

# Glaziologische Beobachtungen am Grossen Aletschgletscher

Autor(en): **Kasser, P. / Haefeli, R.**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **70 (1952)**

Heft 35: **GEP 50. Generalversammlung Interlaken 1952**

PDF erstellt am: **23.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-59665>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Unser Beruf ist schön und stolz und voller Verantwortung. Verantwortungsvoll deshalb, weil ein Misslingen wohl in den meisten Fällen nicht nur grosse wirtschaftliche Werte,

sondern auch Menschenleben gefährdet. Aber gerade das Tragen einer grossen Verantwortung muss jeden rechten Kerl reizen und macht das Leben erst recht lebenswert!

## Glaziologische Beobachtungen am Grossen Aletschgletscher

DK 551.311.12 (494)

Von Dipl. Ing. P. KASSER und Prof. Dr. R. HAEFELI, Schweizerische Gletscher-Kommission der SNG und Versuchsanstalt für Wasserbau und Erdbau an der ETH, Zürich

### I. Einleitung

Die erste, vor etwa 100 Jahren erfolgte topographische Aufnahme des Grossen Aletschgletschers durch Ing. J. R. Stengel bildet einen Ausgangspunkt der exakten Beobachtung des mächtigsten Gletschers der Alpen. Dass diese aus dem Jahre 1851 stammende Karte den letzten bedeutenden Gletschervorstoss durch einige kotierte Punkte der Gletscheroberfläche festhält, erhöht noch ihren glaziologischen Wert. Bereits zehn Jahre früher wurde die Jungfrau, deren Erstersteigung auf das Jahr 1811 datiert wird, durch L. Agassiz und seine Mitarbeiter von Märjelen aus bestiegen — gleichsam als Symbol dafür, dass die von diesem überragenden Pionier der Glaziologie am Unteraargletscher durchgeführten Forschungen auch der Untersuchung des Aletschgletschers Weg und Ziele weisen sollten [1]. Eine Reihe glaziologischer Studien führen bis 1869 zurück, während die Möglichkeit zur systematischen Beobachtung der Firngebiete erst durch den Bau der Jungfrauabahn und der Hochalpinen Forschungsstation gegeben wurde. Anschliessend an die Arbeiten der Zürcher Gletscherkommission und eine aufschlussreiche Kampagne durch englische Glaziologen (1938) wurden die in der Reichweite des Jungfrauoches gelegenen Firngebiete seit 1941 kontinuierlich beobachtet. Im Zeichen des Abschlusses der ersten Dekade dieser seit 1944 unter der Aegide der Schweizerischen Gletscherkommission durchgeführten Arbeiten mögen einzelne der bisher behandelten Probleme und der dabei erzielten Teilergebnisse im Sinne einer kleinen Ergänzung einer früheren Publikation [2] beleuchtet werden.

Bei der Beurteilung aller glaziologischen Studien ist zu berücksichtigen, dass hier der Beobachter einem «Organismus» gegenübersteht, dessen Werden, Sein und Vergehen die klimatischen Veränderungen der Erde bedeutender Zeiträume widerspiegelt. Wohl vermag der menschliche Geist einen früheren Zustand, wie z. B. die Eiszeiten, auf Grund von Indizien zu rekonstruieren. Wohl erlaubt heute eine ungeahnte Entwicklung der technischen Hilfsmittel auch das Innere des Gletschers abzutasten und Zusammenhänge festzustellen, die den «Lebensrhythmus» der scheinbar erstarrten Eiswelt immer deutlicher offenbaren. Doch braucht es auch hier die Arbeit während Generationen, um zur Synthese vorzudringen, welche die im Gletscher waltende Weisheit der Schöpfung tiefer erfasst. Jene dem menschlichen Intellekt gesetzten Grenzen

gestatten ihm jedoch keine zuverlässige Voraussage der zukünftigen Veränderung der Gletscher auf lange Sicht.

### II. Probleme und Einzelergebnisse

Eine Wanderung vom Jungfrauoch nach der Belalp oder Riederalp führt die ganze Mannigfaltigkeit der glaziologischen Erscheinungen in ihrer natürlichen Entwicklung vor Augen, von denen einige nachstehend — nach Gebieten getrennt — besprochen werden (Bild 1). Man bedenke dabei, dass die unterhalb des Bergschrundes überschrittenen Firnschichten Jahrtausende benötigen, um die selbe Strecke in der Tiefe des Gletschers zurückzulegen und auf ihrem Wege jene Metamorphose vom Schneestern bis zum faustgrossen Gletscherkorn erleiden, die eines der Kernprobleme der Glaziologie bildet.

#### 1. Permafrostzone

Die Permafrostzone, deren Temperatur dauernd unter  $0^{\circ}\text{C}$  liegt [3], erstreckt sich, wie früher gezeigt wurde, vor allem auf jene Gebiete, die zwischen den zwei Bergschründen liegen, die die beiden Gratseiten flankieren. Damit umfasst diese Zone auch die Eiskalotte des Jungfrauoches, deren Querschnitt gleichsam ein sehr kleines Modell des grönländischen Inlandeises darstellt, sofern überhaupt ein solcher Vergleich erlaubt ist. Die grössten Eismächtigkeiten der hier gegenübergestellten Kalotten liegen in der Grössenordnung von 50 bzw. 3000 m (Grönland). Obschon auch die Temperaturverhältnisse da und dort grundsätzliche Unterschiede aufweisen und noch ungenügend erforscht sind, so bildet doch das Vorhandensein einer kalten Zone (Temperatur unter  $0^{\circ}\text{C}$ ) ein gemeinsames Merkmal [4].

Im kalten Gletscher besitzt nun das Eis ganz andere Eigenschaften als im temperierten, dessen Temperatur dem Druckschmelzpunkt entspricht; es ist nicht nur fester, sondern auch zäher, im Sinne von Newton. Dies macht sich z. B. beim Bau von Stollen, Schächten oder Kavernen deutlich bemerkbar, indem sich das Profil im temperierten Eis rascher verformt und dementsprechend häufiger nachgearbeitet werden muss als im kalten Eis. Um diese Tatsache zu illustrieren, ist in Bild 3 die Deformation zweier Kreisstollen, bezogen auf ein Jahr, aufgezeichnet. Das linke Profil (I), das in einem temperierten Gletscher in einer Tiefe von 43 m unter der Eisoberfläche ausgehoben wurde, zeigt im Laufe eines Jahres eine annähernd gleichmässige Kontraktion von rund 25 % des ursprünglichen Durchmessers [5], während das rechte, rd. 30 m unter der Eisoberfläche (Eistemperatur der Stollenwand etwa  $-2,6^{\circ}\text{C}$ ) in der kalten Kalotte des Jungfrauoches dank dem Entgegenkommen der PTT ausgehobene Kreisprofil, trotz seines grösseren Durchmessers, im Mittel eine 6 bis 7mal kleinere Verformungsgeschwindigkeit aufweist. Dass das Profil II dabei abgeplattet wurde und schliesslich eine Spalte im Scheitel entstand, ist hier von untergeordneter Bedeutung und eine Folge des lokalen Spannungszustandes (Zugzone). Bleibt die Kreisform des Profils erhalten, so kann aus der Kontraktionsgeschwindigkeit die Zähigkeit des Eises näherungsweise berechnet werden [5]. Wesentlich für die Gletscherbewegung im Firngebiet und insbesondere auch für die Bewegung des grönländischen Inlandeises ist der Umstand, dass schon eine verhältnismässig geringe Abkühlung des Eises unter  $0^{\circ}\text{C}$ , bzw. das Vorhandensein einer Permafrostzone im Eise oder im Firn genügt, um dessen Zähigkeit auf einen kleinen Bruchteil derjenigen des temperierten Gletschers oder Firnes zu reduzieren. Auch die Spaltenbildung wird dadurch massgebend beeinflusst.

#### 2. Firngebiet

Mit dem Betreten des Firngebietes gelangen wir aus der Permafrostzone auf den temperierten Gletscher. Trotzdem das Jahresmittel der Lufttemperatur auf 3400 m ü. Meer etwa  $-8^{\circ}\text{C}$  beträgt, liegt die Temperatur ungefähr 15 m unter der Gletscheroberfläche bereits zwischen  $-1$  und  $0^{\circ}\text{C}$ . In der Tiefe wird im gesamten Gebiet der Druckschmelzpunkt er-

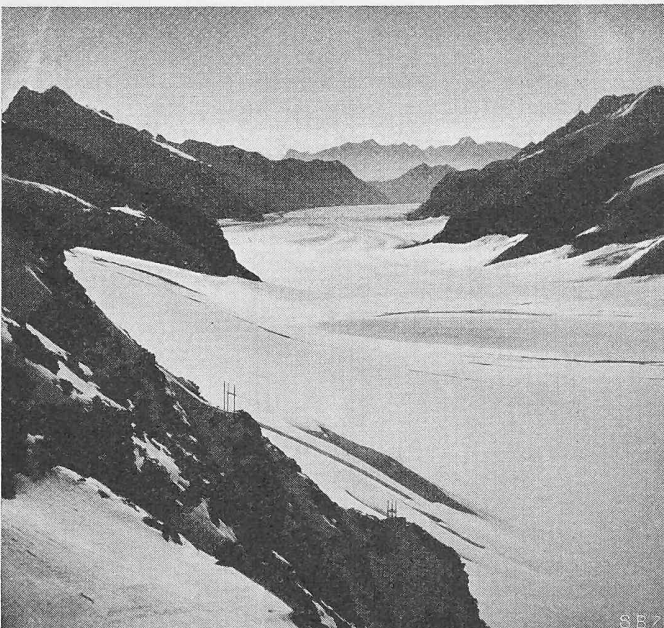


Bild 1. Blick von der hochalpinen Forschungsstation Jungfrauoch auf den Aletschgletscher, Photo P. Kasser, August 1946 um 23 Uhr (Mondschein)

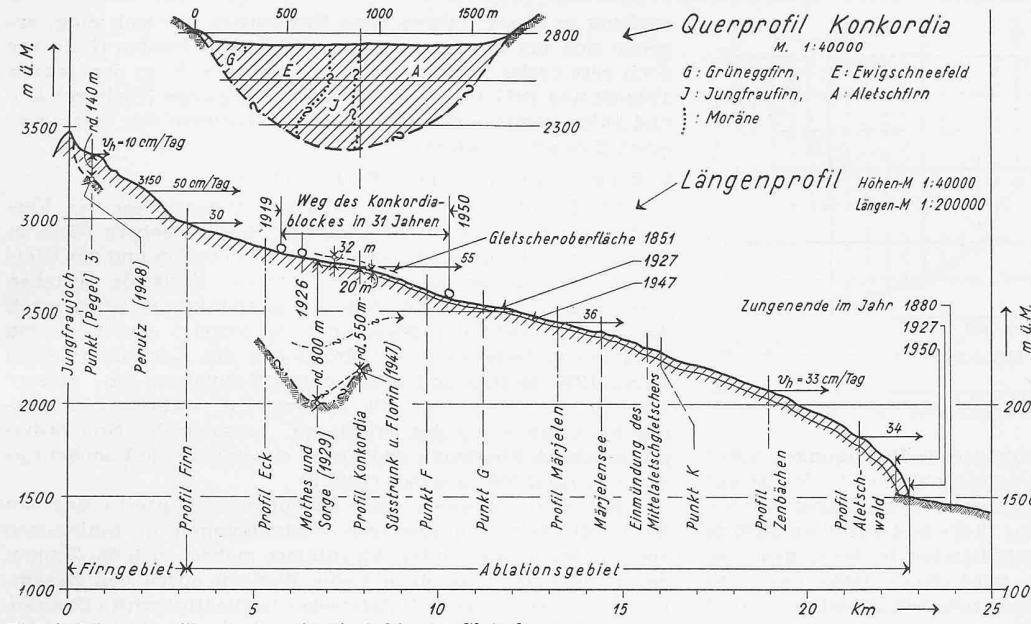
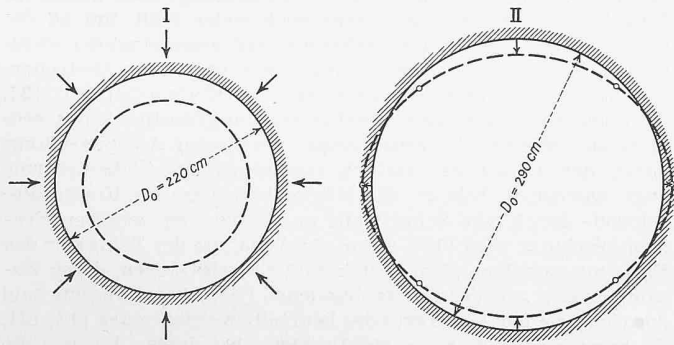


Bild 2. Längenprofil vom Jungfrauoch bis zur Gletscherzunge

reicht. Auf unserer Wanderung talwärts befinden wir uns vorerst im Firn- oder Nährgebiet, das sich vom Bergschrund bis zur Firnlinie erstreckt (Bild 2). Im kurzen Sommer wird die winterliche Schneedecke, die in den höchst gelegenen Teilen in einzelnen Jahren über 9 m mächtig werden kann, nicht mehr vollständig abgebaut (Bild 4). Im Herbst bleibt als Rest der Firnzuwachs zurück. Die Bewegung des Gletscherstromes sorgt dafür, dass die gesamte Firnmächtigkeit sich innert gewissen Grenzen hält. Bild 5 zeigt die kontinuierlichen Höhenänderungen der Firnoberfläche in den Jahren 1941 bis 1950 im optisch fixierten Punkt 3 des Jungfrauirnes (Bild 2). Vergleicht man für die neun Beobachtungsjahre die Oberflächen-



I. Ueberlagerungshöhe 43 m;  $D_0 = 220$  cm (Anfang), Eistemperatur rd.  $0^{\circ}$  (Druckschmelzpunkt). Messperiode 9. 8. 49 bis 2. 8. 50. Mittlere spez. Verkürzung des Durchmessers pro Tag 0,68%.

II. Ueberlagerungshöhe 30 m;  $D_0 = 290$  cm (Anfang), Eistemperatur rd.  $-2,6^{\circ}$  (Stollenwand). Messperiode 20. 2. 51 bis 13. 9. 51. Mittlere spez. Aenderung des Durchmessers pro Tag vertikal 0,26%, horizontal  $-0,16\%$ .

Bild 3. Verformung zweier Kreisstollen in einem temperierten Gletscher unter allseitigem Druck, während eines Jahres (Z'Muttgletscher, rd. 2400 m ü. M.). II. Verhalten eines Stollens in einer kalten Eiskalotte (Jungfrauoch) bei Extrapolation der Verformung auf ein Jahr (Zugzone).

koten im Herbst, dem Zeitpunkt der maximalen Ausaperung, so zeigt sich eine ständige, nur im Jahre 1947/48 unterbrochene Abnahme der Gletschermächtigkeit. Um die Höhe der Firnoberfläche in Punkt 3 zu erhalten, ist ein Firnzuwachs von mindestens 4,6 m erforderlich. Die Setzungskurven der Sommerschicht weisen auf die vertikal abwärts gerichtete Komponente der Oberflächengeschwindigkeit hin. Im Jahre 1941/42 wurde ein Eintauchwinkel der Stromlinien von rund  $9^{\circ}$  gemessen. Mittels wiederholter Klinometermessungen in einem verrohrten Bohrloch hat die englische Forschergruppe Penutz das Geschwindigkeitsprofil längs einer Vertikalen bei Pegel 3 gemessen und eine ähnliche Verteilung wie in einem Flusslauf mit dem Maximum in der oberflächennahen Zone gefunden [6]. Im Abschnitt «Zum Verlauf der Felssohle» soll noch darauf hingewiesen werden, dass der Stromstrich andernorts untertauchen kann. Die mittlere Oberflächengeschwindigkeit bei Punkt 3 beträgt etwa  $10$  cm/Tag<sup>1)</sup>. Talwärts nimmt sie bis zur Kote 3150 m zu, wo etwa  $50$  cm/Tag erreicht werden. Im Engpass zwischen Trugberg und Kranzberg, der Gegend der Firnlinie, wurden  $30$  cm/Tag beobachtet. Zum Wasserabfluss des Gletschertales liefert das Firngebiet nur im untersten Teil, zwischen der Wasserabflussgrenze, unterhalb der die Schneedecke das sommerliche Schmelzwasser nicht mehr vollständig zu speichern vermag, und der Firnlinie, einen nennenswerten Beitrag.

3. Firnlinie

Die Firnlinie, an der sich der winterliche Auftrag und der sommerliche Abtrag die Waage halten, liegt in den verschied-

1) Im Längenprofil des Gletschers (Bild 2) sind für einige Querschnitte die Horizontalkomponenten der maximalen Oberflächengeschwindigkeiten eingetragen. Diese Zahlen sind nicht streng miteinander vergleichbar und haben nur orientierenden Charakter, weil sie aus verschiedenen Messperioden stammen und die Geschwindigkeiten zeitlich erheblichen Schwankungen unterworfen sind.

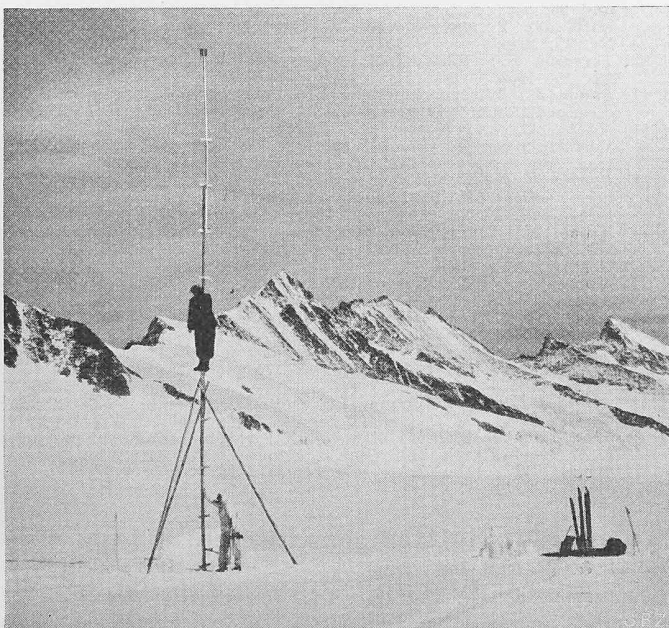


Bild 4. Montage eines Schneepegels im Ewigschneefeld. Photo P. Kasser, 7. Sept. 1950

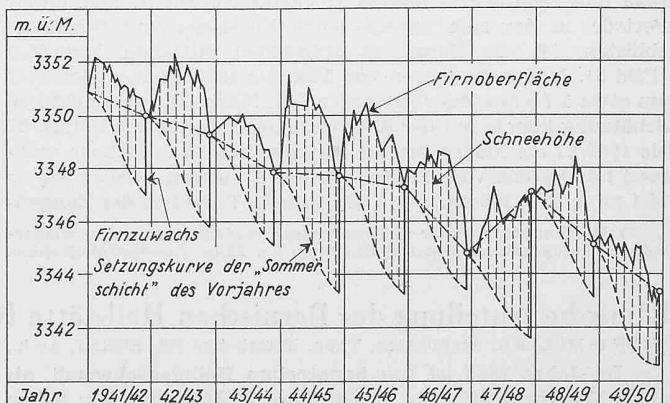


Bild 5. Kontinuierliche Höhenänderungen der Firnoberfläche im Punkt P 3 von 1941 bis 1950 (vgl. Bild 2)



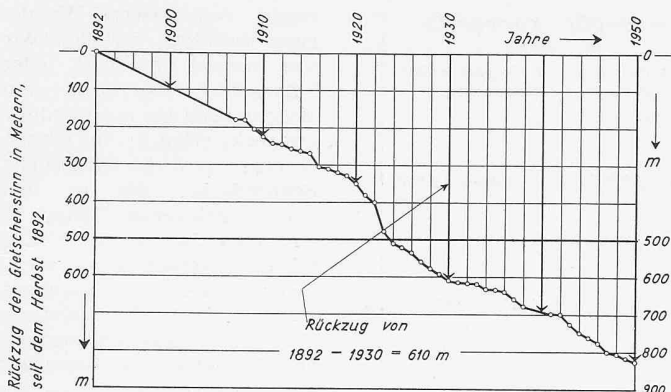


Bild 6. Zungenbewegungen des Aletschgletschers von 1892 bis 1950

denen Jahren je nach den meteorologischen Bedingungen höher oder tiefer. Am Aletschgletscher befindet sie sich im Mittel auf einer Höhe von etwa 2950 m ü. Meer, extreme Lagen wurden auf mindestens 3100 m (im Jahre 1947) und auf etwa 2830 m (1951) beobachtet. Da der Aletschgletscher in der Gegend der Firnlinie nur wenig geneigt ist, wird durch deren Lage das Flächenverhältnis des Nährgebietes zum Zehrgebiet und damit der Wasserhaushalt des Gletschers massgebend beeinflusst. Für die erwähnten Lagen schwankt der Anteil des Ablationsgebietes am Gesamtgletscher bei einem Mittelwert von 39% zwischen 52% und 30%.

#### 4. Ablationsgebiet

Unterhalb der Firnlinie nähern sich die den Jungfraufirn begrenzenden Moränen bis zum Ausfluss aus dem Konkordiaplatz von etwa 1,6 km auf 160 m, um im unteren Gebiet des Gletschers wieder zu divergieren (vgl. Landeskarte 1:50 000). Dies deutet auf die in Bild 2 im Konkordiaquerschnitt schematisch dargestellte Birnenform des Jungfraufirnes hin. Der auf der rechtsufrigen Jungfraufirnmoräne (Kranzbergmoräne), durch welche das Längenprofil (Bild 2) gelegt wurde, abgewanderte Konkordiablock hat in 31 Jahren einen Weg von rund 4,5 km mit einer mittleren Geschwindigkeit von etwa 40 cm/Tag zurückgelegt. Die maximale Oberflächengeschwindigkeit nimmt vom Konkordiaplatz von etwa 55 cm/Tag bis zum Profil Märjelen auf ungefähr 36 cm/Tag ab, um sich nachher bis in das untere Zungengebiet (Profil Aletschwald) nur noch wenig zu verändern. Die Frage, inwieweit hier ein Gleiten des Gletschers auf seiner Unterlage stattfindet, kann erst nach Bestimmung der Eismächtigkeiten entschieden werden.

Was die Ablation anbetrifft, besteht nach den bisherigen Beobachtungen vorläufig kein Grund, als grobe Näherung von der einfachsten Annahme einer linearen Zunahme mit der Höhendifferenz gegenüber der Firnlinie abzugehen [2]. Dabei ist klar, dass lokale Einflüsse, wie Verschmutzung des Eises, Schuttbedeckung, Exposition, Horizontabschirmung usw., eine ausschlaggebende Rolle spielen. Im Sommer 1951 wurden beispielsweise am Aletschgletscher folgende Ablationen gemessen: Konkordiaplatz (2720 m ü. M.) 1,24 m, Punkt F (2600) 2,43 m, Punkt G (2500) 2,47 m, Profil Märjelen (2400) 4,74 m, Punkt K (2250) 7,50 m, und im Profil Zenbächen (2020) mehr als 7,75 m [7].

Der Aletschgletscher hat im 19. Jahrhundert zwischen 1835 und 1860 seinen letzten Hochstand erreicht. Seit dieser Periode, in der sich unbedeutende Vorstösse und Rückzüge ablösten, ist die Zunge in ständigem Rückzug begriffen (Bild 6). In den 70 Jahren von 1880 bis 1950 ist der Gletscher um etwa 1,7 km kürzer geworden [8]. Nach einer vorsichtigen Schätzung könnte mit der Schwundmasse<sup>2)</sup> der Periode 1926/27 bis 1946/47 die Masse bei der Einmündung in die Rhone während mindestens vier Jahren normal gespiesen werden ( $Q = 14,1 \text{ m}^3/\text{s}$ ,  $E = 205 \text{ km}^2$ ,  $q = 69 \text{ l/s km}^2$ ). Trotzdem der Zungen-

<sup>2)</sup> Die Kenntnis dieser Schwundmasse verdanken wir den wiederholten photogrammetrischen Aufnahmen der Eidg. Landestopographie.

rückzug in diesen Jahren ohne Unterbruch vor sich ging, ergeben sich aus den Jahresbilanzen für den gesamten Gletscher doch vereinzelte Rücklagejahre. So haben z. B. in den Jahren 1939/40 und 1947/48, die sich beide durch grosse Niederschläge und kühle Sommer auszeichneten, die Reserven des Gletschers einen Zuwachs erfahren.

#### 5. Zum Verlauf der Felssohle

Die Ermittlung der Eistiefen und insbesondere des Verlaufes der Felssohle im Längenprofil des Gletschers (Bild 2) ist im Hinblick auf die Fragen der Glazialerosion und der Gletscherbewegung von besonderem Interesse. Vorläufig bestehen diesbezüglich nur sehr spärliche Anhaltspunkte. So wurde nach den bereits erwähnten Messungen bei Pegel 3 eine Tiefe von rund 140 m festgestellt [6]. Im Gebiet des Konkordiaplatzes haben 1929 Mothes und Sorge durch Echolotung eine grösste Eistiefe von mindestens 800 m ermittelt, während die seismische Ausmessung des Profils am Ausgang des Konkordiaplatzes durch Süssstrunk und Florin eine maximale Eismächtigkeit von rund 550 m ergab (Bild 2).

Mit dem Nachweis einer bedeutenden Hintertiefung am Konkordiaplatz und analogen Feststellungen in zahlreichen von Gletschern geformten Alpentälern mehrten sich die Zeugen dafür, dass das Aushobeln tiefer Wannen durch den Zusammenfluss verschiedener Teilgletscher begünstigt wird (Urseren, Göschenalp usw.) [9]. Das Problem der lokal verstärkten Glazialerosion ist jedoch derart weitschichtig, dass selbst im Einzelfall des Konkordiabekens noch vieles fehlt, um all die verschiedenen Einflüsse zu erkennen und gegeneinander abzuwägen. Die erfolgte Feststellung eines unter der Gletscheroberfläche liegenden Stromstriches im Konkordiaplatz [2], die stärkere Besetzung der Sohle des Jungfraufirnes mit erodierender Moräne als Folge seiner vertikalen Ausquetschung, durch den Druck der seitlich einströmenden Gletscherarme (vgl. Querprofil Bild 2), die Möglichkeit, dass die Konkordiaschwelle durch eine Scherfläche im Eis vor der weiteren Erosion geschützt wird [10], sowie die Abnahme der Zähigkeit des Eises mit zunehmendem Druck sind Einzelfaktoren, deren Zusammenspiel mit der reliefgebundenen Gletscherbewegung und der Geologie des Untergrundes beurteilt werden muss [11, 12]. Es handelt sich hier um ein Problem, bei dessen Lösung die Untersuchung eines einzelnen Gletschers nur einen Baustein liefern kann. Geht es doch um jenes Geheimnis, das der Formung des Stufencharakters gewisser Talläufe und der Rundhöckerlandschaft zu Grunde liegt, d. h. jener morphologischen Elemente, die den reizvollen Charakter unserer Alpentäler ausmachen und vielleicht auch in die Entstehung der Alpenrandseen hineinspielen.

#### Literaturverzeichnis

- [ 1 ] Desor E.: Excursions et séjours dans les glaciers et les hautes régions des Alpes, de L. Agassiz et de ses compagnons de voyage. Neuchâtel et Paris, 1844.
- [ 2 ] Haejeli R. und Kasser P.: Beobachtungen im Firn- und Ablationsgebiet des grossen Aletschgletschers. SBZ 1948, Nr. 35 und 36. Mitt. der Versuchsanstalt f. Wasserbau und Erdbau, ETH, Nr. 15, 1948.
- [ 3 ] Terzaghi K.: Permafrost, «Harvard Soil Mechanics», Series No. 37, 1952.
- [ 4 ] Bauer A.: Wissenschaftliche Ergebnisse der französischen Polar-Expeditionen «Naturwissenschaftliche Rundschau» H. 1, 1952.
- [ 5 ] Haejeli R. und Kasser P.: Geschwindigkeitsverhältnisse und Verformungen in einem Eisstollen des Zmuttgletschers. Beitrag zum Kongress der UGGI in Brüssel, 1951.
- [ 6 ] Perutz M. F.: Direct measurements of the velocity distribution in a vertical profile through a glacier. «The Journal of Glaciology», vol. I, No. 7, March 1950.
- [ 7 ] Kasser P.: Ein leichter thermischer Eisbohrer zur Einrichtung von Ablationsmessungen auf Gletschern. «Verh. d. Schweiz. Naturf. Ges.», 1951.
- [ 8 ] Mercanton P. L.: Les variations périodiques des glaciers des Alpes suisses. «Die Alpen» 1925 bis 1951.
- [ 9 ] Kiebersberg R. v.: Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. I und II, Wien, 1948.
- [ 10 ] Nye J. F.: The flow of glaciers and ice sheets as a problem in plasticity. «Proceedings of the Royal Society», A, vol. 207, 1951.
- [ 11 ] Aurada F.: Reliefgebundene Gletscherdynamik. «Mitt. der Geogr. Ges.», Bd. 92, H. 10 bis 12, Wien 1950.
- [ 12 ] Streiff-Becker R.: Probleme der Firnschichtung. «Zeitschrift f. Gletscherkunde und Glazialgeologie», Bd. II, H. 1. Innsbruck 1952.

## Klinische Abteilung der Bernischen Heilstätte für Tuberkulose in Heiligenschwendli DK 725.592 (494.24)

WIPF & MÜLLER, Architekten, Thun, Mitarbeiter HS. BÜRKI, Arch., THEILER & CO., Dipl. Ing., Thun.

Hierzu Tafeln 31 bis 34

Im Jahre 1895 ist das Sanatorium Heiligenschwendli als erste Volksheilstätte für Tuberkulose eröffnet worden. Schon zu dieser Zeit dachte man an eine Erweiterung. Die 1897 ausgeführte Vergrößerung brachte dann eine symmetrische

Gruppierung der Gebäude. Auch die Organisation des Betriebes entsprach der äusseren Symmetrie. Im Zentralgebäude waren die Räume für Arzt und Verwaltung untergebracht, sowie Küche, Speise- und Aufenthaltsräume usw. 1903 ist im Osten