Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 85 (1967)
Heft: 2

Artikel: Kriechen und progressiver Bruch in Schnee, Boden, Fels und Eis
Autor: Haefeli, R.
DOI: https://doi.org/10.5169/seals-69354

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: 10.07.2025

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

Der Gotthard-Basistunnel als neue Aufgabe des Schweiz. Autostrassen-Vereins DK 625.712.35

Gerne geben wir der nachstehenden Einsendung Raum, sind doch auch wir überzeugt von dem Satze «noch ist es Zeit, einen Fehler am Gotthard zu vermeiden». Eine halbe Autobahn von 16 km Länge mit Selbstfahrbetrieb und künstlicher Belüftung als Glied der Europastrasse 9 wäre sowohl verkehrstechnisch wie volkswirtschaftlich ein Fehler von unerhörtem Ausmass. Bekanntlich steht die Begründung dieses Entschlusses der Studiengruppe Gotthardtunnel auf sehr schwachen Füssen; um so mehr muss das gründliche Studium der Lösung mit rollender Strasse, liege diese nun auf Basishöhe oder auf Höhenlage des heutigen Tunnels, nachdrücklich gefordert werden.

Red.

Der Schweizerische Autostrassen-Verein hielt in Luzern am 3. Dez. 1966 seine 38. ordentliche Mitgliederversammlung ab. Dieser von Ständerat Dr. Gustav Wenk im Jahre 1927 gegründete Verein sollte in seinem vierzigsten Geschäftsjahr neuen Zielen entgegen gehen, denn Autobahnen in der Schweiz sind inzwischen, seinem ursprünglichen Ziel entsprechend, als Nationalstrassen in Bau und Betrieb genommen worden.

Nach den geschäftlichen Traktanden hielt Ständerat Dr. *F. X. Leu* aus der Sicht eines kompetenten Politikers der Zentralschweiz ein Kurzreferat über den «Gotthard, der bedeutendste Alpenübergang in Europa». Als Träger der Nationalstrasse N 2 und der Europastrasse E 9 entfallen 70% des Alpentransits der Schweiz auf die Gotthard-Route. Das Tagesmaximum 1965 erreichte 18 728 Autoeinheiten, wovon 40% den Bahnverlad beanspruchten. Auffallend ist, dass den Strassentunneln des Mont Blanc und des Grossen St. Bernhard, trotz ihres guten Ausbaues, nur ein Bruchteil des heutigen Gotthardverkehrs zukommt. Die N 2 wird von Basel bis Chiasso 300 km messen, wovon 72 km auf die Gebirgsstrecke Amsteg–Biasca entfallen. Ihre Baukosten sind auf 4000 Mio Fr. veranschlagt. Der 16 km lange Strassentunnel von Göschenen nach Airolo soll, als kühnste Leistung dieses Werkes, dem Bau des Eisenbahntunnels vor 90 Jahren nicht nachstehen. Allerdings liess Dr. Leu den Zweifel durchblicken, dass unsere Nachkommen in diesem teuren Werk keinen absolut tauglichen Ausbau des Gotthards für die Nationalstrasse erkennen könnten.

In der Diskussion meldete sich *Eduard Gruner* als Pionier des Gotthard-Autotunnels zum Wort. Seine seit 37 Jahren betriebenen Studien führten ihn zur Erkenntnis, dass der Ausbau des Gotthards in erster Linie ein volkswirtschaftliches Problem sei, dessen Forderung in zweiter Linie die moderne Technik mit ihren fast unbeschränkten Mitteln nachkommen müsse. Zu deren Lösung seien aber Fachleute zu berufen, die den richtigen Masstab gebrauchen können. Weil die Mitglieder der Studiengruppe Gotthardtunnel in erster Linie nach traditionell technischen Gesichtspunkten urteilten, empfahlen sie ein Projekt, das die Nationalstrasse N 2 auf 72 km Länge in eine Alpenzone führt, wo während 5 Monaten Winter herrscht. Bei einer Befahrung durch einige Millionen Autoeinheiten im Jahr ist es für die Volkswirtschaft aber wesentlich, dass dieser Verkehr im Alpentransit eine Anlage befahren kann, welche Einsparungen von 20 bis 50 Fr. je Einheit ermöglicht. Solchen Vorteil bietet ein Basistunnel von Amsteg bis Biasca von 46 km Länge. Er spart 32 km Weglänge und 600 m verlorene Höhe und weicht den Gefahren des Hochgebirges aus. Die damit der Volkswirtschaft ersparten Werte von 20 bis 200 Mio Fr. im Jahr rechtfertigen den Bau eines Basistunnels auf 500 m ü. M. für die Nationalstrasse. Aus dem Bericht der Studiengruppe Gotthardtunnel geht übrigens hervor, dass der Basistunnel Amsteg–Biasca nicht teurer ist als die empfohlene Route mit Tunnel Göschenen–Airolo und ihren Rampen, speziell wenn dazu Baueinrichtungen und Hilfsbetriebe des neuen Eisenbahn-Basistunnels benutzt werden können und ihm nicht noch fälschlicherweise die Kosten eines Ausbaues der Gotthardpasstrasse zugeschlagen werden.

Ingenieur Gruner warnte die Versammlung vor einer Verschleuderung von Staatsgeldern von etwa einer Milliarde Franken für ein Werk von zweifelhafter Tauglichkeit am Gotthard und ermahnte sie, in der Beurteilung dieses Bauvorhabens staatsmännisches Denken vor technische Befangenheit zu setzen. Der zukunftsbewusste Ausbau des Gotthards durch den Bau eines Basistunnels für die Nationalstrasse wäre eine Tat von geschichtlicher Bedeutung für die Schweiz und Mitteleuropa. *Noch ist es Zeit, einen Fehler am Gotthard zu vermeiden.* Der Schweizerische Autostrassen-Verein war Vorkämpfer für die Nationalstrassen der Schweiz. Eines seiner neuen Ziele sollte der Kampf für die taugliche Erschliessung des Gotthards für das Auto sein. Dieses klare Votum wurde besonders von Vertretern der Verkehrsverbände begrüsst.

Die Aufgaben der neuen Arbeitsinspektoren

DK 351.83

Im neuen, bereits in Kraft gesetzten Arbeitsgesetz, das fast alle Gewerbebetriebe in sich schliesst, liegt über den Vollzug der durch die Kantone erlassenen Verordnung wiederum die Oberaufsicht beim Bund. Zur Erfüllung der verschiedenen Aufgaben ist in erster Linie das BIGA in Bern zuständig. Diesem stehen wiederum die aus den bisherigen Fabrikinspektoraten gebildeten Eidg. Arbeitsinspektorate und der Arbeitsärztliche Dienst zur Verfügung. Diese Stellen können wiederum Sachverständige zur Mitarbeit und besondere Fachinspektorate, wie den Verein von Dampfkesselbesitzern, das Acetyleninspektorat, das Starkstrominspektorat und die SUVA heranziehen. Den Arbeitsinspektoraten liegen in erster Linie die Betriebsbesuche ob, die Beratung der Kantone, der Arbeitgeber und Arbeitnehmer, die Überprüfung der Verfügungen der kantonalen Behörden. Kommt die kantonale Vollzugsinstanz innert nützlicher Frist einer Meldung des Arbeitsinspektorats nicht nach, so gibt diese Amtsstelle dem Bundesamt davon Kenntnis. Dieses erteilt der kantonalen Behörde dann die nötigen Weisungen. Ohne dieses Weisungsrecht wäre die dem Bund übertragene Oberaufsicht über den Vollzug zu wenig wirksam. Mit diesem Mittel will der Bund nun für eine einheitliche und gesetzeskonforme Durchführung der Vorschriften sorgen. Bei den Plangenehmigungen für Fabrikbauten und die nachfolgende Betriebsbewilligung für industrielle Bauten wirken auch die Arbeitsinspektorate mit.

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

Schluss von S. 9

Von Prof. Dr. **R. Haefeli**, Zürich

DK 624.131.3

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

IV. Progressiver Bruch und Restscherfestigkeit

1. Allgemeines

In einer seiner letzten Schriften «Stability on steep slopes on hard unweathered Rock» (1962) hat *Terzaghi* den progressiven Bruch wie folgt definiert [15]:

«Failure of slopes on brittle materials starts at a point where the shearing stress becomes equal to the shearing resistance. As soon as failure occurs at that point, the cohesion of the rock at that point becomes equal to zero whereupon the stresses in the surrounding rock increase and the rock fails. Thus the failure spreads by chain action and the process continues until the surface of failure extend to the surface of the rock. This process is known as progressive failure.»

In der vierten «Rankine Lecture» hat Skempton an einer Reihe von Beispielen gezeigt, dass ein wesentlicher Teil der bisherigen Widersprüche zwischen Theorie und Praxis in der Frage der Stabilität von Böschungen, insbesondere bei vorbelasteten Böden, verschwindet, wenn man die Erscheinung des progressiven Bruches im Zusammenhang mit der Restscherfestigkeit berücksichtigt [16].

In der Schweiz wurde der Bestimmung der Restscherfestigkeit auf Grund der Analogiebetrachtung zwischen Boden- und Schneemechanik schon frühzeitig besondere Beachtung geschenkt (1938 [17]). Die Beobachtung an Schneebrettlawinen führte ferner dazu, die Erkenntnis des progressiven Bruches auch auf kohärente Lockergesteine anzuwenden. So wurde zum Beispiel bei der Stabilitätsberechnung des Erddammes Castiletto-Marmorera die Möglichkeit eines progressiven Bruches im Kernmaterial voll berücksichtigt und der Sicherheitsgrad auf die Restscherfestigkeit bezogen [18].

2. Beispiele progressiver Bruchvorgänge in einer oder mehreren Phasen

Der progressive Bruch kann sich in einer oder in zwei oder mehreren Phasen abspielen. Ein mehrphasiger Bruchvorgang liegt dann vor, wenn infolge einer ersten Bruchphase ein ganz neuer Spannungszustand entsteht, der eine zweite Bruchphase einleitet usw. Um klar-

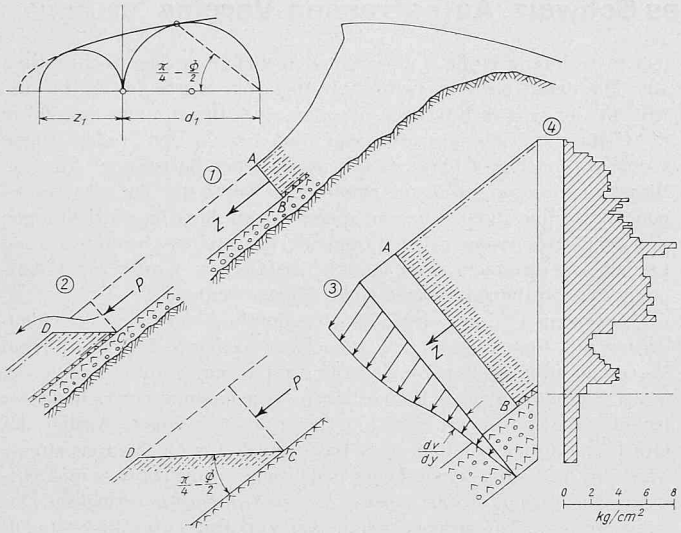


Bild 24. Querschnitt durch den Anbruch einer Schneebrettlawine. 1 Anbruch, 2 Stauchwall, 3 Kriechprofil, 4 Rammprofil

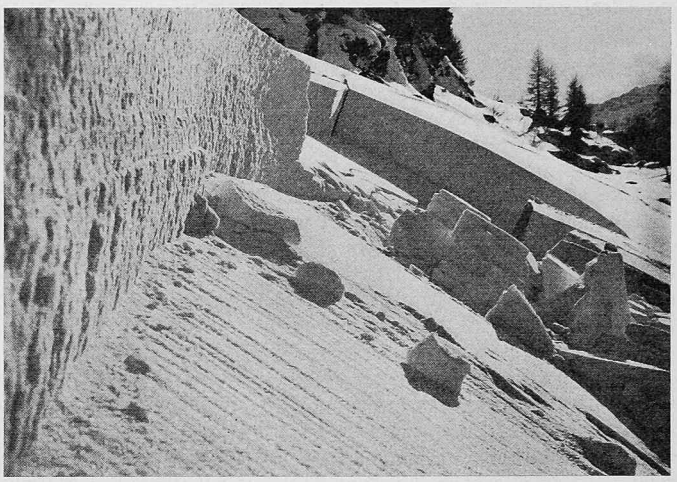


Bild 25. Anbruch einer Schneebrettlawine mit Schollenbildung und gerillter Gleitfläche. Man beachte die marmorartige Struktur der Bruchfläche (links)

zustellen, was damit gemeint ist, sei nachstehend die Mechanik einer Schneebrettlawine als typisches Beispiel eines mehrphasigen Bruchvorganges kurz erläutert.

Je mehr die windgepackten Schichten eines Schneebrettes infolge Erhärtung ihre Verformbarkeit verlieren, um so stärker wird der Kriechvorgang in der Zugzone durch Längskräfte abgebremst. Der in Bild 24 dargestellte Gradient des Kriechprofiles dv/dy reicht dann nicht mehr aus, um die Reibung in der Gleitschicht so zu mobilisieren, dass die volle hangparallele Gewichtskomponente (Schub) der darüberliegenden Schneedecke auf den Boden übertragen wird. Ein immer grösserer Teil dieser Schubkomponente des Schneebrettes hängt sich deshalb infolge Abbau (Regression) der innern Reibung in der Zugzone auf. Jetzt genügt die geringste Störung, um im schwächsten Glied der Kette den Bruchvorgang auszulösen. Unter scharfem Knall öffnet sich der Zugriss *A–B*. Mit seismischer Geschwindigkeit pflanzt sich der progressive Bruch längs der hangparallelen Gleitfläche *B–C* nach unten fort und überwindet schliesslich den Widerstand des Stauchwalls (2) durch dessen Überschiebung längs *C–D*. Es handelt sich somit um einen progressiven Bruch mit drei deutlich unterscheidbaren Phasen, indem nacheinander oder zeitlich überlappend zuerst die Zugfestigkeit des Schneebrettes (die bedeutend geringer ist als die Summe der Zugfestigkeiten seiner einzelnen Schichten), dann die Scherfestigkeit in der Gleitschicht und schliesslich die hangparallele Druckfestigkeit beim Stauchwall überwunden werden. Mit der Entstehung des Zugrisses beschleunigt sich meistens der Vorgang derart, dass auch dynamische Kräfte zur Wirkung gelangen. Bild 25 lässt die marmorartige Struktur der Bruchfläche des Zugrisses und die Rillung der Gleitfläche einer Schneebrettlawine erkennen[4]).

[4]) Häufig ist der progressive Bruch mit einem Strukturzusammenbruch in der lockeren Gleitschicht, die oft aus Schwimmschnee besteht, verbunden. Auch eine andere Reihenfolge der Bruchphasen ist möglich, indem primär ein Strukturzusammenbruch in der Gleitschicht erfolgt, der durch das Absacken des Schneebrettes den Anriss auslöst.

Progressive Bruchvorgänge in einer oder mehreren Phasen können auch bei Erdböschungen, die aus bindigem Material bestehen, beobachtet werden. Bild 26 zeigt einen Versuch, die Hauptspannungen in einzelnen Punkten der supponierten Gleitfläche in Form einer logarithmischen Spirale zu bestimmen, wobei es sich um ein $\Phi = 0$-Material handelt. Das Ziel ist, das relativ schwächste Glied in der Kette bzw. dasjenige Element der Gleitfläche zu finden, das am ungünstigsten beansprucht ist. Die für 4 Elemente unter einfachsten Annahmen berechneten Mohrschen Kreise lassen erkennen, dass der kritische Punkt am Fusse der Böschung liegt, indem nur bei Element 13 die Bruchbedingung erfüllt ist, das heisst der Mohrsche Kreis die Umhüllungskurve der Bruchzustände (horizontale *c*-Linie) schneidet. Von hier müsste somit der progressive Bruch zur Bildung der Gleitfläche ausgehen, evtl. schon bevor sich ein Zugriss nahe beim oberen Böschungsrand öffnet, der eine ungünstige Verlagerung der Kräfte bewirkt[5]).

[5]) Auf Grund von Klinometermessungen konnte E. de Beer feststellen, dass die Verformungen am Fusse der Böschung beginnen. (Persönliche Mitteilung von Prof. Dr. E. de Beer, Gent).

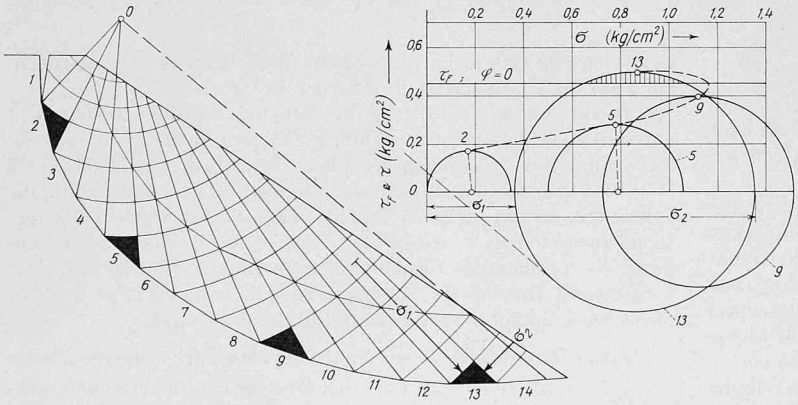


Bild 26. Angenäherte Ermittlung der Hauptspannungen längs einer potentiellen Gleitfläche (logarithmische Spirale) einer Lehmböschung. Progressiver Bruch, ausgehend von dem am ungünstigsten beanspruchten Element (13)

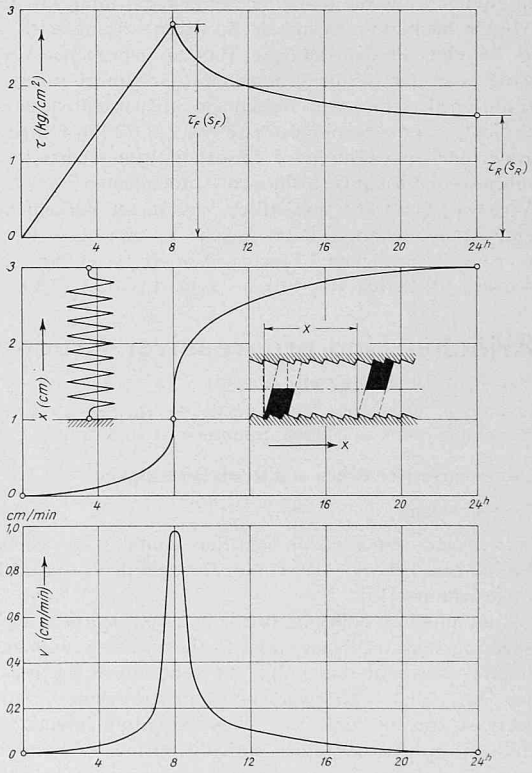


Bild 27. Ermittlung des Maximalwertes der Scherfestigkeit (peak value) und der Restscherfestigkeit im Ringscherapparat. Scherspannung (oben), Horizontalverschiebung (Mitte) und Verschiebungsgeschwindigkeit (unten) in Funktion der Zeit (h)

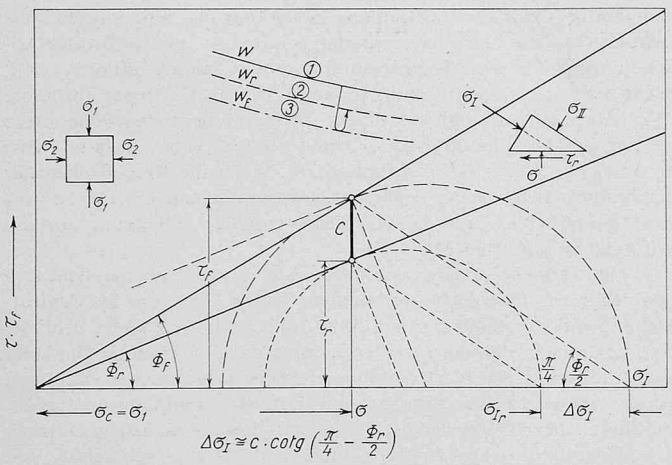


Bild 28. Scherdiagramm (Ringscherapparat) mit Mohrschen Bruchkreisen. Mit der Bildung der Gleitfläche geht die Kohäsion c verloren und τ_r wird identisch mit der Restscherfestigkeit s_r. Gleichzeitig schrumpft der Mohrsche Kreis zusammen (d. h. der äussere Kreis geht über in den inneren) und die erste Hauptspannung vermindert sich um $\Delta\sigma_I$

Nach der progressiven Bildung der Gleitfläche tritt die befürchtete Rutschung nur dann nicht ein, wenn die Summe der restlichen Scherfestigkeiten, die fast ausschliesslich auf Reibung beruhen, genügt, um das Abrutschen des Gleitkörpers zu verhindern. Es ist deshalb naheliegend, bei Böschungen und Erddämmen die Bedingungen zu stellen, dass deren Sicherheitsgrad auch nach der Bildung einer potentiellen Gleitfläche, das heisst unter Berücksichtigung der Restscherfestigkeit, grösser als 1 sei [18].

Da die mit dem progressiven Bruch verbundenen Gefahren um so grösser werden, je grösser die Kohäsion des betreffenden Stoffes, so spielt er vor allem auch bei der Beurteilung von Stabiltätsproblemen in der Fels- und Eismechanik eine hervorragende Rolle.

3. Restscherfestigkeit (Residual shear strength)

Aufs engste verbunden mit dem Phänomen des progressiven Bruches und dessen Gefahren ist die sogenannte Restscherfestigkeit (residual shear strength). Man versteht darunter jene restliche Scherfestigkeit, die in der Gleitfläche nach dem Verlust der Kohäsion noch übrigbleibt, wobei es sich, wie bereits erwähnt, vorwiegend um Reibung handelt.

Unter Benutzung des vom Verfasser entwickelten Ringscherapparates, der 1935 mit einer Bremsfeder ausgestattet wurde, um den Minimalwert der Restscherfestigkeit nach Bildung der Gleitfläche und vollständigem Abbremsen des Gleitvorganges messen zu können, ergibt sich folgende Darstellung (Bild 27) eines drainierten Ringscherversuches. Die 3 wichtigsten Messgrössen, nämlich die Scherspannung τ, die Horizontalverschiebung x zwischen der Oberfläche und der Unterfläche der Probe und die Verschiebungsgeschwindigkeit v werden in Funktion der Zeit aufgetragen. Die relativ lange Versuchsdauer von 8 bis 24 Stunden ermöglicht die kontinuierliche Drainage und Entspannung des Porenwassers [17].

Nach dem zeitlich linearen Anstieg der Scherspannung und nachdem eine bestimmte, für die Bildung der Gleitfläche und die Überschreitung des Spitzenwertes s_f erforderliche Querverschiebung erreicht ist, schaltet die Bremsfeder automatisch ein. Parallel mit der Abnahme der Gleitgeschwindigkeit und der zunehmenden Orientierung der Blättchen in der Gleitfläche nimmt auch die Reibung allmählich ab, bis schliesslich mit dem Eintritt der Ruhelage die Restscherfestigkeit s_r erreicht ist. Der Quotient zwischen Restscherfestigkeit und Spitzenwert der Scherfestigkeit wurde Restquotient («residual ratio») genannt [18], der nicht zu verwechseln ist mit dem von Skempton definierten Restfaktor «residual factor» [16].

Rest-Quotient (residual ratio)

$$\lambda_r = \frac{\operatorname{tg}\Phi_r}{\operatorname{tg}\Phi_f} = \frac{s_r}{s_f} \cong \frac{s_f - c}{s_f} = 1 - \frac{c}{s_f} \qquad \text{Haefeli (1950) [18]}$$

Rest-Faktor (residual factor)

$$R = \frac{s_f - \bar{s}}{s_f - s_r} \qquad \text{Skempton (1964) [16]}$$

worin bedeuten:

s_f = maximale Scherfestigkeit (Spitzenwert)
s_r = Restscherfestigkeit; (im Bild 27 oben mit s_R bezeichnet)
c = Kohäsion
$\bar{s}$ = mittlere Scherfestigkeit während der Rutschung.

Nach Skempton bedeutet dabei R denjenigen Anteil der Gleitfläche, in welchem die Scherfestigkeit auf die Restscherfestigkeit abgesunken ist.

Je grösser andererseits der Anteil der Kohäsion c am Spitzenwert der Scherfestigkeit, um so kleiner wird λ_r. Deshalb ist dieser Quotient λ_r bei stark vorbelasteten kohärenten Bodenarten wesentlich kleiner als bei nicht vorbelasteten kohäsionsarmen Materialien. Für kohäsionslose Bodenarten wird $\lambda_r = 1$ während er sich für Festgesteine, wie Fels und Eis, dem Nullwert nähern kann.

Für feinkörnige, kohärente Bodenarten, bei denen die Kohäsion c dem Konsolidationsdruck direkt proportional ist, kann λ_r als nahezu konstant, das heisst weitgehend unabhängig vom Konsolidationsdruck (drainierter Versuch), betrachtet werden. Bild 28 zeigt deutlich, wie stark der Mohrsche Bruchkreis beim Ringscherversuch mit dem Verlust der Kohäsion c sowie beim Abbremsen des Gleitvorganges zusammenschrumpft. Die langsame Abnahme der ersten Hauptspannung um $\Delta\sigma_I$ während des Bremsvorganges ist beim drainierten Versuch unter Wasser mit einer entsprechenden Wasseraufnahme (Quellung) und demzufolge mit einem gewissen Reibungsverlust verbunden.

4. Bankung und Bergschlag

Nachstehend soll versucht werden, die als Bankung und Bergschlag bekannten Entspannungsvorgänge, welche durch die Bildung oberflächenparalleler Klüfte gekennzeichnet sind, als mehrphasige progressive Bruchvorgänge zu deuten.

Vergleichshalber wird in Bild 29 zunächst die Rissbildung in einer horizontalen, wassergesättigten Lehmschicht, die durch Austrocknung der Oberfläche einem Schwindvorgang ausgesetzt wird, schematisch dargestellt. Mit dem Wasserentzug durch Verdunstung entsteht zunächst ein ebener Spannungszustand mit horizontalen, zweiaxialen Zugspannungen. Bei der Überwindung der Zugfestigkeit des Lehms durch diese Schwindspannungen bildet sich ein Netz von Rissen, welche die ganze oberflächliche Schicht in polygonale Tafeln aufteilen (Bild 30). Mit dieser ersten Phase der Rissbildung entsteht eine radikale Änderung des Spannungszustandes. DieLehmoberfläche hat sich durch die Rissbildung entspannt, aber dafür treten in einer zur Oberfläche parallelen Ebene die in Bild 29 schematisch angedeuteten Zug-, Druck- und Scherspannungen auf. Diese führen zu einer zweiten Phase der Rissbil-

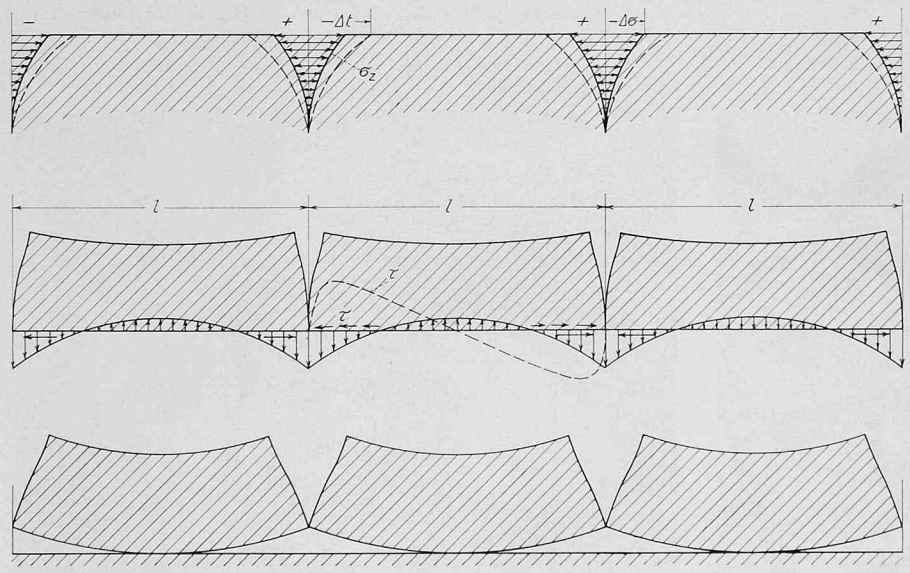


Bild 29. Oberflächlicher Schwindprozess einer Lehmschicht mit progressivem Bruch in zwei Phasen Rissbildung senkrecht (erste Phase) und parallel zur Oberfläche (zweite Phase)

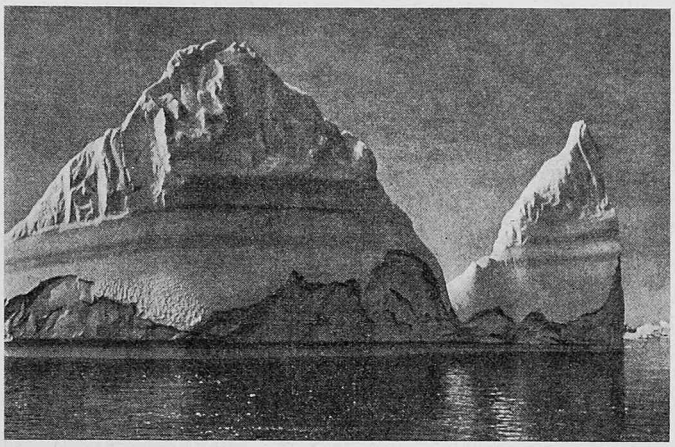


Bild 30a. Abschalungsprozess als Entspannungsvorgang an einem Eisberg durch Bildung von Rissen senkrecht und parallel zur Oberfläche infolge Temperaturspannungen (Abkühlung) ähnlich wie beim Granit (vgl. Bild 31). (Aufnahme M. Kogelbauer, Graz)

dung, die oft durch horizontale Diskontinuitätsflächen, zum Beispiel in Form feinster Sandzwischenlagen, erleichtert wird. Diese zweite Phase des progressiven Bruches schafft oberflächenparallele Klüfte und löst die einzelnen Polygone vom Untergrund, wobei sie sich an den Rändern stark aufbiegen, Bild 30 [6]).

Ein analoger Vorgang mit entsprechender Entspannung und Rissbildung findet bei der oberflächlichen Abkühlung einer Felsmasse statt, nur mit dem Unterschied, dass das «Schwinden» des Mediums, bzw. dessen Spannungen, nicht durch eine Verminderung des Wassergehaltes, sondern durch eine Temperaturabnahme hervorgerufen wird. Die Bildung von senkrecht und parallel zur Oberfläche stehenden Klüften infolge von Temperaturänderungen kann deshalb als Resultat eines progressiven Bruches in zwei Phasen betrachtet werden. Auch der umgekehrte Vorgang kommt in der Natur vor, indem eine sehr starke Erwärmung der Gesteinsoberfläche, zum Beispiel durch Einstrahlung, zur Abschalung von Gesteinsplatten bzw. zur Bildung von oberflächenparallelen, von der Schichtung völlig unabhängigen Klüften führen kann.

Das durch schroffe Temperaturänderungen, eventuell unterstützt durch Frostwirkungen und Ermüdung, entstehende Kluftsystem beschränkt sich hauptsächlich auf jene oberflächennahe Zone, in der sich die täglichen und saisonbedingten Schwankungen der Aussentemperatur sowie die Einstrahlung bemerkbar machen. Aus Bild 30a geht hervor, dass oberflächenparallele Klüfte bzw. plattenförmige Abschalungen, die auf Temperaturänderungen zurückzuführen sind, nicht nur im körnigen Granit, sondern auch an Eisbergen auftreten. Wir haben es hier somit mit einem jener grundlegenden Phänomene zu tun, das bei allen drei betrachteten Stoffen (Lehm, Fels und Eis) in ähnlicher Weise in Erscheinung tritt. Auch die Bruchflächen der Schneebrettlawine stehen senkrecht bzw. parallel zur Oberfläche, was aber hauptsächlich auf die oberflächenparallele Schichtung zurückzuführen ist (vgl. Bild 25).

Die Tatsache andererseits, dass man nicht selten parallele und senkrecht zur Oberfläche verlaufende Klüfte, die von der Schichtstellung völlig unabhängig sind, bis in rund 50 m Tiefe findet, schliesst Temperaturschwankungen als Ursache für diese tiefgründige Bankung meist aus (Bild 31). Nach Kieslinger [19] ist diese Art von Bankung (in der Schweiz Talbankung genannt) auf «Restspannungen» zurückzuführen, die als Überbleibsel eines vor- bzw. zwischeneiszeitlichen Überlagerungsdruckes zu betrachten sind. Neben geologisch und glazial bedingten kommen ferner tektonische Kräfte in Betracht. Auch Matthes kam bei seinen eingehenden morphologischen Studien im Yosemite-Valley zu ähnlichen Schlussfolgerungen [20].

Es stellt sich nun die naheliegende Frage nach dem Mechanismus dieser tiefgreifenden Entspannungserscheinungen, wie sie Kieslinger beschreibt. Analoge Entspannungsprozesse oder Druckentlastungen, jedoch in kleinerem Masstab, wurden beim Bau tief liegender Alpendurchstiche an den Tunnelwandungen, zum Beispiel beim Simplontunnel beobachtet und von Charles Andreae geschildert [21]. Auch in einem Eisstollen auf dem Jungfraujoch wurde bei nur 25 m Eisüberlagerung ein ähnliches Phänomen beobachtet [7]. Es handelt sich um das im Berg- und Tunnelbau gefürchtete und als *Bergschlag* (popping) bezeichnete Phänomen, auf dessen Problematik Terzaghi wiederholt hingewiesen hat [22]. Neuerdings sind solche Druckentlastungen beim Bau des Montblanc-Tunnels in sehr eindrucksvoller Weise in Erscheinung getreten, wobei sie das Bauvorhaben vor fast unüberwindliche Schwierigkeiten stellten. Wir wollen deshalb versuchen, die Mechanik des Bergschlages und dessen Bekämpfung vom Gesichtspunkt des progressiven Bruches rein qualitativ zu deuten.

Wie das Längenprofil in Bild 32 zeigt, betrug die Überlagerungshöhe auf der französischen Seite des Montblanc-Tunnels, insbesondere in der Zone starker Entspannungserscheinungen, mehr als 2000 m (unter der Aiguille du Midi 2480 m), entsprechend einem Überlagerungsdruck von rund 540 kg/cm². Dies würde bei einem kreisförmigen Tunnelprofil einer grössten theoretischen Randspannung von rund 1620 kg/cm² gleichkommen, während die Druckfestigkeit des dort anstehenden Montblancgranites rund 1000–1400 kg/cm² beträgt. Für den raschen Abbau dieser Spannungsspitzen sorgten die sofort eintretenden natürlichen Druckentlastungen. Die damit verbundene Bergschlaggefahr konnte nur dank der Entwicklung und Anwendung der modernen Verankerungstechnik mit Erfolg bekämpft werden. Zur Konsolidierung der Tunnelwandungen wurden dieselben mit 165000 Bolzen «Ancrall» von einer Gesamtlänge von 370 km bespickt. Daraus ergibt sich eine durchschnittliche Ankerlänge von rund 2,2 m, während die Vorspannung rund 5 t betrug. Im Durchschnitt

[6]) Eine ähnliche Form der progressiven Rissbildung in zwei Phasen, aber mit negativem Vorzeichen, kann bei vorbelasteten Tonen beobachtet werden, die der Verwitterung und Entspannung ausgesetzt sind (z. B. infolge vertikaler Entlastung) und daher Quellerscheinungen zeigen. Dabei werden, wie dies später am Beispiel des Bergschlages gezeigt wird, leicht zur Oberfläche geneigte und oberflächenparallele Bruchflächen gebildet, ein Prozess, der sich oft über geologische Zeiträume erstreckt und zu schweren Gleichgewichtsstörungen (Rutschungen) Anlass geben kann [36]

Bild 30. Polygonale Rissbildung an der Oberfläche einer Lehmschicht (vgl. Bild 29)

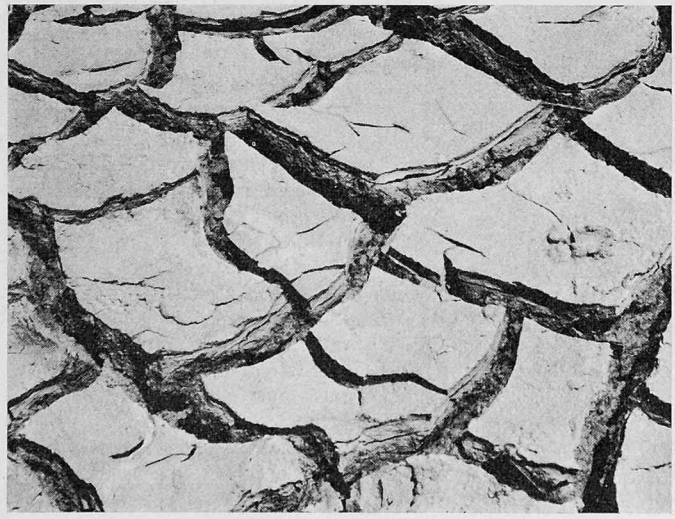
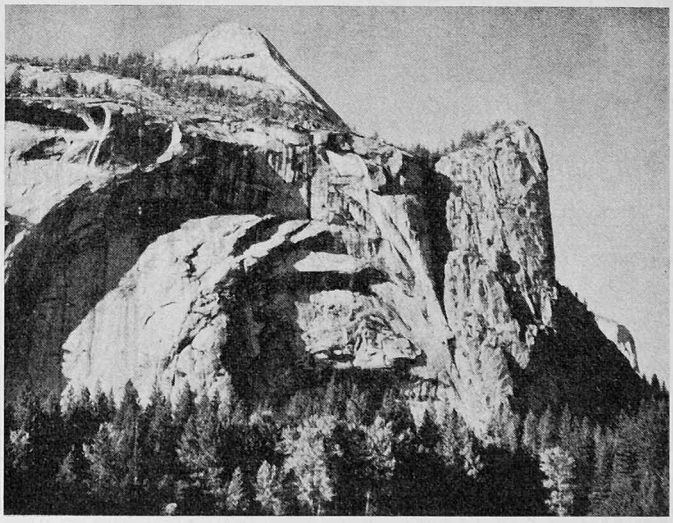


Bild 31. Tiefgreifende Abschalungen im Urgestein: Royal Arch, Yosemite Valley [20], Kalifornien



kamen auf den m² Wandung 1,4 Bolzen. Das Fortschreiten der Druckentlastung nach dem Berginnern wurde mit speziellen seismischen Methoden verfolgt [23]. Die Ausdauer und die eiserne Konsequenz, mit welcher der unerbittliche Kampf gegen die durch den menschlichen Eingriff ausgelösten Naturkräfte von Ingenieuren und Arbeitern geführt wurde, verdient grösste Bewunderung [24].

Sobald in einer ersten Phase des progressiven Bruches (Bild 32) die Druckfestigkeit des Gesteins in zwei benachbarten Schwächestellen *A* und *B*, oder häufiger nur in einer derselben, durch die Bildung von lokalen Scherrissen überwunden ist, wird die zwischen *A* und *B* liegende schraffierte Zone vom Vertikaldruck teilweise entlastet. An einer entsprechenden elastischen Ausdehnung wird sie zunächst durch die in der Ebene *A–B* wirksamen Schubspannungen verhindert. Wären diese Scherspannungen allein wirksam und die Platte frei, so würde sie sich nicht nur elastisch ausdehnen, sondern in der skizzierten Weise durchbiegen. Eine solche Durchbiegung wird jedoch durch die Einspannung der schraffierten Platte längs der Ebene *A–B* verunmöglicht. Als neue Zwängungsspannungen treten somit längs der potentiellen Bruchfläche *A–B* die schematisch dargestellten Normalspannungen auf. Dabei werden in Plattenmitte Zugspannungen und an deren Peripherie (*A* und *B*) Druckspannungen neben den bereits erwähnten Scherspannungen wirksam. Bei diesem ungünstigen Spannungszustand kann zum Beispiel in einem Punkt *C*, wo sich der Scherspannung eine Zugspannung überlagert, die zweite Phase des progressiven Bruches ausgelöst werden, indem sich zwischen *A* und *B* eine oberflächenparallele dünne Felsplatte mit scharfem Knall abspaltet. Dieser Prozess schreitet nach dem Innern des Gebirges fort und führt zur Entstehung einer Auflockerungszone, welche in Kombination mit der Bildung einer ringförmigen plastischen Zone eine Verlagerung der in Bild 32 angedeuteten Spannungsspitzen von *D* nach *F* bei gleichzeitigem Abbau der maximalen tangentialen Druckspannungen zur Folge hat [25, 26].

Durch die dem Aushub auf dem Fuss, das heisst so rasch wie möglich folgende Verankerung wird dem geschilderten Spannungszustand der zweiten Phase eine radiale Druckspannung überlagert, wodurch die Zugspannung abgebaut und die Scherfestigkeit erhöht wird. Aus den Bildern 33 und 34 sind die oberflächlichen Bruchformen und die Dichte der Anker, deren Länge 1,5 bis 7 m betrug, ersichtlich.

V. Kriechvorgänge und katastrophale Ereignisse

1. Wechselwirkungen

Grundsätzlich lassen sich zwei entgegengesetzte Arten von Wechselwirkungen zwischen Kriechen und Stabilität unterscheiden:

Die erste ungefährliche Art, die vor allem bei Lockergesteinen beobachtet wird, besteht darin, dass durch das Kriechen eine Verdichtung und Konsolidierung des Materials, ein Abbau von Spannungsspitzen und Zugspannungen und damit eine Erhöhung des Sicherheitsgrades des Systems herbeigeführt wird. Dieser natürliche Konsolidierungsprozess, wie er am Beispiel der neutralen Zone der geneigten Schneedecke in Form einer eigentlichen Spannungsmetamorphose sichtbar wird, macht sich äusserlich durch eine Abnahme der Kriechgeschwindigkeiten bemerkbar (vgl. Bild 13).

Obiger stabilisierenden Form steht eine zweite, sehr gefährliche Art von Wechselwirkungen gegenüber, bei der durch das Kriechen eine allmähliche Konzentration der Spannungen in den relativ starren Elementen des Systems herbeigeführt wird. Dieser, der Stabilität unseres Systems abträgliche Prozess wird oft eingeleitet und verschärft durch die mit dem Kriechen verbundene progressive Bildung von Gleitflächen, die den lokalen Verlust der Kohäsion und damit den Abfall der Scherfestigkeit auf die Restscherfestigkeit zur Folge haben. Schliesslich werden die letzten noch wirksamen Widerstände überwunden, und der progressive Bruch, der sich in einer oder mehreren Phasen abspielt, führt nicht selten die Katastrophe herbei[7]).

In der Mitte zwischen diesen beiden extremen Arten von Wechselwirkungen steht der Fall des mehr oder weniger stationären Kriechens und Gleitens, wie er zum Beispiel häufig bei der Gletscherbewegung oder beim Kriechen von Lockergesteinen beobachtet wird.

[7]) Ein besonderes Kapitel bilden die vorbelasteten (overconsolidated clay) Tone, deren Mechanismus des progressiven Bruches anlässlich der 3. Terzaghi-Vorlesung von L. Bjerrum behandelt wurde [36].

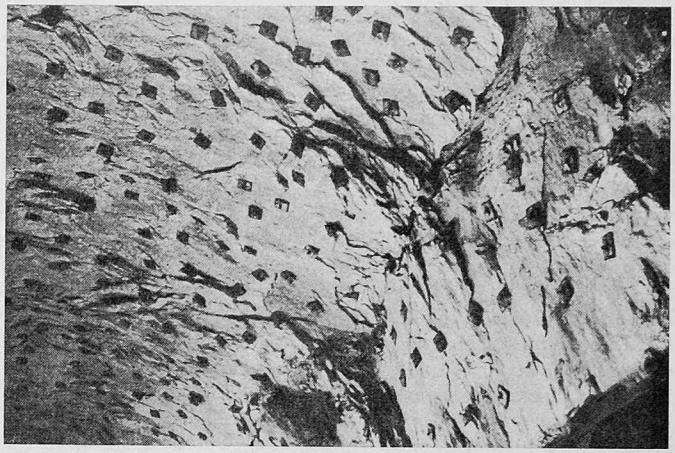


Bild 34. Dichtes Netz von Verankerungen im Montblanc-Tunnel [23, 24]

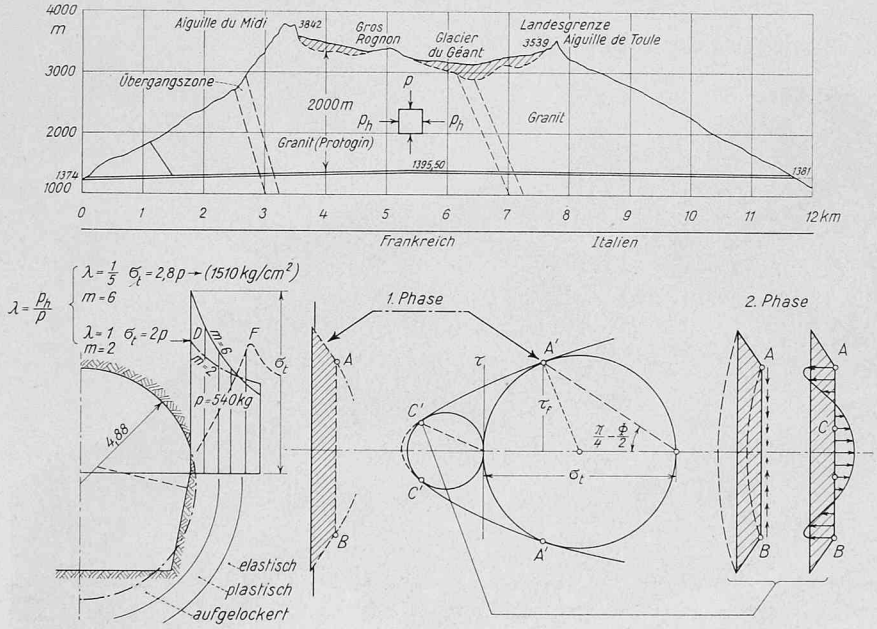
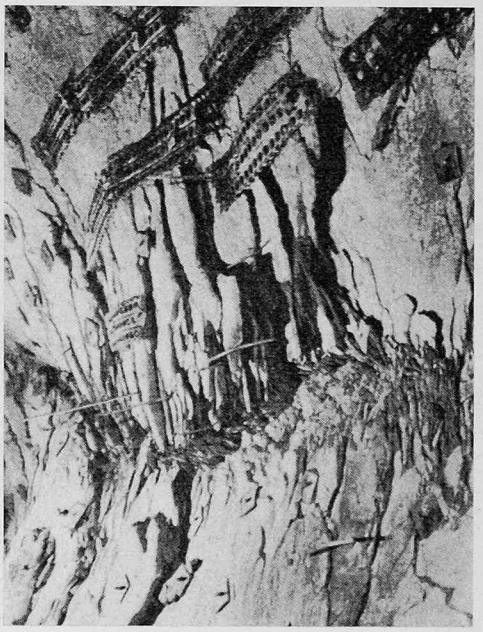


Bild 32. Oben: Längsprofil durch den Montblanc-Tunnel. Unten: Bergschlag als progressiver Bruch in zwei Phasen (schematisch)

Bild 33. Bruchbildung und Verankerung bei der Druckentlastung im Montblanc-Tunnel. Man beachte das scharfe Auskeilen der abgelösten Gesteinsplatten infolge Scherbruch (vgl. Bild 32) [23, 24]



Von praktischer Bedeutung ist u. a. die Tatsache, dass die zwischen dem Kriechvorgang und den Spannungsänderungen bestehenden Wechselwirkungen die Möglichkeit bieten, durch gezielte Steuerung der Kriechprozesse den Spannungszustand günstig zu beeinflussen, wie dies zum Beispiel im modernen Tunnelbau geschieht [26].

2. Der Gleichgewichts- und Bewegungszustand von Eisschildern

Wohl eine der grossartigsten Manifestationen des mehr oder weniger stationären Kriechens eines viscoelastischen Festkörpers in der Form des Gletschereises bilden die grossen Eisschilder der Erde, das grönländische Inlandeis im Norden und die Antarktis im Süden (Bild 35). Ähnliche Eisschilder haben während den Eiszeiten auch den kanadischen Schild, Skandinavien und grosse Teile Nordeuropas bedeckt. Betrachtet man die Massenbilanz eines solchen Eisschildes, dessen Eismächtigkeit im Zentrum 3000 m übersteigt, im Zusammenhang mit seinem Bewegungszustand, so steht man vor der erstaunlichen Tatsache, dass jeder Eiskristall, der an der Firnoberfläche abgelagert wird – ähnlich einem Himmelskörper –, seine genau vorgeschriebene Bahn innerhalb des Eiskuchens beschreibt und dabei eine ebenso gesetzmässige Metamorphose erleidet. Startet er seine Reise in der Nähe des Zentrums *A* (Bild 36), so braucht er in Grönland mehrere Zehntausende, in der Arktis Hunderttausende, wenn nicht Millionen von Jahren, bis er die Meeresküste erreicht. Die Kontinuität der gleitenden und kriechenden Gletscherbewegung, die in den Ausflussfjorden Geschwindigkeiten bis 30 m im Tag erreichen kann, wird erst durch die Kalbung durchbrochen, eine Naturkatastrophe, die an Wucht und Grossartigkeit kaum ihresgleichen hat [27 bis 30].

3. Zum Felsrutsch im Vajont-Tal vom 9. Oktober 1963

Am besagten Tag wurde die Welt durch eine schwere Katastrophe im Vajont-Tal in Oberitalien erschüttert, der rd. 1400 Menschen zum Opfer fielen. *Leopold Müller*, der als Experte die Verhältnisse, die zu diesem grössten Felssturz in historischer Zeit geführt haben, eingehend untersucht hat, stellt in einer ausführlichen Veröffentlichung, die wichtigsten Erkenntnisse zusammenfassend, folgendes fest [31]:

«Bis zum letzten Augenblick der eigentlichen Rutschung bewegte sich die Felsmasse mit klar voneinander zu unterscheidenden Teilen, ganz anders als die Masse einer normalen Felsrutschung, nämlich wie ein Gletscher kriechend im Hauptteil, und im anderen Teil mit einer translatorischen Bewegung. Die Ausdehnung einer solchen Bewegung war bestimmt durch ein leichtes Übergewicht der schiebenden Kräfte, insbesondere durch den Kluftwasserschub oder durch den Rückgang der Widerstand leistenden Kräfte, was wiederum vom Auftrieb oder vom Aufweichen der Kluftletten während höheren Einstaues herrührte. Nachdem die Grössenordnung der Kriechbewegung mehrere Meter erreicht hatte, kam es zu einem progressiven Bruch der Grundlage der bewegten Masse. Die Widerstand leistenden Kräfte sind durch diesen Bruch erneut abgemindert worden, bis die intakt gebliebenen Felsmassen plötzlich abscherten. Durch diesen Umstand änderte sich die Kriechbewegung innerhalb von einigen Sekunden in eine Felsrutschung.» (Bilder 37 und 38).

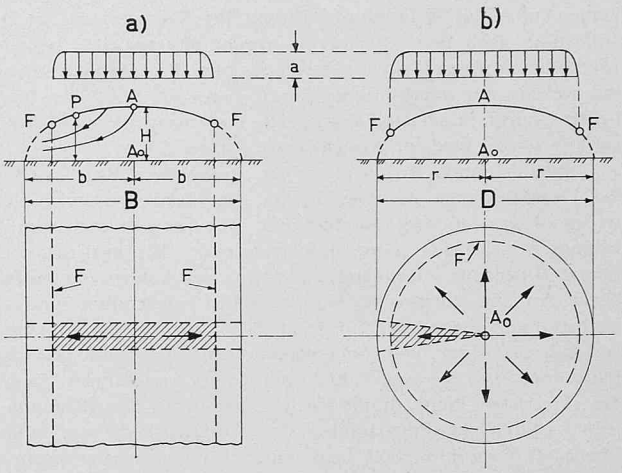
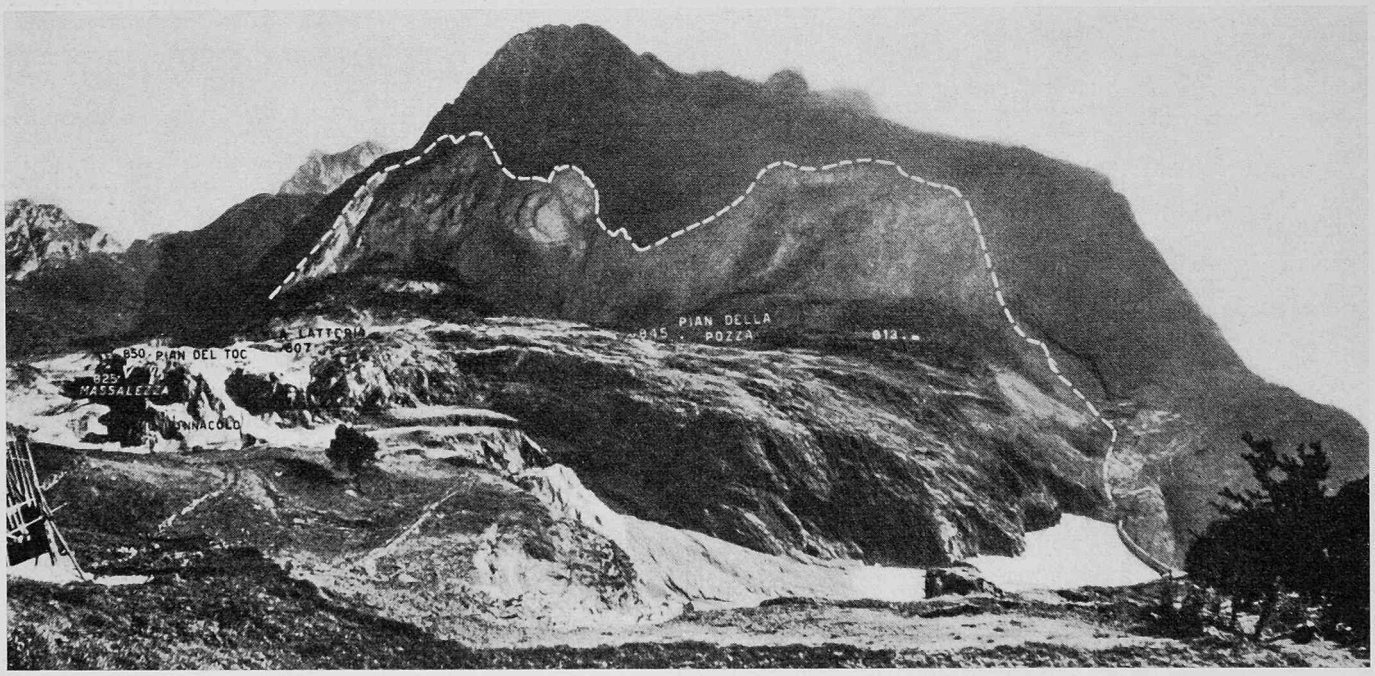


Bild 35. Schematische Darstellung des Fliessvorganges in einem streifenförmigen (a) und einem sphärischen Eisschild (b) bei konstanter Akkumulation a im Firngebiet (schematisch)

Wir halten es für wahrscheinlich, dass – abgesehen von der ungünstigen Wirkung des Auftriebes – auch die zusätzlichen dynamischen Kluftwasserdrücke eine wesentliche Rolle gespielt haben. Solche müssen entstehen, sobald sich im Laufe der Bewegung das mit Wasser gefüllte Kluftsystem in einer Druckzone verengt oder sich in einer Zugzone rasch erweitert. Dabei ist denkbar, dass dynamische Druckschwankungen im Kluftwasser die Reibungsverhältnisse in der zum Teil unter dem Seespiegel verlaufenden Gleitfläche schlagartig verändern und dadurch mit der unerwarteten Beschleunigung der Bewegung in ursächlichem Zusammenhang stehen.

Massenbewegungen, die sich hinsichtlich ihrer Grössenordnung mit derjenigen vom Monte Toc im Vajont-Tal (rund 0,3 km³) vergleichen lassen, finden bei der Kalbung der grossen Eisströme Grönlands periodisch statt. Beim Vorstossen der Gletscherzunge ins Meer wird, wie in Bild 39 schematisch angedeutet ist, der vorderste Teil der Eiszunge auf Biegung und Abscheren beansprucht, weil beim zunehmenden Eintauchen der Eismassen der Auftrieb *A* allmählich grösser wird als das Gewicht des Eises. Beim Eintreten einer grossen Kalbung, die meistens in Abständen von etwa 14 Tagen bei hoher Flut stattfindet, beginnt sich die 60 bis 100 m über den Meeresspiegel aufragende Eisfront langsam und majestätisch zu heben. Fast gleichzeitig schiessen einige hundert Meter hinter der Front eine Reihe von

Bild 37. Felsrutsch im Vajont-Tal. Rechts unten die Krone der Staumauer. Nach L. Müller [31]



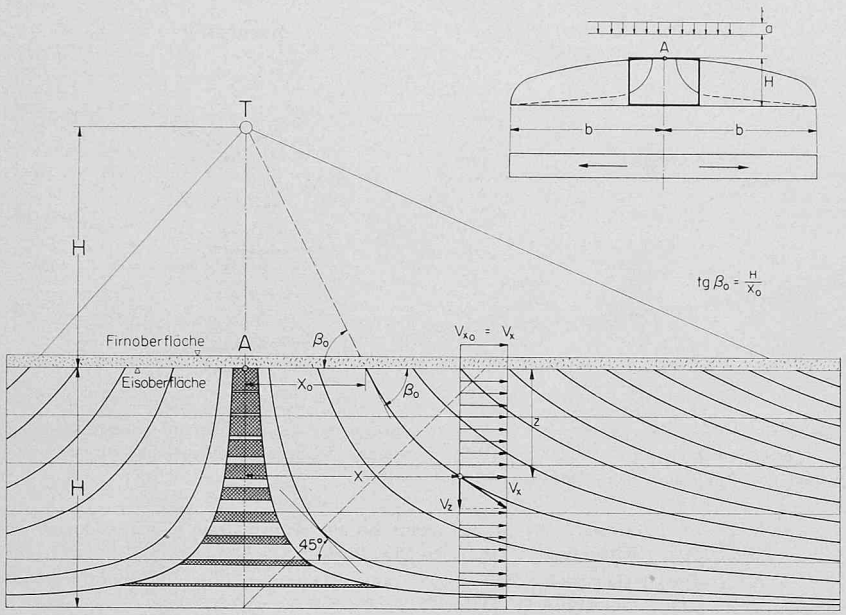


Bild 36. Kinematik der Zentralzone eines streifenförmigen Eisschildes mit Stromlinienbild unter einfachsten Annahmen (rechteckförmiges Geschwindigkeitsprofil) [28a]

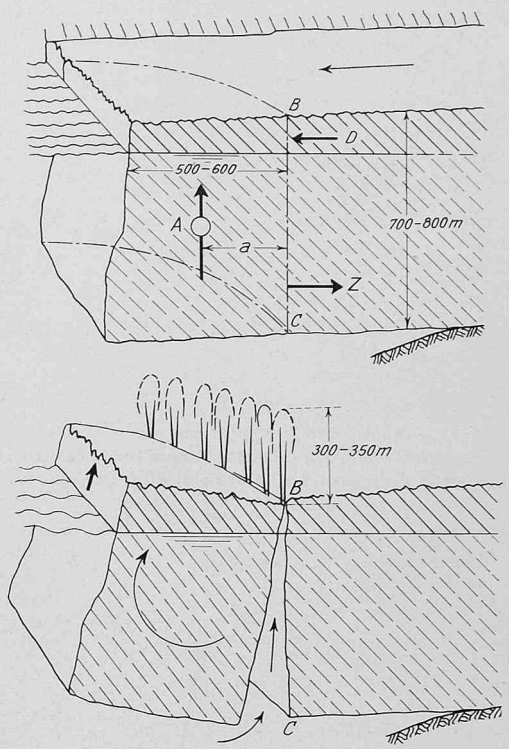


Bild 39 (rechts). Schematische Darstellung der Anfangsphase der periodischen Kalbungen eines mächtigen grönländischen Eisstroms

mächtigen Wasserfontänen, welche die Abrisslinie markieren, empor. F. Sorge, der am 23. Juli 1932 eine solche mächtige Kalbung des Rinkgletschers aus einer Distanz von 2,5 km beobachtet und die in Bild 39 eingetragenen Masse auf trigonometrischen Wege ermittelt hat, schätzte die Höhe der empor schiessenden Wasserfontänen auf 300 ÷ 350 m [30]. Dieses Phänomen, das uns die Wirkungen des Kluftwassers an einem anschaulichen Beispiel in seinen wahren Proportionen zeigt, dürfte sich wie folgt erklären lassen:

Unter der Wirkung des Momentes infolge Auftrieb (*A a*) können im Abrissquerschnitt *B–C* an der Unterfläche des Gletschers (*c*) erhebliche Zugspannungen auftreten. Beim Öffnen des Zugrisses strömt das Meerwasser von unten her in die entstehende Kluft ein. Infolge ihrer Verjüngung nach oben wirkt diese Spalte als Düse, die das eingedrungene Wasser derart beschleunigt, dass sich seine lebendige Kraft in mächtigen Fontänen manifestiert.

4. Zur Eislawine am Huascaran vom 10. Januar 1962

Am Abend des genannten Tages ereignete sich im Santatal in Peru eine der schwersten Gletscherkatastrophen in historischer Zeit, der mehr als 4000 Menschen zum Opfer fielen. Abends kurz vor 18 Uhr (Bild 40) löste sich am Nordgipfel des Huascaran in nahezu 6400 m Höhe eine Eismasse von rund 2½ bis 3 Millionen m³ mit tief sich abspaltenden Felspfeilern und stürzte beinahe senkrecht auf den 700 m darunter liegenden Gletscherkessel, überfuhr die Gletscherzunge und ergoss sich mit einer durchschnittlichen Geschwindigkeit von etwa 110 km/h durch das mittlere und untere Languamucotal hinaus, 8 Dörfer und Siedlungen unter sich begrabend. Erst im Haupttal am Rio Santa, den sie zum Teil aufstaute, kam sie zum Stillstand. Vom Distrikthauptort Ranrahirca, der mehrere Meter tief unter Schlamm, Schutt und Eis begraben wurde, sind nur wenige Häuser übriggeblieben. Die Kubatur der Lawine, die in kaum 10 Minuten eine Strecke von etwa 16 km zurücklegte, hatte sich durch das Mitreissen von losem Schutt- und Moränenmaterial während des Laufes vervielfacht und wurde im Ablagerungsgebiet auf 11 Millionen m³ geschätzt [32, 33, 34].

Auf Grund einer von E. Schneider im Jahre 1965 aufgenommenen Karte 1:10000, die er uns in verdankenswerter Weise zur Auswertung zur Verfügung stellte, ist in Bild 41 das Längenprofil durch die 16 km lange Sturzbahn der Lawine dargestellt. Erstaunlich ist vor allem die enorme Reichweite und die geringe Neigung (8,5%) der untersten 7 km der Lawinenbahn, in welcher sich die Lawine z. T. ähnlich einem Murgang von ungewöhnlichen Dimensionen bewegt haben dürfte [35].

In Bild 42 ist das Detail der obersten Steilpartie *A–B* des Längenprofils mit der Kalbungsstelle und dem relativ kleinen Eisschild dargestellt, dessen Kriechvorgänge zu dieser schweren Katastrophe geführt haben.

In diesem Zusammenhang, aber auch im Hinblick auf die Katastrophe von Mattmark, müssen wir in aller Bescheidenheit bekennen,

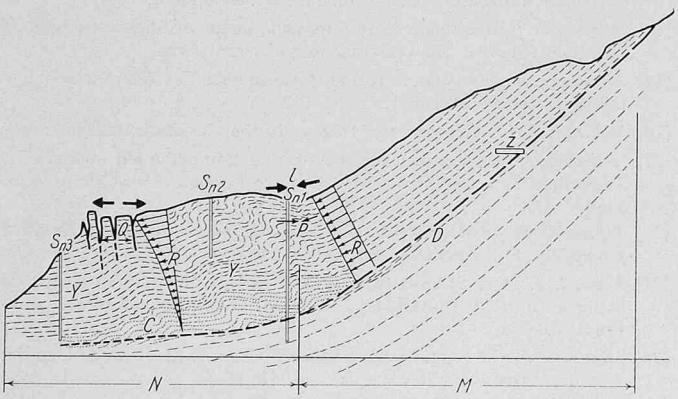
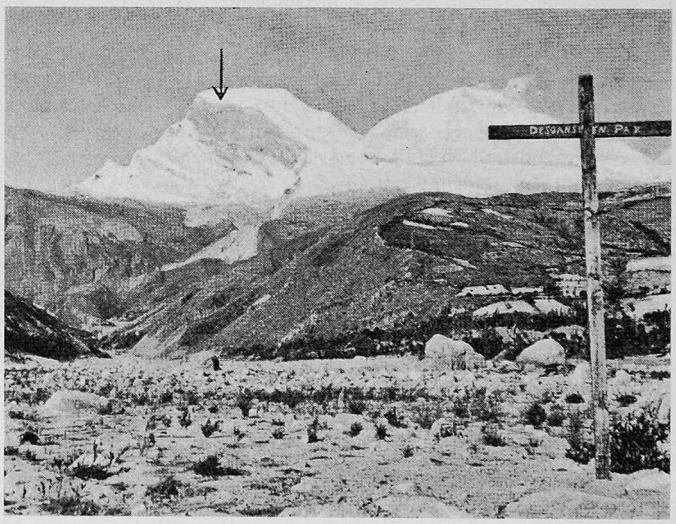


Bild 38. Felssturz im Vajont-Tal. Schematischer Querschnitt durch den Westteil der Gleitung. Die Pfeile geben die Geschwindigkeitsverteilung an. Nach Müller [31]

Bild 40. Nord- und Südgipfel des Huascaran mit der auf rund 6400 m gelegenen Abbruchstelle der Eislawine am Nordgipfel vom 10. Januar 1962 (Pfeil). Gesehen vom Santatal beim verschütteten Distriktshauptort Ranrahirca



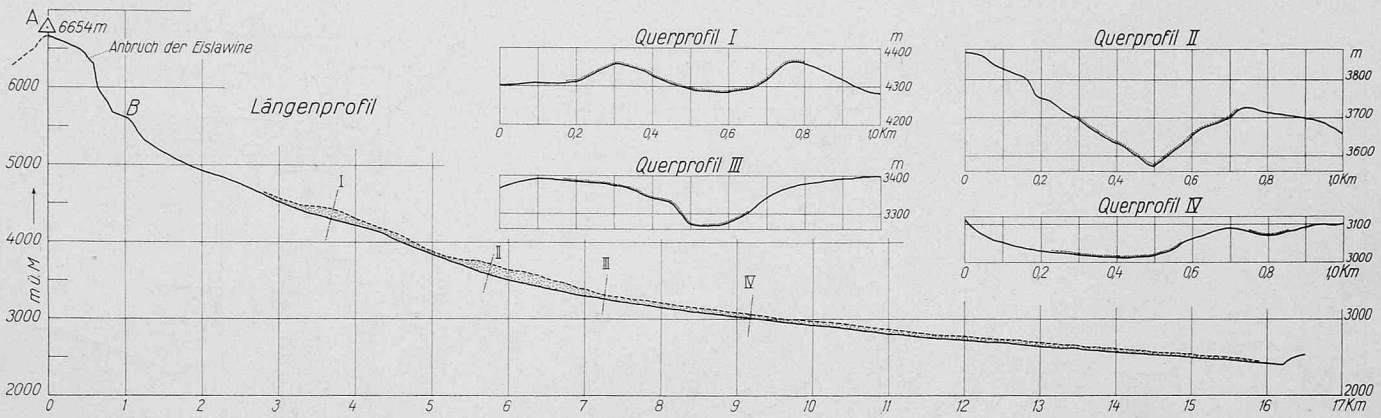


Bild 41. Längenprofil der Sturzbahn der Eislawine vom Huascaran (1962). Man beachte die enorme Reichweite der Lawine und die geringe Neigung der zweiten Hälfte der Sturzbahn (gezeichnet auf Grund einer Kartenaufnahme 1965 1:10 000 von Erwin Schneider, Topograph). (Vergleiche Bild 42.) Die punktierte Zone zeigt die Vertikalprojektion der vom Schutt bedeckten Fläche der linken Talseite (vgl. Querprofile)

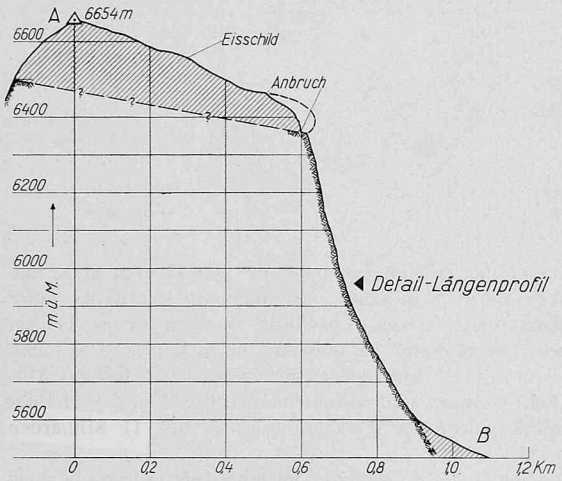


Bild 42. Oberstes Detail aus dem Längenprofil der Eislawine am Huascaran 1962. Gezeichnet auf Grund der Aufnahme 1:10 000 von E. Schneider (1965)

dass dem Menschen bei der Bekämpfung und Voraussage katastrophaler Ereignisse, hinter denen höhere Mächte stehen, enge Grenzen gesetzt sind. Trotzdem sind wir es den Opfern solcher Katastrophen schuldig, nichts zu unterlassen, um die Reaktion der Natur auf menschliche Eingriffe in ihren verborgenen und vielfältigen Zusammenhängen besser zu verstehen und unserer Verantwortung voll bewusst zu werden.

VI. Schlussbemerkung

Es blieb dem 20. Jahrhundert vorbehalten, die Grundlagen einer Boden-, Schnee-, Eis- und Felsmechanik zu schaffen, vier verwandte Fachgebiete, von denen jedes so vielschichtig ist, dass es nur durch ein Teamwerk tiefer erschlossen werden kann. Zwischen diesen vier Gebieten bestehen Analogien, aber auch polar entgegengesetzte Verhaltungsweisen. Ist ein gewisses mechanisches Verhalten auf dem einen Gebiet zwar vorhanden, aber versteckt und deshalb schwer erkennbar, so tut man gut, jenes Nachbargebiet zum Vergleich heranzuziehen, bei dem dieses Verhalten klar in Erscheinung tritt und gleichsam in Reinkultur studiert werden kann. Deshalb wirkt sich eine vergleichende Betrachtung in der Regel auch für das einzelne Fachgebiet anregend und fruchtbar aus und ermöglicht ein tieferes Verständnis der Zusammenhänge. Unser Land, das auf engstem Raume die vier Grundstoffe, Lockergesteine, Schnee, Eis und Fels, in grosser Mannigfaltigkeit vereinigt, ist von Natur aus besonders dazu berufen, einen Beitrag in dieser Richtung zu leisten.

Literaturverzeichnis

[1] *Portmann, J. P.:* Louis Agassiz, Pionnier de la glaciologie. Extrait des Annales Guébhard, 1962.

[2] *von Muralt, A.:* Förderung der wissenschaftlichen Forschung in den Vereinigten Staaten und in der Schweiz. «Neue Zürcher Zeitung» vom 26. Febr. 1965, Nr. 802.

[3] *Kobold, F.:* Über einige Probleme der Absteckung und vermessungstechnischen Kontrolle grosser Wasserkraftanlagen im Hochgebirge. Mitteilungsblatt des Bundes Vermessungsing., 1959.

[4] *Glen, J. W.:* Experiments on the deformation of ice. «Journal of Glaciology», Vol. 2, No. 12, 1952, p. 111–114.

[5] *Glen, J. W.:* The creep of polycristalline ice. Proceedings of the Royal Society, A.G. 228, 1955, p. 519–538.

[6] *Steinemann, S.:* Experimentelle Untersuchungen zur Plastizität von Eis. Promotionsarbeit ETH, 1958.

[7] *Haefeli, R.:* Eine Parallele zwischen der Eiscalotte Jungfraujoch und den grossen Eisschildern der Arktis und Antarktis. «Geologie und Bauwesen», 1961, H. 4, p. 191–213.

[8] *Geuze, E. C. W. A.* and *Tan Tjong-Kie:* Rheological properties of clays. Delft Soil Mech. Laboratory, 1953.

[9] *Haefeli, R.:* Kriechprobleme im Boden, Schnee und Eis. «Wasser- und Energiewirtschaft», 1954, Nr. 3.

[10] *von Moos, A.* und *Haefeli, R.:* Schweiz. Probleme auf dem Grenzgebiet von Bodenmechanik, Geologie und Glaziologie.

[11] *Haefeli, R.:* Spannungs- und Plastizitätserscheinungen der Schneedecke. «Schweizer Archiv für angewandte Wissenschaft und Technik», 1942, H. 9–12, p. 3–45. Mitt. Nr. 2 aus der Versuchsanstalt für Wasserbau (ETH)

[12] *Haefeli, R.:* Considérations sur la pente critique et le coefficient de pression au repos de la couverture de neige. UGGI Symposium on snow and ice avalanches at Davos, April 1965.
Haefeli, R.: Stress Transformations, Tensile Strengths and Rupture Processis on the snow cover. «Ice and Snow» 1963, p. 560–575.
Haefeli, R.: Erdbaumechanische Probleme im Lichte der Schneeforschung. «Schweiz. Bauzeitung» 1944, Bd. 123, Nr. 2, 4 und 5. Mitt. der Versuchsanstalt für Wasserbau an der ETH Nr. 8.

[13] *Mohr, C., Haefeli, R., Meisser, L., Waltz, F.* und *Schaad, W.:* Umbau der Landquartbrücke der Rhätischen Bahn in Klosters. «Schweiz. Bauzeitung» 1947, Nr. 1–3.

[14] *Haefeli, R., Schaerer, Ch.* und *Amberg, G.:* The Behaviour under the influence of soil creep pressure of the Concrete Bridge Built at Klosters Switzerland. Proceedings of the Third Int. Conf. on Soil mechanics Switzerland, 1953, Vol. II, p. 175–179.

[15] *Terzaghi, K.:* Stability on steep slopes and on hard unweathered Rock. «Géotechnique» 1962, No. 4.

[16] *Skempton, A. W.:* Long-Terme Stability of clay slopes. «Géotechnique» 1964, No. 2.

[17] *Haefeli, R.:* Mechanische Eigenschaften von Lockergesteinen. «Schweiz. Bauzeitung» 1938, Bd. 111, Nr. 24 und 26.

[18] *Haefeli, R.:* Investigation and measurements of shear strength of saturated cohesive soils. «Géotechnique», Juni 1951.

[19] *Kieslinger, A.:* Restspannung und Entspannung im Gestein. «Geologie und Bauwesen», 1958, H. 2, p. 95–112.

[20] *Matthes, F. E.:* Geology and History of the Yosemite Valley.

[21] *Andreae, C.:* Gebirgsdruckerfahrung und Baumethoden im schweiz. Tunnelbau. Internat. Gebirgsdrucktagung Loeben 1950. Urban, Wien 1950.

[22] *Terzaghi, K.:* Rock defects and loads on tunnel support, Harvard University. Soil mechanics Series No. 25, 1946.

[23] *Renaud, J.:* Der Strassentunnel unter dem Mont-Blanc. «Revue de la Fédération International du bâtiment et des Travaux Publiques» 1964, No. 34.

[24] *Lanterno, E.:* Le tunnel sous le Mont-Blanc et le Museum de Genève. «Revue Musée de Genève» 1960, No. 32–33.

[25] *Kastner, H.:* Statik des Tunnel- und Stollenbaues. Berlin 1962.

[26] *Jaecklin, F.:* Felsmechanik und Tunnelbau. «Schweiz. Bauzeitung» 1965, S. 468–472.

[27] *Nye, J. F.:* The motion of ice sheets and glaciers. «Journal of Glaciology» 1959, p. 493–507.

[28] *Haefeli, R.:* Contribution to the movement and the form of ice sheets in the Arctic and Antarctic. «Journal of Glaciology» 1961, p. 1133–1151.

[28a] *Haefeli, R.:* A Numerical and Experimental Method for Determining Ice motion in the Central Parts of Ice sheets. A.I.H.S. No. 61, Berkeley 1963.

[29] *Vialov, S. S.:* Regularities of glacial shields movement and the theory of plastic viscous flow. A.I.H.S. Symposium of Chamonix 1958.

[30] *Sorge, E.:* Mit Flugzeug, Faltboot und Filmkamera in den Eisfjorden Grönlands.

[31] *Müller, L.:* The Rock slide in the Vajont Valley. «Felsmechanik und Ingenieurgeologie» 1964. Vol. II/3–4.

[32] *Ruegg, W.:* Die Weisse Cordillere Perus und die Katastrophe vom Huascaran 1962. «Die Alpen» 1962, S. 278–284.

[33] *Morales, B.:* Huascaran Avalanches in the Santa Valley. A.I.H.S., Internat. Symposium on Snow and Ice Avalanches, Davos 1965, p. 304–315.

[34] *Haefeli, R.:* Note sur la classification, le mécanisme et le contrôle des avalanches de glace. Publication No 69 de l'AIHS, pp. 316–325 (1966) Symposium on snow and Ice avalanches, Davos 1965.

[35] *Katsumasa Yano* and *Atsuyuki Daido:* Fundamental study on Mudflow. Bulletin of the Disaster Prevention, Research Institute Vol. 14 Part. 2.

[36] *Bjerrum, L.:* Mechanism of progressive failure in slopes of overconsolidated plastic clays and clay shales. The Third Terzaghi lecture, Norwegian Geotechnical Institute Publication No. 62 (1966).

[37] IUTAM: Symposium Grenoble 1964: Rheology and Soil mechanics 1966.

[38] *Bishop, A. W.:* Test Requirements for Measuring the Coefficient of Earth Pressure at Rest. Brussels Conference 58 on Earth Pressure Problems (1958).

Adresse des Verfassers: Prof. Dr. *R. Haefeli*, Susenbergstrasse 193, 8044 Zürich.

Schweiz. Gesellschaft f. Feintechnik (SGFT)

DK 061.3:681.1

Ende Oktober 1966 hat die SGFT eine feintechnische Tagung am kantonalen Technikum in Le Locle durchgeführt, der über 100 Teilnehmer beiwohnten und die vom Präsidenten des SGFT, *Fritz Pagan,* Präsident des Verwaltungsrates der Firma Paillard SA, sowie vom Generaldirektor der Neuenburger Technika, *E. Steinmann*, eröffnet wurde.

Prof. *M. Chevalier* hob in seinem Referat über *«Anwendung hydraulischer Steuerungen»* zuerst die grundsätzlichen Unterschiede zwischen pneumatischen und hydraulischen Steuerungen hervor, um anschliessend die unerlässlichen Bedingungen zu beleuchten, die bei der Konzeption einer Steuerung zu beachten sind. Als Beispiel wurde das Modell einer hydraulischen Werkzeugmaschinensteuerung vorgeführt, wobei besondere technische Einzelheiten (wie Zähigkeit der benützten Steuerflüssigkeiten, Druckverluste infolge Wirbelbildungen in den Leitungen usw.) zur Sprache kamen. Zahlreiche praktische Beispiele an Modellen erläuterten die Ausführungen des Referenten.

Das zweite Thema *«Einführung in logische Regelkreise»* bezog sich auf bestimmte Anwendungen der Elektronik. Es wurde von Prof. *Ch. Moccand,* Direktor des Technikums, *J. Bielser* und *J. Décosterd* vorgetragen. Prof. Moccand erinnerte zunächst an die theoretischen Grundlagen der logischen Regelkreise mit den beiden konventionellen Symbolen 0 und 1, indem er darlegte, wie die drei Grundoperationen (Addition, Multiplikation und reziproke Werte) mittelst Elementen der elektronischen Technik simuliert und wie kombinierte Funktionen auf dieser Basis dargestellt werden können. Praktische Beispiele an Modellen mit statischen Kreisen wurden vorgeführt. Prof. Bielser demonstrierte die Lösung einer komplizierten Gleichung mittelst logischen Regelkreisen, indem er ein praktisches Beispiel an der automatischen Steuerung eines Aufzuges vorführte; die ganze Steuerung arbeitete ohne Einschaltung von Kontakten, die der Abnützung unterworfen wären. Schliesslich zeigte Professor Décosterd an Maschinenmodellen, die im Technikum selber hergestellt worden waren, die Anwendung von Reihenregelkreisen mit Impulssteuerung.

Nach diesen Vorträgen besuchte ein Teil der Zuhörer die Firma *«Portescap»* in La Chaux-de-Fonds, ein anderer die Zweigfabrik von Fontaines der *Uhrenfabrik von Fontainemelon.* Bei «Portescap» konnte man die äusserst delikate Bearbeitung und Montage der Hauptteile des *Incabloc* verfolgen. Es handelt sich dabei um die Stossdämpfer, welche heute einen integrierenden Bestandteil jeder Qualitätsuhr bilden. Die automatische Bearbeitung, die Behandlung, der Transport, die Kontrolle und die Verpackung dieser nahezu mikroskopischen Bauelemente höchster Präzision stellen äusserst heikle Probleme. In den Werkstätten von Fontaines konnten alle Einzelheiten der Fabrikation des Räderwerkes einer Uhr bis zur Fertigstellung der Einzelelemente verfolgt werden.

Nekrologe

† **Elias Wirth,** dipl. Masch.-Ing., SIA, GEP. Am 19. Nov. 1966 fand sich eine grosse Trauergemeinde im Bullingerhaus in Aarau ein, um dem im 82. Altersjahr Entschlafenen die letzte Ehre zu erweisen. In feinsinnig einfühlender Ansprache gedachte Pfarrer F. Maag, Aarau, des Verstorbenen, der, ausgerüstet mit vielen Gaben und Kräften, sich überall dort bewähren konnte, wo ihn das Leben hingestellt hat. Er hatte seinen Blick für die Realitäten unseres Daseins, für das Erstrebenswerte und das Erreichbare weit offen und ist zu jener Tiefe des Denkens durchgedrungen, die sein Leben prägte.

Am 11. Juli 1885 in Mammern als Sohn eines Arztes geboren, verbrachte er seine Kindheit in Romanshorn, später in Aarau, wo er anschliessend an die Primarschule die Kantonsschule besuchte, die er mit der Maturität abschloss. Dann begann er sein Studium an der Maschineningenieurabteilung an der ETH, das er 1910 mit der Diplomprüfung bei Prof. Dr. Aurel Stodola als Maschineningenieur beendete. Nachher arbeitete er zunächst als Volontär bei Gebrüder Sulzer, Winterthur, dann bei der SBB in Olten im Fahrdienst, wo er das Lokomotivführerpatent erhielt. 1912–14 übte er in der Kälteabteilung von Gebrüder Sulzer, Winterthur, seine erste Ingenieurtätigkeit mit viel Freude und Begeisterung, mit hohem Verantwortungsbewusstsein und soliden Kenntnissen gewissenhaft aus. Im August 1914 wechselte Elias Wirth zur Firma Kummler & Matter AG in Aarau hinüber, wo er eine anregende Stelle fand. Dort entwickelte er die ersten Eindampfanlagen mit Wärmepumpen für Sole, Natron- und Sulfitlaugen, woraus sich ein bedeutendes Anwendungsgebiet in Salinen, Färbereien, chemischen und Zellstoffabriken ergab. Während des Ersten Weltkrieges wurde seine Arbeit durch lange Aktivdienstzeiten als Offizier unterbrochen.

Im November 1923 kehrte der vielseitig begabte Ingenieur zu Gebrüder Sulzer nach Winterthur zurück, wo er zum technischen Chef der Heizungs- und Lüftungsabteilung ernannt wurde. Das entsprach seinen fachlichen und menschlichen Qualitäten voll und ganz und führte zu seiner Lebensstellung, die er während einem Vierteljahrhundert innehaben sollte. Umgeben von zahlreichen qualifizierten Mitarbeitern erzielte er derart umfassende Fortschritte auf dem gesamten Fachgebiet, dass er nach kurzer Zeit zu den führenden Fachleuten des In- und Auslandes gehörte, der in Wort und Schrift in gediegener Weise für die Neuerungen in der Gesundheitstechnik eintrat. Für all diese Entwicklungen waren scharfe Beobachtung, reiche Erfahrung und gewissenhafte Laborversuche unerlässliche Grundlage.

Auf dem *Heizungssektor* kamen unter seiner Leitung heraus: die damals neuen, einfach konstruierten gusseisernen «Sulzer»-Gliederheizkessel für den üblichen Hausbrand, die geschweissten Stahlrohr-«Sulzer»-Taschenkessel für grosse Heisswasserheizungen, daneben die Untersuchungen über die Eignung der Kessel für die verschiedensten Brennstoffe, wie Koks, Antrazit, Braunkohle, Holz, Mineralöl und Gas wie auch die Massnahmen gegen Korrosion und Verkalkung, ferner die Einführung der einbetonierten Strahlungsheizung in der Schweiz, damit verbunden die ausgedehnten Versuche der EMPA bezüglich des Verhaltens von Beton und Heizrohr und die Untersuchungen des Hygiene-Institutes an der ETH über die Vorzüge der staubfreien Heizungsart, und schliesslich die Entwicklung der Heisswasserheizung für Industrie-, Gruppen- und Fernheizungen anstelle von Dampf als Wärmeträger. – Auch die SBZ verdankt ihm manchen Beitrag aus allen seinen Arbeitsgebieten.

Ein besonderes Verdienst kommt Ingenieur Wirth bei der Weiterentwicklung der Kältemaschine als *Wärmepumpe* zu. Auf Grund seiner bisherigen Erfahrungen in Aarau konnte die Firma Sulzer die grössten Wärmepumpenanlagen projektieren und ausführen, bei denen sowohl die anfallende Kälte wie auch die Wärme zur Verwendung kommen. Bei den *Lüftungs- und Klimaanlagen* interessierte er sich besonders für die gewünschte Behaglichkeit in der Aufenthaltszone eines klimatisierten Raumes. Mit eigens entwickelten «Entwärmungs»-Messgeräten ging er den lästigen Zugserscheinungen auf den Leib, und erforschte mittels Rauchversuchen die Luftbewegungen im Raum, um daraus die erforderlichen Massnahmen treffen zu können.