

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 86 (1968)
Heft: 31

Artikel: Neue Erkenntnisse über das Schneegleiten
Autor: Gand, Hansruedi in der
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-70099>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. 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. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

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. [Voir Informations légales.](#)

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. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

schen Mittelland zwischen Zimmerwald und Emmental in rund 600 m ü.M. eine grössere Zahl von Schneelastschäden an neueren Häusern festgestellt.

Die Schneelasten der Höhenstufe von 700 m bis etwa 3000 m ü.M. nehmen nach folgender, ebenfalls empirisch gewonnener Gleichung zu (s. Bild 1, Kurve 3):

$$p_s \text{ (kg/m}^2\text{)} = 1,5 h^2 + 500 \text{ (h in Hektometer)}$$

Die Vergleiche mit früheren Messungen der Schneemengen und Niederschlagsdaten zeigen, dass seit 1900 keine höheren Werte vorgekommen sind. Kurve 1 in Bild 1 gibt die Werte nach den SIA-Normen wieder. Sie zeigt eindrücklich, dass diese Normen zu geringe Schneelasten im ganzen Höhenbereich ergeben. In Klöstern in 1200 m ü.M. wurden im vergangenen Winter 1967/68 564 kg/m² gemessen gegenüber einer maximalen Last von nur 360 kg/m² nach den SIA-Normen.

Eine weitere Beziehung lässt sich einerseits aus gemessenen maximalen Schneehöhen und der mittleren Dichte ermitteln. Andererseits ergeben sich praktisch die gleichen Werte mit der Aufsummierung der Niederschlagssummen vom Einschneidungsdatum bis zum Schneehöhenmaximum.

Die Kurve 4 in Bild 1 wurde auf diese Art der Aufsummierung der Niederschlagsmengen in den einzelnen Höhen berechnet. Es wurde dabei zur Zeit der maximalen Schneehöhen eine Dichte von 250 kg/m² angenommen. Bei einer Dichte von 300 kg/m² würde sich angenähert Kurve 3 ergeben. Also auch auf einem ganz anderen Weg werden in der Grössenordnung die gleichen Schneelasten erhalten. Diejenigen nach SIA-Formel sind unbedingt zu klein.

Einzig die klimatischen Unterschiede der verschiedenen schweizerischen Regionen können noch gewisse Modifikationen zulassen. In Bild 2 sind jene Regionen gekennzeichnet, in denen eine Verringerung gegenüber den Werten der SLF-Kurve verantwortet werden kann, bzw. eine Vergrösserung der Schneelast erwartet werden muss. Als Schwellenwert wurde 10% Abweichung von der maximalen Last in jeder Meereshöhe angegeben. Es handelt sich um folgende Gebiete: Genfersee/Ufernähe, unteres Rhonetal mit Val d'Entremont

und zentrales Haupttal bis etwa östlich Visp. Eine Verringerung darf für Montana schon nicht mehr zugelassen werden, während südlich der Rhone eine solche etwa bis Grimentz gültig sein sollte. Brig liegt schon ausserhalb einer Reduktion.

In gleichem Umfang können geringere Werte angenommen werden für die Gegend von Basel-Stadt, das Klettgau, in Graubünden für das Vorderrheintal der Zone von Obersaxen-Versam, das Hinterreingebiet Andeer-Avers, das Landwassertal zwischen Davos und Filisur, das Engadin von Celerina-Zernez-Ofenpass bis St. Maria, ferner für das südliche Puschlav.

Im engeren Gotthardgebiet mit Niederschlägen aus Süd und Nord ist eine Vergrösserung der Werte um 10% zu empfehlen. Die Region reicht im Westen bis gegen Oberwald und im Osten bis Tschamutt und Lukmanier. Auch das Nufenengebiet ist sehr schneereich.

Im Gebirge spielt überdies der lokale Standort noch eine wesentliche Rolle. Je nach diesem können die angegebenen Lasten stark nach oben oder unten abweichen. Frei exponierte Dächer werden in der Regel kleinere Lasten erhalten als ihrer Höhenlage entspricht. Gebäude hinter einem Kamm hingegen können wesentlich grössere Schneelasten empfangen, wenn sie sich im Windschatten befinden. Alpbauwerke, die oft eher geschützt gegen die Unbill der Witterung plaziert sind, können durch Triebsschnee stärker zugedeckt werden als ihrer Höhenlage entsprechen würde.

Für normale Standorte sollten die ermittelten maximalen Lasten die Extremfälle enthalten oder nur noch um einen minimalen Betrag überschreiten.

Eine nicht zu unterschätzende Bedeutung erhält auch die Wärmeisolierung eines Daches. Wenn schon die Schneedecke in einzelnen Wintern vom Boden her bis über 10% ihrer Substanz durch Schmelzen verlieren kann (unterhalb etwa 1500 m ü.M.), so sind entsprechende Schmelzvorgänge auch auf schlecht isolierten Dächern möglich. Über entsprechende Messungen sind dem Verfasser keine Zahlen bekannt.

Adresse des Verfassers: Dr. Th. Zingg, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, 7260 Weissfluhjoch-Davos.

Neue Erkenntnisse über das Schneegleiten

DK 551.578.46

Von H. in der Gand, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch-Davos

1. Einleitung

Auf geneigter Ebene führt die Schneedecke eine von ihrem Gewicht gesteuerte, in der Falllinie gerichtete schleichende Bewegung aus (Bild 1). An diesem Verformungsprozess ist in jedem Falle das sich innerhalb der Schneeschichten vollziehende Schneekriechen mit hangsenkrechten und hangparallelen Bewegungskomponenten beteiligt. Die als *Schneegleiten* benannte *Translation der Gesamtschneedecke auf dem Untergrund* ist dagegen an besondere Grenzschichtbedingungen zwischen der Schneedecke und der Bodenoberfläche oder der Vegetationsdecke gebunden.

Das Schneekriechen erreicht Tageswerte in der Grössenordnung von Millimetern bis Zentimetern, das *Schneegleiten* solche von *Millimetern bis Metern*. Gegenüber den mit Geschwindigkeiten von Metern pro Sekunde niedergehenden Lawinen sind Kriechen und Gleiten ausgesprochen langsame Bewegungsprozesse, so dass für mechanische Betrachtungen über die kriechende und gleitende Schneedecke die Grundgesetze der Statik ihre Gültigkeit behalten.

Schon zu Beginn seiner Erforschung der Schneedecke erkannte Prof. Dr. R. Haefeli mit einer gerade beim technischen Wissenschaftler nicht ohne weiteres zu erwartenden Gabe der Erfassung, Bewertung und Interpretation von Naturphänomenen, dass das Schneegleiten «für die Klärung der Schnee- und Lawinenprobleme von grösstem Interesse ist». Dies bewog ihn bereits in seiner «Schneemechanik» [1], den Gleitvorgang von Schnee auf Diskontinuitätsflächen einer besonderen Untersuchung zu unterziehen. In Gleitversuchen mit Schneequadranten auf Glas konnte Haefeli für gegebene Eigenschaften der Grenzflächen nachweisen, dass die Gleitgeschwindigkeit mit zunehmender Schubspannung zunimmt und für jede Schubspannungsgrösse einen konstanten Endwert erreicht. Ferner wurde gezeigt, dass die Gleitgeschwindigkeit ausser vom Spannungszustand auch von der Schnee- und Gleitflächentemperatur abhängt, und dass die Gesamtreibung von Schnee auf Glas beim Übergang von trockener zu nasser Gleitreibung auf einen um den Faktor 10² kleineren Wert absinkt.

Die Versuchs- und Beobachtungsergebnisse über das Schneegleiten fanden im ersten «Versuch einer Schneedruckberechnung» [1] ihre Berücksichtigung, indem neben dem Fall des kriechenden, am

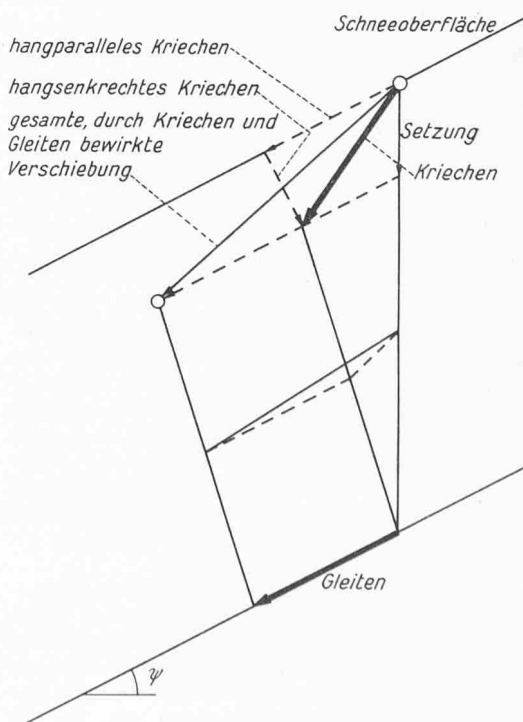


Bild 1. Schematische Darstellung der Kriech- und Gleitbewegung der Schneedecke

Boden haftenden Schnees auch jener der kriechenden und gleitenden Schneedecke behandelt wurde.

2. Bisherige Ergebnisse von Felduntersuchungen

Die Resultate mehrjähriger, zum Problem des Schneegleitens am Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung durchgeführter Felduntersuchungen und Messungen sind in [2] und [3] einlässlich dargestellt; wir beschränken uns deshalb hier auf eine Zusammenfassung der wichtigsten Ergebnisse.

Das Schneegleiten ist normalerweise ohne besondere Gleitgeschwindigkeitsmessungen nicht feststellbar. Als Folge starken Schneegleitens treten aber in Geländezonen mit unterschiedlichen Gleitgeschwindigkeiten in der Schneedecke Risse, Brüche und Verfaltungen in Erscheinung. Im Extremfall kann es vor allem bei langanhaltendem Schneegleiten zu schweren Schäden an natürlichen und künstlichen Hindernissen kommen (Abschürfung der Bodenoberfläche und Vegetationsdecke, Beschädigung von Bestockungen in Aufforstungen, an Waldrändern oder in Baumgruppen, vor allem durch Entwurzelung von Bäumen, Verschiebung oder Abpressung von Ställen, Weg- und Bahntrassees, Lawinenverbauungen, Zäunen, Felsblöcken u. a. m.).

Eine der beiden *entscheidenden Bedingungen* für das Zustandekommen des Schneegleitens ist das Vorhandensein einer verhältnismässig *glaten Bodenoberfläche oder Vegetationsdecke*. Ausser der Reibung zwischen der Schneedeckenbasis und der Unterlage kann unter besonderen Umständen die *Verzahnung der Schneedecke* mit der Vegetation, mit Gesteinstrümmern oder Schutzbauten (Pfählungen, Hangterrassierungen) den Gleitschneeprozess wesentlich beeinträchtigen. Der starke Einfluss der Rauigkeit der Schneedeckenunterlage auf das Schneegleiten bedingt eine hohe Differenzierung der Bewegungsintensitäten auf grösserer Fläche. Besonders günstige Gleitschneebedingungen herrschen auf glatter, langhalmiger Grasnarbe, während im groben Blockschutt ein flächenhaftes Schneegleiten unmöglich ist.

Die *zweite*, ebenso wichtige *Bedingung* für das Auftreten einer Translation der Schneedecke auf ihrer Unterlage ist die Bildung einer wenngleich nur Millimeter dicken *Nassschnee-Grenzschicht*; dies offenbar im Zusammenhang mit der sprunghaften Abnahme der Reibung beim Übergang von trockener zu nasser Gleitreibung, wie sie von Haefeli in seinen Gleitversuchen [1] nachgewiesen werden konnte.

Nassschnee-Grenzschichten entstehen hauptsächlich durch Schmelzprozesse an der Basis der Schneedecke, die davon herrühren, dass die Bodenoberflächentemperatur im mitteleuropäischen Klimagebiet an Sonnenhängen bis gegen 2400 m unter der Bedingung zeitlich normalen Einschneiens nicht unter den Gefrierpunkt sinkt. Dieses Abschmelzen an der Basis der Schneedecke kann während des ganzen Winters anhalten und den Abbau beachtlicher Schneemengen bewirken (zum Beispiel im Hangprofilfeld Seewerberg/Davos, SSE, 30°, 2050 m, 19. 11. 64 bis 16. 3. 65 Abbau 73 mm Wasserwert).

In Übereinstimmung mit den Gleitschneeversuchen von Haefeli [1] nimmt die *Gleitgeschwindigkeit* mit ansteigendem Schneedeckengewicht zu und erreicht in jedem Fall einen stationären Endwert. Dies trifft auch unmittelbar nach der Bildung von Gleitschneerissen zu, das heisst jener sichelförmigen Spalten, die sich bei starkem Gleiten infolge Überwindung der Zugfestigkeit der Schneedecke vor allem an konvexen Gefällsbrüchen (Zugzonen) bis auf den Boden öffnen.

Ausserdem nimmt die Gleitgeschwindigkeit allgemein auch mit zunehmender Hangneigung zu. In der zusammenhängenden Schneedecke beeinflussen sich aber unterschiedlich geneigte Teilflächen nach einer gewissen Zeit, so dass es praktisch unmöglich ist, die Beziehungen zwischen der Gleitgeschwindigkeit und der Hangneigung unter natürlichen Bedingungen zu untersuchen; es sei denn, man sorge durch allseitige Freilegung eines Schneeblockes auf gleichmässig geneigter Unterlage für einen von der umgebenden Schneedecke unbeeinflussten Bewegungsablauf. Für eine auf glatter Grasnarbe gleitende Schneedecke konnte als untere Grenzneigung 15° gemessen werden.

Auch die stark temperaturabhängige *Verformbarkeit* der *Schneeschichten* führt in der zusammenhängenden Schneedecke zu gegenseitiger Beeinflussung der Gleitschneebewegung auf unterschiedlich geneigten Geländezonen. Dabei wirkt sich ein Abfall der Schnees temperaturen um mehrere Grad bewegungshemmend und ein entsprechender Temperaturanstieg bewegungsfördernd aus. An der Schneedeckenbasis oder im Fundament gebildete Harsch- und Eisschichten beeinträchtigen im allgemeinen das Schneegleiten.

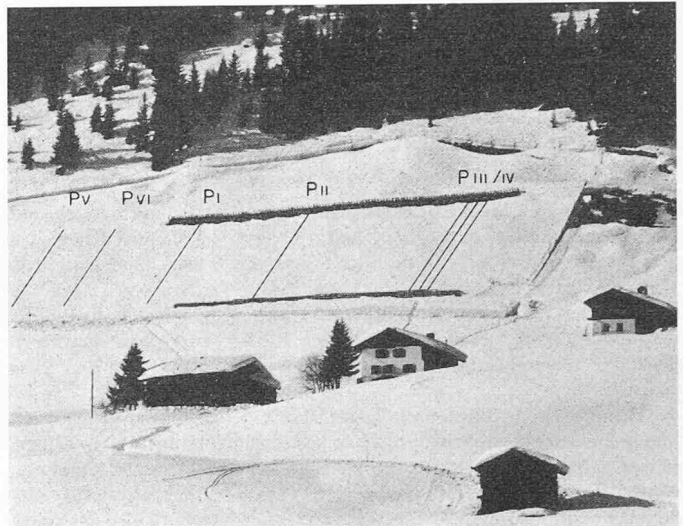


Bild 2. Versuchsgebiet Matte-Frauenkirch, 8. Febr. 1968, mit Gleitschneerissen in den oberen und seitlichen Randzonen der Versuchsfläche. Die Bezeichnungen P I bis P VI entsprechen den Versuchsvarianten mit Gleitwegmessungen

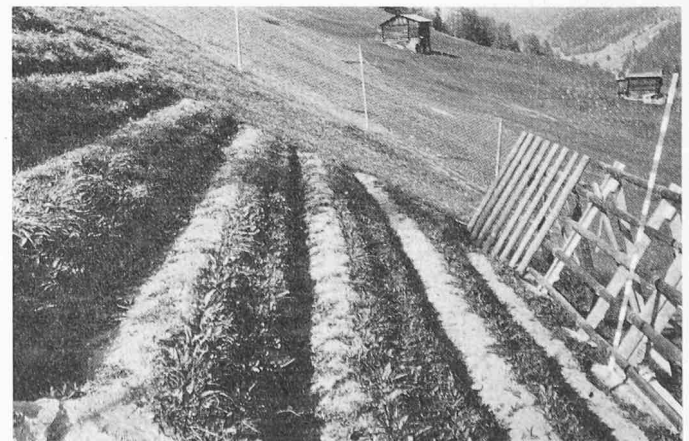
Unter der Einwirkung der verschiedenartigen, zum Teil sich überdeckenden Faktoren resultiert ein *unregelmässiger Bewegungsablauf* mit meist vorherrschendem kontinuierlichem Gleiten, das von Ruheperioden oder in selteneren Fällen von ruckartigen Translationen unterbrochen werden kann.

3. Neue Untersuchungen zur Frage der Verminderung des Schneegleitens in Stützverbauungen und Aufforstungen

3.1. Problemstellung

In Stützverbauungen und Aufforstungen sind nach starken Gleitschneewintern immer wieder bedeutendere Schäden festzustellen. Es handelt sich dabei einerseits hauptsächlich um Abpressungen von Fundamenten der Stützwerke und andererseits um Entwurzelungen angeplanter Bäumchen. Diese Schäden sind darauf zurückzuführen, dass der *praktische Staubereich* (das heisst jene Zone, in der wesentliche Druckspannungen hervorgerufen werden) bergseits natürlicher oder künstlicher Hindernisse in einer gleitenden Schneedecke mit zunehmender Gleitgeschwindigkeit und Andauer des Gleitprozesses um ein Vielfaches grösser werden kann als jener in einer am Boden haftenden Schneeablagerung. Es stellt sich somit die Aufgabe, zu prüfen, ob das Schneegleiten durch besondere, wirksame und wirtschaftliche bauliche Vorkehrungen derart vermindert werden kann, dass einerseits Stützverbauungen ohne wesentliche Erhöhung der Dimensionen gegenüber solchen in gleitschneefreien Zonen gebaut werden dürfen und dass andererseits der An- und Aufwuchs einer Aufforstung auf Gleitschneehängen sichergestellt ist. Spezielle Aufforstungsversuche in Gleitschneezonen des Dorfberges und des Seewerberges ob Davos [3] liessen erkennen, dass das Schneegleiten besonders mit jenen Schutzvorkehrungen stark beeinträchtigt werden kann, die in gleichmässiger und enger Anordnung die Rauigkeit der Bodenoberfläche erhöhen und eine gewisse Verzahnung der Basisschichten

Bild 3. Schmalbermenfeld ob Stützwerken (Versuchsvariante III)



der Schneedecke mit der Unterlage bewirken. Als geeignetste und wirtschaftlichste bauliche Schutzmassnahme erwiesen sich Hangabtreppungen mit schmalen, nur $30 \div 40$ cm messenden, vorwiegend im Abtrag hergestellten Tritten. Diese Kleinterrassierungen können längs der Niveaulinien durchgehend und im Hanggefälle je nach Neigung in Abständen von $80 \div 140$ cm angeordnet (Schmalbermen), oder in aufgelöster Bauweise als tellerförmige Tritte ausgeführt werden (Tellerbermen).

3.2 Versuchsvarianten und Messstellenanordnung

In einem auf 1700 m in SE-Exposition «in der Matte» ob Davos-Frauenkirch gelegenen Gleitschnee-Versuchsgebiet des Institutes wurden während des Winters 1967/68 auf einem ebenmässigen, durchschnittlich um 32° geneigten Hang auf knapp vor dem Einschnieren kurzgeschnittener Grasnarbe *vergleichende Gleitwegmessungen in folgenden 6 Versuchsvarianten* durchgeführt (Bild 2).

Profil I: Unbehindertes Gleiten ausserhalb von Stützwerken und Bermen; 51 Messstellen in 17 Niveaulinien mit je 3 Wiederholungen; Linienabstand im Hanggefälle 2,15 m, Abstände der Wiederholungen auf den Niveaulinien 2,0 m.

Profil II: Gleiten bergseits eines Stützwerkes (lotrechte Werkhöhe 1,9 m) auf Grasnarbe ohne Bermen, Messstellenanordnung analog Profil I.

Profil III: Gleiten bergseits eines Stützwerkes (lotrechte Werkhöhe 1,9 m) zwischen und auf 29 Schmalbermen (Bermenlänge 12,5 m, Bermenbreite $0,30 \div 0,40$ m, Bermenabstände im Hanggefälle $0,80 \div 1,40$ m je nach Geländeform, Bild 3); 119 Messstellen zwischen und 115 Messstellen auf Schmalbermen, in 59 Niveaulinien wechselweise zwischen und auf Schmalbermen angeordnet, mit je 4 Wiederholungen auf den Niveaulinien, Abstände der Wiederholungen $2 \div 4$ m.

Profil IV: Gleiten im Schmalbermenfeld bergseits eines Stützwerkes (Profil III) auf einer $0,50$ m breiten und im Hanggefälle $32,5$ m langen Gasse mit kurzgemähter, natürlicher Grasnarbe ohne Gleitschutzvorkehrungen.

Profil V: Gleiten ausserhalb von Stützwerken auf einem Feld von 12 m Breite und 30 m Hanglänge mit 338 Tellerbermen von $0,30$ m Durchmesser; im versetztem Verband von $1,0 \times 1,0$ m Vertikalprojektion angeordnet (Bild 4); 26 Messstellen zwischen und 24 Messstellen auf Tellerbermen in 25 Niveaulinien wechselweise zwischen und auf Tellerbermen angeordnet mit je 2 Wiederholungen pro Niveaulinie; Abstand der Niveaulinie $1,0$ m Vertikalprojektion in Hangfalllinie; Abstand der Wiederholungen auf der Niveaulinie $3,0$ m.

Profil VI: Gleiten in je 4 m seitlichem Abstand links und rechts des Tellerbermenfeldes (Profil V) auf natürlicher, kurzgeschnittener Grasnarbe, ohne Gleitschutzbauten und Stützwerke; 50 Messstellen auf den gleichen 25 Niveaulinien wie Profil V mit 2 Wiederholungen pro Niveaulinie im Abstand von 20 m auf der Niveaulinie.

Die Profile I bis IV sind bergseits in einer Distanz von 35 m von der unteren Stützwerklinie durch einen 56 m langen, durchgehenden Schneerechen gegen Störungen durch Schneerutschungen und durch den von den benachbarten Waldbäumen herabfallenden Schnee geschützt.

3.3 Messmethoden

Die meisten der in den Messprofilen I bis VI erwähnten 452 Messstellen waren mit *Gleitschuhen* zur Messung des *totalen Gleit-*

Bild 4. Tellerbermen mit analoger Anordnung wie Versuchsvariante V

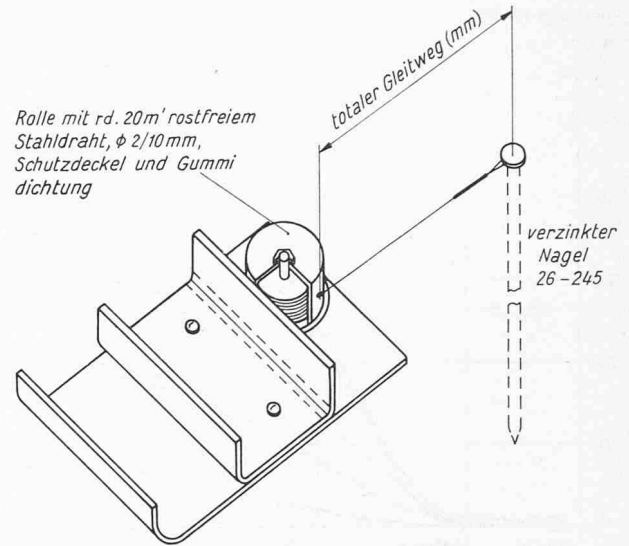
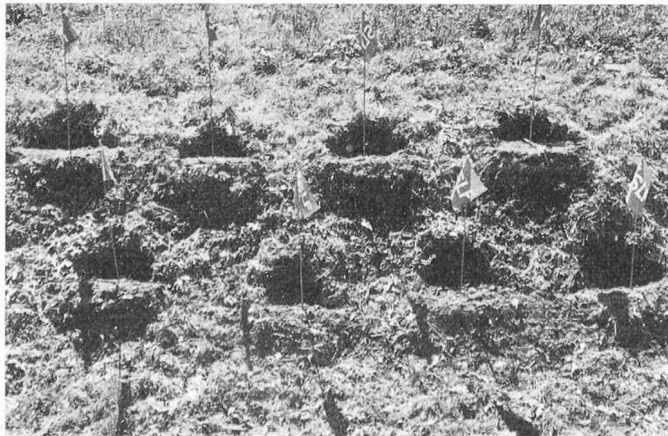


Bild 5. Gleitschuh zur Messung des totalen Gleitweges der Winterschneedecke

weges ausgerüstet (Bild 5), der von einer ununterbrochen andauernden Winter-Schneedecke zurückgelegt wird.

Diese Gleitschuhe sind aus einem 20 cm langen, 10 cm breiten, 2 mm dicken Anticorodalblech angefertigt, das längsseitig in die Hangfalllinie gelegt wird und dessen talseitige Schmalseite kreisförmig aufgebogen ist, damit der Schuh ohne Behinderung über kleinere Bodenunebenheiten hinweggleiten kann. Eine genügende Verzahnung zwischen Schneedecke und Gleitschuh wird mit einem in der Mitte des Bleches aufgenieteten U-Profil erreicht. Zusammen mit dem aufgebogenen Vorderteil ergeben sich derart drei 3 cm hohe Lamellen. Am hinteren Rand des Bleches ist unter einem Schutzdeckel eine ebenfalls aus Anticorodal hergestellte Rolle befestigt, worauf rund 20 m¹ rostfreien Stahldrahtes von $2/10$ mm Durchmesser gewickelt sind. Durch zwei zwischen der Drahtrolle und der Innenwand des Schutzdeckels eingelegte Stahlfedern wird einerseits verhindert, dass der Stahldraht über die Rollenränder hinauspringt und andererseits die Reibung der Rolle gerade soviel erhöht, dass sich der Draht durch das Gewicht des freihängenden Gleitschuhs nicht mehr abwickeln kann. Auf diese Weise lassen sich auch an steilsten Hängen vom Eigengewicht des Gleitschuhs verursachte Verschiebungen vermeiden. Der Stahldraht dient dazu, den Gleitschuh beim Auslegen auf die Bodenoberfläche im Herbst mit Hilfe eines gequetschten Kupferröhrchens an einem starken, verzinkten Nagel zu befestigen, wodurch seine Ausgangslage zu Beginn der Messung definiert ist und gleichzeitig ein die Messwerte verfälschendes Abrutschen des Schuhs ohne Einwirkung von Gleitschnee weitgehend vermieden werden kann. Die Gleitschuh-Messmethode wurde vor ihrer serienmässigen Anwendung zusammen mit andersartigen Glei-elementen getestet und ist aus dieser Prüfung als zuverlässigstes Messprinzip hervorgegangen.

Neben der Totalweg-Gleitmessung waren in den Messprofilen I, II, IV und V auch *Zählergleitmessungen* eingebaut. Diese in [3] eingehender dargestellte Messmethode gestattet, den Gleitweg in beliebigen Zeitintervallen digital zu bestimmen.

Der bereits beschriebene Gleitschuh hängt zu diesem Zweck wiederum an einem Stahldraht. Die Drahtrolle befindet sich diesmal aber nicht mehr auf dem Gleitschuh, sondern in einer im Boden versenkten und befestigten Anticorodalbüchse. Die sich im Verlaufe der Gleitbewegung um ihre Achse drehende Rolle steht über einen Schalter in Verbindung mit einem elektrischen Impulzzähler (Siemens, Mod. AWZ 100 Ω). Das Messgerät ist so ausgelegt, dass pro Zähl-schaltung ein Gleitweg von 3 mm gemessen werden kann. Die vom Zählertyp und in unserem Fall auch vom elektrischen Schaltprinzip abhängige maximale Schaltfrequenz betrug ungefähr 1 Schaltung pro Sekunde, womit ein Gleitweg von $10,8$ m pro Stunde registriert werden konnte.

3.4 Messergebnisse und Diskussion

Bild 6 veranschaulicht die Ergebnisse der Zählergleitmessungen einiger ausgewählter Messstellen der verschiedenen Messprofile. Unter den Messstellen mit gleicher Distanz von den Stützwerken

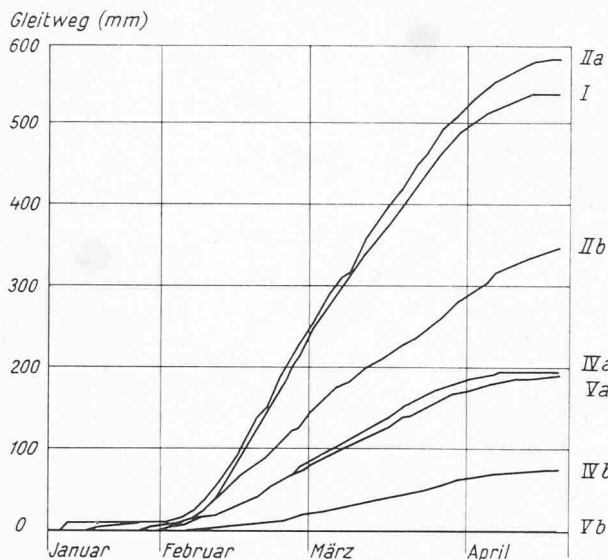


Bild 6. Charakteristik der Gleitschneebewegung im Versuchsgebiet Matte-Frauenkirch, Winter 1967/68

- I Zählergleitmessung (ZGM) im Messprofil I, ohne Stützwerke und Gleitschutzbauten, auf gleicher Niveaulinie wie IIa
- IIa ZGM im Messprofil II, 13 m bergseits Stützwerk, ohne Gleitschutzbauten
- IIb ZGM im Messprofil II, 2,2 m bergseits Stützwerk, ohne Gleitschutzbauten
- IVa ZGM im Messprofil IV, 13 m bergseits Stützwerk auf 0,50 m breiter, mitten im Schmalbermenfeld auf der ganzen Hanglänge durchlaufender Gasse mit natürlicher Grasnarbe ohne Schutzbauten
- IVb ZGM im Messprofil IV, 2,2 m bergseits Stützwerk, im übrigen wie IVa
- Va ZGM im Messprofil V, zwischen Tellerbermen
- Vb ZGM im Messprofil V, auf Tellerbermen (kein Gleiten gemessen)

wurden jene berücksichtigt, deren totale Gleitwege dem durchschnittlichen Gleitweg der betreffenden Versuchsvariante am besten entsprachen.

Eine über die ganze Versuchsfläche geschlossene reguläre Schneedecke bildete sich im Winter 1967/68 erst Ende Dezember. Auf einigen Messstellen begann das Schneegleiten zwar schon nach den ersten ergiebigen Schneefällen von anfangs Januar bei Schneehöhen von 70 ÷ 80 cm, blieb aber bei tiefer als -15 °C absinkenden Lufttemperaturmitteln sehr schwach. Auf den meisten Messstellen herrschte in dieser Zeit bei trockener Basisschicht Ruhe. Eine Wende brachten erst die Ende Januar abgelagerten Katastrophenschneefälle im Zusammenwirken mit dem Ansteigen der Lufttemperatur gegen und über 0 °C auf Mitte Februar.

Bei schwach positiver Bodenoberflächentemperatur setzte anfangs Februar an der Schneedeckenbasis der Schmelzprozess ein, und schon Mitte Februar erreichte das Schneegleiten bei einem

Schneedeckengewicht (lotrecht gemessen) von annähernd 400 kg/m² und 100 ÷ 115 cm Schneehöhe trotz rascher Verfestigung der Schneeschichten die Höchstwerte des Winters. Das starke Gleiten hielt während der ganzen zweiten Februarhälfte an und klang auch im März trotz der enormen Festigkeitszunahme der Januarablagerungen (Rammwiderstand > 80 kg) nur sehr langsam ab. Der Grossschneefall von Mitte März vermochte die Gleitgeschwindigkeit der stark verfestigten Schneedecke allerdings nicht mehr zu steigern, obschon ihr Gewicht auf 480 kg/m² anwuchs und die Schneehöhe mit 150 ÷ 180 cm die Winterhöchstwerte erreichte. Erst der Ende März und Anfang April anhaltende rapide Schneedeckenabbau führte zur raschen Abnahme der Gleitschneebewegung. Die *Gleitschneeperiode des Winters 1967/68* ist mit einer Dauer von ungefähr 2 Monaten zwar kurz, weist aber in dieser Zeit ausserhalb des Staubereiches von Stützwerken und von Gleitschutzbermen *starkes Gleiten* mit zahlreichen verhältnismässig hohen Tageswerten der Gleitgeschwindigkeit in der Grössenordnung von 1 cm auf. Die hohe Intensität der Gleitschneebewegung ist im übrigen auch daran zu erkennen, dass es ausserhalb der Fläche mit Gleitwegmessungen, wo das Gras nicht kurzgeschnitten worden war, wie schon in den beiden extremen Gleitschneewintern 1965/66 und 1966/67, zur Bildung ausgedehnter Gleitschneerisse kam (vgl. Bild 2). Ganz besonders eindrücklich zeigt Bild 6 die Gleichartigkeit der Gleitschneebewegungen in allen Versuchsvarianten, trotz stark differenzierter Intensität des Prozesses ausserhalb und im Staubereich von Stützwerken bzw. zwischen und auf Gleitschutzbermen.

Es ist somit möglich, die Grössenordnung des Schneegleitens in den verschiedenen Versuchsvarianten bei ähnlichem zeitlichem Bewegungsablauf zu vergleichen. Zu diesem Zwecke haben wir die auf den beschriebenen Profilen gemessenen totalen Gleitwege für die vom 24. 1. bis 18. 4. 1968 andauernde Gleitschneeperiode auf durchschnittliche Tagesgleitgeschwindigkeiten umgerechnet und die jeweils mit 2 bis 4 möglichst nahe beisammen liegenden, gleichwertigen Wiederholungen auf einer Niveaulinie bestimmten Messwerte gemittelt. Die derart längs der Hangfalllinie erhaltenen Gleitgeschwindigkeitsprofile sind für die 6 bereits umschriebenen Versuchsvarianten in Bild 7 dargestellt.

In Tabelle 1 sind ferner die Extremwerte der in Bild 7 enthaltenen mittleren Gleitgeschwindigkeiten für die verschiedenen Versuchsvarianten zusammengefasst. Die in den beiden letzten Kolonnen angeführten Maxima und Minima beinhalten die mittlere Tagesgleitgeschwindigkeit der auf der Niveaulinie angeordneten Wiederholungen zuzüglich bzw. abzüglich der aus den Messwerten dieser Wiederholungen errechneten Standardabweichung *s* als Streuungsmass.

Beim Betrachten der Geschwindigkeitsprofile in Bild 7 und der Messwerte in Tabelle 1 fällt ihre zum Teil bedeutende Streuung auf. Sie hat ihre Ursache in der auf grösserer Fläche nicht vermeidbaren Veränderlichkeit der folgenden wesentlichsten, das Gleiten mitbestimmenden Faktoren: Reibungsbedingungen an der Basis der Schneedecke, Hangneigung, Schneedeckenlast, gegenseitige Beeinflussung unterschiedlich geformter Geländezonen bei zusammenhängender Schneedecke. Im Falle des Einbaues von Gleitschutz-

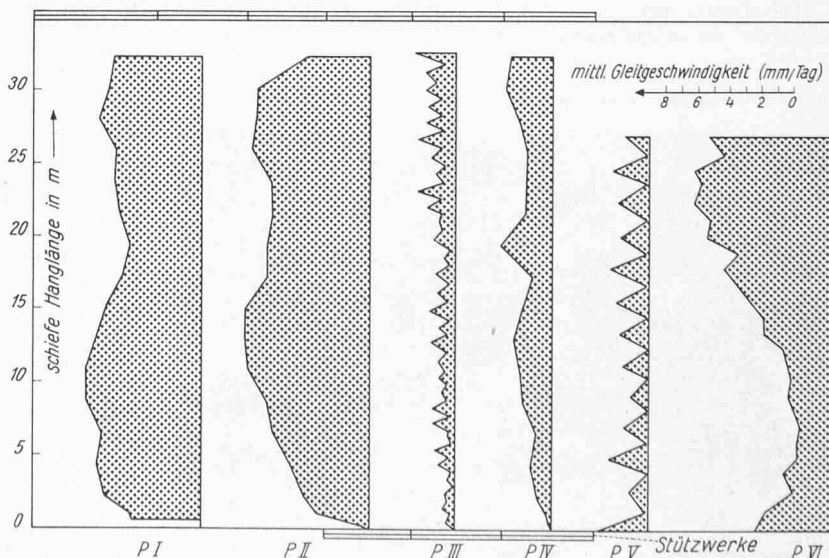


Bild 7. Gleitgeschwindigkeitsprofile der Versuchsvarianten I bis VI, Versuchsgebiet Matte-Frauenkirch, Winter 1967/68. Von den alternierenden Werten der Profile III und V sind die niedrigeren auf den Bermen, die höheren zwischen diesen gemessen worden

Tabelle 1. Extremwerte der in den 6 Versuchsvarianten gemessenen mittleren Tagesgleitgeschwindigkeiten einschl. Streuung (vgl. Erläuterungen im Text), bezogen auf die Gleitschneeperiode vom 24. 1. bis 18. 4. 1968

Versuchsvariante		X_1	X_2	X_3	X_4	$\bar{X}$	s	Maximum	Minimum
		mm/Tag				mm/Tag	mm/Tag	($X + s$) mm/Tag	($X - s$) mm/Tag
I	Unbehindertes Gleiten ausserhalb von Stützwerken und Bermen	a)	4,04	4,37	4,53	—	4,31	0,32	4,0
		b)	5,86	7,72	8,26	—	7,28	1,26	8,5
II	Gleiten bergseits Stützwerk, ausserhalb Staubereich, ohne Bermen	a)	5,13	6,22	7,17	—	6,17	1,05	5,1
		b)	6,92	6,99	9,61	—	7,84	1,53	9,4
III a	Gleiten bergseits Stützwerk, ausserhalb Staubereich, zwischen Schmalbermen	a)	0,16	1,11	0,05	2,53	0,96	1,15	0,0
		b)	1,38	1,47	2,88	3,69	2,36	1,11	3,5
III b	analog III a jedoch auf Schmalbermen	a)	0,22	0,22	0,40	0,13	0,24	0,10	0,1
		b)	1,64	0,16	0,42	0,73	0,74	0,64	1,4
V a	Gleiten zwischen Tellerbermen, ohne Stützwerke	a)	0,78	1,67	—	—	1,23	0,61	0,6
		b)	3,62	1,24	—	—	2,43	1,68	4,1
V b	Gleiten auf Tellerbermen ohne Stützwerke	a)	0,00	0,04	—	—	0,02	0,03	0,0
		b)	0,09	0,04	—	—	0,06	0,04	0,1
VI	Gleiten ohne Tellerbermen und Stützwerke (Vergleichsprofil zu V a/b)	a)	9,90	2,73	—	—	6,32	5,05	1,3
		b)	14,34	3,75	—	—	9,05	7,48	16,5

$X_1 \dots X_4$ = Messwerte der mittleren Tagesgleitgeschwindigkeit auf je zwei Niveaulinien a) und b)

$\bar{X}$ = arithmetisches Mittel der Messwerte

$s = \frac{S(X_i - \bar{X})^2}{N - 1}$ = Standardabweichung

Maximum und Minimum = Extremwerte der mittleren Tagesgleitgeschwindigkeiten $\pm$ Standardabweichung

bermen gesellt sich zu diesen Einflüssen auch noch die unterschiedliche Ausformung der Erdbauten, wodurch die Streuung, wie aus Tabelle 1 ersichtlich ist, weiter ansteigt.

Der Vergleich der Messergebnisse der verschiedenen Versuchsvarianten führt zu den folgenden wesentlichsten Erkenntnissen:

- Ausserhalb des Staubereiches eines Stützwerkes gleitet die Schneedecke auf natürlicher Grasnarbe mit praktisch gleicher Geschwindigkeit wie im unverbauten Gelände (Varianten I/II). Die gegenüber Profil I höheren Mittel- und Extremwerte des Profiles II sind vor allem auf eine etwas höhere Hangneigung zurückzuführen.
- Der durch das Schneegleiten zustandegekommene praktische Staubereich lässt sich auf Grund der Gleitgeschwindigkeitsabnahme innerhalb einer Hanglänge von rund 11 m bergseits des Stützwerkes der Variante II gut begrenzen; er war somit im Winter 1967/68 etwa 4,4 mal länger als der für den Fall ohne Gleiten rechnerisch zu ermittelnde. Auch diese beträchtliche Vergrösserung der Staulänge des Stützwerkes weist auf die hohe Intensität der Gleitschneebewegung hin.
- Im Schmalbermenfeld (Variante III) trat das Schneegleiten gegenüber den Varianten I und II ohne Gleitschutzbermen stark abgeschwächt in Erscheinung. Ein vom Gleiten herrührender Staubereich kann hier bergseits des Stützwerkes nicht festgestellt werden. Die gesamthaft mit zunehmender Distanz vom Stützwerk schwach zunehmende Gleitgeschwindigkeit ist der gleichlaufenden Zunahme der Hangneigung von 30° auf 34° zuzuschreiben. Im Gelände zwischen den Schmalbermen nehmen die Gleitgeschwindigkeiten bis zu 2,5 mal höhere Werte an als auf den Tritten; verglichen mit jenen auf unbehandelter Grasnarbe sind sie aber 2,7 mal kleiner. Obschon das Gleiten auf den Tritten nicht völlig zur Ruhe kommt, ist doch ohne Ausnahme ein starkes Abklingen festzustellen.
- Im Vergleich zu den durchgehend angeordneten Bermen der Variante III zeigt Variante IV die Auswirkung einer 50 cm breiten, mitten im Bermenfeld mit natürlicher Grasnarbe belassenen Gasse. Das Geschwindigkeitsprofil beweist eindrücklich, wie wesentlich es ist, Erdbauten zur Erhöhung der Bodenrauigkeit und zur besseren Verzahnung der Schneedecke mit dem Boden in hoher Flächendichte anzulegen. Nur auf diese Weise kann das Schneegleiten wirksam bekämpft werden und lassen sich Beschädigungen an den Schutzbauten durch die restlichen Gleitschneewirkungen vermeiden.
- Eine analoge Wirkung auf den Gleitprozess wie die Schmalbermen haben auch die Tellerbermen gehabt. Auf den Tellern war die Abbremsung der Bewegung sogar noch besser als auf den Tritten. Dies dürfte teils auf die etwas schwächere Neigung des

Tellerbermenfeldes, teils auf die ausgeprägtere Wirkung der Tellerbermen unmittelbar nach ihrer Neuanlage im Sommer 1967 zurückzuführen sein.

3.5 Folgerungen und Ausblick

Ein Stützwerk vermag wegen der hohen Kompressibilität der Schneedecke den Gleitschneeprozess nur in nächster Nähe seines Druckrostes auf einer Länge von wenigen Metern wesentlich zu beeinträchtigen. Dagegen lässt sich mit genügend dicht angeordneten Schmal- und Tellerbermen das Schneegleiten wesentlich vermindern.

In weiteren Versuchen müssen ausser dem Schneegleiten auch das Schneekriechen und der auf die Stützwerke ausgeübte Schneedruck gemessen werden, um einerseits die Schneedrucktheorie unter natürlichen Bedingungen für die Fälle mit und ohne Schneegleiten zu überprüfen, und um andererseits die Auswirkungen von Gleitschutzbermen auf die Dimensionierung von Stützwerken am Gleitschneehang abschätzen zu können. Um eine allgemeinere Gültigkeit zu erhalten, müssen die Versuche mehrere Winter unter verschiedenartigen Schneebedingungen wiederholt werden. Die Gleitschutzbermen sind ausserdem auch in Lagen mit grösseren Schneehöhen und Hangneigungen zu erproben.

Verdankung

Während mehr als zwei Jahrzehnten hat Prof. Dr. R. Haefeli trotz vielschichtiger anderer Aufgaben und grosser Arbeitslast immer wieder Zeit gefunden, in persönlichen Aussprachen und Beratungen den Fortgang der Gleitschneeforschungen durch seine grosse Sachkenntnis und praktische Erfahrung im Experimentieren zu fördern. Für sein Interesse an diesen Arbeiten und für die wertvolle fachliche Betreuung ist der Schreibende ihm zu tiefem Dank verpflichtet.

Literaturhinweise

- [1] Haefeli R.: Schneemechanik mit Hinweisen auf die Erdbaumechanik, Dissertation 1939 ETH. — Sonderdruck aus Bader H., Haefeli R. et al. Der Schnee und seine Metamorphose, «Beiträge zur Geologie der Schweiz, Geotechnische Serie — Hydrologie», Lieferung 3, 1939. Kümmerly & Frey, Bern.
- [2] in der Gand H.R. and Zupancic M.: Snow Gliding and Avalanches, in International Symposium on scientific Aspects of Snow and Ice Avalanches. International Association on Scientific Hydrology, 69/1966.
- [3] in der Gand H.R.: Winteruntersuchungen 1955/56 — 1961/62 in «Aufforschungsversuche an einem Gleitschneehang», Gemeinschaftsarbeit des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung und der Eidg. Anstalt für das forstliche Versuchswesen. Im Druck.

Adresse des Verfassers: Hansruedi in der Gand, dipl. Forst-Ing., 7260 Davos-Dorf, Flüelastrasse 9.