

Zeitschrift: Wasser Energie Luft = Eau énergie air = Acqua energia aria
Herausgeber: Schweizerischer Wasserwirtschaftsverband
Band: 72 (1980)
Heft: 9

Artikel: Gletscherbewegung und Wasserabfluss
Autor: Röthlisberger, Hans
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-941411>

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: 16.01.2026

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

Gletscherbewegung und Wasserabfluss

Hans Röthlisberger

Zusammenfassung

Die Frage wird behandelt, wie die Gletscherbewegung vom subglazialen Wasserabfluss beeinflusst wird. Das subglaziale Drainagesystem passt sich mit Verzögerung dem Abfluss an. Dies führt bei einer raschen Zunahme des Abflusses zu einem hohen Wasserdruck an der Gletschersohle, der genügt, um den Gletscher vorwärts zu schieben und leicht anzuheben. Im Druckschatten von Wellen oder Stufen des Gletscherbettes bilden sich grosse wassergefüllte Kavernen.

Résumé: Le mouvement des glaciers et l'écoulement d'eau

On discute l'influence de l'écoulement sous-glaciaire sur le mouvement des glaciers. Le système de drainage sous-glaciaire s'adapte au débit avec un certain retard. En cas d'augmentation rapide de l'écoulement, il en résulte de fortes pressions hydrauliques au niveau du lit, qui peuvent pousser le glacier vers l'aval et provoquer un léger soulèvement. De grandes cavernes remplies d'eau se forment à l'aval des ondulations et des degrés du lit du glacier.

Abstract: Glacier Movement and Subglacial Water Drainage

The influence of subglacial water drainage on glacier movement is discussed. The subglacial drainage system adjusts to the run-off with a certain time lag. During periods of rapidly increasing run-off water pressure at the glacier bed becomes high enough to push the glacier forward and, to a lesser degree, to lift it. Large water-filled cavities develop downslope of waves or steps of the glacier bed.

Einleitung

Die Gletscherbewegung und der Wasserabfluss von Gletschern sind zwei Themen, die sich unabhängig voneinander betrachten lassen, zwischen denen aber in verschiedenem Sinn enge Beziehungen bestehen. In grossen Zeiträumen gesehen sorgt letztlich die Gletscherbewegung dafür, dass der in hohen Lagen als Schnee gefallene Niederschlag vom Nähr- ins Zehrgebiet gelangt, wo er als Schmelzwasser anfällt, während die Gleitkomponente der Gletscherbewegung vom subglazial an der Gletschersohle

abfliessenden Wasser beeinflusst wird. Die Fragen, die sich im Zusammenhang mit diesem Einfluss stellen, haben während der letzten Jahre einen der Schwerpunkte der Arbeiten der Glaziologen an der VAW gebildet.

Subglazialer Wasserabfluss

Bei typischen Talgletschern in den Alpen entspringt dem Gletschertor am Zungenende ein Gletscherbach. Vorwiegend kommt oberflächliches Schmelzwasser zum Abfluss, doch schmilzt untergeordnet auch etwas Eis an der Gletschersohle, weil einerseits geothermische Wärme aus dem Felsuntergrund zufließt, andererseits infolge der Gletscherbewegung Reibungswärme anfällt. Geothermisch wird in den Alpen etwa 0,5 bis 1 cm Eis pro Jahr geschmolzen, durch die Reibungswärme unter grossen Gletscherzungen etwas mehr. Demgegenüber ist der oberflächliche Schmelzwasseranfall von einer ganz anderen Grössenordnung: Am Aletschgletscher schmolz im langjährigen Mittel der letzten Jahrzehnte auf 2700 m ü. M. eine Eisschicht von 2,3 m Dicke, auf 1760 m ü. M. eine solche von 11,6 m. Zusätzlich kommt der bereits vor dem Eis schmelzende Winterschnee, der Regen des Sommers und das aus dem unvergletscherten Gebiet dem Gletscher zufließende Wasser zum Abfluss. Die Abflussmenge weist sowohl einen sehr ausgeprägten Jahresgang als auch einen Tagesgang auf. Sie variiert auch mit der Witterung, wie in der vorausgehenden Arbeit von H. Lang und B. Schädler [1] dargelegt ist. Das oberflächliche Schmelzwasser fliesst zum Gletscherrand oder verschwindet in Spalten. Wo solche fehlen, zum Beispiel in Druckzonen oder auf stagnierenden Gletscherzungen, bildet sich ein Netz von Schmelzwasserbächen aus, die nur ausnahmsweise zum Gletscherrand führen, meistens aber in der ersten Spalte enden, die den Bach schneidet. Grosse Bäche schmelzen grosse runde Löcher aus, die Strudellöcher oder Gletschermühlen, in die das Wasser senkrecht hinunterstürzt. Verschiedene Beobachtungen weisen darauf hin, dass das Wasser auf steilem Weg bis zum Bett [2] gelangt. Die Druckdifferenz zwischen dem spezifisch schwereren Wasser und dem Eis ist im allgemeinen gross genug, um wassergefüllte Spalten rasch bis zum Gletscherbett aufreissen zu lassen.

Am Gletscherbett gelangt das Wasser auf ziemlich direktem Weg zum Gletschertor, wie durch Färbversuche verschiedentlich gezeigt worden ist. Es liegt nahe, karstartige Abflussverhältnisse in einem System von Eishöhlen anzunehmen, wobei die Schmelzung von Eis an Stelle der Lösungserscheinungen im Kalk tritt. Ein weiterer Unterschied besteht darin, dass sich das Eis *plastisch* (korrekterweise *nicht-linear viskos*) verformt. Wenn der Wasserdruck unter dem hydrostatischen Druck im Eis liegt, was meistens der Fall ist, schliessen sich die Gänge langsam. Der Verkleinerung des Durchflussquerschnitts steht eine Ausweitung durch Schmelzung entgegen, die von der Erwärmung durch Reibungsverluste im fließenden Wasser herrührt. Die mathematische Formulierung der Eisdeformation und Schmelzung hat unter vereinfachenden Annahmen zur numerischen Berechnung des Wasserdrucks in intraglazialen, kreiszylindrischen Röhren sowohl im stationären [3] wie im instationären Fall [4] geführt. Abgesehen von den vertikalen Strudellöchern sind kreiszylindrische, vollständig im Eis gelegene Röhren, wie sie Bild 1 zeigt, allerdings nur ausnahmsweise anzutreffen. Am Gletscherbett hat man sich die Gänge mit ungefähr halbkreisförmigem Querschnitt aus dem Eis herausgeschmolzen oder streckenweise auch in einem Einschnitt im Untergrund vorzustellen, in den das Eis wie ein Stempel hineindrückt. Das Prin-

Bild 1. Kreisförmiger Gang im Eis, durch den sich ein Randsee des Gornergletschers zeitweise entwässert hat. (Aufnahme H. Röthlisberger, 18. 7. 1979)





Bild 2. Thermische Tiefbohrung auf dem Brenay-Gletscher. Rechts vom Zelt Durchlauferhitzer und Pumpen. (Aufnahme H. Röthlisberger, 23. 7. 1977)

zip der entgegengesetzten Wirkung von Eisdeformation und Schmelzung ändert sich zwar nicht, aber die numerischen Resultate für den kreisförmigen Querschnitt sind nur beschränkt auf das wirkliche Gerinne übertragbar. Zur Erforschung des subglazialen Entwässerungssystems ist an der VAW eine Tiefbohrapparatur (Bild 2) entwickelt worden, die es erlaubt, mit geringem Aufwand piezometrische Druckmessungen auch bei grosser Eistiefe durchzuführen [5]. Die Bohrlöcher werden mit einem Heisswasserstrahl herausgeschmolzen, wofür eine Wasserpumpe, ein Durchlauferhitzer, ein Druckschlauch und die Bohrstange mit Düsenkopf nötig sind. Nachdem sich bei unkontrolliertem Bohren grosse Abweichungen vom Lot ergeben haben, ist in der Stange ein Kontrollpendel eingebaut worden, mit dem der Richtungsfehler unter einigen wenigen Grad gehalten werden kann. Zu diesem Zweck muss aber zusätzlich zum Bohrschlauch ein elektrisches Kabel ins Bohrloch abgesenkt werden. Ohne Richtungskontrolle ist eine Bohrtiefe von über 150 m in der ersten Stunde erzielt worden, mit Kontrolle ist der Bohrvortrieb geringer. Die grösste bisher erreichte Tiefe betrug 430 m bei einer Bohrzeit von 7 Stunden.

Im allgemeinen wird der Druck mit elektrischen Gebern gemessen, die ins Bohrloch abgesenkt werden. Nach Möglichkeit werden die Messwerte laufend registriert, um nicht nur Einzelwerte, sondern vor allem Druckschwankungen zu erfassen. Bild 3 zeigt das Ergebnis derartiger Messungen auf dem Gornergletscher, wobei sich die Druckkapsel in diesem speziellen Fall in einem Strudeloch befand, durch das ein Bach abfloss, wie dies schon früher durch Iken [2] auf einem arktischen Gletscher praktiziert worden war. Das Diagramm veranschaulicht die Verhältnisse im Hochsommer, als das Abflusssystem schon vollständig ausgebildet war. Dabei wurden charakteristische Witterungsperioden erfasst. Vom 17. bis 21. Juli 1974 war es kalt und es fiel etwas Schnee. Später folgte wärmeres und vorwiegend sonniges Wetter, wobei die Temperatur vom 28. Juli bis 4. August besonders hoch lag. Die Witterung spiegelt sich deutlich im Abfluss wider, der in den sonnigen Perioden bei unterschiedlichem mittlerem Abfluss entsprechend der Temperatur den ausgesprochenen Tagesgang erkennen lässt. Nach dem Neuschnee fehlt am 19. Juli der Tagesgang, und der Abfluss fällt exponentiell ab. Im Vergleich zum Abfluss lässt der Wasserdruck einen viel rascheren Anstieg nach der Kälteperiode erkennen, was auf eine rasche Verengung der Abflussgerinne bei sehr niedrigem Wasserdruck schliessen lässt. Ein ähnliches Verhalten zeigt die Modellrechnung in Bild 4 für idealisierte Verhältnisse, bei denen ein durchgehend gleicher Tagesgang

einer systematischen Änderung des Abflusses überlagert ist.

Vom 28. Juli bis 1. August weist das Diagramm (Bild 3) eine kräftige Anomalie auf, die durch die Entleerung des Gornersees verursacht war. Dieser liegt im Zwickel zwischen dem Grenz- und dem Gornergletscher bei deren Vereinigung zu einer gemeinsamen Zunge. Er wird durch den Gletscher aufgestaut und bricht alljährlich mindestens einmal subglazial aus. 1974 führte ein besonders hoher Füllungsgrad des Sees zu einer Hochwasserspitze von über $50 \text{ m}^3/\text{s}$, die gerade an der Grenze des Schadenhochwassers lag. Während der See-Entleerung blieb der piezometrische Wasserdruck an der Messstelle, die rund 2 km unterhalb des Gornersees rechts von der Talachse

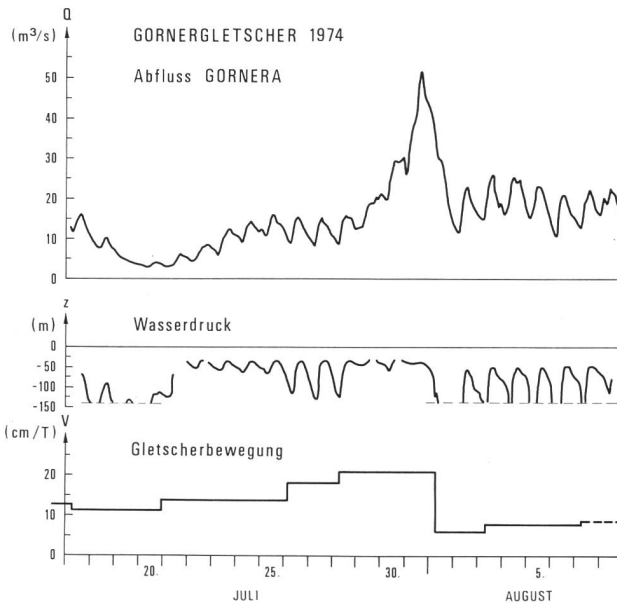


Bild 3. Abfluss, piezometrische Drucklinie in Metern unter der Gletscheroberfläche und Horizontalkomponente der Gletschergeschwindigkeit vom 17. Juli bis 8. August 1974. Subglaziale Entleerung des durch den Gletscher gestauten Gornersees vom 28. bis 31. August.

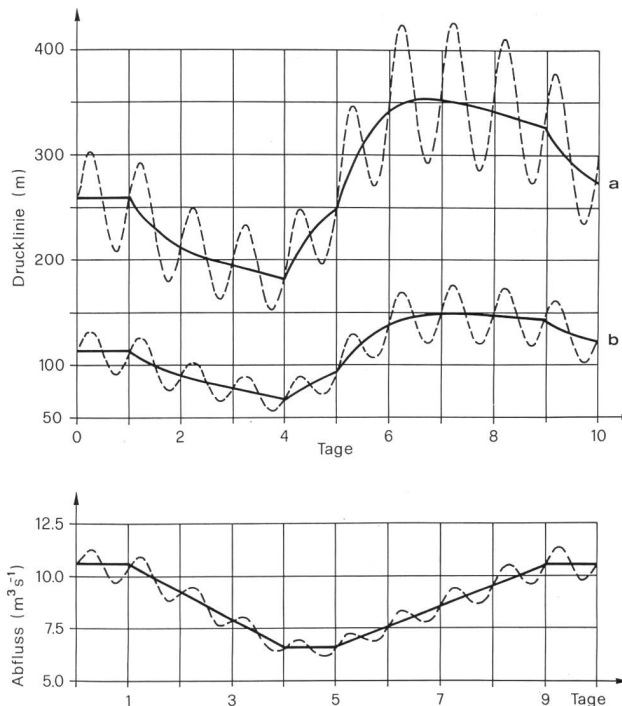


Bild 4. Theoretische Drucklinien in 5 und 10 km Distanz vom Gletscherende für gegebenen Abfluss. Berechnung von U. Spring; vgl. Bild 3, 17. bis 26. Juli 1974.

lag, durchgehend hoch. Anschliessend blieb der Wasserspiegel während rund 26 Stunden unter dem Niveau des Druckgebers in 135 m Tiefe unter der Gletscheroberfläche. Die Eisdicke betrug an der Stelle der Messung rund 200 m, in der Talachse gut 400 m. Die Gletscherbewegung liess ein deutliches Maximum während des Seeausbruchs erkennen, gefolgt von einem Minimum in der Zeit des tiefen Wasserdrucks.

Gletscherbewegung

Die an der Gletscheroberfläche feststellbare Bewegung lässt sich im allgemeinen auf zwei Komponenten zurückführen, eine innere Deformation, die auch als *Kriechen* bezeichnet wird, und eine translatorische Verschiebung am Bett, die *Gleitbewegung*. Das Kriechen hängt von der Temperatur beziehungsweise vom Wassergehalt des Eises ab. Dass sich diese beiden Einflüsse im Innern des Eiskörpers, wie auch die Geometrie des Gletschers, nur allmählich im Zeitraum von Jahren ändern können, ist die Ursache für rasche Geschwindigkeitsänderungen bei den Vorgängen an der Gletschersohle zu suchen, hier am ehesten bei einer direkten Wirkung des Wassers. In den letzten Jahren sind von verschiedenen Forschern Theorien ausgearbeitet worden, die der Erklärung und quantitativen Erfassung der Gleitkomponente der Gletscherbewegung gelten. Sie sind für den Nichtmathematiker schwer verständlich und in der Praxis nur beschränkt anwendbar. Die Wirkungsweise des Wassers ist aufgrund der Formeln kaum ersichtlich, vor allem weil bei den Theorien stationäre Zustände in den Vordergrund gerückt werden, während es gerade die instationären Übergangsphasen sind, die durch das Wasser an der Gletschersohle gesteuert werden. Im folgenden wird versucht, einige der auffälligsten Erscheinungen durch einfache Mechanismen zu erklären.

Die Idee, dass durch Schmelzwasser eine Schmierwirkung erzeugt wird, ist alt. Es war erstaunlich festzustellen, dass das Geschwindigkeitsmaximum nicht mit dem Abflussmaximum zusammenfällt (Bild 5). Es liegt ungefähr da, wo der Abfluss am stärksten zunimmt. Diese Beobachtung passt gut mit der Modellvorstellung des Abflusses in Gängen am Bett zusammen, die sich verzögert dem Abfluss anpassen: Bei einer Zunahme der Wasserführung steigt der Druck

vorerst, um mit der Anpassung des Drainagesystems wieder abzufallen. Umgekehrt sinkt der Druck bei abnehmender Wasserführung besonders tief. Daher ist die höchste Geschwindigkeit im Frühsommer zu beobachten, das Geschwindigkeitsminimum beim stärksten Druckabfall im Herbst. Über den Mechanismus, wie der Wasserdruck die Gletscherbewegung beeinflusst, ist damit aber noch nichts ausgesagt.

Am Unteraargletscher hat Flotron [6] festgestellt, dass die Beschleunigung im Frühjahr von einer deutlichen Hebung der Gletscheroberfläche begleitet wird. 1970/71 stieg die Horizontalgeschwindigkeit von rund 5 cm/Tag im Winter auf 12 cm/Tag beim Monatswechsel April/ Mai und erreichte im Mai kurzfristig im Viertagesintervall einen Spitzenwert von fast 30 cm/ Tag. Die Hebung von April bis Mai machte 50 bis 60 cm aus. Die grösste Aufwärtsbewegung trat im allgemeinen dann auf, wenn sich der Gletscher auch horizontal am schnellsten bewegte. Das Phänomen der Hebung wurde seither auch am Aletschgletscher und am Gornergletscher, hier sowohl im Frühjahr wie beim Seeausbruch, beobachtet. Die Hebung lässt sich am besten durch die Bildung grosser Kavernen erklären, wie sie am Rand von Gletschern mit starker Gleitbewegung beobachtet werden können. Das gleiche Argument der grösseren Dichte von Wasser im Vergleich zu Eis, das verwendet wurde, um die Spaltenöffnung bis zum Bett zu erklären, kann auch für die Bildung von wassergefüllten Hohlräumen im Lee von Unebenheiten angewendet werden.

Das Öffnen dieser Hohlräume lässt sich mit Hilfe eines einfachen Modells verstehen. Wenn der Gletscher als starrer Körper angenommen wird, der einer gleichmässig gestuften, reibungslosen Unterlage aufliegt, an der das Wasser ungehinderten Zutritt hat, so lässt sich zeigen, dass von einem bestimmten kritischen Druck an eine beschleunigte Bewegung einsetzt. Dieser kritische Druck P_{wk} hängt vom mittleren Überlagerungsdruck P_e des Eises, der mittleren Neigung des Gletscherbettes α und dem Gefälle der bergwärts einfallenden Stufen \varnothing ab [7]: $P_{wk} = P_e \sin \varnothing / \cos \alpha \sin (\alpha + \varnothing)$.

Für $0 < \varnothing \leq \alpha < \pi/4$ (besonders für kleine Werte von \varnothing) liegt der kritische Wasserdruck unter dem Überlagerungsdruck, bei dem der Gletscher auf einer Wasserschicht schwimmen würde. Das Wasser wirkt wie in einer hydraulischen Presse. Das Modell ist in mehreren Punkten wenig realistisch, lässt sich aber modifizieren. Das Gletscherbett ist zwar nicht reibungsfrei, doch genügt eine mässige Erhöhung des kritischen Wasserdrucks, um ausser der Schwerkraft auch die Reibung zu überwinden. Eine grössere Einschränkung ergibt sich durch die in der Natur vorhandene Beschränkung der Wasserzufuhr. Am Anfang ist die freie Beschleunigung verunmöglicht, weil das Wasser nur sehr unvollständig Zutritt zu den Flächen im Druckschatten findet, in einem fortgeschrittenen Stadium kann der Druck nicht aufrechterhalten werden, weil der Wasserverlust zu gross ist – jedenfalls beim Modell des starren Eiskörpers. Für das *deformierbare* Eis ist infolge von Druckkonzentrationen mit Abdichtungen und damit vermindertem Wasserverlust zu rechnen, solange die Geschwindigkeit nicht zu stark ansteigt. Während der Beschleunigungsphase liessen sich sowohl unter Frühjahresbedingungen als auch beim Seeausbruch jeweils neue Spalten beobachten, was sich u. a. auch in einer extrem hohen Seismizität spiegelte [8]. Sofern an der Gletscheroberfläche verbreitet Wasser vorhanden ist, wie zum Beispiel unter Frühjahresverhältnissen im Fall von wassergetränktem Schnee und oberflächlichen Tümpeln, führt das Aufreissen frischer Spalten zu einer Rückkopplung: Die

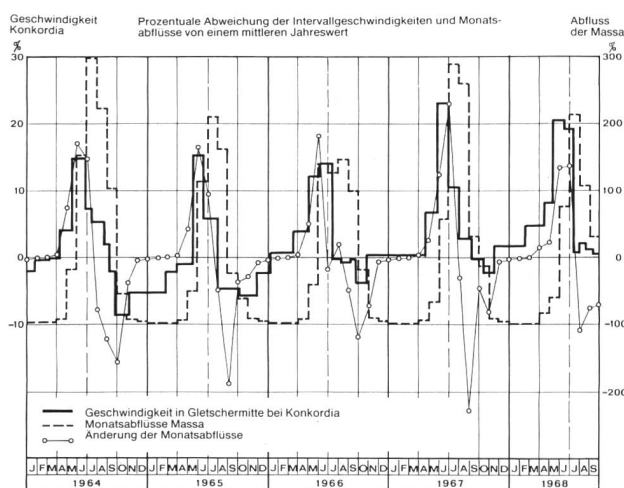


Bild 5. Jahreszeitliche Schwankungen von Gletscherbewegung und Wasserabfluss am Aletschgletscher (prozentuale Abweichung von einem mittleren Jahreswert der folgenden Grössen: Horizontalkomponente der Oberflächen-geschwindigkeit bei Konkordia während Messintervallen von unterschiedlicher Dauer; Monatsabflüsse der Massa; Änderungen des Abflusses von Monat zu Monat). Die Gletscherbewegung ist deutlich besser mit der Abflussänderung als mit dem Abfluss selbst korreliert. (Aus: [10], Fig. 5, p. 118)

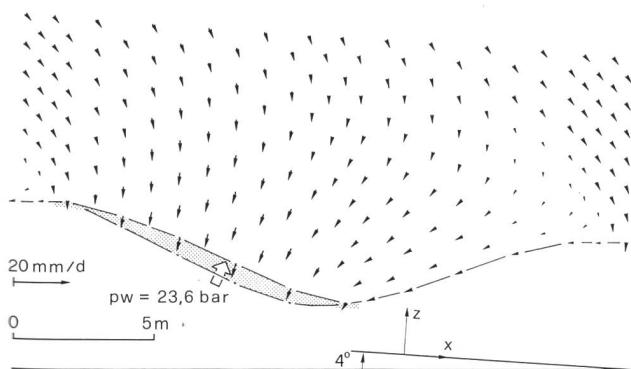
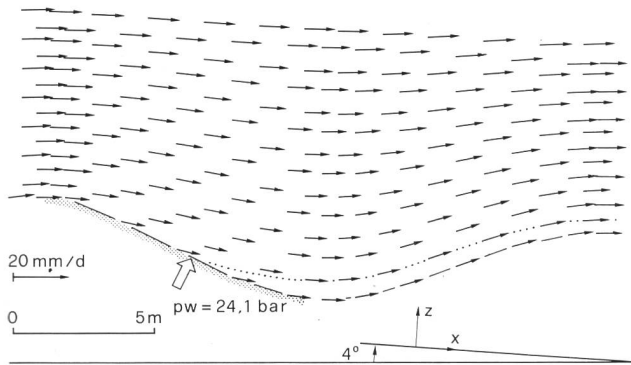
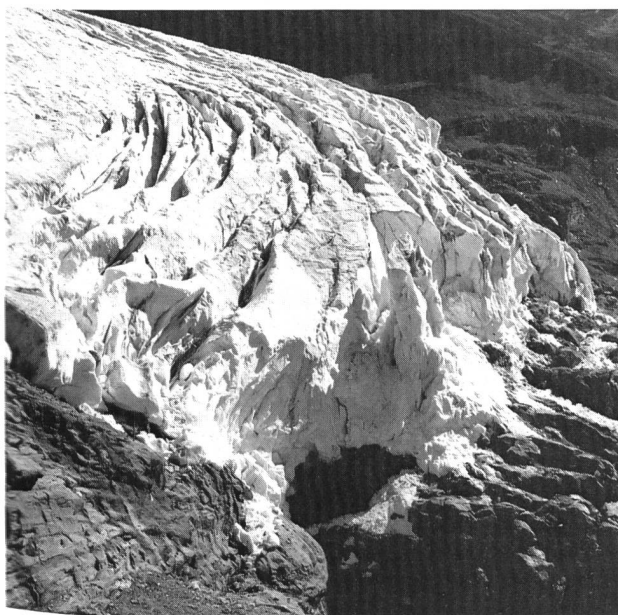


Bild 6. Resultate einer Studie mit finiten Elementen über die Bewegungsverhältnisse in der Basisschicht eines idealisierten Gletschers bei Wasserdruckänderung an der Gletschersohle (oben: Öffnen einer Kaverne bei Druckanstieg; unten: Schliessen bei Druckabfall). Nach [7].

Bild 7. Vorstossende Zunge des Gîétrogletschers. Im Zuge eines viel kräftigeren Vorstosses ereignete sich 1818 eine Hochwasserkatastrophe. Heute liegt der Stausee von Mauvoisin unter dem Gletscherende. Grosse Eislawinen, die gefährliche Wellen im See verursachen könnten, sind nicht zu erwarten, doch wird bei Vollstau die Gletscherbewegung laufend überwacht [11].
(Aufnahme M. Aellen, 17. 9. 1971)



vermehrte Zufuhr von Wasser zur Gletschersohle an vielen Stellen aufs Mal ergibt eine weitere Beschleunigung des Gletschers, die wiederum mit verstärkter Spaltenbildung verbunden ist.

Während sich die grösste Aktivität in einzelnen Schüben mit grosser Gleitgeschwindigkeit und Hebungsrate von nur wenigen Tagen Dauer manifestiert, zieht sich die jahreszeitliche Periode der Hebung und Senkung über mehrere Monate hin. In diesem Zeitraum tritt ein Wasserdruck über dem kritischen Wert ausser während der aktivsten Phasen sowohl zeitlich wie räumlich nur beschränkt auf. Zu einem grossen Teil ist daher die Gleitgeschwindigkeit entweder durch den stationären Zustand oder durch instationäre Phasen bei Drücken unter dem kritischen Wert geprägt. Modelluntersuchungen von Iken [7] haben gezeigt, dass bereits bei niedrigerem Druck als dem kritischen eine starke Erhöhung der Gleitgeschwindigkeit auftreten kann (Bild 6), dass aber bei guter Ausbildung der Kavernen bereits ein geringer Druckabfall eine starke Verzögerung, ja sogar eine Rückwärtsbewegung auslöst. Grundsätzlich ist also das Verhalten oberhalb und unterhalb des kritischen Druckes nicht stark voneinander verschieden, und im konkreten Fall dürfte es schwer fallen, den kritischen Druck zu definieren, schon deshalb, weil eine einheitliche rückwärts gerichtete Neigung \varnothing der Stufen des Gletscherbettes in der Natur nur ausnahmsweise, zum Beispiel verknüpft mit einer bestimmten geologischen Struktur des Untergrundes, zu erwarten ist. Bei näherer Prüfung zeigt sich, dass sich die jahreszeitliche Hebung innert 1 bis 2 Monaten vollzieht, die Absenkung dagegen 2 bis 3 Monate, also rund doppelt so lang, dauert [6]. Diese Asymmetrie lässt sich dadurch erklären, dass sich die Kavernen bei einem Überdruck im Drainagesystem leichter füllen als sie sich bei niedrigem Druck entleeren, bei dem sich die Verbindungsgänge rasch schliessen, so dass das Wasser in den Kavernen gefangen bleibt. Ausser den jahreszeitlichen Geschwindigkeitsvariationen treten auch kurzfristige, an bestimmten Gletschern tägliche Schwankungen auf, die sich in den meisten Fällen mit den Abfluss- und Wasserdruckschwankungen korrelieren lassen [2,9]. Nicht ohne weiteres ist zu verstehen, warum die täglichen Geschwindigkeitsschwankungen trotz starker Druckschwankungen im Drainagesystem nicht viel allgemeiner auftreten, als dies nach den bisherigen Messungen der Fall ist.

Ausblick

Das oben beschriebene Modell erlaubt, gewisse charakteristische Züge des subglazialen Wasserabflusses und der Gletscherbewegung durch die Öffnung und Schliessung grosser wassergefüllter Kavernen im Druckschatten von Wellen oder Stufen des Gletscherbettes zu erklären. Der direkte Nachweis der Kavernen ist aber noch nicht gelungen. Auch gilt es zum besseren Verständnis der wirklichen Verhältnisse ausser den zeitlichen auch die örtlichen Variationen des Wasserdrucks und die örtliche Variation der Bettkonfiguration mehr im Detail zu erforschen. Bei ähnlichen Untersuchungen in USA, bei denen im Bohrloch Foto- und Fernsehkamera zum Einsatz kamen, wurde anstelle des hier postulierten Felsbettes eine Zwischenschicht von ungefrorener Grundmoräne von einigen Zentimetern Mächtigkeit festgestellt [13]. Für diesen Zustand wären die hier skizzierten Vorstellungen zum Teil zu modifizieren. Die Erforschung der Bewegungsmechanismen der Gletscher ist für sich allein wissenschaftlich durchaus aktuell. Daneben kommt ihr eine allgemeinere Bedeutung innerhalb der Glaziologie zu, zum Beispiel im Zusammenhang mit der Gletschererosion. Im Zuge der Öffnung der Hohl-

Anzahl Gletscher im Vorstoss und im Rückzug in Prozent der Gesamtzahl der beobachteten Gletscher

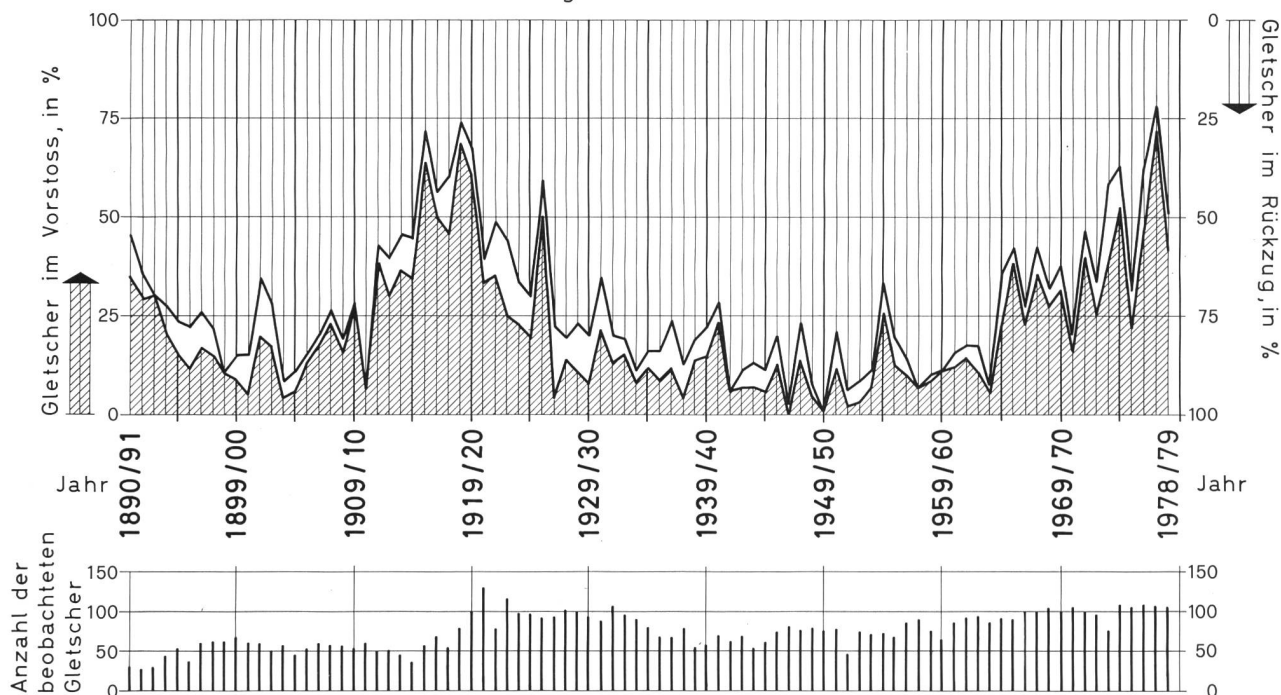


Bild 8. Lageänderung der Gletscherenden in den Schweizer Alpen 1890/91 bis 1978/79.

Aus: [12], Abb. 26, p. 42)

räume können auch bei grosser Gletschermächtigkeit durch das Eis Gesteinsbruchstücke aus dem Felsbett herausgerissen werden, die dann im weiteren Verlauf der Gleitbewegung als Schleifmittel wirken. Die alte Frage, ob dem Gletscher oder dem Wasser bei der Erosion die Hauptrolle zukommt, lässt sich auch so beantworten, dass der durch das Wasser geschobene Gletscher erodiert! Von den unter Leitung von Prof. P. Kasser während der letzten Jahrzehnte an der VAW durchgeführten Untersuchungen machen die Bewegungsstudien nur einen Teil aus, ein weiterer Hauptakzent lag beim Massenhaushalt und den Gletscherveränderungen [14]. Auch in diesem Zusammenhang sind indessen die Gletscherbewegung und deren zeitliche Veränderungen von Bedeutung, wie zum Beispiel bei Sicherheitsfragen (Bild 7; vgl. [15] oder im Rahmen des generellen Verhaltens der Gletscher (Bild 8). Statistisch betrachtet reagieren zwar die Gletscher vorwiegend auf klimatische Faktoren; um aber die unterschiedlichen Reaktionen einzelner Gletscher oder bestimmter Gletschertypen zu verstehen, und vor allem um kurzfristige Prognosen für das Verhalten einzelner Gletscher zu stellen, ist die Kenntnis der Bewegungsmechanismen unerlässlich.

Adresse des Verfassers: Dr. Hans Röthlisberger, Glaziologe, Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, Gloriastrasse 37–39, ETH-Zentrum, 8092 Zürich.

- [1] Lang, H. und Schädler, B. (1980): Wasserhaushalt und Wärmehaushalt. In diesem Heft.
- [2] Iken, A. (1972): Measurements of water pressure in moulins as part of a movement study of the White Glacier, Axel Heiberg Island, Northwestern Territories, Canada. «Journal of Glaciology» Vol. 11, No. 61, p. 53–58.
- [3] Röthlisberger, H. (1972): Water pressure in intra- and subglacial channels. «Journal of Glaciology» Vol. 11, No. 62, p. 177–203.
- [4] Spring, U. (1979): Zur Theorie des instationären Wasserabflusses durch intraglaziale Kanäle. Dissertation ETHZ 6394, 190 p.
- [5] Iken, A., Röthlisberger, H. and Hutter, K. (1977): Deep drilling with a hot water jet. «Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie» Bd. 12 (1976), H. 2, p. 143–156.
- [6] Flotron, A. (1973): Photogrammetrische Messungen von Gletscherbewegungen mit automatischer Kamera. «Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie», Fachheft 1/73, p. 15–17.
- [7] Iken, A. (Manuskript): The effect of the subglacial water pressure on the sliding velocity of a glacier in an idealized numerical model. Druck in Vorbereitung.
- [8] Deichmann, N., Ansoorge, J. and Röthlisberger, H. (1979): Observations of glacier seismicity on Unteraargletscher. «Journal of Glaciology» Vol. 23, No. 89, p. 409 (Abstract).
- [9] Iken, A. (1978): Variations of surface velocities of some alpine glaciers measured at intervals of a few hours. Comparison with arctic glaciers. «Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie» Bd. 13 (1977), H. 1/2, p. 23–35.
- [10] Aellen, M. und Iken, A. (1979): Variationen der Gletscherbewegung. Mitteilung der VAW/ETHZ Nr. 37, p. 111–126.
- [11] Röthlisberger, H. und Aellen, M. (1970): Bewegungsregistrierung an der Zunge des Gîtroglletschers. «Schweizerische Bauzeitung» 88. Jhg. H. 43, p. 981–986.
- [12] Jahresbericht der VAW (1979). Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH Zürich, 69 p.
- [13] Engelhardt, H. F., Harrison, W. D., and Kamb, B. (1978): Basal sliding and conditions at the glacier bed as revealed by bore-hole photography. «Journal of Glaciology» Vol. 20, No. 84, p. 469–508.
- [14] Kasser, P. (im Druck): Rezente Gletscheränderungen in den Schweizer Alpen. Gletscher und Klima, Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft 1978.
- [15] Röthlisberger, H. (im Druck): Eislawinen und Ausbrüche von Gletscherseen. Gletscher und Klima, Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft 1978.