

Zeitschrift: Schweizerische Bauzeitung
Herausgeber: Verlags-AG der akademischen technischen Vereine
Band: 88 (1970)
Heft: 43

Artikel: Bewegungsregistrierung an der Zunge des Giétrogletschers
Autor: Röthlisberger, H. / Aellen, M.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-84649>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 16.05.2025

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

Vom Geschäftsleiter wurde auch auf die weiteren Arbeiten verwiesen, die vom Sekretariat gepflegt werden, wie z.B. die *Baustatistik*. Die auf 10 Jahre ausgerichtete Baustatistik sei nach Landesgegenden gruppiert (nicht nach Kantonen) und vermittle recht interessante Einblicke. Sie diene im weitesten Sinne der Verschaffung einer Marktklarheit, an welcher es oft gebreche.

Als nächste Veranstaltung der GfB steht die *Bautagung 1970* auf dem Programm, die wie jedes Jahr ein anderes, konkretes Thema zum Gegenstand hat, das die öffentliche Hand (als Vertreter des grössten Bauvolumens) interessiert. Das diesjährige Thema der *Schulbauten* dürfte auf grosses Interesse stossen. Ausgehend von den Schülerzahlen und den Bedürfnissen der Schule (welches werden die Räume sein, die man benützt, welche Einrichtungen werden benötigt?), sollen Fragen der Standortbestimmung, der Schaffung von Zentren usw. diskutiert werden. Wo die quantitativen Probleme aufge-

griffen und die nötige Klarheit gewonnen ist, soll man zu den qualitativen Problemen kommen, die den Bauingenieur und Architekten interessieren. An der Tagung sollen nicht nur die Ersteller, sondern auch die Benützer zu Worte kommen.

Wie der Präsident der GfB in seinem *Schlusswort* ausführte, wären Unterlagen für weitere prospektive Untersuchungen – die heute leider noch nicht zur Verfügung stehen – sehr wertvoll. Dass dem nicht so ist, liegt teils daran, dass die Bauforschung sich nicht nur mit technischen Belangen befassen muss, sondern auch mit Tatsachen, die von allgemeiner Bedeutung sind. Mit diesen Worten schliesst der Präsident den geschäftlichen Teil der Generalversammlung und übergibt das Wort dem Gastreferenten, *E. Witta*, dipl. Bauing., Zürich, zu seinem interessanten und anregenden Vortrag über «Analyse des Bauprozesses als Grundlage für wirtschaftliches Bauen».

Dr. G. Koehn, 3063 Ittigen BE

Bewegungsregistrierung an der Zunge des Giétrogletschers

DK 551.324.43

Von Dr. H. Röthlisberger und M. Aellen, Zürich

1. Problemstellung

Im September 1965 beauftragte die Elektro-Watt, Ingenieur-Unternehmung AG, namens der Kraftwerke Mauvoisin AG Prof. G. Schnitter als Direktor der Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH (VAWE), durch deren Abteilung für Hydrologie und Glaziologie (AHG), die Gletscher des Val de Bagnes zu untersuchen. Im besonderen sollten die Bewegungen der Zungen und das allgemeine Verhalten der Gletscher im Einzugsgebiet der Kraftwerke Mauvoisin vorausgesagt werden. In der Folge wurde durch Ing. P. Kasser, Chef der AHG, und die Autoren ein umfangreiches Untersuchungsprogramm ausgearbeitet und mit den Ingenieuren L. Wuilloud der genannten Kraftwerke, Dr. B. Gilg und R. Sinniger (Elektro-Watt) bereinigt. Dabei stand die Sicherheit der Kraftwerkanlagen im Vordergrund. Es wurden drei Kategorien von Gletschern unterschieden:

1. Gletscher, die durch grössere Abbrüche in den Stausee Anlass zu Flutwellen geben könnten und deshalb im Hinblick auf eine allfällige Hochwassergefahr genauer zu untersuchen sind: Hängegletscher Tournelon Blanc NE und Giétro.
2. Gletscher, die bei einem Vorstoss mit baulichen Einrichtungen der Kraftwerke Mauvoisin AG in Berührung kommen können, ohne dass dies mit einer Hochwassergefahr verbunden ist: Otemma, Crête Sèche, Breney und Corbassière.
3. Gletscher, die für eine Störung der Kraftwerke Mauvoisin nicht in Frage kommen: Fenêtre, Mont Durand und Tsessette.

Nur die zwei ersten Kategorien von Gletschern wurden untersucht, wobei naturgemäss die an den Anfang gestellte im Vordergrund stand. Am Tournelon Blanc konnte mittels Bohrungen gezeigt werden, dass eine Abgleiten des gesamten Hängegletschers nicht befürchtet werden muss, indem dieser auf einer genügend flachen Terrasse aufliegt. Beim Giétrogletscher liegt das Problem weniger einfach, da er in den Jahren 1595 und 1818 gewaltige Hochwasserkatastrophen im Tal verursacht hat. Obschon eine Wiederholung der Ereignisse von damals dank dem Stausee von Mauvoisin nicht mehr möglich ist, sind – wenigstens auf längere Sicht – Schwierigkeiten bei diesem Gletscher nicht ausgeschlossen.

2. Durch den Giétrogletscher verursachte Hochwasserkatastrophen

Während aus dem Jahre 1595 nur widersprüchliche Urkunden und Überlieferungen bezüglich des Datums (wahrscheinlich 25. Mai) und des Ausmasses der Verwüstungen sowie der Zahl der Todesopfer (um 140) vorhanden sind, geben die recht zahlreichen Berichte von 1818 ein gutes Bild über die Ursache des Hochwassers [1]. Der Giétrogletscher, der heute hoch über dem Val de Bagnes auf 2500 m ü. M. endet, stiess während der allgemeinen Gletscherhochstände am Ende des 16. und Anfang des 19. Jahrhunderts gegen die fast senkrechten Felswände an der Mündung ins Haupttal vor, und brach in breiter Front gegen die Giétroschlucht ab. Aus den Trümmern der abgestürzten Eismassen bildete sich zeitweilig ein regenerierter Gletscher auf dem Talgrund auf 1800 m ü. M. Zu verschiedenen Malen wurde durch diesen Eiskegel, der zu einem mächtigen Querriegel anwuchs, die Drance gestaut. Am 27. Mai 1817 entleerte sich ein solcher durch Eis gestauter See ohne Überschwemmungen zu verursachen. Bis zum folgenden Jahr war der Riegel durch kräftige Eis- und Schneelawinen weiter gewachsen, und bis zum 13. Juni dehnte sich der See auf 3 km Länge aus, bei 200 m Breite und einer Maximaltiefe hinter der Eisbarriere von fast 70 m. Unter der Leitung von Kantonsingenieur J. Venetz war bereits am 11. Mai der Bau eines Eisstollens in Angriff genommen worden, durch den am späten Abend des 13. Juni das Wasser abzufließen begann. Bis zur Frühe des 16. Juni senkte sich der See um 13,5 m. Neben der vorgesehenen Sohlenerosion im Stollen trat Rückwärts-erosion vom luftseitigen Kegelrand her ein, die viel zu rasch die Stollensohle tiefer legte. Ferner war seeseitig die Eisbarriere durch gewaltige Kalbungen geschwächt worden, und das Wasser begann sich zusätzlich im Schutt des Talgrundes unter dem Eis einen Weg zu bahnen. Am 16. Juni, um 16.30 h, brach die restliche Eisbarriere im Stollen. Eine mächtige Flutwelle ergoss sich ins Val de Bagnes und wälzte sich in bloss 1½ Stunden bis Martigny. Häuser und Felder wurden zerstört, und es waren gegen 50 Tote zu beklagen. Während die Drance früher dem Fuss der Felsen auf der Giétroseite folgte, lag die neugebildete Schlucht auf der linken Talseite. In den folgenden Jahren wurde im Sommer unter der Leitung von J. Venetz von der Alp l'Alia in Holzkänneln Wasser zugeleitet, durch dessen Wärme



Bild 1. Zunge des Giétrogletschers von der Aiguille de Bocheresse (3344,7 m). Zungenende auf 2512 m, Seespiegel wenige Meter unter Stauziel (1961,5 m). Beidseits der Gletscherzunge Moränenwälle des Hochstandes im letzten Jahrhundert. 1 Anker, 2 Umlenkrolle, 3 Messpilon, 4 Wasserschloss des Kraftwerks Chanrion auf Kote 2332 m ü. M. (obere Stufe der Kraftwerkgruppe Mauvoisin). Aufnahme M. Aellen vom 13.10.66

die Schlucht trotz Eislawinnenniedergängen offen gehalten und sogar vergrössert werden konnte.

Für die Beurteilung der heutigen Lage sind die Ausmasse der Eisbarriere und der Zeitraum, in dem sie sich bildete, von Bedeutung. Nach grober Schätzung muss es sich 1818 um ein Volumen in der Grössenordnung von 10 Mio m³ gehandelt haben; dabei war der Talboden fünf Jahre früher noch frei von Eistrümmern gewesen. Die Mächtigkeit des regenerierten Gletschers wird mit 125 m angegeben. Bei einer Maximaltiefe des heutigen Sees von 180 m ist es klar, dass selbst bei einem Gletschervorstoss im Ausmass desjenigen des letzten Jahrhunderts kein regenerierter Gletscher mehr entstehen könnte; es würden lediglich Eisberge auf dem Stausee treiben, die sich rasch auflösen würden. Dagegen stellen die Eislawinen ein neues Problem dar, da die Wellen, die sie im Stausee verursachen könnten, die Mauerkrone nicht überspülen dürfen. Obschon im letzten Jahrhundert die Eismasse des regenerierten Gletschers nicht auf einmal abstürzte, ist in Anbetracht des Volumens und der Entstehungsdauer des Eiskegels nicht daran zu zweifeln, dass damals einzelne beträchtliche Eisstürze erfolgt sein müssen.

3. Heutiger Zustand und jüngste Veränderungen des Giétrogletschers

Wie die übrigen Alpengletscher hat sich der Giétrogletscher seit dem Hochstand des letzten Jahrhunderts beträchtlich zurückgezogen, so dass er die Felskante am Absturz ins Haupttal nur noch in der Schlucht erreicht und zum Beispiel von der Staumauer aus kaum zu sehen ist. Auch seitlich hat er sich von den Moränen der Hoch-

lagen der letzten Jahrhunderte weit zurückgezogen, Bild 1. Der Rückzug erfolgte nicht kontinuierlich, wie aus den Beobachtungen der Gletscherkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft hervorgeht. Zwischen 1881 und 1891 und von 1915 bis 1917 wurden sporadisch Vorstösse gemeldet. Von 1953 an ist die Zunge fast alljährlich eingemessen worden. Wie aus Tabelle 1 ersichtlich, ging der allgemeine Rückzug 1962 zu Ende; 1965 hat eine Vorstossperiode eingesetzt. Bis 1969 ist die Zunge um 24 m vorgerückt.

Die Zungenbeobachtungen der Gletscherkommission, die an einer grösseren Zahl von Alpengletschern durchgeführt werden, bezwecken, die Beziehungen abzuklären, die zwischen dem allgemeinen Gletscherverhalten und dem Klima bestehen. Für die Beantwortung der am Giétrogletscher gestellten Frage genügt es aber nicht, einmal jährlich die Änderung der Lage des Zungenendes festzustellen. So hat man schon am Anfang der Untersuchungen festgestellt, dass an den steilsten Stellen des Gletschers keine direkte Gefahr grosser Eisstürze in den See besteht. Hierzu wurden photogrammetrische Pläne im Massstab 1:2000 aufgenommen, und es sind durch Schmelzbohrungen (mit heissem Wasser) die Eismächtigkeit und die Neigung des Gletscherbettes im Zungengebiet bestimmt worden.

Zur Klärung der Frage, ob sich der Gletscher ungefähr im Gleichgewicht befinde, oder ob bereits kräftige Massenverschiebungen vom Firn- ins Zungengebiet im Gang seien, wurde in mittlerer Höhe mittels seismischer Sondierungen das Querschnittsprofil aufgenommen, durch Bewegungsmessungen der Eisdurchfluss bestimmt und mit demjenigen verglichen, der nach Überlegungen über den Gletscherhaushalt etwa zu erwarten war. Für die Überwachung auf längere Sicht wird die Höhenlage der Gletscheroberfläche (Dickenänderung) jährlich kontrolliert. Im Zungengebiet werden hiezu mittels Luftphotogrammetrie ein Längsprofil und einige Querprofile aufgenommen, während auf den flachen Firnfeldern drei Kontrollpunkte im Gelände eingemessen werden. Parallel zum Vorstoss konnte seit 1966 eine Hebung der Zungenoberfläche um etwa 3 m festgestellt werden, Bild 2, während die Dickenzunahme im Firngebiet etwa 1 m betragen hat. Zusätzlich zu den Höhenkontrollen wird das Spaltenbild mit luftphotogrammetrischen Aufnahmen kontrolliert – es ist in seiner generellen Anlage jedes Jahr gleich –, während an einer grösseren Anzahl von Pegeln, die vorwiegend über das Zungengebiet verteilt sind, Jahres- und Saisongeschwindigkeiten gemessen werden, letztere unmittelbar vor dem Vollstau. Eine Auswahl von Messresultaten ist in Tabelle 2 zusammengestellt. Danach haben sich seit 1966 die Geschwindigkeiten nur unwesentlich verändert. In Übereinstimmung mit der Verdickung scheint sich aber eine geringe Beschleunigung um wenige Prozente abzuzeichnen.

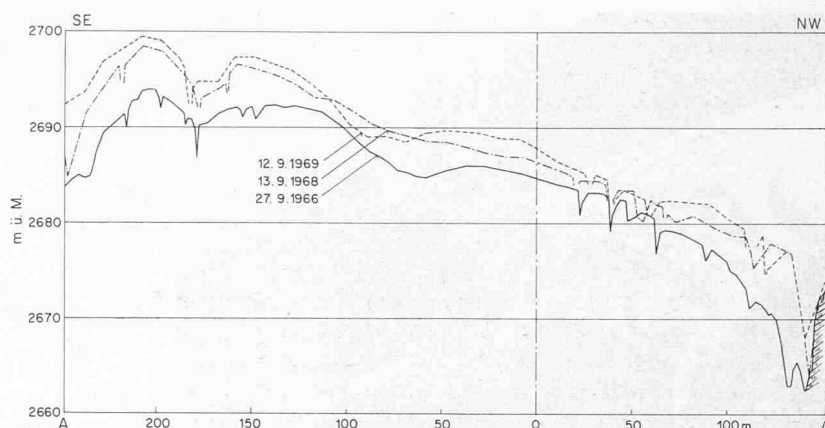
4. Sprunghaftes Gletscherverhalten («Surge»)

Der generelle Gletscherrückgang der letzten 120 Jahre ist zwar von einzelnen kurzfristigen Vorstossperioden unterbrochen worden, so um 1890 und 1920, aber die Erfahrungen der Glaziologen beziehen sich doch vielmehr auf das Gletscherverhalten während der Rückzugs- als während der Vorstossphase. Für das hier gestellte Problem ist aber das Verhalten beim Vorstoss entscheidend. Man könnte

Tabelle 1. Längenänderung des Giétrogletschers von 1953 bis 1969 in m

Beobachtungsperiode	1953—55	55/56	56/57	57—59	59—61	61/62	62/63	63/64	64/65	65/66	66/67	67/68	68/69
Vorstoss (+)							+ 2		+ 5,0	+ 6,7	+ 1,2	+ 7,5	+ 3,6
Rückzug (—)	— 6,5	— 3	— 0,5	— 0,5	0	— 5,5		— 2					

Bild 2. Höhenänderung der Gletscheroberfläche im Querprofil A-A' auf der untersten Zungenterrasse (Bild 1)



sich dabei auf den Standpunkt stellen, dass es Jahrzehnte dauern wird, bis die verlorene Masse wieder ersetzt sein wird, und dass auf eine Überwachung noch für längere Zeit verzichtet werden könnte. Eine solche Betrachtungsweise lässt aber ausser acht, dass ein Gletscher nicht ein statisches, sondern ein dynamisches System ist. Der englische Physiker und Glaziologe *J. F. Nye* hat eine Theorie entwickelt und an Beispielen geprüft [2], mittels derer die Position der Gletscherzunge mit Massenhaushaltszahlen in Beziehung gebracht werden kann. Das Ergebnis ist eher noch beruhigender als die statischen Überlegungen, indem eine Phasenverschiebung zwischen Klimawechsel und Zungenänderung auftritt, die in seinen Beispielen Jahrzehnte ausmacht. Ein kräftiger Vorstoss erfolgt erst, wenn sich infolge allgemeiner Verdickung die Fliessgeschwindigkeit erhöht hat, es zur Bildung einer kinematischen Welle kommt, und diese an der Gletscherstirn angelangt ist. Voraussetzung der Theorie ist, dass eine bestimmte gesetzmässige Beziehung zwischen Eisdicke, Oberflächenneigung und Fliessgeschwindigkeit besteht. Nun hat sich aber gerade in jüngster Zeit die Erkenntnis durchgesetzt, dass für die Gleitkomponente der Gletscherbewegung diese Voraussetzung nicht erfüllt ist [3]. Dies drückt sich vor allem auch im sprunghaften Verhalten gewisser Gletscher aus.

Schon seit langem sind Fälle bekannt, wo Gletscher ganz unvermittelt gewaltig vorgestossen sind [4]. Mit der Intensivierung der Gletscherforschung in den letzten Jahren haben sich die Meldungen über solche aussergewöhnliche Gletscherschwankungen (engl. «surge») gehäuft, und das Phänomen ist vermehrt untersucht worden, ohne dass es aber schon hätte befriedigend erklärt werden können [5]. In den typischen Fällen scheint es sich um eine periodische Erscheinung zu handeln, die einzelnen Gletschern von unterschiedlichster Grösse und Neigung eigen ist und nur einzelne Teile der Zunge oder praktisch den ganzen Gletscher erfasst. Regelmässig in Abständen von ungefähr 15 bis über 100 Jahren auftretende «Surges» kommen in ganz verschiedenen Klimagebieten vor, scheinen sich aber aus unbekannten Gründen auf bestimmte Regionen zu beschränken [5a]. Oft ist es eine Ermessensfrage, wann die Gletscherbewegung noch als normal zu bezeichnen ist und wann nicht, sind doch auch in einem normalen Gletscher grössere Jahreschwankungen im Bewegungsablauf zu beobachten, die nicht in jedem Jahr gleich sind und möglicherweise eine gewisse Periodizität über mehrere Jahre aufweisen. Ferner ist zu vermuten, dass in Zeiten allgemeinen Gletscherwachstums aperiodische sprunghafte Vorstösse vorkommen, die sich, was den Bewegungsmechanismus betrifft, kaum vom periodischen «Surge» unterscheiden dürften.

In bezug auf das Problem beim Stausee von Mauvoisin verdient der Tyen Glacier in Alaska besonderes Interesse,

indem er in Charakter und Grösse dem Giétro ähnlich ist, und überdies zur Gruppe der Gletscher mit sprunghaftem Verhalten gehört. In den vierziger und sechziger Jahren rückte er jeweils innert etwa zwei Jahren unvermittelt um volle 2 km vor, wobei er beide Male über eine steile Talmündung gerade knapp den Fjord erreichte [5b]. Zu grossen Eisstürzen kam es dabei vermutlich nicht. Die Arealvergrösserung betrug 1,2 km² oder 12 %. Bei einem allfälligen analogen Verhalten des Giétrogletschers würde dessen Zungenende ohne Zweifel die Steilstufe zum Haupttal erreichen und an der Kante sukzessive abbrechen. Nun weist der Tyen Glacier die für den echten «Surge» typische Periodizität auf, während beim Giétro keine Anzeichen bestehen, dass er in seiner gegenwärtigen Ausdehnung je ein ähnliches Verhalten gezeigt hätte. Es wäre daher falsch, aus der Ähnlichkeit mit dem Tyen-gletscher schon auf einen unmittelbar bevorstehenden aussergewöhnlichen Vorstoss zu schliessen. Auf lange Sicht kann ein solcher aber nicht ausgeschlossen werden, insbesondere auch deshalb nicht, weil bei der erstaunlich raschen Entstehung der Eisbarriere von 1818 vermutlich aussergewöhnliche Eisbewegungen vom Firngebiet zur Zunge mit im Spiele waren – allerdings bei einem wesentlich grösseren totalen Gletschervolumen als dem heutigen. Wie bereits angetönt, brauchen die Änderungen im Bewegungsmechanismus nicht den ganzen Gletscher zu erfassen, sie können vielmehr nur ganz lokal auftreten. Dies haben im besondern die seit dem Gletschersturz vom August 1965 durchgeführten Beobachtungen am Allalingsletscher gelehrt. In diesen letzten Jahren hat sich am Allalin alljährlich eine grössere Eismasse im Ausmass von 2 bis 3 Mio m³ am Zungenende selbständig gemacht und während einiger Wochen eine beschleunigte Gleitbewegung auf der Unterlage ausgeführt. Dabei ist es zu häufigem Abbröckeln von Eistrümmern an der Front und am Rand gekommen, aber zu keinem neuen Gletschersturz. Für die Arbeiten am Giétrogletscher, wo bisher keine analogen Gleiterscheinungen be-

Tabelle 2. Horizontalkomponente der Oberflächengeschwindigkeit in Gletschermitte

Pegelhöhe m ü. M.	Jahr	Jahreswerte Sept.–Sept. cm/T (m/J)	Saisonwerte ¹⁾ Aug.–Sept. cm/T
2820	1966/67	23,3 (85,1)	24,5
	1967/68	22,8 (83,4)	25,3
	1968/69	24,3 (88,7)	25,6
2680	1966/67	15,1 (54,9)	18,1
	1967/68	15,1 (55,1)	18,1
	1968/69	16,0 (58,4)	18,9

¹⁾ am Ende der Jahresperiode.



Bild 3. Messpilon mit Blick auf die Gletscherstirn; Aufnahme H. Röthlisberger vom 19.8.69

obachtet wurden, mit deren möglichem Auftreten aber nunmehr grundsätzlich gerechnet werden muss, ist der Umstand wichtig, dass am Allalin die Phase der Beschleunigung bis zum Erreichen der hohen Gleitgeschwindigkeit jeweils viele Tage, ja Wochen gedauert hat.

5. Bewegungsregistrierung mittels Kryokinegraph

Da ein aussergewöhnlicher Zungenvorstoss des Giétrogletschers mit allfällig nachfolgenden Eisstürzen in den Stausee von Mauvoisin, so unwahrscheinlich er auch erscheinen mag, doch in Betracht gezogen werden muss, ist nach Wegen gesucht worden, um einen veränderten Bewegungszustand rechtzeitig erkennen zu können. Grundsätzlich sollte dies schon durch rein visuelle Beobachtung am Spaltenbild und an der vorrückenden Front möglich sein, viel besser natürlich durch Messung. Um aber eine sich alljährlich über mehrere Monate erstreckende Direktüber-

wachung wegen der ihr anhaftenden Mängel zu vermeiden, ist nach möglichst witterungsunabhängigen Methoden gesucht worden, die eine Fernmeldung zulassen. Zuerst wurde an eine Serie elektrischer Kontakte im Gletschervorfeld gedacht, die bei einem Vorstoss sukzessive unterbrochen würden, oder auch an die Überwachung mittels Fernsehkamera. Dank günstiger topographischer Verhältnisse konnte dann aber ein glaziologisches Hilfsmittel angewandt werden, das gelegentlich für kurzfristige Bewegungsmessung an Gletschern Verwendung gefunden hat. Es handelt sich um den Kryokinometer, bestehend aus einem im Eis verankerten Messdraht und einer auf festem Grund montierten Messuhr. In der klassischen Form wird der Kryokinometer vorwiegend zur Messung kleiner Bewegungen benützt, wobei ein Invardraht über geringe Distanz verwendet wird, so dass auch bei Wind ein geringes Spannungsgewicht genügt. Die abgewandelte Anordnung am Giétrogletscher besteht nun darin, dass ein Stahlkabel von 2,5 mm Durchmesser über eine wesentlich grössere Distanz von ungefähr 300 m vom Ankerpunkt auf dem Gletscher zu einem hohen Mast läuft, wo an einem Flaschenzug ein genügend grosses Gewicht für die nötige Kabelspannung von rund 50 kg sorgt (Bilder 3 und 4). Mittels einer Seilwinde am Kabelende lässt sich das Gewicht bei Bedarf wieder hochziehen. Die Bewegung wird am Gewicht abgegriffen, ohne dass das Registriergerät, ein gewöhnlicher Limnigraph, die Kabelspannung aufnehmen muss. Natürlich käme auch ein Abgreifen am Kabel oder an einer Rolle in Frage. Zur Verringerung der Spannweite sind zwischen dem Gletscher und dem Mast zwei Umlenkrollen angebracht worden. Auf diese Weise konnte der Mast an lawinensicherer Stelle so aufgestellt werden, dass er von der Staumauer aus sichtbar ist und im Prinzip die Direktablesung der Lage des Spannungsgewichtes mittels Fernrohr vom Tal aus möglich wäre. Die Anlage ist unter Leitung von Zentralenchef P. Stieger in Fionnay in den Werkstätten der Kraftwerke Mauvoisin AG gebaut und im August 1968 montiert worden.

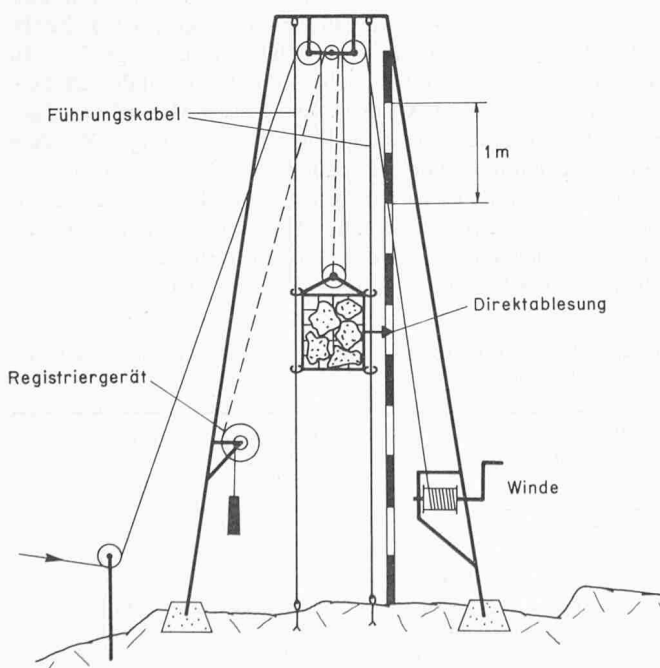


Bild 4. Schema der Messanlage

Eines der Hauptprobleme bildete die Verankerung des Kabels im Gletscher, da die Ablation an der gewählten Stelle mehrere Meter pro Jahr beträgt. Im ersten Jahr wurde mit einem Spezialbohrer ein Loch von 11 cm Durchmesser und gut 4 m Tiefe gebohrt und ein bananenförmig gekrümmtes, am oberen Ende geschärftes Rohr von 65 cm Länge versenkt. Das Stahlkabel war in der Mitte des Rohres befestigt, und es wurde erwartet, dass dieses wegen dem seitlichen Zug mit der Schneide in die Wand des Bohrloches eindringen würde. Es war dann allerdings nötig, das Rohr mit Steinen im Bohrloch zu verkeilen, aber wie sich beim Ausschmelzen zeigte, verschob es sich später ins Eis hinein und stellte sich schief (wenn auch nicht senkrecht) zum Kabelzug. Weil es umständlich ist, ein Loch von grossem Durchmesser zu bohren, wurde schon im zweiten Jahr das Ankersystem geändert. Sowohl eine vier- wie auch eine zweiarmige Vorrichtung haben sich bewährt; für beide genügte ein Bohrloch von lediglich 35 mm Durchmesser. Ein solches Loch von 6 m Tiefe lässt sich leicht von Hand in einer halben Stunde bohren. Die nach oben schauenden, zugespitzten Arme des Ankers klapfen nach aussen und greifen in die Bohrlochwand, wenn das Kabel unter Zug gerät, doch muss auch diese Vorrichtung anfangs mit Steinen verkeilt werden.

Mit derartigen Anker wird zwar eine solide Befestigung des Kabels im Gletscher erzielt, aber die Kabelbewegung ist verschieden von der Bewegung des Eises. Besonders in der Anfangsphase, aber auch später, verschiebt sich der Anker gegenüber dem Eis infolge Druckschmel-

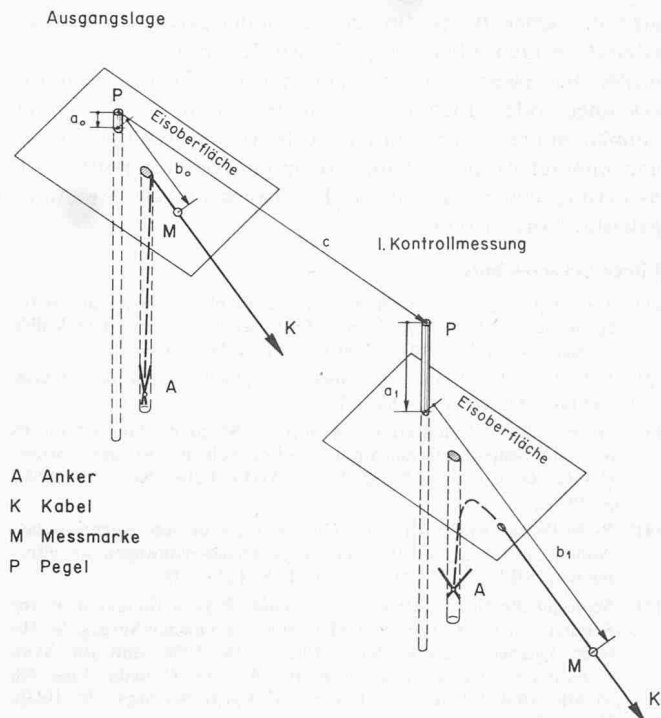


Bild 5. Schema der Anordnung beim Eisanker: Zwischen der Ausgangslage und der Kontrollmessung wandert der Gletscher um c ; die Oberfläche senkt sich infolge der Ablation gegenüber dem Pegel; der Anker verschiebt sich und verkeilt sich im Eis; das Kabel schneidet sich ein. Bei Kontrollgängen wird der Pegelabstich a_n und die Distanz b_n vom Pegel zu einer fixen Marke M am Kabel gemessen

zung und plastischer Deformation. Ferner verkürzt sich das Bohrloch infolge der Ablation, es kann aber noch zusätzlich seine Länge ändern, wenn im Zusammenhang mit der Gletscherbewegung stärkere Verformungen des Eises vorkommen. Ausserdem schneidet sich das Kabel infolge Druckschmelzung sowie unter der Wirkung der in den Gletscher eindringenden Strahlung ins Eis ein, womit sich die Strecke Anker-Messanlage weiter verkürzt, Bild 5. Schliesslich bildet das Kabel mit dem Bewegungsvektor des Gletschers im allgemeinen einen Winkel. Zur Erfassung der wahren Eisesgeschwindigkeit sind also eine ganze Reihe von Korrekturen erforderlich, die zum Teil nur angebracht werden können, wenn zusätzliche Beobachtungen auf dem Gletscher ausgeführt werden. Am geeignetsten ist die Messung der Ablation a (als Differenz von zwei Abstichen a_n an einem vertikalen Kontrollpegel P zu verschiedenen Zeiten), Bild 5, sowie der Änderung einer Strecke b_n von einer fixen Marke M am Kabel zum Kontrollpegel, der in unmittelbarer Nähe des Ankerloches versetzt worden ist. Ferner ist die Kenntnis von Bewegungs-

richtung und Kabelrichtung erforderlich. Nach Bild 5 kann für ein bestimmtes Zeitintervall die räumliche Verschiebung des Fixpunktes am Kabel gefunden werden, indem die Gletscherbewegung c , die Ablation a und die Änderung der Kontrolldistanz b vektoriell addiert werden. Die Kabelbewegung d ist dann gleich der Komponente dieses Vektors in Kabelrichtung und beträgt mit guter Näherung

$$d = a \sin \varphi + b + c \cos \psi,$$

wenn sich der Neigungswinkel φ des Kabels und der Winkel ψ zwischen Kabel und Bewegungsrichtung des Eises während des Messintervalls nur unwesentlich ändern; diese Voraussetzung ist bei der Anordnung am Giétrogletscher erfüllt. Die Formel erlaubt nun umgekehrt, aus der registrierten Kabelbewegung die wahre Eisbewegung und damit die Fließgeschwindigkeit des Gletschers zu ermitteln, wobei für die Zeit zwischen den Kontrollmessungen die Werte von a und b interpoliert werden. Das Ergebnis der auf diese Weise erhaltenen Gletscherbewegung lässt sich leicht durch zweimaligen Vorwärtseinschnitt von einer Vermessungsbasis am Gletscherrand aus unabhängig überprüfen. Es ist noch erwähnenswert, dass im Korrekturglied b , das als $a + \delta$ geschrieben werden kann, die Ablation a häufig gegenüber den Anker- und Kabelverschiebungen δ bei weitem überwiegt. Wegen der doppelten Abhängigkeit der Kabelbewegung d von der Ablation ist es vor allem diese, die sich auf die Messung der Gletscherbewegung störend auswirken könnte. Da es im vorliegenden Fall aber nur darum geht, sehr kräftige Geschwindigkeitsänderungen zu erkennen, kann die Störung in Kauf genommen werden. Sonst wäre es im Prinzip möglich, die Ablation auf Grund der Lufttemperatur und unter Berücksichtigung von Neuschneefällen zu schätzen.

Bild 6 zeigt einen Ausschnitt aus einer Registrierkurve von der Messanlage am Giétrogletscher. Der leicht treppenförmige Verlauf wird durch die Reibung bei den Umlenk- und Flaschenzugrollen verursacht. Davon abgesehen fällt auf, dass die Kurve nachts flacher verläuft als tagsüber, wobei aber ein deutlicher Unterschied zwischen Tagen mit wolkenlosem und bedecktem Himmel besteht. Besonders augenfällig ist der starke Abfall der Kurve zwischen 8 h und 10 h am 13. August. Während sich der durchschnittliche Neigungsunterschied der Kurve zwischen Tag und Nacht durch die verschiedene Intensität der Ablation erklären lässt, muss es sich beim raschen Abfall des Vormittages um die thermische Ausdehnung des Kabels handeln, die bei 300 m Länge in der Grössenordnung von $3 \text{ mm}/^\circ\text{C}$ liegt. Die Abweichung der Kurve vom geraden Verlauf liegt zwischen 4 bis 6 cm Kabelbewegung, was einer Temperaturänderung von 13 bis 20°C entsprechen würde. Obschon die Lufttemperatur keinen derartigen

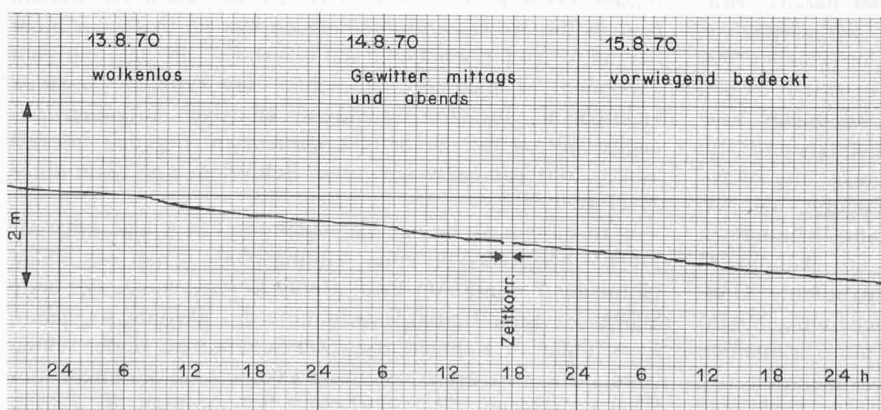


Bild 6. Ausschnitt aus einem Kryokinegramm vom 13. bis 15. August 1970. Registriergeschwindigkeit 7 cm/T , Registriermassstab 1:83

Schwankungen unterworfen ist, scheint eine entsprechende Erwärmung des Kabels durch die Strahlung nicht unmöglich zu sein. Für die Praxis ergibt sich der Schluss, dass zur Ermittlung der täglichen Bewegung am besten ein Termin zwischen Sonnenunter- und -aufgang verwendet wird.

Die Messanlage ist 1968 vom 20. August bis 29. Oktober während zehn Wochen und 1969 vom 8. Juli bis 28. Oktober während 16 Wochen betrieben worden. In beiden Jahren zeigte sich ein Wechsel von schnelleren und langsameren Perioden nebst einer allgemeinen Beschleunigung vom Sommer zum Herbst. Für die Messperiode von 1969 ergab sich eine mittlere tägliche Kabelverschiebung von 25,4 cm/T. Nach Abzug der fast ein Drittel ausmachenden Korrekturen für Ablation und Änderungen an der Verankerung bleibt eine mittlere Geschwindigkeitskomponente für die Gletscherbewegung in Messrichtung von 17,2 cm/T, was bei einem Winkel ψ von etwa 17° einer wahren Gletscherbewegung von 18,0 cm/T entspricht. Die Extremwerte für drei- bis viertägige Messintervalle lagen für die Zeit vom 14. bis 18. August um 19 % unter und vom 23. bis 25. September um 22 % über dem Mittelwert, diejenigen für die extremsten Wochenperioden nur noch 12 % darunter und 13 % darüber. Dabei lag der Mittelwert der Messperiode ungefähr 10 % über dem an einem Pegel bestimmten Jahresmittel. Solche saisonmässige und kurzfristige Schwankungen bilden offenbar die Regel, sind doch 1968 fast identische Werte erhalten worden. Jedenfalls wäre eine grundsätzliche Änderung des Bewegungsregimes schon bei einer Verdoppelung der Fließgeschwindigkeit kurzfristig, zum Beispiel aus Tageswerten, erkennbar.

Nachdem es erwiesen war, dass mit dem Kabel die Gletscherbewegung in befriedigender Weise zum Mast übertragen werden kann, ist durch die Elektro-Watt ein Projekt zur elektrischen Übertragung der Messwerte in die Kraftwerkzentrale ausgearbeitet worden, das im Herbst 1970 verwirklicht werden soll. Die Bewegung am Flaschenzug – der zugleich für durchgehenden Betrieb während einer vollen Saison ohne Gewichtsnachstellung umgebaut wird – wird auf ein Zehngang-Potentiometer übertragen, von dem ein elektrisches Kabel von lediglich einigen hundert Metern Länge zum Wasserschloss Chanrion führt. Von hier werden die Messwerte des Potentiometers über das bestehende Fernmelde- und Steuerkabel zur Zentrale übertragen, von wo der Messstrom ausgeht und wo das Registriergerät zu stehen kommt. Mit diesem lassen sich Signalanlagen koppeln, die bei Erreichen kritischer Werte ansprechen.

Mit der direkten Verbindung zum Tal kommt die letzte Phase der Entwicklung des registrierenden Gletschermessers (Kryokinegraphen) zum Abschluss. Gewisse Verbesserungen werden sich mit der Zeit noch aufdrängen; ihre wesentlichste Funktion wird die Anlage aber bereits erfüllen, indem die Bewegungsverhältnisse an der Gletscherzunge im Sommer ständig überwacht werden können. Bei der gegenwärtigen Zungenlage sind keine Eisstürze in den See zu erwarten, ohne dass ihnen ein beschleunigter Vorstoss vorangehen müsste, durch den erst genügend Eis in eine kritische Lage versetzt würde. Die Anlage am Giétrogletscher erlaubt es, eine solche Beschleunigung, die sich nach neueren Erfahrungen mit grosser Wahrscheinlichkeit über viele Tage hinziehen würde, schon am Anfang zu erkennen. Damit würde sich ein ausserordentlicher Gletschervorstoss – an sich eine seltene Erscheinung – anzeigen. Da es sich bei solchen Vorstössen am allgemeinen um eine kinematische Welle handelt, die den Gletscher von oben nach unten durchläuft, sind die eingangs erwähnten

glaziologischen Beobachtungen im höher gelegenen Teil des Gletschers nicht überflüssig. Sie werden in geeigneter Form weiter betrieben, um eine kinematische Welle frühzeitig erkennen, oder doch ihre Ausmasse rasch abschätzen zu können, sollte sie erst durch die Bewegungsregistrieranlage angekündigt werden. Damit dürfte ein weiterer Beitrag zur Sicherung einer der grossen Kraftwerkanlagen der Alpen geleistet worden sein.

Literaturverzeichnis

- [1] J.-G. de Charpentier: Course à l'éboulement du glacier de Giétro et au lac de Mauvoisin, 16 mai 1818; seconde course à la Vallée de Bagnes, 21 juin 1818. Lœrtscher et Fils, Vevey.
- [2] J. F. Nye: The frequency response of glaciers. "Journal of Glaciology" 5 (1965), p. 567–587.
- [3] M. F. Meier: Calculations of slip of Nisqually Glacier on its bed: no simple relationship of sliding velocity to shear stress. IUGG, Gen. Assembly of Bern, AIHS Publ. No. 79 (1968), p. 49–57.
- [4] R. Helbling: Ausbruch eines Gletschersees in den argentinischen Anden und aussergewöhnliche Gletscherschwankungen im allgemeinen. SBZ Bd. 115 (1940), H. 11, S. 121–128.
- [5] National Research Council of Canada: Papers presented at the Seminar on the Causes and Mechanics of Glacier Surges, St. Hilaire, Quebec, Canada, Sept. 10th–11th, 1968, and the Symposium on Surging Glaciers, Banff, Alberta, Canada, June 6th to 8th, 1968. "Canadian Journal of Earth Sciences" 6 (1969), No. 4, Pt. 2.
- [5a] M. F. Meier and A. Post: What are glacier surges? In [5], p. 807–817.
- [5b] W. O. Field: Current observations on the surges in Glacier Bay, Alaska, 1965–1968. In [5], p. 831–839.

Adresse der Verfasser: Dr. Hans Röthlisberger und Markus Aellen, Abteilung für Hydrologie und Glaziologie, Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, Voltastrasse 24, 8044 Zürich.

«Tatbestand Wohnen»

DK 728.004

Unter dem Eindruck der politischen Aktionen in neuerer Zeit wird man allgemein versucht sein, das Wohnproblem mit quantitativen Mitteln zu lösen, das heisst, in möglichst kurzer Zeit möglichst viele Wohnungen zu möglichst günstigen Preisen zu bauen. Man spricht heute meist vom Wohnbau, doch nicht vom Wohnen selbst.

Es ist nun aber fraglich, ob das Problem «Wohnen», das den Menschen und seine Bedürfnisse zum Mittelpunkt nimmt, auf rein quantitative Weise gelöst werden kann. Wer die heutigen Wohnbauten kritisch betrachtet, die kleinen Zimmer feststellt und die Einteilung des Raumes, die vom Architekten oft sehr willkürlich präjudiziert wird, kommt zum Schluss, dass dem Bewohner sehr wenig freie Entscheidung bleibt über die Art, wie er sich einrichtet. Eine Klärung der Lage tut not.

Angeichts der beängstigenden Tendenz, ein tiefgreifendes Problem mit Sofortmassnahmen lösen zu wollen, lässt es die *Architekturabteilung an der ETH Zürich* nicht bei der Warnung vor Gefahren bewenden, die dadurch dem «Wohnen» drohen. Sie betrachtet das Problem Wohnen vielmehr als eine ihrer besonderen künftigen Aufgaben. Zunächst gilt es für die Schule, gemeinsam mit den interessierten Wirtschaftszweigen und Behörden eine *Grundlage* zu erarbeiten.

In diesem Sinne hat die Abteilung für Architektur der ETHZ ihre Arbeit in einer Anfangsphase schon begonnen. Unter der Leitung von Prof. *Heinz Ronner* wurde der erste Schritt zu einer Bestandesaufnahme des «Wohnens» getan. Er erfolgte im Rahmen von zwei Seminarien, findet seinen Niederschlag in der Ausstellung «Tatbestand Wohnen» (im ETH-Provisorium Bahnhofbrücke/Bahnhofquai in Zürich