



Heft 28, 2015

WSL Berichte

ISSN 2296-3456

Berücksichtigung der Lawinen- und Schneedruck- gefährdung bei Seilbahnen

Ein Leitfaden für die Praxis

Stefan Margreth
Lukas Stoffel
Mark Schaer



WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF
7260 Davos



Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
CH-8903 Birmensdorf

Berücksichtigung der Lawinen- und Schneedruck- gefährdung bei Seilbahnen

Ein Leitfaden für die Praxis

Stefan Margreth
Lukas Stoffel
Mark Schaer

Herausgeber
WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, 7260 Davos
Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL
CH-8903 Birmensdorf

Herausgeber
WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos

Verantwortlich für die Herausgabe
Dr. Jürg Schweizer, Leiter SLF, Davos

Kontakt
Stefan Margreth
Lukas Stoffel
Mark Schaer
WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF
Flüelastrasse 11
CH-7260 Davos Dorf

Auftraggeber
Bundesamt für Verkehr

Projektbegleitung
Alain Gilliland, BAV
Urs Dietrich, BAV
Markus Beutler, BAV
Laurent Queloz, BAV

Layout: Jacqueline Annen, WSL

Zitiervorschlag
Margreth, S.; Stoffel, L.; Schaer, M., 2015: Berücksichtigung der Lawinen-
und Schneedruckgefährdung bei Seilbahnen. Ein Leitfaden für die Praxis.
WSL Ber. 28: 43 S.

Bezug
Vorliegender Leitfaden kann aus dem Internet heruntergeladen werden.
Download: www.wsl.ch/publikationen/pdf/14707.pdf
Nur als PDF verfügbar.

ISSN 2296-3456

Fotos Umschlag:
Lawinenabgang auf das Trasse einer Sesselbahn, 1999
Durch einen Lawinenkeil geschützte Fachwerkstütze einer Umlaufbahn
Gleitschneeanriss im Hang oberhalb einer Sesselbahn, 1999
Durch Gleitschneelawine zerstörte Sesselbahnstütze, 1999
Sesselbahnstütze auf hochgezogenem Betonsockel
Alle Fotos von Stefan Margreth

Zusammenfassung

Seilbahnen im Gebirge sind regelmässig durch Lawinen und Schneedruck gefährdet. Es ist daher wichtig, dass bereits bei der Planung von Seilbahnen der Gefährdung durch Lawinen und Schneedruck gebührend Rechnung getragen wird. In der Schweiz verlangt das Bundesamt für Verkehr BAV im Rahmen des Bewilligungsverfahrens für Seilbahnen daher ein Lawinengutachten, dessen Inhalt im vorliegenden Leitfaden umschrieben wird. Es werden die Szenarien definiert, die bei der Gefahrenanalyse durch Lawinen und Schneedruck, der Massnahmenplanung und der Bemessung von Seilbahnen und Schutzbauten zu berücksichtigen sind. Der Lawinenexperte bestimmt gemäss den Vorgaben des Leitfadens die Nennwerte der Einwirkungen und geht auf die erforderlichen baulichen und temporären Schutzmassnahmen ein. Diese Angaben dienen dem projektierenden Ingenieur als Grundlage, um die Seilbahn detailliert zu planen. Dazu werden die wichtigsten Berechnungsformeln für Lawinen und Schneedruck sowie zur Bestimmung der maximalen Schneehöhe angegeben. Weiter sind die relevanten Kombinationen von Einwirkungen für die Bemessung definiert. Der Leitfaden enthält alle relevanten Informationen, die es bezüglich Plangenehmigung, Betriebsbewilligung und der Überprüfung von Seilbahnen im Zusammenhang mit Lawinen und Schneedruck zu beachten gilt.

Summary

Mountain cableways are regularly endangered by avalanches and snow pressure due to the slow movement of the snowpack on slopes. It is therefore important that the risks from avalanches and snow pressure are already taken into account adequately during the planning of a cableway. In Switzerland, the Federal Office of Transport (FOT) requires the elaboration of an avalanche expert report within the framework of the approval procedure for cableways; its contents are described in this guideline. In particular, the scenarios are defined that have to be considered for the analysis of avalanches and snow pressure hazard, in order to design the cableway installations and to plan the mitigation measures. On the basis of the guideline, the avalanche expert determines the nominal values of the actions and the necessary structural and temporary mitigation measures. This information is the base for the planning engineer to design the cableway in detail. To do this, the most important formulae for the calculation of avalanches and snow pressure, as well as for the determination of the maximum snow depth are specified. The relevant combinations of actions for the design are then defined. This guideline contains all the relevant information which has to be considered for the plan approval, the operating approval and the evaluation of cableways with regard to the risk of avalanches and snow pressure.

Vorwort

Seilbahnen sind im Gebirge immer wieder durch Lawinen oder Schneedruck gefährdet. Da sie in der Regel Personen transportieren, muss die Sicherheit der Benutzer und des Betriebspersonals jederzeit gewährleistet sein. Durch einfache planerische Massnahmen, wie das Verschieben eines einzelnen Mastes, lässt sich die Sicherheit häufig massgeblich erhöhen. Eine frühzeitige Zusammenarbeit zwischen planendem Ingenieur und Lawinenexperten ist entsprechend wichtig.

Im Rahmen des Bewilligungsverfahrens für Seilbahnen verlangt das Bundesamt für Verkehr BAV daher ein von einem ausgewiesenen Lawinenexperten erstelltes Gutachten. Die darin bestimmte Gefährdung durch Lawinen und Schneedruck dient dem projektierenden Ingenieur als Grundlage, um die Seilbahn detailliert zu planen.

Der Leitfaden «Berücksichtigung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung bei Seilbahnen» richtet sich an Bergbahnunternehmungen, Verfasser von Lawinengutachten, Projektverfasser und Behörden. Er beschreibt, wie man bei der Gefährdungsanalyse durch Lawinen und Schneedruck am besten vorgeht, entsprechende Sicherheitsmassnahmen festlegt und Seilbahnen und Schutzbauten bemisst. So legt der Leitfaden Beurteilungskriterien fest, die es erlauben, einheitliche Massstäbe für die Planung von Massnahmen zu definieren. Mit einem nach diesem Leitfaden erstellten Lawinengutachten lässt sich ausserdem die im Bewilligungsverfahren geforderte Lawinensicherheit nachweisen. Auch schliesst der Leitfaden wesentliche Grundsätze ein zum Umgang mit Lawinen und zum Betrieb von Seilbahnen. Nicht Bestandteil des Leitfadens hingegen ist, wie sich Standorte von Anlagen beurteilen lassen, die im Zusammenhang mit Seilbahnen auftreten können, z. B. Abfahrten oder Restaurants.

Das WSL-Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF Davos hat den Leitfaden in enger Zusammenarbeit mit dem BAV ausgearbeitet. Dabei stützen sich die Autoren auf Vorgehensweisen und Kriterien zur Beurteilung der Gefahren, die die Praxis schon länger anwendet und die entsprechend erprobt sind.

Wir danken allen Beteiligten für die konstruktive Zusammenarbeit und hoffen, dass mit dem vorliegenden Leitfaden die Grundlagen gegeben sind, die Gefährdung von Seilbahnen durch Lawinen und Schneedruck standardisiert und praxisgerecht zu beurteilen, und so den Risiken im winterlichen Gebirge gebührend Rechnung getragen wird.

Bern/Davos im Juli 2015

P. Zeilstra
Vize Direktor BAV

Dr. J. Schweizer
Leiter SLF Davos

Inhalt

Abstract	3
Vorwort	4
1 Übersicht	7
1.1 Ziel und Inhalt des Leitfadens, Grundlagen	7
1.2 Schutzziele	8
1.3 Bewilligungsverfahren für Seilbahnen	9
1.3.1 Plangenehmigung	10
1.3.2 Betriebsbewilligung	11
1.4 Überprüfungen von Seilbahnen	11
2 Grundsätze zur Planung	12
2.1 Erfassung der Lawinen- und Schneedruckgefahr	12
2.2 Beurteilung der Lawinen- und Schneedruckgefahr, erforderliche Massnahmen	12
2.2.1 Stationsstandorte	13
2.2.2 Stützenstandorte, Seile und Trasse	14
3 Grundsätze zur Bemessung	16
3.1 Übersicht über die Lawinen- und Schneedruckeinwirkungen	16
3.2 Ermittlung der Einwirkungen infolge Lawinen und Schneedruck	17
3.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen	19
3.4 Kombinationen von Einwirkungen	20
3.4.1 Grundsätzliche Bemerkungen	20
3.4.2 Aussergewöhnliche Lawineneinwirkung als Leiteinwirkung, ausser Betrieb	20
3.4.3 Veränderliche Lawineneinwirkung als Leiteinwirkung, ausser Betrieb	20
3.4.4 Schneedruck als Leiteinwirkung	21
3.4.5 Lawinen und Schneedruck als Begleiteinwirkung	21
3.5 Nachweis der Grenzzustände der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit	21
4 Grundsätze zum Betrieb	22
5 Lawinengutachten	23
5.1 Inhalt eines Lawinengutachtens	23
5.2 Notwendige Grundlagen	23
6 Lawinensicherheitskonzept	24
7 Anhang	25
A.1 Grundlagen	25
A.2 Begriffe	26
A.3 Symbole	28
A.4 Bestimmung von maximalen Schneehöhen	29
A.5 Einwirkungen von Fliesslawinen	30
A.6 Einwirkungen von Staublawinen	35
A.7 Einwirkungen von Schneedruck auf Stützen	35
A.8 Beispiele: Resultate von Lawinen- / Schneedruckberechnungen und Bestimmung der Einwirkungen auf Stützen	39
A.9 Erläuterungen zum möglichen Inhalt von Lawinengutachten	41

1 Übersicht

1.1 Ziel und Inhalt des Leitfadens, Grundlagen

Im Rahmen des Bewilligungsverfahrens für Seilbahnen verlangt das BAV, dass ein von einem ausgewiesenen Lawinenexperten erstelltes Lawinengutachten erstellt wird. Mit einem nach diesem Leitfaden erstellten Lawinengutachten kann die im Bewilligungsverfahren geforderte Lawinensicherheit nachgewiesen werden. Die im Lawinengutachten bestimmte Gefährdung durch Lawinen und Schneedruck dient dem projektierenden Ingenieur als Grundlage für die detaillierte Planung der Seilbahn.

Wichtige Ziele des Leitfadens:

Ziele für die Bergbahnunternehmung:

- Akzeptierbares Lawinen-Restrisiko für die Benutzer inkl. Personal von Seilbahnen
- Möglichst keine Lawinen- und Schneedruckschäden an Seilbahnen, ausreichende Bemessung
- Definiertes Vorgehen für die Planung und Projektierung von Seilbahnen (z. B. frühzeitiges Erkennen der Lawinengefährdung), Abklärungen zur Machbarkeit, allenfalls Optimierung der Linienführung oder des Bahntyps, Erfordernis an eine Bergebahn

Ziele für die Bewilligungsbehörde:

- Harmonisierung von Normen verschiedener Fachdisziplinen (Lawinenexperte, Bau-, Maschineningenieur)
- Definiertes Ablauf des Bewilligungsverfahrens
- Einheitliche Beurteilungskriterien, Aussagen über die technische Machbarkeit
- Klare Massnahmenplanung und Begrenzung der Risiken
- Transparenter Nachvollzug von Entscheiden
- Einfache Kontrolle beim Vollzug der Massnahmen

Ziele für den Verfasser des Lawinengutachtens:

- Einheitliche Kriterien für die Beurteilung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung, klare Vorgaben zur Ermittlung der Einwirkungen
- Inhalt des Lawinengutachtens

Ziele für den Projektverfasser:

- Erkennen der Grenzen einer geplanten Linienführung; Möglichkeit für Projektoptimierungen und Varianten
- Definiertes Vorgehen für die Tragwerksanalyse, Massnahmenplanung, Umsetzung
- Grundlagen zum Sicherheitsnachweis

Inhalt

Im Leitfaden steht das Vorgehen bei der Gefährdungsanalyse durch Lawinen und Schneedruck, die Massnahmenplanung und die Bemessung von Seilbahnen und Schutzbauten im Vordergrund. Auch wesentliche Grundsätze zum Betrieb von Seilbahnen sind enthalten. Abfahrten werden in diesem Leitfaden nicht behandelt.

Der Leitfaden kann angewendet werden für die Beurteilung der Lawinen- und Schneedruckgefährdung von Seilbahnen, d. h. für die Planung von Stationen inkl. Stationsumfeld, Stützen, Seile und Trasse von Sessel-, Umlauf- und Pendelbahnen sowie Stationen, Trasse und Kunstbauten von Standseilbahnen.

Zur Differenzierung der Risiken wird zwischen **Erschliessungs- und Beschäftigungsbahnen** unterschieden (Definition, vgl. Anhang A.2).

Eisbehang und **Schneelasten** an beziehungsweise auf Bauwerken werden im Leitfaden nicht behandelt.

Grundlagen

Die Gefahrenbeurteilung wird in den Richtlinien zur «Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten» (BFF/SLF 1984) und in der Empfehlung «Raumplanung und Naturgefahren» (ARE, BWG, BUWAL 2005) behandelt.

Beim Bau, Betrieb und der Instandhaltung von Seilbahnen müssen zur Wahrung der Sicherheit und der Gesundheit die grundlegenden Anforderungen nach der Seilbahnrichtlinie 2000/9/EG eingehalten werden. Die Umsetzung und Konkretisierung dieser Anforderungen erfolgt in der Schweiz durch die einschlägige Seilbahngesetzgebung und die hierfür bezeichneten Normen (siehe Anhang A.1).

1.2 Schutzziele

Für Seilbahnen gelten hohe Schutzziele zur Gewährleistung der Sicherheit von Benutzern, Betriebspersonal und Dritten. Die Schutzziele orientieren sich am nationalen Sicherheitsniveau für Naturgefahren (PLANAT 2013). Seilbahnen sind so zu planen und zu bauen, dass sie unter Berücksichtigung ihres Typs, der Merkmale des Geländes und der Umgebung, der atmosphärischen und meteorologischen Gegebenheiten sicher betrieben werden können, ohne dass von ihr Störungen und Gefahren ausgehen. Die Sicherheit von Seilbahnen hängt in gleichem Masse von den Umgebungsbedingungen als auch von ihren Bauteilen, dem Zusammenbau und der Montage am Standort sowie ihrer Überwachung während des Betriebes ab. Aus diesem Grunde kommt der sorgfältigen Abklärung der Umwelteinflüsse und dem Erkennen der Gefahren aus Lawinen und Schneedruck sowie der Massnahmenplanung ein besonderer Stellenwert zu.

In diesem Leitfaden werden folgende Schutzziele festgelegt:

- Die Infrastruktur von Seilbahnen soll infolge Lawinen und Schneedruck keine unverhältnismässigen Schäden an tragenden Bauteilen erleiden (Bemessung auf bestimmte Wiederkehrperioden und Einwirkungskombinationen).
- Während des Betriebes soll für die Benutzer der Seilbahnen ein möglichst kleines Lawinenunfallrisiko bestehen, das mit Risiken im öffentlichen Verkehr (Bahnbetrieb) vergleichbar ist.
- Für das Personal soll ein tragbares Berufsrisiko bestehen.

Zu beachten ist, dass im alpinen Gelände keine absolute Lawinensicherheit gewährleistet werden kann. Bei aussergewöhnlichen Ereignissen können lokale Schäden nicht immer ausgeschlossen werden. Die Integrität des Bauwerkes oder der Seilbahn soll jedoch gewährleistet sein.

Erreichen der Schutzziele: Planung von Seilbahnen

Eine günstige Linienführung, resp. eine Risikominimierung für eine Seilbahn ist primär durch Planung, sekundär durch **bauliche Massnahmen** zu gewährleisten. Weiter ist zu beachten:

- Durch die Wahl der Linienführung und des Bahntyps sollen Gefahren vermieden oder soweit vermindert werden, dass die geforderten Schutzziele erreicht werden können (Abklären der Machbarkeit). Für Beschäftigungsbahnen können kleinere Lawinewiederkehrperioden als für Erschliessungsbahnen und Bauten in Siedlungen verwendet werden (vgl. Kap. 2.1).
- Der Einfluss der künstlichen Lawinenauslösung auf die Grösse des Bemessungsereignisses wird bei der Beurteilung der Gefährdung und bei der Bestimmung der Einwirkungen nicht berücksichtigt.
- Die Integrität von Bauwerken in lawinengefährdetem Gebiet ist mit baulichen Massnahmen wie z.B. dem Lawinenverbau im Anrissgebiet, Schutzdämmen oder der Verstärkung auf entsprechende Einwirkungen sicherzustellen. Der Schneedruckgefährdung ist z.B. mit der Verstärkung von Bauteilen oder einem Gleitschneeschutz Rechnung zu tragen.
- Falls allfällige Bergungen im Störfall mittels Bodenrettung (Abseilen) aufgrund der Gelände- und Lawinenverhältnisse nicht möglich sind, ist eine Bergemöglichkeit längs dem Seil bis zu einem sicheren und gefahrlos zugänglichen Standort vorzusehen.

Erreichen der Schutzziele: Betrieb lawinengefährdeter Seilbahnen

Die Sicherheit der Benutzer der Seilbahnen ist neben planerischen und baulichen auch mit **temporären Massnahmen**, das heisst Sperrungen, allenfalls künstlicher Lawinenauslösung, zu gewährleisten. Im Weiteren ist zu beachten:

- Für Seilbahnen muss ein Betriebs- und Bergungskonzept für Personen bestehen, das bei einem allfälligen Betriebsunterbruch eine Evakuierung gewährleistet, ohne dass Benutzer oder Retter einem unzulässigen Lawinenrisiko ausgesetzt werden.

1.3 Bewilligungsverfahren für Seilbahnen

Vor dem Bau und der Inbetriebnahme einer Seilbahn müssen auf Bundesebene folgende zwei Verfahren durchlaufen werden:

- Plangenehmigung (Vorprojekt, Bauprojekt)
- Betriebsbewilligung (Sicherheitsnachweis basierend auf Ausführungsprojekt).

Mit der **Plangenehmigung** wird das Recht erteilt, eine Seilbahn zu bauen oder umzubauen. Mit ihr erteilt das Bundesamt für Verkehr, als zuständige Leitbehörde, sämtliche für den Bau erforderlichen Bewilligungen. Die Plangenehmigung umfasst somit die Genehmigung der technischen Pläne, die Erteilung der Konzession und der umweltrechtlichen Spezialbewilligungen (z. B. Rodungsbewilligung) und deckt alle rechtsrelevanten Sachverhalte ab: Sicherheit, Transportrecht, Raumplanungs- und Umweltrecht sowie Baurecht.

Mit der **Betriebsbewilligung** wird das Recht erteilt, eine Seilbahn bis zu einem bestimmten Termin und gegebenenfalls unter festgelegten Bedingungen zu betreiben.

In den nächsten beiden Kapiteln wird auf wichtige Aspekte bezüglich der Relevanz der Lawinen- und Schneedruckgefahr eingegangen.

1.3.1 Plangenehmigung

Allgemeines

Ein von einem ausgewiesenen Lawinenexperten erstelltes Lawinengutachten ist ein erforderlicher Bestandteil des Plangenehmigungsgesuches.

Falls offensichtlich **keine Lawinen- oder Schneedruckgefährdung** besteht, kann das BAV auf entsprechenden Antrag der Bauherrschaft entscheiden, dass kein Gutachten zu erstellen ist.

Der Lawinenexperte hat im Einvernehmen mit der Seilbahnunternehmung die Seilbahn als Erschliessungs- oder Beschäftigungsbahn zu klassifizieren. Daraus leiten sich die zu berücksichtigenden Wiederkehrperioden und Bemessungssituationen ab.

Ein Lawinenexperte ist demnach frühzeitig in die Projektierung einer Seilbahn einzubeziehen und in Zusammenarbeit mit der Bauherrschaft, dem Seilbahnhersteller und dem Bauingenieur sind in einem iterativen Prozess, unter Berücksichtigung weiterer Anforderungen und Rahmenbedingungen, die erforderlichen Projektoptimierungen auszuarbeiten.

Das Lawinengutachten hat Angaben zur Lawinen- und Schneedrucksituation, Einwirkungen, Schutzmassnahmen und allenfalls Rahmenbedingungen zum Betrieb und zur Seilbahnüberwachung zu enthalten (vgl. Kap. 5). Alle Vorgaben und Massnahmen, mit welchen der Lawinen- und Schneedruckgefährdung begegnet wird, sind stufengerecht in den Projektierungsgrundlagen festzuhalten (Betriebs- und Bergungskonzept, Nutzungsvereinbarung und Projektbasis, Sicherheitsbericht).

Spezialfall Vorprojekt (Machbarkeitsstudie): Seilbahn mit bedeutenden Lawinenproblemen oder erste Grobklärungen für ein Bahnprojekt

Von bedeutenden Lawinenproblemen bei Seilbahnen wird gesprochen, falls unter anderem damit zu rechnen ist, dass eine Station ohne Schutzmassnahmen erheblich gefährdet ist, oder Stützen respektive das Trasseee eine grosse Lawineneinwirkung aufweisen oder die Seilbahn im Einflussbereich von schwierig zu sichernden Anrissgebieten liegt (nähere Beschreibung siehe Kap. 2.2.1 und 2.2.2).

Falls mit bedeutenden Lawinenproblemen zu rechnen ist oder es sich um erste Grobklärungen für ein Projekt handelt (Zwischen- oder Teilverfügungen über Teilaspekte des Plangenehmigungsverfahrens; z. B. Teilverfügung für eine Konzession), ist ein zweistufiges Vorgehen angezeigt (Vorprojekt, Bauprojekt):

- Im **Vorprojekt** soll im Sinne einer **Machbarkeitsstudie** abgeklärt werden, ob eine Seilbahn realisiert werden kann und welche Massnahmen notwendig sind oder ob von einer Realisierung abzusehen ist. Dazu kann gemäss den Vorgaben dieses Leitfadens (Kap. 5.1, Tab. 6) vorgegangen werden. Es können auch mögliche alternative Linienführungen beziehungsweise Stations- oder Stützenstandorte aufgezeigt werden und geeignetere Bahnsysteme in Betracht gezogen werden. Je nach Situation ist es empfehlenswert, die Gefährdung der Seilbahn und die technische Machbarkeit des Projektes vorgängig mit betroffenen Stellen, z. B. Lawinenexperten, Kanton, Gemeinde, BAV zu diskutieren.
- Im **Bauprojekt** ist ein Gutachten für die Plangenehmigung zu erarbeiten (siehe Checkliste Kap. 5.1, Tab. 6).

1.3.2 Betriebsbewilligung

Für die Betriebsbewilligung einer Seilbahn ist gemäss Seilbahngesetzgebung vom Antragsteller ein **Sicherheitsnachweis** (basierend auf dem Ausführungsprojekt) zu erbringen.

Der Sicherheitsnachweis muss unter anderem die Dokumentation der Umsetzung der in den Projektierungsgrundlagen festgehaltenen planerischen, baulichen und betrieblichen Massnahmen betreffend der Lawinen- und Schneedruckgefährdung (SR 743.11, Anhang 3) enthalten.

Für Seilbahnen mit Lawinengefährdung hat der Sicherheitsnachweis auch Angaben zum Vorgehen bei Lawinengefahr (Lawinensicherheitskonzept, vgl. Kap. 6), Bergung (Evakuierung) und zur Bewirtschaftung und Überwachung von Schutzmassnahmen zu enthalten.

1.4 Überprüfungen von Seilbahnen

Grundsätzlich muss das Seilbahnunternehmen jederzeit die Sicherheit der Seilbahn und ihrer Teile gewährleisten und ihren Zustand (u. a. Bauten, Fahrzeuge) überblicken können. Bei einer Überprüfung der Infrastruktur (Norm SIA 269) sind die Lawinen- und Schneedrucksituation auf ihre Relevanz und Aktualität hin zu überprüfen.

Überprüfungen haben nach den im vorliegenden Leitfaden beschriebenen Grundsätzen zu erfolgen. Falls gemäss einer Überprüfung grössere Einwirkungen aus Lawinen- oder Schneedruck auftreten können als in einem älteren Gutachten ausgewiesen wurden, ist die Tragsicherheit der betroffenen Bauwerke nachzuweisen. Grundsätzlich sind nicht in jedem Fall Verstärkungen notwendig, falls auf andere Weise die Sicherheit gewährleistet werden kann (Betriebeinschränkungen oder spezifische Überwachungen). Die neu ermittelten Risiken sind zu beurteilen, wobei die bisherigen Erfahrungen (z. B. vollständige Ereignisdokumentation) zu berücksichtigen sind. Massnahmen zur Eliminierung von Gefahren oder zur Verminderung bestehender Risiken sind auch in Abhängigkeit der vorgesehenen Restnutzungsdauer zu planen und umzusetzen.

Zudem ist für Seilbahnen, die durch Lawinen gefährdet sind, ein Lawinensicherheitskonzept notwendig (vgl. Kap. 6).

2 Grundsätze zur Planung

2.1 Erfassung der Lawinen- und Schneedruckgefahr

Lawinen

Bei der Planung von Seilbahnen sind sowohl aussergewöhnliche als auch veränderliche Einwirkungen zu berücksichtigen. Aussergewöhnliche Einwirkungen umfassen Wiederkehrperioden von 100 bis 300 Jahren, für veränderliche Einwirkungen sind es 10 bis 30 Jahre. Gemäss SN EN 13107 umfassen veränderliche Einwirkungen Wiederkehrperioden bis 50 Jahre.

Über 28° steile Gebiete werden in der Regel als Lawinenanrissgebiete ausgeschieden. In Tabelle 1 sind die je nach Objektkategorie zu berücksichtigenden Lawinenwiederkehrperioden ersichtlich. Für Gebiete mit künstlicher Lawinenauslösung ist der Zustand ohne Sprengensätze zu berücksichtigen (vgl. Kap. 1.2, Erreichen der Schutzziele).

Tab. 1: Zu berücksichtigende Lawinenwiederkehrperioden für Seilbahnen.

Objektkategorie		Lawinenwiederkehrperioden T			
		10 Jahre	30 Jahre	100 Jahre	300 Jahre
Erschliessungsbahn	Stationen		X		X
Beschäftigungsbahn	Stationen	X		X	
Erschliessungs- und Beschäftigungsbahn	Stützen; Seile/Trasse; Kunstbauten von Standseilbahnen	X		X	

Schneedruck

Schneedruck auf Bauwerke entsteht durch das langsame Gleiten und Kriechen der Schneedecke. Schneedruck ist ab Hangneigungen von 25° zu berücksichtigen, bei ungünstigen Verhältnissen (i. d. R. Gleitfaktor $N > 2,5$; Tab. A.7.2) ab Neigungen von 20°. Die Berechnung des Schneedrucks bezieht sich auf eine 30-jährliche Schneehöhe.

2.2 Beurteilung der Lawinen- und Schneedruckgefahr, erforderliche Massnahmen

Ausserhalb des Siedlungsgebietes werden i. d. R. keine flächendeckenden Gefahrenzonen ausgeschieden. Für Seilbahnen empfiehlt es sich deshalb, die einzelnen Einwirkungen auf Stützen und Stationen spezifisch auf die betroffenen Standorte und Objekte zu ermitteln. Der Lawinenexperte hat sich über bestehende Lawinengefahrenkarten bei den kantonalen Fachstellen (Auskunftsstellen Naturgefahren) zu informieren.

Die rechtsgültige Ausscheidung von Lawinengefahrenzonen obliegt den Gemeinden und Kantonen. Überschneiden sich rechtsgültige Gefahrenzonen mit Gefahrenbereichen, die nach den Grundsätzen des vorliegenden Leitfadens erarbeitet wurden, ist im Lawinengutachten auf die möglichen Konflikte hinzuweisen. In solchen Fällen hat die Bewilligungsbehörde auf der Grundlage der zur Verfügung stehenden Beurteilungen und den rechtsrelevanten Sachverhalten den abschliessenden Entscheid zu treffen.

2.2.1 Stationsstandorte

Für Stationsstandorte werden die folgenden Gefahrengebiete unterschieden:

- Keine Gefährdung
- Mittlere Gefährdung
- Erhebliche Gefährdung.

Gebiete mit mittlerer und erheblicher Gefährdung durch Fließlawinen sind gemäss Tabelle 2 definiert. Gebiete mit Staublawinen mit Wiederkehrperioden ≤ 30 Jahren und Drücken kleiner als 3 kN/m^2 können der mittleren Gefährdung zugeordnet werden.

Für **Erschliessungsbahnen** sind die Kriterien identisch mit den Definitionen der Richtlinie zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten (BFF/SLF 1984).

Für **Beschäftigungsbahnen** können die Gebiete mit mittlerer und erheblicher Gefährdung (10-/100-jährliche Ereignisse) gemäss Tabelle 2 ausgeschieden werden. Kantonale Regelungen sind jedoch zu beachten (siehe Seilbahngesetz Art. 9).

Grundsätze und erforderliche Massnahmen

- Die Gefahrensituation ist im Ausgangszustand, das heisst ohne allenfalls neu geplante Schutzmassnahmen, zu beurteilen. Falls Massnahmen realisiert werden, ist die neue Gefahrensituation zusätzlich aufzuzeigen.
- Stationen sollen nach Möglichkeit in ungefährdeten Gebieten liegen.
- Im **Siedlungsgebiet, wo rechtsgültige Gefahrenzonen bestehen**, gelten die entsprechenden Zonenvorschriften (siehe BFF/SLF 1984). Der Neubau einer Station in einer roten Gefahrenzone ist in der Regel nicht zulässig. Umbauten, beispielsweise von einer Skilift- zu einer Sesselbahnstation, können dann gestattet werden, wenn das Risiko vermindert werden kann (z. B. mit baulichen Massnahmen).
- **Ausserhalb des Siedlungsgebietes** ist der Neubau **erheblich gefährdeter Stationen** (siehe Tab. 2) nur zulässig, falls mit permanenten baulichen Massnahmen flächenhaft (Station und -umfeld) eine Reduktion auf mindestens eine mittlere Gefährdung erreicht werden kann. Mögliche bauliche Massnahmen umfassen u.a. den Lawinenverbau im Anrissgebiet, Dämme und den flächenhaft wirkenden Objektschutz.
- **Stationen mit mittlerer Gefährdung** (siehe Tab. 2) sind zulässig, falls die tragenden Teile auf Lawinenkräfte bemessen oder mit baulichen Massnahmen geschützt werden.

Tab. 2: Definition der Gefahrengebiete für Stationsstandorte infolge Fließlawinen.

Objekte	Gefahrenstufe					
	Erhebliche Gefährdung			Mittlere Gefährdung		
	Wiederkehr- periode T [Jahre]	Druck q [kN/m ²]	Darstellung	Wiederkehr- periode T [Jahre]	Druck q [kN/m ²]	Darstellung
Stationen von Erschliessungsbahnen	30	> 0	Rot			Blau
	300	> 30		300	$0 < q < 30$	
Stationen von Beschäftigungsbahnen	10	> 0	Orange			Violett
	100	> 30		100	$0 < q < 30$	

- Bauliche Massnahmen zum Schutz von Stationen können nicht durch den Einsatz der künstlichen Lawinenauslösung ersetzt werden (vgl. Kap. 1.2).
- Bei Schneedruckgefahr sind die Stationen resp. deren Umgebung entsprechend zu konzipieren. Falls erforderlich sind die tragenden Teile der Stationen auf Schneedruck zu bemessen.

2.2.2 Stützenstandorte, Seile und Trasse

Für **Stützen** ist zu erheben, ob sie von Lawinen mit Wiederkehrperioden von 10 oder 100 Jahren erreicht werden und wie gross die Einwirkungen sind (Tab. 1). Zur Bestimmung, ob es sich für Seilbahnen um einen Stützenstandort mit grossen Einwirkungen (vgl. Tab. 3) handelt, ist vom Lawinenexperten die Gesamteinwirkung auf die Stütze zu berechnen (vgl. Anhang A.5.5).

Tab. 3: Definition einer grossen Lawineneinwirkung auf Rohrstützen und Seile von Seilbahnen (die Konsequenzen von grossen Lawineneinwirkungen sind je nach Bahntyp unterschiedlich).

Objekte	Richtwerte für grosse Lawineneinwirkung
Stützen	Fliesslawine: Gesamteinwirkung auf Rohrstütze > 350 kN (vgl. Beispiel in Anhang A.5.5)
Seile	Staublawine (Suspensionsschicht): Staudruck auf Seilhöhe $q_{\text{Susp}} > 2,0 \text{ kN/m}^2$

Zudem ist die Schneedruckgefährdung zu beurteilen und die Einwirkungen für die einzelnen Stützenstandorte sind zu bestimmen.

Falls die **Seile** von Staublawinen erreicht werden können, ist der Staudruck und die Lawinenbreite auf Seilhöhe für Wiederkehrperioden von 10 resp. 100 Jahren zu bestimmen (grosse Einwirkung vgl. Tab. 3). Falls sich im Ereignisfall auch Fahrzeuge auf der Strecke befinden können, sind die tiefere Seillage und die Fahrzeuge zu berücksichtigen. Grossen Staudrücken kann oft mit einer höheren Seillage entgegengewirkt werden.

Für die Beurteilung der Gefährdung von Personen bei allfälligen Bergungen sind die **Trasseabschnitte**, die von 10- und 100-jährlichen Lawinen erreicht werden, sowie lokale Gefahrenstellen auszuscheiden.

Für Standseilbahnen ist die Lawinen- und Schneedruckgefährdung des Trassees zu bestimmen, wobei Kunstbauten (z.B. Brücken und Pfeiler) wie Stützen von Seilbahnen behandelt werden können.

Grundsätze und erforderliche Massnahmen

- Für Stützen sind nach Möglichkeit lawinensichere Standorte zu wählen. In gefährdetem Gebiet sollen die Stützenstandorte optimiert werden (z.B. Positionierung auf Geländेरrippen). Stützen sind auf die zu erwartenden Lawinen- und Schneedruckkräfte zu bemessen oder entsprechend zu schützen, wobei die am Standort zu erwartende minimale (z.B. keine Schneedecke) und maximale Schneehöhe zu berücksichtigen ist.
- Die Seilführung soll so gewählt werden, dass die Lawineneinwirkungen möglichst klein sind und dass Seilabwürfe durch Staublawineneinwirkungen vermieden werden.

- Für Seilbahnen sind folgende Stützenstandorte resp. Linienführungen möglichst zu meiden (allenfalls Wahl neuer Stützenstandorte):
 - Grosse Lawineneinwirkungen gemäss Tabelle 3.
 - Stützenstandorte, die von grossen Lawinen aus verschiedenen Richtungen erreicht werden können.
 - Linienführungen von Seilbahnen in der Reichweite von Lawinen aus schwierig zu sichernden Anrissgebieten (z. B. hohe Felswände, sehr grosse Anrissgebiete, Gletscherabbrüche).
- Falls mehrere Stützen mit einer grossen Fließlawineneinwirkung (vgl. Tab. 3) vorhanden sind oder entlang des Trassees auf einer Strecke grösser etwa 200 m auf Seilhöhe grosse Staublavinendrucke (Staudruck $> 2,0 \text{ kN/m}^2$) auftreten können, wird die Gefährdung der Seilbahn als gross eingestuft. Bereits im Vorprojekt ist nachzuweisen, mit welchen Massnahmen die Schutzziele erreicht werden können. Es kann ein erhöhtes Schadenrisiko bestehen, zudem können terrestrische Bergungen problematisch sein. Allenfalls sind weitere Varianten zu prüfen. Unter Umständen kann ein Bahnsystem mit wenigen, relativ lawinensicheren Stützenstandorten und hoher Seilführung eine Verbesserung bringen.
- Bauliche Massnahmen können nicht durch den Einsatz der künstlichen Lawinenauslösung ersetzt werden (vgl. Kap. 1.2).
- Falls für Bergungen Bodenrettungen vorgesehen sind, darf der Betrieb der Anlage erst aufgenommen werden, wenn das ganze Trassee und die Evakuierungswege lawinensicher sind. Je nach Situation müssen Sicherungsmassnahmen (Lawinensprengungen) vorgenommen werden, resp. bei starkem Schneefall oder bei rascher und markanter Erwärmung muss der Betrieb der Seilbahn allenfalls eingestellt werden.

3 Grundsätze zur Bemessung

3.1 Übersicht über Lawinen- und Schneedruckeinwirkungen

Die drei wichtigsten Lawinen- und Schneedruckeinwirkungen sind:

- Fließlawine prallt auf Bauwerk (I)
- Staublawine prallt auf Bauwerk (II)
- Schneedruck wirkt auf Bauwerk (III).

Einwirkung I: Fließlawine

Die Lawinendrücke sind über die Fließhöhe konstant (rechteckförmige Lastverteilung) und über die Stauhöhe linear auf Null abnehmend (dreieckförmige Lastverteilung) anzunehmen, vgl. Abbildung 1 und Anhang A.5.

Die Fließlawine wirkt über dem Boden (z.B. Gleitschneelawine) respektive über der Schneedecke. Eventuell über die Schneedecke übertragene Drücke werden vernachlässigt.

- d_A Mächtigkeit der Schneedecke, hangsenkrecht (m)
- d_F Fließhöhe, hangsenkrecht (m)
- d_{Stau} Stauhöhe, hangsenkrecht (m)
- q_F Fließlawinendruck, hangparallel (kN/m^2)

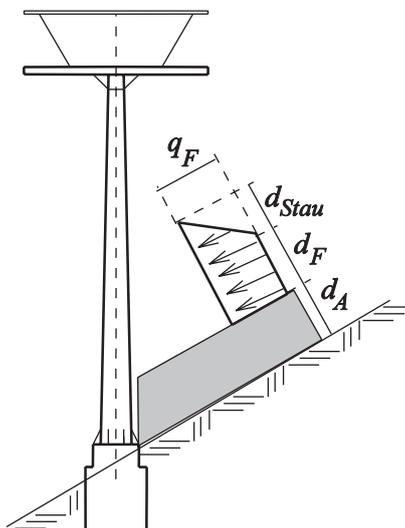


Abb. 1: Einwirkung Fließlawine.

Einwirkung II: Staublawine

Staublawinen bestehen aus einer bodennahen Saltationsschicht (oder fluidisierten Schicht) und einer Suspensionsschicht («Staubwolke»), vgl. Abbildung 2.

In der **Saltationsschicht** kann eine rechteckförmige Lastverteilung angenommen werden. Vorhandene Schneeknollen können starke Stöße bewirken. Falls dünnwandige Konstruktionen vorliegen, ist zusätzlich zur verteilten Last noch eine punktförmige Belastung aus dem Aufprall einzelner Schneeknollen anzunehmen.

Der Staudruck in der **Suspensionsschicht** nimmt mit der Höhe ab. Der Staudruck kann wie eine Windeinwirkung gemäss Norm SIA 261 interpretiert werden. Infolge Turbulenzen kann die Wirkungsrichtung von der Hauptfließrichtung der Lawine allseitig bis um 90° abweichen und kurzzeitig stark variieren (ca. Faktor 2), was speziell bei grossen Drücken zu berücksichtigen ist.

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

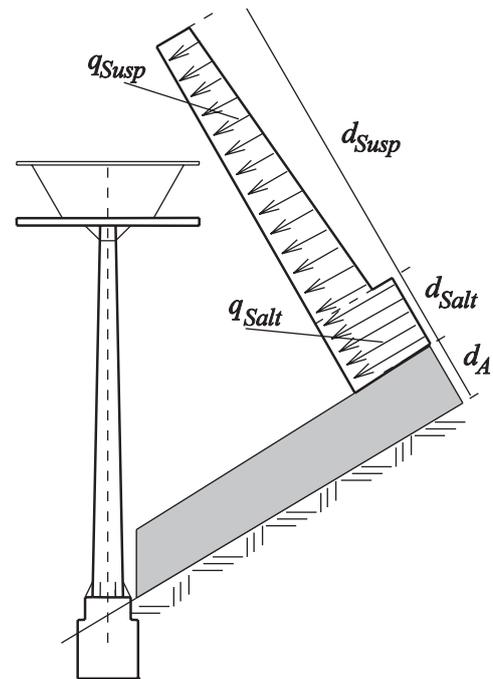


Abb. 2: Einwirkung Staublawine.

Einwirkung III: Schneedruck (infolge Schneegleiten und -kriechen)

Der Schneedruck kann als über die Höhe der Schneedecke konstant angenommen werden und wirkt in der Hangfalllinie (rechteckförmige Lastverteilung, Abb. 3; Berechnung für Stützen vgl. Anhang A.7).

- d_A Mächtigkeit der Schneedecke, hangsenkrecht (m)
- q_G Schneedruck, hangparallel (kN/m^2), d. h. pro Meter hangsenkrechte Schneemächtigkeit d_A

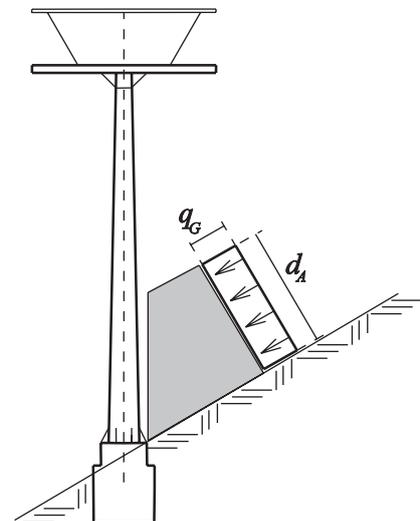


Abb. 3: Einwirkung Schneedruck.

3.2 Ermittlung der Einwirkungen infolge Lawinen und Schneedruck

Der Lawinenexperte gibt die auf die äussere Oberfläche eines Bauwerks wirkenden Einwirkungen infolge Lawinen und Schneedruck als Flächen-, Linien- oder Punktlasten beziehungsweise analog einer Windeinwirkung gemäss Norm SIA 261 an (Übersicht in Tab. 4, resp. Anhang A.8, Tab. A.8.4, A.8.5). Die Tabelle mit den Angaben zu den Einwirkungen infolge Lawinen- und Schneedruck gemäss Tabelle 4 bildet also sozusagen die **Schnittstelle zwischen Lawinenexperte und projektierendem Ingenieur**.

Lawinenberechnungen sind mit erprobten Modellen, die dem aktuellen Stand der Technik entsprechen, durchzuführen (z. B. Aval-1d, RAMMS). Bei den Drücken q handelt es sich um Nennwerte. Die Lawinendrücke q wirken in der Regel parallel zur Geländeoberfläche. Anhang A.5 enthält Angaben zur Kraftwirkung von Fließlawinen, A.6 zu Staublawinen und Anhang A.7 Angaben zur Schneedruckberechnung auf Stützen.

Allenfalls ist der Aufprall von festen Komponenten wie Steinen oder Bäumen, die von der Lawine mitgerissen werden, zu berücksichtigen, siehe zum Beispiel VKF 2005 (Kap. 2 Lawinen, Anprallkraft von Einzelkomponenten).

Tab. 4: Erforderliche Angaben zu den Einwirkungen infolge Lawinen und Schneedruck für den projektierenden Ingenieur. Die Einwirkungen sind für das jeweilige Bauobjekt (z.B. Rohrstütze, Fundamentsockel, Fachwerkstütze oder Gebäude) zu bestimmen.

Einwirkungen	Einheit	Erschliessungsbahn		Beschäftigungsbahn		
		Station	Stütze	Station	Stütze	
Veränderliche (normale) Lawineneinwirkung		Wiederkehrperiode T [J.]				
Schneemächtigkeit (vor Lawinenabgang)	d_A	m	30	30	30	30
Fließlawine:			30	10	10	10
Fließhöhe Lawine	d_F	m				
Stauhöhe Lawine	d_{Stau}	m				
Lawinendruck	q_F	kN/m ²				
Richtung der Einwirkung		z.B. Norden				
Staublawine:			30	10	10	10
Mächtigkeit Saltationsschicht	d_{Salt}	m				
Mächtigkeit Suspensionsschicht	d_{Susp}	m				
Lawinendruck Saltationsschicht	q_{Salt}	kN/m ²				
Lawinendruck Suspensionsschicht	q_{Susp}	kN/m ²				
Staublawinenbreite auf Seilhöhe	b	m				
Richtung der Einwirkung		z.B. Norden				
Aussergewöhnliche Lawineneinwirkung						
Schneemächtigkeit (vor Lawinenabgang)	d_A	m	30	30	30	30
Fließlawine:			300	100	100	100
Fließhöhe Lawine	d_F	m				
Stauhöhe Lawine	d_{Stau}	m				
Lawinendruck	q_F	kN/m ²				
Richtung der Einwirkung		z.B. Norden				
Staublawine:			300	100	100	100
Mächtigkeit Saltationsschicht	d_{Salt}	m				
Mächtigkeit Suspensionsschicht	d_{Susp}	m				
Lawinendruck Saltationsschicht	q_{Salt}	kN/m ²				
Lawinendruck Suspensionsschicht	q_{Susp}	kN/m ²				
Staublawinenbreite auf Seilhöhe	b	m				
Richtung der Einwirkung		z.B. Norden				
Schneedruckeinwirkung						
Schneemächtigkeit	d_A	m	30	30	30	30
Schneedruck (abhängig von Objektdurchmesser), pro Meter hangsenkrechte Schneemächtigkeit d_A	q_G	kN/m'				
Richtung der Einwirkung		z.B. Norden				

Für die Schneemächtigkeit d_A wird einheitlich eine maximale, 30-jährliche Schneehöhe verwendet (Ermittlung von d_A gemäss Anhang A.4).

Die Ausgangswerte (z. B. Lawinengeschwindigkeit) für die Bestimmung der Einwirkungen sind im Gutachten auszuweisen (Dokumentation der Berechnungen und der gutachterlichen Annahmen).

Falls die Geometrie des Bauobjektes bekannt ist (z. B. Rohrstütze, Fundamentsockel, Fachwerkstütze oder Gebäude), kann der Lawinenexperte die Einwirkungen direkt bestimmen.

3.3 Charakteristische Werte der Einwirkungen

Der projektierende Ingenieur hat die Einwirkungen gemäss Tabelle 4 zu berücksichtigen. Falls sich bei der Projektierung Änderungen in der Geometrie oder der Lage des Bauobjektes ergeben, sind die Werte entsprechend zu aktualisieren. Bei der Bestimmung der Grösse und des Angriffspunktes der Dyname (Moment und Normalkraft) ist allenfalls die minimale und maximale Schneehöhe zu berücksichtigen.

Die Ermittlung der Einwirkung der Saltationsschicht entspricht jener der Fließlawine (vgl. Anhang A.6). Der Staudruck der Suspensionsschicht von Staublawinen kann als Windeinwirkung gemäss Norm SIA 261 interpretiert werden (Abhängigkeit der Einwirkung von Form, Lage und Grösse des Objekts).

Für Stützen mit grosser Lawineneinwirkung (vgl. Tab. 3) sind vom Bauingenieur in enger Zusammenarbeit mit dem Lawinenexperten weiterführende Massnahmen (z. B. Schutzbauwerke) in Betracht zu ziehen.

Der Ingenieur ermittelt die **charakteristischen Werte q_k** der Einwirkungen gemäss Tabelle 5. Für Stationen ist bei aussergewöhnlichen Lawineneinwirkungen ein Faktor von 1,2 zu berücksichtigen¹.

Tab. 5: Bestimmung der charakteristischen Werte q_k .

Einwirkung	Wiederkehrperiode	Drücke q gemäss Tabelle 4	Charakteristischer Wert q_k	
			Stationen	Stützen
Veränderliche Lawineneinwirkung	T = 10–30 Jahre	Lawinenberechnung	$q_k = 1,0 \cdot q$	$q_k = 1,0 \cdot q$
Aussergewöhnliche Lawineneinwirkung	T = 100–300 Jahre	Lawinenberechnung	$q_k = 1,2 \cdot q$	$q_k = 1,0 \cdot q$
Schneedruck (als veränderliche Einwirkung)	T = 30 Jahre	Schneedruck- berechnung	$q_k = 1,0 \cdot q$	$q_k = 1,0 \cdot q$

¹ Hinweis: In Anlehnung an die Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren (VKF, 2005) wird ein Faktor von 1,2 berücksichtigt, um auch bei einem extremen Lawinenereignis eine genügende Personensicherheit in verstärkten Gebäuden gewährleisten zu können.

3.4 Kombinationen von Einwirkungen

3.4.1 Grundsätzliche Bemerkungen

- Die Zustände «Ausser Betrieb» und «In Betrieb» werden unterschieden.
- Lawinen werden je nach ihrer Wiederkehrperiode entweder als aussergewöhnliche oder als veränderliche Einwirkungen betrachtet.
- Lawinen und Schneedruck können neben anderen Einwirkungen (z.B. Seilauflast) Leit- oder Begleiteinwirkungen sein.
- Schneedruck kann über mehrere Tage bis Wochen auf Bauwerke wirken und ist deshalb nur als veränderliche Einwirkung zu berücksichtigen.
- Die Einwirkungen von Schneedruck und Lawine können gleichzeitig auftreten. Dies ist vom Lawinenexperten zu beurteilen.
- Der Lawinenexperte legt fest, ob das gleichzeitige Auftreten von Staub- und Fließlawine zu berücksichtigen ist. Dies kann z. B. bei steilen und kurzen Sturzbahnen der Fall sein.
- Falls Bauwerke von Lawinen aus verschiedenen Richtungen erreicht werden können (Bemerkung siehe Kap. 2.2.2), sind sie auf die einzelnen Einwirkungen zu bemessen. Es ist in der Regel nicht von einem gleichzeitigen Auftreten von Lawinen aus verschiedenen Richtungen auszugehen.
- Bei jeder Einwirkungskombination sind Eigenlasten und weitere Leit- und Begleiteinwirkungen gemäss SN EN 13107 zu berücksichtigen.

Je nach Objekt sind weitere Kombinationen möglich. Sie sind vom projektierenden Ingenieur mit den Lastbeiwerten gemäss SN EN 13107 selbst zu erstellen.

3.4.2 Aussergewöhnliche Lawineneinwirkung als Leiteinwirkung, ausser Betrieb

Leiteinwirkung:

Lawinen mit Wiederkehrperioden T von 100 bis 300 Jahren sind als aussergewöhnliche Leiteinwirkung – ausser Betrieb – zu berücksichtigen.

Mögliche Begleiteinwirkungen:

- Falls der Standort in einem Gebiet mit Schneedruck liegt und Schneedruck und Lawinen gleichzeitig auftreten (Kap. 3.4.1), ist Schneedruck als Begleiteinwirkung mit einem Kombinationsbeiwert $\psi_2 = 0,5$ nachzuweisen.
- Weitere Begleiteinwirkungen sind gemäss SN EN 13107 zu berücksichtigen.

3.4.3 Veränderliche Lawineneinwirkung als Leiteinwirkung, ausser Betrieb

Leiteinwirkung:

Lawinen, welche die Seilbahn innerhalb ihrer Lebensdauer mehrmals erreichen können (Wiederkehrperioden ≤ 30 Jahre), sind als veränderliche Leiteinwirkung ausser Betrieb zu berücksichtigen.

Mögliche Begleiteinwirkungen:

- Falls der Standort in einem Gebiet mit Schneedruck liegt, ist Schneedruck als Begleiteinwirkung mit einem Kombinationsbeiwert $\psi_0 = 0,6$ nachzuweisen.
- Weitere Begleiteinwirkungen sind gemäss SN EN 13107 zu berücksichtigen.

3.4.4 Schneedruck als Leiteinwirkung

Leiteinwirkung:

Schneedruck (Wiederkehrperiode der Schneehöhe 30 Jahre) kann als Leiteinwirkung in und ausser Betrieb auftreten. Die Wiederkehrperiode der so berücksichtigten Schneedrucksituation dürfte über 30 Jahre betragen, da nicht bei jeder Situation mit maximaler Schneehöhe auch maximaler Schneedruck auftritt.

Mögliche Begleiteinwirkungen:

- Falls Lawinen mit einer Wiederkehrperiode ≤ 30 Jahren auftreten können, sind sie ausser Betrieb als Begleiteinwirkung mit einem Kombinationsbeiwert $\psi_0 = 0,6$ zu berücksichtigen.
- Weitere Begleiteinwirkungen sind gemäss SN EN 13107 zu berücksichtigen.

3.4.5 Lawinen und Schneedruck als Begleiteinwirkung

Leiteinwirkungen:

Andere Leiteinwirkungen (normal oder aussergewöhnlich) sind gemäss SN EN 13107 zu berücksichtigen.

Mögliche Begleiteinwirkungen:

- Veränderliche Lawineneinwirkungen sind ausser Betrieb als Begleiteinwirkung zu normalen Leiteinwirkungen zu berücksichtigen ($\psi_0 = 0,6$).
- Schneedruck ist in und ausser Betrieb als Begleiteinwirkung zu berücksichtigen ($\psi_0 = 0,6$).
- In stark exponierten Lagen hinsichtlich Schneedruck muss für die Bemessungssituationen in Betrieb fallweise entschieden werden, ob neben einer aussergewöhnlichen Leiteinwirkung A_d (siehe SN EN 13107, Kap. 9.3.3.3b) und den ständigen und quasi-ständigen Begleiteinwirkungen noch Schneedruck als veränderliche Begleiteinwirkung berücksichtigt werden muss ($\psi_1 = 0,5$).

3.5 Nachweis der Grenzzustände der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit

Der Nachweis der Grenzzustände aus Einwirkungen von Lawinen oder Schneedruck ist für alle möglichen Bemessungssituationen zu führen, wobei die Bemessungssituationen in ständige, vorübergehende und aussergewöhnliche unterteilt werden können.

Die Nachweise der Grenzzustände der Tragsicherheit und Gebrauchstauglichkeit sind nach SN EN 13107 zu führen. Sofern nicht ausreichend spezifiziert, sind die Tragwerksnormen des SIA bzw. SN EN 1990 ff. heranzuziehen.

4 Grundsätze zum Betrieb

Bezüglich des Betriebes werden in diesem Leitfaden folgende Grundsätze formuliert (vgl. Kap. 1.3.2 sowie 1.4):

- Der Schutz von Personen ist bei Lawinengefahr neben den vorhandenen baulichen Massnahmen mittels temporären Massnahmen wie Nicht-Inbetriebnahme von Seilbahnen, Einstellung des Betriebes und je nach Situation künstlicher Lawinenauslösung zu gewährleisten. Das Vorgehen für den Einsatz temporärer Massnahmen ist schriftlich festzuhalten (Lawinensicherheitskonzept für Seilbahnen, Kap. 6).
- Falls keine Bergebahn vorhanden ist, ist vor der Inbetriebnahme einer Seilbahn die Lawinengefährdung des Trassees inkl. der Evakuierungswege zu beurteilen. Es sind Sicherungsarbeiten (z. B. Lawinensprengungen) durchzuführen und/oder der Betrieb muss so lange eingestellt bleiben, bis keine Lawinengefährdung mehr besteht.
- Die Funktion aller baulicher Massnahmen (z. B. Stützverbau), die bei der Bemessung der Seilbahn berücksichtigt wurden, sind während der ganzen Nutzungsdauer zu gewährleisten.
- Falls erforderlich sind bauliche Massnahmen zu bewirtschaften. Bei schneedruckgefährdeten Stützen ist z. B. zu bestimmen, ob Schnee oberhalb der Stützen wegzustossen ist und ab welcher Schneehöhe dies geschehen soll (hilfreich sind Markierungen an Stützen). Im weiteren ist die Wirksamkeit baulicher Schutzmassnahmen fortlaufend zu beurteilen. Hinterfüllte Dämme müssen je nach Situation z. B. freigeräumt werden.
- Beobachtungen und Daten zu Wetter, Schnee, Lawinen und Schneedruck, die die Seilbahn betreffen, sollen dokumentiert werden (Journal, Fotos). Insbesondere ist auch der Gefahr durch grossen Schneedruck und Gleitschneelawinen die erforderliche Beachtung zu schenken. Die aktuellen Schneehöhen sind mit den bei den Lawinen- und Schneedruckberechnungen verwendeten maximalen Schneehöhen zu vergleichen. Die erforderlichen Entscheide und Massnahmen sind zu treffen und zu protokollieren.
- Lawinenniedergänge auf Seilbahnen, die eine wesentliche Störung verursachen, sind dem BAV unverzüglich schriftlich zu melden (vgl. VSVZ 2014, Art. 16). Nach Lawineneignissen mit einer Verschüttung von Stützen müssen die Stahlbauten bis auf die Fundamentoberfläche befreit werden. Die Verankerungen und Stützenfüsse müssen auf Schäden kontrolliert werden.
Falls Schäden vorliegen, muss die Seilbahn je nach Situation durch einen Bauingenieur und/oder einen Lawinenexperten überprüft werden. Die Betriebstauglichkeit der Seilbahn oder allfällige erforderliche Massnahmen sind dem BAV in einem Bericht darzulegen.
- Die Aufteilung der Verantwortung zwischen technischer Leitung und dem Lawinensicherungsdienst soll festgehalten werden.
- Die Arbeiten im Zusammenhang mit Lawinensicherheit gehören betriebsintern in die Hände von entsprechend ausgebildeten und geschulten Mitarbeitenden.

5 Lawinengutachten

5.1 Inhalt eines Lawinengutachtens

Tabelle 6 zeigt eine Checkliste zum möglichen Inhalt eines Lawinengutachtens. Für einfache Situationen können einzelne Punkte auch weggelassen werden. Detailliertere Angaben sind im Anhang A.10 festgehalten.

Tab. 6: Checkliste für den Inhalt eines Lawinengutachtens.

<p>Gefährdungsanalyse</p> <ul style="list-style-type: none"> – Allgemeine Situation (Trasse, Abfahrten) – Seilbahntyp (u. a. Erschliessungs- oder Beschäftigungsbahn) – Vorhandene Unterlagen (z. B. Gefahrenzonenplan, Lawinenkataster) – Beschreibung der Lawinenzüge – Beschreibung der Schneedrucksituation – Ermittlung der Schneehöhen – Lawinenberechnungen – Schneedruckberechnungen – Beurteilung der Gefährdung der Seilbahn und ihrer Benutzer durch Lawinen und Schneedruck – Erforderliche bauliche und temporäre Lawinenschutzmassnahmen
<p>Einwirkungen infolge Lawinen- und Schneedruck</p> <ul style="list-style-type: none"> – Einwirkungen auf die Seilbahn, Kombination von Einwirkungen – Grobkonzept zu baulichen Lawinenschutzmassnahmen
<p>Betrieb</p> <ul style="list-style-type: none"> – Hinweise zum Betriebs- und Bergungskonzept – Hinweise zur Bewirtschaftung und Überwachung von Schutzmassnahmen (Unterhalt)
<p>Zusammenfassung</p>
<p>Anhang (Angaben zum Inhalt siehe Anhang A.9, Punkt 5)</p>

5.2 Notwendige Grundlagen

Der Auftraggeber hat dem Lawinenexperten folgende Angaben und Grundlagen zu liefern:

- Übersichtsplan (i. d. R. Massstab 1:10000) mit Stationsstandorten, Trasse und Abfahrten.
- Längenprofil mit Stützenstandorten (i. d. R. 1:1000), je nach Projektstand.
- Angaben zur Seilbahn: Ersatz einer bestehenden Seilbahn, Erweiterung oder Neuererschliessung; Seilbahntyp (z. B. 4-er Sesselbahn, kuppelbare Sessel, Förderleistung 1600 P/h). Durch die Seilbahn erschlossenes Gebiet: Abfahrten, weitere Seilbahnen, Restaurants, Unterkünfte.
- Angaben zur Vorgängerbahn: Seilbahntyp, Baujahr, Trasse evtl. mit Stützenstandorten, Schadenfälle durch Lawinen oder Schneedruck, vorhandene Schutzmassnahmen, bisheriges Sicherungskonzept unter anderem künstliche Lawinenauslösung (Methode, Sprengpunkte).
- Vorhandene lawinentechnische Unterlagen: Lawinenkataster von Pisten-/Forstdiensten, Unfallberichte, Gefahrenkarten, Gefahrenzonenplan, ältere Gutachten.

6 Lawinensicherheitskonzept

Ein Lawinensicherheitskonzept bildet eine der Grundlagen für den Betrieb. Es wird in der Regel durch die Bergbahnunternehmungen, unter anderem aufgrund der Angaben des Lawinengutachtens, erstellt.

In einem Lawinensicherheitskonzept soll beschrieben sein, welche Lawinenanrissgebiete zu beachten sind, welche temporären Massnahmen eingesetzt werden und wie die Abläufe und Verantwortlichkeiten geregelt sind (Inbetriebnahmen usw.), vgl. Praxishilfe Arbeit im Lawinendienst (2007).

Lawinensicherheitskonzepte haben sich zumindest auf die Seilbahn inkl. Trasse zu beziehen. Ein solches Teilsicherheitskonzept sollte in das Sicherheitskonzept Lawinen des Schneesportgebietes integriert werden. Auf die Anforderungen an ein solches Sicherheitskonzept wird im vorliegenden Leitfaden aber nicht weiter eingegangen.

7 Anhänge

A.1 Grundlagen

Bundesamt für Raumentwicklung (ARE), Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG), Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft (BUWAL), 2005: Empfehlung Raumplanung und Naturgefahren.

Bundesgesetz über Seilbahnen zur Personenbeförderung (Seilbahngesetz), 23.6.2006 (SR 743.01) und Seilbahnverordnung vom 21.12.2006 (SR 743.011).

Bundesgesetz über die Personenbeförderung und die Zulassung als Strassentransportunternehmung (Personenbeförderungsgesetz) vom 18. Juni 1993 (SR 744.10).

Bundesamt für Forstwesen, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung (1984): Richtlinien zur Berücksichtigung der Lawinengefahr bei raumwirksamen Tätigkeiten.

Bundesamt für Strassen (ASTRA) und SBB, 2007: Richtlinie Einwirkungen infolge Lawinen auf Schutzgalerien.

BAFU Bundesamt für Umwelt, 2007: Hydrologischer Atlas der Schweiz HADES

Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 1999: Neue Berechnungsmethoden in der Lawinengefahrenkartierung (AVAL-1d) / Unterlagen RAMMS.

Europäisches Parlament, 2000: Richtlinie 2000/9/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20.3.2000 über Seilbahnen für den Personenverkehr.

JOHANNESON, T.; GAUER, P.; ISSLER, D.; LIED, K., 2009: The design of avalanche protection dams. Recent practical and theoretical developments, European Commission, Brussels. 195 S.

MARGRETH, S., 2007: Lawinenverbau im Anbruchgebiet. Technische Richtlinie als Vollzugshilfe. Umwelt-Vollzug Nr. 0704. Bundesamt für Umwelt, Bern, WSL Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung SLF, Davos. 101 S.

PLANAT, 2013: Sicherheitsniveau für Naturgefahren. Nationale Plattform für Naturgefahren PLANAT, Bern, 15 S.

RUDOLF-MIKLAU, F.; SAUERMOSE, S., 2011: Handbuch Technischer Lawinenschutz, Ernst und Sohn GmbH & Co.

SALM, B.; BURKARD, A.; GUBLER, H.U., 1990: Berechnung von Fließlawinen. Eine Anleitung für Praktiker mit Beispielen. Mitteil. Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Nr. 47.

Schweizer Norm SN EN 13107: Sicherheitsanforderungen für Seilbahnen für den Personenverkehr – Bauwerke.

Schweizer Norm SN EN 1990 (SIA 260.001): Eurocode: Grundlagen der Tragwerksplanung.

Schweizer Norm SIA 261: Einwirkungen auf Tragwerke.

Schweizerische Kommission für Unfallverhütung auf Schneesportabfahrten SKUS, 2012: Richtlinien für Anlage, Betrieb und Unterhalt von Schneesportabfahrten.

Seilbahnen Schweiz SBS, 2012: Die Verkehrssicherungspflicht für Schneesportabfahrten.

STOFFEL, L., 2001: Künstliche Lawinenauslösung. Praxishilfe. 2. überarbeitete Auflage. Mitt. Eidgenöss. Inst. Schnee- und Lawinenforsch. 53.

STOFFEL, L.; SCHWEIZER, J., 2007: Praxishilfe. Arbeit im Lawinendienst: Organisation, Beurteilung lokale Lawinengefährdung und Dokumentation. SILS, SLF und BAFU.

Vereinigung Kantonalen Feuerversicherungen, VKF 2005: Wegleitung Objektschutz gegen gravitative Naturgefahren.

Verordnung über die Sicherheitsuntersuchung von Zwischenfällen im Verkehrswesen von 17. Dezember 2014 (VSVZ 2014, SR 742.161).

WITMER, U., 1986: Erfassung, Bearbeitung und Kartierung von Schneedaten in der Schweiz. Geografisches Institut der Universität Bern.

A.2 Begriffe

Abfahrten (kurz für Schneesportabfahrten): Unter Abfahrten sind Pisten, Abfahrtsrouten, Schneesportwege (ehemals Skiwege) und Fun-Parks zu verstehen.

Bauwerk: Unter einem Bauwerk sind alle fixen Installationen zu verstehen. Dies können Gebäude, Stützen, Leitungen oder z. B. Lawinenschutzbauten sein.

Bemessung auf Lawinenkräfte: Bauwerke gelten als auf Lawinenkräfte bemessen, falls durch die Einwirkung kein struktureller Schaden entsteht. Nicht tragende Bauteile können allenfalls trotzdem beschädigt werden.

Einwirkung: Lasten, Kräfte und Drücke, die auf Bauwerke wirken. In diesem Leitfaden vor allem Einwirkungen von Lawinen (Fließ- und Staublawine) sowie Schneedruck.

Erschliessungsbahnen: Bahnen mit einer Zubringerfunktion für ein Siedlungsgebiet oder ein touristisches Zentrum (Ausgangspunkt weiterer Beschäftigungsbahnen) werden als Erschliessungsbahnen, alle anderen als **Beschäftigungsbahnen** bezeichnet.

Fließlawine: Lawine, deren Bewegung im Gegensatz zur Staublawine vorwiegend fließend oder gleitend auf der Unterlage erfolgt.

Gefahr: Zustand, Umstand oder Vorgang, aus dem ein Schaden für Umwelt, Mensch und/oder Sachgüter entstehen kann.

Gefährdung: Gefahr, die sich konkret auf eine bestimmte Situation oder ein bestimmtes Bauwerk bezieht. Eine Gefährdung, z. B. durch Lawinen, stellt eine mögliche Einwirkung auf Personen oder Bauwerke dar und wird mit Wiederkehrperiode und Intensität beschrieben.

Infrastruktur: Relevant bezüglich Lawinen sind namentlich Stationen, Stützen von Sessel-, Umlauf- und Pendelbahnen sowie Stationen, Bahntrasse, Kunstbauten von Standseilbahnen sowie Schutzbauten.

Intensität: Die Intensität der Lawinen ist nach den Merkmalen Lawinendrucke und Fließhöhe zu beurteilen. Im Zusammenhang mit Bauwerken wird von grosser Intensität gesprochen, falls

die Einwirkungen Massnahmen erfordern. Je nach Art des betroffenen Bauteils (z. B. Seil oder Stütze) sind unterschiedlich starke Intensitäten als «gross» zu bezeichnen.

Lawine:

Lawine als aussergewöhnliche Einwirkung: Lawinenwiederkehrperiode von $T = 100\text{--}300$ Jahren.

Lawine als veränderliche Einwirkung: Lawine, die während der Lebensdauer von Bauwerken (ca. 20–50 Jahre) mit grosser Wahrscheinlichkeit auftritt (Lawinenwiederkehrperiode $T = 10\text{--}30$ J.).

Lawinenumrisskarte: In einer Umrisskarte ist der durch einen Lawinenabgang gefährdete Bereich ersichtlich (Anrissgebiet, Sturzbahn, Auslauf).

Risiko: Wahrscheinlichkeit und Ausmass möglicher Schäden. Falls zur Risikoverminderung Massnahmen ergriffen werden, verbleibt ein Risiko, das als **Restrisiko** bezeichnet werden kann.

Schneedruck: Als Schneedruck werden Kräfte auf Bauwerke bezeichnet, welche infolge langsamen Gleit- und Kriechbewegungen der Schneedecke auftreten.

Schneehöhe: Lotrecht gemessene Höhe der Schneedecke.

Schneemächtigkeit: Senkrecht zum Hang gemessene Dicke der Schneedecke.

Seilbahnen: Dienen der Personenbeförderung, namentlich umfassen sie Luftseilbahnen, Standseilbahnen, Skilifte sowie ähnliche Transportanlagen mit Seilantrieb (Seilbahnen), (Zif 2 SebG).

Siedlungsgebiet: Überbautes Gebiet, wo Bauzonen und allenfalls Gefahrenzonen ausgedehnt sind.

Stationen: Berg- und Talstation, evtl. Mittelstation einer Seilbahn.

Stationsumfeld: Bereiche, in denen sich Personen unmittelbar vor oder nach der Bahnbenutzung in konzentrierter Anzahl aufhalten (in der Regel ein 10 m breiter Bereich unmittelbar um die Station).

Staublawine: Staublawinen bestehen aus einer bodennahen **Saltationsschicht** und einer Suspensionsschicht («Staubwolke»).

Technische Leitung: gemäss Art. 46 der Seilbahnverordnung verantwortliche Person für sicherheitsrelevante Aspekte des Betriebes und der Instandhaltung der Seilbahnen.

Temporäre Lawinenschutzmassnahmen: kurzfristig angeordnete organisatorische oder betriebliche Massnahmen wie Sperrungen, Evakuierungen oder künstliche Lawinenauslösung.

Überprüfung: Die Überprüfung hat zum Ziel, die Tragsicherheit und die Gebrauchstauglichkeit eines Tragwerks hinsichtlich seiner vereinbarten Restnutzung nachzuweisen und, sofern erforderlich, Erhaltungsmaßnahmen vorzuschlagen (Definition gemäss Kap. 2.3.1 Norm SIA 269).

Wiederkehrperiode (-dauer): Zeitspanne T in Jahren, in der ein Lawinenereignis eine bestimmte Grösse (z.B. Anriss oder Kubatur) statistisch im Durchschnitt einmal erreicht oder überschreitet.

A.3 Symbole

Tab. A.3.1: Verwendete Symbole.

Symbol	Einheit	Bezeichnung	Bemerkung
α	°	Ablenkwinkel der Lawine	Siehe Anhang A.5
B	m	Objektbreite resp. -durchmesser	Siehe Anhang A.5
b	m	Staublawinenbreite auf Seilhöhe	Siehe Tabelle 4
c		Widerstandskoeffizient	Siehe Anhang A.5
d	m	Hangsenkrechte Mächtigkeiten	Für Lawinen und Schneedruck
d_A	m	Mächtigkeit der Schneedecke	
d_F od. d	m	Fliesshöhe von Lawinen	
d_{Stau}	m	Stauhöhe Fliesslawine an Bauwerken	
d_{Salt}	m	Mächtigkeit Saltationsschicht von Staublawinen	
d_{Susp}	m	Mächtigkeit Suspensionsschicht von Staublawinen	
d_0	m	Anrissmächtigkeit	Für Lawinenberechnung
ΔH_{S_3}	m	Schneehöhenzuwachs (von 3 Tagen)	
E_d		Bemessungswert der Einwirkung	
η		Wirkungsfaktor für Schneedruck	Siehe Anhang A.7
ψ	°	Hangneigung	Für Lawinen- und Schneedruckberechnung
$f(\psi)$		Reduktionsfaktor zur Berechnung der Anrissmächtigkeit	
g	m/s ²	Erdbeschleunigung	
h	m	Vertikale Höhen (lotrecht)	Für Lawinen und Schneedruck
h_A	m	Schneehöhe	
K		Kriechfaktor für Schneedruckberechnung	Siehe Anhang A.7
λ		Faktor für Berechnung der Stauhöhe	Siehe Anhang A.5
μ		Reibungskoeffizient für Lawinenberechnung	
N		Gleitfaktor für Schneedruckberechnung	Siehe Anhang A.7
ψ_0		Kombinationsbeiwerte einer veränderlichen Einwirkung	
ψ_1		Beiwert für häufige Werte der veränderlichen Einwirkung	
ψ_2		Beiwert für quasi-ständige Werte der veränderlichen Einwirkung	
q	N/m ²	Druck	
q_F	N/m ²	Fliesslawinendruck	
q_{Salt}	N/m ²	Druck in Saltationsschicht von Staublawinen	
q_{Susp}	N/m ²	Druck in Suspensionsschicht von Staublawinen	
q_G	kN/m ¹	Schneedruck oder Schneedruckkraft	
q_k	N/m ²	Charakteristischer Wert der Einwirkung	
ρ	kg/m ³	Dichte	
T	Jahre	Wiederkehrperiode (-dauer)	
v	m/s	Geschwindigkeit	
ξ	m/s ²	Faktor der turbulenten Reibung	Für Lawinenberechnung
Andere Symbole gemäss SN EN 13107 und SN EN 1990:2002			

A.4 Bestimmung von maximalen Schneehöhen

1. 100-jährliche maximale Schneehöhe als Ausgangswert am Objektstandort

Die Schneehöhe kann mittels der Extremwertstatistik der Messungen einer benachbarten SLF-Vergleichsstation bestimmt werden und ist auf die Höhenlage des Objektstandortes umzurechnen (vgl. Hydrologischer Atlas der Schweiz, je nach Region ist der Gradient 15–30 cm pro 100 m). Die 100-jährliche Schneehöhe auf Meereshöhe des Objektes kann auch anhand der Angaben im Hydrologischen Atlas der Schweiz bestimmt werden. Die ermittelte Schneehöhe gilt für ein Flachfeld.

2. Einfluss der Sonneneinstrahlung (Exposition und Hangneigung)

In Schattenlagen werden deutlich grössere maximale Schneehöhen gemessen als in Südhängen. Der Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die maximale Schneehöhe kann gemäss Tabelle A.4.1 berücksichtigt werden (in Anlehnung an Witmer, 1986). In extremen Lagen können diese Einflüsse auch grösser sein.

Tab. A.4.1: Korrekturfaktor für die Bestimmung der maximalen Schneehöhe.

Exposition und Hangneigung	Korrekturfaktor
Nordsektor und Hangneigung > 15°	ca. 1,2
Ost- und Westsektor mit Hangneigungen > 15° und allg. Neigung < 15°	1,0
Südsektor und Hangneigung > 15°	ca. 0,8

3. Einfluss von Topografie, Wind, Wald und möglicher Schneeräumung

Auf Geländerippen ist in der Regel mit kleineren Schneehöhen, in Mulden mit grösseren Schneehöhen als auf Flachfeldern zu rechnen. Wie stark die Schneehöhe angepasst werden kann, hängt von der lokalen Situation und vom Windeinfluss ab und muss gutachterlich festgelegt werden. In Waldlichtungen ist die Schneehöhe erfahrungsgemäss etwa 10–20 Prozent grösser als in offenem Gelände. Für Stützen im Pisten- und Stationsumfeld kann mit reduzierten Schneehöhen gerechnet werden. Falls der Stützenstandort häufig von Lawinen erreicht wird, soll die Schneehöhe entsprechend erhöht werden.

4. Umrechnung der Schneehöhe auf unterschiedliche Wiederkehrperioden

Eine Auswertung vom SLF erhobener Schneedaten zeigt, dass das Verhältnis zwischen den maximalen Schneehöhen für verschiedene Wiederkehrperioden in der gesamten Schweiz und in allen Höhenlagen ziemlich konstant ist. Falls die Schneehöhe eines Ortes für eine bestimmte Wiederkehrperiode erhoben wurde, können für andere Wiederkehrperioden die Umrechnungsfaktoren gemäss Tabelle A.4.2 verwendet werden.

Tab. A.4.2: Umrechnung von Schneehöhen.

Wiederkehrperiode	Umrechnungsfaktor bezüglich der Schneehöhe 100 Jahre Wiederkehrperiode
10 Jahre	0,68
30 Jahre	0,83

Beispiel

100-jährliche Schneehöhe Extremwertstatistik Vergleichsstation 1700 m ü. M.	2,4 m
100-jährliche Schneehöhe am Objektstandort: 2500 m ü. M., Flachfeld (+ 8 · 0,20 m, d.h. Gradient: 0,2 m pro 100 m)	4,0 m
Exposition und Hangneigung: Nord, 28° (Korrekturfaktor 1,2)	4,8 m
Topografie: Standort auf Geländerippe, gutachterliche Reduktion des Wertes	3,0 m
30-jährliche max. Schneehöhe h_A am Objektstandort (Faktor 0,83)	2,5 m

A.5 Einwirkungen von Fliesslawinen

A.5.1 Einwirkung auf grosse Objekte

Gross heisst, dass die meisten Schneeteilchen im Lawinenstrom um einen einheitlichen Winkel α abgelenkt werden.

$$\text{Druck senkrecht zur Fläche: } q_N = \rho \cdot (v \cdot \sin\alpha)^2 \quad [\text{N/m}^2]$$

$$\text{Reibung parallel zur Fläche: } q_S = \mu \cdot q_N \quad [\text{N/m}^2]$$

- ρ [kg/m³] Dichte Lawinenschnee: i. d. R. 300 kg/m³. Bei kleinen Lawinenvolumen, kurzen Lawinenbahnen oder fluidisierten Lawinen ($v > 25\text{--}30$ m/s) kann die Dichte je nach Situation auf minimal 200 kg/m³ reduziert werden.
- v [m/s] Geschwindigkeit der Lawine
- α [°] Ablenkwinkel der Lawine (vgl. Abb. A.5.1)
- μ [-] Reibungsbeiwert (0,3 für Kontakt Schnee/Beton; 0,4 für Kontakt Schnee/rauhe Oberfläche)

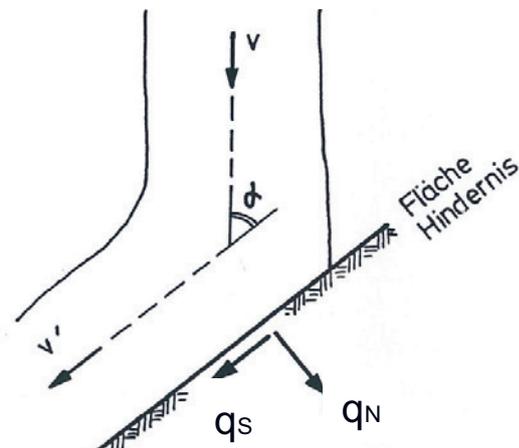


Abb. A.5.1: Ablenkwinkel α .

A.5.2 Einwirkung auf schmale Objekte

Schmal (< ca. 2 m) heisst, dass die Schneeteilchen das Objekt umströmen und nicht um einen einheitlichen Winkel abgelenkt werden. Die Einwirkung ist von der Objektform abhängig.

Druck auf ein Objekt: $q = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot v^2$ [N/m²]

c [-]	Widerstandskoeffizient (abhängig von Objektform)	
	Richtwerte	
	Kreiszylinder	c = 1
	Keil	c = 1,5
	Rechteck (Wand)	c = 2
	Nassschnee-/Gleitschneelawine	c = 6–8

A.5.3 Kräfteverteilung an Objekten

Trifft eine Fliesslawine auf ein Hindernis, kommt es zu einem Rückstau, innerhalb dessen der Lawinendruck linear abnimmt (vgl. Kap. 3.1, Abb. 1).

Wirkungshöhe des Lawinendrucks d_{tot} :

$d_{\text{tot}} = d + d_{\text{stau}}$ [m]

d	[m]	Fliesshöhe
d_{stau}	[m]	Stauhöhe = $v^2 / (2 \cdot g \cdot \lambda)$, vgl. nachfolgenden Hinweis für schmale Objekte
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung, 9,81 m/s ²
λ	[-]	Energieumwandlungskonstante (leichte, trockene Lawine $\lambda = 1,5$; dichte Lawine $2 \leq \lambda \leq 3$)

Stauhöhe für schmale Objekte wie Stützen (Objektbreite < ca. 2 m):

$d_{\text{stau}} = v^2 \cdot f(B/d) / (2 \cdot g \cdot \lambda)$ [m]

f(B/d)	[-]	Reduktionsfaktor (siehe Tab. A.5.1)
B	[m]	Breite des Objektes senkrecht zur Anströmrichtung
d	[m]	Fliesshöhe
B/d	[-]	Verhältnis Breite des Objektes zur Fliesshöhe

Wir empfehlen, die Stauhöhe mit der oben angegebenen Formel zu berechnen. Bei grosser Geschwindigkeit und kleiner Fliesshöhe ist die berechnete Stauhöhe bei schmalen Objekten in der Regel eher zu gross. Typischerweise variieren die Stauhöhen an Stützen zwischen 1,0 und 5,0 m. Der Lawinenexperte soll die berechnete Stauhöhe kritisch beurteilen und falls angebracht reduzieren. Die Reduktion der Stauhöhe ist von den folgenden Punkten abhängig:

- Lawinenvolumen: bei kleinen Lawinenvolumen treten kleinere Stauhöhen auf.
- Lawinentyp: bei fluidisierten Lawinen ($v > 28$ m/s) können kleinere Stauhöhen erwartet werden. Als minimaler Wert für die Stauhöhe bei fluidisierten Lawinen kann eine Höhe angenommen werden, die 10 Prozent der Fliessgeschwindigkeit (Faktor = 0,1 s) entspricht, d.h. bei $v = 30$ m/s beträgt $d_{\text{stau}} = 3$ m (Johannesson *et al.* 2009).
- Objektstandort: in Vertiefungen, wo das Objekt den abfliessenden Lawinenschnee stauen kann, können grosse Stauhöhen auftreten.
- Objektdurchmesser und Fliesshöhe: für kleine Fliesshöhen (< 0,5 m) und kleine Objektdurchmesser (< 1,0 m) können kleinere Stauhöhen erwartet werden.

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

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

A.5.4 Lawinen auf Fachwerkstützen

- Fachwerkstützen sind generell für die Aufnahme von Lawineneinwirkungen nicht geeignet.
- Schmale Fachwerkstützen (Breite $< 2,0$ m) oder Eckstiele von grossen Fachwerkstützen mit kleinen Stababständen ($< 1,0$ m) können als geschlossenes, schmales Hindernis betrachtet werden. Die Lawine kann nur sehr beschränkt durch das Fachwerk fließen.
- Weist eine Fachwerkstütze grosse Stababstände ($> 1,0$ m) auf, können die Stäbe vom Lawinenschnee umflossen werden. Da die Wirkungsbreite beim Aufprall von Schneeknollen wesentlich grösser als die Profildicke sein kann, sind die Lawindrücke auf eine vergrösserte Profildicke zu bestimmen (= Profildicke + 0,8 m). Mit dieser Breite und der Länge aller bergseitig vorhandenen Stäbe kann zum Nachweis der globalen Stabilität die resultierende Lawinenkraft auf die Fachwerkstütze bestimmt werden.

A.5.5 Beispiel: Grosse Lawineneinwirkung und Gesamteinwirkung auf eine Rohrstütze (Fall 1, A.5.6)

Eine grosse Lawineneinwirkung (Gesamteinwirkung > 350 kN) auf eine Rohrstütze ist bei Fall 1 gemäss Anhang A.5.6 typischerweise erreicht bei (mit $c = 1$):

- einer Fliesshöhe von ca. 1 m und einem Lawinendruck $\frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot v^2 > 75$ kN/m²
- einer Fliesshöhe von ca. 1,5 m und einem Lawinendruck $\frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot v^2 > 65$ kN/m².

Gesamteinwirkung Q , auf eine schmale Rohrstütze:

$$Q = \frac{1}{2} \cdot c \cdot B \cdot (d + (d_{\text{Stau}}/2)) \cdot \rho \cdot v^2 \text{ [N]}$$

Beispiel:

$c = 1$ Widerstandskoeffizient, Kreiszyylinder gemäss A.5.2

$B = 1,3$ m Stützendurchmesser

$d = 1,5$ m Fliesshöhe

$d_{\text{Stau}} = 5$ m Stauhöhe

$\rho = 300$ kg/m³ Dichte Lawinenschnee

$v = 22$ m/s Lawinengeschwindigkeit

$$Q = \frac{1}{2} \cdot 1 \cdot 1,3 \cdot (1,5 + 5/2) \cdot 300 \cdot 22^2 = 377\,520 \text{ N} = 378 \text{ kN}$$

A.5.6 Einfluss der Objektgeometrie auf die Bestimmung der Einwirkungen auf Stützen

Fall 1: Lawine prallt auf schmale Rohrstütze

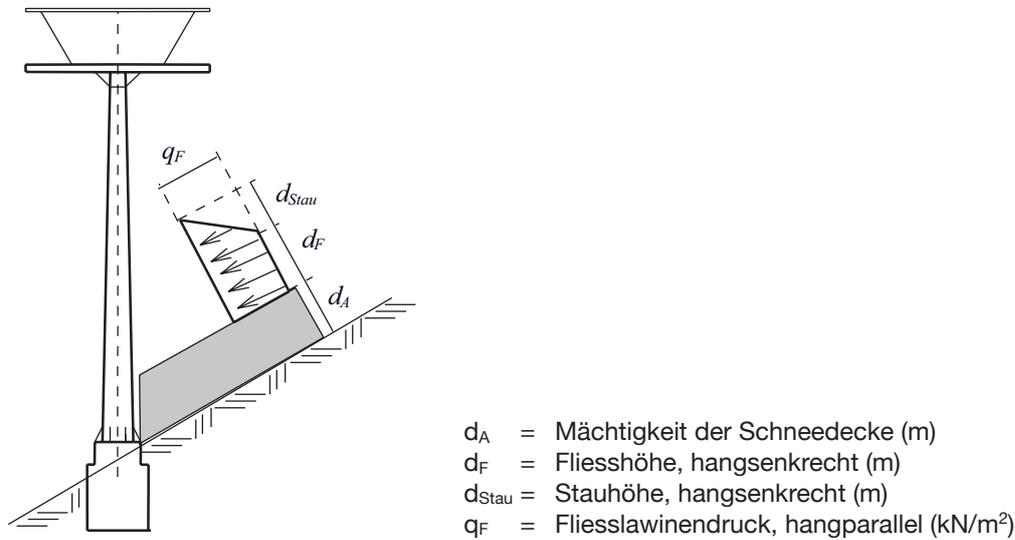


Abb. A.5.2: Rohrstütze auf ebenerdigem Betonfundament.

Tab. A.5.2: Fließlawinendruck und Stauhöhe für Rohrstütze auf ebenerdigem Betonfundament.

Rohrstütze auf ebenerdigem Betonfundament, das von der Lawine nicht getroffen wird	
Fließlawinendruck	$q_F = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot v^2$ mit $c = 1,0$ (Objektbreite: Stützendurchmesser)
Stauhöhe	$d_{Stau} = v^2 \cdot f(B/d) / (2 \cdot g \cdot \lambda)$ (Objektbreite: Stützendurchmesser)

Fall 2: Lawine prallt auf rechteckigen Betonsockel und auf Rohrstütze

Mit hochgezogenen Betonsockeln können Stabilitätsprobleme von dünnwandigen Stahlprofilen von Rohrstützen infolge Lawineneinwirkung vermieden werden (insbesondere relevant für Lawinen, die Steine und Bäume enthalten können).

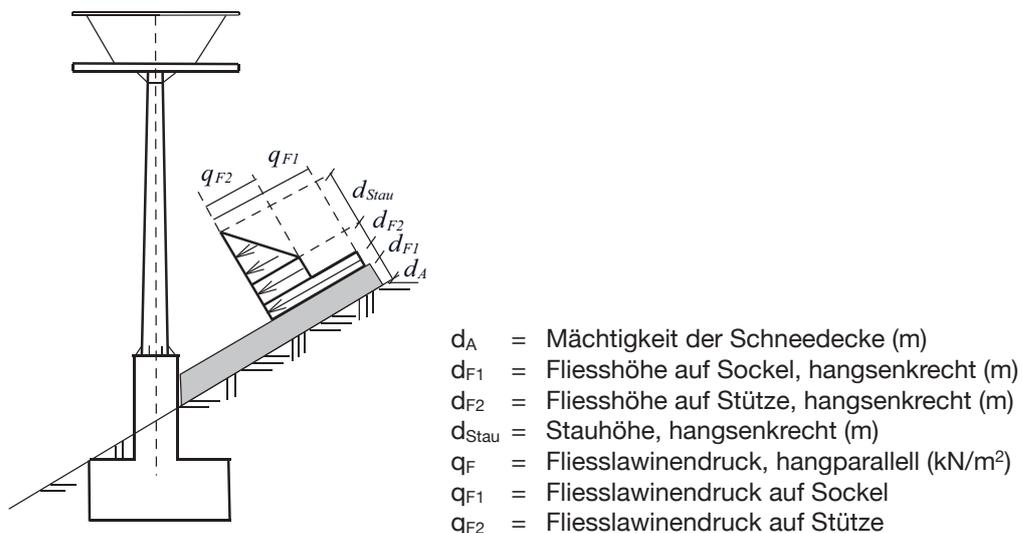


Abb. A.5.3: Rohrstütze auf hochgezogenem Betonsockel.

Tab. A.5.3: Fliesslawinendruck und Stauhöhe für Rohrstütze auf hochgezogenem Betonsockel.

Rohrstütze auf hochgezogenem Betonsockel	
Fliesslawinendruck	<p>Auf rechteckigen Betonsockel: $q_{F1} = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot v^2$ siehe Abb. A.5.4 ($c = 1,5$ für schiefen Aufprall; $c = 2$ für Aufprall \pm senkrecht auf Sockel) (Objektbreite: Sockeldurchmesser senkrecht zur Lawinenfließrichtung)</p> <hr/> <p>Auf Rohrstütze: $q_{F2} = \frac{1}{2} \cdot c \cdot \rho \cdot v^2$ ($c = 1,0$ für Kreiszyylinder) (Objektbreite: Stützendurchmesser)</p>
Stauhöhe	<p>$d_{\text{Stau}} = v^2 \cdot f(B/d) / (2 \cdot g \cdot \lambda)$, siehe auch Bemerkung in Anhang A.5.3 mit Objektbreite B je nach: $d_{F1} > d_{F2}$: B = Sockeldurchmesser senkrecht zur Lawinenfließrichtung $d_{F1} < d_{F2}$: B = Stützendurchmesser</p>

In Abbildung A.5.4 ist der Grundriss eines hochgezogenen Betonsockels mit verschiedenen Lawinenrichtungen ersichtlich.

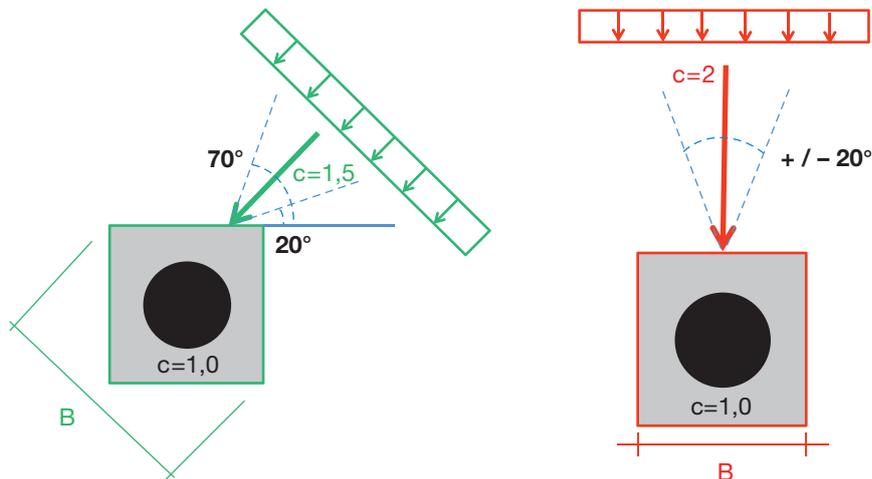


Abb. A.5.4: Grundriss Rohrstütze und hochgezogener Betonsockel sowie verschiedene Lawenfließrichtungen: Bereiche des Betonsockels mit Widerstandskoeffizienten $c = 1,5$ und $c = 2$; die Sockelbreite B ist jeweils senkrecht zur Lawinenfließrichtung zu berücksichtigen. Widerstandskoeffizient für Rohrstütze $c = 1$.

A.6 Einwirkungen von Staublawinen

Für die Berechnung der Einwirkungen von Staublawinen wird zwischen den Lawindrücken in der Saltationsschicht (resp. fluidisierten Schicht) und den Staudrücken in der Suspensionsschicht 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 Suspensionsschicht q_{susp} ersetzt wird. Die entsprechenden Kraft- und Druckbeiwerte sind dem Anhang C der SN 505 261 zu entnehmen.

Zu beachten ist, dass beim Umströmen von Gebäuden am Dach, den Seitenwänden und der Rückwand ein dynamischer Unterdruck (Sog) entsteht.

Oft liegen die Seile von Seilbahnen im Einflussbereich der Suspensionsschicht.

Die Drücke der Saltations- und der Suspensionsschicht treten gleichzeitig auf.

Staublawinen können Schneeknollen oder Steine mitführen, die als Einzellasten zu berücksichtigen sind.

A.7 Einwirkungen von Schneedruck auf Stützen

A.7.1 Schneedruck auf Stützen

Bei der Ermittlung des Schneedrucks wird das Zusammentreffen eines Winters mit grossem Schneegleiten und maximaler Schneehöhe angenommen. Für Schneedruckberechnungen kann generell mit einer Schneedichte von $\rho = 300 \text{ kg/m}^3$ gerechnet werden (evtl. $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$ für Südsektor und Schneehöhen kleiner ca. 2 m). Dass in Wirklichkeit das Schneegleiten oft bei geringerer Schneelage aber grösserer Schneedichte auftritt, wird nicht berücksichtigt.

Schneedruck ist abhängig von: Hangneigung, Höhenlage, Schneehöhe, Schneedichte, Exposition, Topografie (Rippen, Mulden), Bodenbeschaffenheit, Grösse des Hanges. Für die Beurteilung dieser Faktoren ist in der Regel eine Geländebegehung erforderlich. Grosse Schneedruckkräfte treten vor allem an sonnenexponierten, 35° bis 45° geneigten Hängen in voralpinen Gebieten mit glatten Bodenoberflächen und Muldenlage auf.

Der Schneedruck auf eine Stütze ist infolge der Randeffekte um Faktoren grösser als Schneedruck in der Mitte einer langen Stützwerkreihe. Die Randeffekte werden mit dem Wirkungsfaktor η beschrieben. Der Wirkungsfaktor ist abhängig vom Verhältnis der Schneemächtigkeit zum Objektdurchmesser und von der Grösse des Schneegleitens.

Die Einwirkungen aus Schneedruck sind von der Objektbreite, jedoch nicht von der Objektform abhängig. Wirkt Schneedruck in einem Winkel von 45° auf einen hohen Betonsockel, entspricht der Objektdurchmesser beispielsweise der Diagonale des Sockels.

Der hangparallele Schneedruck q_G wirkt als Linienlast (resp. Resultierende) pro Meter hangsenkrechte Schneemächtigkeit d_A (Kap. 3.1, Abb. 3). Die folgende Formel basiert auf der Richtlinie für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet, Margreth 2007:

$$\text{Schneedruck } q_G = \rho \cdot g \cdot h_A^2 \cdot 0,5 \cdot K \cdot N \cdot \eta \cdot B/d_A \text{ [N/m']}$$

ρ	[kg/m ³]	Schneedichte (In der Richtlinie Lawinenverbau im Anbruchgebiet wird für die Schneedichte t/m ³ und nicht die SI-Einheit kg/m ³ verwendet.)
g	[m/s ²]	Erdbeschleunigung, 9,81 m/s ²
h_A	[m]	Schneehöhe (vgl. Anhang A.4)
K	[-]	Kriechfaktor in Abhängigkeit von ρ (Tab. A.7.1)
ψ	[°]	Hangneigung am Stützenstandort (i. d. R. grösser ca. 25°, vgl. Kap. 2.1)
N	[-]	Gleitfaktor (Tab. A.7.2)
η	[-]	Wirkungsfaktor = $1+(0,6 \text{ bis } 6)d_A/D$ (Tab. A.7.3)
B	[m]	Objektdurchmesser resp. -breite
d_A	[m]	Schneemächtigkeit = $h_A \cdot \cos \psi$ [m]

Für Stützen und Bauwerke, die mit **Gleitschneeschutzmassnahmen** wie Dreibeinböcken geschützt sind, kann für die Berechnung des Schneedruckes ein Gleitfaktor von $N = 1,0$ und ein Wirkungsfaktor von $\eta = 1+0,6d_A/D$ verwendet werden. Die Einwirkung auf stark schneedruckgefährdete Stützen kann z. B. mit einer Berme oberhalb der Stütze verkleinert werden.

Beispiel einer Schneedruckberechnung

Schneedichte ρ	=	300 kg/m ³
Schneehöhe h_A	=	3 m
Hangneigung ψ	=	30 °
Kriechfaktor K	=	$0,76 \cdot \sin 2\psi = 0,66$
Gleitfaktor N	=	2,0
Schneemächtigkeit d_A	=	$h_A \cdot \cos \psi = 2,6 \text{ m}$
Stützendurchmesser B	=	1,3 m
Wirkungsfaktor η	=	$1+1,0d_A/B = 3$

$$q_G = \rho \cdot g \cdot h_A^2 \cdot 0,5 \cdot K \cdot N \cdot \eta \cdot B/d_A \text{ [N/m']}$$

$$q_G = 300 \cdot 9,81 \cdot 3^2 \cdot 0,5 \cdot 0,66 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 1,3/2,6 = 26\,200 \text{ N/m}' = 26,2 \text{ kN/m}'$$

Tab. A.7.1: Kriechfaktor K in Funktion von ρ und ψ .

	$\rho = 300 \text{ kg/m}^3$	$\rho = 400 \text{ kg/m}^3$
K	$0.76 \cdot \sin 2\psi$	$0.83 \cdot \sin 2\psi$

Tab. A.7.2: Bodenklassen und Gleitfaktor N (d* ist diejenige Blockgrösse, welche für die Rauigkeit der Bodenoberfläche massgebend ist.).

Bodenklassen	Gleitfaktor N	
	Exposition WNW-N-ENE	Exposition ENE-S-WNW
Kl. I		
– Grober Blockschutt (d* ≥ 30 cm).		
– Von kleineren und grösseren Felsblöcken stark durchsetztes Gelände	1,2	1,3
Kl. II		
– Mit grösserem Erlengebüsch oder mindestens 1 m hohen Legföhren überwachsene Fläche		
– Stark ausgebildete, von Grasnarbe und Kleinsträuchern überwachsene Höcker (Höhe der Höcker über 50 cm).	1,6	1,8
– Stark ausgebildete Kuhtritte		
– Grobes Geröll (d* = ca. 10–30 cm)		
Kl. III		
– Kurzhalmige Grasnarbe, von Kleinsträuchern durchsetzt (Erika, Alpenrosen, Heidelbeeren, Erlengebüsch, Legföhren von unter ca. 1 m Höhe)		
– Feines Geröll (d* ≤ 10 cm) abwechselnd mit Grasnarbe und Kleinsträuchern	2,0	2,4
– Schwach ausgebildete, von Grasnarbe und Kleinsträuchern überwachsene Höcker von bis zu 50 cm Höhe, auch abwechselnd mit glatter Grasnarbe und Kleinsträuchern		
– Grasnarbe mit schwach ausgebildeten Kuhtritten		
Kl. IV		
– Glatte, langhalmige, geschlossene Grasnarbe		
– Glatte, anstehende Felsplatten mit hangparalleler Schichtung	2,6	3,2
– Glatte, mit Erde vermischter Hangschutt		
– Sumpfige Mulden		

Tab. A.7.3: Wirkungsfaktor η.

Schneegleiten	Exposition und Bodenklasse (gemäss Tab. A.7.2)	Wirkungsfaktor η
Schwaches Schneegleiten	Nordsektor, Kl. I–IV	1+0,6d _A /D
Mittleres Schneegleiten	Südsektor (i. d. R. Kl. I–II)	1+1,0d _A /D
Starkes Schneegleiten	Südsektor	1+1,5d _A /D
Starkes Schneegleiten und ungünstige Lage (z. B. Südwesthang, glatte Bodenverhältnisse); Faktor 2 gilt eher für grosse Schneehöhen, Faktor 4–6 für kleine Schneehöhen.	(i. d. R. Kl. III–IV)	1+(2 bis 6)d _A /D

A.7.2 Schneedruck auf Fachwerkstützen

- Fachwerkstützen sind generell zur Aufnahme von Schneedruckeinwirkungen ungeeignet.
- Schmale Fachwerkstützen (Breite $< 2,0$ m) sind als geschlossenes Hindernis zu betrachten. Auch Fachwerke mit Stababständen $< 1,0$ m wirken als geschlossene Fläche. Die resultierende Schneedruckeinwirkung ist als konstante Linienlast auf alle bergseitigen Stäbe innerhalb der Schneedecke zu verteilen (Eckprofile wie Fachwerkstreben, Abb. A.7.1).
- Bei grossen Fachwerkstützen (i. d. R. Breite $\gg 2$ m) ist die Beurteilung der Schneedruckeinwirkung viel komplexer, da einerseits bei den Stielen und Knotenbereichen kleine Stababstände und andererseits auch grosse Stababstände bestehen. Stiele- und Knotenbereiche (Stababstände < 1 m) müssen i. d. R. als geschlossene Fläche betrachtet werden. Bei grossen Stababständen (> 1 m) kann die Wirkung des Schneedrucks auf den Einzelstab betrachtet werden, wobei mit stark erhöhten Randeffekten gerechnet werden muss (Wirkungsfaktor siehe Tab. A.7.3 und Kap. 4.6.2 der Technischen Richtlinie Lawinenverbau im Anbruchgebiet, Margreth 2007).

Befinden sich einzelne Streben oder Diagonalen innerhalb der Schneedecke, sind allenfalls Setzkräfte zu berücksichtigen.

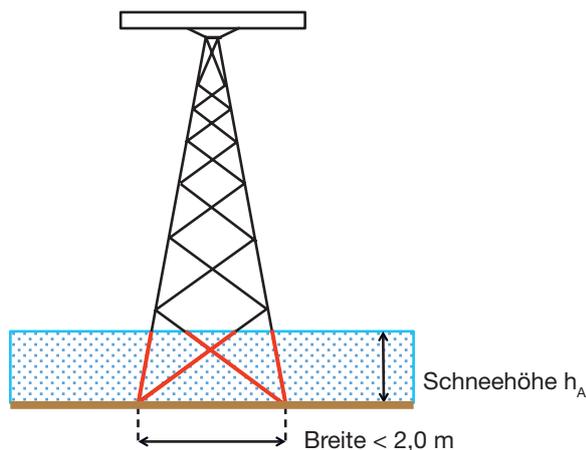


Abb. A.7.1: Fachwerkmast: rot dargestellt im Falle von Schneedruck zu berücksichtigende Länge der Streben (Schneehöhe h_A).

A.8 Beispiele: Resultate von Lawinen- / Schneedruckberechnungen und Bestimmung der Einwirkungen auf Stützen

Tab. A.8.1: Resultate Fliesslawinenberechnung.

Wiederkehrperiode T		100 Jahre	10 Jahre	
Anrissgebiet oberhalb Stütze 3, Inputparameter				
Höhenlage		1920	1920	m ü. M.
Hangneigung	ψ	31	31	°
Anrissmächtigkeit	d_0	1,1	0,85	m
Anrissvolumen		35000	4000	m ³
Gewählte Reibungskategorie (gemäss RAMMS)		Medium	Tiny	–
Stütze 3, Berechnungen				
Hangneigung oberhalb Stütze	ψ	28	28	°
Max. Fliessgeschwindigkeit	v	17	10	m/s
Fliesshöhe (zum Zeitpunkt von v_{max})	d	1,2	0,8	m
Stauhöhe an Stütze	d_{stau}	3,4	2,0	m
Dichte Lawinenschnee	ρ	300	250	kg/m ³
Lawindruck auf Rohrstütze	q	44	13	kN/m ²
Gesamteinwirkung auf Rohrstütze, Durchmesser 1,3 m		164	29	kN

Die maximale Fliessgeschwindigkeit und die maximale Fliesshöhe treten oft nicht gleichzeitig auf.

Tab. A.8.2: Resultate Staublawinenberechnung.

Wiederkehrperiode T		100 Jahre	10 Jahre	
Anrissgebiet Stütze 3, Inputparameter				
Anrissmächtigkeit	d_0	1.1	–	m
Schneedichte	ρ	150		kg/m ³
Erodierbare Schneehöhe		0,4		m
Suspensionsgrad		0,12		
Stütze 3, Berechnungen				
Höhe Saltationsschicht	d_{salt}	2	–	m
Druck in Saltationsschicht	q_{salt}	5		kN/m ²
Druck in Suspensionsschicht, oberhalb Saltationsschicht	q_{susp}	3,2		kN/m ²
Druck in Suspensionsschicht, in 15 m Höhe	q_{susp}	1,4		kN/m ²
Staublawinenbreite	b	70		m

Tab. A.8.3: Resultate Schneedruckberechnungen (typischer Gleitschneehang).

Wiederkehrperiode T		30 Jahre		
Stütze 3, Inputparameter und Berechnungsergebnisse				
Schneedichte	ρ	300		kg/m ³
Hangneigung	ψ	28		°
Schneehöhe	h_A	2,9		m
Gleitfaktor	N	3,2		
Stützendurchmesser	B	1,3		m
Wirkungsfaktor $\eta = 1 + 1,5 d_A/B$	η	4		
Schneedruck q_G pro m' hangsenkrechte Schneemächtigkeit d_A	q_G	52		kN/m'

Tab. A.8.4: Fließlawinen- und Schneedruckeinwirkung auf Stütze 3, Angaben für den projektierenden Ingenieur.

Stütze 3				
Aussergewöhnliche Lawineneinwirkung (100 J.)				
Schneemächtigkeit bei Lawinenabgang		d_A	0–2,5	m
Hangsenkrechte Fließhöhe		d_F	1,2	m
Hangsenkrechte Stauhöhe		d_{Stau}	3,4	m
Lawinendruck auf Rohrstütze	$q_F = \rho \cdot v^2 / 2$	q_F	44	kN/m ²
Lawinendruck auf Betonsockel, Anströmung senkrecht	$q_F = \rho \cdot v^2$	q_F	87	kN/m ²
Richtung der Einwirkung			Norden	
Veränderliche Lawineneinwirkung (10 J.)				
Schneemächtigkeit bei Lawinenabgang		d_A	0–2,5	m
Hangsenkrechte Fließhöhe		d_F	0,8	m
Hangsenkrechte Stauhöhe		d_{Stau}	2,0	m
Lawinendruck auf Rohrstütze	$q_F = \rho \cdot v^2 / 2$	q_F	13	kN/m ²
Lawinendruck auf Betonsockel, Anströmung senkrecht	$q_F = \rho \cdot v^2$	q_F	25	kN/m ²
Richtung der Einwirkung			Norden	
Schneedruck				
Schneemächtigkeit		d_A	2,5	m
Schneedruck q_G pro m' hangsenkrechte Schneemächtigkeit		q_G	52	kN/m'
Richtung der Einwirkung			Norden	

Tab. A.8.5: Staublawineneinwirkungen auf Stütze 3 und Trasse / Seile, Angaben für den projektierenden Ingenieur.

		Stütze 3	Seilfeld unterhalb Stütze 3	Seilfeld oberhalb Stütze 3	
Aussergewöhnliche Einwirkung (100 J.)					
Schneemächtigkeit bei Lawinenabgang	d_A	0–2,5			m
Höhe Saltationsschicht	d_{salt}	2			m
Druck in Saltationsschicht	q_{salt}	5			kN/m ²
Druck in Suspensionsschicht, oberhalb Saltationsschicht	q_{susp}	3,2			kN/m ²
Druck in Suspensionsschicht, in 15 m Höhe	q_{susp}	1,4			kN/m ²
Druck in Suspensionsschicht, auf Seilhöhe	q_{susp}		1,6	1,6	kN/m ²
Länge Seilfeld			40	30	m
Veränderliche Einwirkung (10 J.)					
In diesem Beispiel ohne Einwirkung					

A.9 Erläuterungen zum möglichen Inhalt von Lawinengutachten

1 Gefährdungsanalyse

1.1 Allgemeine Situation

- Seilbahn: Linienführung inkl. Stützen (Karte); Bahntyp; Beurteilung als Erschliessungs- oder Beschäftigungsbahn
- Abfahrten: Verlauf auf Karte
- Verwendete Unterlagen und Berechnungsprogramme

1.2 Lawinenzüge

- Ausscheidung von Anrissgebieten entlang der Seilbahn, inkl. steilen Felswänden oberhalb von Anrissgebieten (Karte)
- Lawinenkataster und allenfalls vorhandene Gefahrenkarte, insbesondere Beschreibung von Schadenereignissen an Vorgängerbahnen
- Vorhandene Lawinenschutzmassnahmen (inkl. künstliche Lawinenauslösung).

1.3 Schneedruck

- Stützenstandorte mit Schneedruckeinwirkungen

1.4 Schneesituation

- Gesamtschneehöhe h_A insbesondere für Stützenstandorte und Stationen
- Neuschnee: 3-tägiger Schneehöhenzuwachs + Korrektur auf die Höhenlage der verschiedenen Anrissgebiete

1.5 Lawinenberechnungen

- Bestimmung Anrissmächtigkeit d_0 für die verschiedenen Anrissgebiete
- Berechnungsergebnisse gemäss Kapitel 3.2 Tabelle 4, resp. Anhang A.8
- Beurteilung der Resultate (Begründung, falls Resultate gutachtlich angepasst werden.)

1.6 Schneedruckberechnungen

- Schneedrücke auf Stützen: Berechnung gemäss Anhang A.7 und Resultate analog Anhang A.8, Tabelle A.8.3
- Schneedruck auf grosse Bauwerke: Berechnung gemäss Richtlinie für den Lawinenverbau im Anbruchgebiet, Margreth 2007
- Beurteilung der Resultate

1.7 Beurteilung der Gefährdung der Seilbahn

- Stationen/-standorte, ohne Schutzmassnahmen: erhebliche, mittlere oder keine Gefährdung (allenfalls vernachlässigbare Gefährdung); Erwähnung, falls der Standort von grossen Lawinen aus verschiedenen Richtungen erreicht werden kann (Kap. 2.2.2).
- Stützen: Nennung der Stützen mit Lawinen- und Schneedruckeinwirkungen. Erwähnung von Stützenstandorten mit grosser Einwirkung (Kap. 2.2.2 Tab. 3); Erwähnung, falls der Standort von grossen Lawinen aus verschiedenen Richtungen erreicht werden kann (Kap. 2.2.2).
- Seile: Abschnitte mit Staudrücken von Staublawinen auf Seilhöhe $> 2,0 \text{ kN/m}^2$
- Trasse: Gefährdete Abschnitte von Lawinen mit Wiederkehrperiode $T = 10$ Jahre und $T = 100$ Jahre.

- Zusammenfassung der Gefährdung der Seilbahn, insbesondere erwähnen, ob die Gefährdung gross ist (z. B. analog Tab. A.10.1.); eine grosse Gefährdung liegt vor, falls mehrere Stützenstandorte mit grosser Einwirkung (Tab. 3) oder mehr als ca. 200 m Trasse mit grosser Staublawineneinwirkung oder schwierig zu sichernde Anrissgebiete vorhanden sind.

Tab. A.10.1: Beurteilung der Seilbahngefährdung.

X: Gefährdung muss für den Nachweis der Tragsicherheit berücksichtigt werden

-: vernachlässigbar geringe Gefährdung (kein Nachweis der Tragsicherheit)

0: keine Gefährdung

leer: Lawinenwiederkehrperiode nicht zu berücksichtigen

Gefährdung	Lawinen				Schneedruck
	Aussergewöhnliche Einwirkung		Veränderliche Einwirkung		
Wkp. (Jahre)	300	100	30	10	30
Talstation	X		0		0
Stützen 1–3		X		0	0
Stütze 5		–		0	0
Stützen 6–8		X		X	X
Bergstation	X		0		0
Trasseabschnitte (z.B. Staublawinen)					

1.8 Erforderliche bauliche und temporäre Lawinenschutzmassnahmen

- Beschreibung der erforderlichen baulichen und temporären Lawinenschutzmassnahmen.
- Abschätzung, ob mit den empfohlenen Massnahmen die Gefährdung genügend reduziert werden kann. Falls die Schutzziele nicht erreicht werden, Hinweis auf mögliche Projektänderungen resp. andere Varianten.

2 Einwirkungen infolge Lawinen- und Schneedruck

2.1 Einwirkungen auf die Seilbahn infolge Lawinen- und Schneedruck

- Einwirkungen für den projektierenden Ingenieur, gemäss Anhang A.8, Tabelle A.8.4, A.8.5; Hinweis, falls die Lawine auch Bäume enthalten kann.
- Angabe, falls gleichzeitiges Auftreten von Einwirkungen (Schneedruck, Staub-, Fliesslawine) zu berücksichtigen ist.

2.2 Grobkonzept zu baulichen Lawinenschutzmassnahmen

- Lawinenverbau: Definition des Verbauperimeters, allenfalls inklusive der Angabe der Anzahl Werkreihen und der Werkhöhe Dk (siehe Richtlinien für den Lawinenverbau im Anrissgebiet)
- Dämme, Keile: Angabe der Lage, der Geometrie und der lawinenseitigen Höhe.

3 Betrieb

3.1 Hinweise zum Betriebs- und Bergungskonzept

- Umschreibung der temporären Massnahmen wie Sperrungen und künstliche Lawinenauslösung
- Erforderliche Massnahmen, falls Bodenrettung vorgesehen

3.2 Hinweise zur Bewirtschaftung und Überwachung von Schutzmassnahmen

- Erhaltung der Wirkung baulicher Massnahmen: z.B. Wegräumen von Schnee hinter Dämmen resp. oberhalb schneedruckgefährdeter Stützen ab bestimmter Schneehöhe

4 Zusammenfassung

5 Anhang

- Situationskarte, Hangneigungskarte, Lawinenzüge, Simulationsresultate, Ausgangswerte für die Ermittlung der Einwirkungen usw.

Verzeichnis der Schriftenreihe WSL Berichte

Richtplancontrolling Landschaft. WSL-Programm «Raumansprüche von Mensch und Natur». Müller, G.; Hersperger, A.; Kienast, F., 2015. WSL Ber. 27: 88 S.

Situazione fitosanitaria dei boschi 2014. Meier, F.; Engesser, R.; Forster, B.; Odermatt, O.; Angst, A.; Hölling, D., 2015. WSL Ber. 26: 32 S.

Protection des forêts – Vue d’ensemble 2014. Meier, F.; Engesser, R.; Forster, B.; Odermatt, O.; Angst, A.; Hölling, D., 2015. WSL Ber. 25: 32 S.

Das Modell *sedFlow* und Erfahrungen aus Simulationen des Geschiebetransportes in fünf Gebirgsflüssen der Schweiz. Synthesebericht. Rickenmann, D.; Böckli, M.; Heimann, F.U.M.; Badoux, A.; Turowski, J.M., 2015. WSL Ber. 24: 68 S.

Forstschutz-Überblick 2014. Meier, F.; Engesser, R.; Forster, B.; Odermatt, O.; Angst, A.; Hölling, D., 2015. WSL Ber. 23: 32 S.

Landscape and Amenity Migration: Die Rolle von Landschaft für Wanderungsbewegungen in den ländlichen Raum der Schweiz. Zäch, C.; Schulz, T.; Waltert, F.; Pütz, M., 2015. WSL Ber. 22: 58 S.

Forum für Wissen 2014. Landschaft und Energiewende. Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL (Hrsg.) 2014. WSL Ber. 21: 74 S.

Auswirkungen der Douglasie auf die Waldbiodiversität: Eine Literaturübersicht. Tschopp, T.; Holderegger, R.; Bollmann, K., 2014. WSL Ber. 20: 52 S.

Management von Raumnutzungskonflikten. Ein Leitfaden aus dem WSL-Programm «Raumansprüche von Mensch und Natur». Willi, C.; Pütz, M., 2014. WSL Ber. 19: 35 S.

Flexible debris flow barriers – Design and application. Volkwein, A., 2014. WSL Ber. 18: 31 pp.

Kurz- und langfristige Auswirkungen des Klimas auf die Wälder im Churer Rheintal. Schlussbericht Projekt Bündner Wald im Klimawandel. Wohlgenuth, T.; Rigling, A. (Red.) 2014. WSL Ber. 17: 81 S.

Auswertung der Stichprobeninventur 2012 im Naturwaldreservat Aletschwald. Henkner, J.; Heiri, C.; Tinner, R.; Wunder, J.; Brang, P., 2014. WSL Ber. 16: 66 S.

Auswertung der Vollkluppierung 2012 im Naturwaldreservat Aletschwald. Aktueller Zustand und Bestandesdynamik seit 1962. Ballmer, I.; Heiri, C.; Brücker, R.; Tinner, R.; Wunder, J.; Brang, P., 2014. WSL Ber. 15: 71 S.

Situazione fitosanitaria dei boschi 2013. Meier, F.; Engesser, R.; Forster, B.; Odermatt, O.; Angst, A., 2014. WSL Ber. 14: 28 S.

Protection des forêts – Vue d’ensemble 2013. Meier, F.; Engesser, R.; Forster, B.; Odermatt, O.; Angst, A., 2014. WSL Ber. 13: 28 S.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Verkehr BAV