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

**Herausgeber:** Schweizerischer Forstverein

**Band:** 118 (1967)

**Heft:** 10

**Artikel:** Über das Gleiten und Kriechen der Schneedecke in Lawinenverbauungen

**Autor:** Frutiger, H. / Kuster, J.

**DOI:** https://doi.org/10.5169/seals-764310

**Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

**Conditions d'utilisation**

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

**Terms of use**

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

**Download PDF:** 09.07.2025

**ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch**

Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen
Journal forestier suisse

118. Jahrgang | Oktober 1967 | Nummer 10

# Über das Gleiten und Kriechen der Schneedecke in Lawinenverbauungen

Von *H. Frutiger* und *J. Kuster,* Davos und St. Gallen

(Aus dem Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weißfluhjoch)

Oxf. 384.1

## Einleitung

Angeregt durch Experimente der Schnee- und Lawinenforschung auf Weißfluhjoch (6) wurden seit dem Winter 1946/47 Beobachtungen über das Gleiten und Kriechen der Schneedecke im Lawinenverbau *«Schilt»/Stein, Toggenburg,* gemacht. Weitere Untersuchungen folgten ab 1960 in den Verbauungen *«Mattstock»/Amden* (14), *«Kühnihorn»/St. Antönien, «Ruchli-Schrinis»/Pfäfers, «Kneugrat»/Braunwald und «Wißtannegg und Nollen»/Arth.* Nach 20jähriger Beobachtungszeit scheint es uns angezeigt, einige Feststellungen über das Wesen und die Bedeutung dieser für die Bauwerke und Aufforstungen oftmals verhängnisvollen Bewegungen der Schneedecke mitzuteilen. Die Winter 1965/66 und 1966/67 haben die Auswirkungen besonders deutlich demonstriert. Der Winter 1965/66 gilt als ausgesprochener «Gleitwinter».

In der Gemeinde Conthey VS riß die gleitende Schneedecke einen Wald von rund 3 ha Fläche zusammen und trug ihn nach Planpra hinunter. Am Brienzergrat wurde ein 100 m langes Stück der Geleiseanlage der Brienz–Rothorn-Bahn samt der Stützmauer zerstört und 30 m talwärts geschoben. Im Stützverbau Kühnihorn/St. Antönien-Castels sind Schneebrücken samt den Fundamenten verschoben und zerstört worden. Die dem Grat zunächststehenden Werke vermochten ein ins Gleiten geratene Stück der Gwächte nicht mehr zu stützen, und die abgleitenden Schneemassen zerschlugen 144 Laufmeter des Stützverbaus. Der Schaden betrug rund 100 000 Franken. Zudem scherte Gleitschnee die Verbauungsstraße auf eine Länge von 140 m ab und kippte den Straßenkörper über die Stützmauer talwärts. Die Schneenetze im Berglizug des Stützverbaus und der Aufforstung «Stotzigberg»/Pfäfers wurden fast alle beschädigt und ein großer Teil zerstört.

Auch im Winter 1966/67 kam es zu auffälligen Gleitschäden. Im Stützverbau «Blaisa»/Schiers wurden im Januar von 430 Laufmetern Holzschneerechen gut die Hälfte zerstört. Diese Schäden sind nur einige Beispiele von vielen.

Aus früheren Jahren ist der Winter 1952/53 als Gleitwinter bekannt. Damals wurden auf Außersulwald/Isenfluh BE und in der Klosterweide/Amden SG Ställe verschoben. Auf dem Gebiet der Ortsgemeinden Valens und Vasön/Pfäfers SG sind verschiedene Gebäude zerstört oder beschädigt worden (9, 11).

Die Auswirkungen des Gleitens und Kriechens der Schneedecke sind den Bergbauern und Förstern seit jeher bekannt. In der Schweizerischen Zeitschrift für Forstwesen wurden sie schon mehrere Male beschrieben (2, 3, 4). Hess bespricht diese Erscheinung in einem besondern Kapitel in den «Erfahrungen über Lawinenverbauungen» (5). Zahlreiche Mittel zur Bekämpfung und Verhütung der Gleit- und Kriechschäden in Aufforstungen und Verbauungen sind schon empfohlen und angewendet worden. Am bekanntesten sind die Abtreppungen des Hanges mittels Gräben, Erd- und Mauerterrassen und die Verpfählungen. Leider können diese Bauten durch starkes Gleiten selbst zerstört werden. Möglicherweise ist ihre Wirksamkeit nicht so groß wie allgemein angenommen wird. Wir haben uns deshalb die Aufgabe gestellt, die Bewegungen der Schneedecke in einigen Lawinenverbauungen des Voralpengebietes zu untersuchen.

Neben den publizierten Arbeiten dienten als besonders reichhaltiges Grundlagenmaterial die seit 1946 jedes Jahr erstatteten Winterberichte über die Verbauung und Aufforstung «Schilt»/Stein. Die Beobachtungen in den übrigen erwähnten Verbauungen wurden in internen Berichten des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung festgehalten. Sie wären nicht möglich gewesen ohne die tatkräftige und verdankenswerte Mithilfe der örtlichen Forstorgane.

## Die Witterungsbedingungen

In tiefern Lagen der Schweizer Alpen ist ein Gleiten der Schneedecke auf dem Boden die Regel. Der Betrag des Gleitens ist abhängig von der Oberflächenbeschaffenheit, der Neigung und der Exposition des Hanges. Neben den orographischen Gegebenheiten spielen die Witterung und der Schneedeckenaufbau eine ausschlaggebende Rolle. Erst wenn günstige Witterungsbedingungen herrschen, kommt es zum ausgeprägten Gleiten mit schwereren Schäden. Wenn wir das Wetter der drei Gleitwinter 1952/53, 1965/66 und 1966/67 analysieren, so stoßen wir auf einige Parallelen.

Das auffälligste Merkmal sind starke Schneefälle im Frühwinter mit raschem Aufbau einer mächtigen Schneedecke. Wenn dem frühen Einschneien noch ein warmer Sommer oder Herbst vorangegangen war, verschärfte sich das Gleiten. Die Witterungsberichte der Meteorologischen Zentralanstalt (MZA) (1) lauteten für die drei Winter folgendermaßen. November 1952: Das Alpengebiet hat strichweise mehr als das Dreifache des Normalwertes der Niederschlagsmengen aufzuweisen. Es handelt sich um ganz ungewöhnlich große Novemberbeträge, die bisher nur zwei- oder

dreimal übertroffen worden sind (Messungen seit 1864). Dezember 1952: Die Niederschlagsmengen betrugen im Voralpengebiet etwa 160 bis 180 % der langjährigen Mittelwerte. November 1965: Niederschlagsmengen im allgemeinen 150–230 %; im mittleren Wallis und im Raum Schaffhausen-Bodensee vielfach 250–300 %! (In Lohn SH mit 184 mm zweithöchste Novembersumme seit 1864.) Dezember 1965: Niederschlagsmengen allgemein übernormal, Mittelbünden um 150 %, mittleres Wallis 250–300 %, vereinzelt 350–400 % (in Leukerbad zweithöchste Dezembersumme seit 1884). November 1966: Niederschlagsmengen in der östlichen Landeshälfte meist über 150 %, teilweise um 180 %, im Nordosten stellenweise 210 %. Dezember 1966: Niederschlagsmengen allgemein übernormal, in den meisten Gebieten zwischen 130 und 200 %, strichweise um 220 %.

Während 1952 die Monate September und Oktober kühler als normal oder normal waren, zeichneten sich die dem Einschneien vorangehenden Monate Oktober 1965 und 1966 durch warmes Wetter aus. Wir zitieren wiederum die Berichte der MZA. Oktober 1965: Temperaturen in den Alpen ungewöhnlich hoch, auf dem Säntis nahe am bisherigen Oktobermaximum. Oktober 1966: Allgemein übernormal, auf den Alpengipfeln 2–2½ Grad, in der Westschweiz und im Wallis 3 Grad, im Nordosten 3½ Grad über dem langjährigen Mittel. Im Norden und Osten im allgemeinen wärmster Oktober in den letzten 100 Jahren. Vermutlich mochten die warmen Monate Juli und August des Jahres 1952 die kleinen Defizite vom September und Oktober zu decken, so daß eben auch damals der Boden beim Einschneien überdurchschnittlich warm war.

In allen drei Wintern erfolgte das Einschneien bis auf rund 1200 m ü. M. hinunter zwischen Ende Oktober und Mitte November – rund ein halber bis ganzer Monat früher als normal. Schon um Mitte Dezember erreichte die Schneedecke in Höhenlagen von 1400–1800 m ü. M. 0,8 bis 1,5 m, im Winter 1952/53 sogar 1,0 bis 1,5 m. Wenn einmal eine ansehnliche Schneedecke vorhanden ist, vermögen auch unternormale Temperaturen das Gleiten nicht mehr zu verhindern, wie dies im Winter 1966/67 der Fall war.

In den letzten 60 Jahren gab es 12 Winter mit frühen und starken Schneefällen. Davon waren fünf ausgesprochene «Gleitwinter», und innerhalb von je 15 Jahren gab es mindestens einen. Der Winter 1965/66 war einer der extremsten seit dem Jahr 1900, so daß die Wahrscheinlichkeit groß ist, daß sich ein solcher nicht bald wiederholen wird.

**Untersuchungsmethoden, Versuchsergebnisse und Folgerungen für die Praxis**

Die Meßorte wurden in der Regel so gewählt, daß normalerweise mit Gleiten gerechnet werden konnte. Neben der Witterung und den orographischen Verhältnissen spielt die Art der Bodenoberfläche eine wichtige Rolle. Es zeigte sich, daß mit dichtem und langem Gras bewachsene, zu Vernässung neigende Hänge und schiefrige oder plattige Felsoberflächen

das ausgeprägteste Gleiten aufweisen. Unsere Untersuchungen beziehen sich auf relativ tiefgelegene Standorte in den nördlichen Voralpen. In den schneearmen und hochgelegenen inneralpinen Gebieten ist ein Gleiten vermutlich die Ausnahme.

Für die Gleitmessungen im Verbau «Schilt»/Stein und am «Dorfberg»/Davos wurden vorwiegend *Gleitschuhe* verwendet. Diese Methode ist in (9) beschrieben worden. Sie lieferte rund 300 Meßresultate, ergänzt durch rund 80 Messungen mit *Sägemehlsäulen* in den oben erwähnten übrigen Verbauungen. Die letztere Methode wurde in (6) beschrieben. Wertvolle Aufschlüsse über den zeitlichen Verlauf des Gleitens gaben die registrierenden Messungen von In der Gand (9). Vereinzelte Beobachtungen liegen auch aus dem Ausland vor. Soweit uns bekannt ist, wurden aber keine neuen Meßmethoden angewendet. Im Winter 1954/55 machte H. Wopfner Gleitversuche auf der Wattener Lizum, Tirol, und im Winter 1961/62 H. Frutiger solche in den Lawinenanrißgebieten «Stanley»/Berthoud Pass und «Bethel»/Loveland Pass in Colorado, USA.

Frühere Autoren bezeichneten das heutige «Gleiten» mit «Kriechen». In der Abbildung 1 sind die Bezeichnungen für die Bewegungen der Schneedecke, wie sie heute üblich sind, angegeben.

In den nördlichen Voralpen in Höhenlagen bis ungefähr 2400 m ü. M. beträgt auf Hängen, welche wegen ihrer Steilheit verbaut werden, das *Gleiten ein bis mehrere Dezimeter* während eines Normalwinters. Begünstigt die Witterung das Gleiten, kann es *ein bis mehrere Meter* betragen und zum Abbruch von Bodenlawinen führen. Für den Versuchshang «Mattstock»/Amden haben wir eine *durchschnittliche Gleitgeschwindigkeit von 3,7 mm pro Tag*[1] errechnet. Der Durchschnitt von 290 Messungen aus der Lawinenverbauung «Schilt»/Stein und vom Versuchshang «Dorfberg»/Davos ergibt 3,5 mm pro Tag. Weitere 63 Messungen aus andern Verbauungen ergeben einen Durchschnitt von 5,3 mm pro Tag[1]. Da man in den tiefern Verbaulagen bis 2000 m ü. M. mit einer Schneedeckendauer von 100 bis 200 Tagen rechnet, ergeben sich Gleitwege von 30 bis 60 cm pro Normalwinter.

Die kontinuierlichen, registrierenden Gleitmessungen (9, 10 und 12) zeigen, daß das Gleiten meistens eine sehr ungleichförmige Bewegung ist. Zeiten größerer und kleinerer Gleitgeschwindigkeiten wechseln mit solchen vollständiger Ruhe ab. Innerhalb der Gleitperioden von einigen Tagen bis einigen Wochen bleiben die Geschwindigkeiten jedoch annähernd konstant. Sie betragen am «Dorfberg»/Davos für verschiedene Witterungsbedingungen 1 bis 20 cm pro Tag. Begünstigt die Witterung und der Schneedeckenaufbau das Gleiten, so können Geschwindigkeiten von 20 bis 100 cm pro Tag festgestellt werden. Kommt es zum Bruch der Schneedecke, indem sich Gleit-

[1] Dieser Wert bezieht sich auf die Horizontalkomponente des Gleitweges (Horizontaler Gleitweg in Abbildung 1), während alle übrigen Zahlenangaben sich auf den Gleitweg, parallel zur Hangfallinie gemessen, beziehen.

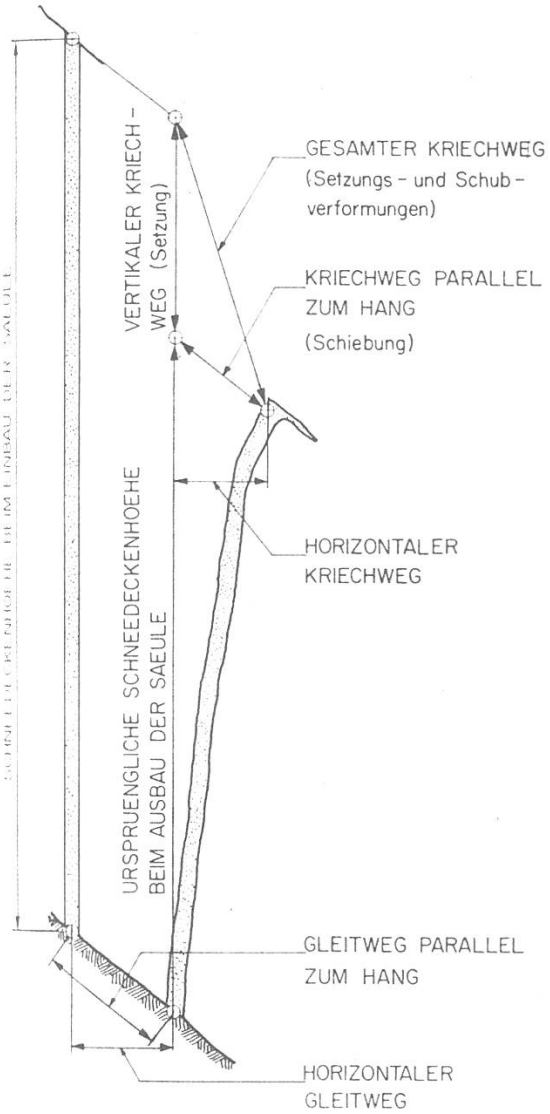
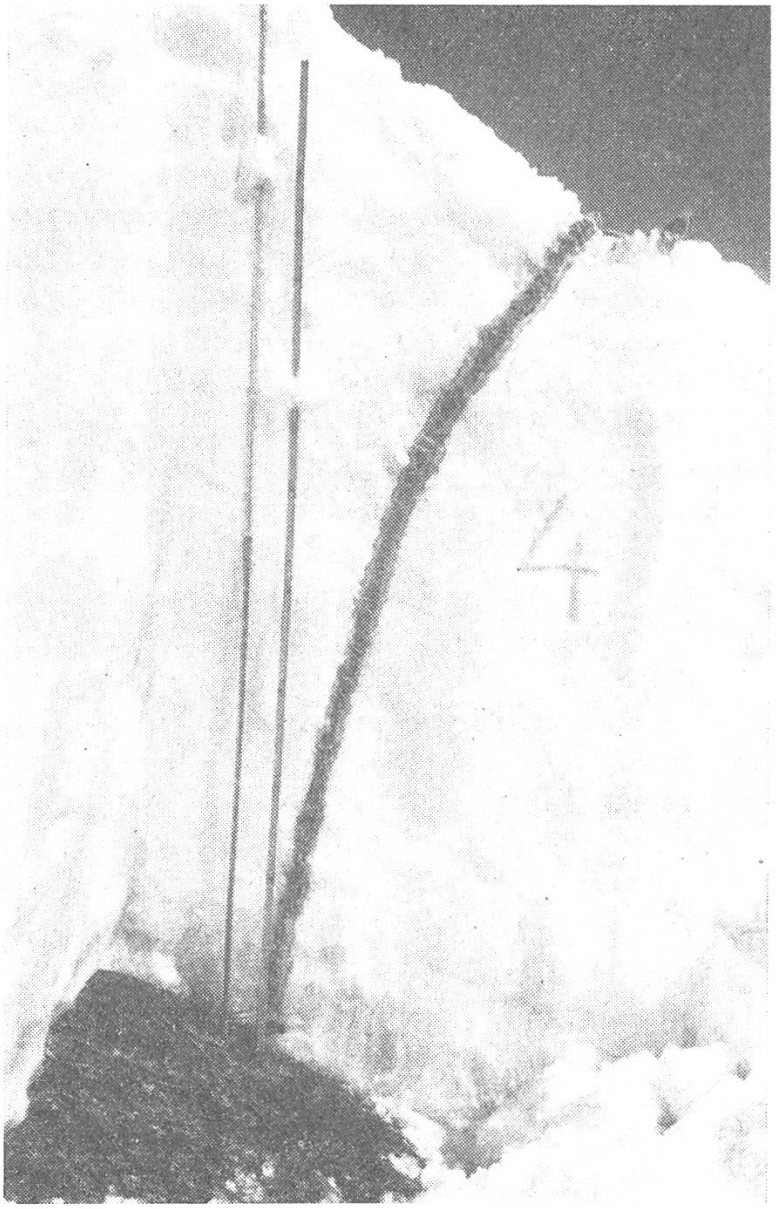



*Abbildung 1*
Gleit- und Kriechmessungen mittels Sägemehlsäulen. Schema für die Bezeichnungen

*Abbildung 2*
«Mattstock»/Amden; Verschiebung und Verformung der Sägemehlsäule Nr. 4 im Winter 1964/65. Einbau: 24. Februar, Ausbau: 5. April



spalten und Stauchfalten bilden, ergeben sich Spitzengeschwindigkeiten bis zu 4 m pro Tag. Auch ruckartige Bewegungen, deren Geschwindigkeiten mit der Meßeinrichtung nicht erfaßbar sind, werden beobachtet. Diese können bis zu 10 cm betragen, ohne daß die Schneedecke bricht.

Überschreitet der Gleitweg während eines Winters in einer einheitlichen Geländekammer rund 1 m, so bilden sich an deren Rändern *Gleitspalten.* Diese sind sichtbarer Ausdruck dafür, daß sich Zugspannungen in der Schneedecke gelöst haben. Der etwa verwendete Ausdruck «*Lawinenmäuler*» ist unzutreffend, da gerade das Vorhandensein einer Gleitspalte beweist, daß sich Spannungen lösten, ohne eine Lawine zu bilden. Auch die ruckartigen Bewegungen können als solche Spannungsausgleiche ohne Lawinenbildung gedeutet werden. In der Mehrzahl der Fälle konsolidiert sich die Schneedecke wieder, und nur bei dafür günstigen topographischen Verhältnissen kommt es zu Bodenlawinen, die aber meistens harmloser sind, als wenn sich das gleiche Einzugsgebiet als trockene Oberlawine entladen hätte.

Die Verformungsbereitschaft der Schneedecke ist erstaunlich groß. Dies zeigen die beträchtlichen Unterschiede der Gleitwege längs Profillinien, ohne daß es zur Bildung von Spalten oder Falten kommt. Relativverschiebungen benachbarter Profile in der Größenordnung von 1 mm pro Meter und Tag wurden schon mehrmals beobachtet. Die durch das Eigengewicht des Schnees erzeugte, hangparallel und talwärts gerichtete *Schubspannung* und die lotrechte *Setzungsspannung* haben zur Folge, daß eine ursprünglich lotrechte Säule der Schneedecke verkürzt, talwärts geneigt und zudem infolge eines allfälligen inhomogenen Aufbaus verbogen wird. Diese Verformungen werden als *Kriechen* bezeichnet und die Achse der verformten Säule als *Kriechprofil.* Wir haben versucht, die verschiedenen Kriechprofile in drei Klassen zu ordnen, indem wir von den theoretischen Betrachtungen Haefelis (6, 11) und Buchers (13) ausgingen, welche ein *dreieckförmiges* beziehungsweise *parabelförmiges* Kriechprofil für ihre Schneedruckberechnungen annahmen. Im Fall des dreieckförmigen Kriechprofils bleibt die Säule gerade. Das parabelförmige Profil — von der Talseite betrachtet — bezeichnen wir als konvex. Als dritten Typ haben wir das konkave Profil beobachtet. Die Klassierung war nicht immer eindeutig; es gibt Profile, welche zum Beispiel in der untern Hälfte konvex, in der obern konkav sind. Unter dem Vorbehalt dieser Klassierungsunsicherheit waren von 123 (100 %) untersuchten Profilen deren 77 (63 %) konkav, deren 32 (26 %) gerade und deren 14 (11 %) konvex. In zwei Fällen wurde am Innenrand einer Erdterrasse ein Ausbiegen des Profils bergwärts festgestellt. Mehrmals wurden — es betrifft dies oft Fälle starken Gleitens — Säulen beobachtet, welche lotrecht blieben, während umgekehrt Säulen auf horizontaler Unterlage, das heißt auf Terrassen, talwärts geneigt waren. Nie wurden innerhalb der Schneedecke Diskontinuitätsflächen bezüglich der Verformung der Säulen beobachtet.

Als man begann, innerhalb der Verbauung «Schilt»/Stein an einem Osthang auf 1400—1550 m ü. M. die Gleitbewegungen der Schneedecke zu messen, stellte man wohl einen teilweise günstigen Einfluß der Stützwerke und des Gleitschutzes (Wegterrassen, Verpfählungen, Kleinwerke) fest, doch bald meldeten sich Zweifel über deren hinreichende Wirkung. Wir wiederholen hier einige Kommentare aus den Winterberichten, welche zu den Meßergebnissen abgegeben wurden.

Der Winter 1950/51 brachte sehr große Schneehöhen. In den vier vorangegangenen Wintern waren die Meßstellen ganz oder größtenteils außerhalb der verbauten Fläche. «1950/51 jedoch *lagen sämtliche Meßpunkte im Bereiche der Verbauung,* was eine Verkleinerung der Gleitwege erwarten ließ. Die großen Schneemengen, die relativ hohen Temperaturen und der nie gefrorene Boden haben das Gegenteil bewirkt. Auffallend an den Versuchsergebnissen ist die offenbar geringe Stauwirkung der Rechen auf die über ihnen liegende Schneedecke. Die untersten Gleitschuhe, welche etwa 3 m oberhalb der Rechen 33 und 20 eingebaut waren, bewegten sich noch 40 bis 50 cm hangabwärts, das heißt gleich weit bis mindestens halb soviel wie die ob ihnen in der sogenannten neutralen Zone liegenden. Beobachtungen in früheren Wintern ließen eine stärkere Abbremsung des Gleitens gegen die Werke erkennen.» Der durchschnittliche Gleitweg der 18 Metallschuhe betrug 56 cm gegenüber nur 11 bis 44 cm in den vier vorangegangenen Wintern.

Im Winter 1951/52 wurde der Einfluß einer Verpfählung untersucht. «Die Verpfählung bestand nach Anweisung des Eidgenössischen Instituts für Schnee- und Lawinenforschung aus einem System von 100 kräftigen 60 bis 80 cm langen Pflöcken, die in Abständen von 1 bis 1,5 m mindestens zur Hälfte lotrecht in den Boden eingeschlagen wurden. Die Gleitdistanzen vom 4. Dezember 1951 bis zum Ausapern der Gleitschuhe Anfang Mai schwankten zwischen 10 und 70 cm. Das Mittel betrug 32 cm und war damit kleiner als in den beiden Vorwintern mit 44 beziehungsweise 56 cm pro Schuh. Die Verpfählung bewirkte eine Verminderung der Gleitbewegung: 25 cm innerhalb, 37 cm außerhalb derselben. Der Erfolg der Verpfählung ist im Hinblick auf den beträchtlichen Aufwand eher bescheiden ausgefallen. Das Schneegleiten auf dem Boden konnte nur gedämpft, aber nicht verhindert werden. Einige Pflöcke wurden umgedrückt, was zu Erdbrüchen und zur Beschädigung von Pflanzen führen kann. Eine Stauwirkung des Rechens 25 auf die 4 m oberhalb des Werkes verlegten Gleitschuhe konnte nicht festgestellt werden. Frühere Beobachtungen wurden damit bestätigt: Der Einfluß der Verbauung auf die plastische Verformung der Schneedecke scheint sehr beschränkt zu sein.»

«Der Winter 1952/53 brachte dem Gebiet der Schiltlaui bisher nicht gesehene Schneemassen. Mitte November wurde mit 70 cm eine für diese Zeit ungewohnte Schneehöhe registriert». Der Einfluß von zwei einzeln

stehenden Rechteck-Schneenetzen 1,5 auf 2,0 m wurde untersucht. Beim ersten Netz konnte bei relativ geringen Gleitwegen keine Wirkung nachgewiesen werden. «Positive Ergebnisse zeigte das System II. Während die 4,7 m oberhalb des Netzes gelegten Metallschuhe vom 12. Dezember 1952 bis 5. Mai 1953 Gleitwege von 80 bis 135 cm zurücklegten, reduzierten sich diese im Abstand von 1,7 m oberhalb des Netzes auf 50 bis 81 cm.»

Auch der Einfluß von Kleinwerken als Gleitschutz wurde untersucht. Im Winter 1955/56 dauerten die Messungen vom 11. Januar bis zum 18. Mai. Der Wirkungsbereich eines 2,5 m langen und 1,8 m hohen Leichtmetall-Schneerechens erstreckte sich auf eine Fläche von rund 60 m², mit Gleitwegen von 10 bis 30 cm, während außerhalb dieser Einflußzone 20 bis 60 cm gemessen wurden.

«Am 14. Januar 1957 wurden am Steilhang beim Schneerechen 27 20 Leichtmetall-Gleitschuhe in eine etwa 1 m hohe Schneedecke eingebaut. Bis zum Ausbaudatum am 27. März legten die Versuchskörper Gleitstrecken von 2 bis 38 cm zurück. Im Hinblick auf den dichten Verbau des Versuchsfeldes mit Holz- und Leichtmetall-Schneerechen und Schneenetzen, die kurze Beobachtungszeit und die geringe Schneehöhe muß das Gleiten als ziemlich stark bezeichnet werden. Fördernd auf die Bewegung mag neben der Durchnässung der Schneedecke auch die kurzgrasige Bodenvegetation gewirkt haben. Obwohl eine Stauwirkung der Werke unverkennbar ist, möchten wir diese doch als relativ bescheiden bezeichnen. Die Gleitschuhe mit den Weglängen 6, 3, 5 und 9 cm sind zudem an Hindernissen leicht angestoßen, so daß die gemessenen Werte eher zu klein ausfielen. Mit der Feststellung einer gut meßbaren, gefühlsmäßig aber geringen Wirkung des Stützverbaues auf das Schneegleiten werden frühere Beobachtungen bestätigt.»

Im Winter 1957/58 dauerte der Gleitversuch vom 12. November bis zum 13. Mai. Die Verschiebungen der 24 Gleitschuhe betrugen 17 bis 95 cm, im Mittel 57 cm. «Der Gleitweg war unterhalb der Schneerechen etwas größer als oberhalb, betrug aber 3,6 m ob Rechen 33 immer noch 40 bis 60 cm. Das läßt auf eine bescheidene Stauwirkung der Werke und auf sehr hohe Plastizität der Schneedecke schließen.» — «Im Umkreis des Schneenetzes Nr. 303 (Einzelschneenetz 2 × 2 m) wurden am 21. November 1958 in eine schmächtige Schneeschicht 25 Leichtmetall-Gleitschuhe eingebaut. Versuchsziel: Prüfung des Werkwirkungskreises. Ausbau am 23. April 1959 aus einer durchnäßten, kohäsionslosen Schneeschicht. Das Versuchsergebnis war insofern enttäuschend, als eine Stauwirkung des Schneenetzes auf die Schneedecke überhaupt nicht festgestellt werden konnte. Die Gleitwege betrugen 0 bis 135 cm, im Mittel 66 cm im Laufe von fünf Monaten. Wir betrachten das als sehr hoch für die verbaute Zone. Maßgebend für die Gleitdistanz eines Metallschuhs war nicht seine Lage zum Stützwerk, sondern die Boden-

beschaffenheit und die Hangneigung.» — Im Winter 1959/60 war eine Stauwirkung des einzeln stehenden Schneenetzes Nr. 87 (2 × 2 m) unverkennbar.

Der Einfluß von Stützwerken auf das Gleiten wurde auch in andern Verbauungen untersucht. Schon 3 m oberhalb der Stützroste wurden meistens Gleitwege von über 10 cm gemessen. In den Wintern 1959/60, 1960/61 und 1962/63 wurde aus fünf Messungen in den Verbauungen «Mattstock»/Amden, «Kühnihorn»/St. Antönien und «Kneugrat»/Braunwald ein Durchschnitt von 28 cm berechnet. Ein großer Gleitweg von 60 cm wurde nur 3,4 m hinter der VOBAG-Schneebrücke Nr. 23/3 am Kühnihorn festgestellt. Rund 3 m oberhalb von Stützwerken wird in Gleitwintern der Schutz derselben minim und kann schon bei 4 m aufhören.

Die sich über fünf Winter erstreckenden Messungen über den Einfluß von Erdterrassen auf das Gleiten haben auch eher entmutigende Resultate ergeben. In zwei Wintern wurden auf 3 m breiten Terrassen am Mattstock Gleitwege von rund 10 cm gemessen. Die Schneedecke wurde als Ganzes über die Terrassen hinweggeschoben.

Diese Tatsachen zeigen, daß der Gleitschutz für die Aufforstungen und die Stützwerke selbst noch keineswegs gelöst ist. Unsere Messungen und Beobachtungen, insbesondere die Zerstörung von Stützverbauungen und Aufforstungen durch Gleitschnee, beweisen die Ohnmacht getroffener Vorkehren. Der Praktiker wird sich die Frage stellen: Können die zu erwartenden Gleitbewegungen, auch im Einflußbereich von Schutzbauten, für die Aufforstungen toleriert werden? Eine Antwort wurde durch den Winter 1965/66 erteilt; für manche Aufforstung leider in dem Sinne, daß der erlittene Rückschlag den Abschluß der Arbeiten um Jahre hinausschieben wird.

Innerhalb von Aufforstungen, welche die Maximalschneehöhe noch nicht oder höchstens vereinzelt durchstoßen, wurde eine erhebliche Dämpfung des Schneegleitens festgestellt. In Extremwintern erbringt der Aufwuchs diese Abbremsung schlimmstenfalls unter Selbstaufopferung. Wir müssen uns bewußt sein, daß der Zufall für Aufforstungen auf gleitsüchtigen Standorten eine entscheidende Rolle spielt. Folgt sich eine Reihe normaler oder gar harmloser Winter und findet der nächste Gleitwinter einen bereits erstarkten Jungbestand vor, so kann eine Aufforstung gerettet sein. Sind dagegen widrige Umstände mit im Spiele, fällt das empfindliche Jugendstadium mit einem oder mehreren Gleitwintern zusammen, so beugt sich manch hoffnungsvoller Jungwuchs der Gewalt des Schnees. Es braucht viel Zeit, Geduld und unermüdlichen Einsatz, um auf Extremstandorten zum Ziele zu kommen. Dabei muß man sich mit einer stufigen, stützpunktartig aufgebauten, lückenhaften Bestockung zufriedengeben, welche für jeden Zukunftsbaum einer Großzahl helfender, meist durch Schneedruck verunstalteter Trabanten bedarf.

## Résumé

### Glissement et rampement du manteau neigeux en génie paravalanche

Le glissement de la couche de neige fut un phénomène très répandu durant les hivers 1965/66 et 1966/67, et causa de nombreux dégâts aux ouvrages de stabilisation de la neige, aux voies de communication et aux forêts, spécialement aux afforestations situées dans la zone de déclenchement des avalanches.

On entend par *glissement* une lente progression du manteau neigeux sur le sol. Ce mouvement, dont l'ampleur varie selon la pente du versant, le caractère de sa surface et son exposition, est surtout fonction des conditions météorologiques. Durant un hiver normal, les premières chutes de neige importantes trouvent un terrain assez refroidi pour permettre le durcissement rapide de la couche située au contact du sol. Au contraire, de précoces et massives chutes de neige provoquent l'isolation du sol et empêchent son refroidissement: la température de la couche supérieure se maintient alors de manière durable légèrement au-dessus de 0°, et le manteau neigeux glisse lentement sur la surface lubrifiée par l'eau provenant de la fonte. Au long d'un tel hiver, la distance de glissement peut atteindre plusieurs mètres.

La présente étude a été réalisée dans les Préalpes suisses, région où les phénomènes de glissement sont bien marqués, favorisés à relativement basse altitude par des températures élevées et d'importantes quantités de neige. Deux méthodes de mesure furent appliquées:

- Pour déterminer la distance de glissement, on s'est servi de plaques rectangulaires de métal léger (200 × 120 × 2 m/m), recourbées en l'un de leurs petits côtés. Placés dans le terrain avant l'enneigement, rapportés à des points fixes, ces glisseurs sont retirés peu avant le déneigement et leur position mesurée.
- La distance de glissement et le profil de rampement sont obtenus par la méthode du cylindre de sciure: on relève peu avant la fonte des neiges la position et la forme d'un trou rempli de sciure, percé dans la couche de neige au moment de sa plus grande épaisseur, et dont on aura marqué la position au sol.

Dans le calcul des ouvrages de stabilisation en génie paravalanche, on tient compte de ces phénomènes en introduisant un facteur de glissement dans la détermination de la poussée de neige. Dans la technique d'afforestation, des ouvrages anti-glissement doivent être prévus; l'efficacité de nombreux types de protection s'est cependant révélée nulle durant les hivers extrêmes. *Traduction: J.-F. Matter*


*Literaturhinweise und Quellen*


(1) *Met. Zentr. Anst.:* Witterungsberichte in der Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen 1952, S. 463, 469, 556–561; 1953, S. 50–53; 1966, S. 144, 224–226; 1967, S. 37, 93, 168

(2) *Fankhauser, Fr.:* Über Entstehung der Lawinen und Schutzmittel dagegen. Schweiz. Forst-Journal 1853, S. 1–7

(3) *Fankhauser, Fr.:* Die Notwendigkeit einer Umgestaltung unseres Aufforstungsverfahrens im Gebirge. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen 1918, S. 1–7, 25–34

(4) *Oechslin, M.:* Schädigungen in Aufforstungen im Hochgebirge. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen 1957, S. 93–101

(5) *Hess, E.:* Erfahrungen über Lawinenverbauungen. Eidg. Oberforstinspektorat, Bern 1936. Kapitel IV: Das Kriechen des Schnees

(6) *Haefeli, R.:* Schneemechanik mit Hinweisen auf die Erdbaumechanik. In: Der Schnee und seine Metamorphose. Beitr. zur Geologie der Schweiz, Geotechn. Serie – Hydrologie, Lfg. 3, 1939; S. 162: Beschreibung von Sägemehlsäulen

(7) *Oechslin, M.:* Ein Versuch zur Bestimmung der Schneekohäsion. Verh. Schweiz. Naturforsch. Ges. Solothurn 1936, S. 262–264

(8) *Oechslin, M.:* Schneetemperaturen, Schneekriechen und Schneekohäsion. Schweiz. Zeitschr. f. Forstwesen 1937, S. 1–19

(9) *In der Gand, H. R.:* Beitrag zum Problem des Gleitens der Schneedecke auf dem Untergrund. In: Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen, Winter 1952/53, Weißfluhjoch/Davos 1954

(10) *In der Gand, H. R.:* Ergebnisse der Gleitmessung. In: Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen, Winter 1955/56 und 1957/58, Weißfluhjoch/Davos 1957 und 1959

(11) *Haefeli, R.:* Kriechprobleme im Boden, Schnee und Eis. Wasser- und Energiewirtschaft 1954, S. 51–67

(12) *In der Gand, H. R.,* und *Zupancic, M.:* Snow Gliding and Avalanches. In: Reports and discussions of the international symposium on scientific aspects of snow and ice avalanches, Gentbrugge 1966

(13) *Bucher, E.:* Beitrag zu den theoretischen Grundlagen des Lawinenverbaus. Beitr. zur Geologie der Schweiz – Geotechn. Serie – Hydrologie, Lfg. 6, 1948

(14) *Frutiger, H.:* Beobachtungen über das Gleiten und Kriechen der Schneedecke in der Lawinenverbauung «Mattstock»/Amden. In: Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen, Winter 1965/66, Bern 1967