

Sanierung Albulaleitung 380 kV - Abschnitt Filisur - Sils i. D.

Beurteilung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung



Abbildung 1: Masten Nr. 243-245 der 380 kV Freileitung Sils i.D. - Filisur unterhalb von Vaz/Obervaz [1].

Auftraggeberin

Swissgrid AG
Daniel Strassmann
Bleichemattstrasse 31
5001 Aarau

Technischer Kontakt:

Swissgrid AG
Daniel Strassmann (Grid Project Manager)

Projektleitung

Caprez Ingenieure AG, Scuol

Marco Müller

Projektverfasser

pitsch-ing.ch
Nicolo Pitsch
Forsting. ETH/SIA
Fionas 250
7551 Ftan

Dokument

Datum: 17.01.2025

Versionen: – 1.0, Bericht vollständig.

Dokument: 55524_LGSwissgridAlbulaleitung380kV-W_Bericht.odt

Inhaltsverzeichnis

1 Auftrag und Beurteilungsgebiet.....	4
2 Schutzanforderungen.....	6
3 Gefahrenerkennung.....	7
3.1 Allgemeine Schneedaten.....	7
3.2 Lawinensituation.....	8
3.2.1 Bisherige Ereignisse.....	8
3.2.2 Hangneigung betreffend Lawinen.....	9
3.2.3 Lawinenzüge.....	10
3.2.4 Schutzmassnahmen.....	10
3.3 Lawinenbeurteilung.....	10
3.4 Beurteilung betreffend Schneegleiten.....	11
4 Einwirkungen.....	13
4.1 Grundlagen.....	13
4.1.1 Einwirkungen durch Lawinen.....	13
4.1.1.1 Fliesslawinen.....	13
4.1.1.2 Staublawinen.....	14
4.1.2 Einwirkungen durch Schneedruck.....	15
4.1.2.1 Schneedruck und Schneegleiten.....	15
4.1.2.2 Ruhedruck.....	16
4.2 Einwirkungen durch Lawinen.....	16
4.3 Einwirkungen durch Schneedruck.....	17
5 Schnittstelle zu Projektierung.....	19
5.1 Verständigung.....	19
5.2 Kombinationen von Einwirkungen.....	19
5.3 Zu beachten.....	20
6 Quellen.....	21
7 Anhang.....	22
7.1 Durch Schneedruck betroffene Masten.....	22

1 Auftrag und Beurteilungsgebiet

Der Projektverfasser wurde von der Swissgrid AG, Daniel Strassmann, beauftragt, die Beurteilung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung für die zu sanierende 380 kV Freileitung Sils i.D. - Filisur durchzuführen. Es ist vorgesehen, die Foundationen und die Masten zu erneuern beziehungsweise bei Bedarf zu ersetzen. Die Mastenstandorte bleiben wie bisher.

In diesem Zusammenhang ist die statische Bemessung der Masten vorzunehmen. Ein Eingangskriterium hierzu sind die Einwirkungen durch Lawinen und Schnee.

Der Auftrag umfasst die Gefahrenerkennung betreffend Lawinen und Schneegleiten und die Ermittlung der Einwirkungen durch Lawinen und Schneegleiten auf die Masten.

Der gesamte Untersuchungsbereich umfasst den Leitungsabschnitt La Punt - Sils i.D. mit insgesamt 132 Masten. Der vorliegende Bericht befasst sich mit dem West-Teil, Abschnitt Filisur - Sils i. D. mit den Masten Nr. 202 – 258 gemäss Abbildung als Beurteilungsgebiet.

Das Beurteilungsgebiet umfasst die Masten im erwähnten Leitungsabschnitt und die zugehörigen Lawinenprozessräume.

Im vorliegenden Bericht wird in der Regel der Begriff *Mast* verwendet. Er steht stellvertretend für Freileitungsmast/Hochspannungsmast.



Abbildung 2: 380 kV Freileitung Sils i.D. - Filisur, Masten Nr. 249-252 an den Steifflanken der Schin-Schlucht Richtung Sils i. D.

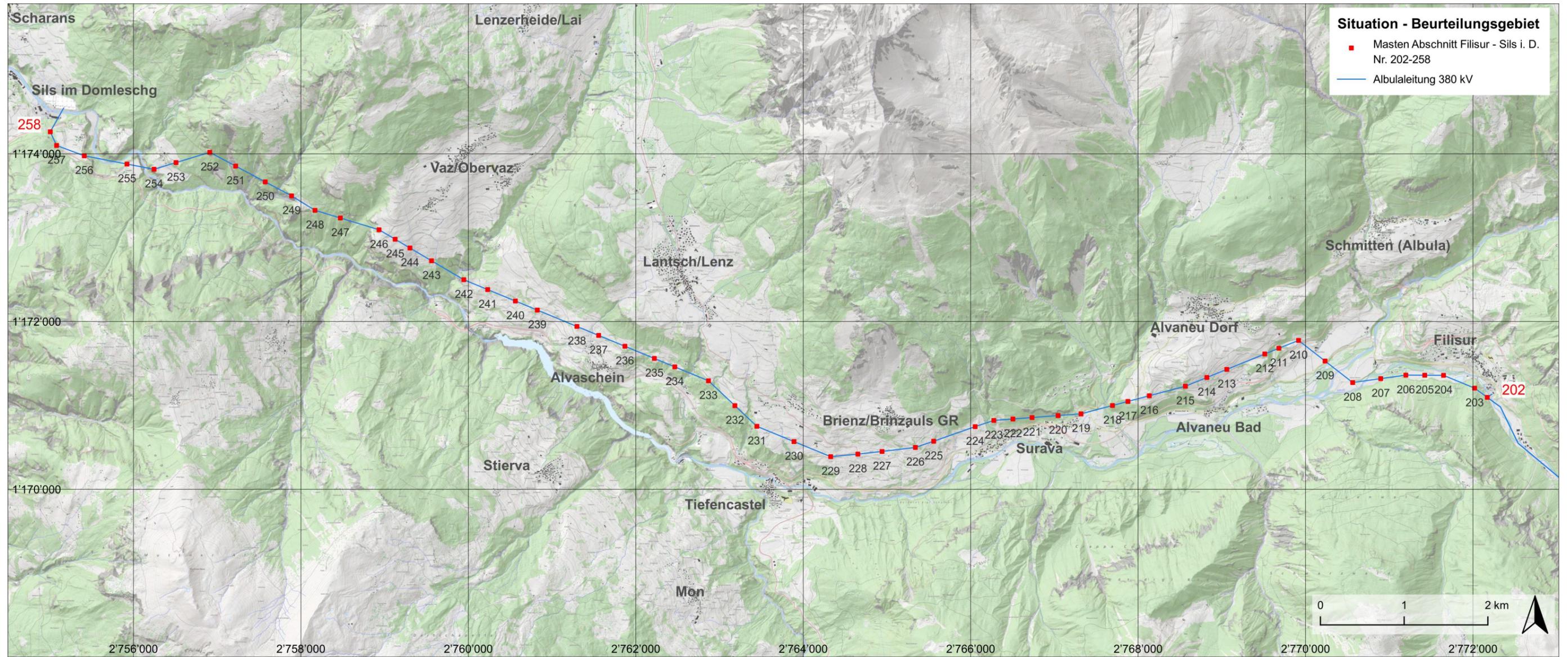


Abbildung 3: Beurteilungsgebiet Leitungsabschnitt 380 kV Freileitung Sils i.D. - Filisur.

2 Schutzanforderungen

Die Schutzanforderungen der 380 kV Freileitung Sils i.D. - Filisur betreffend die Lawinen- und Schneedruckgefährdung wurden gemäss Rücksprache mit der Swissgrid AG (D. Schatzmann) bestimmt. Sie wurden anhand der zu berücksichtigenden **Ereignis-Wiederkehrperioden** festgelegt, in Anlehnung an den Leitfaden *Berücksichtigung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung bei Seilbahnen*, WSL Berichte Heft 28, 2015, *Ein Leitfaden für die Praxis*, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (SLF), 2015. [10].

Tabelle 2 1 enthält die Zusammenstellung der zu berücksichtigenden Wiederkehrperioden bei der Lawinen- und Schneedruckgefährdung.

Objektkategorie	Wiederkehrperioden (Jahre)				
	Lawinen				Schneedruck
	10	30	100	300	30
Masten mit Fundation			x	x	x
Leiteseile	Einwirkungen auf die Leiteseile werden nicht berücksichtigt				
Schneemächtigkeit (vor Lawinenabgang)		x			

Tabelle 2 1: Zu berücksichtigende Objektkategorien und Wiederkehrperioden bei der Ermittlung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung bei der 380 kV Freileitung Sils i.D. - Filisur.

Die 300-jährliche Wiederkehrperiode für Lawinen und die 30-jährliche Wiederkehrperiode bei Schneedruck entsprechen den Anforderungen für Erschliessungsbahnen gemäss Leitfaden, sowie den Obergrenzen betreffend Siedlungsgebiete [9], [17]. Bei Erschliessungsbahnen bestehen die höchsten Anforderungen, höher als bei Beschäftigungsbahnen.

Für die 380 kV Freileitung Sils i.D. - Filisur gilt keine Zonenanforderung wie beispielsweise im Fall von Siedlungsgebiet. Für die Erfüllung der Schutzanforderungen ist der **Nachweis der Dimensionierung** für die Einwirkungen durch Lawinen- und Schneedruck bei den genannten Wiederkehrdauern zu erbringen. Möglich ist auch den Nachweis durch einen Objektschutz (z. B. Ablenkkeil) und/oder einen Flächenschutz durch permanente bauliche Massnahmen (Lawinen Anrissverbau) zu erbringen. Nicht berücksichtigt werden temporäre Massnahmen wie beispielsweise die künstliche Lawinenauslösung mit Sprengungen per Helikopter oder mit ortsfesten Sprenganlagen (Sprengmasten).

3 Gefahrenerkennung

3.1 Allgemeine Schneedaten

Für die Ermittlung der Schneedaten für das Beurteilungsgebiet wurden die Gumbel-Statistiken der SLF-Messfelder Bergün (5BE, 1380 m, 68 W.), Tiefencastel (5TC, 879 m, 50 W., n.a.) und sowie Thusis (5TH, 701 m, 70 W.) unmittelbar beim beziehungsweise im Beurteilungsgebiet untersucht. Weiter wurden die Werte von Samedan (7SD, 1750 m, 76 W.) am E-Ende der Albulaleitung zum Vergleich beigezogen. Hierbei wurden der 3-Tages Schneehöhenzuwachs (HS_DIF3D) (Abbildung 4) sowie die maximale Schneehöhe (HS) (Abbildung 5) bezogen auf eine Höhenlage von 2000 m ü.M ausgewertet.

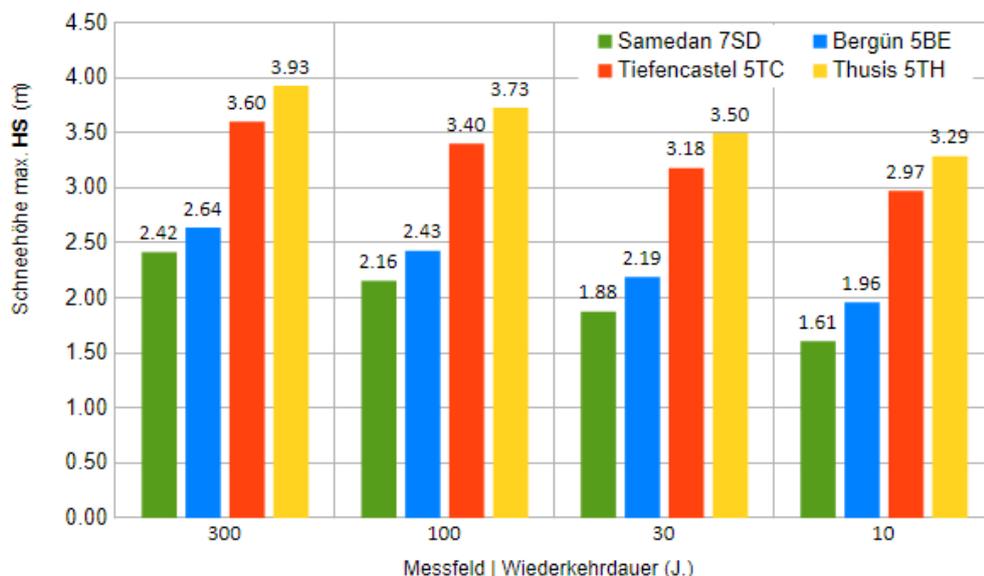


Abbildung 4: Schneehöhe (HS) für die gewählten SLF-Messfelder, für die Wiederkehrperioden 10 bis 300 Jahre, bezogen auf die Höhenlage von 2000 m ü.M.

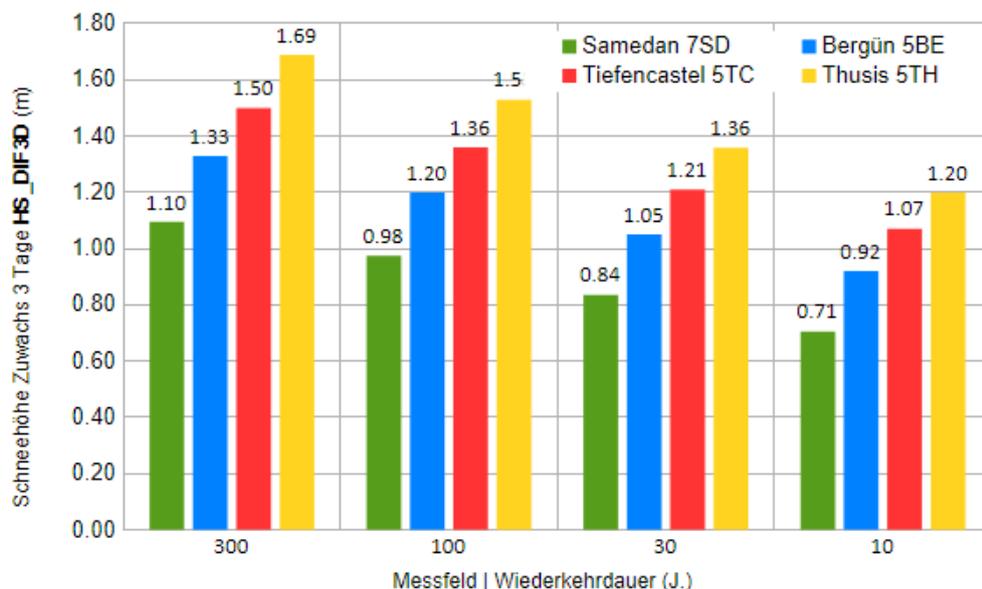


Abbildung 5: 3-Tages Schneehöhenzuwachs (HS_DIF3D) für die gewählten SLF-Messfelder, für die Wiederkehrperioden 10 bis 300 Jahre, bezogen auf die Höhenlage von 2000 m ü.M.

Die Gegenüberstellung ergibt erwartungsgemäss die niedrigsten Schnee-Werte für Samedan aufgrund der kontinentalen Lage. Für das Beurteilungsgebiet beziehungsweise den W-Abschnitt der Albulaleitung ist Samedan nicht relevant. Für die weiteren drei Messfelder zeigt sich schön, wie die Schnee-Werte von Bergün im Osten nach Westen Richtung Thusis mit zunehmend Einfluss durch Nordströmungen zunehmen.

Für das vorliegende Projekt wurden die Werte entsprechend dem Messfeld Tiefencastel mit leichter Rundung verwendet. Tabelle 3 1 unten enthält diese verwendeten Werte für die maximale Schneehöhe **HS**, den 3-Tages Schneehöhenzuwachs **HS_DIF3D**, sowie die Herleitung vom Basiswert **d0***.

Merkmal	Höhe	Wiederkehrperiode				Zuschlag/ Abzug pro 100 m (D) [15],[16]
		m ü.M	300 Jahre	100 Jahre	30 Jahre	
Schneehöhe (HS)	2000	3.60 m	3.40 m	3.20 m	2.95 m	0.20 m
3-Tages Schneehöhenzuwachs (HS_DIF3D)	2000	1.50 m	1.35 m	1.20 m	1.05 m	0.05 m
Basiswert d0* (aus HS_DIF3D berechnet)	2000	1.32 m	1.19 m	1.06 m	0.93 m	0.05 m

Tabelle 3 1: Gewählte allgemeine Schneedaten und Werte für d0*, bezogen auf 2000 m ü.M.

Lawinendynamische Berechnungen

Die Anrissmächtigkeit **d0** ist ein zentraler Eingangswert für lawinendynamische Berechnungen und wird wie folgt bestimmt:

$$d0 = d0^* \cdot f(\psi) \quad [m]$$

wobei:

$$d0^* = (HS_DIF3D + \Delta \text{ pro } 100 m) \cdot \cos(28^\circ) \quad [m]$$

$$f(\psi) = \frac{0.291}{\sin(\psi) - 0.202 \cdot \cos(\psi)} \quad [\psi = \text{Hangneigung}]$$

- Der Basiswert **d0*** ist der Ausgangswert für die Bestimmung der Anrissmächtigkeit d0. Er wird aus dem 3-Tages Schneehöhenzuwachs (HS_DIF3D) hergeleitet und für eine Hangneigung von 28° bestimmt.
- Der **Neigungsfaktor f(ψ)** wird mit zunehmender Hangneigung kleiner. Damit wird berücksichtigt, dass die Auslösewahrscheinlichkeit mit zunehmender Hangneigung zunimmt. Die Anrissmächtigkeit d0 wird demnach mit zunehmender Hangneigung kleiner!

Bemerkungen

- Zuschläge oder Abzüge aufgrund von Schneeverfrachtung sind bei den Angaben in diesem Kapitel nicht berücksichtigt, sondern allenfalls in Kapitel 4.

3.2 Lawinensituation

3.2.1 Bisherige Ereignisse

Es sind keine Lawinenereignisse bekannt, welche Masten betroffen hätten. Hierzu wurden folgende Quellen konsultiert.

- Informationen seitens vom Auftraggeber (Betreiber) und der Projektleitung.
- Ereigniskataster StorMe des AWN [19].

3.2.2 Hangneigung betreffend Lawinen

Für die Entstehung von Lawinenanrissen werden Hangneigungen zwischen 28° und 50° berücksichtigt. Bei grösserer Hangneigung erfolgen kontinuierliche Entladungen, so dass hier in der Regel kein grösserer, zusammenhängender Lawinenanriss entsteht. Bei kleinerer Hangneigung werden kaum Lawinen festgestellt.

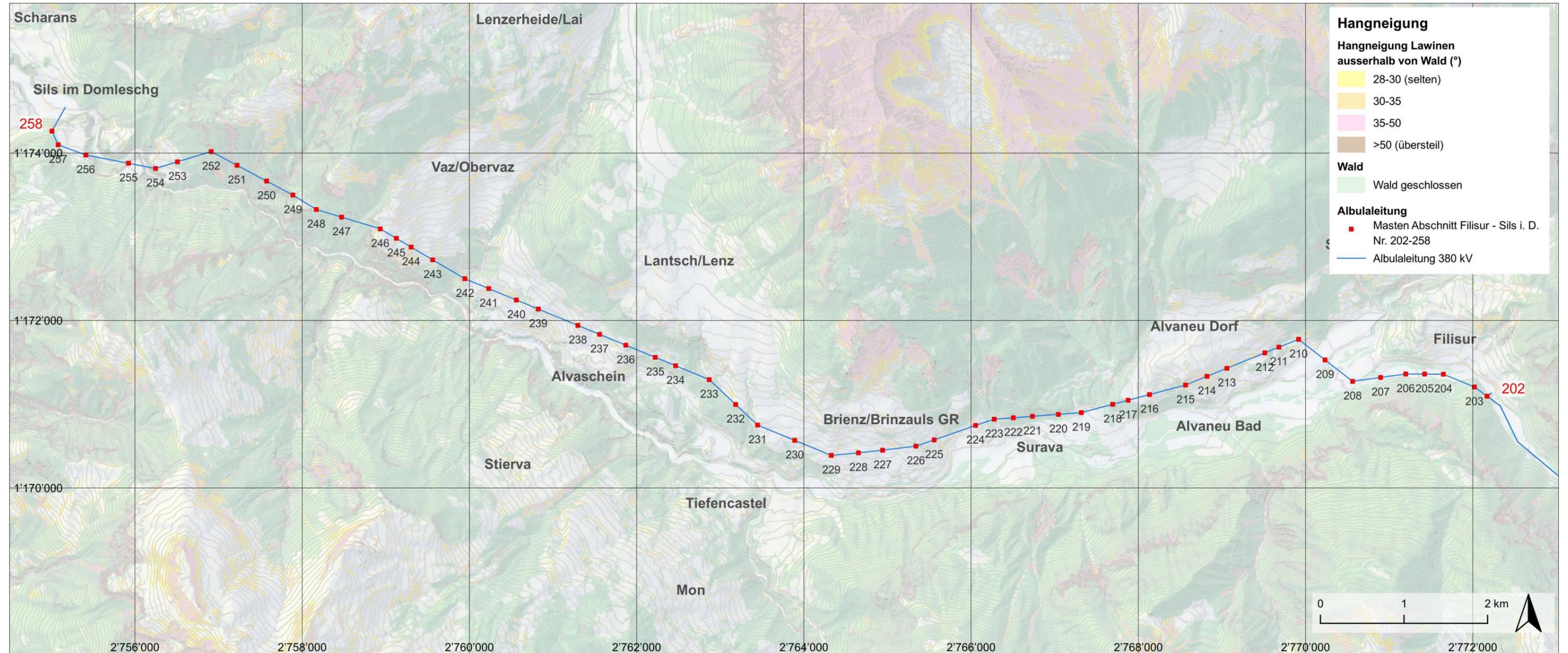


Abbildung 6: Hangneigungsklassen betreffend Lawinen, Bereiche mit 28-50° sind potenzielle Anrissgebiete.

3.2.3 Lawinenzüge

Für die Ermittlung von Lawinenzügen mit potenzieller Gefährdung der Masten bildet die SilvaProtect-Gefahrenhinweiskarte eine gute Grundlage. Diese wurde durch WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (SLF) mittels Lawinenmodellierung basierend auf einer automatischen Erkennung der Anrissgebiete. Bei der Bestimmung der Anrissgebiete wurde der Wald berücksichtigt. Anrissverbauungen wurden nicht berücksichtigt. Die Ausdehnung der ermittelten Lawinen entspricht Ereignissen mit einer ungefähr 300-jährlichen Wiederkehrperiode. [12]

Es bestehen keine Lawinenzüge gemäss SilvaProtect, welche Masten erreichen könnten. Bemerkungen zu potenziellen Lawinenzügen:

- Im Bereich oberhalb von Mast Nr. 214 befindet sich ein potenzielles Anrissgebiet. Der Mast befindet sich im Randbereich, wo die mögliche Anrissgebiet Höhendifferenz nur noch etwa 20 m beträgt. Weiter ist das Gebiet locker bestockt mit Bäumen und Sträuchern.
- Der Lawinenzug zwischen die Masten Nr. 223 und 224 verläuft in einem tiefen Einschnitt. Nr. 223 befindet sich auf der Anhöhe links und Nr. 250 rechts davon in erheblicher Entfernung hinter einer Anhöhe.
- Der Lawinenzug zwischen die Masten Nr. 249 und 250 verläuft in einer Schlucht, während beide Masten sich auf den Anhöhen links und rechts davon in erheblicher Entfernung befinden.
- Die Beobachtung im Gelände, in der Regel mittels Gegenhang-Aufnahmen, ergab keine Anhaltspunkte für weitere potenziell gefährliche Lawinenzüge.

Somit verbleiben keine Lawinenzüge, welche Masten gefährden könnten.

3.2.4 Schutzmassnahmen

Es bestehen keine **permanente Schutzbauten** für Lawinen (Anrissverbau) in potenziellen Lawinenzügen gemäss Kapitel 3.2.3. Auch sind keine Schutzbauten unmittelbar oberhalb oder Objektschutzmassnahmen bei den Masten zu erkennen.

Temporäre Massnahmen der künstlichen Lawinenauslösung mit Sprengungen per Helikopter, wie auch die Pistenpräparierung würden bei der Beurteilung der Gefährdung und demzufolge bei der Bestimmung der im vorliegenden Dokument ermittelten Einwirkungen entsprechend die Vorgaben des Leitfadens des SLF/BAV nicht berücksichtigt [10].

3.3 Lawinenbeurteilung

Aufgrund der Analyse der Lawinensituation in Kapitel 3.2 besteht keine Lawinengefährdung für die Masten auf dem untersuchten Abschnitt der 380 kV Freileitung Sils i.D. - Filisur.

3.4 Beurteilung betreffend Schneegleiten

Unter *Schneegleiten* (auch als Gleitschnee bezeichnet) versteht man eine talwärts gerichtete, langsame Bewegung der gesamten Schneedecke auf dem Untergrund. Wesentliche Voraussetzung dafür ist eine glatte Bodenoberfläche und ein nicht gefrorener Boden. Schneegleiten kann bereits bei Hangneigungen von 15° einsetzen. Starkes Schneegleiten tritt meist an Hängen auf, die steiler als 25° sind, eine kleine Bodenrauigkeit und einen vernässten Untergrund aufweisen, sowie südexponiert sind (ENE-S-WNW). Grosse Schneehöhen und langanhaltende Wärmeperioden verschärfen die Entstehung von Schneegleiten. Die durch Schneegleiten erzeugten Druckkräfte betragen in der Regel zwischen 3 und 30 kN/m². [9], [8]

Schneegleiten und das stets vorkommende Schneekriechen in der Schneedecke sind die Faktoren für die Einwirkungen durch *Schneedruck* auf Objekte. Eine Voraussetzung, dass die Einwirkungen vom Schneedruck (mit oder ohne Schneegleiten) als relevant für die Masten betrachtet werden, ist in der Regel eine Hangneigung von mindestens 25° ([10], siehe mehr dazu Kapitel 4.1.2.1). Für die Ermittlung vom Einfluss des Untergrunds, der Exposition und weiteren Faktoren wurden die Parameter gemäss Richtlinie [10] verwendet.

Im Beurteilungsgebiet beziehungsweise entlang vom untersuchten Abschnitt der 380 kV Freileitung Sils i.D. - Filisur sind an einigen Stellen Voraussetzungen für *Schneegleiten* vorhanden. Die Beurteilung wurde anhand von Aufnahmen im Gelände, den Beizug vom Luftbild und der Neigungskarte sowie von weiteren digitalen Grundlagen vorgenommen. Betreffend Aufnahmen im Gelände nahe die Masten ist zu erwähnen, dass zwischen Surava und Tiefencastel (Masten Nr. 221 bis 231) seit längerem alle Strassen/Wege abgesperrt sind wegen der Gefahrensituation aufgrund vom Rutsch-/Bergsturzgebiet Brienz/Brinzauls (Halte- und Parkverbot).

In Abbildung 7 auf Seite 12 sind die Neigungsklassen betreffend Schneegleiten dargestellt (unabhängig von Exposition und Bodenrauigkeit).

Die Einwirkungen durch Schneedruck und Schneegleiten sind in Kapitel 4.3 aufgeführt.

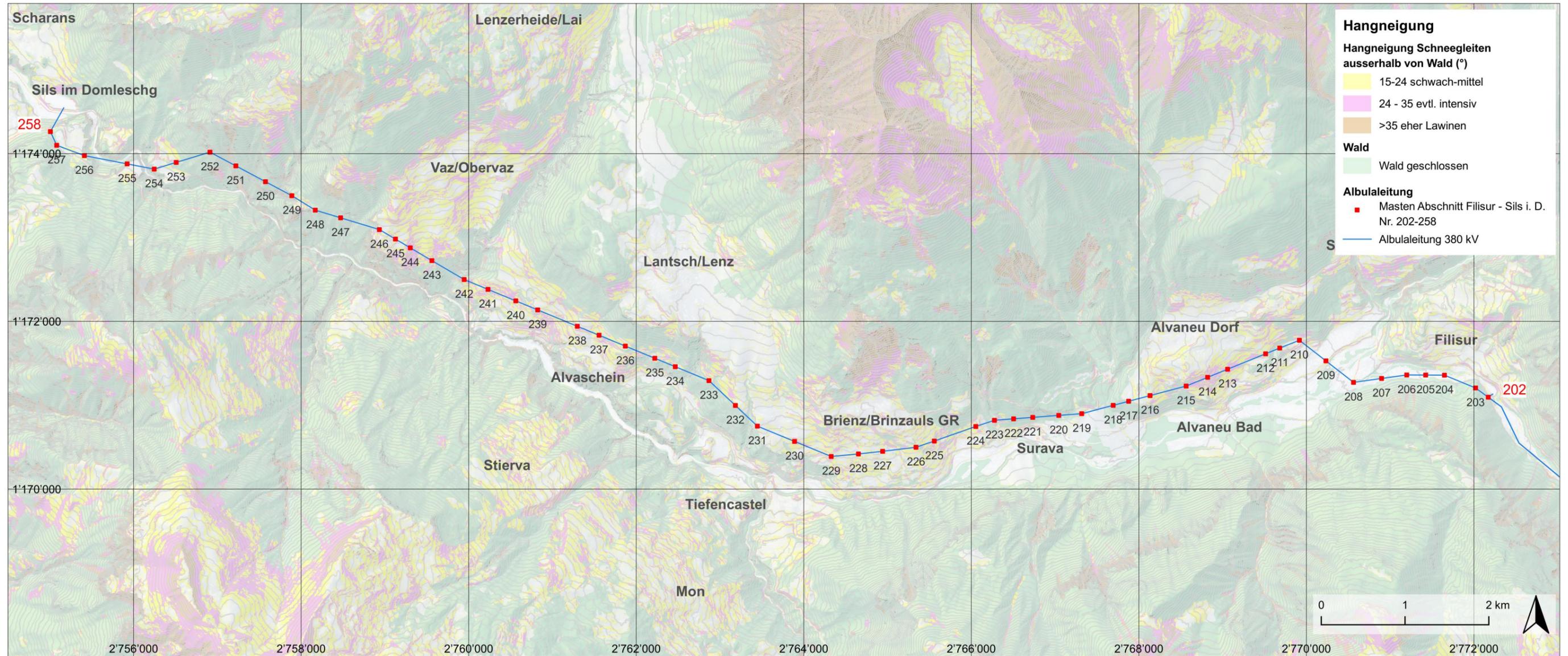


Abbildung 7: Hangneigungsklassen betreffend Schneegleiten.

4 Einwirkungen

4.1 Grundlagen

Die nachfolgend aufgeführten Angaben betreffend Ermittlung von Einwirkungen durch Lawinen und Schneedruck wurden gemäss Leitfaden für Seilbahnen hergeleitet [10]. Dem liegen weitere Grundlagen zugrunde (wie [9], [13], [15]).

4.1.1 Einwirkungen durch Lawinen

4.1.1.1 Fliesslawinen

4.1.1.1.1 Grosse, flächige Objekte

Gross heisst, dass die meisten Schneeteilchen im Lawinenstrom durch das Objekt abgelenkt werden. Vollwandige Objekte (wie Mauern, Gebäude) werden nicht von den Schneemassen umströmt. Bei Lawinen findet ein Aufprall mit oder ohne Ablenkung statt. Die Druckkräfte bei **Lawinen** werden anhand von Lawinengeschwindigkeit, Schneemasse und Ablenkwinkel berechnet [10].

Berechnungsformeln:

Lawinendruck senkrecht zur Fläche $q_N = \rho \cdot (v \cdot \sin(\alpha))^2$ [kN/m^2] (α = Ablenkwinkel)

Lawinendruck parallel zur Fläche $q_S = \mu \cdot q_N$ [kN/m^2] (μ = Reibungsbeiwert)

Stauhöhe $d_{Stau} = (v \cdot \sin(\alpha))^2 / (2 \cdot g \cdot \lambda)$ [m]

4.1.1.1.2 Schmale Objekte

Schmal (< ca. 2 m) heisst, dass die Schneeteilchen das Objekt umströmen und nicht um einen einheitlichen Winkel abgelenkt werden.

Im Fussbereich vom Hochspannungsmasten verhalten sich die 4 Fachwerkstützen wie schmale Objekte. Das Fachwerk der Masten ist teilweise durchlässig, so dass keine Ablenkung stattfindet.

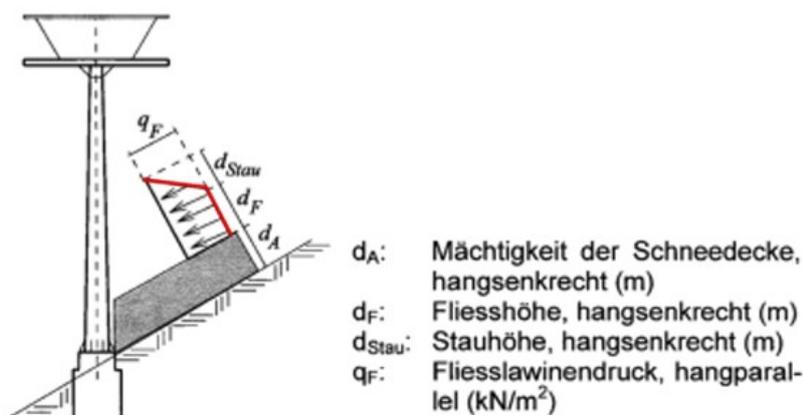
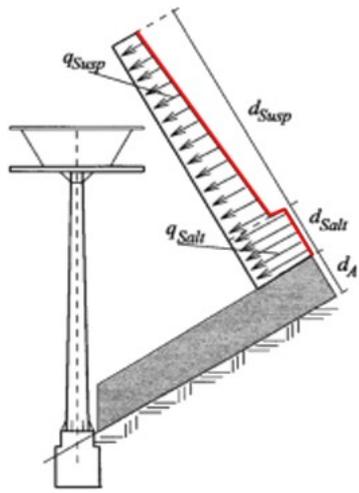


Abbildung 8: Schema Einwirkung Fliesslawine [10].

Fliesslawine: Die Staudrücke sind über die Fließhöhe konstant und über die Stauhöhe linear auf null abnehmend. Die Fliesslawine wirkt über der Schneedecke. Eventuell auf die Schneedecke übertragene Drücke werden vernachlässigt.

Staublawine: In der bodennahen *Saltationsschicht* kann eine in der Höhe konstante Belastung ange-



- d_A : Mächtigkeit der Schneedecke, hangsenkrecht (m)
- d_{Salt} : Mächtigkeit der Saltationsschicht, hangsenkrecht (m)
- d_{Susp} : Mächtigkeit der Suspensionschicht, hangsenkrecht (m)
- q_{Salt} : Druck in der Saltationsschicht, hangparallel (kN/m^2)
- q_{Susp} : Druck in der Suspensionschicht, hangparallel (kN/m^2)

Abbildung 9: Schema Einwirkung Staublawine [10].

nommen werden. Die starken Stösse, welche durch einzelne Knollen entstehen können, werden nicht angegeben. Diese sind jedoch bei dünnwandigen Konstruktionen zu berücksichtigen.

Der Staudruck in der *Suspensionsschicht* nimmt mit der Höhe ab.

Die Wirkungsrichtung von Staublawinen kann aufgrund von Turbulenzen von der Hauptflussrichtung stark abweichen.

Berechnungsformeln:

$$q_F = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot c \cdot v^2 \quad [kN/m^2]$$

$$Q_F = q_F \cdot B \cdot (d_F + d_{Stau} / 2) \quad [kN]$$

$$d_{Stau} = v^2 \cdot f_{(B/d)} / (2 \cdot g \cdot \lambda) \quad [m]$$

Hierbei:

Tab. A.5.1: Reduktionsfaktor $f(B/d)$ in Abhängigkeit des Verhältnisses B/d (SALM *et al.* 1990).

[10]

Verhältnis von Breite zu Fließhöhe (B/d)	0,1	0,5	1	2	≥ 3
Reduktionsfaktor $f(B/d)$	0,1	0,4	0,7	0,9	1

Bemerkungen:

- Für die Schneedichte ρ wurde der vorgeschlagene Wert von 300 kg/m^3 verwendet.
- Der Widerstandskoeffizient c ist entsprechend dem Objektprofil zu wählen.

4.1.1.2 Staublawinen

Folgende Angaben richten sich nach dem Leitfaden für Seilbahnen [10].

Für die Berechnung der Einwirkungen von Staublawinen wird zwischen den Lawinendrücken in der Saltationsschicht (resp. fluidisierten Schicht) und den Staudrücken in der Suspensionschicht unterschieden.

Die Einwirkungen der *Saltationsschicht* können in Analogie zu Fließlawinen berechnet werden (vgl. Anhang A.5).

Die Einwirkungen der *Suspensionsschicht* auf Objekte können in Analogie zu Windkräften gemäss Kap. 6 der SN 505 261 behandelt werden, wobei der Staudruck von Wind q_p durch den Staudruck der Suspensionschicht q_{susp} ersetzt wird.

Windlasten in der Suspensionschicht von Staublawinen beziehungsweise im Staubanteil von Fließlawinen werden ab einem *Druck von 1 kN/m^2 und mehr* berücksichtigt.

4.1.2 Einwirkungen durch Schneedruck

4.1.2.1 Schneedruck und Schneegleiten

Der **Schneedruck** setzt sich im allgemeinen zusammen aus dem Druck, hervorgerufen durch eine lokale Abbremsung der Kriechbewegung (Kriechdruck) und durch das gegebenenfalls vorhandene Schneegleiten (Gleitdruck) [15].

→ Hinweis: Schneedruck und Schneegleiten ist in der Regel ab *Hangneigung von 25° und mehr* zu berücksichtigen, bei ungünstigen Verhältnissen (i. d. R. Gleitfaktor $N > 2.5$; Tab. A.7.2) ab Neigungen von 20° (Kapitel 2) [10].

4.1.2.1.1 Breite Objekte

Der hangparallele Kriech- und Gleitdruck auf eine starre, senkrecht zum Hang stehende und in der Niveaulinie unendlich lange Fläche wird wie folgt ermittelt [15].

$$\text{Schneedruckkomponente } q_N = \rho \cdot g \cdot h_A^2 \cdot \frac{1}{2} \cdot K \cdot N \quad [\text{kN/m}'] \quad (\text{Linienlast pro m entlang der Niveaulinie})$$

4.1.2.1.2 Schmale Objekte

Für die Stützen wurden nachfolgende Formeln zur Bestimmung vom hangparallelen Schneedruck verwendet.



Abbildung 10: Schema Einwirkung Schneedruck [10].

Berechnungsformeln:

$$\text{Schneedruck auf Stütze } q_G = q_N \cdot \eta \cdot B / d_A \quad [\text{kN/m}'] \quad (\text{Linienlast pro m Schneemächtigkeit } d_A)$$

$$\text{Gesamtlast auf Stütze } Q_G = q_G \cdot d_A \quad [\text{kN}]$$

Hierbei:

$$\text{Erdbeschleunigung } g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Wirkungsfaktor } \eta = 1 + \eta_m \cdot d_A / B \quad (\eta_m \text{ gemäss Tab. A.7.3})$$

$$\text{Kriechfaktor } K = 0.76 \cdot \sin(2 \cdot \psi)$$

4.1.2.2 Ruhedruck

Wo kein Schneedruck aufgrund von Schneekriechen und (allenfalls) Schneegleiten vorkommt, ist als minimaler Wert für den Schneedruck die Setzung der Schneedecke zu berücksichtigen. Der horizontal wirkende **Ruhedruck** q_H wird gemäss Kapitel 3 in [9] ermittelt. Bei nicht lotrecht stehenden Objekten, wie beim Fachwerk, ist der vertikal wirkende **Setzungsdruck** q_V zu beachten. Hier entfällt der *Ruhedruckbeiwert* m . Bei beiden Setzungsdrücken ist der Wirkungsfaktor η zu berücksichtigen.

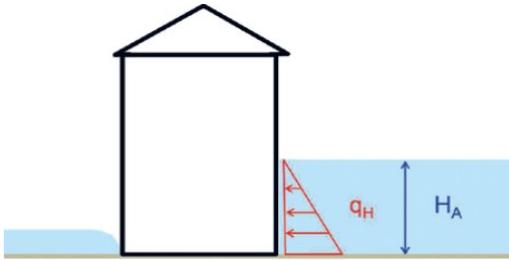


Abbildung 11: Schema Einwirkung Ruhedruck [9].

Als minimaler Wert für den Ruhedruck ist bei +/- horizontalem Gelände der horizontal wirkende *Ruhedruck* q_H zu berücksichtigen.

$$\text{Ruhedruck } q_H = \rho \cdot g \cdot h_A \cdot m \quad [\text{kN/m}^2]$$

Bemerkungen:

– Der Ruhedruckbeiwert m ist von der Schneeart abhängig und variiert zwischen 0.20 und 0.33. [9]

4.2 Einwirkungen durch Lawinen

Die Masten vom Leitungsabschnitt der 380 kV Freileitung Sils i.D. - Filisur gemäss Kapitel 1 sind nicht durch **Lawinen** mit bis 300-jährliche Wiederkehrperiode betroffen (Kapitel 3.3). Gemäss Schutzanforderungen nach Kapitel 2 bestehen keine besonderen Anforderungen betreffend Bemessung.

4.3 Einwirkungen durch Schneedruck

Für einige der Masten sind aufgrund der Geländegegebenheiten gemäss den Kriterien in Kapitel 4.1.2 Einwirkungen durch **Schneedruck** zu berücksichtigen. Schneedruck wirkt auf der Höhe der natürlich abgelagerten Schneedecke. Nachfolgend sind die Masten aufgeführt, wo Schneedruck gemäss Beurteilung in Kapitel 3.4 zu berücksichtigen ist. Abbildungen zu den betroffenen Masten finden sich in Abbildung 12 unten und in Kapitel 7.1.

Bemerkungen:

- Hierbei wird wie weiter oben im Abschnitt 4 erwähnt die natürlich abgelagerte Schneehöhe bei 30-jährlicher Wiederkehrperiode berücksichtigt.
- Der Gleitfaktor N im Zusammenhang mit dem Schneegleiten als Komponente vom *Schneedruck* wurde pro Stütze basierend auf die Einschätzung im Feld und gemäss weitere Grundlagen in Kapitel 3.4 festgelegt.
- Betreffend Einwirkungsort am Masten wurde jeweils der Mastfuss unmittelbar oberhalb vom Betonsockel angenommen. Hierbei wurde ein Durchmesser vom Mastfuss (Fachwerk) von 0.3 m angenommen. Die Höhe vom Betonsockel über Boden ist nicht berücksichtigt.



Abbildung 12: Fussbereich Mast mit Betonfundamente und Mastfuss-Fachwerk (Mast Nr. 244 [2]).

Einwirkungsart	Symb.	Einh.	Mast													
			213	214	215	240	241	244								
Mast Nr																
Generelle Eingangswerte	3															
Mastfuss-Durchmesser (Fachwerk)	4	B	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30							
Hangneigung	5	ψ	26	25	30	25	25	26								
Meereshöhe	6	m ü.M.	m	1'075	1'120	1'115	955	945	1'095							
Korrekturfaktor zu h_A (A.4)	7			1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0							
Zuschlag/Abzug für Verfrachtung	8			-	-	-	-	-	-							
Höhe der Schneedecke (30-jährlich)	9	h_A	m	1.35	1.44	1.43	1.11	1.09	1.39							
Mächtigkeit Schneedecke (30-jährlich)	10	d_A	m	1.21	1.31	1.24	1.01	0.99	1.25							
Schneedruck [10] A.7	11															
Dichte der Schneedecke	12	ρ	kg	300	300	300	300	300	300							
Kriechfaktor, in Funktion von ρ und ψ	13	K		0.60	0.58	0.66	0.58	0.58	0.60							
Gleitfaktor (Tab. A.7.2)	14	N		3.2	2.4	2.4	2.4	3.2	3.2							
Schneedruckkomponente (Linienlast)	15	q_N	kN/m'	5.1	4.3	4.8	2.5	3.3	5.4							
Wirkungsfaktor, Multiplikator	16	η_m		1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5							
Wirkungsfaktor, Randkräfte (Tab. A.7.3)	17	η		7.1	7.5	7.2	6.0	5.9	7.2							
Schneedruck auf Mastfuss (Linienlast)	18	q_G	kN/m'	9.0	7.4	8.3	4.6	5.9	9.5							
Gesamtlast auf Mastfuss	19	Q_G	kN	10.9	9.6	10.3	4.6	5.8	11.8							

Tabelle 4 1: Einwirkungen durch Schneedruck auf die Masten (es sind nur die betroffenen Masten aufgeführt).

5 Schnittstelle zu Projektierung

5.1 Verständigung

Die in der vorliegenden Lawinenbeurteilung bestimmte Gefährdung durch Lawinen und Schneedruck mit Angabe der Einwirkungen in Abschnitt 3 dient dem projektierenden Ingenieur als Grundlage für die Bemessung der Masten. Die Einwirkungen bilden die Schnittstelle zwischen dem Lawinenexperten und dem projektierenden Ingenieur. [11]

Die nachfolgenden Angaben in diesem Kapitel beziehen sich auf die Begrifflichkeiten gemäss SIA 261 (Leitfaden [11] Kapitel 3.2 u. a.).

Anhand der Angaben in Kapitel 2 ist betreffend **Lawinen** zu erkennen, dass die *aussergewöhnlichen Lawineneinwirkungen* untersucht wurden (lange Wiederkehrperiode von 100 Jahre und mehr). Zu den *veränderlichen (normalen) Lawineneinwirkungen* (Wiederkehrperiode 30 Jahre und kürzer) werden in der vorliegenden Beurteilung keine Angaben gemacht.

Da im hier untersuchten Beurteilungsgebiet beziehungsweise entlang vom Leitungsabschnitt 380 kV Freileitung Sils i.D. - Filisur keine Lawinen mit bis 300-jährliche Wiederkehrperiode die Masten betreffen beziehungsweise gefährden, trifft das selbstredend auch betreffend die veränderlichen Einwirkungen zu.

Die Angaben betreffend **Schneedruck** werden jeweils für (maximal) 30-jährliche Wiederkehrdauern ermittelt.

Hinweis: betreffend Ermittlung der vertikalen Auflast q_K der Schneedecke aufgrund von Schneefall, Verfrachtung (oder Lawinen) wird auf die SIA Norm 261 verwiesen. Die Ermittlung der Auflast ist Sache des projektierenden Ingenieurs.

5.2 Kombinationen von Einwirkungen

Die möglichen Kombination von Einwirkungen durch Lawinen und Schneedruck wurden wie folgt beurteilt ([10] Kapitel 3.4).

Da keine relevanten Lawinen im Bereich der Masten vorkommen, tritt keine Kombination der Einwirkungen auf.

Folgendes Szenario ist gemäss den im Leitfaden beschriebenen Gefährdungsbildern durch den projektierenden Ingenieur zu berücksichtigen.

- Schneedruck als Begleiteinwirkung neben andere Einwirkungen (Schneedruck kann über einen längeren Zeitraum andauern).
- Schneedruck als Leiteinwirkung.

5.3 Zu beachten

Nicht berücksichtigte Einwirkungen durch Fliesslawinen

- In einer Lawine mitgeführte Steine oder sonstige harte Gegenstände wie Eisklumpen können einen Stossdruck erzeugen, welcher ein Mehrfaches der vorangehenden aufgeführten Drücke beträgt ([13] S. 97). Diese Drücke wurden nicht ermittelt.
- Nassschneelawinen fliessen langsamer als die in den vorangehenden Kapiteln berücksichtigten trockenen Fliesslawinen. Aufgrund der Verdichtung und der Kohäsion können sie dennoch grosse Kräfte auf Stützen ausüben.

Allgemein

Bei der Beurteilung von Lawinengefahren sind verschiedene Naturphänomene wie Schnee, Wetter, Gelände, Wald zu berücksichtigen und deren Einfluss zu bewerten. Deren Analyse im Kontext des vorliegenden Projektes erfolgte unter Anwendung der verfügbaren Fachmethoden, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen. Es ist zu beachten, dass eine exakte Berechenbarkeit nie erreicht werden kann. Lawinen können beispielsweise grösser ausfallen, an unerwarteten Stellen auftreten oder häufiger vorkommen als angegeben.

6 Quellen

Nachfolgend eine nicht abschliessende Auflistung der verwendeten Grundlagen.

Gutachten, Sesselbahn-Projektgrundlagen

- [1] Fotoaufnahmen Masten 380 kV Freileitung Sils i.D. - Filisur, pitsch-ing.ch + B. Huber, Dezember 2024.
- [2] 6.15.025 Leitungsmodernisierung 380kV-Freileitung La Punt - Sils i.D, Mastenangaben (Excel) und Fotos (2016 und 2024), Caprez Ingenieure AG, Scuol, 2024.

Fachgrundlagen und weitere Dokumente

- [3] Gumbel Diagramme der SLF-Messfelder Samedan (7SD, 1750 m, 76 W.), Bergün (5BE, 1380 m, 68 W.), Tiefencastel (5TC, 879 m, 50 W., n.a.), SLF - Extreme Value Analysis, 2024.
- [4] Intensitäts- und Gefahrenkarten, Geodatenmodell GKGR2.0, Fachdokumentation, Version 1.8, AWN, 19.03.2024.
- [5] RAMMS::Extended, Version 2.8.33, Software für zweidimensionale Lawinensimulation, erweiterte Ausführung, SLF, 2024.
- [6] RAMMS, Version 1.8.27, Software für zweidimensionale Lawinensimulation, SLF, 2022.
- [7] Gefahrenhinweiskarten Lawinen Kanton Graubünden (GHK), SLF Bericht, 31.08.2020.
- [8] Berücksichtigung von Gleitschnee (GS) in der Gefahrenkarte (GK), AWN, 30.01.2018.
- [9] Ausscheiden von Schneegleiten und Schneedruck in Gefahrenkarten, WSL Berichte, Heft 47, SLF, 2016.
- [10] Berücksichtigung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung bei Seilbahnen, WSL Berichte Heft 28, 2015, Ein Leitfaden für die Praxis, WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (SLF), 2015.
- [11] SIA Norm 261:2014, Einwirkungen auf Tragwerke, SIA, 2014.
- [12] SilvaProtect-CH: Prozessmodellierung, Anhang 1, BAFU/SLF, Januar 2013.
- [13] Handbuch Technischer Lawinenschutz, Rudolf-Miklau/Sauer Moser, 2011.
- [14] Beurteilung der Wirkung von Schutzmassnahmen gegen Naturgefahren als Grundlage für ihre Berücksichtigung in der Raumplanung (Protect), Strategie Naturgefahren Schweiz, PLANAT, 2007.
- [15] Lawinenverbau im Anbruchgebiet, Technische Richtlinie als Vollzugshilfe, BAFU/SLF, 2007.
- [16] Neue Berechnungsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung, SLF, 1999, 2001, 2005.
- [17] Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten, Bundesamt für Forstwesen / Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 1984.
- [18] Schnee und Lawinen in den Schweizeralpen (Winterberichte), WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF (SLF), 1936-2019.

Online verfügbare Grundlegendaten

- [19] Geoportal der kantonalen Verwaltung, Thema *Naturgefahren – intern*, map.geo.gr.ch.
- [20] Digitales Höhenmodell SwissALTI3D, swisstopo.ch.
- [21] Topografischen Karten, <https://wms.geo.admin.ch>.
- [22] Luftbild-Informationssystem (LUBIS), Swisstopo, <https://www.swisstopo.admin.ch/de/karten-daten-online/karten-geodaten-online/lubis.html>.

7 Anhang

7.1 Durch Schneedruck betroffene Masten

Dieses Kapitel enthält Abbildungen der gemäss Kapitel 4.3 durch Schneedruck betroffenen Masten. Ausnahme: Mast Nr. 244 ist in Abbildung 12 auf Seite 17 dargestellt.



Abbildung 13: Mast Nr. 213, durch Schneedruck betroffen ([2] 2016).



Abbildung 14: Mast Nr. 214, durch Schneedruck betroffen ([2] 2016).



Abbildung 15: Mast Nr. 215, durch Schneedruck betroffen ([1]).



Abbildung 16: Mast Nr. 240, durch Schneedruck betroffen ([1]).



Abbildung 17: Mast Nr. 241, durch Schneedruck betroffen ([1]).