

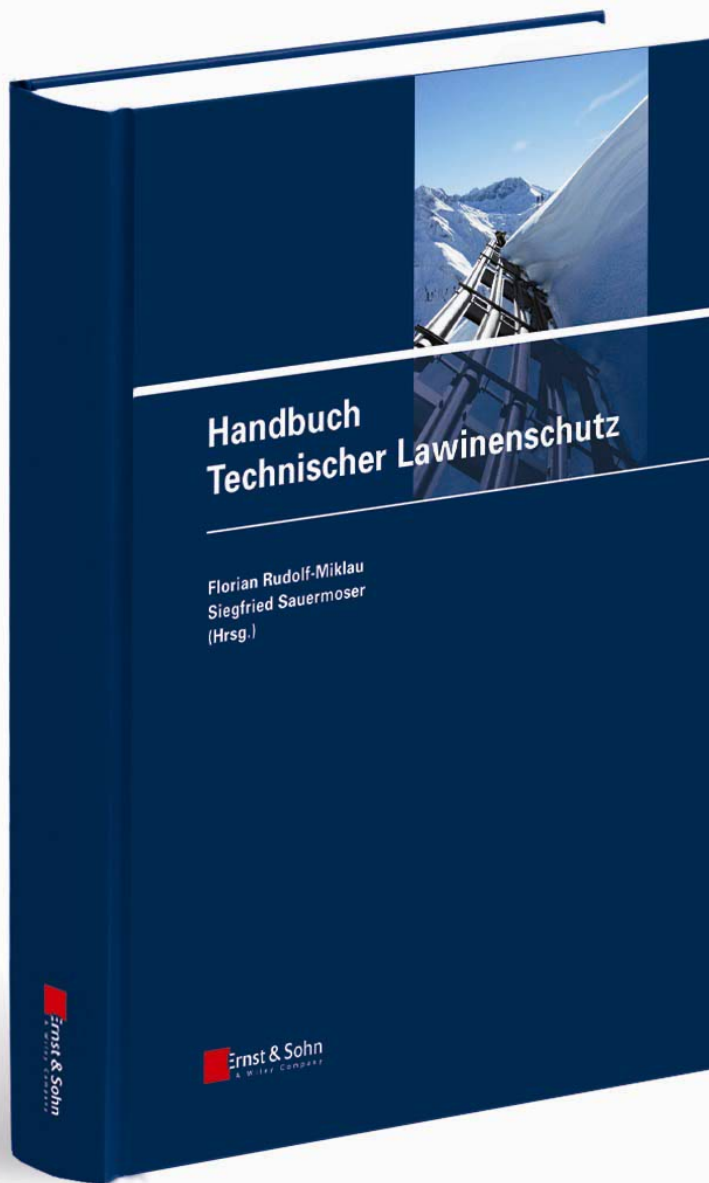
Probekapitel

Handbuch Technischer Lawinenschutz

Herausgeber: Florian Rudolf-Miklau, Siegfried Sauermoser

Copyright © 2011 Ernst & Sohn, Berlin

ISBN: 978-3-433-02947-3



Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften
GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21, 10245 Berlin
Deutschland
www.ernst-und-sohn.de

Ernst & Sohn
A Wiley Company

7 **Permanenter technischer Lawinenschutz: Schutzsysteme und Bautypen**

*Wolfgang Schilcher, Stefan Margreth, Siegfried Sauermoser,
Christoph Skolaut, Michael Mölk, Florian Rudolf-Miklau*

7.1 **Schutzsysteme und Bautypenwahl**

Die grundlegenden Schutzstrategien des baulichen Lawinenschutzes – einerseits die Prävention der Auslösung von Lawinen durch Abstützung der Schneedecke (Lawinenanbruchverbauung) oder Einschränkung der windbedingten Schneeverfrachtung (Verwehungsverbauung), andererseits die Bremsung oder Ableitung (Überleitung) abstürzender Lawinen (Ablenk- oder Bremsverbauung) – wurde bereits in Abschnitt 1.2.2 dargestellt. Im Rahmen von integralen Lawinenschutzkonzepten werden permanent wirkende, technische Schutzmaßnahmen, sofern dies möglich ist, mit temporären Lawinenschutzmaßnahmen (künstliche Lawinenauslösung, Lawinenwarnung) (Abschnitt 1.2.3) kombiniert, um eine optimale Schutzwirkung für alle relevanten Gefahrenszenarien zu erzielen.

Die Auswahl der geeigneten technischen *Schutzsysteme und Bautypen* richtet sich nach dem Schutzziel und ist der konkreten Gefahrensituation anzupassen. Sie ist abhängig von den Grundlagen der Planung (Kapitel 6) und Bemessung (Kapitel 8), insbesondere den Einwirkungen auf das Bauwerk. Des Weiteren ist maßgeblich, welches Sicherheitskonzept den Maßnahmen zugrunde gelegt werden soll (Abschnitt 8.1.2.1) bzw. welches Restrisiko als akzeptabel angesehen wird. Dies richtet sich nach der Art der zu schützenden Objekte (des Schadenspotenzials) (Abschnitt 6.2.3), der Bewertung der maßgeblichen Gefahren und Risiken (Abschnitt 5.3), aber auch nach den Schadensfolgen eines Versagens der Schutzbauwerke. Von zunehmender Bedeutung für die Wahl der Maßnahmen (Bautypen) ist das Kriterium der Dauerhaftigkeit (Abschnitt 9.1.7.1) und der Lebenszykluskosten (Abschnitt 9.2.4.7); ebenso bedeutsam ist der Überwachungs- und Wartungsaufwand der Anlagen (Abschnitt 9.2.4.1) sowie die Anfälligkeit nach Einwirkung von Extremereignissen. Die Umweltverträglichkeit (Abschnitt 6.7.1) und Landschaftsverträglichkeit (Abschnitt 6.7.2) der Maßnahmen stellen weitere wichtige Auswahlkriterien dar.

Aufgrund der Vielzahl der Kriterien ist es praktisch nicht möglich, einen einfachen Leitfaden für die „richtige“ Wahl der Maßnahmen zu geben. Allerdings soll die Darstellung der Schutzsysteme und Bautypen des baulichen Lawinenschutzes den Leser in die Lage versetzen, aufgrund der maßgeblichen Kriterien im Einzelfall selbst die optimale Maßnahme(nkombination) zu wählen.

7.2 **Technische Schutzmaßnahmen im Lawinenanbruchgebiet**

7.2.1 **Überblick**

Maßnahmen im Lawinenanbruchgebiet wirken generell der Entstehung von Lawinen entgegen. Dazu zählen die Lawinenanbruchverbauung, die Verwehungsverbauung und die Gleitschneeverbauung.

(a)



(b)



Bild 7-1 (a): Lawinenanbruchverbauung mit Stahlschneebrücke: Lawine Heiligenblut (Kärnten) (© Sauermoser) und (b): Verwehungsverbauung: Triebschneezäune in Stahl (© WLV Salzburg)

Die wichtigste und häufigste bauliche Maßnahme am Lawinenanbruchgebiet ist die *Lawinenanbruchverbauung*. Durch unterschiedliche Bauwerkstypen wird die Schneedecke abgestützt und so das Entstehen von Lawinen verhindert. Die Bauwerke werden auf die statische Einwirkung der Schneedecke im Hang bemessen. Sie werden so angeordnet und gestaltet, dass sie kleine Lawinenanbrüche innerhalb der Verbauung bremsen können. Dadurch können sich diese im Bemessungsfall nicht zu Schadenlawinen entwickeln und keine Schäden an der Verbauung verursachen.

Tabelle 7-1 Überblick über die Maßnahmen im Lawinenanbruchgebiet: Klassifikation nach Lage, Wirkung, Schutzziel und maßgeblicher Einwirkung

Maßnahme	Lage	Wirkung	Schutzziel	maßgebliche Einwirkung
Anbruchverbauung	im Anbruchgebiet	Abstützung der Schneedecke gegen Lawinenanbrüche, Minimierung von Lawinenanbrüchen	Schutz von Siedlungsraum und Infrastruktur vor Lawinenschäden	hangparalleler Schneedruck bei extremer Schneehöhe
Verwehungsverbauung	außerhalb des Anbruchgebietes/im Nährgebiet, bzw. am Rand des Anbruchgebietes	Ablagerung von Tribschnee außerhalb von Lawinenanbruchgebieten, Verhinderung von extremen Schneewächten	Entlastung von Anbruchgebieten, bzw. Anbruchverbauungen durch Reduktion der Schneemenge	Windlasten, extreme Schneehöhe, Setzungsschneedruck
Technischer Gleitschneeschutz	im Anbruchgebiet	Eindämmen bzw. Einschränken des Schneegleitens und -kriechens, beschränkte Abstützung der Schneedecke, Reduktion des Gleitfaktors	Schutz von Aufforstungen gegen schneemechanische Schäden, Reduktion des hangparallelen Schneedrucks für die Bemessung von Anbruchverbauungen	hangparalleler Schneedruck, erforderliche Wirkhöhe

Die *Verwehungsverbauung* wird in der Regel im sogenannten Nährgebiet errichtet. Die Bauwerke verändern das Windfeld und beeinflussen somit die Schneeablagerung in ihrem Wirkungsbereich. Dadurch wird Tribschnee außerhalb des Anbruchgebietes deponiert und die potenzielle Anbruchshöhe reduziert. Die Verwehungsverbauung unterstützt in der Regel die Wirkung der Lawinenabbruchverbauung und wird häufig mit dieser gemeinsam errichtet.

Die *Gleitschneeverbauung* verhindert oder bremst das kontinuierliche oder plötzliche Abgleiten der Schneedecke auf dem Boden bzw. reduziert das Kriechen der Schneedecke. Der technische Gleitschneeschutz wird zum Schutz von Aufforstungen und zur Reduktion des Gleitfaktors auch in Kombination mit der Lawinenanbruchverbauung ausgeführt. Die Bauwerke bieten auch einen beschränkten Schutz gegen Anbrüche von Grundlawinen.

7.2.2 Lawinenanbruchverbauung: Bautypen

7.2.2.1 Wirkungsweise

Die Wirkungsweise einer Lawinenanbruchverbauung beruht gemäß der *Schweizer Richtlinie* [189] darauf, dass der kriechenden und (eventuell) gleitenden Schneedecke eine im Boden verankerte, mehr oder weniger hangsenkrechte, bis an die Schneeoberfläche reichende Stützfläche entgegengestellt wird. Dadurch entsteht eine Stauwirkung, d. h. die Kriech- und Gleitgeschwindigkeiten nehmen hangabwärts zum Hindernis stetig ab. Innerhalb der Stauzone, die praktisch über eine hangparallele Distanz von mindestens der dreifachen lotrechten Schneehöhe reicht, entstehen im Schnee zusätzliche hangparallele Druck-

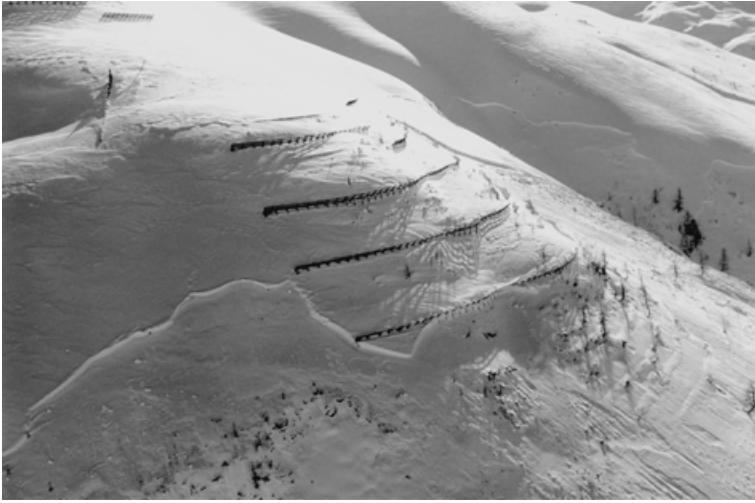


Bild 7-2 Anbruch einer Schneebrettlawine neben der Verbauung „Nolla“ im Goms (Oberwallis, Schweiz) im Februar 1999: Die Anbruchmächtigkeit beträgt rund 2 m. In der Verbauung wurden die Schneemassen so stabilisiert, dass es nicht zu einem größeren Anbruch kam (© Margreth)

spannungen. Diese werden von der Stützfläche aufgenommen, wodurch die im Staubereich liegenden, vor der Abstützung vorhandenen schneebrettbildenden Scher- und Zugspannungen vermindert werden. Bei Lawinenabbrüchen verhindert die Stützverbauung das Mitreißen der Altschneedecke und beschränkt flächenmäßig das Gebiet, über welches sich Scherrisse fortpflanzen können. Durch die Bremswirkung der Werke wird die Geschwindigkeit von anbrechenden Schneemassen in Schranken gehalten. Schließlich wirkt sich auch das Auffangvermögen der Stützwerke günstig aus.

Eine Anbruchverbauung schränkt die Lawinengefahr ein, indem die Lawinenwahrscheinlichkeit und das Lawinenausmaß reduziert werden. Lawinenanbruchverbauungen bieten für die untenliegenden Gebiete einen flächenhaften Schutz. Im Lawinenwinter 1999 haben diese Maßnahmen eine sehr gute Wirkung gezeigt; in der Schweiz konnten Schätzungen zufolge 300 Schadenlawinen durch Lawinenanbruchverbauungen verhindert werden [289].

7.2.2.2 Klassifizierung der Lawinenstützwerke: Systematik und Kriterien

Die Klassifizierung der Lawinenstützwerke (Bild 7-3) erfolgt nach den Kriterien der Nutzungsdauer und der Reaktion der Stützfläche (starr, flexibel). Die Wahl des Baumaterials orientiert sich an der Nutzungsdauer. Man unterscheidet Stützwerke mit einer Nutzungsdauer von über 80 Jahren, die in der Regel aus Stahl gefertigt sind, und Stützwerke mit einer Nutzungsdauer unter 50 Jahren, die in der Regel kleinere Werkhöhen aufweisen und aus Holz gefertigt sind. (Die früher üblichen Bezeichnungen „permanent“ bzw. „temporär“ werden nach aktuellem Stand der Normung in Österreich [235] für diese Klassifikation nicht mehr verwendet. In der Schweiz ist die „temporäre Lawinenverbauung“ ein fester Begriff in der Fachsprache.) Weiterhin wird zwischen Werken mit *starrten Stützflächen* (Schneebrücke, Schneerechen, massive Stützbauwerke) und Werktypen mit einer *nachgiebigen Stützfläche* (Schneenetze) unterschieden. Gelegentlich werden auch kombinierte Stützwerke mit einer Tragkonstruktion aus Stahl und einem Rost aus Holz errichtet.

Tabelle 7-2 Wahl des Werktyps: Vorteile (●) von Stahlschneebrücken und Schneenetzen

Kriterien für die Typenwahl	Stahlschneebrücke	Schneenetz
Materialkosten	●	
Transportgewicht		●
Montageaufwand	●	
Fundierungsaufwand Lockermaterial	●	
Fundierungsaufwand Fels	●	●
Beeinträchtigung des Landschaftsbildes		●
Instandhaltungsaufwand	●	
Anpassung an strukturiertes Gelände	●	
Steinschlaggefährdung		●
Schneerückhalt bei Lockerschnee	●	
Eignung in Kriechhängen		●
Erhöhte Anforderung an den Korrosionsschutz	●	

Die erwartete *Nutzungsdauer* von Lawinenstützwerken in Stahl liegt bei mindestens 80 Jahren. Der Zustand der ältesten Bauwerke dieses Bautyps lässt darauf schließen, dass bei Projektierung und Ausführung entsprechend dem Stand der Technik und unter Berücksichtigung der örtlichen Erfahrungen eine solche Nutzungsdauer mit vertretbarem Erhaltungsaufwand erreicht werden kann. Stützwerke mit geringerer Nutzungsdauer kommen bevorzugt in der Schutzwaldsanierung und als Objektschutzmaßnahme in tieferen Lagen zum Einsatz, wo mit einem raschen Aufkommen der Aufforstung zu rechnen ist. Für diese Anwendungen werden überwiegend Holzschneebrücken eingesetzt. Kombinierte Stahl-Holz-Stützwerke werden ebenso nur dort verwendet, wo innerhalb von etwa 50 Jahren ein schutzwirksamer Bewuchs zu erwarten ist.

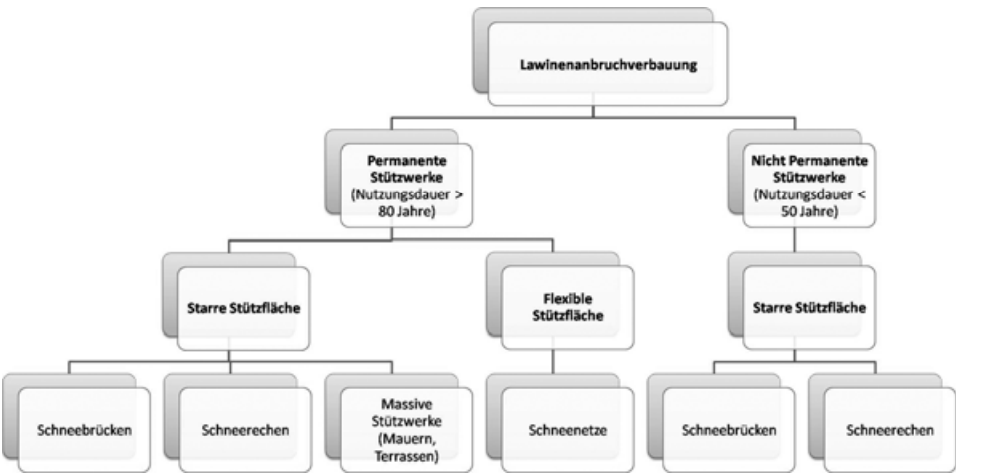


Bild 7-3 Systematik des Lawinenanbruchverbau: Klassifizierung nach Nutzungsdauer und Reaktion der Stützfläche (© Margreth)

(a)



(b)



Bild 7-4 (a): Schneebrücken in Stahl in geschlossenen Werksreihen: Bachertallawine (Neustift im Stubaital, Tirol) (© Rudolf); (b): Holzschneebrücken (© Schilcher)

Zu den *Stützbauwerken mit starrer Stützfläche* zählen insbesondere Schneebrücken und Schneerechen. *Schneerechen* wurden beispielsweise zu Beginn des systematischen Lawinenanbruchverbau am Arlberg eingesetzt. Schneerechen aus Stahl kommen heute nur noch selten zum Einsatz, weil die Anordnung von Zwischenwerken im Vergleich zu Stahlschneebrücken aufwändiger ist. In der Schweiz stellen Holzschneerechen den Standardstützwerktyp im „nicht permanenten“ Lawinenverbau dar.

Massive Stützwerke in der Form von Mauer- oder Erdterrassen sowie freistehenden Mauern zählen zu den ältesten Werktypen der Lawinenanbruchverbauung. Sie stellten die Standardverbauungsmethode bis etwa 1940 dar. Insbesondere wegen der meist geringen Werkhöhe war die lawinenverhindernde Wirkung beschränkt.

Zu den *Stützbauwerken mit einer flexiblen Stützfläche* werden die *Schneenetze* gezählt. Anstelle der starren Rostbalken wird ein flexibles Drahtseilnetz verwendet. Im Vergleich zu Stahlschneebrücken sind sie weniger empfindlich auf Kriechbewegungen des Untergrundes und Steinschlag, dafür sind sie in wenig tragfähigen Böden nur schwierig zu verankern.

(a)



(b)

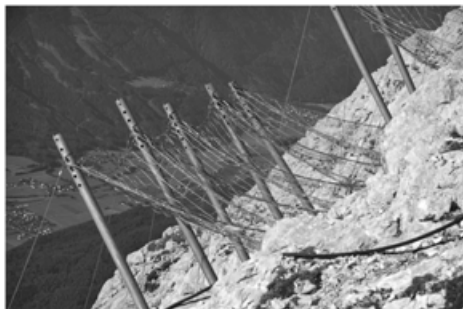


Bild 7-5 (a): Massive Stützwerke (Mauerterrassen) am Schafberg (Schweiz) (© Margreth); (b): Schneenetze auf der Hohen Munde (Telfs, Tirol) (© Rudolf)

Nachfolgend werden die wichtigsten Bautypen der Lawinenanbruchverbauung im Detail behandelt.

7.2.2.3 Bautypen: Stahlschneebrücke

Schneebrücken sind Stützbauwerke mit einem Rost aus horizontalen Balken. Die „klassische“ Schneebrücke besteht aus 2 Stützen, 2 Trägern und je nach Bauwerkshöhe aus einer unterschiedlichen Anzahl von Rostbalken.

Der Trägeranschluss beim bergseitigen Fundament, der Stützenanschluss am Träger und der Stützenanschluss bei der Grundplatte sind mit Bolzen gelenkig ausgeführt. Der Rost be-

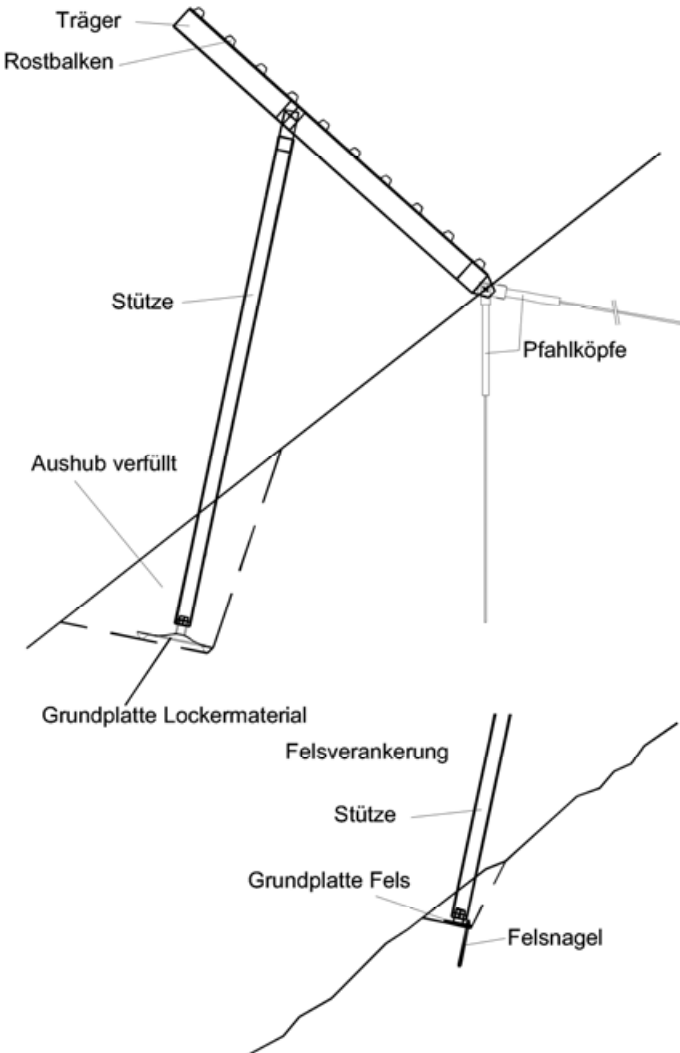


Bild 7-6 „Klassische“ Stahlschneebrücke (Dreigelenksbogen) $D = 4,0\text{ m}$ (Typenskizze) (© WLV Vorarlberg, nachgezeichnet Herbert)

steht aus gepressten oder gewalzten hutförmigen Stahlbalken mit einer Länge von 4 m. Zwei Träger werden mit den Balken zum Stützrost verschraubt. Der Rost wird durch 2 Stützen getragen und wird mit 10° bis 15° talwärts der Hangsenkrechten geneigt errichtet. Der Winkel zwischen Träger und Stütze beträgt 60° bis 70° .

In der Regel werden die Schneebrücken mit einem seitlichen Abstand von 2 m errichtet. Die Zwischenräume werden mit Profilbalken (Zwischenbalken) geschlossen, die auf die verschraubten Balken der Schneebrücken aufgelegt und mit Klemmschienen befestigt werden. Diese Zwischenbalken (zusammen mit den Klemmschienen) werden als *Zwischenwerke* bezeichnet. Die etwas größere Form der Zwischenbalken gegenüber den Hauptbedienungsbalken ermöglicht bei der Anordnung der Schneebrücken einen gewissen Spielraum, um die Bauwerke der Geländeform anzupassen. Stahlschneebrücken werden meist für Schneemächtigkeiten von 2,5 m bis 4,5 m, in selteneren Fällen bis 5 m errichtet.

Die Bautype der Stahlschneebrücke unterlag im Laufe der Entwicklung in der Konstruktion wesentlichen Veränderungen und Verbesserungen. Die ursprüngliche Bautype der *Stahlschneebrücke als Dreigelenksbogen* wurde Mitte der fünfziger Jahre von österreichischen

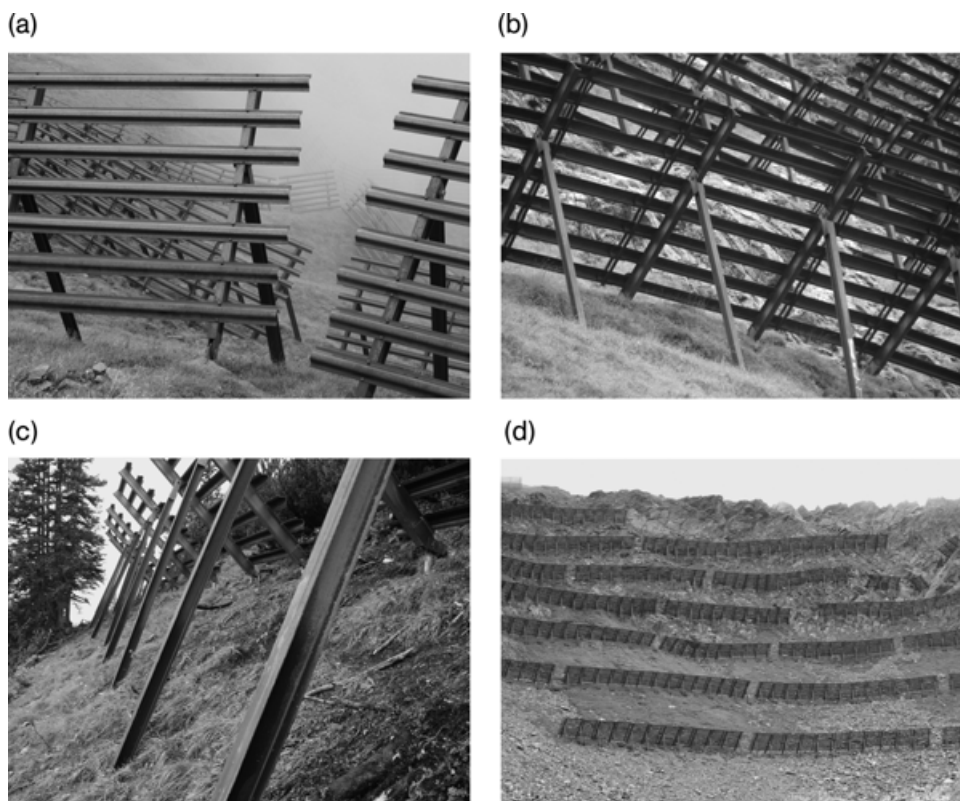


Bild 7-7 (a): Stahlschneebrücke D 4,0: Dreigelenksbogen, Einzelwerk (Madleinlawine, Ischgl/Tirol); (b): Einzelwerke verbunden mit einem Zwischenwerk (Madleinlawine, Ischgl/Tirol) (© Rudolf-Miklau); (c): Stahlschneebrücke D 4,0 mit Mikropfahl und Grundplattenfundierung (© WLV Vorarlberg); (d): Stahlschneebrücken in geschlossenen Werksreihen (Großtallawine, Galtür/Tirol) (© Rudolf-Miklau)

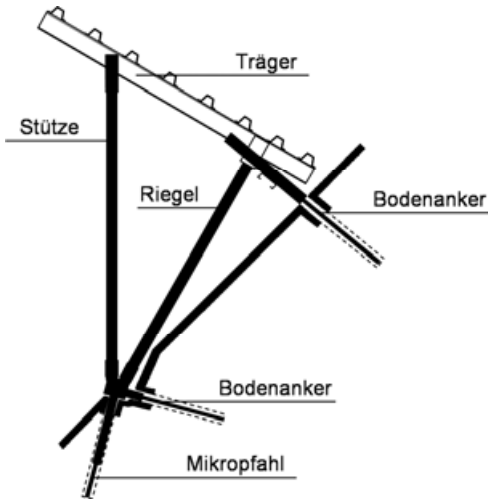


Bild 7-8 Systemskizze Riegelwerk: V-förmig angeordnete Stützen tragen die Kräfte auf Terrainhöhe direkt über eine Fußkonstruktion auf die Fundation ab (© Margreth)

und Schweizer Experten zusammen mit dem Unternehmen Voest-Alpine (Österreichische Alpine Montangesellschaft) entwickelt und in Österreich erstmals serienmäßig hergestellt. Der Oberbau (Bedielung, Träger, Stützen) hat sich bis heute nur unwesentlich verändert. Die Bemessung erfolgte nach den *Schweizer Richtlinien für den permanenten Stützverbau* [66].

Die Stahlschneebrücken wurden bis Mitte der siebziger Jahre vorwiegend mit Betonfundamenten für Träger und Stützen verankert. In selteneren Fällen kamen Grundplattenfundamente oder Rammfundierungen für die Trägerverankerung zur Ausführung. In der Folge sorgten kombinierte Beton-Sprengankerfundamente sowie reine Sprengankerfundamente für reduzierte Aushübe und Betonkubaturen bei der Verankerung der Träger. Seit Anfang der neunziger Jahre hat sich die heute übliche Mikropfahlfundierung mit hohem Mechanisierungsgrad bei minimalen Aushubarbeiten für die Träger durchgesetzt (siehe Abschnitt 7.2.3).

In der Schweiz erfolgte zur Reduktion des Gesamtgewichts und der Fundamentkräfte in den siebziger Jahren die Entwicklung des sogenannten *Riegelwerks*. Die V-förmig angeordneten Stützen tragen die Kräfte auf Terrainhöhe direkt über eine Fußkonstruktion auf die Fundation ab. Die talseitige Fundation besteht aus einem Mikropfahl, der um 15° geneigt ist, und einem rechtwinklig angeschlossenen Zuganker. Je nach lokaler Topographie können die Länge von Stütze und Riegel mit Teleskopen oder auf Maß angepasst werden. Im Vergleich zum klassischen Dreigelenkbogen reagiert das Riegelwerk empfindlicher auf Setzungen, stürzt jedoch auf Grund des steifen Rahmens auch bei einem Versagen der talseitigen Fundation nicht ein. Das Riegelwerk zählt in der Schweiz noch heute zu den am häufigsten eingesetzten Werktypen.

7.2.2.4 Bautypen: Schneenetze

Schneenetze bestehen aus gelenkig gelagerten Pendelstützen, die talseitig mit Abspannseilen gehalten werden und bergseitig mit dreieck- oder rechteckförmigen, flexiblen Drahtseilnetzen mit der bergseitigen Verankerung über eingeschlaupte Verbindungsseile verbunden sind. Aufgrund dieser mit Drahtseilklemmen in der Länge anpassbaren Seilverbindungen ist eine gewisse Flexibilität in der Wahl der exakten Position der berg- und talseitigen Verankerungspunkte gegeben, was bei schwierigen topographischen Verhältnissen oder bei kriechenden Böden vorteilhaft ist.

Bei den verwendeten Drahtseilen im Oberbau handelt es sich um normalverzinkte Litzen-seile. Die Netze und Abspannseile werden über verstellbare Bolzen oder mit Schäkeln am Stützenkopf befestigt. Die Stützen werden aus Rohr- oder HEA-Stahlprofilen gefertigt. Sofern die Stütze ein Kugelgelenk am Fuß aufweist, kann sich diese zwängungsfrei in alle Richtungen bewegen. Die Stützen sind gegenüber der Lotrechten um 10° bis 15° bergseitig geneigt. Die Netze weisen einen Durchhang von mindestens 15 % auf. Da sich je nach vorhandener Schneehöhe die Geometrie eines Schneenetzes im Verlaufe des Winters ändern kann, haben sich Foundationselemente wie Seilanker und Grundplatten durchgesetzt, die relativ unempfindlich gegenüber Änderungen der Krafrichtung sind. Der Stützenabstand variiert in der Regel zwischen 3,5 m und 4 m. Die Werkhöhen liegen zwischen 2 m und 4,5 m. Durch den modularen Aufbau der Netze lassen sich beliebig lange Werkreihen erstellen. Um auch bei rechteckförmigen Netzen eine genügende Seitenstabilität zu erreichen, werden in den Randfeldern dreieckförmige Netze eingesetzt. Wegen der flexiblen Stützfläche sind die Schneedruckkräfte gegenüber starren Werken etwas reduziert und das Montagegewicht ist kleiner. Im Vergleich zu Stahlschneebrücken sind insbesondere die bergseitigen Verankerungskräfte sehr groß, sodass gute Fundationsbedingungen (z. B. anstehender Fels) Voraussetzung für den Einsatz von Schneenetzen sind.

Die klassischen Netze in Dreiecks- oder Rechtecksform bestehen aus einem Randseil und mit Klemmen fixierten 6 bis 8 mm dicken Maschenseilen. Die Maschenweite beträgt meist 200 bis 250 mm. Bei dieser Maschenweite kann das Rückhaltevermögen der Netze bei Lawinenanbrüchen unzureichend sein. Das Problem wurde gelöst, indem die Netze mit einem engmaschigen Drahtgeflecht (Maschenweite 5×5 cm) vollständig oder streifenweise (Maschenweite $2,5 \times 2,5$ cm) abgedeckt werden (siehe Abschnitt 8.2.8.7). In den letzten Jahren haben die Herstellerfirmen spezielle Netze für den Lawinenschutz mit höherer Leistungsfähigkeit auf den Markt gebracht (z. B. „Omega-Netz“[®], TECCO-Geflecht“[®]).

Die ersten Schneenetze wurden in der Schweiz 1951 gebaut, wobei die Stützen zunächst aus Holz, bald jedoch aus Stahl gefertigt wurden. Da die ersten Schneenetze rein „empirisch“ (ohne theoretische Grundlagen und statische Bemessung) hergestellt wurden, traten in der Anfangsphase teilweise sehr große Schäden auf. Aufgrund dieser Erfahrungen wurde das System im Lauf der Zeit wesentlich verbessert. Heute sind die Stützen rund viermal stärker ausgebildet, die Schadenanfälligkeit ist daher mit jener von Stahlschneebrücken vergleichbar (siehe Abschnitt 9.2.3.4). Schneenetze werden heute weltweit eingesetzt.

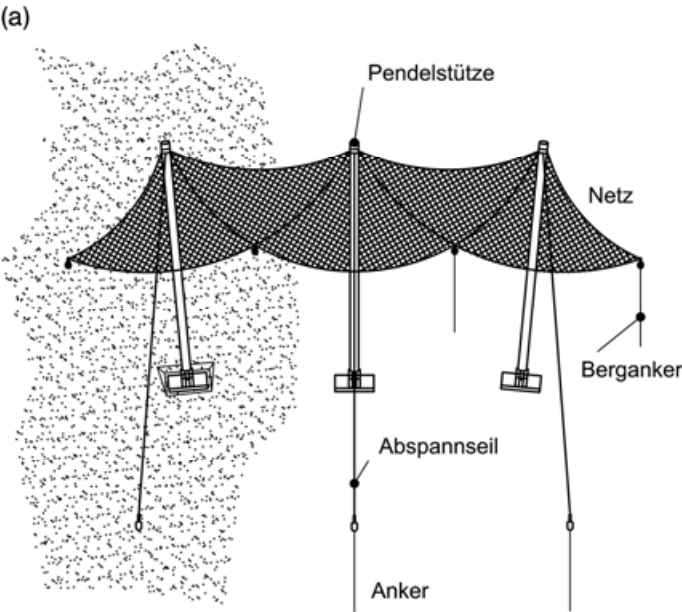


Bild 7-9 (a): Systemskizze Schneenet mit Grundplatte (© Schilcher); (b): Dreieckförmiges Drahtseilnetz mit kreuzweise angebrachten Abdeckungsstreifen (© Margreth)

(d)

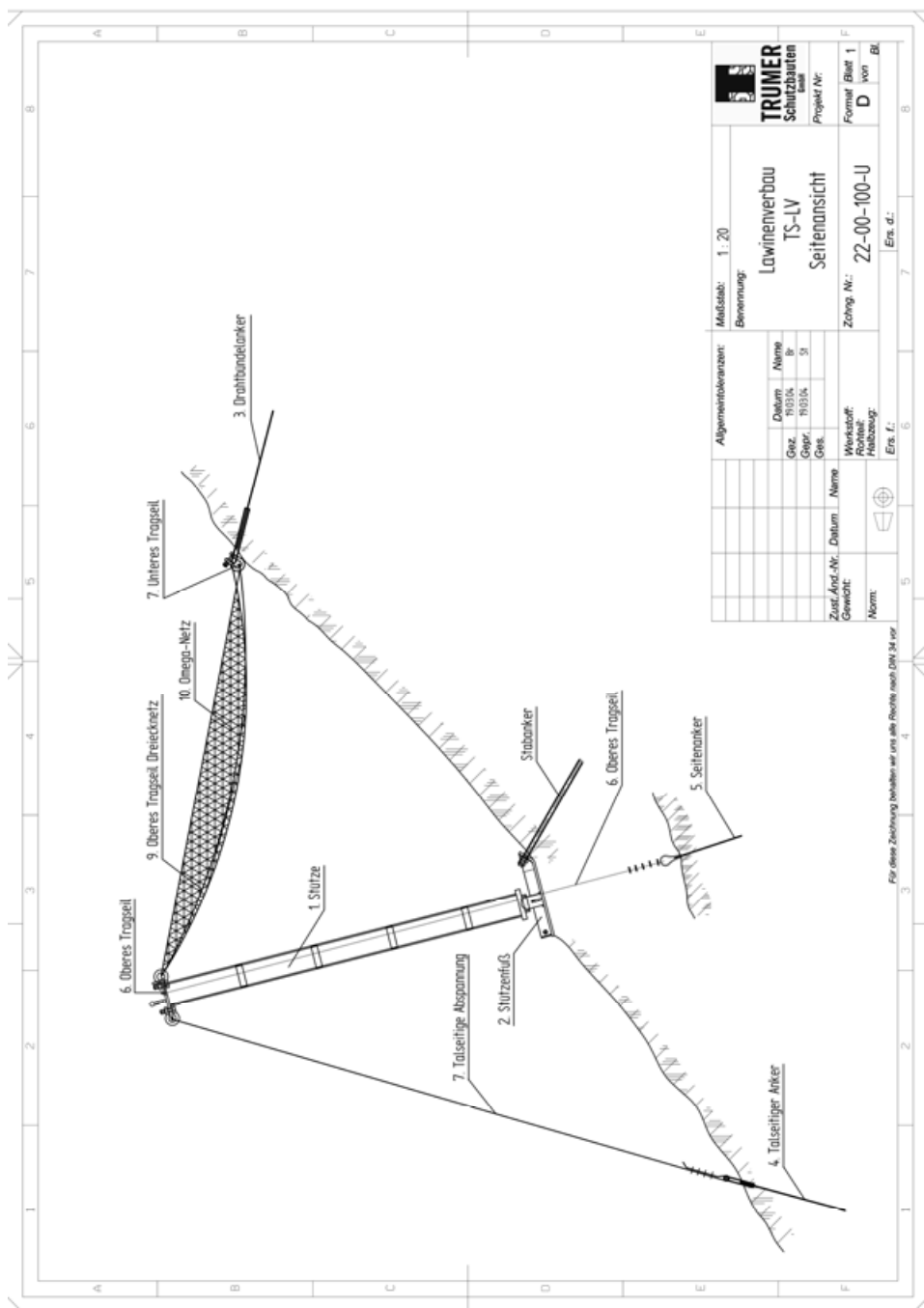


Bild 7-9 Fortsetzung (d) III

7.2.2.5 Bautypen: Kombinierte Schneebrücke

Die kombinierte Schneebrücke besteht aus einer Stahltragkonstruktion mit Rundholzbedielung und wies ursprünglich die gleiche Geometrie wie Stahlschneebrücken auf (Dreiecksbogen). Die Holzbedielung wurde aus Kostengründen gewählt. Heute fällt das Kostenargument als Begründung für die Wahl eines Holzrostes kaum mehr ins Gewicht. Die kombinierte Schneebrücke wurde in Österreich in den vergangenen 40 Jahren primär nur als „leichte“ Bautype für maximale Schneehöhen bis 3 m eingebaut. Der Einsatz erfolgt ausschließlich in solchen Bereichen, wo innerhalb von 50 Jahren mit der Entwicklung eines schutzwirksamen Waldbestandes zu rechnen ist.

Aus diesem Grund wurde die ursprüngliche Konstruktion der kombinierten Schneebrücke geändert. Es werden die Träger ca. 1 m in den Boden eingegraben. Die Träger-Stützenpaare werden – je nach Belastung – in einem seitlichen Abstand von 2,5 bis 3,5 m angeordnet. Als Bedielung dienen naturbelassene Robinienrundhölzer, da beim Einsatz von Hölzern ohne Imprägnierung am Ende der Nutzungsdauer kein Aufwand für die Entsorgung erforderlich ist. Durch das Eingraben des Trägers und der Stützen wird auch eine seitliche Stabilität erzielt, daher sind keine zusätzlichen seitlichen Aussteifungen erforderlich. Bei Verwendung eines „Toten Mannes“ (siehe Abschnitt 7.2.3.3) für die Trägerverankerung werden die hangparallelen Kräfte und die Zugkräfte über den „Toten Mann“ in den Boden abgeleitet. Beim Einsatz von Felsankern oder Sprengankern für die Aufnahme der Zugkräfte sind zur Ableitung der hangparallelen Kräfte Grundplatten vorzusehen. Die Druckkräfte der Stützen werden durch Druckplatten in den Boden übertragen.

In der Schweiz wird eine ähnliche, kombinierte Schneebrücke, der sogenannte „*Rempar Grischn*®“ in den letzten Jahren erfolgreich eingesetzt. Es handelt sich um ein kombiniertes Stützwerk mit Stahlträgern und Rundholzbedielung (Edelkastanie, Robinie oder Eiche). Die Zugverankerung erfolgt mit Seilankern oder Sprengankern, die Stützenfundierung über eine Grundplatte in Stahl [58].

Der Einsatz erfolgt überwiegend in Kombination mit technischen Gleitschneeschutzmaßnahmen für die Aufforstung, der zusätzlich auch eine Wirkung für die Reduktion des Gleitfaktors als Grundlage der Bemessung der kombinierten Schneebrücken entwickelt.

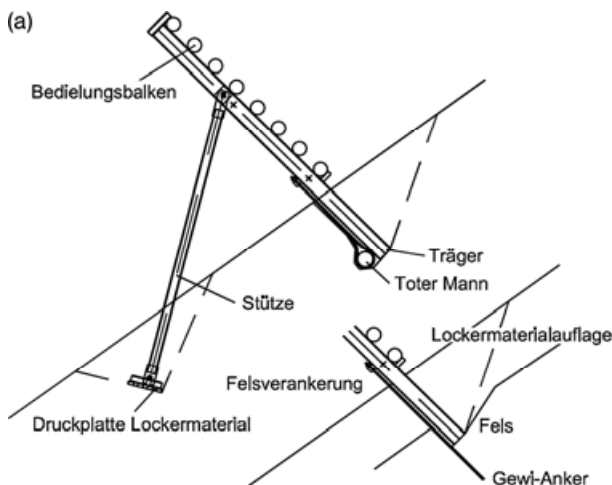


Bild 7-10 Kombinierte Schneebrücken D 2,5 mit Robinienholzbedielung: Österreichisches System (a): Systemskizze

(b)



(c)

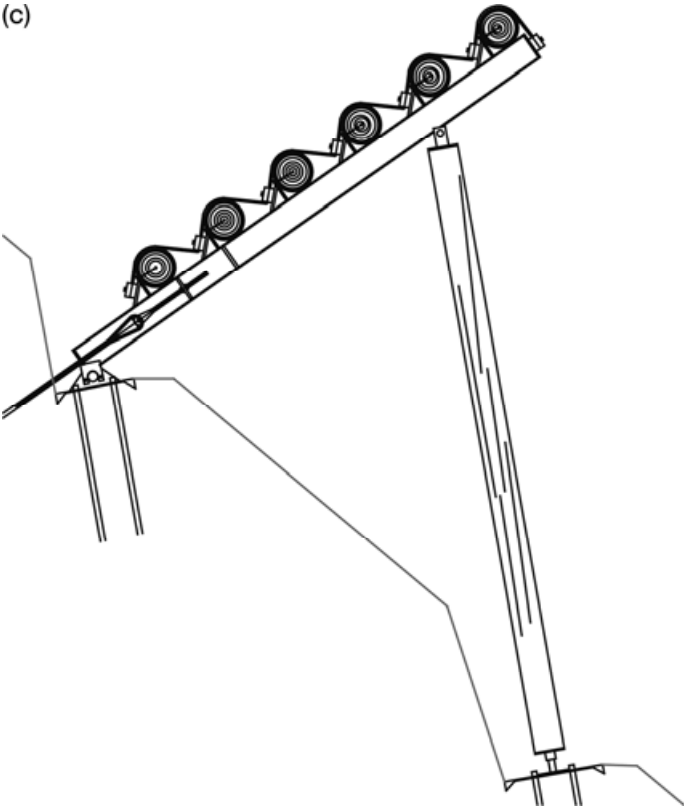


Bild 7-10 (Fortsetzung) Kombinierte Schneebrücken D 2,5 mit Robinienholzbedielung: Österreichisches System (b): Bautype (© Schilcher); Schweizer Bautype „Rempar Grischun“. (c): Systemskizze

(d)



Bild 7-10 (Fortsetzung) Kombinierte Schneebrücken D 2,5 mit Robinienholzbedielung: Österreichisches System (d): Bautype (© Fa. CrestaGeo)

7.2.2.6 Bautypen: Holzschneebrücke und Holzschneerechen

Schneebrücken und Schneerechen aus Holz werden vor allem zum Schutz der Aufforstung unterhalb der Waldgrenze eingesetzt. Die Nutzungsdauer liegt i. d. R. unter 50 Jahren.

In Österreich werden in der Regel Schneebrücken in Holz eingesetzt, wobei zwei unterschiedliche Bautypen verbreitet sind: Die *Holzschneebrücke „Typ 1“* setzt sich aus zwei Gleitschneeböcken zusammen, die mit Rundhölzern zur Schneebrücke verbunden werden. Ein Gleitschneebock besteht aus zwei Rundholzträgern, die am oberen Ende mit einer Rundholzstütze verschraubt werden. Es sind Bautypen mit einer Länge von 5 m bis 6 m für Schneemächtigkeiten von 1,5 m bis 2,8 m üblich. Die *Holzschneebrücke „Typ 2“* hat die Geometrie der klassischen Schneebrücke und ist aus 2 Rundholzträgern, 2 Rundholzstützen und Rundhölzern als Bedielung aufgebaut. Die Verbindung von Trägern und Stützen erfolgt mit verschraubten Stahlprofilen. Die Rostlänge beträgt 4 bis 5 m bei Schneemächtigkeiten von 2 bis 3,5 m. Bei Bedarf werden auf den Rost und die Stützen Hölzer oder Stahlbänder zur seitlichen Aussteifung aufgeschraubt.

In der Schweiz werden im nicht-permanenten Lawinenverbau fast ausschließlich *Rundholz-Schneerechen Typ „SLF“* eingesetzt. Schneerechen werden bevorzugt, weil die bergseitige Verankerung der Schwelle auf der ganzen Werklänge einfach erfolgen kann, die schief stehenden Rosthölzer weniger fäulnisgefährdet sind und das Jungholz beim Durchwachsen von Schneerechen weniger Bruchschäden erleidet. Der Rost überträgt die Schneedruckkräfte bergseits auf die Schwelle und talseits über eine Pfette auf die beiden Rundholzstützen. Die beiden Stützen und die Pfette sind mit zwei Hölzern (Bügen) stabilisiert, um die Quersteifigkeit des Werkes zu erhöhen. Die Fundierung der Stützen erfolgt bei allen Typen mit Grundplatten aus Stahl oder Beton. Die Träger der Schneebrücken sind verlängert ausgeführt, werden eingegraben und mit Seilankern im Fels, oder Injektionsankern im Lockermaterial fundiert. Bei Holzschneerechen wird die bergseitige Schwelle oft – mit oder ohne zusätzliche Pfahlverankerung – im Boden eingegraben.

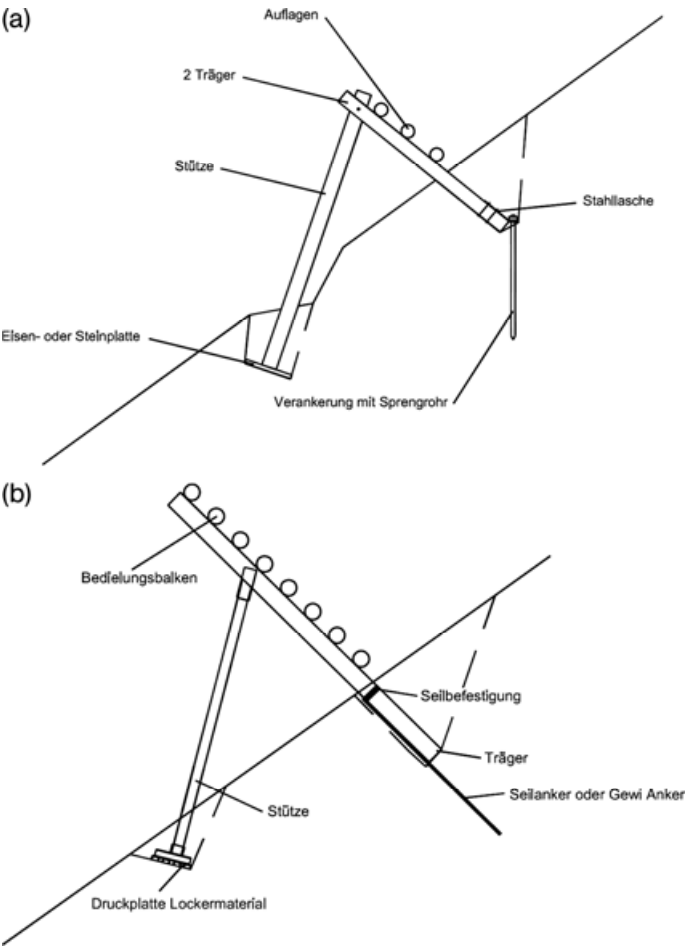


Bild 7-11 Holzschneebrücken: (a, III): „Typ 1“, D 1,5; (b, III): „Typ 2“, D 3,0 (© WLV Vorarlberg)

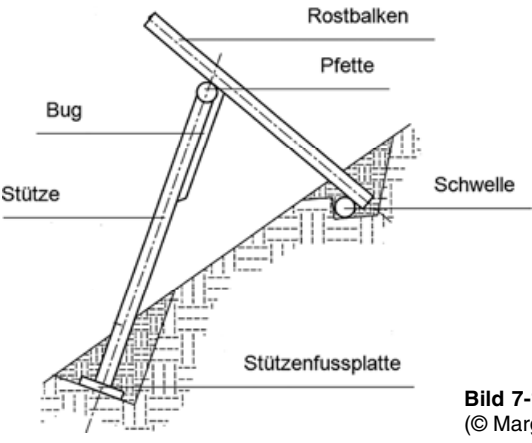


Bild 7-12 Systemskizze Holzschneerechen Typ „SLF“ (© Margreth)

7.2.2.7 Historische Baumethoden und Sonderbautypen

Im Laufe der Geschichte der Lawinenanbruchverbauung entstand aus der „empirischen“ Entwicklungsarbeit der Ingenieurpraxis eine Vielzahl, heute als „historisch“ zu bezeichnender Baumethoden (Tabelle 7-3), die nicht mehr angewendet werden und nur noch im Zuge der Erhaltung (siehe Abschnitt 9.2.4) von Relevanz sind.

Darüber hinaus kam es vor allem in den letzten Jahrzehnten zur Entwicklung neuer Bautypen durch einige Unternehmen oder in Eigenentwicklung staatlicher Lawinenverbauungsdienste. Diese Systeme werden bisher nur in eingeschränktem Umfang und unter besonderen Bedingungen eingesetzt (Sonderbautypen) (Tabelle 7-4). Sie entsprechen daher in der Regel noch nicht dem Stand der Technik der Lawinenanbruchverbauung [187][236].

Tabelle 7-3 Historische Bautypen der Lawinenanbruchverbauung

Bautype	Beschreibung
Erdterrassen	Erdterrassen wurden mit einer Breite von 0,5 m bis 5 m angelegt. Die talseitige Böschung wurde mit Rasenziegeln mit einem Anzug von ca. 3 : 1 und einer maximalen Höhe von 2 m aufgebaut. Voraussetzung für solche Bauwerke waren bindige Böden und eine gute Grasnarbe. Die Schutzwirkung gegen Lawinenanbrüche ist auf geringe Schneehöhen beschränkt.
Lawinenmauern	Die Lawinenmauern bestehen aus Trockenmauerwerk und weisen einen talseitigen Anzug von 5 : 1 auf. Die bergseitige Wirkhöhe ist meist auf 2 m beschränkt. Es wurden auch größere Mauern in Beton ausgeführt und bergseitig hinterfüllt, sodass eine Wirkhöhe von 4 m bis 5 m entstand. Seit 1951 werden keine neuen Lawinenmauern mehr gebaut.
Arlberg-Schneerechen	Der Arlbergrechen wurde im Zuge des Baus der Arlbergbahn entwickelt und besteht aus 4 m langen Eisenbahnschienen, die mit einem Abstand von 3,5 m einbetoniert sind und 2,5 bis 2,8 m lotrecht aus dem Boden ragen. Die Schienen werden bergseitig und seitlich mit vor Ort gedrillten Drahtseilen abgespannt. Es erfolgt auch eine Verbindung der einzelnen Schienen mit derartigen Drahtseilen. Auf die Drahtseile werden senkrecht 5 cm starke, runde oder gespaltene Holzstaken mit Draht befestigt. Die Verankerung der berg- und talseitigen Drahtseile wird im Fels oder an Steinen im Lockermaterial vorgenommen.
Schneerechen/-brücken aus Leichtmetall	Schneebrücken oder Schneerechen aus Aluminium wurden in der Schweiz 1951 zum ersten Mal eingesetzt. Die ersten Werktypen bestanden aus voluminösen Aluminium-Abkantprofilen mit einer Dicke von 3 bis 4 mm oder aus Leichtmetall-Pressprofilen. Durch die Verwendung von Aluminium war kein Korrosionsschutz erforderlich. Das Gewicht einer Schneebrücke aus Aluminium betrug im Vergleich zu Stahl rund die Hälfte (schwerste Einzelteile ca. 70 kg). Die dünnwandigen Profile waren jedoch wenig resistent bei Steinschlageinwirkung und oft traten Stabilitätsprobleme (z. B. lokales Ausbeulen) auf. Wegen des hohen Materialpreises wird Aluminium als Baumaterial heute nicht mehr eingesetzt.
VOBAG-Schneebrücken	VOBAG-Schneebrücken bestehen aus vorfabrizierten Betonelementen. Der Träger wiegt bis 1000 kg. Die VOBAG-Schneebrücken sind steinschlagempfindlich und aufgrund des hohen Gewichts im Gelände aufwendig zu errichten. Diese Bautype wurde in der Schweiz bis etwa Mitte der siebziger Jahre eingesetzt. Die vorgespannten Betonelemente haben sich als nicht sehr haltbar erwiesen. Heute sind viele VOBAG-Schneebrücken in einem schlechten Zustand und müssen systematisch ersetzt werden.
BEDO-Werke	In den achtziger Jahren wurde in der Schweiz ein Werktyp eingesetzt, bei dem der Rost aus vertikal und horizontal angeordneten Rostbalken besteht. Beim BEDO-Werktyp bestehen die Hauptwerke aus Schneerechen und die Zwischenwerke aus Schneebrücken.

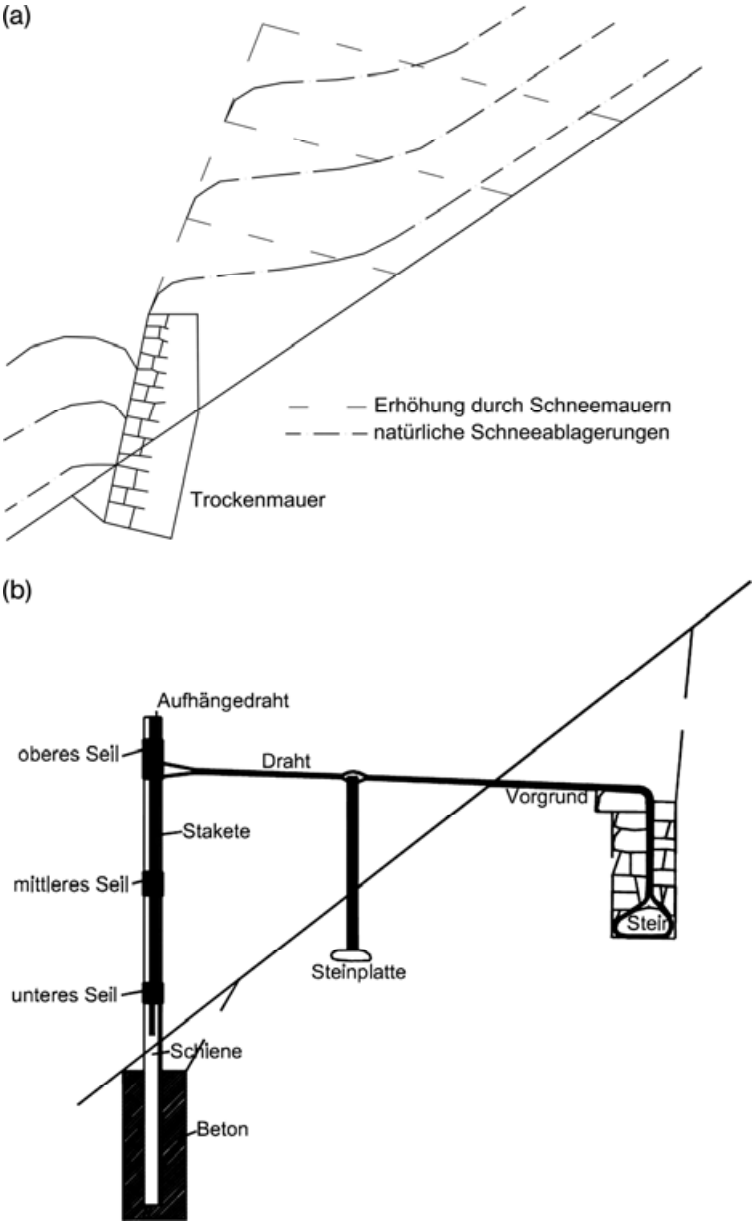


Bild 7-13 Historische Bautypen der Lawinenanbruchverbauung: (a): Lawinentrockenmauern, (b): Arlberg-Schneerechen (© WLV Vorarlberg)

Tabelle 7-4 Sonderbautypen der Lawinenanbruchverbauung: Überblick (Beispiele)

Bautype	Beschreibung
Aufgehängte Stützwerte	Mit der Entwicklung der aufgehängten Stützwerte wurde versucht, den Einbau so einfach wie möglich zu gestalten. Eine Stütze ist bei diesem Bautyp nicht mehr erforderlich. Das Stützwerk wird bergseitig an einem oder mehreren Verankerungspunkten aufgehängt. Dadurch wird eine Montage auch in sehr schwierigem Gelände möglich, oder bei wenig tragfähigen Böden kann der Verankerungspunkt über eine Seilverlängerung in tragfähigeren Boden verschoben werden. Problematisch bei den aufgehängten Konstruktionen ist, dass die Verbindung zwischen Stützfläche und Verankerung dem vollen Schneedruck ausgesetzt ist. Ein Hängewerk kann dadurch bergwärts kippen.
Schneehängebrücken	Die Schneehängebrücke ist ein Werktyp, der in Österreich vom Forsttechnischen Dienst für Wildbach- und Lawinenverbauung aus dem Arlbergschneerechen entwickelt wurde. Nach der Lawinenkatastrophe 1954 wurden als Soforthilfe auch Eisenbahnschienen zur Verfügung gestellt. Unter Berücksichtigung dieser Eisenbahnschienen konstruierte man eine Schneebrücke mit einer bergseitigen Zugverankerung (wahlweise) über Rundstähle oder Seile. Der Winkel zwischen Rost und bergseitigem Gelände betrug ca. 70°.
Glarner Hängewerk	Beim so genannten Glarner Hängewerk ist der Rost über eine Fachwerkkonstruktion mit der Verankerung verbunden. Das Werk liegt frei auf dem Boden auf. Dieser Werktyp wurde nur vereinzelt, insbesondere in sehr steilem, felsdurchsetztem Gelände eingesetzt.
Ombrello-System®	Beim Ombrello-System, das von verschiedenen Produzenten angeboten wird, besteht der Stützrost aus quadratischen Drahtseilnetzen, die an kreuzweise angeordneten Stahlprofilen befestigt sind. Der Stützrost ist über eine Stahlstange und vier Drahtseile mit der Verankerung verbunden. Dieser Werktyp ist insbesondere in Italien verbreitet.
Werktyp SIFA A® und SIFA B®	Durch die Verwendung einer zweiten Stütze, parallel zur ersten Stütze, konnte das Gewicht des Trägers reduziert werden. Beide Stützen waren je mit einem Mikropfahl und der Träger mit einem Zuganker fundiert, was ein sehr rationelles Bohren der Verankerungen ermöglichte. In den achtziger Jahren wurde dieser Werktyp – „SIFA A“ und „SIFA B“ genannt – in großem Stil im Gebiet des Brennerpasses eingebaut. In der Schweiz wurde der Werktyp 1986 für kurze Zeit zugelassen.



Bild 7-14 Schneehängebrücke: Werk D = 2,5 mit Holzbedielung (© WLV Vorarlberg)



Bild 7-15 (a): Aufgehängtes Glarner Hängewerk und (b): Ombrello Lawinenstützwerk (© Margreth)

7.2.2.8 Typenprüfung für Lawinenstützwerke

In der Schweiz wird seit 1977 durch das Bundesamt für Umwelt (BAFU) eine Typenprüfung für Standardwerktypen und die dazugehörigen Fundationen auf Grundlage der *Schweizer Richtlinien* [189] durchgeführt. Werden für Lawinenverbauungen staatliche Subventionen beansprucht, so dürfen in diesen Verbauungen nur offiziell geprüfte und zugelassene Werktypen bzw. Ankermörtel verwendet werden.

In einer ersten Phase werden die statischen Berechnungen und Planunterlagen sowie die Eignung des Werktyps aus Sicht der Schnee- und Lawinenmechanik geprüft. Die Einwirkungen müssen gemäß der *Schweizer Richtlinie* [189], die statischen Nachweise gemäß den einschlägigen Tragwerksnormen angenommen werden. In einer zweiten Phase erfolgt die Prüfung der praktischen Verwendbarkeit. Bei neuartigen Stützwerktypen werden Versuchswerke aufgestellt, die während mindestens 2 Wintern beobachtet werden. Bei konstruktiven Änderungen von bestehenden Werktypen wird in der Regel nur ein Montageversuch verlangt. Wenn beide Phasen positiv durchlaufen wurden, kann ein Werktyp freigegeben werden. Typenlisten mit allen zugelassenen Werktypen sind auf der Homepage des Bundesamtes für Umwelt (www.bafu.admin.ch) abrufbar. Diese Typenprüfung wird zum Teil auch in anderen europäischen Ländern anerkannt. In Österreich wurde in den letzten Jahren die Verwendbarkeit verschiedener Systeme von Schneenetzen im Feldversuch getestet [249].

7.2.3 Fundierung und Verankerung in der Lawinenanbruchverbauung

7.2.3.1 Allgemeines

In Abhängigkeit verschiedener Parameter (Schneehöhen, Gleitfaktor, Werktype etc.) können durch das Abstützen der Schneedecke beträchtliche Kräfte entstehen, die durch geeignete Fundamente in den Boden bzw. Fels eingeleitet werden müssen. Der folgende Abschnitt gibt einen Überblick über die üblichen und historischen Methoden der Fundierung und Verankerung in der Lawinenanbruchverbauung.

7.2.3.2 Methoden der Fundierung und Verankerung

Die Wahl der Ankerungs- und Fundierungsmethode in der Lawinenanbruchverbauung richtet sich in erster Linie nach der eingesetzten Werktype und den Untergrundverhältnissen. Ein weiterer Faktor liegt in der Möglichkeit des Einsatzes moderner Bohr- und Injektionstechnik sowie in der Manipulation von Lasten im Bereich der Lawinenbaustelle.

Für *auf Zug beanspruchte Verankerungen* werden in der Praxis starre Stabanker, Mikropfahlböcke (zwei Mikropfähle, welche über einen Bolzen zu einem Bock verbunden werden), Selbstbohranker oder Seilanker eingesetzt. Starre Stabanker werden vor allem bei bindigem Untergrund oder Fels eingesetzt, wenn das Bohrloch ohne Verschalung „steht“. Bei nicht standfähigem Untergrund stellen Selbstbohranker eine sinnvolle Alternative dar. Bei nichtbindigem Lockergestein wird fallweise der Sprenganker eingesetzt. Seilanker bieten den Vorteil, dass an der Austrittsstelle des Ankers aus dem Bohrloch keine Schäden durch Biegebeanspruchung (wie beim starren Stabanker) auftreten und somit keine Bruchgefahr besteht. Für die *auf Druck beanspruchten Verankerungen* (Fundierungen) werden Grundplatten ohne Anker, Grundplatten mit Mikropfählen oder Mikropfahlsysteme eingesetzt, die Druck- und Zugkomponenten der Einwirkung getrennt voneinander in den Baugrund einleiten (Mikropfahlböcke).

Mikropfähle (Mikropfahlböcke) sind auf Zug oder Druck beanspruchte Pfähle. Dabei handelt es sich um Einbauelemente, die eine aufgebrachte Druck- oder Zugkraft auf eine tragfähige Schicht im Baugrund übertragen können bzw. über die auftretende Mantelreibung abarbeiten. Der Durchmesser beträgt 90–110 mm (Bohrpfähle). Mikropfähle bestehen aus einem im Bohrloch zentrierten Zug- oder Druckglied aus Stahl (Durchmesser: 32–40 mm) und einer Ummantelung aus Ankermörtel. Wenn notwendig, ist die Ummantelung des Mikropfahles mit einem Textilstrumpf (Netzanker) erforderlich, um zu große Mörtelverluste zu vermeiden.

(a)



(b)



Bild 7-16 Fundierung eines Stahlstützwerkes: (a): bergseitig mittels auf Zug und Druck beanspruchten Mikropfählen und (b): talseitig mittels Grundplatte in Stahl (© Rudolf-Miklau)

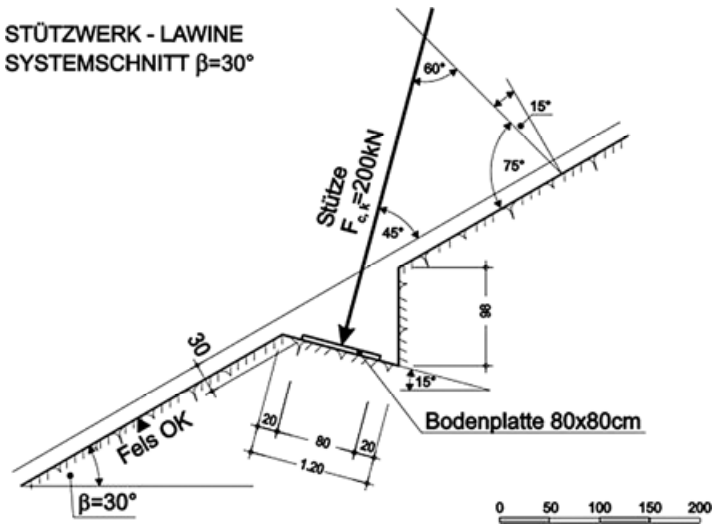


Bild 7-17 Geometrie der Grundplattenfundierung, nach [126] (© Hofmann)

Für die Abtragung von Druckkräften können – eine entsprechende Eignung des Baugrundes vorausgesetzt – auch *Grundplatten* verwendet werden. Hierbei ist auf einen ausreichenden Abstand der talseitigen Kante der Platte auf die Urgelände-Oberfläche zu achten, um einen geotechnischen Nachweis der Grundbruchsicherheit zu erlauben. Die Methode der Grundplatte wird ausschließlich für die Fundierung der Stützen verwendet.

(a)



Bild 7-18 Verankerung von Lawinennetzen: (a): Seilanker zur bergseitigen Fundierung von Lawinennetzen – Ankerkopf mit Abspannseilen

(b)



Bild 7-18 (Fortsetzung) Verankerung von Lawinennetzen: (b): Grundplatte einer Gelenksstütze für ein Lawinennetz (Die Stütze ist mit der Platte über eine splintgesicherte Bolzenverbindung verbunden. Die Platte sitzt ohne Verankerung am Boden auf und ist bergwärts durch Seile abgespannt.) (© Rudolf-Miklau)

Unter *Seilankern* werden Stahldrahtseile verstanden, die über die gesamte Verankerungslänge mittels Injektion verpresst werden.

Für die Herstellung von *Sprengankern* wird im Bohrlochtiefsten eine über ein Metallrohr eingebrachte Sprengladung gezündet, die einen Hohlraum ausbilden soll und so zur Bildung eines birnenförmigen Körpers aus dem Verpressgut führt. In weiterer Folge wird ein Bewehrungselement (z. B. Gewindestab) in das aufgesprengte Metallrohr bzw. Bohrloch eingeführt und dieses im Anschluss mittels Injektion verpresst.

7.2.3.3 Historische Fundierungsmethoden

Als Ergebnis der Entwicklung der Fundierung in der Lawinenanbruchverbauung haben sich die in Abschnitt 7.2.3.2 beschriebenen Verfahren als effizienteste und dem „Stand der Technik“ entsprechende Methoden etabliert. Im Laufe der Zeit gelangte eine Vielzahl von unterschiedlichen Fundierungsmethoden zum Einsatz, die heute als „historisch“ zu bezeichnen sind und in der Praxis nicht mehr zum Einsatz gelangen. Ihre Kenntnis ist jedoch in Hinblick auf die Bewertung von Schäden an bestehender Anbruchverbauung (siehe Abschnitt 9.2.3.2 und für die Beurteilung der Lebensdauer im Rahmen der Erhaltung von Bedeutung. In Tabelle 7-5 wird ein Überblick über historische Fundierungsmethoden in Österreich und der Schweiz gegeben.

Tabelle 7-5 Historische Fundierungsmethoden des technischen Lawinenschutzes in Österreich und der Schweiz: Überblick

Methode	Beschreibung
„Toter-Mann-Anker“	In der Anfangsphase der Lawinenanbruchverbauung waren die bautechnischen Möglichkeiten an steilen Hängen stark eingeschränkt, sodass die Fundierung zunächst vor allem mit manuell vergrabenen Schwellen („Toter-Mann-Anker“) und Platten hergestellt wurden.
Ortsfundamente	Einen wesentlichen Fortschritt in der Fundierung von Lawinenwerken brachte die Möglichkeit der Herstellung und Manipulation von Ortbeton im Bereich der Lawinenbaustellen. Ortsfundamente wurden erstmals in den fünfziger Jahren im Sinne der damals geltenden Fassung der <i>Schweizer Richtlinien III</i> in Österreich und der Schweiz eingesetzt. Dabei wurden sowohl die bergseitigen Trägerfundamente als auch die talseitigen Stützenfundamente in Beton hergestellt. Das auf Zug beanspruchte Trägerfundament wurde dabei massiv ausgeführt, um die auftretenden Zugkräfte durch die Scherspannung zwischen Betonkopf und Boden abdecken zu können. Bei schlechten Bodenverhältnissen erforderte diese Fundierungsmethode Aushubtiefen von 1,5 bis 2,0 m.
Sprengfundierung	Bei der Methode der Sprengfundierung, die auch heute noch teilweise eingesetzt wird, wurde im Lockermaterial ein Loch gebohrt und mit einem Stahlrohr gegen Einfallen „geschalt“. Es ist zwischen der österreichischen und der schweizer Methode der Sprengfundierung zu unterscheiden. In Österreich wurde im Lockermaterial ein gespitztes, geschlossenes Rohr ohne Bohrung eingerammt. Gebohrt wurde nur, wenn man mit dem Rohr auf einen Stein oder Fels traf. In der Schweiz wurde das Loch – wie für einen Mikropfahl – gebohrt. Das Rohr musste gelocht oder geschlitzt sein, damit das Injektionsgut auch entlang des Rohres austreten und eine Vermörtelung entlang des gesamten Rohres erzielt werden konnte. Dadurch war die Lastabtragung nicht allein auf den Verpresskörper im gesprengten Hohlraum beschränkt. In der Folge wurde eine Spengladung (ca. 30–100 g Gelatin-Donarit) in das Bohrloch eingeführt und eine Kaverne aufgesprengt, die danach mit Ankermörtel injiziert wurde. Der Anker wurde schließlich durch das Rohr in den Hohlraum eingeführt. Der Mörtel bildete nach der Aushärtung eine „unterirdische Birne“, die in der Lage war, die Ankerzugkräfte aufzunehmen [144].
Ortsfundamente mit Sprengfundierung	Eine Fortentwicklung stellte die Kombination der Ortsfundamente mit Sprengfundierung dar. Bei dieser Methode wurden die Zugkräfte durch parallele Sprenganker abgetragen, sodass die Kubatur der bergseitigen Fundamente deutlich reduziert werden konnte und nur mehr eine Dimensionierung des Ortsfundaments auf Bodendruckkräfte erforderlich war. Der Stützenträger der Stahlschneebrücke wurde um 1 m verlängert geliefert und in das Ortsfundament einbetoniert. Die talseitigen Fundamente wurden zylindrisch ausgeführt, wobei die Schalung mittels verschließbarer Halbschalungen erfolgte [160]. Die talseitige Fundierung erfolgte schon sehr früh mit Grundplatten aus Stahl III [115].

Tabelle 7-5 (Fortsetzung)

Methode	Beschreibung
Tiroler Sprenganker (Parallelstabanker)	In Tirol setzte sich bereits in den siebziger Jahren Fertigteilfundamente (Parallelstabanker, Stützenplatten in Stahl) durch. Ab 1976 wurde die von <i>Eliskases</i> entwickelte Methode des Parallelstabankers eingesetzt. Bei dieser Methode wurden zwei parallele Stabanker (St 360 B) an eine Stahlplatte angeschweißt („Tiroler Parallelstabanker“). Die Anker wurden in zwei übereinander ins Lockergestein gebohrte und mit Ankermörtel verfüllte Sprenglöcher eingeführt. Der Träger der Schneebrücke wurde direkt über ein Gelenk (Bolzen) mit der Ankerplatte verbunden. Im festen Fels wurde nach der gleichen Methode geankert, jedoch auf die Aufsprengung der Bohrlöcher verzichtet [64]. Dieses Fundierungssystem war statisch nicht einwandfrei und entsprach auch nicht den <i>Schweizer Richtlinien</i> [68]. Schäden traten vor allem durch Abreißen der Schweißverbindung auf, wenn die Stahlplatte nicht direkt auf dem Boden aufsaß. Der Tiroler Sprenganker galt trotz der technischen Mängel über viele Jahre als effizienteste und wirtschaftlichste Fundierungsmethode in der Lawinenanbruchverbauung [160], wird heute aber nicht mehr eingesetzt.
Totale Sprengfundierung	Seit Anfang der achtziger Jahre wurden in der Schweiz sowohl Anker als auch Stützenfundamente mit Sprengankern gegründet (Totale Sprengfundation) [144]. Durch den Einsatz bestimmter Werkstypen (Riegelwerk) wurden die Trägerfundamente nur mehr mit Zugkräften konstanter Richtung belastet. Um einen rationellen Einsatz der Bohrlafetten zu gewährleisten, wurde talseitig die Stütze auf ein sog. „Ankerdreibein“ gegründet, das eine zweifache Sicherheit – auch gegen Auskippen aufgrund ungleicher Setzung – erbrachte. Die Methode stellte sich als zeit- und kostenaufwendig heraus und erforderte besonders genaues Arbeiten [160].

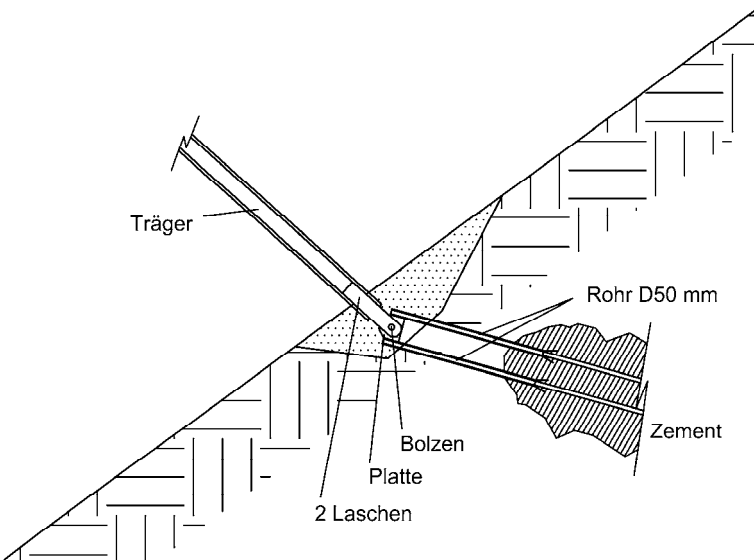


Bild 7-19 Systemskizze des Parallelstabankers mit Trägeranschluss nach [64] (© WLV Tirol, Herbert)

7.2.4 Verwehungsverbauung

7.2.4.1 Klassifikation und Wirkungsweise

Zur Verwehungsverbauung zählt man Bauwerke, die unter Ausnutzung der Windwirkung die Schneeeablagerung beeinflussen. Unter Ausnützung der Windkräfte können die Schneeeablagerungen mittels der Verwehungsverbauungen so beeinflusst werden, dass die Bildung von großen Wächten verhindert und die Schneedecke schneemechanisch günstig beeinflusst wird. Dies geschieht, indem dem Windstrom ein Hindernis entgegengesetzt wird, welches zur Verwirbelung der Luft und damit zur Ablagerung von Schnee führt (Triebsschneezaun/-hag) oder die Windgeschwindigkeit punktuell erhöht und damit ein Weitertransport der Schneepartikel verursacht (Kolktafel, Schneedüse) wird.

Verwehungsverbauungen werden nicht nur im Lawinenschutz eingesetzt, sondern auch entlang von Straßen zur Verhinderung von Schneeüberwehungen. Im Lawinenschutz werden Verwehungsverbauungen meistens im Zusammenwirken mit Stützverbauungen eingesetzt, um die Schneeakkumulation im Anbruchgebiet oder die Wächtenbildung entlang eines Grates zu verhindern. Eine Klassifikation der Maßnahmen der Verwehungsverbauung nach Funktion und der Wirkung ist in Tabelle 7-6 enthalten.

Tabelle 7-6 Klassifikation der Verwehungsverbauung nach Funktion und Wirkung

Wirkung	Funktion	Bautyp
Triebsschneeüberfrachtung hindernde Werke	Bremsung der Windgeschwindigkeit, Ablagerung des mitgeführten Triebsschnees	Triebsschneezaun (vertikaler Füllungsbelag)
		Triebsschneehag (horizontaler Füllungsbelag)
Triebsschneeüberfrachtung fördernde Werke	Der Wind wird so abgelenkt, dass an bestimmten Lawinenanbruchstellen der Triebsschnee fortlaufend weggefegt oder die Schneedecke durch Turbulenzwirkung in ihrem normalen Aufbau gestört wird.	Kolktafel
		Schneedüse

Die Wirkung von Verwehungsmaßnahmen ist stark an die richtige Situierung zur Hauptwindrichtung gebunden; die Kenntnis derselben sowie die entsprechenden morphologischen Gegebenheiten sind Voraussetzung für die optimale Wirkung. Eine wirksame Verwehungsverbauung setzt über mehrere Jahre regelmäßige Winterbeobachtungen voraus. In besonderen Fällen liefern Windmessungen an der Stelle, an der Verwehungsverbauungen errichtet werden sollen, wertvolle Zusatzinformationen. Dabei ist besonders auf die kleinräumige reliefbedingte Windsituation Bedacht zu nehmen, welche von den Windmessungen umliegender Wetterstationen (Kammwinde) erheblich abweichen kann. Nachfolgend wird ein Überblick über die wichtigsten Bautypen der Verwehungsverbauung gegeben.

7.2.4.2 Bautype: Triebsschneezaun (Triebsschneehag)

Idealerweise werden Triebsschneeäune auf Hochplateaus oder Kammlagen oberhalb von Stützverbauungen errichtet, um die Einwehung von Triebsschnee in das Abbruchgebiet zu minimieren. Die beste Wirkung erreichen die Werke, wenn sie normal zur Hauptwindrich-

tung aufgestellt werden; Abweichungen zum Winkel der Anströmung bewirken eine deutliche Minimierung der Wirkung [327]. Abweichungen bis zu 25° sind tolerierbar [326]. Tribschneezäune können sowohl mit horizontaler (auch: *Tribschneehag*) als auch vertikaler Bedielung ausgeführt werden. Bevorzugt werden meistens Stahlträger mit Holzbedielung, in der Höhe versetzte vertikale Bedielung soll eine unregelmäßige Abrisskante des Zaunes und damit die Erhöhung von Turbulenzen verursachen. Tribschneezäune können mit oder ohne Bodenspalt ausgeführt werden. Die Fundierung erfolgt je nach Qualität des Untergrundes mit Ankern in Kombination mit Bodenplatten oder mit Betonsockeln.



Bild 7-20 Kombination einer Lawinenanbruchverbauung mit Kolktafeln in Kammlage (© WLV Vorarlberg)

(a)



(b)



Bild 7-21 Tribschneezäune: (a): mit Holzbedielung und unregelmäßiger Abrisskante und (b): mit horizontaler Stahlbedielung (© Sauermoser)

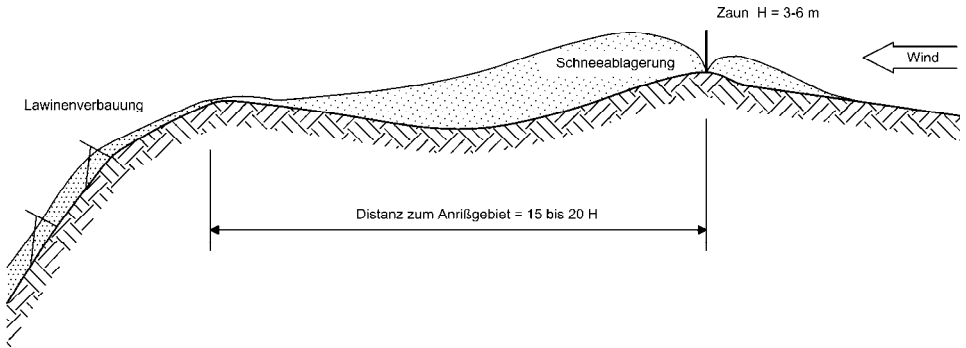


Bild 7-22 Räumliche Situierung eines Triebsschneezauns (© Margreth, nachgezeichnet Herbert)

7.2.4.3 Bautype: Kolktafeln

Kolktafeln werden im Bereich potenzieller Wächtenbildung situiert. Durch die Tafeln wird die Luftströmung so beeinflusst, dass es zu einer Beschleunigung der Strömung kommt und unmittelbar um die Tafeln durch hohe Turbulenzen Schneerosion stattfindet; es bildet sich ein Kolk. Der Schnee wird um den Kolk herum abgelagert. Die Mächtigkeit und die Dichte der Schneeeablagerung sind inhomogen. Dadurch wird die Ausbildung einer durchgehenden Wächte verhindert. Kolktafeln werden – ebenso wie Verwehungszaune – in Kombination mit Stützverbauungen errichtet. Durch den Absturz einer Wächte auf die obersten Verbauungsreihen können Schäden an dieser entstehen bzw. kann diese durch Einwehung aus dem Nährgebiet überlastet werden. Durch die Errichtung einer Reihe von Kolktafeln entlang des Gratrückens kann dies verhindert werden.

(a)



Bild 7-23 Kolktafeln: (a): Kolktafeln aus Holz entlang eines Gratrückens auf dem Jaufenpass (Südtirol) (© Sauermoser)

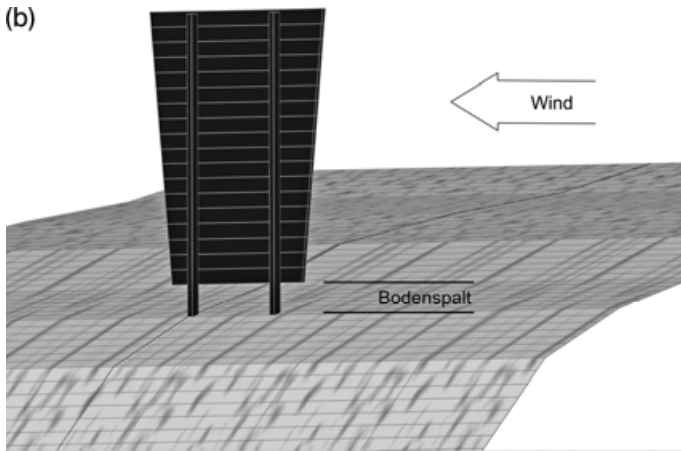


Bild 7-23 (Fortsetzung) Kolktafeln: (b): Systemskizze einer Kolktafel nach III (© WLV Tirol, Herbert)

Versuche über die Wirkung von Kolktafeln unterschiedlicher Formen wurden von *Wopfner & Hopf* [347] durchgeführt. Da sich um Kolke durch dichtere Lagerung des Schnees lokale Verfestigungszonen bilden, bewirken Kolktafeln eine Stabilisierung der Schneedecke und schließlich eine Auflösung zusammenhängender Spannungsfelder. Es gibt Kolktafeln *mit* und *ohne Bodenspalt*. Eine Verfestigung der Schneedecke führen beide Typen herbei, die Auflösung des Spannungsfeldes dagegen nur die Kolktafel ohne Bodenspalt. Als günstigste Form erwies sich dabei eine Tafel mit einem Bodenspalt von einem Meter [7]. Heute werden jedoch fast ausschließlich Kolktafeln ohne Bodenspalt eingesetzt. Die Trapezform hat sich besser bewährt als die Rechteckform. Bei Versuchen konnte auch nachgewiesen werden, dass trapezförmige Kolktafeln einen um ca. 30 % größeren Kolk verursachen. In der Schweiz haben sich kreuzförmige Kolktafeln ohne Bodenspalt bewährt.

7.2.4.4 Bautype: Schneedüsen

Schneedüsen werden – ebenso wie Kolktafeln – eingesetzt um die Bildung von Wächten entlang eines Kammes zu verhindern. Durch die Situierung im beginnenden Lee wird die Windgeschwindigkeit in der Düse erhöht und der Schneeeintrag erfolgt bis weit in den Hang. Schneedüsen bewirken keine Reduktion der Gesamtmenge des eingewehten Schnees, durch den Düseneffekt wird der Schnee jedoch weiter transportiert und in den Hang verlagert. Ein Nachteil dieser Maßnahme ist, dass der Triebschnee im Lawinenhang abgelagert wird. Schneedüsen werden im Zusammenhang mit Stützverbauungen errichtet, um Überschneidungen oder Schädigungen der obersten Werksreihen zu verhindern. Nach [7] sollten Schneedüsen eine leeseitige Öffnung von 1 m Höhe haben, die luvseitige Öffnung sollte etwa 2 m in der Höhe betragen. Die Neigung des geschlossenen Daches sollte geringfügig höher als die Geländeneigung sein, um einen Düseneffekt zu erzielen. Schneedüsen können in Holz oder Stahl errichtet werden.

(a)



(b)

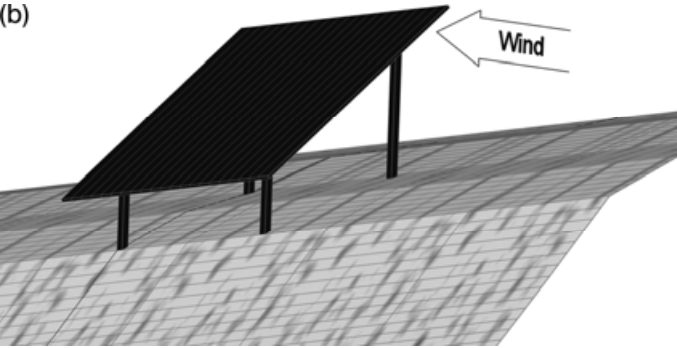


Bild 7-24 Schneedüsen: (a): Schneedüsen aus Holz; (b): Systemskizze einer Schneedüse
(© WLV Tirol, Herbert)

7.2.5 Technischer Gleitschneeschutz

7.2.5.1 Wirkungsweise

Gleitschneeschutzmaßnahmen haben die Aufgabe, die langsamen Bewegungen der Schneedecke, das Gleiten und Kriechen (siehe Abschnitt 3.3.4.3) auf ein minimales Maß zu beschränken und damit auftretende Kräfte an Hindernissen zu reduzieren. Besonders zum Schutze von Aufforstungen werden Gleitschneeschutzmaßnahmen eingesetzt.

Gleitschneegefährdet sind vor allem nach SW bis SO exponierte Hänge mit einer Neigung von über 30° und einer geringen Rauigkeit. Auch innerhalb von Stützverbauungen sind auf Hängen mit geringer Rauigkeit die schneemechanischen Belastungen auf Pflanzen so groß, dass diese nur mit technischen Schutzmaßnahmen aufwachsen können [173]. Bei der Planung von Gleitschneeschutzmaßnahmen ist festzulegen, ob die betroffene Fläche ausschließlich von Gleitschneegefährdung oder aber auch von Lawinengefährdung betroffen ist.



Bild 7-25 Kombination von Lawinenanbruchverbauung mit technischen Gleitschneeschutzmaßnahmen (Gleitschneeböcke) in der Lenzerwaldlawine (Tirol) (© Rudolf-Miklau)

7.2.5.2 Methoden des Gleitschneeschutzes: Überblick

Die umfangreichsten und systematischsten Untersuchungen bezüglich der Eignung von verschiedenen Methoden des Gleitschneeschutzes wurden von *In der Gand* [135] durchgeführt. Allerdings untersuchte er nur manuell herstellbare Methoden, da zum Zeitpunkt der Untersuchungen (1955/56 bis 1961/62) noch keine geeigneten geländegängigen Kleinbagger vorhanden waren. Ein vollständiger Überblick über die Maßnahmen des Gleitschneeschutzes ist Tabelle 7-7 zu entnehmen.

Tabelle 7-7 Überblick über die Methoden des Gleitschneeschutzes: Herstellung und Wirkung (Vor- und Nachteile)

Art der Maßnahme	Beschreibung	Vorteil	Nachteil
Verpfählung	einzelne Holzpfähle in unterschiedlichem Verband manuell oder maschinell in den Boden gerammt	enger Pfahlverband möglich	nur bei tiefgründigen Böden möglich
Verpfählung abgespannt	einzelne Holzpfähle in unterschiedlichem Verband manuell oder maschinell in den Boden gerammt und mit Drähten abgespannt	auch bei flachgründigen Böden möglich	hoher Wartungsaufwand für Kontrolle und Instandsetzungen
Bermen/ Bermentritte maschinell	mit Kleinbagger oder Pflug hergestellte Hangterrassen unterschiedlicher Breite	billige maschinelle Herstellung bei tiefgründigen Böden	Erosionsanfälligkeit, Kantenabpressung
Bermen/ Bermentritte manuell	Manuell hergestellte Hangterrassen	kein maschineller Aufwand	arbeitsintensiv, erosionsanfällig, Hangwasserhaushalt gestört
Tellerbermen Loch-pflanzung	Manuell hergestellte Kleinbermen: 40 × 40/60 × 60 cm	kein maschineller Aufwand	kostenintensiv, erosionsanfällig, Hangwasserhaushalt gestört

Tabelle 7-7 (Fortsetzung)

Art der Maßnahme	Beschreibung	Vorteil	Nachteil
Druckhügel	Manuell hergestellte Erdhügel (250 Stk/ha)	gute Wirkung in tiefgründigen Böden	nur bei tiefgründigen Böden möglich, erosionsanfällig, Hangwasserhaushalt gestört
Gleitschutzböcke	Dreibeinböcke aus Robinien-/Edelkastanien-Holz (250 Stk/ha)	keine Erosion, unterschiedliche Dichte möglich, kostengünstig	Materialtransport schwierig
Gleitschutzwerk	Stahlschneebrücke für geringe Schneemächtigkeiten Holzschneebrücken, kombinierte Schneebrücken	keine Erosion, unterschiedliche Dichte möglich, kostengünstig	nur punktuelle Wirkung
Rundholzschwellen	Liegende Robinienrundhölzer: D = 30 cm Verankerung mit 2 Seilankern oder mittels Gewindestangen	schwierige Fundierung	geringe Wirkhöhe

Grundsätzlich gilt, dass Maßnahmen mit hoher Dichte (der Anordnung auf der Fläche) besser dazu geeignet sind, die Schneedecke zu stabilisieren, als Einzelelemente, welche nur punktuellen Schutz bieten [135][173]. Die Pflanzenabgänge in den von *In der Gand* untersuchten Flächen fielen im Zeitraum 1955 bis 1963 auf Bermentritten, auf Bermen und in Pfählungen mit 0–28 % geringer aus als in Flächen ohne Schutzmaßnahmen und mit Gleitstützwerken (8–57 %).

Die Dimensionierung von Gleitschneeschutzmaßnahmen auf hangparallelen und hangsenkrechten Schneedruck ist auf Grund der schwer zu definierenden Wechselwirkung zwischen einzelnen Elementen des Gleitschneeschutzes und der Schneedecke nicht möglich. Die Wirkung der in Tabelle 7-7 zusammengefassten Maßnahmen beruht auf jahrzehntelangen praktischen Erfahrungen.

7.2.5.3 Bautypen: Verpfählungen

Nach [135] sind Verpfählungen nur wirksam, wenn der Pfahlverband weniger als 2 m beträgt. Es gelten folgende Empfehlungen für den Pfahlverband gemäß Tabelle 7-8.

Tabelle 7-8 Richtwerte für den Pfahlabstand (horizontaler Abstand auf Niveaulinie und Abstand in der Falllinie) in Abhängigkeit der extremen Schneehöhe H und der Hangneigung bei versetzter Anordnung der Pfähle nach [135]

Hangneigung	Pfahlabstand in m			
	H = 1,5 m	H = 2,0 m	H = 2,5 m	H = 3,0 m
< 30°	2,0	1,7	1,5	1,3
> 30°–35°	1,9	1,6	1,4	1,2
> 35°–40°	1,8	1,5	1,3	1,1
> 40°–45°	1,7	1,4	1,2	1,0



Bild 7-26 Verpfählungen: (a): ohne Verspannung (Gesamtlänge der Pfähle: 1,5 m, Wirkhöhe 0,5–0,75 m) (© Sauermoser); (b): Verpfählung vorgespannt (© WLV Tirol)

Voraussetzung für Wirksamkeit von Verpfählungen ist neben der ausreichenden Dichte der Pfähle das Verhältnis der Pfahllänge über dem Boden zu jener im Boden, welches [135] idealerweise mit 2:1, auf jeden Fall notwendig mit 1:1 angibt. Jede Abweichung von dieser Grundregel führt zu großen Ausfällen in Verpfählungen, wie Untersuchungen in der Schweiz [173] bestätigen. Als notwendiger Pfahldurchmesser wird für Rundhölzer 10 cm und für Halbrundhölzer 16 cm empfohlen.

Die Wahl der Holzart ist von der notwendigen Einsatzdauer der Verpfählung abhängig. Pilzresistente Holzarten wie Edelkastanie, Robinie, Eiche oder druckimprägnierte Hölzer haben eine Lebensdauer bis zu 30 Jahren, bei der Verwendung von Lärche, Fichte oder Kiefer ist mit maximal 10 bis 15 Jahren zu rechnen.

Da eine Verpfählung nach [135] meistens auf Grund der Flachgründigkeit der montanen und subalpinen Böden nicht möglich ist, wird in Österreich häufig ein System verwendet, bei dem die Pfähle mit Drähten vorgespannt werden [121] (Bild 7-28b). Die Stahl- oder Holzpfähle mit einer Länge von 2 m werden mit einer Neigung von ca. 10° talwärts 0,5 m in den Boden eingeschlagen. Für die Dauerhaftigkeit von Holzpfählen gelten die gleichen Bedingungen wie bei normalen Verpfählungen. Um die Dauerhaftigkeit zu erhöhen, werden auch gespitzte Stahlrohre mit einem Durchmesser von 48 mm verwendet. Die Drahtverspannung wird mit verzinkten 4-mm-Drähten durchgeführt. Die Drähte sind so anzubringen, dass sie im entspannten Zustand schlaff durchhängen. Der Kopf eines Pfahles wird jeweils mit den oberhalb liegenden versetzten Pfählen in Bodennähe verbunden, sodass ein elastisches Gesamtsystem entsteht.

7.2.5.4 Bautypen: Gleitschutzböcke

Das Errichten von Gleitschneeböcken (Dreibeinböcken) aus Robinienholz oder druckimprägniertem Holz ist die in Österreich am meisten verwendete Gleitschneeschutzmaßnahme. Die Wirkhöhe der Böcke liegt zwischen 0,8 m und 1,5 m. Entsprechend der unterschiedlichen Wirkhöhe und damit verbundenen Belastung werden unterschiedliche Fundierungsmethoden verwendet. Bei Böcken bis zu einer Wirkhöhe von 0,9 m genügt das Eingraben der Träger bis zu einer Tiefe von 0,5 m und die Sicherung der Träger gegen Ausziehen mit einem ein Meter langen Torstahlnagel. Bei höheren Wirkhöhen ist die Verwendung von Sprengfundamenten notwendig, was wiederum zu einem erheblich höheren Kostenaufwand führt [273].

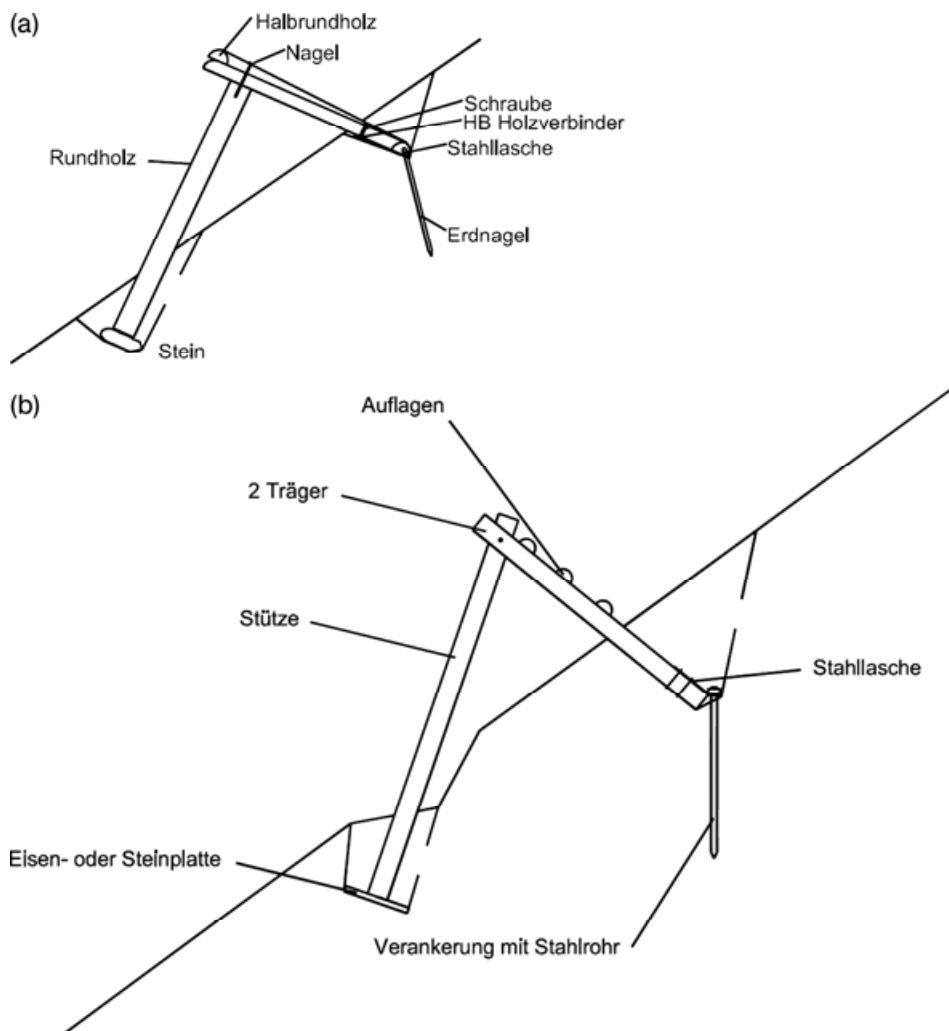


Bild 7-27 Gleitschneeböcke (Systemskizzen): (a): Dreibeinbock $H \leq 1$ m; (b): Dreibeinbock $H = 1 - 1,5$ m
(© WLV Vorarlberg)

Die Böcke können in einem einheitlichen Raster, welcher allerdings fünf Meter nicht überschreiten darf, oder in Gruppen eingebracht werden. Bewährt hat sich die gruppenweise Einbringung von ca. 10 Böcken, welche in einer engen Gruppe mit einem Abstand innerhalb der Böcke von max. 1,5 m eingebaut werden können. Dies entspricht dem Prinzip der Rottenstruktur des Waldes im subalpinen Bereich, und eine Gruppe von Böcken kann mit ca. 30–50 Pflanzen bepflanzt werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass durch das Anbringen eines bergseitigen bodennahen Querholzes Schneegleiten zusätzlich reduziert werden kann.

7.2.5.5 Bautypen: Bermen

Unter Bermen versteht man Erdterrassen unterschiedlicher Breite, welche durchgehend oder unterbrochen (Tellerbermen) an Hängen angeordnet werden, um Gleitschneebewegungen in ihrem Ausmaß zu reduzieren. Die Errichtung kann mittels Schreitbagger erfolgen. Die manuelle Errichtung von Bermen wird auf Grund der hohen Kosten für die Handarbeit nicht mehr durchgeführt. Breiterrassen [173] erreichen eine Breite von 0,8–2,0 m.

Problematisch ist die Beeinträchtigung des Hangwasserhaushaltes durch Bermen und die Förderung der Erosion. In den Untersuchungen von *Leuenberger* [173] zeigte sich, dass das Abpressen der Bermenkanten besonders dann problematisch ist, wenn die Bermen im Ab- und Auftrag errichtet wurden und die Hangneigung oberhalb von 30° gelegen ist. Die Wirksamkeit von Bermen als Gleitschneeschutz verringert sich mit zunehmendem Bermenabstand. In labilen Hangbereichen, welche zu Vernässung oder erhöhter Erosionsbereitschaft neigen, ist auf die Errichtung von Bermen zu verzichten, allenfalls ist eine geotechnische Begutachtung der Hangstabilität durchzuführen.

Eine Sonderform von Bermen sind *Pflugbermen*, welche mit einem Bermenpflug, welcher horizontal zum Hang mittels einer Kleinseilwinde gezogen wird, errichtet werden [120]. Pflugbermen haben nur eine geringe Wirkhöhe und können nur auf Böden mit mächtiger Humusauflage errichtet werden. *Druckhügel* sind eine Sonderform von Bermen, welche nur in tiefgründigen Lehm Böden errichtet werden können. Rasenziegel werden händisch aus dem Boden ausgestochen und mit der Rasenseite nach unten zu Hügeln aufgebaut. Gegenüber Bermen haben sie den Vorteil, dass sie den Hangwasserabfluss nicht so stark beeinflussen, da das Wasser zwischen den Hügeln abfließen kann.

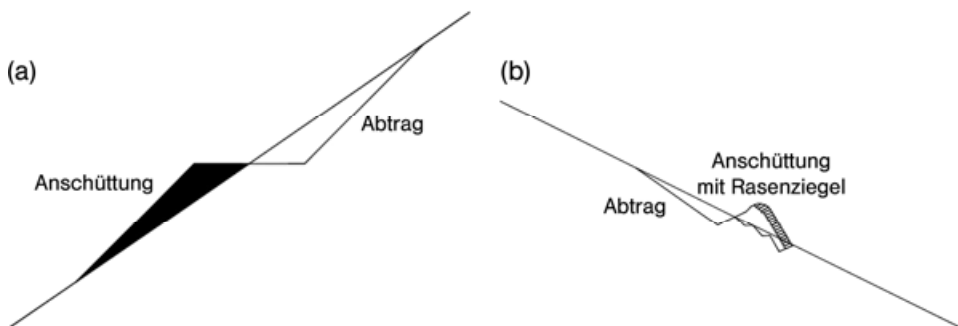


Bild 7-28 Gleitschneeschutz durch Bermen (Systemskizzen): (a): Erdterrassen; (b): Druckhügel
(© WLV Vorarlberg)

7.3 Technische Lawinenschutzmaßnahmen in der Sturzbahn und im Ablagerungsgebiet

7.3.1 Überblick

Kann das Abbrechen von Lawinen im Anbruchgebiet nicht oder nur mit unverhältnismäßig hohen Kosten verhindert werden, stellen Maßnahmen in der Sturzbahn oder im Ablagerungsgebiet eine Alternative dar, um die Energie von Lawinen zu verringern und die Aus-

Tabelle 7-9 Übersicht der technischen Lawinenschutzmaßnahmen in der Sturzbahn und im Ablagerungsgebiet

Bezeichnung		Situierung	Wirkung auf	
Kategorie	Bautype		Fließlawinen	Staublawinen
Leit- und Ablenkverbauung	Damm/Mauer	Sturzbahn	++	–
Brems- und Auf-fangverbauung	Damm/Mauer	Ablagerungsgebiet	++	–
	Fallboden	Sturzbahn	+	– –
	Bremshöcker, -kegel, -keil	Sturzbahn Ablagerungsgebiet	+	– –
	Lawinenbrecher	Sturzbahn	++	1)
Sonderbauwerke	Galerie, Tunnel	Sturzbahn Ablagerungsgebiet	++	++
	Rohrbrücke	Sturzbahn	++	++
Objektschutz	Ebenhöh	Sturzbahn Ablagerungsgebiet	+	+

- ++ große Wirkung
- + Wirkung vorhanden
- untergeordnete Wirkung
- – Wirkung vernachlässigbar

1) Die Auswirkung des Lawinenbrechers auf die Staublawine konnte bisher weder empirisch noch durch Modelle gesichert nachgewiesen werden.

lauflängen zu verkürzen. Oftmals kommen aber auch Maßnahmen in der Sturzbahn oder im Ablagerungsgebiet in Kombination mit Maßnahmen geringeren Umfangs im Anbruchgebiet (Teilverbauung des Anbruchgebietes) zum Einsatz.

Grundsätzlich kann zwischen

- der Lawinenleit- und Lawinenablenkverbauung,
- der Lawinenauffang- und Lawinenbremsverbauung sowie
- den Überleitungs- und Sonderbauwerken

unterschieden werden. Die Tabelle 7-9 gibt einen Überblick über die in der Praxis verwendeten Schutzmaßnahmen in der Sturzbahn und im Ablagerungsgebiet und ihre Wirkung auf Fließ- und Staublawinen.

7.3.2 Lawinenleit- und Lawinenablenkverbauung

7.3.2.1 Wirkungsweisen und Methoden

Die Lawinenleit- und Lawinenablenkverbauung wird in Form von Dämmen oder Mauern ausgeführt, die die Lawine in der Sturzbahn „richtungsstabil“ halten oder in eine andere Richtung zwingen bzw. sie vom/von zu schützenden Objekt/en ablenken. Ihre Wirkung ist

allerdings vornehmlich auf den Fließanteil einer Lawine beschränkt, für einen voll entwickelten Staubanteil von Mischlawinen oder eine reine Staublawine ist diese hingegen sehr gering.

Spaltkeile und Ebenhöf zählen systematisch ebenfalls zur Ablenkverbauung. Sie liegen jedoch direkt vor einem zu schützenden Objekt und werden daher den Objektschutzmaßnahmen zugeordnet (siehe Abschnitt 10.1.3).

7.3.2.2 Bautypen: Leitdämme

Leitdämme haben die Aufgabe, die seitliche Ausbreitung und Richtungsabweichung von Lawinen dort in ihrer Breite zu beschränken, wo z. B. runsenförmige Sturzbahnen auf fächerförmige Schuttkegel im flacheren Talboden ausmünden. Leitdämme verhindern aber auch bei Flächenlawinen wirksam die seitliche Ausbreitung (Bild 7-29).

Lawinenleitdämme werden in Form von homogenen Erddämmen oder Mauern aus Stahlbeton ausgeführt und oft in Verbindung mit Galeriebauwerken bei Straßen oder Bahnanlagen errichtet, um deren Längenerstreckung auf ein unbedingt erforderliches Ausmaß reduzieren zu können. Die Richtung der Leitdämme ist parallel zur Lawinenbahn, eine Ablenkung der Lawine von ihrer Hauptstoßrichtung erfolgt nicht.



Bild 7-29 Leitdämme verhindern die seitliche Ausbreitung von Fließlawinen in Richtung des Siedlungsraums (Ischgl/Tirol) (© Rudolf-Miklau)

7.3.2.3 Bautypen: Lawinenablenkbauwerke (-damm, -mauer)

Ablenktdämme bewirken – im Gegensatz zu Leitdämmen – die Umlenkung einer Fließlawine in eine gewünschte Richtung oder wirken dem seitlichen Ausbrechen nach einer Rich-

(a)



(b)



Bild 7-30 Ablenkbauwerke: (a): Lawinenablenkmauer in Stahlbeton (© Sauermoser) und (b): Ablenkdam (© WLV Tirol)

tungsänderung in der Sturzbahn entgegen. Für den voll entwickelten Staubanteil von Mischlawinen oder reine Staublawinen sind Ablenkdamme praktisch wirkungslos.

Die Wirksamkeit der Dämme hängt von der Lage des Dammes in der Sturzbahn (und damit von der Geschwindigkeit der Lawine am Dammstandort), von der Dammhöhe, von der Geländeneigung, vom Ablenkwinkel und von der geometrischen Form des Dammes ab. Je kleiner der Ablenkwinkel ist, umso leichter wird die Richtungsänderung von der Lawine angenommen. Bei einem zu großem Winkel kann der Damm von der Fließlawine übersprungen werden oder es kommt zur Ablagerung von Lawinenteilen und in der Folge zu einer unerwünschten Vorverfüllung und reduzierter Wirkhöhe des Dammes.

Der maximale Ablenkwinkel kann nach [147] ermittelt werden. Für die praktische Anwendung wird empfohlen, den maximalen Ablenkwinkel um 10° zu verringern. Lawinenseitig soll der Damm mit einer Neigung von mindestens 60° ausgestattet sein, was die Anwendung von Baumethoden zur Böschungsstabilisierung (z. B. bewehrte Erde, Steinschlichtungen) notwendig macht. Eine lawinenseitige Dammneigung von weniger als 30° wurde zumindest bei Modellversuchen als wenig effizient befunden, während Böschungsneigungen von 60° nahezu der maximalen Wirkung von senkrechten Mauern entsprachen [147]. Ablenkdamme können als Erddamm, Blocksteinmauerung oder Stahlbetonmauer ausgeführt werden.

Bei der Situierung von Lawinenleit- und Lawinenablenkdämmen ist eine genaue Analyse der Breite der Lawinensturzbahn anhand von „stummen Zeugen“, Lawinenchroniken oder Simulationen notwendig, um die plangemäße Funktionsfähigkeit sicherzustellen. Liegt der Damm nicht am Rande oder außerhalb der Sturzbahn, werden nur Teile der Lawine in ihrer Richtung beeinflusst.

7.3.3 Lawinenbrems- und Lawinenauffangverbauung

7.3.3.1 Wirkungsweisen und Methoden

Lawinenbrems- und Lawinenauffangverbauungen werden der Lawine frontal entgegengestellt. Die Funktion dieser Schutzbauwerke ist das Auffangen der gesamten Lawinenmasse oder die Reduktion der Lawinengeschwindigkeit, wodurch die Lawinenausläufänge verkürzt wird.

Folgende Bautypen können unterschieden werden:

- Auffangdamm
- Fallboden
- Bremskegel/-höcker, Bremskeil
- Lawinenbrecher

Bei der Situierung von Lawinenbremsverbauungen ist zu berücksichtigen, dass die Wirkung dieser Maßnahmen umso höher ist, je mehr das natürliche Gelände die eigentliche Lawinenablagerung begünstigt. Durch die Erhöhung der Rauigkeit werden die Geschwindigkeit extremer Lawinen und damit die Ausläufänge reduziert. Bereits Mitte des 19. Jahrhunderts wurden Lawinenbremsverbauungen zur Sicherung von höher gelegenen Siedlungen oder Almhütten errichtet.

7.3.3.2 Bautypen: Auffangdamm (-mauer)

Der Grundgedanke des Auffangdammes (der Auffangmauer) besteht darin, dass mit Hilfe eines künstlichen Hindernisses eine Lawine vollständig zum Stillstand gebracht und abgelagert wird (Bild 7-31a). Entscheidend für die Wirksamkeit eines Auffangdammes sind seine wirksame Höhe, die Situierung in der Lawinenbahn, die geometrische Ausgestaltung und das Speichervolumen des Ablagerungsraums. Lawinenauffangdämme sollten deshalb nur dort errichtet werden, wo die Lawinengeschwindigkeit schon gering ist, andererseits ist ein Sicherheitsabstand zu den zu schützenden Objekten erforderlich. Lawinen können zur Gänze aufgefangen und abgelagert werden, aber auch die teilweise Ablagerung einer Lawine und somit ein teilweises Überströmen eines Dammes kann Teil eines Sicherheitskonzeptes sein. Dies ist bei der Situierung eines Dammes zu berücksichtigen. Entscheidend ist des weiteren die Dammneigung an der Lawinenseite, welche möglichst steil sein muss. Auf die

(a)



(b)



Bild 7-31 Zweiteilige, massiv ausgeführte Lawinenmauer zum Schutz des Ortszentrums von Galtür (Tirol): (a): im Überblick; (b): von der Anströmseite gesehen mit dem dahinterliegenden Alpinarium (© WLV Tirol)

geotechnischen Erfordernisse – wie ausreichende Verdichtung des Schüttmaterials und Entwässerung des Stauraumes – ist bei der Errichtung eines Dammes Rücksicht zu nehmen. Die Einwirkung der Lawine spielt bei der Dimensionierung von Auffangdämmen eine untergeordnete Rolle, da die Masse des Dammes in der Regel diese bei weitem überwiegt. Bei der Dimensionierung der Dammhöhe sind Vorverfüllungen des lawinenseitigen Ablagerungsraums durch vorangegangene Lawinenereignisse zu berücksichtigen. Dadurch kann die wirksame Dammhöhe beim Bemessungsereignis deutlich reduziert werden.

Für den voll entwickelten Staubanteil von Mischlawinen und Staublawinen werden Auffangdämme in der Wirkung als vernachlässigbar bewertet. Laborversuche deuten aber darauf hin, dass auch der Staubanteil erheblich durch einen Damm beeinflusst werden kann, wenn die Dammhöhe ca. 40 % der Fließhöhe der Lawine beträgt. Dann kann die Geschwindigkeitsreduktion des Staubanteiles hinter dem Damm 20–40 % betragen [147].

Auffang- und Bremsverbauungen (siehe Abschnitt 7.3.3) können wirkungsvoll kombiniert werden. Die Fließgeschwindigkeit von Lawinen kann durch vorgesetzte Bremsverbauungen herabgesetzt werden, dadurch kann die wirksame Dammhöhe des Auffangbauwerks reduziert werden.

7.3.3.3 Bautypen: Bremshöcker, Bremskegel, Bremskeil

Als Vorreiter der Bremsverbauung wurden zu Beginn des vorigen Jahrhunderts einfache Bremshöcker aus Erdmaterial errichtet und in größerer Anzahl versetzt angeordnet. Die Idee leitete sich ursprünglich von den Spaltkeilen bei alten Häusern in Lawinensturzbahnen ab. Durch die versetzte Anordnung soll eine Verästelung der Lawine im Auslaufbereich und eine Reduktion der Auslauflänge erreicht werden. Bremskegel wurden häufig in einfacher Erdbauweise geschüttet oder mit Bruchsteinen gepflastert, um deren Wirkung zu erhöhen.

Erst neuere Experimente von *Hákonardóttir und Johannesson* [147] zeigen, dass eine Geschwindigkeitsreduktion durch Bremshöcker von 20 % durch eine Höckerreihe und 30 % von zwei Höckerreihen erreicht werden kann, wenn folgende Kriterien erfüllt werden:

- Die Höhe der Bremshöcker muss mindestens die 2- bis 3-fache Fließhöhe der Lawine betragen.
- Die Lawinenseite der Bremshöcker muss mindestens 60° steil sein, und das Verhältnis der Breite zur Höhe der Höcker muss 1 betragen.

(a)



(b)



Bild 7-32 Lawinenbremsverbauung: (a): Bremskegel in der Heiligenblutlawine (Kärnten); (b): Bremshöcker in Neskaupstadir (Island), bemessen nach [147] © Sauermoser

- Die Höcker müssen systematisch über die gesamte Fließbreite der Lawine angeordnet sein, der Zwischenraum zwischen den trapezförmigen Höckern darf nicht mehr als die Kronenbreite der Höcker betragen.
- Die Bremshöcker müssen im Auslaufbereich der Lawine situiert sein, in der Sturzbahn haben die Höcker kaum eine geschwindigkeitsreduzierende Wirkung.

7.3.3.4 Bautypen: Lawinenbrecher

Lawinenbrecher sind massive Bauwerke aus hochbewehrtem Stahlbeton, die einerseits durch die Verwirbelung des Luft-Schneestaub-Gemisches, andererseits durch den Rückstau des Fließanteiles der Mischlawine direkt in den Prozessablauf von Fließ- und Staublawinen eingreifen und die Lawinengeschwindigkeit und somit die Auslaufängen deutlich verkürzen.

Lawinenbrecher können bei Lawinen mit kanalisierter Sturzbahn effiziente und kostengünstige Alternativen zur Errichtung von großflächiger Lawinenanbruchverbauung bzw. Lawinenbrems- und Lawinenauffangverbauung darstellen, wenn diese aus topographischen oder technischen (wirtschaftlichen) Gründen nicht realisiert werden können. Die in der Sturzbahn situierten Lawinenbrecher werden fallweise mit Auffangdämmen und/oder Bremskegeln im beginnenden Ablagerungsgebiet kombiniert. Bei besonderen morphologischen Gegebenheiten (z. B. felsige Steilstufe unterhalb des Anbruchgebiets) wurden Lawinenbrecher auch auf flächigen Lawinenbahnen eingesetzt [308].

In Österreich wurden bisher fünf Lawinenbrecher in Stahlbeton errichtet: Die Lawinenbrecher in der Mühlaierklamm Lawine (Innsbruck/Tirol), in der Hörndlgraben- und Hasental Lawine (Salzburg) und im Rastetzenbach (Bad Hofgastein/Salzburg) sind in kanalisierten Sturzbahnen situiert, in der Gamsleiten Lawine (Obertauern/Salzburg) wurden 9 Lawinenbrecher auf einer flächigen Sturzbahn errichtet.

Die erstmalige Beobachtung der Wirkung von Lawinenbrechern im Rahmen eines Schutzprojektes im Rastetzenbach in Salzburg zeigte, dass das Bauwerk eine Störung des Schnee-Luft-Gemisches im Grenzbereich zwischen Fließ- und Staubanteil bewirken könnte. Diese Wirkung wird verstärkt, wenn das Bauwerk an einem natürlichen Gefällsbruch in der Sturzbahn situiert wird. Die Wirkung des Lawinenbrechers in der Mühlaierklamm-Lawine

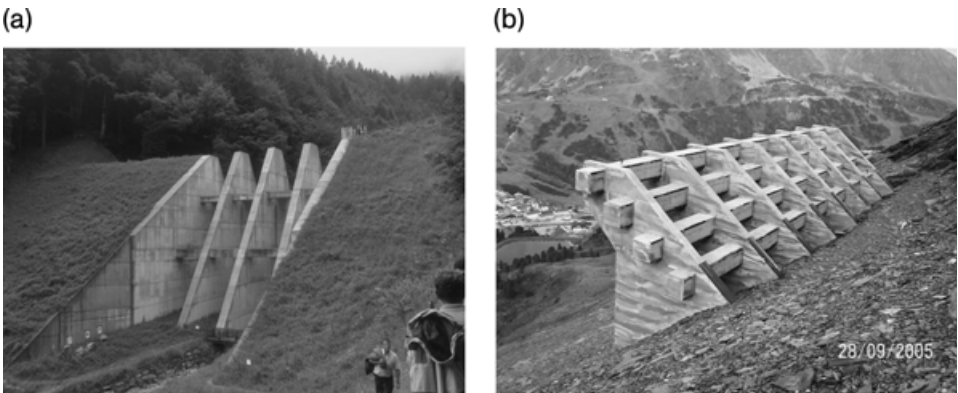


Bild 7-33 Lawinenbrecher: (a): Bauwerke in der Mühlaierklamm Lawine (Innsbruck/Tirol) (© Skolaut) und (b): in der Gamsleiten Lawine (Obertauern/Salzburg) (© WLV Salzburg)

(Tirol) wurde in einem Modellversuch [152] in einer vereinfachten Versuchsanordnung untersucht. Dieser Modellversuch zeigte eine Geschwindigkeitsreduktion in der Größenordnung von 40–60 % gegenüber der Geschwindigkeit der Referenzlawine, also vor dem Auftreffen auf den Lawinenbrecher.

7.3.4 Überleitungsbauwerke und Sonderbauwerke

7.3.4.1 Bautypen: Lawingalerie, Lawinentunnel

Lawingalerien und Lawinentunnel sind Direktschutzmaßnahmen für Verkehrswege in der Sturzbahn oder im Ablagerungsgebiet. Sie schützen Straßen oder Eisenbahnlinien vor Lawinenwirkung, indem sie diese darüber ableiten. Lawingalerien unterscheiden sich von den Lawinentunnels durch Öffnungen an der lawinenabgewandten Seite. Die Errichtung von Lawingalerien oder -tunnels ist besonders dann effizient, wenn es sich um große Anbruchgebiete mit schmalen, klar definierten Sturzbahnen handelt [10][75][310].

Bei der Projektierung von Lawingalerien ist es notwendig, die Art und Größe der Einwirkungen und die Breite der Lawinenbahn zu kennen. Diese Größen können anhand von „stummen Zeugen“, Lawinenchroniken und -simulationen bestimmt werden. Für die Bemessung einer Galerie sind vielfach die Ablagerungen einer Lawine oder Umlenkkräfte entscheidend. Die Galerie soll deshalb für die fließende Lawine ein möglichst kleines Hindernis darstellen. Gefällsbrüche sind möglichst weit oberhalb des Galeriedaches anzuordnen. Da Galerien auch oftmals vor Steinschlägen schützen, sind die bei diesen Prozessen auftretenden Einwirkungen zusätzlich durch einen Geologen zu ermitteln und in die Bemessung mit einzubeziehen.

Die Sturzbahnbreite oder die Breite möglicher Lawinenablagerungen ist das Kriterium für die Bestimmung der Länge einer Galerie oder eines Tunnels. Aus Kostengründen werden häufig Leitdämme bergaufwärts der Galerie zur eindeutigen Begrenzung der Sturzbahn in diesem Abschnitt errichtet, um die Portale auf beiden Seiten vor Lawinenablagerung zu schützen. Bei Lawingalerien kommen Konstruktionen von Halbrahmen – das sind einstielige Rahmen mit bergseitiger Stützwand oder im Fels verankerter Auflagerkonsole – wie auch in den letzten Jahren Gewölbekonstruktionen aus Stahlbeton zum Einsatz. Monolithische Betonkonstruktionen ohne Dilatationsfugen werden heute bevorzugt. Die Größe

(a)



(b)



Bild 7-34 Überleitungsbauwerke: (a): Lawingalerie in Kühtai (Tirol); (b): im Bau befindliche Galerie in der Mahdermähderlawine (Schmirntal/Tirol) (© Sauermoser)

(a)



(b)



Bild 7-35 Verschiedene Varianten der talseitigen Verschalung der Öffnungen von Lawinengalerien: (a): Verschalung mit Betonbalken; (b): Verschalung in Holz (© Sauermoser)

der talseitigen Öffnungen ist davon abhängig, ob der Rückfluss einer Lawine durch die Öffnungen stattfinden kann. Dies ist dann der Fall, wenn sich die Galerie im Auslaufbereich der Lawine befindet und das Gelände talseits der Galerie so flach ist, dass es zu einer Ablagerung der Lawine kommt. Befindet sich eine Galerie direkt in der Sturzbahn der Lawine und es ist kein talseitiges Eindringen der Lawine zu erwarten, können die talseitigen Öffnungen größer gehalten werden.

7.3.4.2 Bautypen: Rohrbrücke

Überquert ein Verkehrsweg eine Lawinensturzbahn in ausreichender Höhe, so kann dieser auch in einer lawinensicheren Rohrbrücke geführt werden. Als Rohrbrücke bezeichnet man ein Brückendeck mit einem geschlossenen Überbau (**Bild 7-36**). Derartige Konstruktionen werden bei der Querung von Lawineneinzugsgebieten mit einer hohen Wahrscheinlichkeit von Staublawinenabgängen ausgeführt. Aufgrund der hohen Kosten und der komplexen Bauausführung werden derartige Schutzbauwerke nur bei schmalen, tief eingeschnittenen Lawinensturzbahnen mit ausreichenden beidseitigen Fundierungsmöglichkeiten (wenn möglich in Fels) errichtet. Rohrbrücken über Lawenstriche existieren in Österreich beispielsweise im Großen Gröben (Bschlabs/Tirol) [75] oder in der Schweiz im Rohrbachgraben am St. Gotthard (Wassen/Kanton Uri) [254].



Bild 7-36 Rohrbrücke im Großen Gröben (Blaberstrasse/Tirol) (© WLV Tirol)

Rudolf-Miklau, F. / Sauermoser, S. (Hrsg.)

Handbuch Technischer Lawinenschutz

Das Werk bietet dem Leser einen Überblick über die Grundlagen der technischen Schutzmaßnahmen gegen Lawinengefahren ("Weißer Tod") und stellt im Detail die Methoden der Planung, Konstruktion, Bemessung und Erhaltung der Lawinenverbauung sowie temporärer technischer Maßnahmen dar.



Bestellfax:+49 (0)30 47031 240 - Ernst & Sohn, Berlin

Anzahl	Bestell-Nr.	Titel	Einzelpreis*
	978-3-433-02947-3	Handbuch Technischer Lawinenschutz	89,- €
		monatlicher Ernst & Sohn E-Mail Newsletter	kostenlos
	2091	Probeheft der Zeitschrift Bautechnik	kostenlos
	2534	Probeheft der Zeitschrift Geotechnik	kostenlos
	905765	Gesamtverzeichnis 2010/2011	kostenlos

Liefer- und Rechnungsanschrift:

☐ privat

☐ geschäftlich

Firma			
Ansprechpartner			Telefon
UST-ID Nr./VAT-ID No.			Fax
Straße//Nr.			E-Mail
Land	-	PLZ	Ort

Wilhelm Ernst & Sohn
Verlag für Architektur und
technische Wissenschaften GmbH & Co. KG
Rotherstraße 21
10245 Berlin
Deutschland
www.ernst-und-sohn.de



Auch auf Facebook und Twitter



Datum / Unterschrift

*€-Preise gelten ausschließlich in Deutschland. Alle Preise enthalten die gesetzliche Mehrwertsteuer. Die Lieferung erfolgt zuzüglich Versandkosten. Es gelten die Lieferungs- und Zahlungsbedingungen des Verlages. Irrtum und Änderungen vorbehalten.
Stand: April 2011 (homepage_Probekapitel)

Jetzt Online bestellen!
www.ernst-und-sohn.de