

Diskussionsbeitrag zum Lawinenverbau

Autor(en): **Bucher, Edwin**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal
= Journal forestier suisse**

Band (Jahr): **98 (1947)**

Heft 1

PDF erstellt am: **12.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-767328>

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.

en-dessus de la limite supérieure de la végétation forestière, proviennent de planches de neige. On peut empêcher leur formation par des constructions massives. Mais la qualité des pierres à disposition n'est pas toujours bonne. Puis elles ne peuvent être fondées sur des éboulis. Enfin, l'entretien de ces ouvrages construits en-dessus de la limite supérieure de la végétation forestière est coûteux. Les terrasses en mottes de terre sont sans effet lorsque la couche de neige est épaisse. Craignant les frais d'entretien, on n'a pas osé construire des ouvrages à structure en treillis mais seulement des constructions massives. Et pourtant ils sont en maintes circonstances la seule protection efficace possible. Le matériel préférable est le bois de mélèze imprégné. La nature et la répartition de ces ouvrages à structure en treillis dépendent des conditions locales. Ce sont soit des ouvrages continus sous la forme des ponts de neige se développant dans l'horizontale, des ouvrages dispersés formant des points d'appui, ou alors des constructions se développant dans la ligne de chute, qui arment en quelque sorte la couche neigeuse. Leur forme peut varier à l'infini. Pour un cas concret la découverte de la meilleure forme sera trouvée par le praticien qui s'appuie sur la théorie et la recherche scientifique.

Ch. Gonet.

Diskussionsbeitrag zum Lawinenverbau

Von *Edwin Bucher*

Vorsteher des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung

1. Einleitung und Problemstellung

« Es gibt nichts Praktischeres als eine gute Theorie »; diesem Wahlspruch kommt allgemeine, im Kampfe gegen Naturgewalten aber ganz besondere Bedeutung zu.

Gerade in dem hier zur Diskussion stehenden Fachgebiet des Lawinenverbaues zeigt sich immer wieder, wie mannigfach die Einflüsse sind, welche das Gesamtgeschehen diktieren, und wie schwierig sich deshalb die Projektierung von wirksamen Schutzmaßnahmen gestaltet, wenn man sich nicht auf eine allgemeingültige Theorie stützen kann. In Erkenntnis dieser Schwierigkeiten haben sich 1931 Interessenten aus Kreisen der Wissenschaft und Praxis zu einer Studienkommission zusammengeschlossen mit dem Zweck, die mechanischen Gesetze der Lawinenbildung abzuklären. Das war der Grundstein zu dem im Jahre 1943 errichteten Eidgenössischen Institut für Schnee- und Lawinenforschung auf Weißfluhjoch oberhalb Davos.

Und wo stehen wir heute ? Wohl sind die grundlegenden physikalischen Eigenschaften des Schnees bekannt; wohl ist es in jüngster Zeit auch möglich geworden, tiefer in die Spannungserscheinungen der Schneedecke Einblick zu gewinnen und damit die Lawinenbildung auf

allgemeingültige, mechanische Gesetze zurückzuführen; wohl sind wir schließlich auch daran, diese Theorien in einfache Formen zu bringen und so weiteren Kreisen zugänglich zu machen — doch müssen wir uns bei allen diesen Erörterungen vorläufig auf das *Grundsätzliche* beschränken. Man muß sich vor der Frage nach dem Heilmittel das Wesen der Krankheit überlegen: Warum bricht eine Lawine an? Warum hier und nicht dort? Warum heute und nicht morgen? Einige Hinweise mögen die Vielgestaltigkeit dieser Fragestellungen erläutern.

Schnee ist ein in chemischer Beziehung überaus einfaches, in mechanischer Hinsicht aber sehr unübersichtliches Aggregat. Bedenkt man, daß dieser Stoff ein Raumgewicht von 30, aber auch bis 600 kg/m³ aufweisen kann, daß es sich um ein kristallines Lockeraggregat handelt, dessen Bausteine hinsichtlich Größe, Form und gegenseitiger Lagerung in Funktion der Zeit ständig ändern, so wird der Umfang derartiger Laboratoriumsuntersuchungen ohne weiteres verständlich.

Die bei den Feststoffen konstanten Materialwerte stellen hier Funktionen von Ort und Zeit dar. Doch damit nicht genug. Auch die Auflagerverhältnisse der natürlichen Schneedecke sind im Allgemeinfall recht unübersichtlich. Sowohl die wechselnden Terrainneigungen als auch die ungleichen Schneehöhen bedingen Beschleunigungen und Verzögerungen im plastischen Fluß der weißen Decke, so daß im natürlichen Allgemeinfall überaus komplizierte Spannungsbilder entstehen.

Ähnlich demjenigen einer Brücke wird das Eigengewicht des Schnees durch mehrere Auflager auf den festen Untergrund übertragen. Wenn nun eine gegebene Schneedecke, beziehungsweise -brücke, durch zusätzliche Auflasten immer mehr beansprucht wird oder aber das Konstruktionsmaterial selber eine Einbuße seiner ohnehin geringen Festigkeit erleidet, so muß es zwangsläufig zum Bruch kommen. Beide Erscheinungen treten bei der Bruchbildung der Schneedecke ungefähr gleich häufig auf: *Entweder ist es der durch fortgesetzte Schneefälle eintretende lokale Spannungsanstieg oder aber der Kohäsionsverlust des Materials, welcher zum Bruch führt.*

Wir haben es also bei jeder Stabilitätsuntersuchung mit zwei verschiedenen Werten, der *Spannungsgröße* und der *Materialfestigkeit*, zu tun. Zeichnet man diese Veränderlichen gemäß Figur 1 in Funktion der Zeit auf, so läßt sich der Sicherheitsgrad jedes Körperelementes sehr einfach verfolgen. Divergenz der beiden Kurven bedeutet Stabilisierung, Konvergenz Zunahme des Gefahrengrades; kommen Spannungs- und Festigkeitskurven an irgendeinem Ort zum Schnitt, so tritt unweigerlich der Bruch ein. Figur 2 veranschaulicht die Bruchbildung infolge Spannungsanstieg beim Schneehöhenzuwachs, während Figur 3 den Abfall der Festigkeitskurve beispielsweise infolge plötzlicher Erwärmung zum Ausdruck bringt.

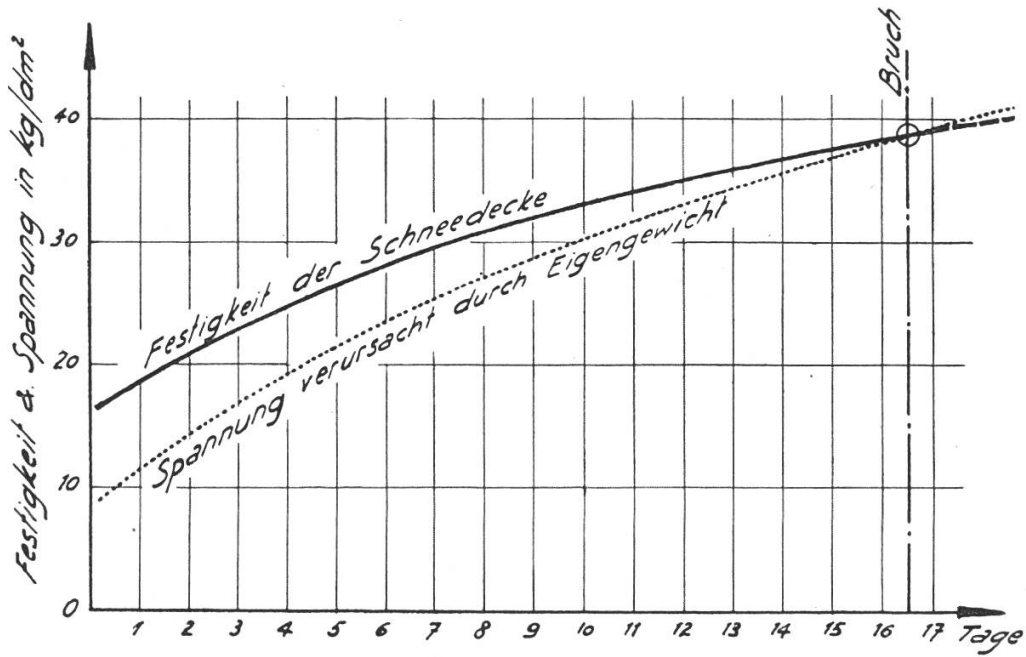


Fig. 1 Stabilitätsdiagramm

Diagramme de stabilité.

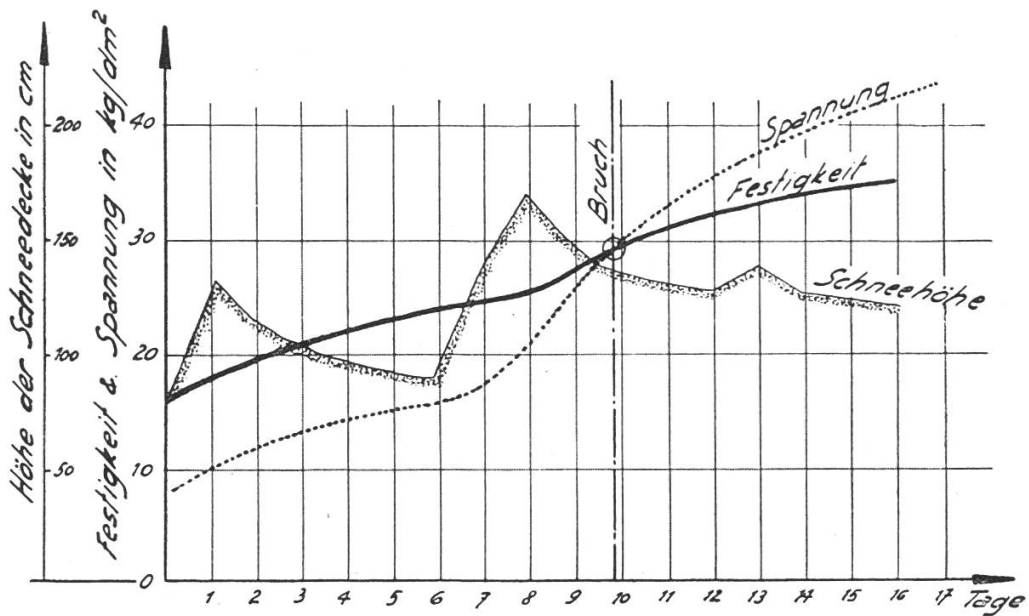
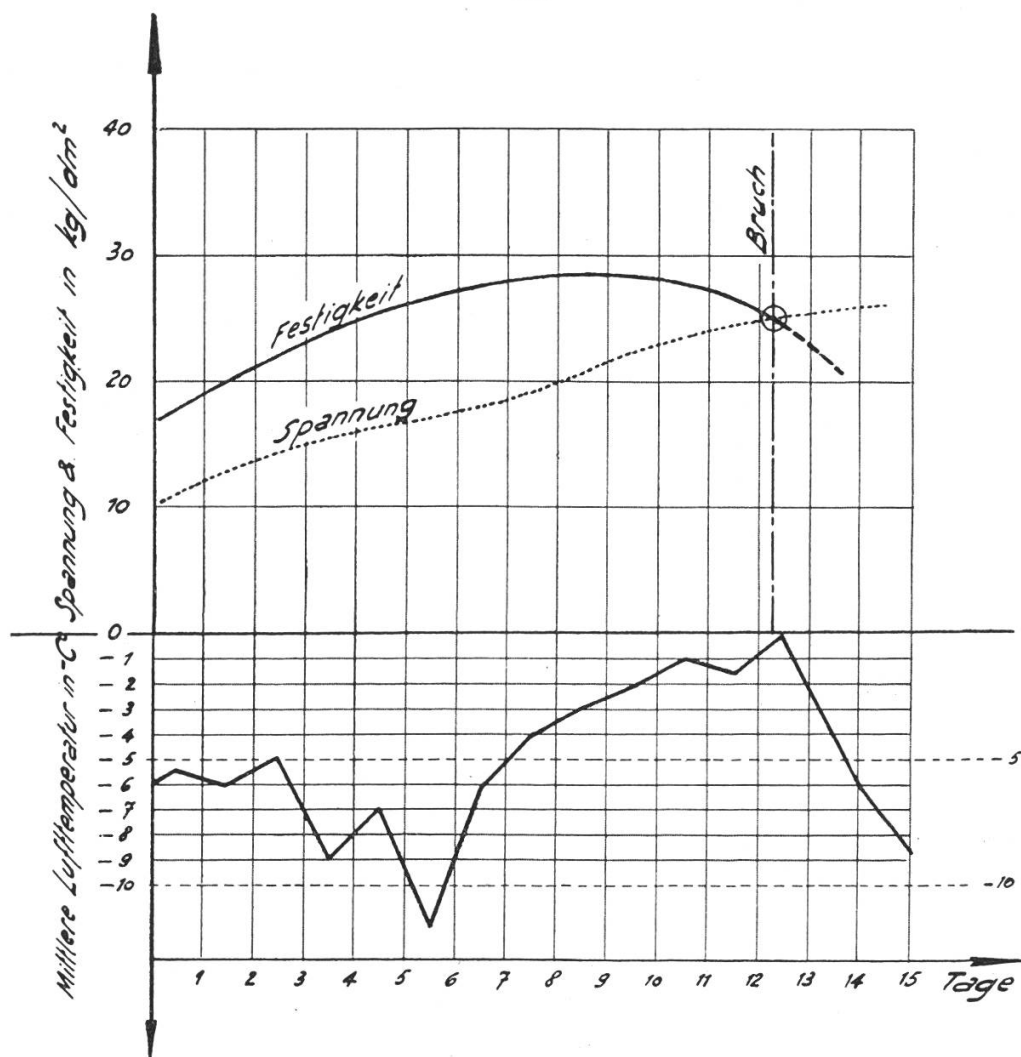


Fig. 2 Einfluss der Schneehöhe auf die Spannungskurve.

Influence de la hauteur de la neige sur la courbe de tension.



*Fig. 3 Abfall der Festigkeitskurve infolge
plötzlicher Erwärmung.*

Chute de la courbe de résistance provoquée par un échauffement subit.

Auf Grund dieser Diagramme lassen sich nun auch die Schutzmaßnahmen sehr präzise formulieren :

Die Festigkeit des Materials muß entweder hinaufgesetzt oder aber die Spannungsgröße reduziert werden, wenn man die Schneedecke künstlich stabilisieren will. So lautet die einfache theoretische Forderung des Statikers, nach der sich auch jede praktische Maßnahme zu richten hat.

Nun muß aber die Schneedecke, und damit ihr minimaler Festigkeitswert, in einer ersten Betrachtung als gegeben angenommen werden. Wohl gibt es beispielsweise Unterlagen, wie Alpenrosen- oder Erlenfelder, auf denen die Schneedecke infolge teilweiser Unterbindung des Setzungsprozesses relativ locker bleibt und durch Entfernung dieser

Vegetationsteile verfestigt werden kann; wohl läßt sich auch durch künstliche Bildung von Druckzonen eine Kompression bzw. Verdichtung erzwingen, doch können diese Maßnahmen allein nicht zum gewünschten Erfolg führen. *Im praktischen Fall wird es sich viel mehr darum handeln, gefährbringende Spannungsspitzen zu vermeiden.* Dieses Ziel erreicht man entweder durch künstliche Beeinflussung der *Massenverteilung* oder aber durch eine Korrektur der gegebenen *Auflagerverhältnisse*.

Es sind demnach im Verbau zwei prinzipiell verschiedene Methoden auseinanderzuhalten. Wir sprechen vom :

- *Verwehungsverbau*, wenn wir die Schneeablagerung zu beeinflussen versuchen, und vom
- *Spannungsverbau*, wenn die Auflagerverhältnisse korrigiert werden sollen.

Beide Möglichkeiten seien nachfolgend kurz besprochen.

2. Verwehungsverbau

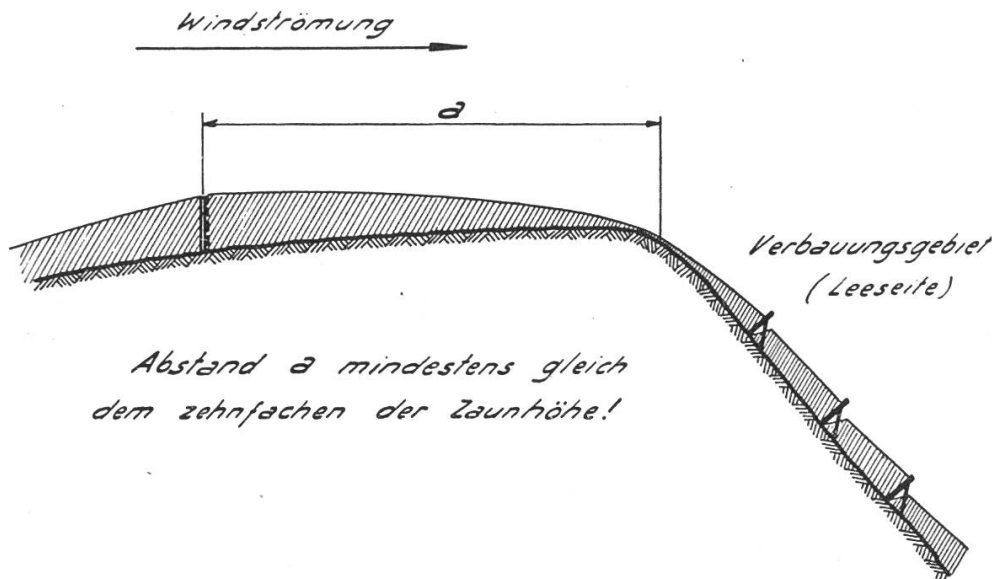
Beim *Verwehungsverbau* tendiert man dahin, die natürliche Geländekonfiguration künstlich so zu verändern, daß die unter Windeinfluß erfolgende Schneeablagerung ein günstiges Spannungsbild ergibt. Dem Wind kommt somit ausschlaggebende Bedeutung zu, und es erhellt von selbst, daß diese Art des Verbaues nur an solchen Hängen in Frage kommen kann, an welchen die Lawinenbildung in erster Linie auf die durch das Luftströmungsbild gegebene Schneehöhenverteilung zurückzuführen ist. Obwohl dies für unsere Verhältnisse wohl die Norm darstellt, muß doch auf diese Einschränkung hingewiesen werden.

Übermäßige örtliche Schneeanhäufungen lassen sich dadurch verhindern, daß man die Schneeteile an anderer Stelle, vor, neben oder hinter dem betreffenden Ort zur Ablagerung zwingt. Die Naturbeobachtung zeigt ja zur Genüge, wie beispielsweise Mulden, Gräben und dergleichen schon früh im Winter eingeschneit, Kuppen und Kreten dagegen stets freigeblasen werden.

Derartige Unregelmäßigkeiten in der Schneeablagerung sind offenbar auf ungleiche Windgeschwindigkeiten zurückzuführen : An Orten kleiner Strömungsgeschwindigkeit wird pro Zeiteinheit mehr Material abgelagert als an Stellen großer Windgeschwindigkeit. Quantitativ wurde diese Tatsache erstmals von *W e l z e n b a c h* (1), später von *E u g s t e r* (2) und *C r o c c e* (3) nachgewiesen. In neuester Zeit sind ferner verschiedene Resultate über entsprechende Modellversuche im Windkanal bekanntgeworden (4, 5, 6), so daß man sich heute über die Schneeablagerung im Wirkungsbereich einfacher Hindernisse schon ein recht gutes Bild machen kann.

Als wichtigste Resultate mögen dem Praktiker folgende Anhaltspunkte dienen :

Wenn der schneebringende Wind über ein relativ flaches Plateau streicht und seine Fracht dann über den zu verbauenden Leehang abwirft — wie man dies bei unsern Verhältnissen relativ oft feststellen kann — muß die Anlaufläche mit Einbauten ausgestattet werden, die den Wind abbremzen und ihn *vor* dem Erreichen der Krite zum Ausfällen der Schneeteile zwingen. Die Hindernisse werden in diesem Fall senkrecht zur Windrichtung gestellt. Aufgelöste, gitterähnliche Druckflächen mit einem Verhältnis von Hohlraumquerschnitt zu Materialquerschnitt von ungefähr 1:1 und möglichst feiner Porenverteilung ergeben die beste Bremswirkung. Derartige Wände haben eine Depotbildung *luv-* und *leeseits* zur Folge, weshalb sie mindestens im zehnfachen Abstand ihrer Höhe vom gefährdeten Objekt entfernt aufgestellt werden müssen (Figur 4).



Aufstellung von Zäunen für den
Schneerückhalt

Etablissement de haies pour retenir la neige.

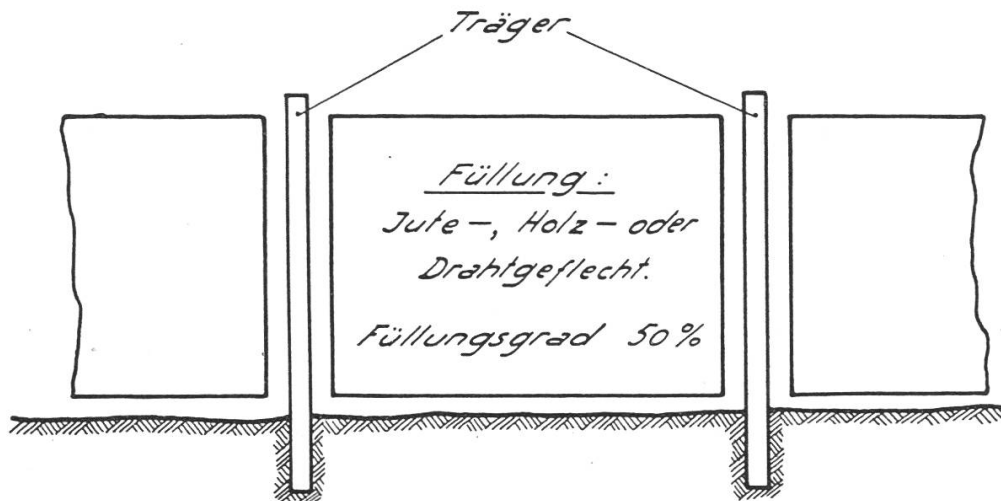
Fig. 4.

Neben den in Figur 5 dargestellten, am besten aus Holzgerüst mit Jute- oder Drahtgeflecht konstruierten Werken ist unterhalb der Waldgrenze auch an natürliche Lebhäge bzw. Hecken und dergleichen zu denken. Wir verweisen in diesem Zusammenhang auf die sehr aufschlußreichen Untersuchungen von Nägeli (7) und Finney (8) an Windschutzstreifen.



Fig. 6. Ausweichstelle an der obern Sektion der Davos-Parsenn-Bahn mit Leitwänden zur Vermeidung von Schneeablagerungen.

Place de croisement sur le tronçon supérieur du chemin de fer de Parsenn. Parois destinées à diriger le vent de façon telle que la neige ne puisse s'accumuler sur la voie.
(Photo Neher, Zürich.)



Schematische Darstellung eines Zaunes für den Schneerückhalt.

Représentation schématique d'une haie destinée à soutenir la neige.

Fig. 5.

Über die Konstruktion und Aufstellung von *windbeschleunigenden Werken* liegen noch sehr wenig Anhaltspunkte vor. Die Leitwände sollen in diesem Falle glatt und kompakt sein, in der Hauptrichtung des Luftstromes liegen und diesen im Zusammenwirken mit dem Gelände so kanalisieren, daß die Geschwindigkeit lokal erhöht wird. In Einzelfällen hat man durch gefühlsmäßiges Experimentieren schon ganz gute Resultate erzielt; so beispielsweise am Schiahorn zur Verhinderung von Wächtenbildung, oder längs dem Trasse der Davos-Parsenn-Bahn, wo der Wind gemäß Figur 6 zum Freiblasen des Geleises herangezogen wird.

3. Spannungsverbau

Definitionsgemäß handelt es sich hier um eine Korrektur der gegebenen Auflagerungsverhältnisse. Die Geländekonfiguration soll so verändert werden, daß sich keine gefährlichen Spannungsspitzen ausbilden können. Diese liegen vor allem in den Zug- und Scherzonen; der druckbeanspruchte Schnee dagegen erfährt eine in Funktion der Zeit zunehmende Verfestigung.

Wir haben also in erster Linie die Ausbildung von *Zugzonen*, wie sie bei jedem konvexen Gefällsbruch der Unterlage, oder plötzlicher Zunahme der Schneehöhe entstehen, zu vermeiden: *Die Schneedecke muß an diesen Stellen aufgespalten werden.* Durch diese Maßnahme erreicht man einen spannungsfreien Übergang von der oberen Zone kleinerer Kriechgeschwindigkeit gegenüber den untern Partien mit intensiverer Bewegung.

Es eignen sich dazu durchgehende Werke irgendwelcher Konstruktion. Als einzig *absolutes* Erfordernis ist auf das *vollständige* Aufschneiden der Gesamtschneedecke, also eine den örtlichen Verhältnissen angepaßte Höhe zu achten. Die oberhalb des Werkes liegende Schneedecke wird sich weitgehend auf diese abstützen, gerät also in den gewünschten Druckzustand, während sich unmittelbar unterhalb des Werkes ein Kriechspalt ausbildet, welcher der unterliegenden Schneedecke ein normales Kriechen erlaubt. Wird jedoch die weiße Decke infolge ungenügender Werkhöhe nur von unten her eingekerbt und fließt damit ihr oberer Teil über die Konstruktion hinweg, so erzeugt man *künstlich* Zugspannungen, die um so gefährlicher sind, als der tragende Materialquerschnitt an dieser Stelle ohnehin schon geschwächt wurde. Als Illustration dieser Tatsache sei lediglich an die mit zu niedrigen Erd- oder Mauerterrassen durchsetzten Gebiete erinnert: Mehrere größere und zum Teil folgenschwere Lawinen der letzten Jahre wurden durch derartige Fehlkonstruktionen provoziert.

Doch selbst eine sorgfältige Vermeidung von Zugzonen wird nicht immer zur gewünschten Stabilisierung führen, denn auch die *parallel*

zur Unterlage wirksamen Schubspannungen können zur Bruchbildung Anlaß geben. Zu deren Reduktion dient dasselbe, bereits erwähnte Mittel der durchgehenden Konstruktionen. Hebt man die Werkkrone genügend aus dem Hang heraus, so wird die korrigierte Schneeoberflächenneigung infolge Windeinflusses kleiner als die Hangneigung, so daß man schon dadurch eine gewisse Stabilisierung erreicht. Die Druckabstützung trägt ferner dazu bei, das zu Schubspannungen Anlaß gebende Eigengewicht zu reduzieren. In vielen Fällen müssen deshalb Konstruktionshöhe und Werkabstand nicht nur auf Grund der Zugzonen, sondern ebenso sehr mit Rücksicht auf die Scherspannungen bestimmt werden. Daß dabei neben der Geländekonfiguration auch der örtlichen Schneebeschaffenheit entscheidende Bedeutung zukommt, versteht sich von selbst.

4. Wirkungsweise verschiedener Bauelemente des Spannungsverbaues

In den vorstehenden Erläuterungen haben wir mehrmals auf die Notwendigkeit der Aufspaltung bzw. Aufteilung der Schneedecke hingewiesen und wollen nun die dazu geeigneten baulichen Vorkehrungen diskutieren. Da in dieser Hinsicht zum Teil ganz unklare Vorstellungen bestehen, das Konstruktive den Praktiker aber ganz besonders interessiert, scheint es angezeigt, hier etwas weiter auszugreifen.

Eine erste und sofort einleuchtende Maßnahme im Sinne unserer theoretischen Forderung besteht zweifellos in der bekannten Hangaufteilung, bzw. Stufenbildung ähnlich dem Wildbachverbau. Um diesen Eingriff auch wirksam zu gestalten, müssen die einzelnen Absätze annähernd vertikal angeordnet werden und mindestens gleich hoch sein wie die maximal auftretende Schneehöhe des betreffenden Gebietes.

Nun hat aber jede Terrassierung den schwerwiegenden Nachteil, daß sich durch das normale Kriechen der Schneedecke Überhänge gemäß Figur 7 A einstellen, welche abbrechen und zur Lawinenbildung Anlaß geben können. Um dies zu vermeiden, sind zwei verschiedene Maßnahmen möglich; entweder ist die Terrasse flach auslaufen zu lassen oder aber mit einer Druckabstützung zu versehen. Beide Wege führen zu einer Spannungsbeeinflussung: der natürliche Kriechprozeß wird abgebremst, *das ursprünglich neutrale Feld zur Druckzone*. Damit sind wesentliche Vorteile verbunden, denn die Neigung des korrigierten Hanges kann jetzt bei gleicher Sicherheit größer gewählt werden als bei reiner Scherbeanspruchung.

Aus Wirtschaftlichkeitsgründen drängt sich ferner die Frage auf, ob die Ausbildung einer Druckzone infolge Terrainverflachung am untern Ende der korrigierten Hangneigung, oder einer dort angebrachten Stützwand, die Abflachung des Hanggefälls nicht überhaupt überflüssig mache. Bei der Beantwortung dieser Frage ist zu berück-

sichtigen, daß Abstützung nur das Spannungsbild kohärenter, nicht aber loser Schneearten beeinflussen können, und zwar aus dem einfachen Grund, weil der Lockerschnee an der Oberfläche von der Druckwirkung gar nicht erfaßt wird. Es sei als Beispiel lediglich die Tatsache angeführt, daß auch der dichteste Baubestand nicht in der Lage ist, das Anbrechen von Lockerschneelawinen zu verhindern. *Dieses Ziel kann nur durch eine Reduktion der Schneeoberflächenneigung, nicht aber durch Längsabstützung erreicht werden.*

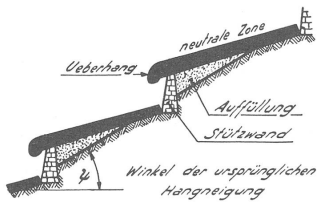
In der Mehrzahl der Fälle wird es jedoch bedeutend billiger sein, an Stelle einer Stufenbildung des Hanges, *die Schneeablagerung* so zu beeinflussen, daß deren *Oberflächenneigung* flacher wird als diejenige ihrer Unterlage. Dies ist nun dank der Windeinwirkung relativ einfach möglich; man braucht nur die Krone des Einbauwerkes genügend aus dem Hang heraus zu heben. Schon die ersten Schneefälle füllen dann den Winkel zwischen der Druckfläche und dem Terrain aus, und so erfährt die Schneeoberfläche eine mit der Zeit zunehmende Reduktion ihres Maximalgefälls. Damit sind auch für die Größe des Bauwerkes gewisse Ansätze gewonnen. Deren theoretische Entwicklung würde jedoch den Rahmen dieser Diskussion durchbrechen. Viel eher bleibt uns in diesem Zusammenhang noch die von *O e c h s l i n* aufgeworfene Frage der Druckflächenneigung zu behandeln.

Wie man auf Grund der vorstehenden Ausführungen leicht erkennt, haben sowohl die *horizontale Terrasse*, als auch die *senkrechte Wand* hinsichtlich der Druckzonenbildung dieselbe Wirkung: in beiden Fällen wird die Kriechbewegung in Richtung der Fallinie auf Null abgebremst. Wir müssen deshalb versuchen, Vor- und Nachteile beider Systeme gegeneinander abzuwägen und wollen zu diesem Zweck zuerst die horizontale Erd- oder Mauerterrasse gemäß Figur 7 B einer kritischen Prüfung unterziehen. In diesem Fall überträgt sich der Staudruck mit Hilfe von Reibungskräften auf die Terrasse. Wenn nun aber die Erdwärme auf die Unterseite der Schneedecke einwirkt, wird diese zu großen Fließbewegungen und damit zu Überhängen Anlaß geben. *G a b e r e l* (8) hat ähnliche Probleme der Verhinderung von Schneeüberhängen auf Dächern so gemeistert, daß er Flachdächer mit Unterlüftungen einführte. Dasselbe Ziel wird im Lawinenverbau erreicht, wenn man an Stelle der massiven Terrassen freistehende Brücken gemäß Figur 7 C konstruiert. Die Kaltluft beeinflußt dann die Schneedecke von unten her und reduziert das Kriechen auf ein Minimum. Aufgelöste Konstruktionen haben den weiteren Vorteil, daß sie dem Wind einen kleineren Widerstand entgegensetzen und deshalb eine langsamere Sättigung erfahren; sie sind deshalb in den meisten Fällen den massiven Terrassen vorzuziehen.

Letztere Feststellung gilt in vollem Umfange auch für vertikale Wände, und das ganze Problem der Konstruktionswahl reduziert sich

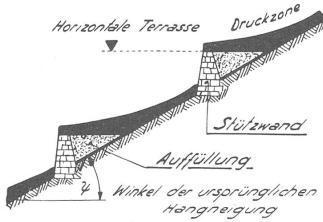
SCHEMATISCHE DARSTELLUNG VON VERBAUUNGSTYPEN
REPRÉSENTATION SCHEMATIQUE DE DIVERS TYPES D'OUVRAGES

A. Aufteilung des Hanggefälles durch Stufenbildung.



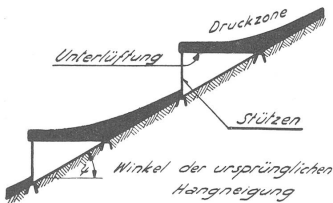
Vorteile:
 Stabilisierung durch Reduktion der Hangneigung ähnlich dem Wildbachverbau.
Nachteile:
 Kostspielige Erdbewegungen.
 Mauer hat Druck von Hinterfüllung und Auflast zu tragen.
 Überhang und Möglichkeit des Abbruches — Lawinenbildung.
 Lockerschneelawinen werden nicht aufgefangen.

B. Horizontale Terrassen



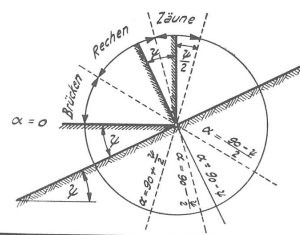
Vorteile:
 Stabilisierung durch Druckzonenbildung. Verminderung von Überhängen.
Nachteile:
 Die gesamte Druckkraft wird durch Reibung aufgenommen.
 Bei Erwärmung von unten her Fließerscheinungen und Druckausweichung.
 Lockerschneelawinen werden nicht aufgefangen.

C. Brücken



Vorteile:
 Stabilisierung durch Druckzonenbildung. Einfache Konstruktion.
 Erhöhung der Reibung durch Unterlüftung.
Nachteile:
 Lockerschneelawinen werden nicht aufgefangen.

D. Neigung der Druckfläche

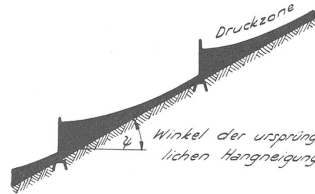


Brücken: $\alpha = 0 \div \frac{90^\circ - \psi}{2}$

Rechen: $\alpha = \frac{90^\circ - \psi}{2} \div 90^\circ - \frac{\psi}{2}$

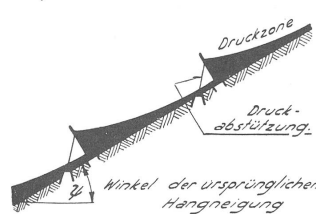
Zäune: $\alpha = 90^\circ - \frac{\psi}{2} = 90^\circ - \frac{\psi}{2}$

E. Vertikale Zäune



Vorteile:
 Stabilisierung durch Druckzonenbildung. Großer Hinterfüllungsraum.
 Hält Lockerschneelawinen zurück.
Nachteile:
 Es ist konstruktiv schwierig, die Zäune nach oben zu verankern.
 Keine Tragwirkung für Eigengewichtskräfte senkrecht zur Unterlage.

F. Rechenkonstruktionen



Vorteile:
 Stabilisierung durch Druckzonenbildung. Großer Hinterfüllungsraum.
 Hält Lockerschneelawinen auf.
 Gute Tragwirkung für Eigengewichtskräfte senkrecht zur Unterlage.
 Einfache Konstruktion infolge der Möglichkeit von Abstützen nach unten.

Fig. 7.

schließlich auf die Frage der Neigung der wirksamen Druckfläche. Soll diese horizontal, in einem bestimmten Winkel gegen die Unterlage, oder lotrecht angeordnet werden?

Je nach Neigung und Beschaffenheit der Druckfläche werden die Bauwerke auch anders bezeichnet. Es sei uns im Interesse der Klärung verschiedener, in der Praxis schon lange verwendeter Begriffe gestattet, hier einige Definitionen einzuflechten und zu diesem Zweck einerseits die Neigung der Druckflächen gegen die Horizontale und andererseits deren Beschaffenheit als Kriterium zu verwenden. Gemäß den in Figur 7 D ersichtlichen Sektoren unterscheiden wir bei den *aufgelösten Konstruktionen* im Sinne zunehmender Druckflächenneigung Brücken, Rechen und Zäune, bzw. Terrassen, Platten und Wände bei den *kompakten Werken*.

Wie bereits erwähnt, geben wir den aufgelösten Konstruktionen den Vorzug und wollen nun zu unserer Frage der Druckflächenneigung zurückkehren. Daß in diesem Zusammenhang auch andere Gesichtspunkte wie Fundationsmöglichkeiten, Materialbeschaffung und Unterhalt eine nicht untergeordnete Rolle spielen, versteht sich von selbst, doch sei versucht, das Problem nach vorwiegend schneetechnischen Überlegungen zu beantworten.

Eine untere Begrenzung der fraglichen Winkelgruppe ergibt sich aus dem Bestreben, *alle* Schneeteile zurückzuhalten. Bei flachen Brücken besteht zweifellos die Gefahr, daß eventuell auftretende Lockerschneelawinen über diese hinauspringen, während sie durch Rechen oder Zäune aufgehalten werden. Aus diesen Gründen tendiert man im allgemeinen mehr gegen die Senkrechte zur Unterlage hin.

Wie Figur 7 D ferner zeigt, erfordert die erwähnte Stellung des Druckrostes den minimalen Materialaufwand. Allerdings wird die hintere Stütze mit zunehmender Steilheit der Druckfläche ebenfalls etwas länger, doch fällt der dadurch bedingte Kostenanteil mit Rücksicht auf den Pfeilerabstand weniger ins Gewicht als eine Erhöhung des durchgehenden Rostes. Die genaue Druckflächenneigung innerhalb dieses Bereiches zu finden, ist Sache des projektierenden Ingenieurs, denn hier spielen materialtechnische und finanzielle Faktoren die Hauptrolle. *Von rein schneetechnischen Gesichtspunkten kommen wir jedoch zum Schluß, daß die angenähert senkrecht zum Hang errichtete Rechenkonstruktion als sehr zweckmäßiges Verbauungselement angesprochen werden darf.*

Neben diesen Konstruktionen sind in jedem Verbauungsgebiet eine Reihe zusätzlicher baulicher Maßnahmen zu ergreifen, welche hier nur gestreift werden können. So bilden beispielsweise kurze Pfähle ein ausgezeichnetes Mittel, um die Reibungswiderstände zwischen Schneedecke

und Boden zu erhöhen. An anderer Stelle wird man Wächtenanbrüchen ein besonderes Augenmerk schenken und gewisse Spezialkonstruktionen wie Brücken und dergleichen ausführen müssen.

Wir sehen: Jedes Verbauungsprojekt benötigt ein besonderes Studium, wenn es technisch richtig und vor allem auch mit dem geringsten Kostenaufwand durchgeführt werden soll. Diese Tatsache gibt uns zu folgenden Schlußbemerkungen Anlaß.

5. Schlußbemerkungen

Der aufgeschlossene Praktiker steht in der Regel allen theoretisch fundierten Erkenntnissen wohlwollend gegenüber, doch lassen umgekehrt die Verpflichtungen gegenüber Behörden, die Beschaffung der zur Projektausführung notwendigen Mittel und nicht zuletzt auch der Wunsch, in Angriff genommene Arbeiten in einem Minimum von Zeit zum Abschluß zu bringen, oft eine sachlich richtige Abklärung des Gesamtfragenkomplexes vermissen. Auf Grund von Erfahrungen, die vielleicht aus klimatisch ganz anders gelegenen Gebieten stammen, oder aber in der unbewußten Neigung für ein irgendwo mit gutem Erfolg verwendetes System, werden dann Projekte ausgearbeitet, ohne daß man sich *vorher* über Ziel, Zweck und örtliche Verhältnisse genaue Rechenschaft ablegt. Wir geben ohne weiteres zu, daß auf diese Weise in vielen Fällen auch theoretisch einwandfreie Lösungen entstanden sind, ja wir bewundern sogar die seltene Gabe, mit der unsere Vorfahren ohne tiefere Kenntnis der Materialeigenschaften des Schnees Werke geschaffen haben, die sich ohne weiteres als vorbildlich bezeichnen lassen. Umgekehrt ist aber jedem Praktiker auch zur Genüge bekannt, wie oft eben gerade dieses Vorgehen zu ausgesprochenen Mißerfolgen führen kann.

Es ist ja selbstverständlich, und sicherlich für jedermann begreiflich, daß sich der berufstätige Forstmann nicht von heute auf morgen in ein Spezialgebiet einarbeiten kann, zu dessen Behandlung ein größerer, technisch geschulter und mit allen möglichen Einrichtungen, Meßapparaten und Installationen ausgerüsteter Forscherstab mehr als zehn Jahre benötigt hat, um nur die wichtigsten Grundsätze abzuklären. Mit der Einführung junger Forstingenieurstudenten in die Lawinenkunde ist wohl zu hoffen, daß diese Berufsleute später dem Problem mit neuzeitlicheren Waffen zu Leibe rücken, doch vorläufig steht diesem theoretischen Wissen logischerweise der schwerwiegende Mangel an praktischer Erfahrung gegenüber.

In der zu überbrückenden Zwischenperiode kann nur eine enge Zusammenarbeit von Theoretikern und Praktikern zum Ziele führen.

Am Forstpersonal ist es, die örtlichen Gegebenheiten zu studieren und so die Detailunterlagen für den Verbau zu schaffen; Sache des Institutes muß es dagegen sein, die theoretischen Erkenntnisse weiter zu verarbeiten und diese in bereinigter Form dem Praktiker zu vermitteln. In diesem Sinne wollen wir — um mit *Oechsli* zu reden — « den Forstmann auf ein theoretisches Geleise führen ». Wir wollen ihn aber nicht darauf sitzenlassen, sondern direkt zum gemeinsamen Ziel führen, denn im Lawinenverbau gibt es wirklich nichts Besseres als eine gute Theorie.

Résumé

Contribution à la discussion sur les travaux de protection contre les avalanches

1° Introduction et définition des problèmes

L'inefficacité de certains ouvrages de protection contre les avalanches, qui avaient coûté de grosses sommes, avait rendu évidente la nécessité de créer, avant tout, les bases théoriques et scientifiques indispensables à l'élaboration de tels projets. C'est pourquoi les milieux intéressés synchronisèrent leurs efforts dès 1931 en constituant une commission d'études et en établissant au Weissfluhjoch, au-dessus de Davos, des laboratoires fort bien outillés.

Quels sont les résultats des recherches effectuées jusqu'ici ? Les propriétés physiques fondamentales de la neige sont maintenant connues. Les lois de mécanique qui régissent ses mouvements ont été décrites et précisées; ces théories vont être encore simplifiées afin de les rendre accessibles à la pratique. Toutefois, dans les discussions, il est nécessaire pour le moment de se concentrer sur les problèmes fondamentaux, de chercher à déterminer les causes du déclenchement des avalanches à des endroits et des moments déterminés.

Si, au point de vue chimique, la neige est un corps simple, ses propriétés mécaniques, par contre, sont fort compliquées. Ainsi, les coefficients du matériel, qui sont constants chez les corps solides, deviennent fonctions du lieu et du temps chez la neige; c'est pourquoi les recherches dans ce domaine sont laborieuses et nécessitent un gros appareil scientifique.

Le poids propre de la neige, comme celui d'un pont, s'appuie au sol par l'intermédiaire de plusieurs piliers. Un déséquilibre peut être provoqué par une surcharge ou par une diminution de la résistance du matériel. Ainsi la rupture de la couche de neige peut avoir son origine soit dans l'augmentation de la tension résultant de fortes chutes de neige, soit dans la réduction de la cohésion, déjà faible, de ce matériau. De ce fait deux valeurs essentielles doivent faire l'objet d'un examen approfondi, la *tension* et la *résistance du matériel*. Si l'on reporte ces deux variables en fonction du temps conformément à la figure 1, il est possible d'étudier le degré de sécurité de chaque élément; la divergence des deux courbes signifie une

stabilisation, par contre leur convergence une augmentation du danger de rupture; il y a rupture lorsque les courbes se sectionnent. La figure 2 représente la rupture provoquée par l'augmentation de la tension à la suite de chutes répétées de neige, alors que la figure 3 illustre la réduction de la résistance résultant d'un réchauffement subit. Ces diagrammes permettent de définir exactement en quoi les mesures de protection doivent consister : *pour stabiliser la couche de neige, il faut soit augmenter sa résistance, soit réduire la tension qui la sollicite*. Dans la pratique il faudra se borner à empêcher la formation des pointes de tension dangereuses. Ce but peut être atteint en provoquant une modification artificielle et favorable de la répartition de la neige ou en corrigeant le mode d'appui de la neige sur le sol. De ce fait on peut appliquer dans la construction de travaux de protection contre les avalanches deux systèmes fondamentaux, qui sont :

- 1° *les ouvrages de dépôt* (Verwehungsverbau), qui utilisent les courants éoliens pour influencer le dépôt et la répartition de la neige;
- 2° *les ouvrages d'appui* (Spannungsverbau), qui diminuent la tension sollicitant la couche de neige en améliorant l'appui de celle-ci au sol.

Voici les caractéristiques de ces deux systèmes :

2° Les ouvrages de dépôt

tendent à modifier la configuration du terrain de façon telle que les vents provoquent des dépôts à des endroits déterminés et accusant des conditions favorables de tension; ainsi ils permettent d'empêcher une accumulation de la neige là où il y a danger de rupture. Le volume et la rapidité de la formation des dépôts sont en raison inverse de la vitesse du vent; les ouvrages doivent donc réduire celle-ci. L'expérience a démontré que des treillis fins, placés perpendiculairement à la direction des courants principaux, donnent les meilleurs résultats. *De telles installations provoquent une accumulation de la neige devant et derrière elles; aussi doivent-elles être disposées à une distance au moins égale à dix fois leur hauteur de l'endroit où les dépôts doivent être empêchés* (figure 4).

Les ouvrages représentés dans la figure 5, composés de treillis de jute et de fil de fer tendus sur des cadres de bois, peuvent être remplacés, au-dessous de la limite supérieure de la forêt, par des haies et des rideaux d'espèces arborescentes.

On ne possède encore que peu d'expérience sur les ouvrages destinés à accélérer la vitesse du vent en vue de déplacer les dépôts de neige; la figure 6 représente une installation mettant les courants d'air à contribution pour évacuer la voie du chemin de fer de Parsenn.

3° Les ouvrages d'appui

doivent avant tout empêcher la formation de *zones de traction*, telles qu'elles se constituent là où la déclivité du terrain s'accroît à l'aval et où il y a une augmentation subite de la hauteur de la neige. *A ces endroits la couche*

doit être interrompue afin de supprimer la tension se manifestant entre la zone supérieure accusant une reptation lente et la zone inférieure où les mouvements de la neige sont plus rapides. Ce résultat est obtenu par la *construction d'ouvrages continus* et suffisamment hauts pour interrompre entièrement la couche de neige; celle-ci s'appuie dans une large mesure contre ces ouvrages et arrive à l'état de pression désiré.

Toutefois l'élimination de toutes les zones de tension ne réalise pas une stabilisation absolue, car les poussées agissant parallèlement à la base peuvent également provoquer une rupture; ces forces peuvent être réduites grâce à l'établissement d'ouvrages continus d'une hauteur suffisante pour que le vent puisse se charger de réduire la déclivité de la surface de glissement; ce phénomène empêche également dans une certaine mesure le déclenchement d'avalanches de neige poudreuse.

4° L'efficacité de divers types d'ouvrages d'appui

Le but de ces ouvrages est de fournir à la neige un appui maximum et il convient de déterminer quels sont les types qui assurent la plus grande efficacité tout en satisfaisant à diverses exigences. La *terrasse horizontale* reçoit la pression de la couche de neige grâce au frottement; toutefois la chaleur terrestre agissant sur celle-ci provoque une solifluction, un mouvement de reptation, puis la formation de corniches; ce phénomène peut être supprimé en empêchant le contact de la neige avec le terrain, ce qui est réalisé chez les *ponts*. Ceux-ci accusent un autre avantage appréciable, celui d'être saturés de neige moins rapidement que les ouvrages compacts et de conserver toute leur efficacité pour les périodes critiques; ils doivent être autant que possible perpendiculaires au terrain; du point de vue de la mécanique de la neige, ces ponts peuvent être considérés comme des ouvrages utiles et efficaces.

Il est naturellement nécessaire de tenir compte, lors de l'élaboration de projets de travaux de protection contre les avalanches, des conditions locales, de la conformation topographique et orographique du périmètre en cause, puis également des possibilités techniques et financières.

5° Conclusions

Il est naturel que le forestier ne peut assimiler d'un jour à l'autre toutes les données et théories que nous ont procurées les recherches scientifiques dans les domaines de la neige et des avalanches. Il importe d'instruire et de former de jeunes ingénieurs forestiers dans ces disciplines afin que les projets de travaux de protection soient à l'avenir élaborés sur des bases solides. Il y aura toutefois une période de transition durant laquelle les spécialistes et les forestiers, les théoriciens et les praticiens devront travailler en étroite collaboration; il est nécessaire, comme l'a dit *Oechsli*, de conduire le forestier sur la voie de la théorie, car, dans le domaine des travaux de protection contre les avalanches, rien n'égale une bonne théorie.

E. Rieben.

Literaturverzeichnis.

1. *Welzenbach, W.*: Untersuchungen über die Stratigraphie der Schneeablagerung und die Mechanik der Schneebewegungen nebst Schlußfolgerungen auf die Methodik der Verbauung. Wissenschaftliche Veröffentlichungen Nr. 9 des Deutschen und Oesterr. Alpenvereins. Innsbruck, 1930.
2. *Eugster, E.*: Schneestudien im Oberwallis und ihre Anwendungen auf den Lawinenverbau. Beiträge zur Geologie der Schweiz. Geotechnische Serie — Hydrologie, Lief. 2, Bern, 1938.
3. *Croce, Karl*: Unveröffentlichte Mitteilung.
4. *Finney, E. A.*: Snow control on the highways. Bulletin No. 37 Michigan Engineering Experiment Station. East Lansing. Mich., May 1934.
5. *Becker, A.*: Der natürliche Schneeschutz an Verkehrswegen. Die Bautechnik, Berlin, 22. September 1944.
6. *Kohler, H.*: Die Verhütung von Schneeüberwehungen.
7. *Nägeli, W.*: Untersuchungen über die Windverhältnisse im Bereich von Windschutzstreifen. Mitteilungen der Schweiz. Anstalt für das forstliche Versuchswesen, Band XXIII.
8. *Finney, E. A.*: Snow control by tree planting. Michigan Engineering Experiment Station, East Lansing, Michigan, Bulletin No. 75, July 1937.
9. *Gabarel, R.*: Davoser Bauten, Schweiz. Bauzeitung, Bd. 100, Nr. 8, 20. Aug. 1932.

MITTEILUNGEN · COMMUNICATIONS

La retraite de M. M. Petitmermet

Monsieur l'inspecteur général Marius Petitmermet, qui a atteint la limite d'âge, a cessé ses fonctions le 31 décembre dernier.

Il y a tantôt 45 ans que M. Petitmermet fréquentait la Section forestière de l'École polytechnique fédérale. Ses maîtres furent Bourgeois, Engler, Felber. Il fit son stage dans le canton de Vaud, à l'inspection de Montreux, dirigée alors par M. le prof. Badoux. La Confédération lui délivra le brevet fédéral d'éligibilité en 1903. Il fut alors aménagiste, attaché au Service cantonal des forêts. C'est lui qui élaborait les tarifs d'aménagement vaudois. Puis le Conseil d'Etat le nomma en qualité d'inspecteur forestier de l'ancien arrondissement de Cossonay, où il laissa des souvenirs durables et des amis. Lorsque M. Pilichody quitta l'inspection fédérale en 1917, il fut nommé à sa place inspecteur fédéral des forêts, et l'arrondissement fédéral de la Suisse romande lui fut attribué. C'est en 1923 que M. Petitmermet reprit la succession de feu M. Décoppet en qualité d'inspecteur général des forêts. Il conserva ainsi cette fonction pendant 23 ans. Reprenant la tradition de Coaz et Décoppet, ses prédécesseurs, M. Petitmermet a œuvré avec intelligence, dévouement, objectivité et beaucoup de bienveillance. Il témoigna par son activité en temps très difficiles que la forêt, quel que soit le propriétaire, est aussi le patrimoine du peuple suisse tout entier.

Pendant la guerre, M. Petitmermet dirigea la Section du bois de l'Office fédéral de guerre pour l'industrie et le travail. Grâce à sa con-