 122'600 m³; Reibungsparameter Large). Die Lawine erreicht die Strasse unmittelbar östlich der Lehenbrücke knapp. Sie fliesst ca. 25 m östlich der Lehenbrücke mit einer Geschwindigkeit von 7 m/s (Fliesshöhe 0.5 m).

Unterhalb der Strasse werden am Gegenhang Lawinendrucke über 50 kN/m² berechnet (Abb. 5; die Position der Waldränder am Gegenhang ist als grüne Linie ersichtlich).

Interpretation der Berechnungen:

- Mit Waldzerstörung ist ab Fliesslawinendrucken > 50 kN/m² zu rechnen. Abb. 5 enthält den Bereich mit Drücken > 50 kN/m² (rote Fläche). Der Rand der roten Fläche deckt sich gut mit den gemäss Swisstopo aktuell vorhandenen Waldrändern (grüne Linie).

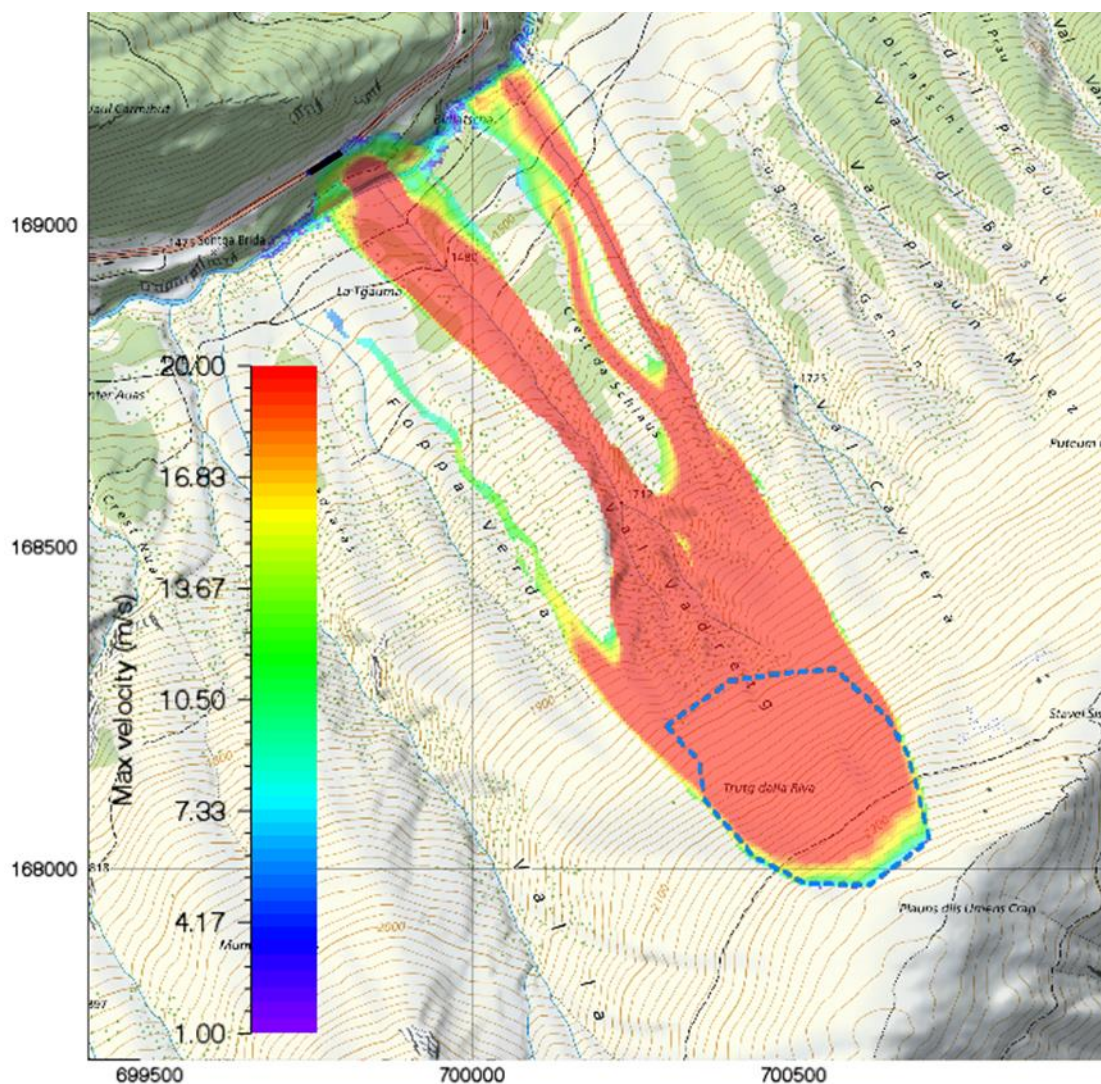


Abb. 4 RAMMS::Avalanche: 30-jährliche Lawine, max. Fließgeschwindigkeit, Darstellung 1-20 m/s (Anrissmächtigkeit $d_0 = 1.05$ m, Anrissvolumen 122'600 m³; Reibungsparameter Large). Anrissgebiet = hellblau gestrichelt; Lehenbrücke = schwarze Linie

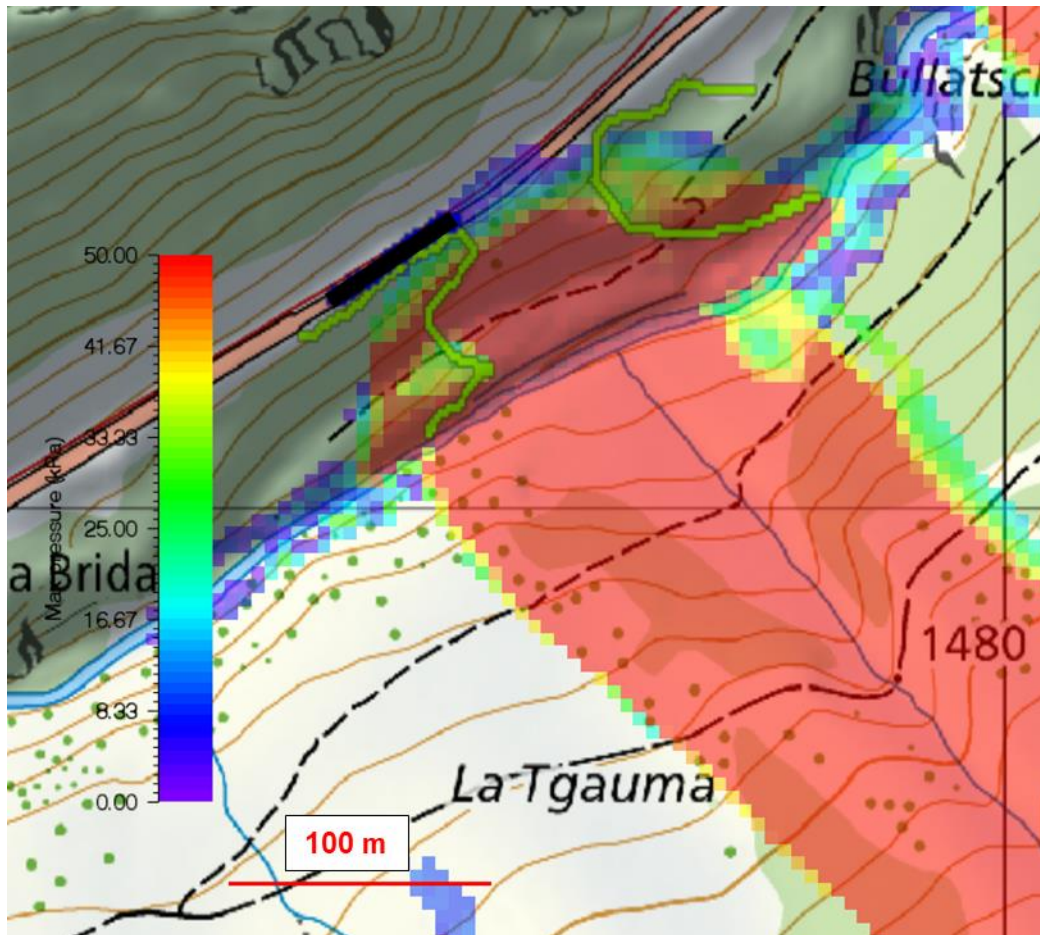


Abb. 5 RAMMS::Avalanche: 30-jährliche Lawine, max. Lawinendruck, Darstellung 0-50 kN/m². Waldränder am Gegenhang = grüne Linien; Lehenbrücke = schwarze Linie

100-jährliche Lawinen

Die berechnete 100-jährliche Lawine überfließt die Strasse auf 110 m Breite (Abb. 6). Im Bereich der geplanten Lehenbrücke fließt die Lawine mit 9 m/s (Fließhöhe 1 m), 25 m weiter östlich beträgt die maximale Fließgeschwindigkeit 12 m/s, bei 1 m Fließhöhe.

Interpretation der Berechnungen:

- Aufgrund der bisher beobachteten Lawinen scheint das Resultat realistisch.
- Die Hauptstossrichtung der berechneten Lawine ist unmittelbar östlich der geplanten Lehenbrücke (in Verlängerung der Sturzbahn). Dort sind am Gegenhang auch keine Bäume vorhanden (Abb. 12).

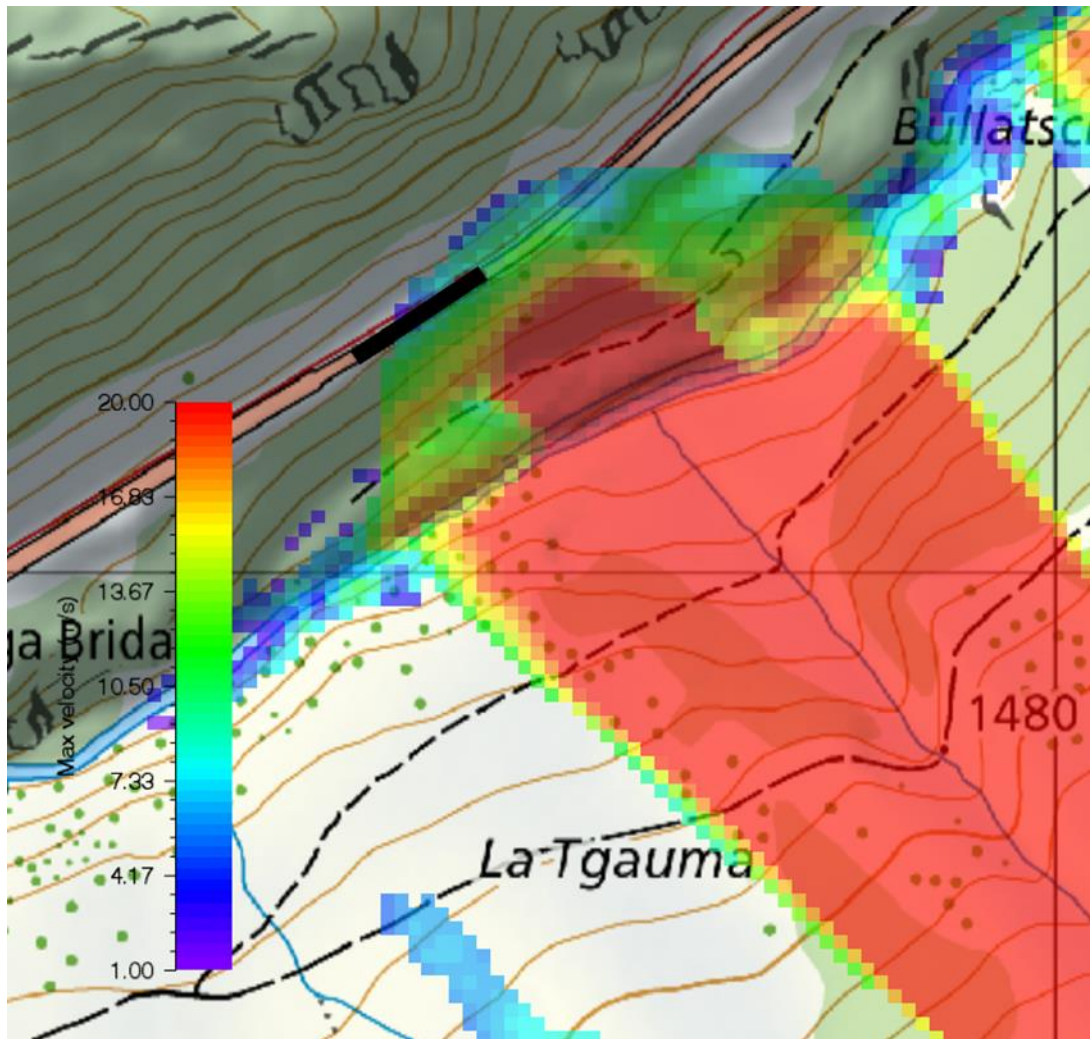


Abb. 6 RAMMS::Avalanche: 100-jährliche Lawine, max. Fliessgeschwindigkeit, Darstellung 1-20 m/s (Anrissmächtigkeit $d_0 = 1.25$ m, Anrissvolumen 146'000 m³; Reibungsparameter Large). Lehenbrücke = schwarze Linie (= 60 m)

300-jährliche Lawinen

Die 300-jährliche Lawine verschüttet die Strasse auf einer Breite von 125 m (Abb. 7). Im Bereich der geplanten Lehenbrücke fliesst die Lawine mit 12 m/s (Fließhöhe 3 m), 25 m weiter östlich beträgt die maximale Fließgeschwindigkeit 14 m/s, bei 3 m Fließhöhe.

Interpretation der Berechnungen:

- Die Hauptstossrichtung der berechneten Lawine deckt sich mit der berechneten 100-jährlichen Lawine. Das Resultat scheint plausibel zu sein.

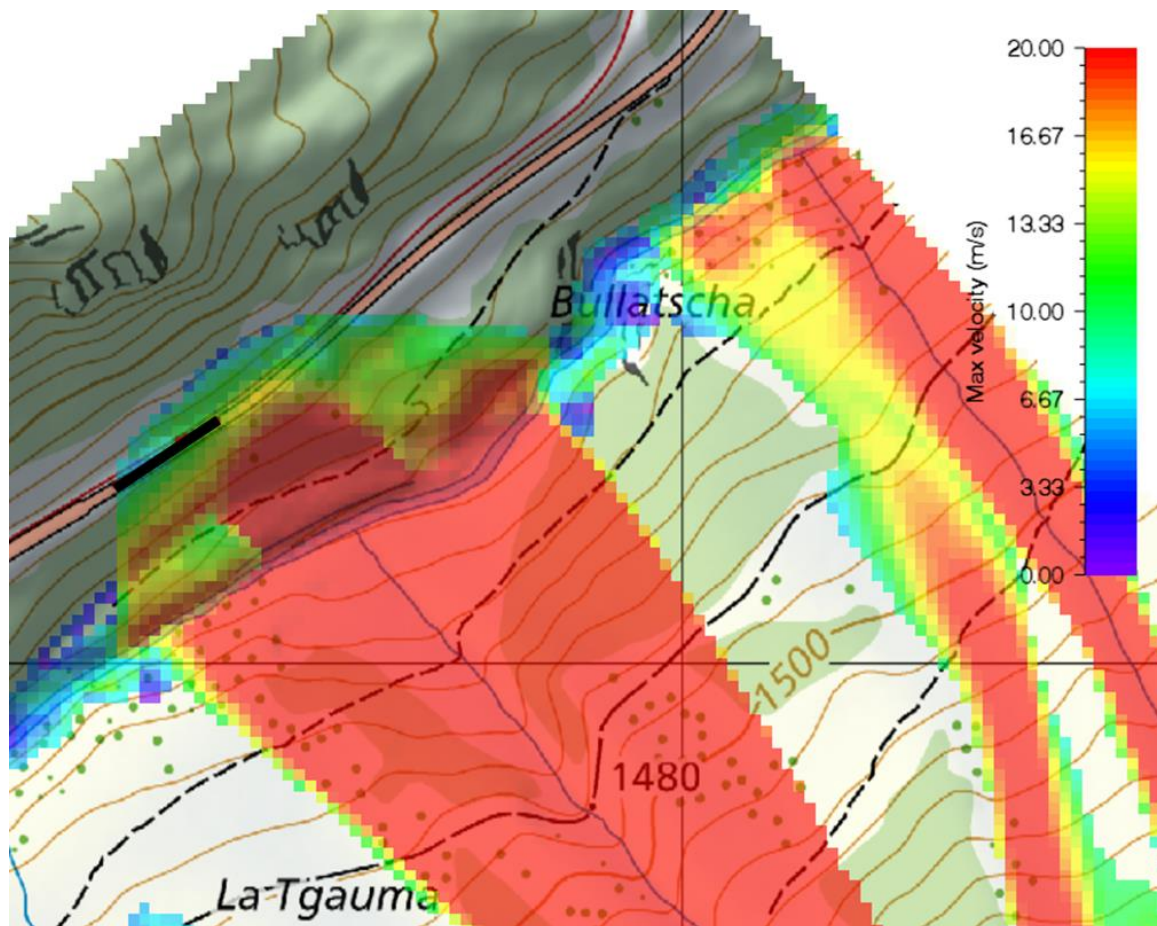


Abb. 7 RAMMS::Avalanche: 300-jährliche Lawine, max. Fliessgeschwindigkeit, Darstellung 1-20 m/s (Anrissmächtigkeit $d_0 = 1.40$ m, Anrissvolumen $163'000$ m³; Reibungsparameter Large). Lehenbrücke = schwarze Linie (= 60 m)

4.4 Lawinenberechnungen mit RAMMS::Extended

30-jährliche Lawinen

Die Inputparameter sind in Tab. 2 zusammengefasst. Wir verwendeten das gleiche Anrissgebiet wie für die RAMMS::Avalanche Berechnungen. Für die Berechnung wurde die Schneetemperatur von Hochwintersituationen eingesetzt. Die Inputparameter Erodibility = 3 und Epsilon = 0.3 wurden verwendet. Mit Cloud drag 3 wurde eine mittelgrosse Entwicklung des Staubanteils berücksichtigt.

Tab. 2 Zusammengefasste Inputparameter (RAMMS::Extended)

Anrissgebiet		Sturzbahn	
d_0	1.05 m	d_0^*	1.30 m
Anrissvolumen	122'600 m ³	Erodibility	3
Schneetemperatur	-4°C	Epsilon	0.3
Schneedichte	200 kg/m ³	Generate	7%
		Cloud drag	3

Der Fliessanteil der berechneten Lawine stoppt knapp unterhalb der geplanten Lehenbrücke (Abb. 8, 9). Östlich der Lehenbrücke erreicht der Fliessanteil die Strasse (max. Geschwindigkeit 6 m/s, Fliesshöhe 1 m).

Der maximale Staublawinendruck im Bereich der Strasse beträgt 18 kN/m^2 (Abb. 10, 11). In 10 m Höhe wird ein Druck von 7 kN/m^2 berechnet.

Interpretation der Berechnungen:

- Die Auslaufstrecke des Fliessanteils (Abb. 8) unterscheidet sich nur wenig von Abb. 4 (Fliesslawine, mit RAMMS::Avalanche berechnet).
- Der max. Druck der Staublawine auf der Höhe der Strasse beträgt 18 kN/m^2 . 40 Höhenmeter oberhalb der Strasse, auf 1700 m, beträgt der Staublawinendruck noch 15 kN/m^2 , was sehr hoch ist. In diesem Gebiet besteht ein hochstämmiger Waldbestand (Abb. 12). Es scheint uns, dass die Abnahme der Drücke in der Suspensionsschicht (Staubanteil) mit steigender Höhe am Gegenhang grösser sein könnte (als die berechnete Abnahme).

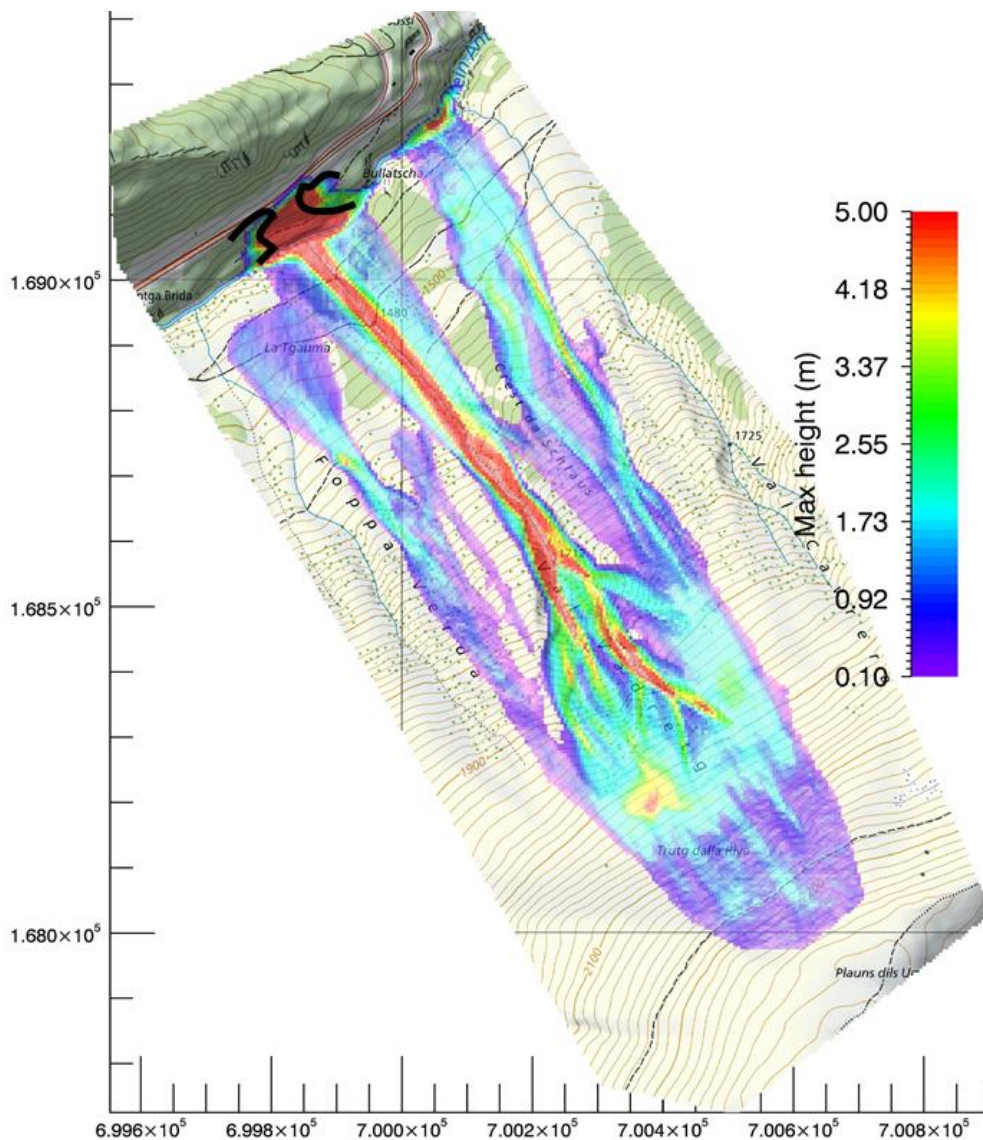


Abb. 8 RAMMS::Extended: Fliessanteil einer 30-jährlichen Lawine mit einer Anrissmächtigkeit von 1.05 m: max. Fliesshöhen, Darstellung 0.1-5 m. Waldränder am Gegenhang = schwarze Linien

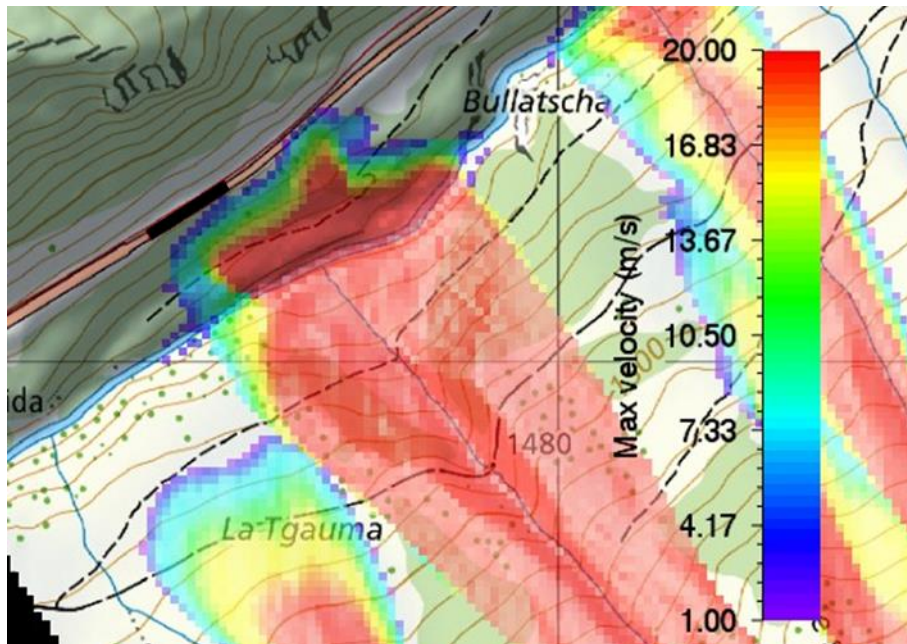


Abb. 9 RAMMS::Extended: Fließanteil einer 30-jährlichen Lawine, Anrissmächtigkeit 1.05 m: max. Fließgeschwindigkeit, Darstellung 1-20 m/s. Lehenbrücke = schwarze Linie (= 60 m)

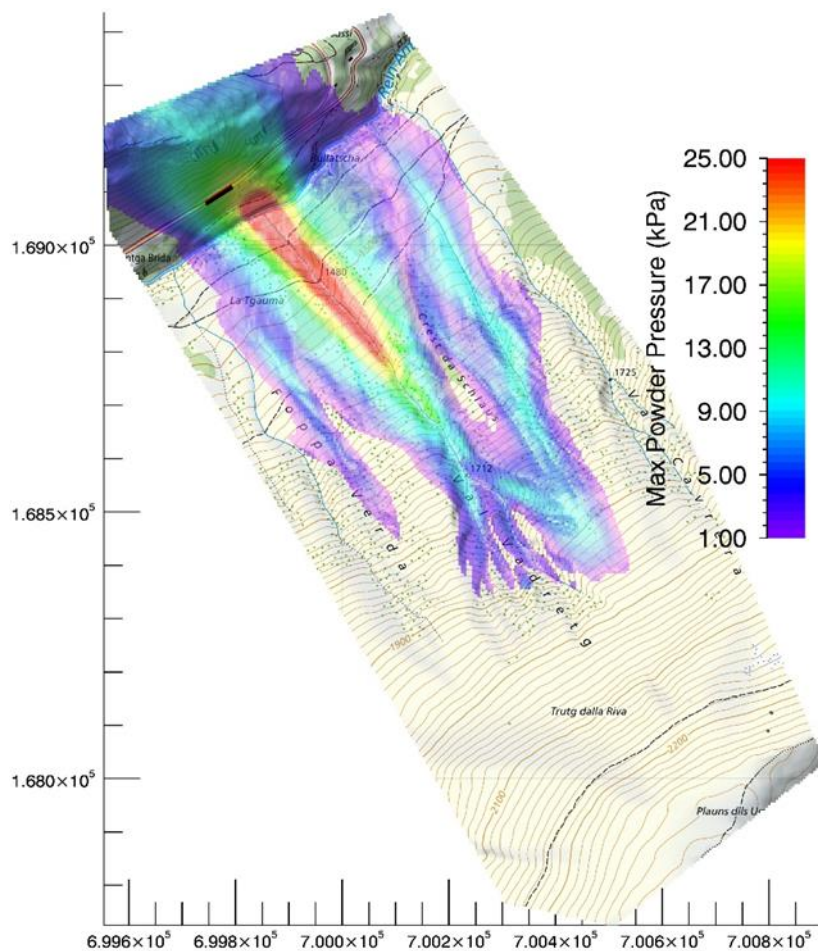


Abb. 10 RAMMS::Extended: Staubanteil einer 30-jährlichen Lawine, Anrissmächtigkeit 1.05 m: max. Staublawinendruck, Darstellung 1-25 kN/m². Lehenbrücke = schwarze Linie

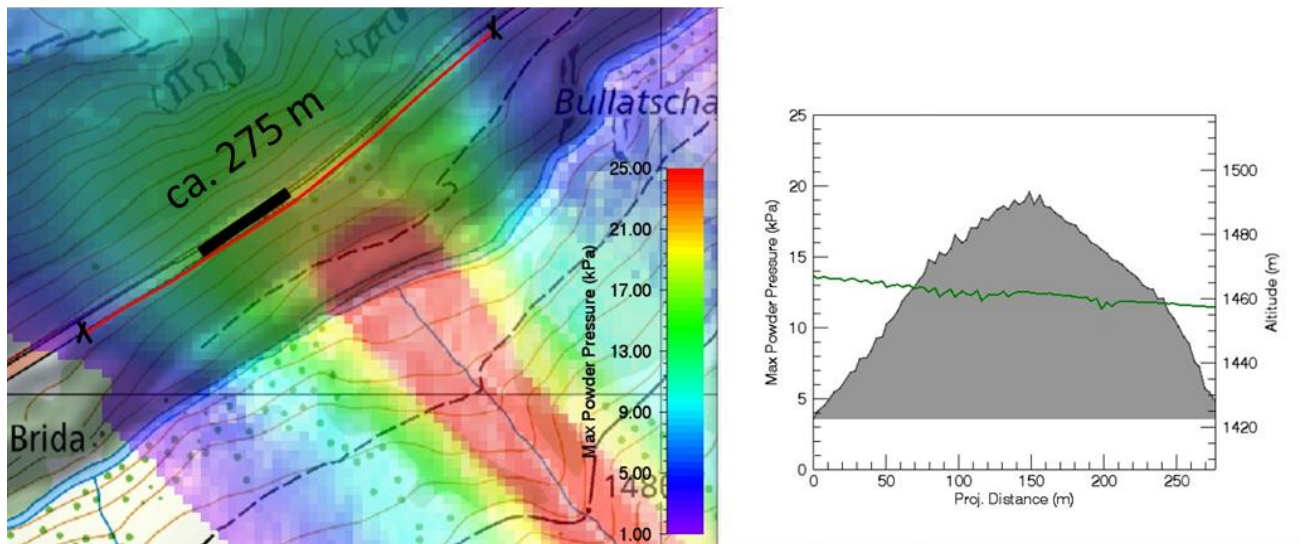


Abb. 11 RAMMS::Extended: Staubanteil einer 30-jährlichen Lawine, Anrissmächtigkeit 1.05 m: Links: max. Staublawinendruck, Darstellung 1-25 kN/m², Lehenbrücke = breite schwarze Linie; Staublawineneinwirkung im Strassenabschnitt Bereich Val Vadretg = dünne rote Linie Rechts: Druckprofil des Staubanteils entlang des Strassenabschnitts gemäss Abb. links. Die graue Fläche stellt den Staublawinendruck dar und die grüne Linie die Höhenlage der Strasse.



Abb. 12 Gegenhang fotografiert vom untersten Bereich der Sturzbahn: hochstämmiger Wald oberhalb der auf 1460 m gelegenen Strasse (Foto F. Horvarth, aus Google Earth)

100-jährliche Lawinen

Gegenüber den Inputparametern von Tab. 2 wurden nur d_0^* und die Anrissmächtigkeit d_0 auf die 100-jährliche Wiederkehrdauer angepasst. Für $T=100$ J. beträgt die Anrissmächtigkeit $d_0 = 1.25$ m, was ein Anrissvolumen von $146'000 \text{ m}^3$ ergibt und d_0^* (Ausgangswert für die erodierbare Schneemächtigkeit) ist gleich 1.50 m.

Der Fliessanteil der berechneten Lawine stoppt im westlichen Bereich am Gegenhang unmittelbar vor der Strasse (unterhalb der Lehenbrücke, vgl. Abb. 13). Östlich der Lehenbrücke wird die Strasse überflossen. Die max. Fließgeschwindigkeit beträgt dort 12 m/s , die entsprechende Fließhöhe ca. 1 m .

Der Staubanteil erreicht im Bereich der Strasse maximale Drücke von 23 kN/m^2 , wobei die grössten Drücke unmittelbar östlich der Lehenbrücke berechnet werden (Abb. 14).

Die Staublawine ist im Bereich der Strasse ca. 300 m breit, was gut dem Lawinenkaster entspricht.

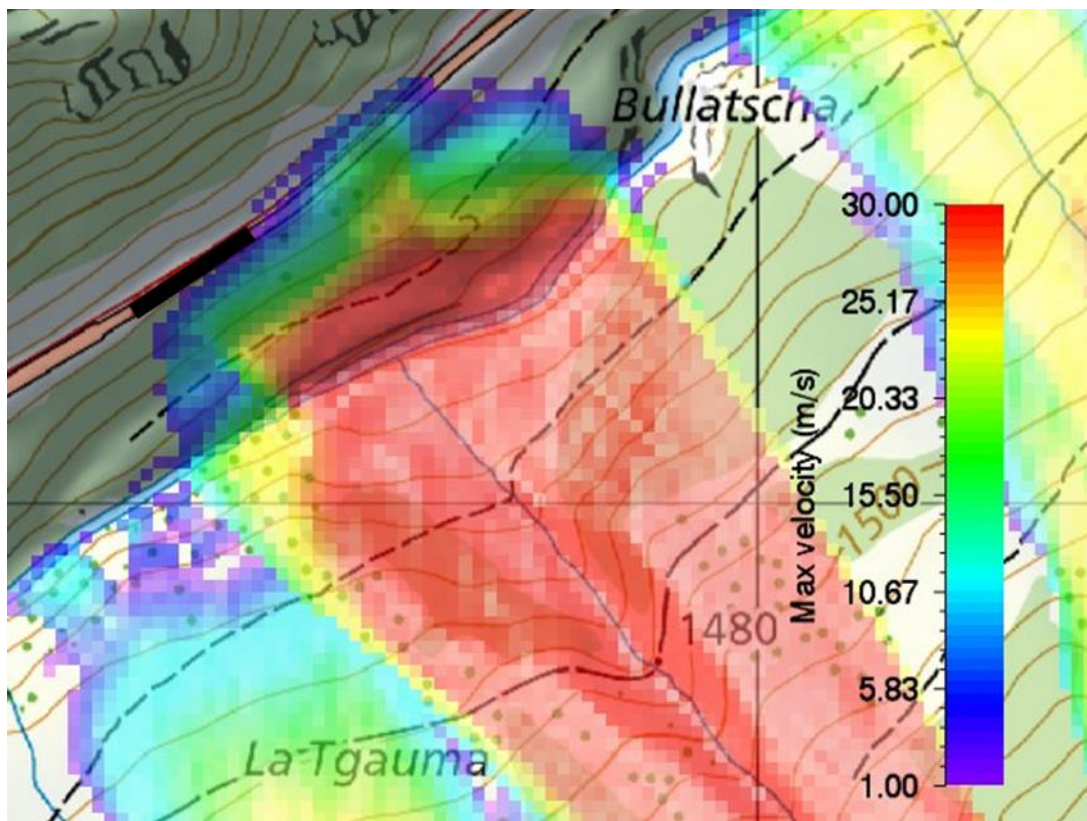


Abb. 13 RAMMS::Extended: Fliessanteil einer 100-jährlichen Lawine, Anrissmächtigkeit 1.25 m : max. Fließgeschwindigkeit, Darstellung $1\text{-}30 \text{ m/s}$. Lehenbrücke = schwarze Linie (= 60 m)

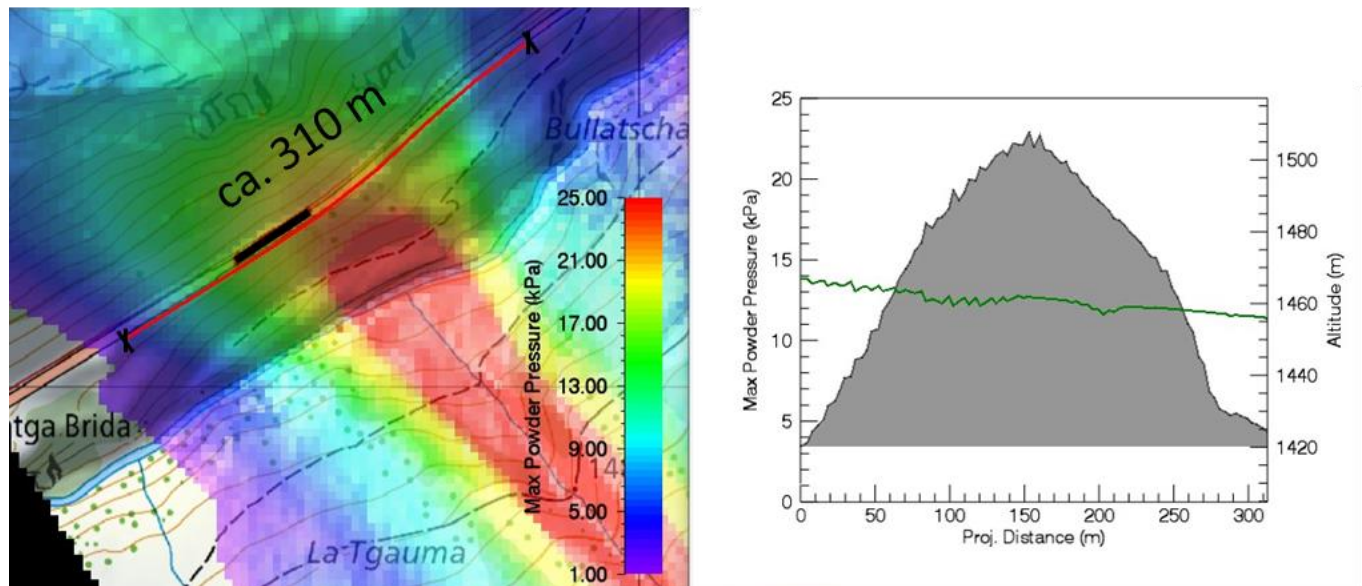


Abb. 14 RAMMS::Extended: Staubanteil einer 100-j. Lawine, Anrissmächtigkeit 1.25 m:
 Links: max. Staublavinendruck, Darstellung 1-25 kN/m², Lehenbrücke = breite schwarze Linie; Staublavineneinwirkung im Strassenabschnitt Bereich Val Vadretg = dünne rote Linie
 Rechts: Druckprofil des Staubanteils entlang des Strassenabschnitts gemäss Abb. links. Die graue Fläche stellt den Staublavinendruck dar und die grüne Linie die Höhenlage der Strasse.

Interpretation der Berechnungen:

- Die Simulation des Fliessanteils scheint plausibel zu sein. Deutlicher als mit RAMMS::Avalanche werden die grössten Drücke auf der Kote der Strasse östlich der Lehenbrücke berechnet.
- Die berechneten Staublavinendrucke erachten wir als eher gross, da die simulierten Drücke sogar oben am Geländerücken noch 15 kN/m² betragen.

300-jährliche Lawinen

Von den Inputparametern in Tab. 2 wurden d_0^* und die Anrissmächtigkeit d_0 auf die 300-jährliche Wiederkehrdauer angepasst. Für $T=300$ J. beträgt die Anrissmächtigkeit $d_0 = 1.40$ m, was ein Anrissvolumen von 163'000 m³ ergibt und d_0^* ist gleich 1.70 m (Ausgangswert für die erodierbare Schneemächtigkeit).

Der Fliessanteil der berechneten Lawine stoppt am Gegenhang im Bereich der Lehenbrücke (Abb. 15). Östlich der Lehenbrücke wird die Strasse deutlich überflossen. Die max. Fliessgeschwindigkeit beträgt 60 m östlich der Lehenbrücke 19 m/s.

Der Staubanteil erreicht im Bereich der Strasse maximale Drücke von 25 kN/m², dies östlich der Lehenbrücke (Abb. 16).

Die Staublawine ist im Bereich der Strasse über 300 m breit.

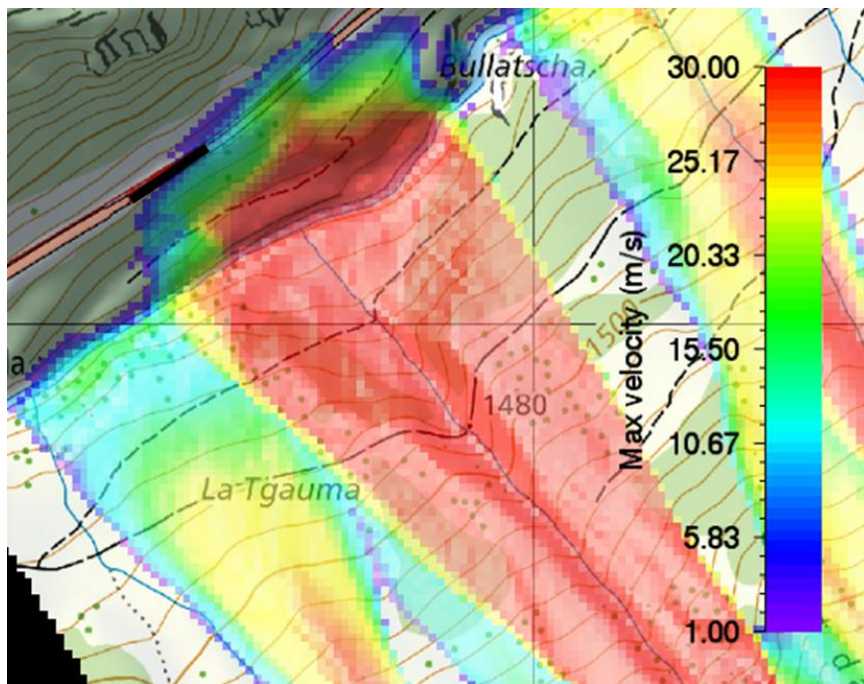


Abb. 15 RAMMS::Extended: Fliessanteil einer 300-j. Lawine, Anrissmächtigkeit 1.40 m: max. Fliessgeschwindigkeit, Darstellung 1-30 m/s. Lehenbrücke = schwarze Linie (= 60 m)

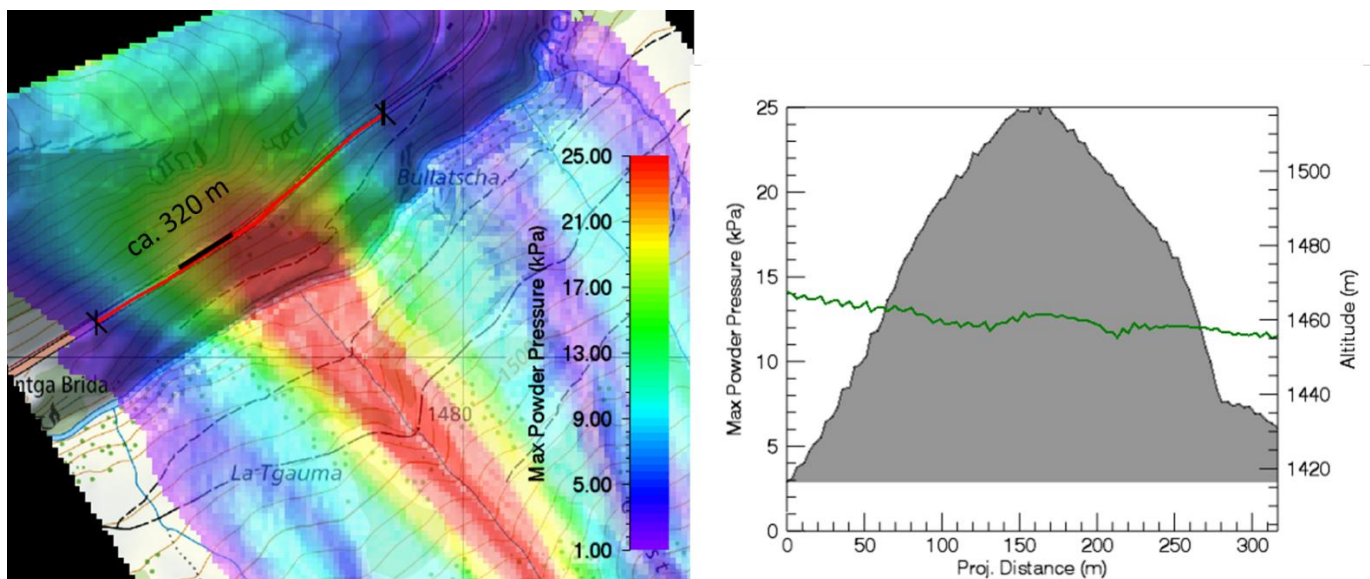


Abb. 16 RAMMS::Extended: Staubanteil einer 300-j. Lawine, Anrissmächtigkeit 1.40 m: Links: max. Staublavinendruck, Darstellung 1-25 kN/m², Lehenbrücke = schwarze Linie; Staublavineneinwirkung im Strassenabschnitt Bereich Val Vadretg = dünne rote Linie Rechts: Druckprofil des Staubanteils entlang des Strassenabschnitts gemäss Abb. links. Die graue Fläche stellt den Staublavinendruck dar und die grüne Linie die Höhenlage der Strasse.

Interpretation der Berechnungen:

- Die mit RAMMS::Avalanche und RAMMS::Extended berechneten Auslaufstrecken des Fliessanteils sind ähnlich (Abb. 6 und 15). Nachfolgend werden bezüglich der Fliessgeschwindigkeiten die Resultate von RAMMS::Avalanche verwendet.
- Die mit RAMMS::Extended berechneten Staublavinendrucke erachten wir als plausibel (weiter oben am Gegenhang sind sie aber noch sehr gross).

5. Zusammenfassung der Lawinenberechnungen

Abb. 17 enthält die berechneten Lawinendrucke entlang der Oberalpstrasse für das 30-jährliche Ereignis, Abb. 18 für die Wiederkehrdauer $T = 100$ J. und Abb. 19 für $T = 300$ J.

Für das 30-jährliche Ereignis erreicht die Fliesslawine die Strasse (östlich der geplanten Lehenbrücke) noch knapp, während die Staublawine gut entwickelt ist. Die maximalen Staublavinendrucke betragen auf der Kote der Strasse 20 kN/m^2 . Diese Drücke erachten wir als zu hoch. Gutachterlich wird nachfolgend mit 15 kN/m^2 gerechnet.

Die 100-jährliche Lawine ergibt durch den Fliessanteil maximale Lawinendrucke von 43 kN/m^2 , dies unmittelbar östlich der geplanten Lehenbrücke. Der maximale Druck der Staublawine beträgt dort 23 kN/m^2 .

Östlich der Lehenbrücke werden für das 300-jährliche Ereignis maximale Fliesslawinendrucke von 60 kN/m^2 berechnet und maximale Staublavinendrucke (Suspensionschicht) von 26 kN/m^2 .

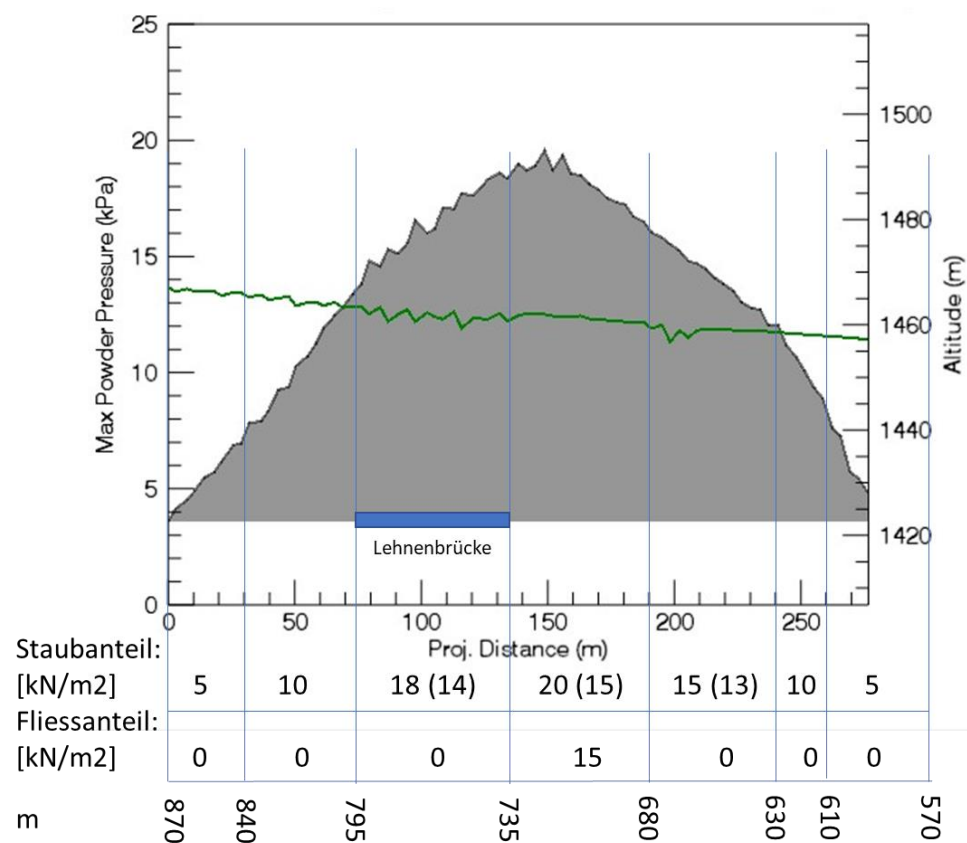


Abb. 17 Rechnerische Lawinendrucke (Fließ- und Staubleil) entlang des Strassenabschnitts QP 570-870 (OK Fahrbahn), 30-jährliche Lawine; Kilometrierung (unten); Werte in Klammern = gutachterliche Werte.

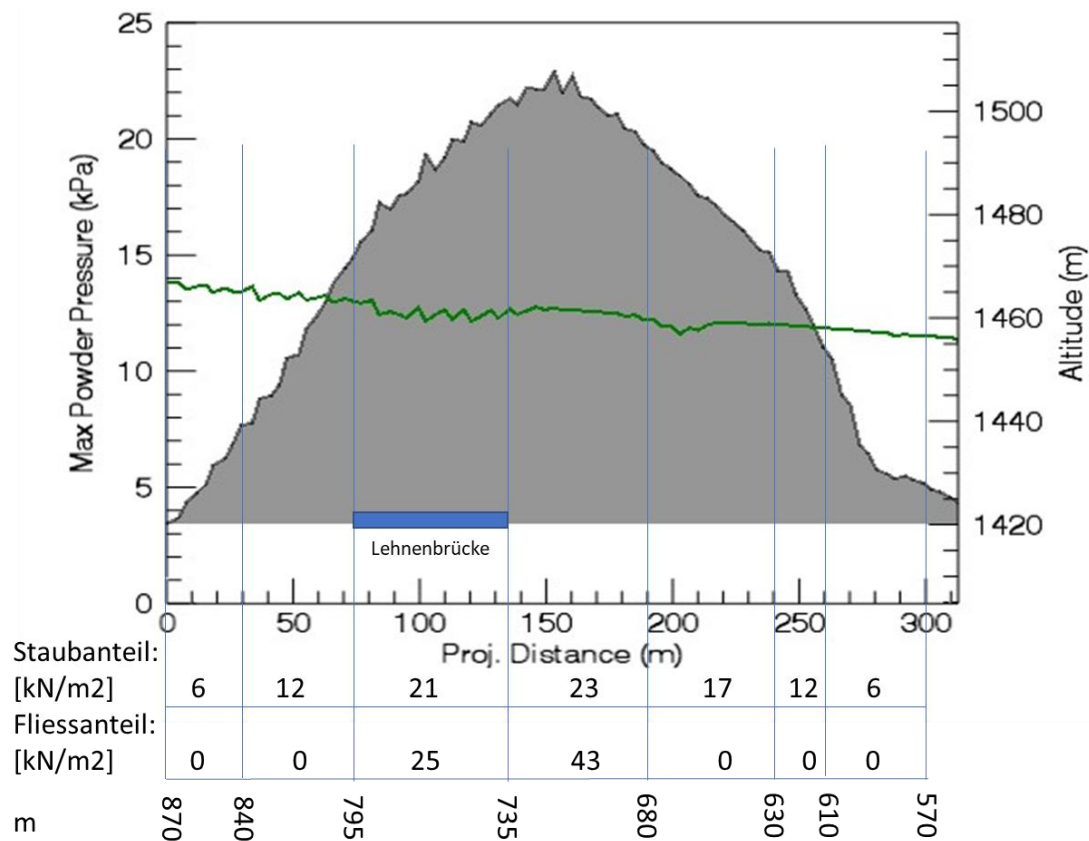


Abb. 18 Rechnerische Lawinendrucke (Fließ- und Staubanteil) entlang des Strassenabschnitts QP 570-870, 100-jährliche Lawine; Kilometrierung (unten)

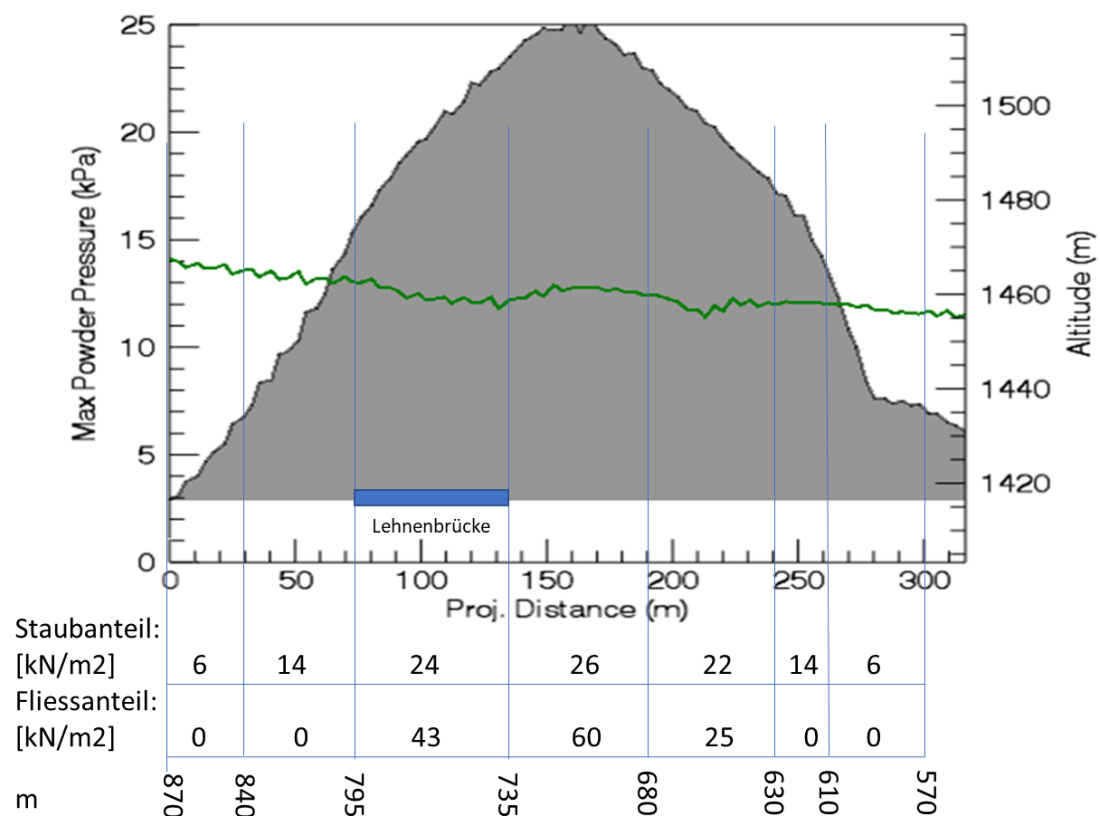


Abb. 19 Rechnerische Lawinendrucke (Fließ- und Staubanteil) entlang des Strassenabschnitts QP 570-870, 300-jährliche Lawine; Kilometrierung (unten)

6. Lawineneinwirkungen auf die Lehenbrücke und auf die Stützmauern

6.1 Allgemeines

Die Lehenbrücke und die Stützmauer werden von Staublawinen und teilweise von Fliesslawinen erfasst. Die Interaktion der Lawinen mit der Lehenbrücke ist komplex, da die anströmenden Schneemassen unter der auskragenden Brückenplatte "gefangen" werden. Die lokalen Lawinendrucke wurden basierend auf der Interpretation der durchgeführten Fliess- und Staublawinensimulationen und der Lage resp. Ausrichtung der Bauteile ermittelt. Die Einwirkungen von Staublawinen und Fliesslawinen treten nicht gleichzeitig auf. Die Einwirkungen von Staublawinen sind vergleichbar mit den Einwirkungen vom Wind. Staublawinen können Äste und Steine transportieren, die zu Einzellasten führen können (z.B. Anprall auf Leitplanke). Die Lawinen können auch auf die Leitplanken einwirken.

6.2 Lawineneinwirkungen auf die Lehenbrücke

Die Höhe der Stützmauer unter der rund 60 m langen Lehenbrücke variiert zwischen ca. 0.5 und 3.0 m. Die Schneehöhe unter der Lehenbrücke kann zwischen 0 und 1 m variieren. Die Brückenplatte kragt maximal ca. 3.5 m aus. Die Einwirkungen von Fliess- und Staublawinen können über die gesamte Länge der Lehenbrücke als konstant angenommen werden.

Da die Anströmrichtung der Lawine variieren kann, wurden die nachfolgenden Einwirkungen auf die Lehenbrücke und die Mauern gutachterlich bestimmt.

Die **Staublawine (Fall 1)** prallt auf die Stützmauer und auf die Unterseite der Brückenplatte (Abb. 16). Dadurch werden Normal- und Schubkräfte erzeugt (resp. Lawinendrucke und Schubkräfte), Tab. 3. Die Staublawine erzeugt auf der Oberseite der Brückenplatte zusätzlich Sogkräfte. Diese Sogkräfte wurden in den angegebenen Lawinendruck p_{n2} bereits berücksichtigt.

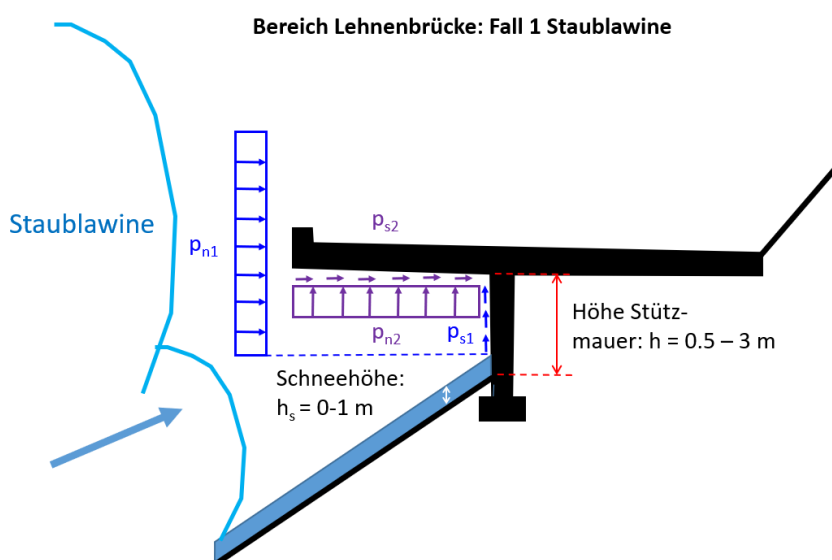


Abb. 16 Staublawineneinwirkungen auf die Lehenbrücke (Fall 1)

Tab. 3 Staublawineneinwirkungen auf die Lehenbrücke (QP 735 – 795), Fall 1:
charakteristische Werte

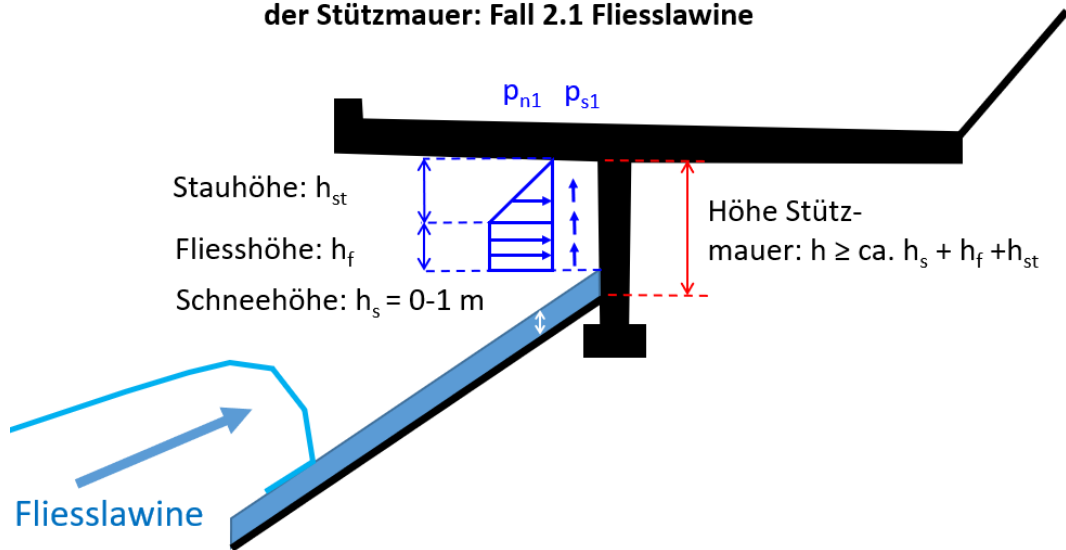
	30-jährliche Lawine	100-jährliche Lawine	300-jährliche Lawine
Fall 1: Staublawine			
Lawinendruck p_{n1}	14 kN/m ²	21 kN/m ²	24 kN/m ²
Schubkraft p_{s1}	4.2 kN/m ²	6.3 kN/m ²	7.2 kN/m ²
Lawinendruck p_{n2}	14 kN/m ²	21 kN/m ²	24 kN/m ²
Schubkraft p_{s2}	4.2 kN/m ²	6.3 kN/m ²	7.2 kN/m ²

Die Einwirkungen der **Fliesslawine (Fall 2)** auf die Lehenbrücke sind von der Höhe der Stützmauer unter der Brückenplatte abhängig (Abb. 17). Ist die Höhe der Stützmauer grösser als die Schneehöhe + Fliesshöhe + Stauhöhe, sind die Einwirkungen auf die auskragende Brückenplatte vernachlässigbar (Fall 2.1). Ist die Höhe der Stützmauer jedoch sehr klein (< Schneehöhe), prallt die Fliesslawine auf die Unterseite der Brückenplatte (Fall 2.3). Dadurch entsteht ein nach oben gerichteter Lawinendruck p_{n2} und Schubkräfte. Die maximale Einflussbreite des nach oben auf die Brückenplatte gerichteten Lawinendruckes der Fliesslawine schätzen wir auf 3 m (100-jährliches Ereignis, 4 m für $T = 300$ J.). Wir nehmen an, dass der Lawinendruck auf die Brückenplatte ähnlich gross ist wie der Lawinendruck auf die Stützmauer (Tab. 4).

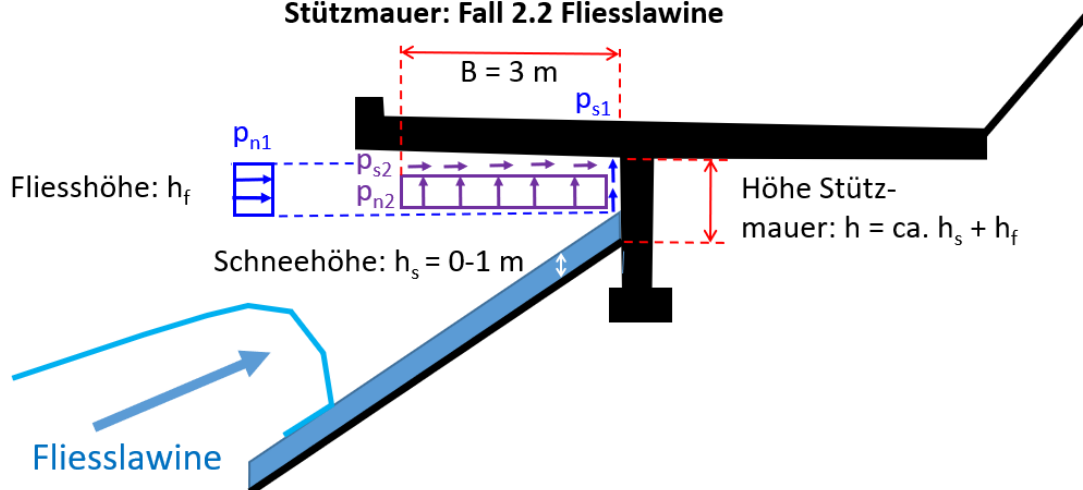
Tab. 4 Fliesslawineneinwirkungen auf die Lehenbrücke (QP 735 - 795), Fall 2:
charakteristische Werte

	30-jährliche Lawine	100-jährliche Lawine	300-jährliche Lawine
Fall 2: Fliesslawine			
Fall 2.1: Lawine trifft auf die Stützmauer	-	p_{n1} : 22 kN/m ² $h_f = 1$ m, $h_{st} = 3$ m p_{s1} : 6.6 kN/m ²	p_{n1} : 37 kN/m ² $h_f = 3$ m, $h_{st} = 4$ m p_{s1} : 11 kN/m ²
Fall 2.2: Lawine trifft auf Stützmauer und Brückenunterseite	-	p_{n1} und p_{n2} : 22 kN/m ² $B = \text{max. } 3$ m p_{s1} und p_{s2} : 6.6 kN/m ²	p_{n1} und p_{n2} : 37 kN/m ² $B = \text{max. } 4$ m p_{s1} und p_{s2} : 11 kN/m ²
Fall 2.3: Lawine trifft auf die Brückenunterseite	-	p_{n2} : 22 kN/m ² $B = 3$ m p_{s2} : 6.6 kN/m ²	p_{n2} : 37 kN/m ² $B = 4$ m p_{s2} : 11 kN/m ²

Bereich Lehnbrücke mit mittlerer Höhe der Stützmauer: Fall 2.1 Fliesslawine



Bereich Lehnbrücke mit kleiner Höhe der Stützmauer: Fall 2.2 Fliesslawine



Bereich Lehnbrücke mit sehr kleiner Höhe der Stützmauer: Fall 2.3 Fliesslawine

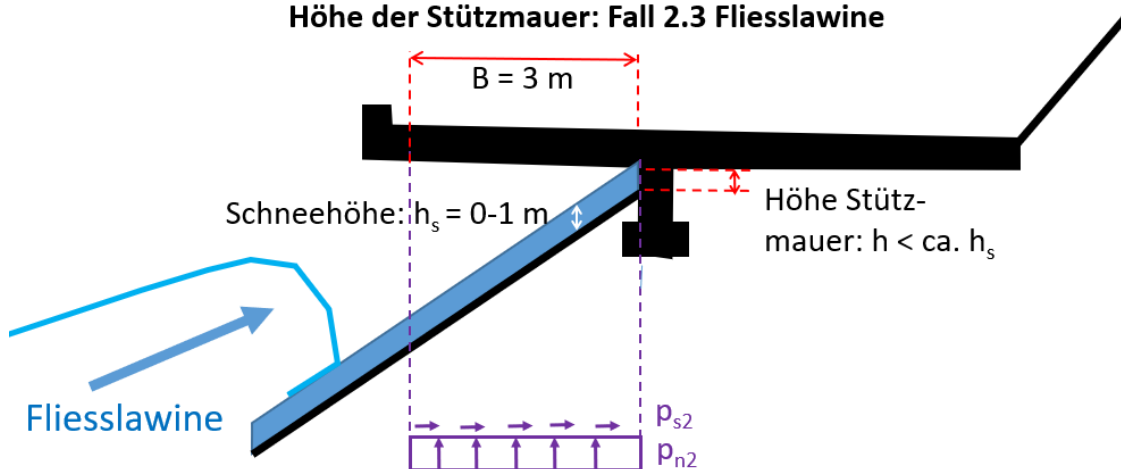


Abb. 17 Fliesslawineneinwirkungen auf die Lehnbrücke, Fall 2

6.3 Lawineneinwirkungen auf die Stützmauern

Wenn Fliess- und Staublawinen auf die 1 bis 6 m hohe Stützmauer prallen, entstehen normal wirkende Lawendrücke p_n und nach oben wirkende Schubkräfte p_s (Abb. 18). Die 100-jährliche Fliesslawine erreicht die Stützmauer im Bereich der Querprofile 680 bis 735 und das 300-jährliche Ereignis im Bereich der Querprofile 630 bis 735. Der Lawindruck der Fliesslawine wird über die Fliesshöhe als konstant und über die Stauhöhe linear auf null abnehmend angesetzt. Staublawinen wirken über die gesamte Höhe der Stützmauer. Die Schneehöhe am Fusse der Stützmauer kann zwischen 0 und 2.5 m variieren.

Die Lawineneinwirkungen auf die Stützmauern sind in Tab. 5 zusammengefasst.

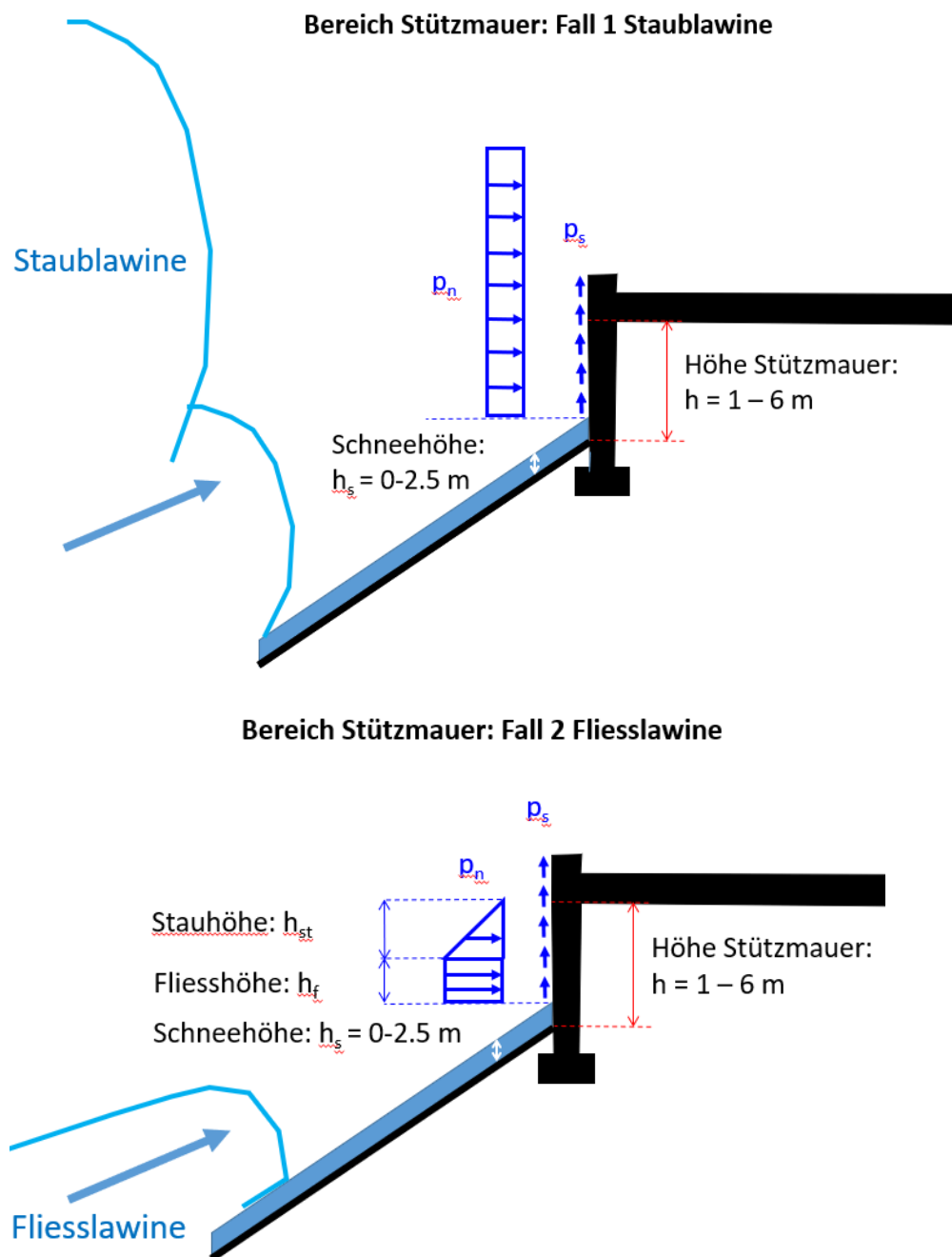


Abb. 18 Staub- und Fliesslawineneinwirkungen auf die Stützmauern (Fälle 1 und 2)

Tab. 5 Lawineneinwirkungen auf die Stützmauern (Fälle 1 und 2): charakteristische Werte

	30-jährliche Lawine	100-jährliche Lawine	300-jährliche Lawine
QP 570 - 610 und 840 - 870:			
Fall 1: Staublawine			
Lawinendruck p_n	4 kN/m ²	5 kN/m ²	5 kN/m ²
Schubkraft p_s	1.2 kN/m ²	1.5 kN/m ²	1.5 kN/m ²
Fall 2: Fliesslawine	-	-	-
QP 610 - 630 und 795 - 840:			
Fall 1: Staublawine			
Lawinendruck p_n	8 kN/m ²	10 kN/m ²	12 kN/m ²
Schubkraft p_s	2.4 kN/m ²	3 kN/m ²	3.6 kN/m ²
Fall 2: Fliesslawine	-	-	-
QP 630 - 680:			
Fall 1: Staublawine			
Lawinendruck p_n	12 kN/m ²	14 kN/m ²	19 kN/m ²
Schubkraft p_s	3.6 kN/m ²	4.2 kN/m ²	5.7 kN/m ²
Fall 2: Fliesslawine			
Lawinendruck p_n	-	-	21 kN/m ² $h_f = 2 \text{ m}, h_{st} = 3 \text{ m}$
Schubkraft p_s	-	-	6.3 kN/m ²
QP 680 - 735:			
Fall 1: Staublawine			
Lawinendruck p_n	13 kN/m ²	19 kN/m ²	23 kN/m ²
Schubkraft p_s	3.9 kN/m ²	5.7 kN/m ²	7 kN/m ²
Fall 2: Fliesslawine			
Lawinendruck p_n	13 kN/m ² $h_f = 1 \text{ m}, h_{st} = 2 \text{ m}$	38 kN/m ² $h_f = 1 \text{ m}, h_{st} = 4 \text{ m}$	54 kN/m ² $h_f = 3 \text{ m}, h_{st} = 6 \text{ m}$
Schubkraft p_s	3.9 kN/m ²	11 kN/m ²	16 kN/m ²

7. Zusammenfassung

Die Val Vadretg Lawine stürzt von 2240 m ü.M., ab 1720 m in einer Rinne kanalisiert, in den Vorderrhein ab (1420 m ü.M.) und kann am steilen Gegenhang aufsteigen. Gemäss Lawinenkataster verschütteten zwischen 1970 und 2010 7-8 Lawinen die am Gegenhang auf 1460 m ü.M. gelegene Kantonsstrasse, was eine Verschüttungswiederkehrdauer von ca. 5 Jahren ergibt. Seit 2010 wird die Val Vadretg Lawine mit zwei Wyssen Sprengmasten gesichert. Sicherungsaktionen wurden der Situation angepasst durchgeführt. Seither wurde die Strasse nicht mehr verschüttet.

Die geplante Lehenbrücke (QP 735-795) befindet sich unmittelbar westlich der Hauptstossrichtung der Val Vadretg Lawine (vgl. Abb. 13, 14, Anhang A).

Für die 30-jährliche Lawine betragen die maximalen gutachterlich bestimmten Lawinendrucke des Staubanteils auf der Kote der Strasse 15 kN/m².

Die 100-jährliche Lawine ergibt durch den Fliessanteil maximale Lawinendrucke von 43 kN/m², dies unmittelbar östlich der geplanten Lehenbrücke. Der maximale Druck der Staublawine beträgt dort 23 kN/m². Für das 300-jährliche Ereignis sind es 60 kN/m² für den Fliessanteil und 26 kN/m² für den Staubanteil (ebenfalls östlich der Brücke).

Die Lawineneinwirkungen auf die Lehenbrücke sind in den Tabellen 3 und 4 zusammengefasst. Die Lawineneinwirkungen auf die ca. 1 bis 6 m hohen Stützmauern östlich und westlich der Lehenbrücke sind in Tabelle 5 ersichtlich.

Anhang A: Kilometrierung im Bereich der geplanten Lehenbrücke und Grobkonzept

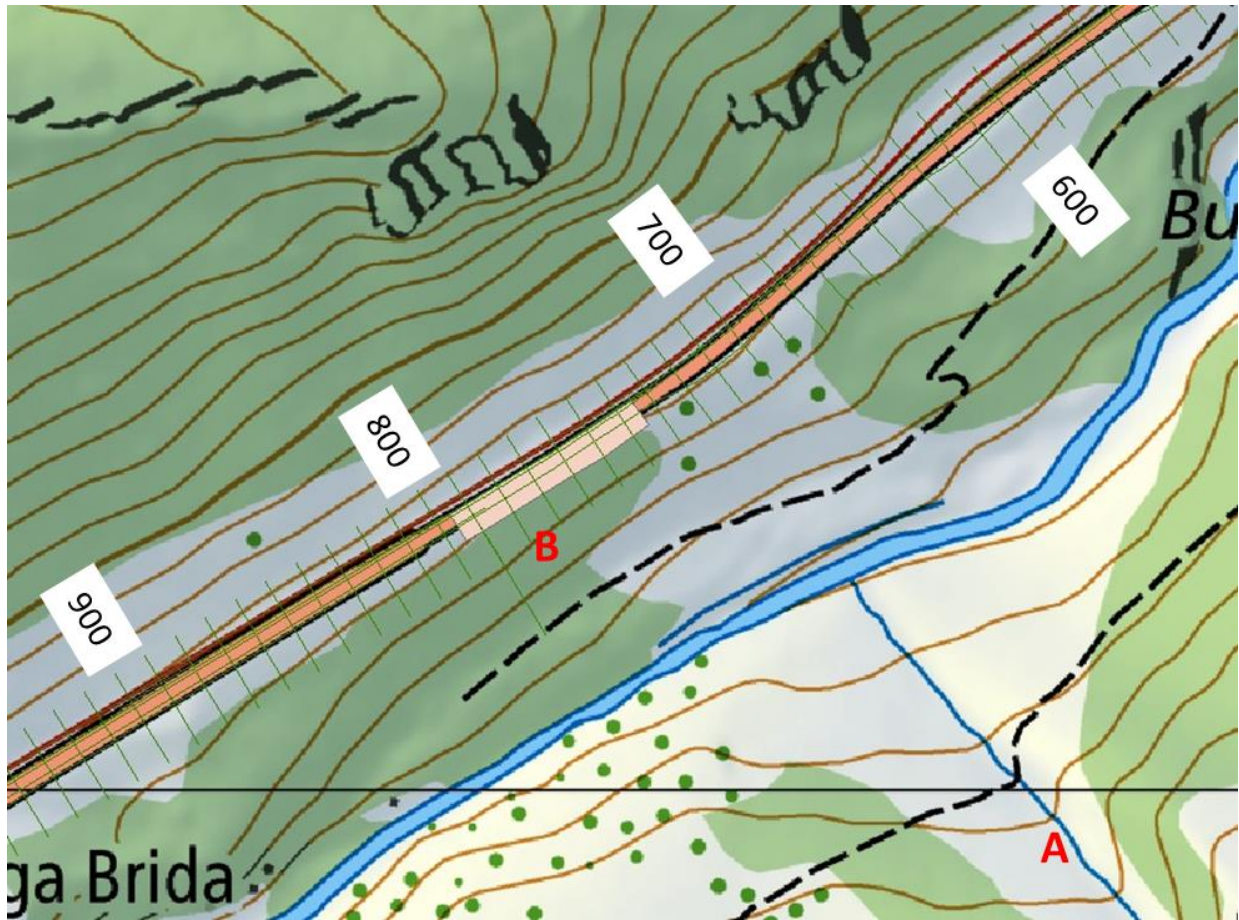


Abb. A.1 Kilometrierung entlang der Strasse (QP 600 – 900)

A = Sturzbahn Lawine Val Vadretg

B = geplante Lehenbrücke QP 735 – 795

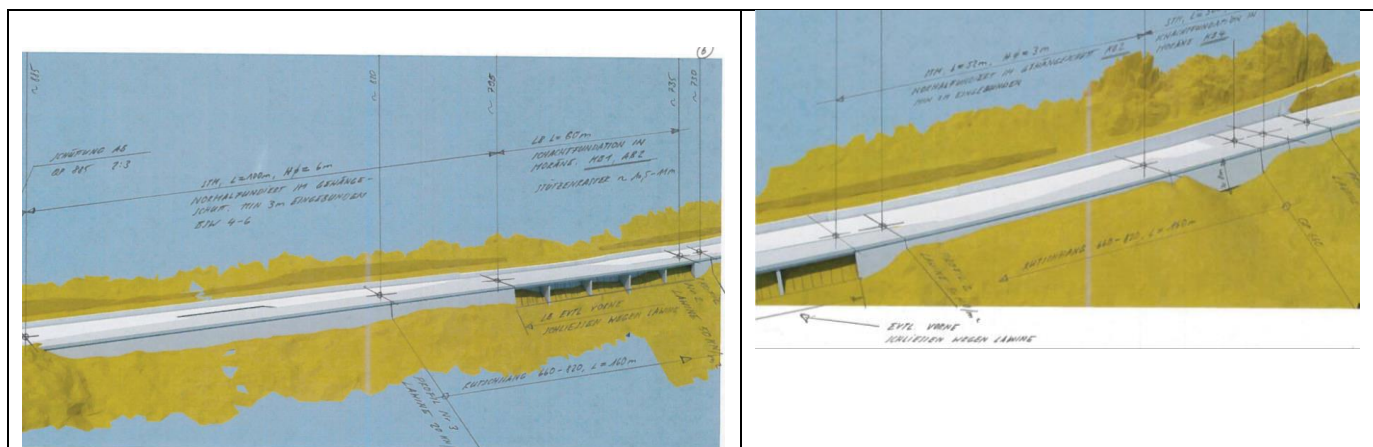


Abb. A.2 Grobkonzept geplante Lehenbrücke und Stützmauern

(File 2020.01.20_QP 390 bis 885_Konzept-KB-Visu-MC.pdf)

Anhang B: Schneelasten

Die nachfolgend aufgeführten Schneelasten sind gutachterlich bestimmt.

Tab. B.1 100- und 300-jährliche Schneelasten

Querprofile	T = 100 Jahre	T = 300 Jahre
570 – 630	8 kN/m ²	12 kN/m ²
630 – 795	10 kN/m ²	15 kN/m ²
795 – 870	8 kN/m ²	12 kN/m ²