

Grenzen des modernen Lawinenverbaues im Anrissgebiet

Autor(en): **Schwarz, Walter**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **86 (1968)**

Heft 31

PDF erstellt am: **20.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-70100>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Von **Walter Schwarz**, dipl. Forst-Ing. ETH/SIA, Interlaken

Der moderne Lawinenverbau arbeitet im Lawinenanrissgebiet vor allem mit gegliederten, vorfabrizierten Konstruktionen zur Abstützung der Schneedecke. Dieser sogenannte Stützverbau wird wenn immer möglich durch Verwehungsverbauungen mit windbeeinflussender Wirkung ergänzt.

Die Grenzen der genannten Verbauearten sind in ihrer Art recht vielfach. Sie sind unter anderem bedingt durch die Kosten, das Gelände, die Form der Verbauung, die Niederschlagsmengen, den Wind, die technische Durchführbarkeit usw. Die schwierigsten Grenzprobleme ergeben sich mit Ausnahme des Schneegleitens meist oberhalb der Grenze des Waldes. Diesen im Schutze von Verbauungen wieder hochzuziehen, ist eine langwierige, aber dankbare Aufgabe. Eine erfolgreich abgeschlossene Schutzwaldaufforstung stellt eine natürliche Sicherung gegen Lawinenanbrüche dar.

Bis zu einem gewissen Grade frei bestimmbar ist die *Grösse der Verbaueungsfläche*. Ihre Ausdehnung wird meistens durch den noch zulässigen Grad der Gefährdung des Schutzobjektes (zum Beispiel Dorf, Verkehrsweg) aus der nicht verbauten Anrissfläche bestimmt. Damit kann die Grösse der Verbauungen zwischen einigen Aren und 20 ha Fläche und mehr schwanken. Die zurzeit grösste Verbauung des Alpengebietes am Kühnihorn (St. Antönien) bezweckt den Schutz des Siedlungsraumes der ganzen rechtsseitigen Talflanke bei St. Antönien-Platz und Castels. In dieser Verbauung wurden in der Zeit von 1953 bis 1967 mit Gesamtkosten von 6,53 Mio Fr. auf einer Fläche von 23 ha rund 7500 Laufmeter Schneebrücken aus Vorspannbeton gebaut. Das ganze Projekt Kühnihorn sieht eine Verbauefläche von rund 35 ha und Gesamtkosten von mindestens 10,0 Mio Fr. vor. Aus dem Ausland sei die grösste Verbauung Oesterreichs am Heuberg (Tirol, 1840 bis 2140 m ü. M.) zum Schutze von Häselgehr und seiner Zufahrten in der Talsohle des Lech erwähnt. Mit Kosten von 2,3 Mio Fr. sind hier von 1955 bis 1967 auf einer Fläche von 12,07 ha 4936 m Stützwerke vorwiegend in Stahl aufgestellt worden (Projekt 3,17 Mio Fr., 16 ha, 6550 m).

Aus den obigen Zahlen lassen sich *Verbaueungskosten* pro ha von total 0,191 ÷ 0,284 Mio Fr. errechnen. Im Berner Oberland betrugen bis heute die maximalen totalen Verbaueungskosten pro ha 0,5 Mio Fr. bei einem Durchschnitt von 0,39 Mio Fr. In einzelnen Fällen dürften namentlich bei grossen Werkhöhen der Stützverbauungen und grossem Anteil von Zusatzverbauungen (zum Beispiel Verwehungsverbauungen) Kosten pro ha von bis 0,8 Mio Fr. entstehen.

Der *obere Rand einer Verbaueungsfläche* fällt im Prinzip mit einem Berggrat oder mit dem Hangneigungsbereich von rund 30° auf einer Bergkuppe zusammen; bei Unterschreitung von 30° wird nicht mehr verbaut. Als oberer verbaueungswürdiger Hangneigungsbereich wurde bis heute 45 ÷ 50° betrachtet. In der Annahme, dass sich Steil-

hänge mit grösserer Neigung fortlaufend in häufigen, kleinen und ungefährlichen Portionen von ihren Schneemassen entladen, wurden bis anhin solche lokalen, übersteilen Zonen eines Verbaueungsareales nicht verbaut. Wie aus Bild 1 hervorgeht, können gerade diese unverbauten Steilzonen unter Umständen Anlass zu Anbrüchen von Schneebrütern geben, die sich in verbaute Zonen ausdehnen und darunterliegende Verbauegebiete überfluten. Andererseits ist bekannt, dass Stützwerke mit hohem Füllungsgrad des Druckrostes (Anteil der gefüllten Rostfläche zur Totalfläche des Druckrostes) in sehr steilen Hängen (über etwa 45°) schon frühzeitig im Winter durch Lockerschneerutsche hinterfüllt oder eingeweht und eingeschnitten werden können und dadurch ihre Wirksamkeit bald einbüssen (vgl. Bild 1, Schneebrücke unten links). Schneenetze mit einem minimalen Füllungsgrad von weniger als 10% erlauben einerseits ein Durchfliessen von in Bewegung geratenen Schneemassen ohne Hinterfüllung der Werke und andererseits doch den Aufbau und die Abstützung einer verfestigten Schneedecke auch in steilsten Hangpartien. Dies erscheint heute als eines der wenigen gerechtfertigten Anwendungsgebiete der Schneenetze, die übrigens konstruktiv noch nicht durchentwickelt sind und die grössten Unterhaltskosten aller Stützverbaueotypen erfordern.

Eine Verbauung sehr steiler Flanken in einem Verbaueungsgebiet wird immer denkbar schwierig sein und auf alle Fälle die Wirksamkeit der ganzen Verbauung beeinträchtigen. Es muss daher sehr wohl überlegt werden, ob Anrissgebiete mit zunehmender Aufsteilung nach oben, das heisst mit konkavem Geländeprofil, überhaupt mit Stützwerken verbaut werden sollen, oder ob andere Verbaueungsmöglichkeiten in Betracht gezogen werden müssen (Galerien, Umsiedlungen, Brems- und Auffangverbauungen usw.).

Ebenfalls bei konkavem Geländeprofil können sich aus dem *unteren Bereich* der verbaueungswürdigen Hangneigung Überraschungen ergeben. Vor der Verbauung der oberen, steileren Hangstufen von beispielsweise 37 ÷ 45° Hangneigung können sich die darunterliegenden, weniger geneigten Hangpartien meistens mitentladen. Nach dem Verbau der oberen Anrisszonen baut sich unterhalb der Verbauung im Neigungsbereich von beispielsweise 31 ÷ 37° eine weniger gestörte Schneedecke auf, was die Entstehung von wohl selteneren, aber mächtigeren Lawinen ermöglicht. Eine zu knappe Bemessung der Verbaueflächen nach unten wird sich früher oder später durch teilweise unerwartete Lawinen von grossem Ausmass rächen.

Die *seitliche Begrenzung* einer Stützverbauung führt zu Schwierigkeiten, wenn die Verbauung nicht ganze Geländekammern umfasst und die seitlichen Begrenzungslinien beispielsweise nicht mit markanten Geländerippen, Felsbändern usw. zusammenfallen. Bei offenen seitlichen Verbaueungsrändern kann bei Bodenlawinen deren Ausbreitung in die Verbauezone durch armierte Betontrennwände von

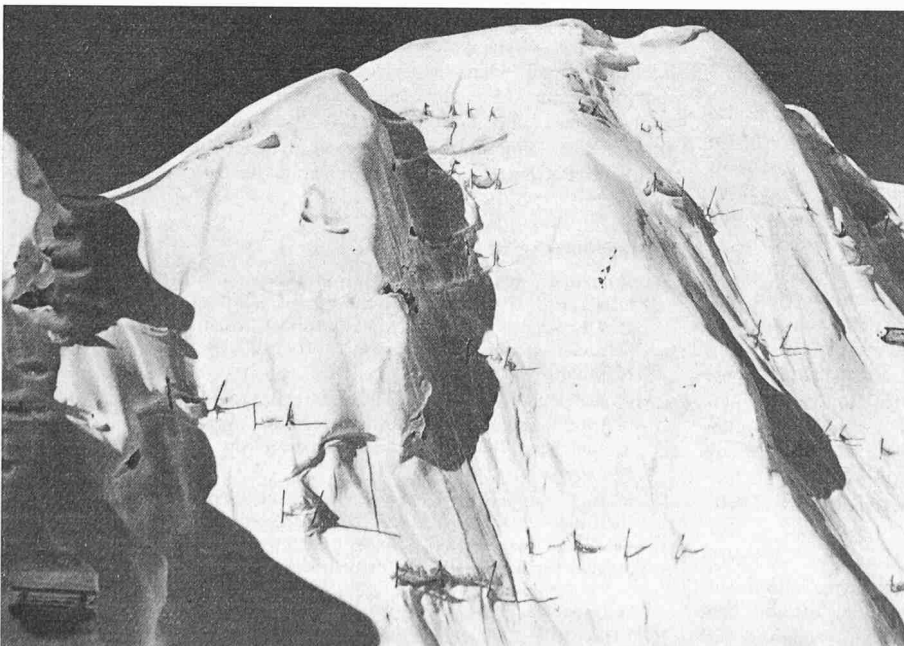
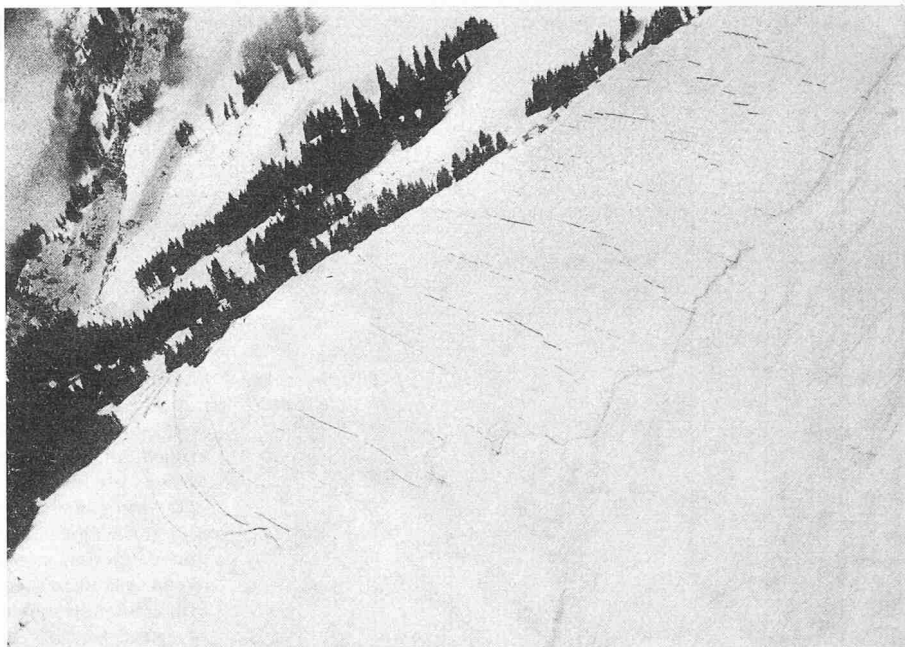


Bild 1. Stützverbauungen mit Schneenetzen im obersten Teil der Lawinenanrissgebiete am Geissberg, 2375 m ü. M. (Gurtellen). Die steilsten Gipfelaufschwünge mit einer Hangneigung von über 45 ÷ 50° sind nicht verbaut und bilden das Anrissgebiet eines Schneebrettes mit seitlicher Ausbreitung in die verbaute Zonen. Unten links eine keilartig hinterfüllte Schneebrücke. Aufnahme 29. 1. 68 von W. Schwarz

Bild 2. Lawinenniedergang vom 21.3.67 östlich der stark eingeschnittenen Lawinenverbauung Tanngrindel/Brienz. Trotz des offenen Verbauungsrandes breitete sich in diesem Fall das Schneebrett mit einer Breitenentwicklung von 1500 m nicht in die Stützverbauung hinein aus. Die seitlichen Anrisslinien fallen mit dem Verbauungsrand zusammen; die stabilisierende Wirkung der Stützverbauung auf die Schneedecke ist eindeutig sichtbar. Aufnahme 21.3.67 von W. Schwarz



1 ÷ 2 m Höhe verunmöglicht werden. Bei den hochwinterlichen und vor allem zu beachtenden Oberflächenlawinen kann versucht werden, deren Ausbreitung von der unverbauten in die verbaute Zone durch 3 ÷ 4 m hohe Trennwände zu verhindern; dabei ist zu bedenken, dass diese Wände wie Triebsschneewände wirken können. Eine weitere Möglichkeit zur Verhinderung des Einrissens von Lawinen besteht im Einbau von zusätzlichen Werken von minimal 10 m Länge in der Randzone und zwischen die ordentlichen Werkabstände in der Hangfall-Linie.

Die Grösse des offenen Verbauungsrandes im Verhältnis zur ganzen Verbaufläche sowie die Form der Verbauung stellen übrigens – nebst anderen – zwei Kriterien für den Wirkungsgrad einer Stützverbauung dar. Je geschlossener eine Verbauung in sich ist und je kleiner die Anzahl Laufmeter offener Verbauungsrand pro ha Verbaufläche ist, umso höher kann der Wirkungsgrad oder der Sicherheitsgrad, den eine Verbauung zu bieten vermag, veranschlagt werden. Im Berner Oberland ergeben sich beispielsweise folgende Verhältniszahlen von der Länge des offenen Verbauungsrandes zur Verbaufläche:

Tanngrindel (Brienz)	120 m/ha
Gantlauen (St. Stephan)	90 m/ha
Marchegg (Lauterbrunnen)	40 m/ha

Wenn es gelände- und kostenmässig möglich ist, soll bei der Projektierung einer Stützverbauung auf die Vermeidung von offenen Verbauungsändern und auf die Formgebung der Verbauung Rücksicht genommen werden.

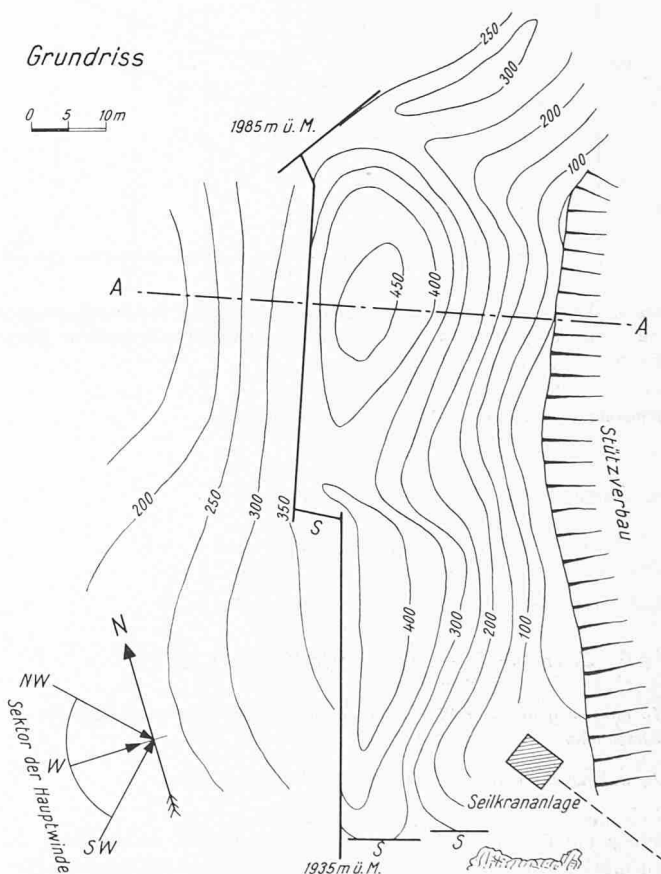
Einer Anrissverbauung sind auch höhenmässig naturbedingte Grenzen gesetzt. Bis heute erreichten gegliederte Stützverbauungen folgende maximale Meereshöhen:

Berner Oberland	bis 2200 m ü. M.
Urnerland, Geissberg (Gurtellen)	2375 m ü. M.
Tessin, Vallascia (Airolo)	2480 m ü. M.
Wallis, Schweifinen (Zermatt)	2260 bis 2900 m ü. M.
Graubünden, Kühnihorn (St. Antönien)	2410 m ü. M.
Graubünden, Clünas-Plütschessa (Ftan)	2750 m ü. M.

In den niederschlagsreicheren Alpenrandzonen gehen demnach keine gegliederten Stützverbauungen über rund 2500 m ü. M. hinaus, während solche in den niederschlagsärmeren Gebieten des Wallis und des Engadins bis in Höhenlagen von 2900 m ü. M. hinauf gebaut werden. Eine Ausnahme am Alpennordrand stellt die 1967 begonnene, aber in ihrer Fortführung nicht gesicherte Stützverbauung «Schneefernerhaus» an der Zugspitze (Deutschland) dar; diese Verbauung reicht an einem südost-exponierten Hang bis auf 2820 m ü. M. hinauf und sieht weitgehend Werke mit Rosthöhen von D_K 400 und 450 cm vor.

Allgemein kann gesagt werden, dass alle bisherigen Stützverbauungen sowohl unterhalb der lokalen Firn- wie der Permafrostzone blieben. Diese beiden Grenzzonen gebieten höhenmässig einer weiteren Ausdehnung der Stützverbauungen Halt. Meist ist es jedoch

Grundriss



Querschnitt A-A 2-fach überhöht

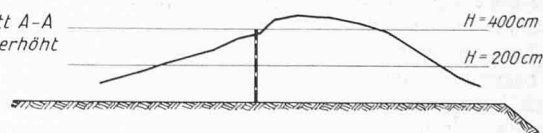


Bild 3. Triebsschneeeablagerungen am 14. April 1967 im Bereich der Triebsschneewände OeAM ($H = 400$ cm) auf Fachswang, Lawinenverbauung Tanngrindel, Brienz. Die Triebsschneewände stehen ungefähr in der Hangfall-Linie und mehr oder weniger senkrecht zur Hauptwindrichtung. Die mittlere Hangneigung im Bereich der Triebsschneewände beträgt 29° . S = Schneebrücken mit Füllungsgrad min. 65 %

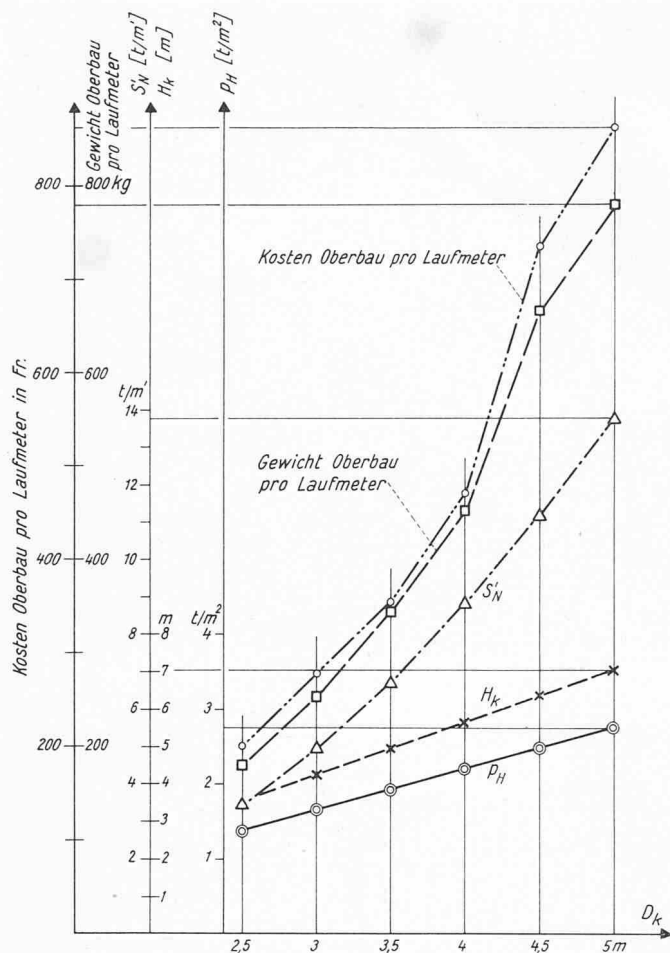


Bild 4. Werk- und Schneehöhen, Schneedruckgrößen, Laufmetergewichte und Preise, dargestellt an Stahl-Schneebrücken OeAM verschiedener Werkgrößen

Schneebrücken mit gelenkiger Fundament-Lagerung

$$\psi = 45^\circ \quad N = 2,5 \quad f_c = 1,1$$

Hangparallele Schneedruckkomponente S'_N

$$S'_N = \gamma_s \frac{H_s^2}{2} K N f_c \quad [\text{t/m}^2]$$

Spezifischer Schneedruck im ersten Belastungsfall p_H

$$p_H = \frac{S'_N}{D} \quad [\text{t/m}^2]$$

H_K lotrecht gemessene Werkhöhe, entspricht der maximal abstützbaren Schneehöhe

D_K wirksame Rosthöhe (senkrecht zum Hang gemessen)

bereits die Grösse der «verbaubaren Schneehöhe», welche über die Ausführbarkeit einer Stützverbauung in hohen Lagen entscheidet. Bis heute wurden nur Stützwerke mit einer maximalen wirksamen Rosthöhe D_K von 400 cm verwendet. Mit solchen Werken wird im Gelände von beispielsweise 45° Neigung die Abstützung einer Schneedecke von rund 560 cm lotrechter Höhe ermöglicht. Namentlich in Lagen über etwa 2400 m ü.M. in den Alpenrandzonen und tiefer auch in ausgeprägten Leelagen genügen Werke mit Rosthöhen D_K von 400 cm meist nicht mehr zur vollständigen Abstützung der Schneedecke. Mit Schneebrücken von $D_K = 500$ cm (lotrechte, abstützbare Schneehöhe bei einer Hangneigung von 45° rund 700 cm) können Stützverbauungen wohl in noch schneereichere Gebiete ausgedehnt werden. Der Preis hierfür ist aber beträchtlich und vorläufig wohl nur in den seltensten Fällen tragbar. Wie aus Bild 3 hervorgeht, machen die Kosten für eine Schneebrücke $D_K = 500$ cm allein für den Oberbau pro Laufmeter rund 80% mehr aus als bei einer Schneebrücke mit $D_K = 400$ cm, während der im Quadrat zur Schneehöhe ansteigende Schneedruck sich gleichzeitig um 56% erhöht.

Vorteilhafter als der Einbau von Stützwerken mit grössten Rosthöhen ist die Reduzierung der Triebsschneeeablagerungen in den Anrisszonen mittels Triebsschneewänden im luvseitigen Vorgelände der maximalen Schneeeablagerungen. Der Preisunterschied pro Laufmeter beträgt beispielsweise für den Oberbau von Stahl-Schneebrücken mit D_K 500 bzw. 400 cm rund 300 Fr., was nicht ganz den Anschaffungskosten einer Triebsschneewand in Stahl OeAM und mit lotrechter Werkhöhe von 400 cm entspricht. Mit den genannten Triebsschneewänden können gemäss Bild 4 bis rund 100 m³ Triebsschnee pro Laufmeter Wand in gewünschten Geländeabschnitten mit Hangneigungen von meist unter 31° zur Ablagerung gezwungen werden. In der Verbauung Tanngrindel (Brienz) beispielsweise wird der oberste Teil des Anrissgebietes auf diese Weise von rund 10000 m³ Triebsschnee entlastet, wodurch dort eine Anrissverbauung überhaupt erst möglich wurde.

Die maximale Hinterfüllung der bisher verwendeten Triebsschneewände von maximal 400 cm Höhe ist oft bereits lange vor Winterende erreicht, sodass im weiteren Verlauf des Winters die Triebsschneemassen wieder im ursprünglichen Leegebiet abgelagert werden. Mit der Anwendung noch grösserer Wände von bis 500 cm Höhe kann hier noch eine längere Wirkungsdauer der Wände erzielt und das zur Ablagerung gezwungene Schneevolumen noch vergrössert werden. Wenn geländemässig möglich, kann der selbe Effekt ebenfalls durch Hintereinanderstaffeln mehrerer Wände erreicht werden.

Streichen die Winde ungefähr senkrecht zu den Niveaulinien und befindet sich das windbestrichene Gebiet mit herbeizuführender Triebsschneeeablagerung in einem Hang, dann müssen die Triebsschneewände durch konventionelle Stützwerke mit erhöhtem Füllungsgrad ersetzt werden. Stütz- und Verwehungsverbauungen fliessen in solchen Fällen ineinander über und stellen ein Arbeitsgebiet des modernen Lawinenverbaues dar, über welches noch wenig Erfahrungen vorliegen. Bereits über den reinen Verwehungsverbau in gebirgigem Gebiet fehlen sowohl qualitative wie quantitative Untersuchungsergebnisse fast vollständig.

Der weiter vorne bereits mehrere Male genannte Füllungsgrad des Druckrostes bedarf noch einer weiteren Besprechung, da er mit den Grenzen der Wirksamkeit einer Stützverbauung eng verknüpft ist. Der Druckrost eines Stützwerkes muss einerseits die Schneedruckkräfte auf die Tragkonstruktion des Stützwerkes übertragen, und andererseits sollte der Füllungsgrad einer möglichst ungestörten Schneeeablagerung nicht entgegenwirken. Diese letzte Bedingung wird bei Anwendung der in den «Richtlinien für den permanenten Stützverbau» [6] vorgeschriebenen maximalen lichten Weiten zwischen den Balken von 30 cm noch gut erfüllt. Von fabrikationstechnischer Seite her werden nun aus Rationalisierungsgründen, das heisst um möglichst die gleichen Balkenprofile für alle Werkgrößen verwenden zu können, die Balkenzwischenräume mit zunehmender Höhe (was einem zunehmenden Schneedruck entspricht) von 30 cm ($D_K = 250$ und 300 cm) auf 24 cm ($D_K = 350$ cm) und auf 19,5 cm ($D_K = 400$ cm) verkleinert und die entsprechenden Füllungsgrade der Druckrostflächen von 43 über 49 auf 54% vergrössert. Dadurch sind die grossen Werke anfälliger auf Einwehung, Hinterfüllung durch Lockerschneerutsche und auf vorzeitiges Eingeschnittenwerden.

Die Entwicklung der Balkenprofile erfolgte über die verhältnismässig dünnwandigen Profile (3 ÷ 4 mm) grosser Abmessung, die auf lokale Kraftspitzen mit bleibenden Deformationen reagierten, zu gedrunenen und bis 10 mm starken Profilen. Heute sind im Lawinenverbau solche kaltverformte Balkenprofile aus Stahl am gebräuchlichsten.

Um den bei grossen Werkhöhen zu geschlossenen Druckrost wieder stärker aufzulösen und die sich einstellenden Nachteile der massiven Verbauweise mit Trockenmauern in Bezug auf möglichst ungestörte Schneeeablagerung vermeiden zu können, stehen folgende Möglichkeiten offen: Vergrösserung der Profilhöhen bei gleichbleibenden Materialgüten; Verwendung von Stahlsorten höherer Gütegruppen; Übergang zu Walzprofilen.

Von Bedeutung für die Wirksamkeit einer Stützverbauung sind ebenfalls die gewählten Werkabstände und die Verbaupweise. Die Letzteren haben sich bei Anwendung im Rahmen der «Richtlinien für den permanenten Stützverbau» [6] in der Verbauungspraxis bis heute durchaus bewährt.

Problematischer als Werkabstand und Verbaupweise ist aber die möglichst genaue Erfassung der grundlegenden maximalen Schneehöhen. Die extreme Schneehöhe H an einem Werkstandort, die massgebend für die Bestimmung der Werkgrösse und damit für das Funktionieren der Stützverbauung überhaupt ist, wird einerseits aus

direkten Beobachtungen aus dem Verbauegebiet ermittelt (Windeinfluss!). Andererseits beruht die Berechnung der extremen Schneehöhe H auf der aus langjährigen meteorologischen Reihen benachbarter Beobachtungsstationen abgeschätzten mittleren extremen Schneehöhe H einer Verbaueungslage. Da die verwendbaren meteorologischen Beobachtungsreihen sich meistens nur über die letzten 20 ÷ 30 Jahre zurückerstrecken, liegt hier ein grosser Unsicherheitsfaktor für die Bemessung der Werkhöhen unserer Stützverbaueungen. Eingeschnellte und überdeckte Anrissverbaueungen stützen die Schneedecke nicht mehr vollständig ab, und das Anbrechen grossflächiger Lawinen über der Verbaueung wird wieder möglich. Wenn der letzte schnee- und lawinenreiche Winter 1967/68 einige Lehren gebracht hat, dann ist es neben der Unterstreichung der Bedeutung des Windes vor allem die Erkenntnis, dass dem Problem der Abstimmung der Werkhöhen der Stützverbaueungen auf die maximalen Schneehöhen mehr Aufmerksamkeit geschenkt werden muss. Neben der Überprüfung der Werte der mittleren extremen Schneehöhe einer Region sollte gesamtschweizerisch an geeigneten Beispielen versucht werden, die durchschnittliche windbedingte Erhöhung dieses Wertes für ganze Leelagen (meist Verbaueungslagen) zu erfassen.

Dies sei anschliessend an einem Beispiel einer Lawinenverbaueung des Berner Oberlandes dargestellt: Die grösstenteils südost-exponierte Lawinenverbaueung Tanngrindel (Brienz), 1600 ÷ 2000 m ü. M., mit total 2093 Laufmetern Stützwerken, bedeckt eine leeseitige Fläche von rund 4 ha Grösse. Auf dieser Verbauefläche waren die Stützwerke sowohl am 21. 3. 67 wie am 21. 1. 68 praktisch randvoll eingeschnellt oder leicht überdeckt (1967 15% der Werke, 1968 rund 75% der Werke nicht mehr sichtbar). Es kann somit gesagt werden, dass die mittlere Schneehöhe in der ganzen Verbaueung die mittlere lotrechte Werkhöhe etwas übertroffen hat, die mit 390 cm errechnet wurde. Demgegenüber wird für die Region Brienzgrat oberhalb 1700 m ü. M. mit einer mittleren extremen Schneehöhe H von 300 cm (ohne Windeinfluss!) gerechnet. Falls diese letztere Berechnungsannahme stimmt, entfallen auf windbedingte Schneeeablagerungen im ganzen leeseitigen Verbauegebiet im Durchschnitt 90 cm. Ein gewisser und schwer zu bestimmender Anteil dieser zusätzlichen 90 cm kann dabei auf eine windbeeinflussende Wirkung der Stützwerke selbst zurückzuführen sein.

Stützverbaueungen haben zur Aufgabe, das Abgleiten von Lawinen überhaupt zu verhindern, oder doch deren Ausbreitung sowohl flächen- wie geschwindigkeits- und mengenmässig in beschränktem Rahmen zu halten. Diese Formulierung nimmt Rücksicht darauf, dass bei offenen Verbaueungsrändern Lawinen in die Verbaueung einreissen können, dass die Anbruchsicherung in einer Stützverbaueung namentlich für die allerobere Neuschneesicht und für Lockerschnee nicht vollständig ist und ein Verbaue bei ungünstigem, namentlich konkavem Geländeprofil mit Steilaufschwüngen viele Probleme aufgibt. Nach dieser Umschreibung dürfen wir also von einer Stütz-

verbaueung nicht in allen Fällen eine absolute Schutzwirkung erwarten. Ein Restrisiko liegt in den dargestellten Unzulänglichkeiten und vor allem in ausserordentlichen Wettersituationen.

Gerade weil sich die Betrachtungen dieses Aufsatzes vorwiegend mit den Grenzen der Möglichkeit des modernen Anrissverbaues befassen, müssen auch die *Erfolge* dieser Massnahmen kurz dargestellt werden. In den beiden Alpenländern, die sich am meisten mit Problemen des Lawinenschutzes auseinandersetzen müssen, wurden gegliederte Stützverbaueungen als Hauptschutzmassnahmen von folgendem Ausmass erstellt:

Schweiz 1936 bis 1966 permanente Stützverbaueungen	89074 m
Stützverbaueungen aus Holz	31613 m
Oesterreich 1945 bis 1967 Total Stützverbaueungen	56965 m

In der Schweiz betrugen hiezu die Gesamtkosten (Verbaue einschliesslich Begründung neuer oder Wiederherstellung zerstörter Schutzwaldungen) seit 1951 rund 100 Mio Fr.

Seit Beginn der gegliederten Stützverbaueungen in grossem Ausmass (nach 1951) sind keine Schadenfälle von Lawinen bekannt, die aus vollständig verbaueuten Anrissgebieten stammen. Auch im letzten Lawinenwinter 1967/68 haben die gegliederten Stützverbaueungen ihre Aufgabe vollauf erfüllt. Diese positiven Feststellungen dürfen für die Schnee- und Lawinenforschung als Antrieb zur unentwegten Weiterführung ihrer Arbeiten und für die Gebirgskantone und den Bund als Rechtfertigung ihrer Anstrengungen auf dem Gebiete des Lawinenverbaues gelten.

Literaturverzeichnis

- [1] Haefeli, R.: Schneemechanik mit Hinweisen auf die Erdbaumechanik in «Der Schnee und seine Metamorphose». Beitrag zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Serie Hydrologie, Lfg. 3. Bern 1939. – Neuere Entwicklungstendenzen und Probleme des Lawinenverbaues im Anbruchgebiet, in No. 26 «Beiheft zu den Zeitschriften des Schweiz. Forstvereins» 1951. – Fundationsprobleme des Lawinenverbaues in «Mitteilungen VAW an der ETH», Nr. 32, 1954. – Von den Anfängen der Schnee- und Lawinenforschung in «Schweiz. Zeitschrift für Forstwesen» 1961.
- [2]
- [3]
- [4]
- [5] Bucher, E.: Beitrag zu den theoretischen Grundlagen des Lawinenverbaues in «Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Serie Hydrologie, Lfg. 6», Bern 1948.
- [6] Lawinenverbaue im Anbruchgebiet, Richtlinien für den permanenten Stützverbaue (Eidg. Inspektion für Forstwesen, Bern, 1961).
- [7] Kommentar zu den Richtlinien für den permanenten Stützverbaue vom Februar 1961. (Mitteilungen des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung, Mai 1963, Nr. 19).

Adresse des Verfassers: Walter Schwarz, dipl. Forst-Ing. ETH/SIA, 3800 Interlaken, Renggliweg 3.

Das Problem der Tragfähigkeit der Eisdecke anlässlich der Zürcher Seegfrörni¹ 1963

Von Dr. H. Röthlisberger, VAW – ETH, Zürich

DK 627.17:549.511.1

Einleitung

Als sich gegen Ende Januar 1963 die Eisdecke im untersten Zürichseebecken schloss, gelangte das Inspektorat der Stadtpolizei mit dem Wunsch um Beratung in technischen Fragen an die Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH und an die Schweizerische Meteorologische Zentralanstalt (MZA). Dem Gesuch wurde gerne entsprochen, wurde doch damit eine Tradition fortgesetzt, dass die Stadt bei Seegfrörnen an die ETH und an die MZA gelangt. Im Februar/März 1929 stützte sich die Stadtpolizei auf Angaben von Professor Albert Heim und Direktor Julius Maurer. Im Februar 1940, als sich die Eisfläche bis nach Zürich auszubreiten begann, arbeitete der damalige Chef der Erdbau-Abteilung der VAW, Dr. R. Haefeli, ein Programm aus, das eingehende Belastungsversuche und die technische Prüfung von Eisproben in Zusammenarbeit mit der EMPA vorsah, die in der Folge nicht zur Ausführung kamen, weil frühzeitig Tauwetter einsetzte. Auch 1941 konnten die neuerlichen Vor-

schläge der EMPA nicht ausgeführt werden. 1963 wurde die Abteilung für Hydrologie und Glaziologie der VAW mit der Beurteilung der Tragfähigkeit des Eises betraut, unterstützt und beraten durch die Erdbau-Abteilung und die Direktion. Die Arbeiten wurden in direktem Kontakt mit der Seepolizei ausgeführt. Allen Beteiligten, insbesondere dem Inspektorat der Stadtpolizei als Auftraggeber, sei an dieser Stelle für die Förderung der Untersuchungen gedankt. Besonderen Dank verdienen auch die amerikanischen Kollegen des U.S. Army Cold Regions Research and Engineering Laboratory (CRREL, früher SIPRE), die uns mit ihrer grossen Erfahrung auf dem Gebiet der Eistragfähigkeit behilflich waren.

Frühere Erfahrungen

Die Tragfähigkeit des Eises auf zugefrorenen Seen und Flüssen hat in nordischen Ländern sowohl wirtschaftliche wie militärische Bedeutung, wobei in erster Linie die schweren Einzellasten interessieren. Im militärischen Schrifttum sind aber auch Angaben für einzelne Personen oder Truppenverbände zu finden (Tabelle 1), während uns die früheren Seegfrörnen selbst die besten Unterlagen für grosse Volksmassen liefern. Vom untersten Zürichseebecken wissen wir, dass das Eis am 25. Januar 1880 bei 13 ÷ 15 cm, am 27. Januar 1891

¹) Mundartausdruck für das totale Gefrieren der Seen in genügender Stärke, so dass grosse Volksmassen die Eisfläche betreten können. Da dies in Zürich im Mittel nur etwa alle 30 Jahre einmal geschieht, wird die Seegfrörni als grosses Volksfest auf dem Eis gefeiert, wobei die Stadtpolizei die Verantwortung für die Sicherheit der Bevölkerung zu übernehmen hat.