

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 85 (1967)
Heft: 1

Artikel: Kriechen und progressiver Bruch in Schnee, Boden, Fels und Eis
Autor: Haefeli, R.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-69345>

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: 03.04.2025

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

Kriechen und progressiver Bruch in Schnee, Boden, Fels und Eis

DK 624.131.3

Von Prof. Dr. R. Haefeli, Zürich

Deutsche, erweiterte Fassung eines Vortrages «Creep and Progressive Failure in Snow, Rock and Ice», gehalten am 6. Int. Kongress für Bodenmechanik und Foundationstechnik in Montreal (1965)

I. Einleitung

Es ist ein alter und doch immer wieder neu erlebter Wahrspruch, dass der Mensch die Dinge dieser Welt an ihren Unterschieden erkennt. Unterscheiden heisst vergleichen. Der Vergleich regt einerseits an, nach den gemeinsamen Grundzügen zu suchen. Andererseits rückt er die Polaritäten der Erscheinungsformen in ein helleres Licht und lässt uns dadurch ihre Eigenart und Vielfalt erkennen.

Zu Zeiten Homers sollen die Götter noch mit den Menschen gesprochen und ihnen Gedanken eingegeben haben. Einer der ersten selbständigen Gedanken wurde mit dem kühnen Satz des Tales ausgesprochen, dass alles aus dem Wasser geboren sei. Durch diesen schon vor rund 2000 Jahren festgestellten Zusammenhang ermutigt, haben wir es gewagt, das Wasser – Symbol von Wandlung und Bewegung – als Verbindungsglied zwischen den vier in ihrem wechselvollen mechanischen Verhalten zu vergleichenden Stoffen, Schnee, Eis, Boden und Fels, ins Zentrum des Blickfeldes zu rücken (Bild 1).

So wie das «weiche» Wasser als steter Tropfen den Stein höhlt, übt der weichste und leichteste unter den vier Stoffen, der Schnee, die nachhaltigsten Wirkungen auf die übrigen drei aus. Entsteht doch aus dem Schnee, dessen Porosität Werte bis 98% erreichen kann und der den Boden gegen Kälte und Dauerfrost schützt, durch die Metamorphose und Verdichtung das Eis, das den Fels sprengt, die gewaltigen glazialen Erosionsformen wie die Rundhöckerlandschaften schafft, um schliesslich auch durch die Bildung der Moränen die Landschaft entscheidend mitzugestalten und zur Entstehung der Böden beizutragen.

Bevor wir die vier genannten Stoffe auf ihre Kriech- und Brucherscheinungen hin betrachten, lasst uns eines Mannes gedenken, der als einer der ersten die Kriech- und Gleitbewegungen des Eises in Form der Gletscherbewegung exakt gemessen hat. Er hat sie nicht nur gemessen, sondern sich ihr anvertraut, indem er mit seinen Freunden um 1842 als Unterkunft und Laboratorium das berühmte «Hôtel des Neuchâtelois» auf der Zunge des Unteraargletschers errichtete (Bilder 2 und 3). In echtem Teamwork wurde dort sowohl im Sommer als auch im harten Winter mit einer Begeisterung und Hingabe Pionierarbeit geleistet, die einzigartig bleibt. Erstmals wurde festgestellt, dass sich die Gletscherzunge im Sommer rascher bewegt als im Winter, was auf die schmierende Wirkung des in der warmen Jahreszeit reich-

licher anfallenden Schmelzwassers zurückzuführen ist. Dieser Mann, der sich unter Lebensgefahr 80 m tief in ein Strudeloch abseilen liess, um die Temperatur des Eises im Innern des Gletschers zu messen, heisst *Louis Agassiz* [1]. Prof. *A. von Muralt* widmete ihm folgende Worte [2]:

«Louis Agassiz, geboren am 28. Mai 1807 in Môtier (Schweiz), war einer unserer bedeutendsten Naturforscher im letzten Jahrhundert. 1846 führte ihn eine Vortragsreise nach Boston, wo er so von der Forschungsatmosphäre an der Harvard-Universität angezogen wurde, dass er dauernd nach Cambridge (Mass.) übersiedelte. Dort wurde er zum Mittelpunkt der biologischen Forschung und erkannte bald die Notwendigkeit der Gründung einer nationalen Akademie der Wissenschaften als Zentrum der intellektuellen Anstrengungen des ganzen Landes. Am 3. März 1863 unterzeichnete Präsident Lincoln das Gesetz, durch welches die Academy of Science in Washington ins Leben gerufen wurde. Auf einem schönen Ölgemälde, welches heute noch in der Akademie hängt, sieht man zur Rechten von Präsident Lincoln den lächelnden Louis Agassiz, der als Mitbegründer und Foreign Secretary der Akademie in ihren ersten Jahren grosse Dienste leistete.»

II. Bedeutung und Arten des Kriechens

1. Allgemeines

Dass Schnee und Eis schon unter der Wirkung ihres Eigengewichtes kriechen, ist allgemein bekannt. Dass auch alle Schutthalden und Böschungen, die aus Lockergesteinen, Lehmen und Gehängelehmen bestehen, ebenfalls mehr oder weniger intensiv kriechen, ist eine Erfahrungstatsache der neueren Zeit, die leider noch zu wenig beachtet wird und deshalb immer wieder zu schweren Bauschäden und Überraschungen führt. *Kobold* äussert sich zu diesem Problem wie folgt [3]: «Wir betrachten in unserem Land Talwärtswanderungen von bis 5 mm jährlich als normal und daher als kaum bemerkenswert. Auch jährliche Verschiebungen von 1 bis 2 cm gelten nicht als aussergewöhnlich, und nur wesentlich grössere Beträge werden besonders beachtet. Sie sind häufiger, als allgemein angenommen wird, und treten namentlich in Zonen weichen Gesteins auf.»

Es gilt heute als selbstverständlich, dass bei Lawinenverbauungen

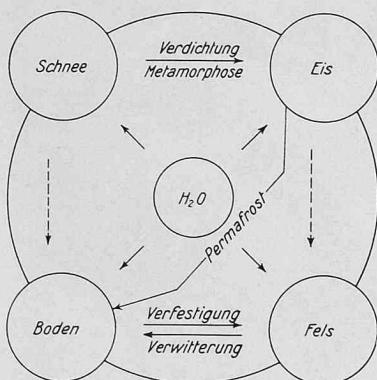


Bild 1. Einige Wechselwirkungen zwischen Schnee, Boden, Fels und Eis (Schema)

Bild 2 (rechts). «Hôtel des Neuchâtelois» (etwa 1841—45) auf der Mittelmoräne des Unteraargletschers (Standort siehe Pfeil in Bild 3)



im Anbruchgebiet die Werke auf den Kriechdruck der Schneedecke dimensioniert werden müssen; es ist aber nur einer Minderzahl von Ingenieuren bewusst, dass Stützmauern im Gebirge nicht nur dem aktiven Erddruck, sondern häufig auch dem wesentlich grösseren Kriechdruck standhalten müssen. Sollen Schäden von grosser Tragweite in Zukunft vermieden werden, so muss dieser Tatsache besonders im Zeichen des Nationalstrassenbaues vermehrte Beachtung geschenkt werden. Selbst relativ kleine Kriechbewegungen von 0,4 bis 2 cm/Jahr können Kunstbauten, deren Lebensdauer weitgehend von ihrer Empfindlichkeit gegenüber Kriechvorgängen abhängt, ernstlich beschädigen oder gar zerstören. Was vor allem not tut, ist einerseits eine Förderung der Grundlagenforschung auf diesem für unser Gebirgsland besonders wichtigen Gebiet und andererseits dessen Berücksichtigung in den Studienplänen für die Bau-, sowie die Kultur- und Forst-Ingenieure.

Die experimentellen Grundlagen zur Untersuchung der Kriechvorgänge, die einerseits im Laboratorium und andererseits in situ, das heisst am natürlichen Schichtverband entwickelt wurden, sind heute bei Schnee und Eis eher weiter ausgebaut als bei Fels und Boden. Am weitesten fortgeschritten ist wohl die Kriechforschung des Eises.

2. Fliesskurven

Unter einer Fliesskurve versteht man die Darstellung der Verformungsgeschwindigkeit eines Probekörpers in Funktion der Schubspannung. Sie kann entweder durch die Geschwindigkeit der Winkel-

änderung $D = \frac{d\alpha}{dt}$ eines ursprünglich rechten Winkels oder durch

eine spezifische Längenänderung pro Zeiteinheit ausgedrückt werden. Am einfachsten liegen die Verhältnisse bei einem Eiskubus, der einer reinen Schubspannung ausgesetzt wird (vgl. Bild 4). Für jede Scherspannung stellt sich nach einiger Zeit eine konstante Verformungsgeschwindigkeit ein, die in Bild 4 im geradlinigen Verlauf der drei für verschiedene Scherspannungen (1, 1,5 und 2 kg/cm²) aufgezeichneten Zeit-Verschiebungskurven zum Ausdruck kommt. Jeder Scherspannung entspricht somit für eine gegebene Temperatur eine gewisse Verformungsgeschwindigkeit D , die nach dem heutigen Stand der Erkenntnis weitgehend unabhängig ist von der Grösse des eventuell gleichzeitig wirksamen hydrostatischen Druckes. Trägt man diese Verformungsgeschwindigkeit in Funktion der Scherspannung auf, so erhält man die Fliesskurve des Eises, deren Formel lautet:

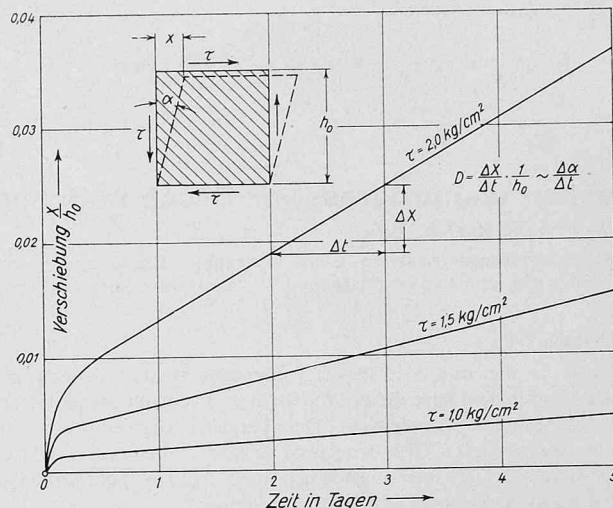


Bild 4. Scherverformung von Eis in Funktion der Zeit für drei verschiedene Scherspannungen ($\tau = 1-1,5-2,0 \text{ kg/cm}^2$)

$$(1) \quad D = k_1 \left(\frac{\tau}{\tau_1} \right)^n; \quad \tau_1 = 1 \text{ kg/cm}^2 [4 \div 7].$$

Für $\tau = \tau_1$ wird D identisch mit dem Parameter k_1 , der nur von der Temperatur des Eises abhängt und diejenige Winkelgeschwindigkeit bedeutet, die sich bei der Verformung eines Eiskubus unter der Einheit der Scherspannung einstellt (1 kg/cm²). In Bild 5 ist die Verformung zweier Eiskubus, die während eines Jahres einer konstanten Scherspannung von 1 kg/cm² ausgesetzt waren – der eine bei -1,5 °C, der andere bei 0°C –, winkelgetreu darstellt. Der Parameter n , der etwa zwischen 2 und 4 variiert, hängt vor allem von den kristallographischen Eigenschaften des Eises ab.

Da die kleinste Scherspannung genügt, um bei Schnee und Eis eine stetig fortschreitende Verformung hervorzurufen, gehören beide Stoffe, mechanisch betrachtet, zu den Flüssigkeiten (Bild 6). Da jedoch ihre Zähigkeit τu^* bei gleichbleibender Temperatur nicht konstant, sondern von der Scherspannung abhängig ist, so liegt hier – rheologisch gesehen – ein «pseudoplastisches» Fliessverhalten vor. Nur bei

Bild 3. Grimselsee mit Ober- und Unteraargletscher (Flugaufnahme Mittelholzer, 1934)



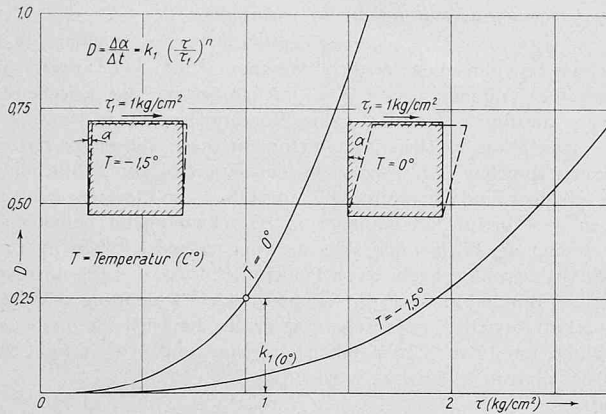


Bild 5. Fließkurven von Eis für zwei verschiedene Temperaturen. D = Schiebung (Geschwindigkeit der Winkelverformung) in Funktion der Schubspannung τ

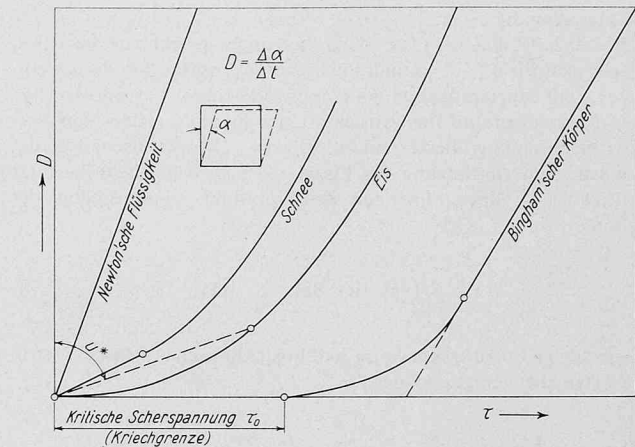


Bild 6. Fließkurven für Schnee, Eis und Boden (Lehm) schematisch. D = Schiebung in Funktion der Schubspannung τ

relativ kleinen Beanspruchungen kann beim Schnee die Zähigkeit im Sinne des Newtonschen Gesetzes als konstant betrachtet werden. Da sich andererseits die natürlichen Kriechprozesse des Eises, wie sie sich zum Beispiel bei der Gletscherbewegung abspielen, in der relativen Nähe des Schmelzpunktes vollziehen, so sind dessen Verformungsprozesse der Warmverformung der Metalle aufs engste verwandt. Schliesslich darf nicht unerwähnt bleiben, dass sich das Eis gegenüber kurzfristigen Beanspruchungen wie ein elastischer Körper, bei langdauernder Kräftewirkung dagegen viscos verhält und deshalb mit Recht als ein viscoelastisches Material bezeichnet wird.

Im Gegensatz zu Schnee und Eis beginnt beim Boden das Kriechen in der Regel erst nach Überschreitung eines gewissen Schwellwertes der Scherspannung (yield stress), es sei denn, er befinde sich in fließbarem Zustand. Sein Fließverhalten reiht ihn unter die Bingham'schen Körper ein (Bild 6) [8, 9, 36]. Dass dieses Fließverhalten nicht nur von der Bodenart und deren Wassergehalt abhängt, sondern vor allem auch von Gefüge und Struktur, geht schon aus der Existenz des «Quick clays» hervor, der sich bei einer Strukturstörung verflüssigt.

3. Verdichtung und Nachsetzung als inneres Kriechen

Einer allmählichen Verdichtung, die auf einem Näherrücken der einzelnen Körner, oft verbunden mit deren Formänderung, beruht, sind mehr oder weniger alle Lockergesteine unterworfen, jedoch in sehr verschiedenem Grade. Wesentlich ist in diesem Zusammenhang vor allem die Tatsache, dass jeder Verdichtungs- bzw. Setzungsvorgang einer gereinigten Schicht aus Lockergesteinen (Schnee oder Boden) mit einem Kriechvorgang in Hangrichtung verbunden ist. Damit dieser Kriechvorgang stattfindet, braucht es keinen Grenzstand des Gleichgewichtes (z. B. nach Rankine). Es handelt sich hier nicht um Gleichgewichtsstörung, sondern um eine schleichende Bewegung infolge Eigengewicht als rheologisches Phänomen.

Die Verdichtung der Lockergesteine unter der Wirkung konstanter äusserer Kräfte beruht auf verschiedenen Ursachen:

a) Beim Schnee ist es die destruktive Metamorphose, welche den Schneestern unter Verkleinerung der Oberfläche in ein Schneekorn verwandelt und dadurch die Schwerpunkte der einzelnen Körner einander näherrückt.

b) Bei den feinkörnigen, wassergesättigten Lockergesteinen wird die von der Porenwasserspannung gesteuerte Konsolidationssetzung von der Nachsetzung abgelöst. Diese dem Logarithmus der Zeit proportionale Nachsetzung kann durch das pseudoplastische Verhalten der gebundenen Wasserhüllen, die unter hohem Molekulardruck stehen, erklärt werden.

c) Bei den grobkörnigen Lockergesteinen hängt die Verdichtung weitgehend von der Intensität der Verwitterung ab, welche die hochbeanspruchten Kontaktstellen zwischen Korn und Korn schwächt und dadurch deren plastische Verformung ermöglicht. Damit lässt sich das Näherrücken der Körner erklären. Auch Ermüdungserscheinungen führen von Zeit zu Zeit zu lokalen Bruchvorgängen beim Kontakt von Korn zu Korn und bilden ein statistisches Problem. Da sich die innere Verwitterung hauptsächlich in der Nähe der Oberfläche auswirkt, ist der Zusammenhang mit der Solifluktion gegeben.

Da bei all diesen Verdichtungs Vorgängen der Lockergesteine kontinuierliche oder diskontinuierliche kleinste Verschiebungen zwischen den einzelnen Körnern stattfinden bzw. innere Scherspannungen zwischen Korn und Korn wirksam werden, so können die Verdich-

tungsprozesse der Lockergesteine allgemein als ein inneres Kriechen aufgefasst werden. Man könnte teilweise auch von einem pseudoplastischen Fließen der molekular gebundenen Wasserhüllen, die sich ähnlich wie Eis und Schnee verhalten, sprechen. Damit – das heisst durch ein inneres Kriechen – erklärt sich auch die Tatsache, dass der triaxiale Verdichtungsprozess selbst bei einem allseitigen hydrostatischen Druck, das heisst beim Fehlen äusserer Scherspannungen, unter dem Einfluss innerer Scherkräfte in normaler Weise, das heisst wie eine Nachsetzung fortschreitet (Bild 7a) [9].

Als Beispiel eines einaxialen Verdichtungsprozesses, als dessen Parallele in der Bodenmechanik die Nachsetzung in den Deltagebieten der grossen Flüsse, wie u. a. in Holland, zu erwähnen ist, zeigt Bild 7c die zentrale Zone eines mächtigen Eisschildes (Grönland oder Antarktis). Ein 80 bis 150 m dicker Firnmantel überdeckt den 2000 bis 3000 m mächtigen Eissockel. In dieser Übergangsschicht vollziehen sich ständig die Metamorphose und Verdichtung von feinkörnigem Polarschnee an der Oberfläche über den Polarfirn bis zum Gletschereis, und zwar bei sehr tiefen Temperaturen, das heisst ohne Mitwirkung der flüssigen Phase. Jahr für Jahr wird eine neue Schneeschicht abgelagert, die langsam senkrecht in die Tiefe sinkt, wobei sie unter Umständen mehrere Jahrhunderte benötigt, bis sie sich unter stetig wachsendem Überlagerungsdruck – den Firnmantel durchsinkend – in Polareis umgewandelt hat. Das Bemerkenswerte dieser einaxialen Verdichtung besteht darin, dass trotz diesem ständigen Sinkvorgang alle Eigenschaften des Firnmantels wie Porenziffer, Raumgewicht, Ruhedruck, Zähigkeit usw. eine eindeutige Funktion von der Tiefe z unter der Firnoberfläche, das heisst unabhängig von der Zeit sind, solange das Klima stationär bleibt.

Nachdem die Nachsetzung als ein schleichender Naturvorgang erscheint, der für die Bewohner der grossen Deltagebiete zur Existenzfrage werden kann, wollen wir versuchen, diesen Prozess der feinkörnigen Lockergesteine auf Grund eines einfachen Modells verständlich zu machen. Zu diesem Zwecke mögen die in Bild 8a dargestellten Kuben die Körner versinnbildlichen. Je zwei Körner sind durch ein kleines Eiszylinderchen, das die tragende Funktion der molekular gebundenen Wasserhülle übernimmt, miteinander verbunden. Unter einem konstanten Korn-zu-Korn-Druck erleidet jeder dieser Eiszylinder die in Bild 8b dargestellte fortschreitende Zusammendrückung bei unbehinderter Querdehnung. Letztere bewirkt eine kontinuierliche Abnahme der spezifischen Vertikalpressung im Eiszylinder und damit der Setzungsgeschwindigkeit dieses Zylinders. Auf Grund des Fließgesetzes und der Volumenkonstanz des Eises lässt sich dieser Vorgang berechnen, wobei man folgenden Ausdruck erhält:

$$(2) \quad y' = \frac{y}{y_0} = \sqrt[n]{\frac{1}{1 + n B t}}; \quad B = \frac{2}{3} k_1 \left(\frac{1}{2} \frac{\tau_0}{\tau_1} \right)^n$$

Darin bedeuten:

y' = spezifische Setzung zur Zeit t

y_0 = Anfangshöhe der Probe

y = Höhe der Probe zur Zeit t

k_1 = Temperaturparameter in J^{-1}

$\tau_0 = \frac{\sigma_0}{2}$ = Anfangsspannung zur Zeit $t = 0$

τ_1 = Spannungseinheit (1 kg/cm²)

n = Exponent des Fließgesetzes des Eises ~ 3 .

Unter Annahme von $k_1 = 0,3 J^{-1}$ (rund $0^\circ C$) und $\tau_0 = 2 \text{ kg/cm}^2$ wird $B = 0,2 J^{-1}$. Die für diese Voraussetzungen berechnete Funktion y' erweist sich für $n = 3$, im halblogarithmischen Masstab dargestellt, bis zu $t = 40$ Jahre praktisch als eine gerade Linie, was mit den bisherigen Messungen und theoretischen Untersuchungen über den Verlauf der Nachsetzung übereinstimmt. Für $n = 1$ (Newtonsche Flüssigkeit) würde sich die Setzung des Eiszylinders so vollziehen, dass das Verhältnis $\Delta y : y$ linear mit der Zeit zunimmt, entsprechend der Gleichung

$$(3) \quad \frac{\Delta y}{y} = B t \quad (\text{vgl. Bild 8c}); \quad \Delta y = y_0 - y$$

Die zugehörige Setzungskurve im halblogarithmischen Masstab ist in Bild 8d strichliert eingezeichnet.

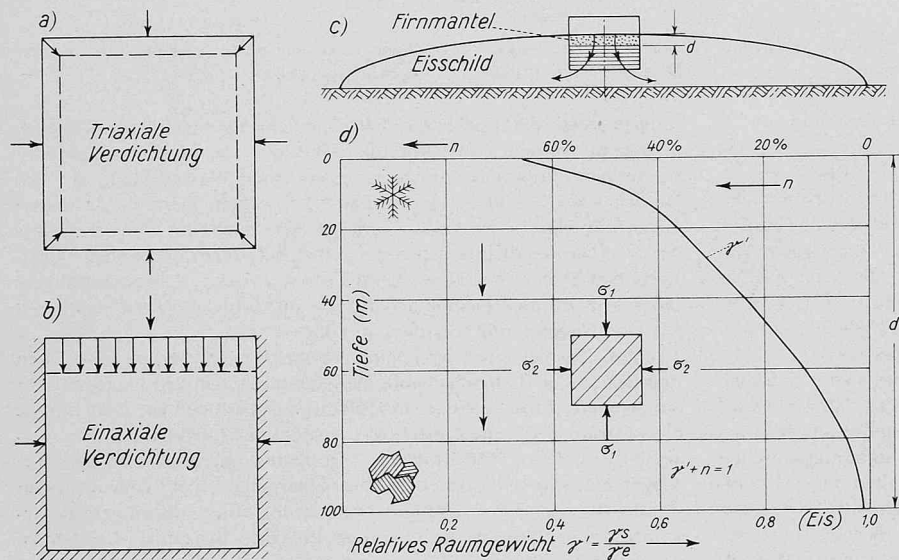


Bild 7. a) Dreiaxiale Verdichtung unter hydrostatischem Druck
b) Einaxiale Verdichtung (Oedometer, Inlandeis an der Bewegungsscheide)
c) Eisschild mit Bewegungsscheide
d) Raumgewicht des Firms in Funktion der Tiefe. Einaxiale Verdichtung von Schnee über Firn in Eis
 n = Porosität

4. Stationäre und nichtstationäre Kriechvorgänge

Ein stationärer Kriechvorgang liegt dann vor, wenn einerseits die Kriechgeschwindigkeiten zeitlich konstant sind und andererseits weder eine Volumen- noch eine Formänderung des kriechenden Körpers stattfindet. Der stationäre Vorgang ist in der Natur eine seltene Ausnahme. Höchstens kann man von quasi stationären Kriechprozessen sprechen. Als Beispiel sei das Kriechen von Schutthalden und Gehängelehnen erwähnt, die – abgesehen von kleineren Schwankungen – während Jahrzehnten ihre Geschwindigkeit beibehalten. Bild 9 zeigt die horizontale Verschiebung einiger Kirchen im rund 40 km^2 grossen Kriechgebiet von Peiden (Schweiz), das aus stark verwittertem Bündnerschiefer mit hangparalleler Schichtung und Moränenschutt besteht. Die Kirche von Peiden hat sich im Laufe von 67 Jahren um 15 m (22 cm/Jahr) horizontal und 3 m vertikal verschoben, ohne beschädigt zu werden [10, 37].

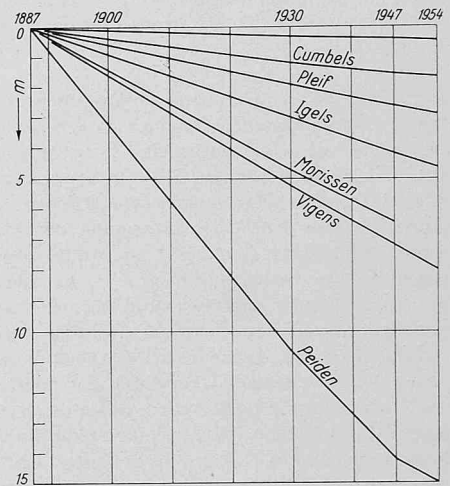


Bild 9. Horizontale Verschiebung einiger Kirchen im Kriechgebiet von Peiden (Graubünden), 1887—1954 [10]

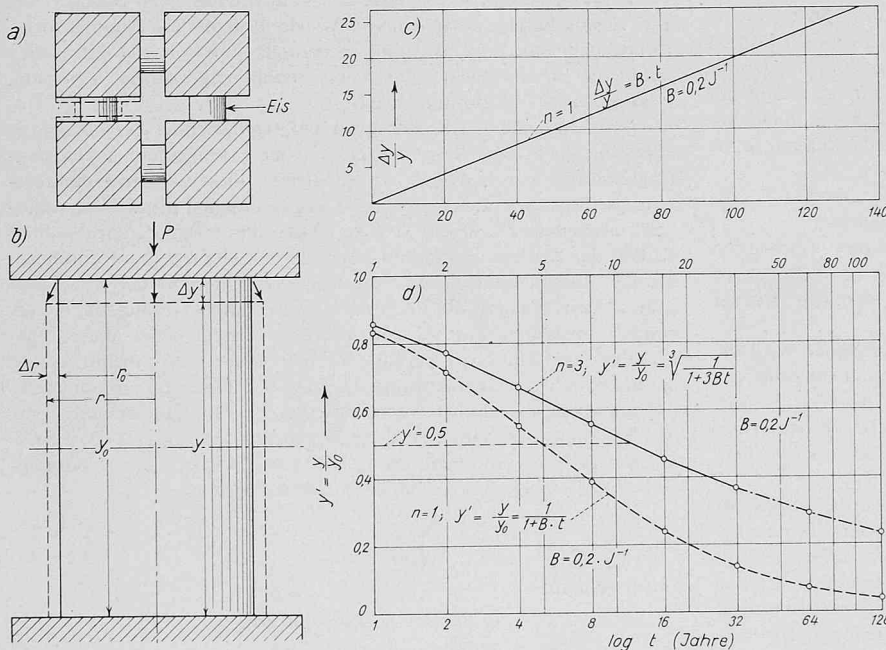
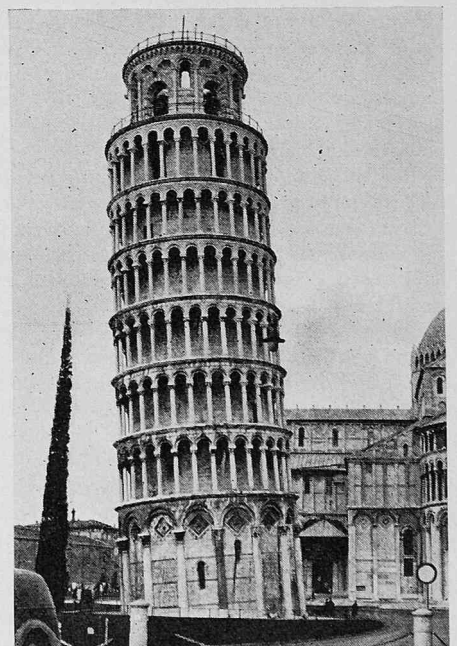


Bild 8. Modell für die Erklärung der Nachsetzung in der Bodenmechanik
a) Ideelle Eiszyylinder übertragen anstelle der molekular gebundenen Wasserfilme die Kräfte von Korn zu Korn
b) Verformung eines Eiszyinders unter konstanter einaxialer Belastung und unbehinderter Querdehnung
c) Zeitsetzungskurve $\Delta y : y$ eines Eiszyinders für $n = 1$ (Exponent des Fließgesetzes Gl. 1)
d) Zeitsetzungskurve $y : y_0$ für verschiedene n -Werte

Bild 10. Schiefer Turm von Pisa (Aufnahme Wolf-Bender, Zürich)



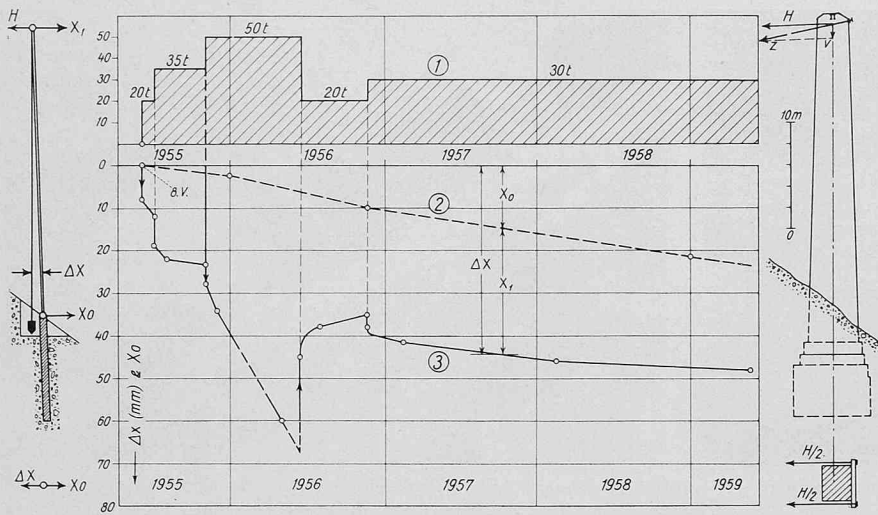


Bild 11. Korrektur der Schiefstellung eines Brückenpfeilers der Castieler Brücke der Chur-Arosa-Bahn

Als Beispiel eines *nichtstationären Kriechvorganges* in der Bodenmechanik sei neben der Nachsetzung von Bauwerken wie Erddämmen, Gebäuden usw. die Schiefstellung von alten Türmen, Hochhäusern und Pfeilern erwähnt. Es handelt sich dabei ebenfalls um einen schleichenden Vorgang, der als *Circulus vitiosus* sich oft über Jahrhunderte erstreckt (Bild 10). Die mit der Zeit zunehmende Exzentrizität der Resultierenden verschärft den Spannungszustand im Erdreich unter der Fundamentsohle durch Erhöhung der Kantenpressung und aktiviert dadurch den Kriechvorgang. Wie neuere Erfahrungen zeigen, lässt sich dieser gefährliche Kriechprozess durch die Einleitung von äusseren Gegenkräften umkehren und der Turm dadurch aufrichten oder seine Schiefstellung regulieren. Nach diesem Prinzip wurde zum Beispiel die Neigung eines Pfeilers der Chur-Arosa-Bahn korrigiert. Der in Bild 11 rechts dargestellte, rund 30 m hohe Pfeiler ist in einer mächtigen, mit rund 35° geneigten Schutthalde (Bündnerschiefer) fundiert, deren Kriechbewegung von den Ingenieuren der Rhätischen Bahn jährlich gemessen wurde. Eine Messperiode von 16 Jahren (1939–1955) hatte eine praktisch konstante Kriechgeschwindigkeit

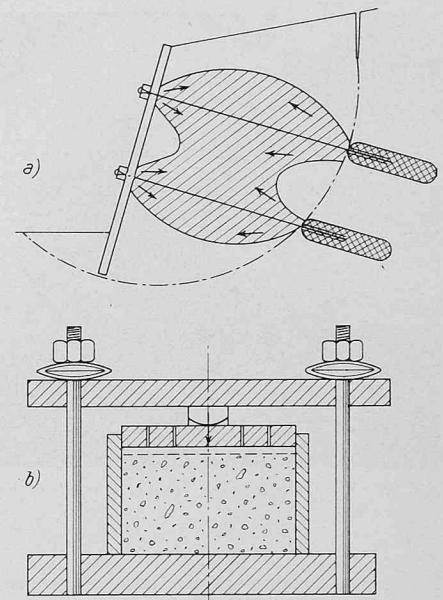


Bild 12. Kriechvorgänge im Boden hinter einer verankerten Stützwand als Beispiel eines nichtstationären Kriechprozesses

einzelner Punkte der Schuttoberfläche von 16–17 mm pro Jahr ergeben (Horizontalkomponente). Die Tatsache, dass sich der rund 10 m tief fundierte Pfeiler ebenso regelmässig, wenn auch mit etwas kleinerer Geschwindigkeit, talwärts bewegte (Kurve 2 in Bild 11), liess auf eine tiefgreifende Kriechbewegung, die der Pfeiler schwimmend mitmachte, schliessen. Da andererseits der eiserne Überbau – eine Kette von einfachen Balken – am oberen Ende im anstehenden Fels verankert war, wurde der Pfeilerkopf buchstäblich unter dem Rollenlager der Balkenbrücke weggeschoben. Mit Hilfe eines regulierbaren, am Pfeilerkopf angreifenden Horizontalschubes H konnte der Kriechprozess so gesteuert werden, dass die Sicherheit der Brücke gewahrt blieb, bis einige Jahre später eine endgültige Lösung des Problems getroffen werden konnte.

Ein anderes aktuelles Beispiel eines nichtstationären Kriechvorganges bildet die verankerte Stützwand, deren Anker vorgespannt werden, um die horizontale Verschiebung der Wand infolge Erddruck möglichst klein zu halten (Bild 12). Durch die Vorspannung wird einem gewissen Bereich des zu stabilisierenden Erdkörpers eine zusätzliche Druckspannung überlagert, um seine mechanischen Eigenschaften zu verbessern. Der Boden reagiert auf diesen zusätzlichen Druck durch ein inneres und äusseres Kriechen, wodurch die Vorspannung mit der Zeit etwas abgebaut wird. Diesen Abbau kann man im Ödometer anschaulich demonstrieren, indem man die Bodenprobe nicht einer konstanten Last aussetzt, sondern durch Messfedern, welche die Funktion des Vorspannkabels übernehmen, zusammen-drückt (Bild 12b).

$$\frac{y^2}{a^2} - \frac{x^2}{b^2} = 1$$

$$x = \frac{b}{a} \sqrt{y^2 - a^2}$$

$$y = \frac{a}{b} \sqrt{x^2 + b^2}$$

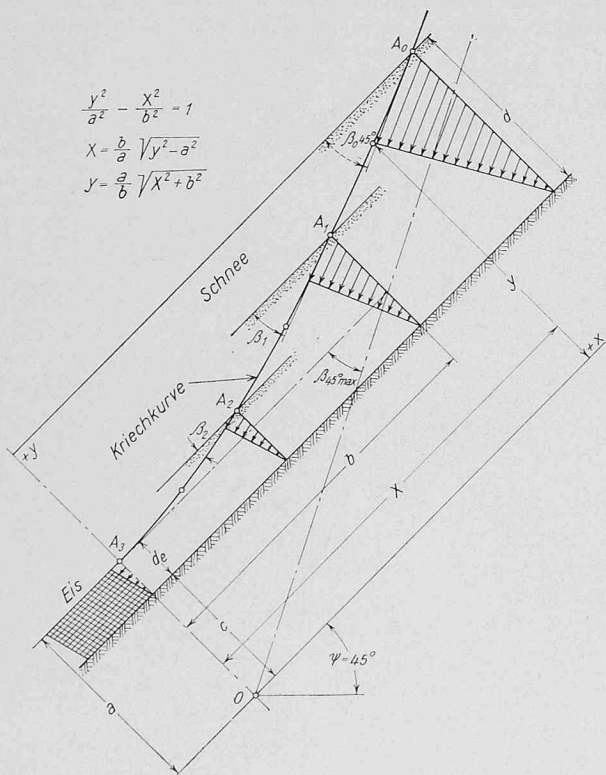


Bild 13. Kriechkurve und Selbststabilisierung der geneigten Schneedecke bis zur Verwandlung von Schnee in Eis (schematisch). $\psi = 45^\circ$

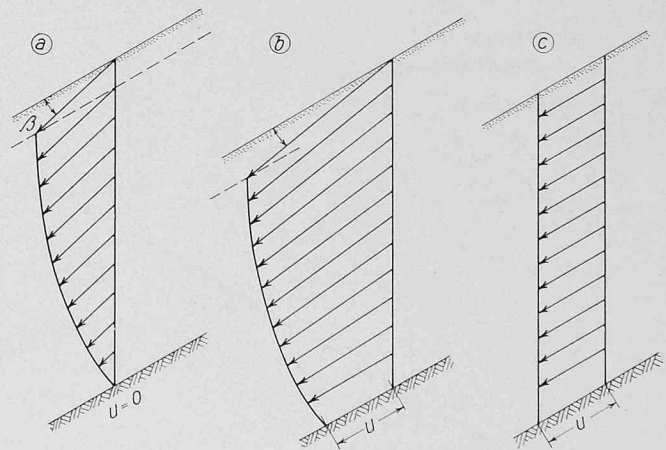


Bild 14. Verschiedene Kriechprofile mit und ohne Gleitvorgang auf der Unterlage: a) Kontinuierliches Kriechen, b) Diskontinuierliches Kriechen (Kriechen und Gleiten), c) Translatorisches Gleiten

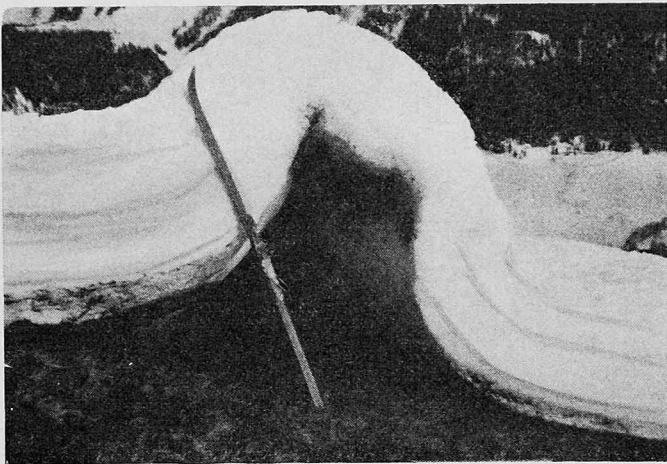


Bild 15. Faltenbildung der Schneedecke (Aufnahme des Verfassers)

Zu den nichtstationären Kriechvorgängen, die mit einer Volumenänderung des kriechenden Mediums verbunden sind, gehört vor allem das Kriechen einer geneigten Schicht aus zusammendrückbaren Lockergesteinen (Bild 13). Jeder *Setzungsvorgang*¹⁾ einer solchen, bestehe sie nun aus Schnee, Lehm oder Sand, ist, wie erwähnt, stets mit horizontalen Bewegungskomponenten verbunden. Der sogenannte *Kriechwinkel* β , den der Kriechvektor mit der Fall-Linie einschliesst, ist bei gegebener Hangneigung um so grösser, je poröser das Material ist. Den Weg, den ein Punkt A_0 der Schneeoberfläche beim Kriechvorgang beschreibt, nennen wir die *Kriechkurve*. Ist der Punkt A_0 bei zunehmender Verdichtung und abnehmendem Kriechwinkel auf seiner Bahn (Hyperbel) schliesslich in A_3 angelangt, so hat sich die Schneeschicht in eine gleichschwere Eisschicht verwandelt, deren Kriechwinkel infolge ihrer Volumenkonstanz $= 0$ ist [11].

Betrachtet man andererseits nicht nur die zeitliche, sondern auch die räumliche Verteilung der Kriechgeschwindigkeiten, so ist unter den verschiedenen Arten des Kriechens zwischen einem kontinuierlichen und einem diskontinuierlichen bzw. einem mit einem Gleitvorgang kombinierten Kriechen zu unterscheiden (Bild 14). Diese Kombination von Kriechen und Gleiten, die auch die Gletscherbewegung kennzeichnet, ist in der Natur am häufigsten anzutreffen. Bild 15 zeigt eine Faltenbildung der gleitenden Schneedecke als Demonstration für ihr pseudoplastisches Verhalten. Aus Bild 16 ist ersichtlich, dass die Natur das Rad schon vor dem Menschen erfunden hat. Dass auch das Eis in seiner langsamen Verformbarkeit der Schneedecke kaum nachsteht, zeigen die schlangenartigen Windungen von Eisstalaktiten in einer sich langsam deformierenden Gletscherspalte (Bild 17).

¹⁾ Diese wichtige Tatsache lässt sich auch theoretisch nachweisen.

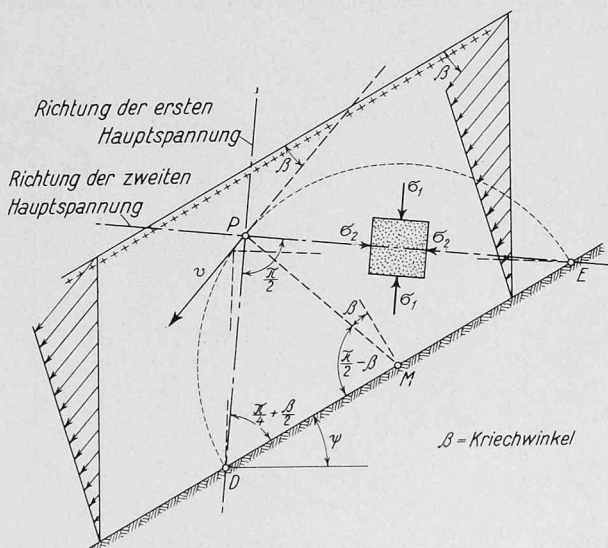


Bild 19. Konstruktion der Hauptspannungsrichtungen bei gegebenem Kriechwinkel β

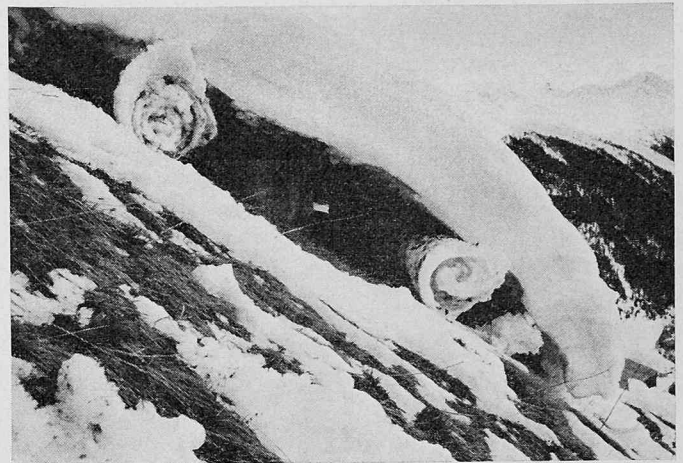


Bild 16. Die gleitende Schneedecke hat eine Neuschneesicht aufgerollt und benützt sie als Rollenlager (Aufnahme Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung)

Zusammenfassend lassen sich die räumlich kontinuierlichen und diskontinuierlichen Kriecherscheinungen unter Einschluss der langsamen Gleitvorgänge in folgende drei Hauptgruppen einteilen:

- Räumlich kontinuierliches Kriechen infolge Überschreitung einer kritischen Schubspannung τ_0 (Kriechgrenze), die kleiner ist als die Restscherfestigkeit (bei Schnee und Eis $\tau_0 = 0$);
- Räumlich diskontinuierliches (gleitendes) Kriechen auf einer oder mehreren Diskontinuitätsflächen, infolge Überschreitung der Restscherfestigkeit (Überschiebung);
- Inneres Kriechen infolge Näherrücken der Körner, das heisst unter Verkleinerung des Volumens der kriechenden Masse. Die Ursachen dieses Verdichtungsprozesses sind mannigfaltiger Art, zum Beispiel Kornveränderung (Metamorphose von Schnee und Firn), Konsolidation, Nachsetzung, Verwitterung, Kornzertrümmerung bei Überbeanspruchung an den Kontaktstellen von Korn zu Korn als statistisches Phänomen usw.

Alle drei Fälle können einzeln oder in Zweier- bzw. Dreierkombination auftreten.

Von grundlegender Bedeutung bei der Beurteilung der dritten Gruppe c) ist die wiederholt erwähnte Tatsache, dass jeder Verdichtungs- bzw. Setzungsvorgang der geneigten Schicht mit einer horizontalen Bewegungskomponente verbunden ist [11, 12]. Dasselbe gilt auch von einem Setzungsvorgang einer zusammendrückbaren

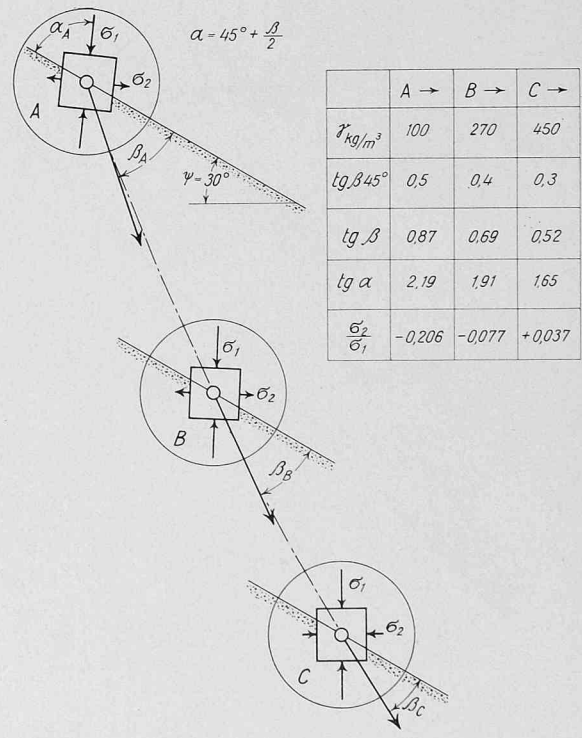


Bild 20. Kriechkurve und Stabilisierung der Schneedecke, A. σ_2 negativ (Zug); C. σ_2 positiv (Druck). $\beta_{45^\circ} =$ Kriechwinkel für $\psi = 45^\circ$

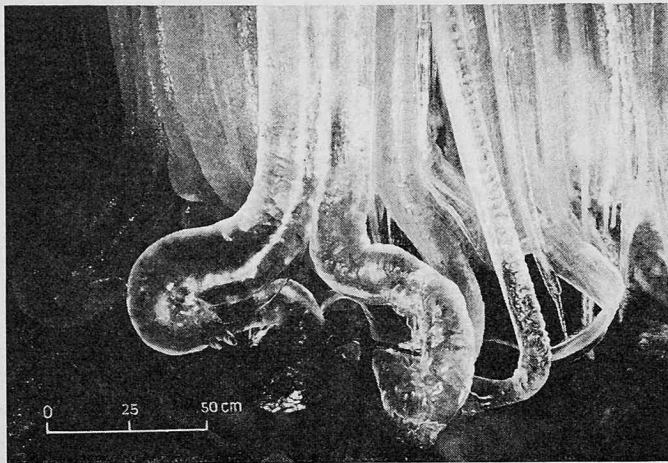


Bild 17. Eisstalaktiten in einer Gletscherspalte; Jungfrauoch (Aufnahme des Verfassers). Der Aufhängepunkt der Eiszapfen hat sich gegenüber der Spaltensohle (dunkles Eis) um rund 1,5 m gesenkt (in rund 5 Jahren)

Schicht mit horizontaler Oberfläche, aber geneigter Unterfläche. Schliesslich ist darauf hinzuweisen, dass auch das bekannte Phänomen der Solifluktion als ein Kriechen der oberflächlichen Bodenschichten aufzufassen ist, das durch Frost und Verwitterungsprozesse sowie durch das Gleiten und Kriechen der Schneedecke aktiviert wird.

III. Kriechprozesse und Spannungsmetamorphose

Bei nicht stationären Vorgängen ist der Kriechprozess eines sich verdichtenden Mediums mit gesetzmässigen Spannungsänderungen verbunden, welche die Stabilität des betreffenden Systems entweder verbessern oder verschlechtern.

1. Kriechprofil und Spannungszustand

Am besten überschaubar sind die Verhältnisse bei einer seitlich unbegrenzten, geneigten, ebenen Schneeschicht, deren Kriechprofile einander kongruent sind (neutrale Zone). Ist hier die Richtung des Kriechvektors durch den Kriechwinkel β gegeben, so ist auch der zugehörige Spannungszustand eindeutig bestimmt. Im Falle eines dreieckförmigen Kriechprofils (Bild 18), das sich für die Schneedecke immer wieder als charakteristisch erwiesen hat und auf eine nach unten linear zunehmende Zähigkeit schliessen lässt, lassen sich die Hauptspannungsrichtungen nach der in Bild 19 dargestellten, einfachen

Konstruktion bestimmen²⁾. Mit einer kleinen Modifikation gilt diese graphische Lösung auch für beliebig geformte Kriechprofile, sofern letztere kongruent und die Kriechvektoren einander parallel sind. Bei andern Lockergesteinen, die sich nicht wie zähe Flüssigkeiten verhalten, sondern – wie zum Beispiel der Boden – eher einem Bingham'schen Körper entsprechen, bei dem das Kriechen erst bei einem messbaren Schwellwert der Schubspannung beginnt, gilt obige Lösung nicht streng. Innerhalb eines durch den Schwellwert begrenzten Fächers bleibt hier die Richtung der Hauptspannungen undeterminiert, wobei jedoch der für Schnee gültigen Zusammenhänge unter allen möglichen Lösungen die grösste Wahrscheinlichkeit zukommt. Je kleiner der Schwellwert der Scherspannung, um so besser determiniert ist diese Lösung³⁾.

2. Spannungsmetamorphose

Betrachten wir eine lockere Schneeschicht von 30° Neigung und möglichst grossem Kriechwinkel β_A (Bild 20). Die zugehörige zweite Hauptspannung ist negativ. Mit einsetzender Verdichtung wird β kleiner, was eine Drehung der Hauptspannungen im Gegenzeigersinn bewirkt. Damit wird schliesslich die erste Hauptspannung lotrecht und gleich dem Überlagerungsdruck, während gleichzeitig die zweite Hauptspannung den Nullpunkt durchschreitet ($\sigma_2 = 0$). Wir nennen diesen Spezialfall den kritischen, weil seine Stabilität noch immer sehr prekär und kritisch ist. Geht der Verdichtungsprozess weiter, so wird die zweite Hauptspannung positiv. Damit tritt eine Stabilisierung der Schneedecke ein [11, 12] (vgl. Tabelle, Bild 20).

In Bild 20a sind die Ergebnisse der unter bestimmten Annahmen durchgerechneten Spannungsmetamorphose einer um 30° geneigten Schneeschicht, deren anfängliches Raumgewicht $\gamma = 109 \text{ kg/m}^3$ und $\gamma' = 0,1$ beträgt, dargestellt. Die rechte Bildseite zeigt die Kriechrichtung mit der deutlichen Abdringung der Hauptspannungsrichtungen. Im Diagramm der linken Bildseite veranschaulicht die Hyperbel die Abnahme der Querszahl m_2 (analog dem reziproken Wert

²⁾ Man errichtet zu diesem Zweck die Senkrechte auf den Kriechvektor v und schlägt den Halbkreis DPE . Verschiebt sich der Punkt P um einen kleinen Betrag in Richtung v , so drehen sich die beiden Schenkel des rechten Winkels DPE um ihren Fusspunkt D bzw. E . Als Peripheriewinkel erfährt dabei der genannte rechte Winkel keine Änderung, was nur möglich ist, wenn seine Schenkel mit den Richtungen der Hauptspannungen übereinstimmen [11], d. h. wenn in diesen Richtungen keine Schubspannungen wirksam sind.

³⁾ In unmittelbarer Nähe der Oberfläche der Böschung wird die Lösung ungültig, weil dort die Hauptspannungen senkrecht bzw. parallel zur Oberfläche gerichtet sind.

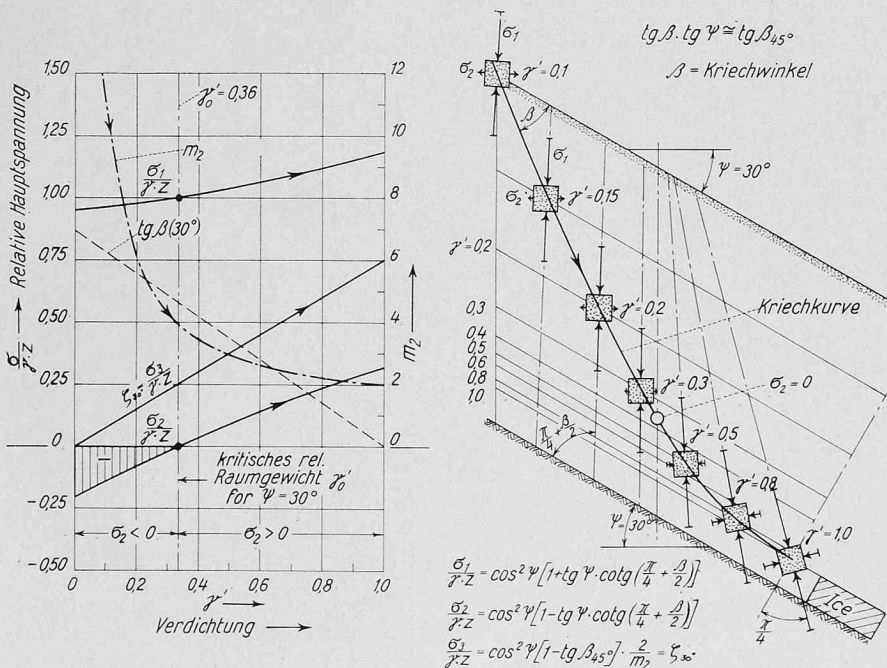
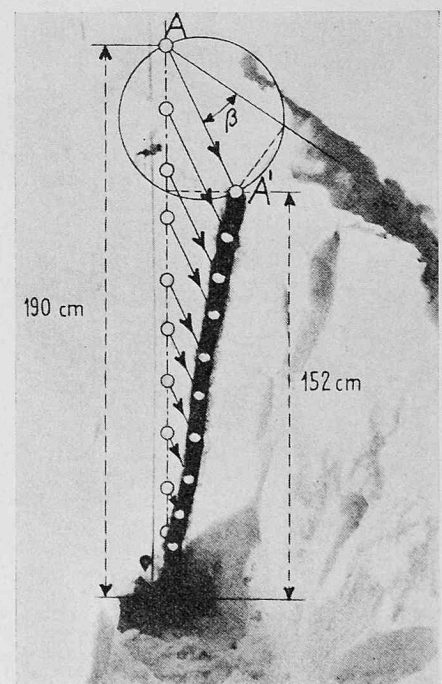


Bild 20a. Spannungsmetamorphose einer 30 % geneigten Schneedecke: Rechts: Kriechkurve der Schneedecke bis zu ihrer Verwandlung in Eis; Abbau der Zugspannung σ_2 (Selbststabilisierung); Drehung der Hauptspannungsrichtungen Links: Änderungen der Hauptspannungen (Relativwerte, bezogen auf den Überlagerungsdruck) mit zunehmender Verdichtung. Man beachte den linearen Anstieg des Ruhedruckes σ_3 (mittlere Kurve). γ' = relatives Raumgewicht (Schnee : Eis)

Bild 18. Kriechprofil der Schneedecke (ohne Gleitvorgang). Messzeit 66 Tage, 2660 m ü. M. (Aufnahme des Verfassers)



der Poissonzahl) mit zunehmender Verdichtung, während die drei von links nach rechts aufsteigenden Linien die relativen Werte der drei Hauptspannungen (bezogen auf den Überlagerungsdruck) darstellen. Man beachte, dass der kritische Spannungszustand ($\sigma_2 = 0$) erst bei einem relativen Raumgewicht von 0,33 ($\gamma = 362 \text{ kg/m}^3$) erreicht wird und dass der Ruhedruck σ_3 mit zunehmendem Raumgewicht linear ansteigt.

Wir sprechen hier von einer Spannungsmetamorphose, weil diese stetige und gesetzmässige Umwandlung des Spannungszustandes, der sich durch die fortschreitende Änderung von Richtung und Grösse der Hauptspannungen kundtut, durch die kristallographische Metamorphose des Schnees nicht nur verursacht, sondern auch gesteuert wird. Das Tempo des Prozesses bzw. der Zeitbedarf für die Stabilisierung der Schneedecke hängt in erster Linie von deren Temperatur ab. Je tiefer die Temperatur, um so langsamer vollzieht sich die Metamorphose. Deshalb hält im Hochwinter, das heisst bei tiefer Temperatur, die Lawinengefahr länger an als im Frühjahr.

3. Drei Spezialfälle (Bild 21)

a) Den ersten der drei nachstehend betrachteten Spezialfälle der geneigten Schicht haben wir eben kennengelernt und als den kritischen bezeichnet (Bild 21a). Die zugehörigen Hauptspannungen sind:

$$(4) \quad \begin{aligned} \sigma_1 &= \gamma z && \text{lotrecht (Überlagerungsdruck)} \\ \sigma_2 &= 0 && \text{horizontal} \\ \sigma_3 &= \frac{\gamma z}{m_2} && \text{senkrecht zur Bildebene} \end{aligned}$$

Für jede gegebene Schneart gibt es dementsprechend eine *kritische Hangneigung* ψ_0 , bei der sich der kritische Spannungszustand einstellt ($\sigma_2 = 0$). Umgekehrt gibt es für jede gegebene Hangneigung eine kritische Schneebeschaaffenheit, die in erster Linie durch ihr Raumgewicht gekennzeichnet ist [12].

Es ist selbstverständlich, dass dieser kritische Spannungszustand eine gewisse, stabilitätsmässig notwendige und mit dem Überlagerungs-

druck bzw. mit der Tiefe proportional zunehmende Kohäsion voraussetzt, nämlich (Bild 21, rechts):

$$(5) \quad c \geq \frac{\sigma_1}{2} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\Phi}{2} \right)$$

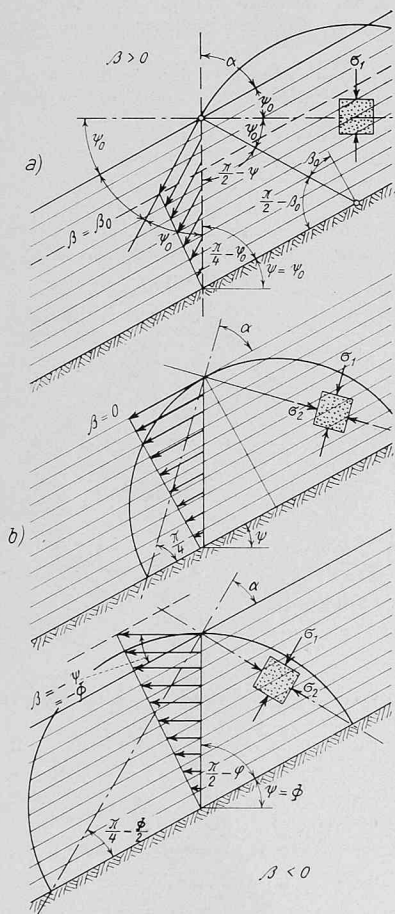
b) Als zweiten Spezialfall betrachten wir den Kriechprozess und Spannungszustand einer volumenkonstanten Schicht, die aus Eis oder Lehm ($\tau_0 \sim 0$) bestehen mag (Bild 21b). Da in diesem Falle der Kriechwinkel $\beta = 0$ wird, so steht gemäss der erwähnten Konstruktion die erste Hauptspannung unter 45° zur Fall-Linie. Die zweite Hauptspannung verhält sich zur ersten wie $(1 - \operatorname{tg} \psi) : (1 + \operatorname{tg} \psi)$. Aus dem Mohrschen Kreis folgt, dass bei fehlender Kohäsion ($c = 0$) dieser Spannungszustand nur dann stabil ist, wenn der Winkel der inneren Reibung Φ etwas grösser ist als der Hangwinkel ψ . Die Bedingung lautet:

$$\sin \Phi \geq \operatorname{tg} \psi$$

Wie oben erwähnt, wird der kritische Spannungszustand ($\sigma_2 = 0$) bei Eis für $\psi = \frac{\pi}{4}$ erreicht. Die dritte Hauptspannung, welche senkrecht

zur Bildebene steht, bildet den Ruhedruck, der für $\psi = \frac{\pi}{4}$ und $m_2 = 2$ halb so gross wird wie der Überlagerungsdruck γz (vgl. Gl. 4).

c) Ein dritter Spezialfall ist der *Rankinesche* (Bild 21c). Er ist mit der skizzierten Kriechtheorie nur dann vereinbar, wenn die Kriechvektoren horizontal gerichtet sind. Der Kriechwinkel β wird somit negativ und absolut gleich dem Hangwinkel ψ . Dies bedeutet, dass der Kriechprozess mit einer Zunahme der Porosität bzw. mit einer Volumenzunahme des Lockergesteins verbunden ist. Der Winkel Φ der innern Reibung wird in diesem Fall identisch mit ψ (Hangneigung), und die erste Hauptspannung ist bekanntlich unter dem Winkel $\left(\frac{\pi}{4} - \frac{\Phi}{2} \right)$ zur Fall-Linie geneigt (Gleitfläche).



kritische Neigung

$$\begin{aligned} \sigma_1 &= \gamma \cdot z; \quad \sigma_2 = 0 \\ \beta_0 &= \frac{\pi}{2} - 2\psi_0 \\ \alpha &= \frac{\pi}{2} - \psi_0 \\ c &\geq \frac{\sigma_1}{2} \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\Phi}{2} \right) \end{aligned}$$

Konstantes Volumen

$$\begin{aligned} \beta &= 0; \quad \alpha = \frac{\pi}{4} \\ \frac{\sigma_2}{\sigma_1} &= \frac{1 - \operatorname{tg} \psi}{1 + \operatorname{tg} \psi} \\ \sin \Phi &\geq \operatorname{tg} \psi \end{aligned}$$

Rankine: $\Phi = \psi; c = 0$

$$\begin{aligned} \beta &= -\psi \\ \frac{\sigma_2}{\sigma_1} &= \frac{1 - \sin \Phi}{1 + \sin \Phi} = \frac{1 - \sin \psi}{1 + \sin \psi} \\ &= \operatorname{tg}^2 \left(\frac{\pi}{4} - \frac{\Phi}{2} \right) \\ \alpha &= \frac{\pi}{4} - \frac{\Phi}{2} = \frac{\pi}{4} - \frac{\psi}{2} \end{aligned}$$

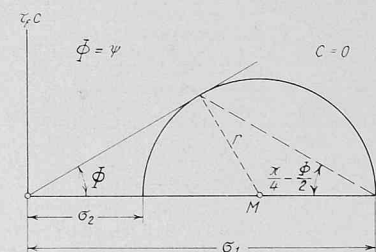
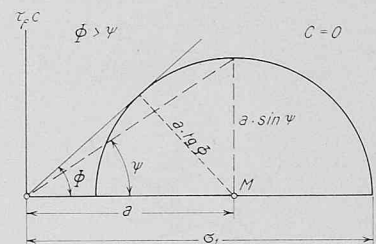
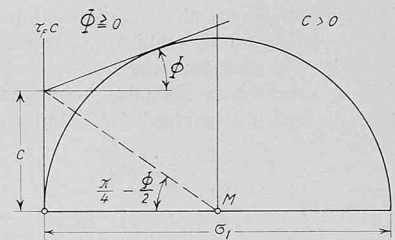


Bild 21. Drei Spezialfälle des Kriech- und Spannungszustandes der geneigten Schicht. a) Kritischer Zustand, $\sigma_2 = 0$; b) Kriechrichtung parallel zur Oberfläche (Volumenkonstanz) z. B. Eis ($\beta = 0$); c) Grenzzustand des Gleichgewichtes nach Rankine

Die Folgerungen, die sich aus dieser Betrachtung für die Stabilität der Böschungen in der Bodenmechanik ergeben, sind mannigfaltiger Art und lassen sich zur Zeit nicht voll überblicken. Neue und interessante Erkenntnisse sind dabei betreffend der Ruhedruckziffer sowohl der horizontalen wie auch der geneigten Schicht zu erwarten [12, 38]. Dank ihrer Anschaulichkeit dürfte sich die oben skizzierte Kriechtheorie auch bei der Projektierung und Berechnung von Erddämmen als nützlich erweisen. Sie könnte u. a. einen Beitrag liefern zur Untersuchung der Frage, ob und unter welchen Umständen Zugspannungen zu befürchten sind, die zu Rissbildungen im Dichtungskern führen können, wenn dessen plastische Verformbarkeit ungenügend ist. Im Hinblick auf neueste Erfahrungen beim Bau von Erddämmen gewinnt man den Eindruck, dass das bekannte Kriterium des optimalen Einbauwassergehaltes in gewissen Fällen durch ein geeignetes Kriterium der rissfreien Verformbarkeit des Kernmaterials ergänzt werden sollte.

4. Beispiel einer Kriechdruckmessung

Starre Hindernisse, die sich der Kriechbewegung entgegenstellen, werden durch den Kriechdruck beansprucht. Dieser steigt im Laufe der Zeit langsam an, um sich asymptotisch einem Maximalwert zu nähern, welcher für die Dimensionierung des Bauwerkes massgebend ist. Der Grösstwert des Kriechdruckes kann ein Mehrfaches des aktiven Erddruckes betragen und ist nur selten identisch mit dem passiven Erddruck.

Eine erste praktische Anwendung der schneemechanischen Konzeption des Kriechdruckes auf analoge Probleme der Bodenmechanik erfolgte anlässlich der Rekonstruktion der von Ing. Maillart erbauten Landquartbrücke der Rhätischen Bahn bei Klosters (Bild 22). Hier galt es, der drohenden Zerstörung der originellen, im Grundriss gewölbten Bogenbrücke, deren linkes Widerlager im kriechenden Bergsturzmaterial gegründet war, Einhalt zu gebieten. Zu diesem Zwecke wurde zwischen den beiden Widerlagern ein horizontaler Druckriegel aus armiertem Beton eingebaut, der so dimensioniert wurde, dass er bei dem rechnerisch ermittelten Kriechdruck von 1000 bis maximal 1650 t noch eine genügende Sicherheit aufweist [13, 14].

Die langfristige Messung des Riegeldruckes durch die Erdbauabteilung der VAWE ergab einen langsamen Anstieg der Druckkraft im Laufe von rund 6 Jahren bis rund 1000 t, das heisst bis zur unteren Grenze des theoretisch berechneten Wertes. Erwartungsgemäss war dieser Druckanstieg (Bild 23) von jährlichen Druckschwankungen, bedingt durch die saisonmässigen Temperaturänderungen, überlagert [13, 14]. Nach den ersten 6 Beobachtungsjahren stieg der Druck nur noch langsam an und erreichte 1956, das heisst rund 12 Jahre nach

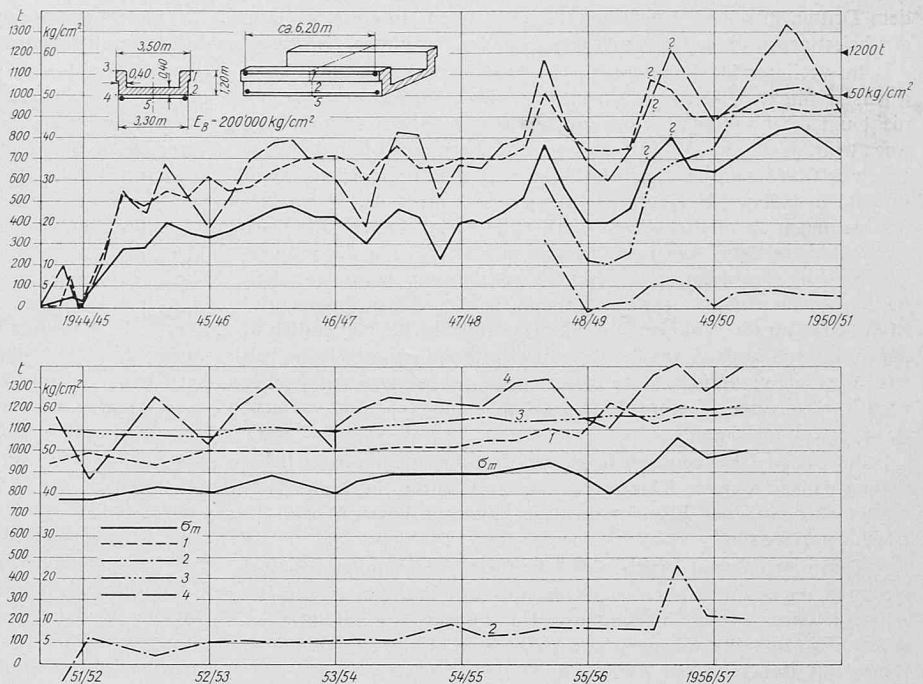


Bild 23. Gemessene Kantenpressungen und totaler Druck im Druckriegel der Landquartbrücke bei Klosters, Messperiode 1944—1957 (VAWE)

Beginn der Messung, den maximalen Wert von rund 1100 t. Interessanterweise wurde in der folgenden Messperiode (1957—1965) eine Abnahme des Riegeldruckes auf etwa 70% des Maximalwertes beobachtet, was wahrscheinlich durch den Kohäsionsverlust in den Gleitflächen und deren Glättung bzw. den Abfall der Scherfestigkeit auf den Wert der Restscherfestigkeit bedingt ist.

Die Landquartbrücke bei Klosters ist ein eindrückliches Beispiel dafür, dass schon relativ kleine Kriechbewegungen (0,5–2 cm/Jahr) genügen, um ein auf Kriechen empfindliches Bauwerk in relativ kurzer Zeit zu zerstören, wenn nicht rechtzeitig eingegriffen wird. Die Kunst besteht deshalb nicht selten darin, das Bauwerk so zu gestalten, dass es gegen das Kriechen des Untergrundes möglichst unempfindlich ist.

Schluss folgt

Das Recht der Architekturkritik

DK 72.072.3

In einem Ehrverletzungsprozess wurden der Schriftsteller Maurice Zermatten, Präsident der Baukommission des Kantons Wallis, und Joseph Iten, Stadtarchitekt von Sitten, vom Instruktionsrichter der Bezirke Sitten und Siders «wegen übler Nachrede und Beschimpfung» zu je 200 Fr. Busse verurteilt. Als Rekursinstanz sprach das Kantonsgericht Wallis die Angeklagten frei (März 1966). Darauf erhoben die Walliser Architekten M. und K. als Kläger beim Bundesgericht eine Nichtigkeitsbeschwerde, die jedoch abgewiesen wurde.

Anlass zu diesem Prozess bot ein bebildeter Aufsatz von Maurice Zermatten, welcher zur Einführung eines im Mai 1963 vom Walliser Staatsrat genehmigten Baureglementes dienen sollte. Unter dem Titel «Architektur und Landschaft» nahm Zermatten energisch Stellung gegen den Einbruch moderner Bauten in das die Stadt Sitten umgebende Rebgeleände. Der sich dem traditionellen Kulturgut und dem Gedanken des Natur- und Heimatschutzes verpflichtet fühlende Schriftsteller rügte, dass die jungen Architekten «sich so wenig um die Landschaft scheren, in die sie ein Haus hineinstellen, als sich ein Fisch um einen Apfel kümmert». «Die Zeitströmung, der sie entstammen, wird in Jahrhunderten vergessen sein», gab Zermatten ferner zu bedenken, «während diese heimatlosen Gebäude noch dastehen werden in ihrer Anmassung und Lächerlichkeit» usw.

In der schriftlichen Begründung der Abweisung ging der Kassationshof des Bundesgerichtes auf die einzelnen Anklagepunkte näher ein, wie sie im Aufsatz Zermattens enthalten waren. Zur Diskussion stand die Anwendung der Art. 173 (üble Nachrede) und 177 (Beschimpfung) des Schweizerischen Strafgesetzbuches. Die erste Bestimmung verlangt Handlungen, die geeignet sind, den Ruf einer Person zu schädigen, die zweite erfordert Angriffe auf die Ehre. Beide Vorschriften dienen dem Schutz der persönlichen Ehre. Bemerkungen über die berufliche Qualifikation einer Person, z. B. eines Künstlers, Politikers oder Geschäftsmannes verletzen die Ehre nicht, sofern sie

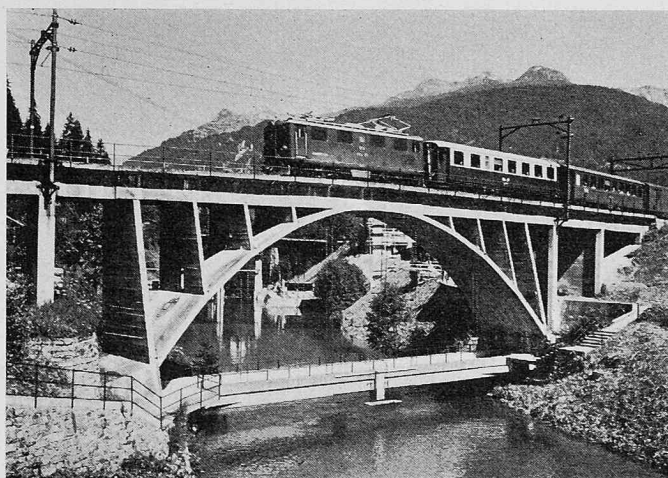


Bild 22. Landquartbrücke der Rhätischen Bahn bei Klosters, erbaut 1930 nach dem Projekt von Ing. R. Maillart, Genf. 1943/44 Einbau des Druckriegels mit Messvorrichtung zur Messung des Riegeldruckes (vgl. Bild 23)