

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

Artikel: Maximale Schneelasten in die Schweiz [i.e. in der Schweiz]
Autor: Zingg, Th.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-70098>

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: 31.01.2026

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

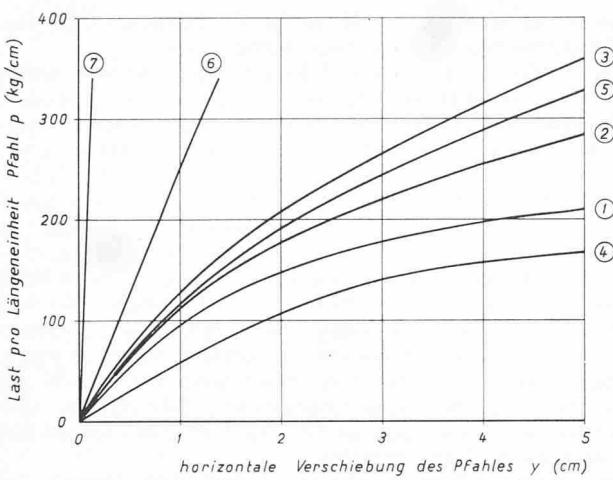


Bild 6. Last-Deformationskurven

- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1. Auffüllung, $x = 1$ m | 4. rezent Seeablagerungen |
| 2. $x = 2$ m | 5. siltige Ablagerungen |
| 3. $x = 3$ m | 6. moränenartige Ablagerungen |
| | 7. Molassesfels |

Die bodenmechanischen Grundlagen sind in Bild 6 mit den Last-Deformationskurven gegeben, die aus Triaxial- und Plattenversuchen erhalten wurden. Diese Kurven wurden als nicht-linear-elastische Gesetze der Berechnung zugrunde gelegt. Anderseits können sie einzeln approximiert werden durch ein linear-elastisches Verhalten, welches sich durch einen konstanten Wert von E_s ausdrücken lässt (Bild 5). Ob mit dieser Vereinfachung eine $p-y$ -Kurve jeweils genügend zutreffend erfasst wird, kann erst nachträglich mit der berechneten Biegelinie beurteilt werden.

Die Berechnung wurde durchgeführt wie in Abschnitt 3 beschrieben. Das statische System ist abgebildet in Bild 5, wobei die Abmessungen des zylindrischen Pfahles $l = 32,8$ m und $D = 88$ cm betragen. Als Resultat sind die Momentenflächen und die Biegelinien des Pfahles gegeben, für eine Horizontallast von 10 bis 60 t, je für die linear-elastischen und die nicht-linear-elastischen Gesetze. Die Unterschiede der berechneten Werte vergrössern sich mit zunehmender Horizontallast bis zu 50% für die Pfahlkopfverschiebung und 15% für das maximale Moment bei 60 t.

Von praktischem Interesse ist der Zusammenhang zwischen der Mächtigkeit der oberliegenden Auffüllung und ihrer Auswirkung auf die berechneten Grössen. Diese Frage ist in Tabelle 1 unter leicht vereinfachten bodenmechanischen Annahmen abgeklärt. Die Abmessungen des Pfahles wurden beibehalten. Die Resultate zeigen, dass eine 2 m mächtige Aufschüttung den Pfahl schon sehr wesentlich stützt und bei der Aufschüttung von 4 m der Einfluss der darunter liegenden, weichen Schichten bereits vernachlässigbar ist. Bezuglich der Berechnung bedeutet dies, dass im Falle der 2 m wie der 4 m mächtigen Aufschüttung das Problem für kleine Lasten genügend genau mit den üblichen, eingangs erwähnten Methoden, unter der Annahme einer konstanten Bettungsziffer, gelöst werden kann. Bei grösseren Lasten werden jedoch die berechneten Pfahlkopfverschiebungen infolge des nicht-linear-elastischen Verhaltens des Bodens stark unterschätzt.

5. Pfahlbelastungsversuch

Der Grossversuch in Tiefenbrunnen, der dank des Einverständnisses des kantonalen Tiefbauamtes durchgeführt werden konnte, bot eine seltene Gelegenheit, die im voraus berechneten Biegelinien

des horizontal belasteten Pfahles mit den tatsächlich gemessenen zu vergleichen. Dazu hat man im erstellten Pfahl eine Bohrung abgeteuft und darin einige Messpunkte fixiert. Zum Bestimmen der Biegelinie wurde die Verschiebung dieser Punkte mit dem optischen Lot gemessen, während der Pfahl an seinem freien Kopfende durch eine hydraulische Presse bis zu 30 t stufenweise belastet wurde. Die gleiche Messmethode wurde zum Beispiel auch beim Neubau der PTT Zürich-Enge angewendet und wird von Amberg in [10] eingehend beschrieben.

Der kurzzeitige Belastungsversuch mit 30 t ergab eine maximale Pfahlkopfverschiebung y_{max} von 17 mm, der Langzeitversuch (30 t während 10 Tagen) ein y_{max} von 20 mm. Am Schluss des Versuchsprogramms wurden bleibende Deformationen von 5 mm gemessen. Die Biegelinie ist in Bild 5 für den Kurzzeitversuch dargestellt. Der Vergleich mit der berechneten Biegelinie zeigt eine im allgemeinen gute Übereinstimmung. Deutlich geht aus den gemessenen Pfahlkopfverschiebungen das den $p-y$ -Kurven entsprechende, nicht-linear-elastische Verhalten des Bodens hervor.

6. Zusammenfassung

Zu einer Gegenüberstellung sind eingangs einige Berechnungsmethoden erwähnt, die alle von der Differentialgleichung der Biegelinie ausgehend für einfache Bettungsfälle durch Integration gelöst worden sind. Das Last-Deformationsgesetz des Bodens wird dabei im allgemeinen linear-elastisch angenommen. Anschliessend wird eine Berechnung mittels elektronischer Rechenmaschine vorgeschlagen. Diese leistungsfähige Methode ermöglicht zu berücksichtigen:

- die nicht-linear-elastischen Last-Deformationsgesetze des Bodens
- beliebige Verteilung der Pfahlbettung mit der Tiefe
- die Schubverformung des Bodens
- eine Variation der Pfahllänge und der Biegesteifigkeit

Im Anwendungsbeispiel von Tiefenbrunnen wird für die versuchstechnisch ermittelten Last-Deformationsgesetze die durchgeführte Berechnung dargestellt. Der Belastungsversuch zeigte eine zufriedenstellende Übereinstimmung von gemessenen und vorausberechneten Pfahlverschiebungen.

Die Autoren sind Professor G. Schnitter, Direktor der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau, dankbar für seine wertvollen Anregungen.

Literatur

- [1] *Broms*: Lateral Resistance of Piles in Cohesive Soils, «Journal of the Soil Mechanics and Foundations Division», March 1964, pp. 27–63.
- [2] *Rifaat*: Die Spundwand als Erddruckproblem, Diss. ETH 1932.
- [3] *Sansoni*: Pali e Fondazioni su Pali, Milano 1963, seconda edizione, Ulrico Hoepli.
- [4] *Titzé*: Über den seitlichen Bodenwiderstand bei Pfahlgründungen, Berlin 1943, Wilhelm Ernst & Sohn.
- [5] *Miche*: Investigation of Piles subject to horizontal Forces, "The Journal of the School of Engineering", Giza, No. 4, May 1930.
- [6] *Matlock and Reese*: Foundation Analysis of Offshore Pile Supported Structures, Proceedings, 5th Int. Conf. on Soil Mechanics, Paris 1961, Vol. II, pp. 91–97.
- [7] *Andres*: Beanspruchung vertikaler Pfähle unter Horizontalschub, «Schweiz. Bauzeitung», Heft 47, S. 826, 1966.
- [8] *Soldini*: Contribution à l'étude des déformations d'un sol horizontal élastique. Diss. ETH 1965.
- [9] Bericht VAWE Nr. 1814/2: Rechtsufrige Höhenstrasse, Anschlussbauwerke und Seefergestaltung Tiefenbrunnen, an Tiefbauamt des Kantons Zürich (Sachbearbeiter Ing. *Linder*).
- [10] *Amberg*: PTT-Zürich-Enge, «Schweiz. Bauzeitung», 1968 (erscheint demnächst).

Adresse der Verfasser: *J. Huder*, Dr. sc. techn., *F. Bucher*, dipl. BauIng., *P. Kiefer*, dipl. Bau-Ing., VAWE, 8006 Zürich, Gloriastrasse 39.

Maximale Schneelasten in die Schweiz

Von Dr. Th. Zingg, Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung, Weissfluhjoch/Davos

DK 551.578.46

Im vergangenen Winter sind uns verschiedene Schäden, verursacht durch grosse Schneelasten, bekanntgeworden. Solche Schäden wurden besonders in tieferen Lagen festgestellt. Außerdem erhalten wir oft Anfragen nach möglichen extremen Schneelasten, da die SIA-Normen den betreffenden Ingenieuren oder Architekten zu niedrig scheinen. Es dürfte deshalb einem allgemeinen Bedürfnis entsprechen, dieses Problem nochmals zu erörtern.

Bereits im Jahre 1951 hat der Verfasser einen entsprechenden Aufsatz veröffentlicht¹⁾. Seither haben wir weitere Daten sammeln

¹⁾ «Schweiz. Bauzeitung 69 (1951) Nr. 45, S. 627–630.

können, die das damalige Bild ergänzen und vor allem bestätigen. Heute können die regionalen Unterschiede in der Schweiz etwas besser abgeschätzt werden als vor 17 Jahren.

Eine Schneedecke, und damit eine Schneelast, hängt weitgehend von meteorologischen Faktoren und Gesetzen ab. Sie ist vor allem das Ergebnis von Niederschlag und Temperatur. Dies gilt speziell für die Wintermonate, in denen die Strahlung nur einen geringen Einfluss ausübt. Die Niederschläge fallen in tieferen Lagen teils als Regen, teils als Schnee. Über etwa 2500 m ü.M. treten während des ganzen Winters praktisch alle Niederschläge in Form von Schnee auf.

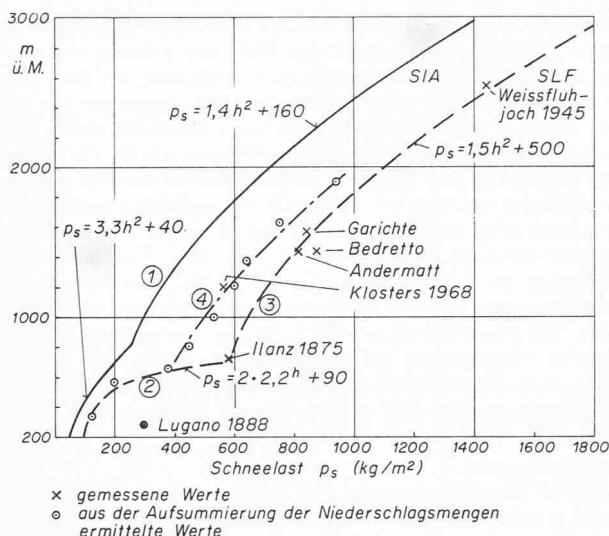


Bild 1. Maximale Schneelasten und ihre Beziehungen zur Meereshöhe h (in Hektometern)

Die Schneelast oder auch ihr Wasserwert ist abhängig von:

- den momentanen Schneefällen
- einer bereits bestehenden Schneedecke, deren Schneelast durch neue Schneefälle noch grösser wird, und
- der Lufttemperatur, die durch Schmelzen zu einer Gewichtsabnahme führen kann. Das gleiche gilt für die Bodentemperatur, meist aber nur unter etwa 1800 m ü.M.
- Der Wind kann auf Gebäuden aber auch im Freien sehr ungleiche Ablagerungen bewirken, die teils einer erhöhten Last gleichkommen können.

Von einer gewissen Meereshöhe an aufwärts kommt die maximale jährliche Schneelast dem jährlichen Niederschlag gleich. Nach tieferen Lagen hin ist sie gleich der Niederschlagssumme einiger

Monate. Unter etwa 700 m ü.M. beträgt die Schneelast meist nur das Gewicht des Niederschlags einiger weniger Tage.

Die Untersuchungen von 1951 haben gezeigt und sind seither immer wieder bestätigt worden, dass die Zunahme der Schneelast mit der Meereshöhe in drei verschiedene Höhenstufen gegliedert werden kann. Eine davon, die Höhenlagen über etwa 3000 m ü.M., werden wir hier nicht behandeln.

In der Schweiz bildet sich von der Niederung bis etwa gegen 700 m ü.M. keine länger dauernde Schneedecke. Die sogenannte permanente Schneedecke kann sich hier schon im November einstellen und in wenigen Tagen zu Ende sein, oder sie kann erst im März gebildet werden. In dieser Höhenstufe ist sie im wesentlichen von momentanen Schneefällen abhängig. Solche Schneemengen können in einer anschliessenden Periode mit Temperaturen über 0 °C wieder weggeschmolzen werden, bevor ein neuer Schneefall eintrifft. Im Winter sind in der Niederung ausgesprochene Kälteperioden aber zugleich vorwiegend niederschlagsarm. Maximale Lasten können sich in diesen Zeiten höchst selten bilden.

Im Gebiet Prättigau-Landwasser-Weissfluhjoch werden die Wasserwerte einer Schneedecke regelmässig auf einem flach gelegenen Versuchsfeld gemessen. Ferner besitzen wir Angaben über maximale Schneelasten aus verschiedenen andern Gebieten der Schweiz. Die empirische Gleichung des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung (SLF) für die Schneelast im Abschnitt von 200 bis 700 m ü.M. lautet (s. Bild 1, Kurve 2):

$$p_s \text{ (in kg/m}^2\text{)} = 2,2 \cdot 2^h + 90 \text{ (kg/m}^2\text{)}$$

(h ist die Meereshöhe in Hektometern)

In Chur wurden beispielsweise 1968 250 kg/m² erreicht (SIA 145 kg/m²). Auf einem Dach wurden sogar 460 kg/m² gemessen. Hier handelte es sich zweifellos um eine Verwehung. Die genannte Gleichung gilt mit nur geringen Abweichungen für die ganze Alpen-nordseite. Auf der Alpensüdseite fehlen leider genügend Daten, um eine entsprechende Gleichung aufzustellen zu können. Erfahrungsgemäss dürften die maximalen Schneelasten noch etwas höher sein als auf der Alpennordseite.

Die Höhen zwischen etwa 550 m und 700 m ü.M. weisen den grössten Gradienten des Lastenzuwachses auf und sollten auf alle Fälle genügend berücksichtigt werden. So wurden 1962 im berni-

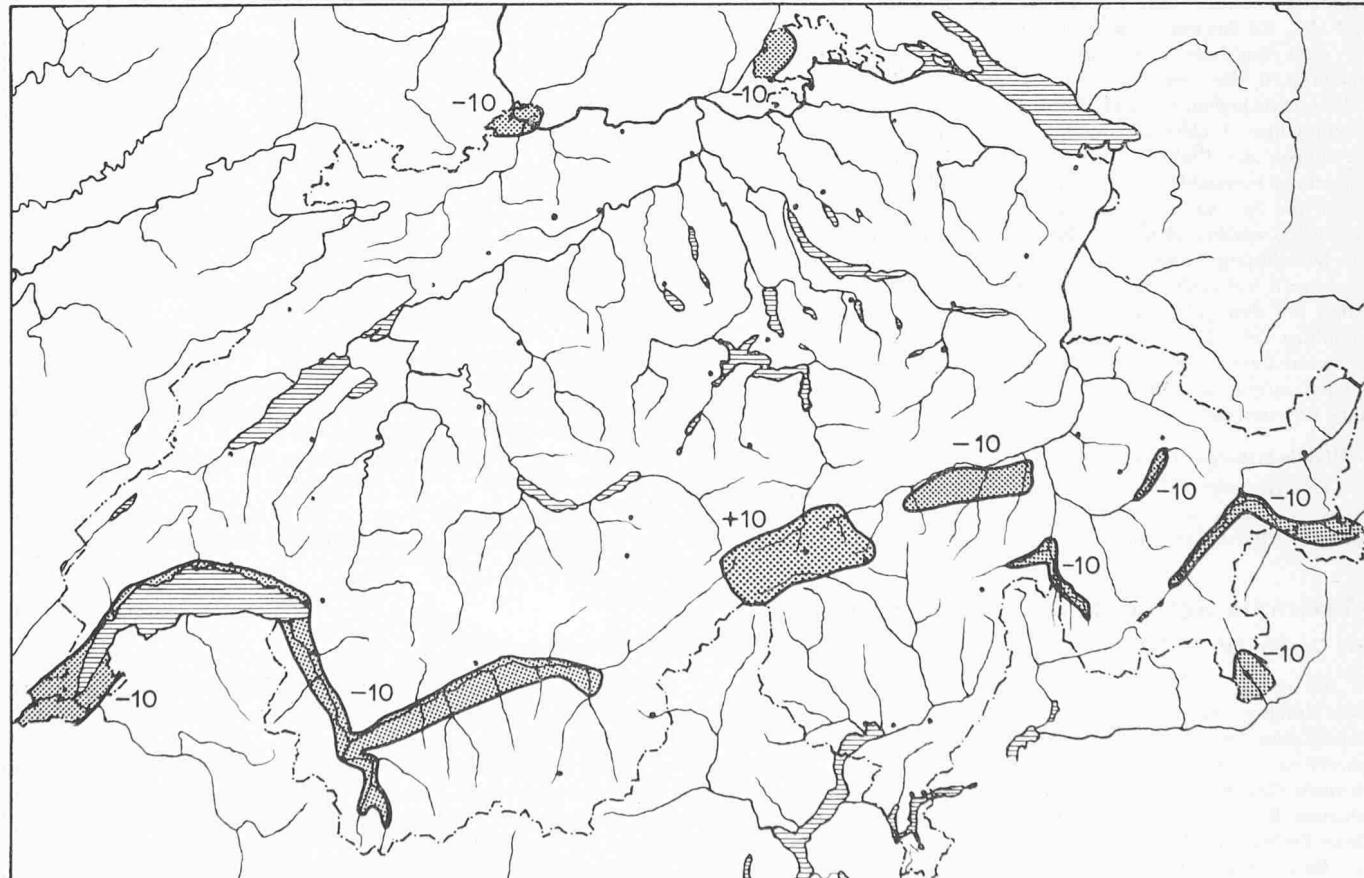


Bild 2. Abweichungen der maximalen Schneelasten in Prozenten in der Schweiz

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):

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

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 Klosters 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. Anderseits ergeben sich praktisch die gleichen Werte mit der Aufsummierung der Niederschlagssummen vom Einschneiungsdatum 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/Ufer Nähe, 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 Hinterrheingebiet 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 Tschamut 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. Alpgebäude, 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

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

DK 551.578.46

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 Gesamt-schneedecke 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 Wissenschafter 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 Schneequadern 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 Gesamtbreibung von Schnee auf Glas beim Übergang von trockener zu nasser Gleitreibung auf einen um den Faktor 10 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

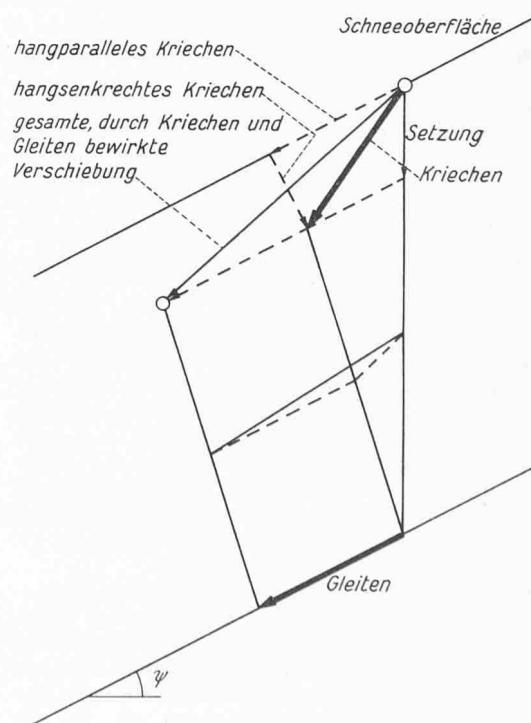


Bild 1. Schematische Darstellung der Kriech- und Gleitbewegung der Schneedecke