

Zeitschrift: (Der) Schweizer Geograph = (Le) géographe suisse
Band: 21 (1944)
Heft: 4

Artikel: Neuere Ergebnisse der Gletscherforschung
Autor: Nussbaum, F.
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-18881>

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: 17.05.2025

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

DER SCHWEIZER GEOGRAPH LE GÉOGRAPHE SUISSE

ZEITSCHRIFT DES VEREINS SCHWEIZ. GEOGRAPHIE-LEHRER
SOWIE DER GEOGRAPHISCHEN GESELLSCHAFTEN VON
BERN, BASEL, ST. GALLEN UND ZÜRICH

REDAKTION: PROF. DR. FRITZ NUSSBAUM, ZOLLIKOFEN BEI BERN

VERLAG: KÜMMERLY & FREY AG., GEOGRAPHISCHER VERLAG, BERN

ABONNEMENT: JÄHRLICH 6 HEFTE, FR. 5.—

INHALT: Neuere Ergebnisse der Gletscherforschung. — London vor dem Kriege. — Die Goldführung des Meerwassers. — Reisebilder aus Venezuela. — Jahresversammlung des Vereins Schweiz. Geographielehrer. — Buchbesprechungen.

Neuere Ergebnisse der Gletscherforschung.

von F. Nussbaum.

II.

In meinem ersten Aufsatz über dieses Thema, der in dieser Zeitschrift, Heft 5, 1943, erschien und in dem hauptsächlich von dem neuen Werk über Gletscherkunde von Prof. Drygalski und F. Machatschek die Rede war, ist auch auf neuere Arbeiten und Untersuchungen an Gletschern der Schweizeralpen hingewiesen worden. Im Hinblick auf die Bedeutung, welche diesen Forschungen für die Gletscherkunde zukommt, sollen in der vorliegenden Abhandlung die einschlägigen Arbeiten und Ergebnisse kurz besprochen werden.

Vorerst sei hervorgehoben, dass es eine Reihe von Institutionen gibt, die in unserem Lande Gletscherforschungen veranlassten, ausführen oder unterstützen. In erster Linie sei hier der Schweizerische Alpenklub genannt, unter dessen Ägide, in Verbindung mit der Eidg. Landestopographie, s. Zeit die bekannten Vermessungen am Rhonegletscher ausgeführt worden sind, und der sich noch heute durch Publikation der Berichte über die jährlichen Gletscherbeobachtungen an diesen Forschungen beteiligt. Sodann die Gletscherkommission der Schweiz. Naturforschenden Gesellschaft, deren Mitglieder an diesen Beobachtungen aktiv teilnehmen. Es besteht ferner eine aus der Physikalischen Gesellschaft Zürich hervorgegangene private «Zürcher Gletscherkommission», die in den Herren Dr. R. Streiff-Becker, Dr. R. Billwiller u. a. in der Gletscherforschung besonders tätige Mitglieder besitzt; ihre Arbeiten werden regelmässig in der Vierteljahresschrift der Zürcher Naturforschenden Gesellschaft veröffentlicht. Seit Jahrzehnten hat sich auch die Schweiz. Meteorologische Zentralanstalt mit der Messung von Schneefällen in den Firngebieten mehrerer Gletscher abgegeben. Als sehr geeignet für spezielle Firn- und Gletscherstudien

hat sich in jüngster Zeit das Forschungsinstitut Jungfrauoch erwiesen. Ueberdies führen die Bernischen Kraftwerke Oberhasli seit Jahren auf den beiden Aargletschern regelmässige und systematische Messungen und Beobachtungen durch, die der Gletscherkommission übermittelt werden. Schliesslich seien noch das Lawinenforschungsinstitut der Schweiz. Schnee- und Lawinenforschungskommission auf dem Weissfluhjoch und verschiedene hochgelegene Skisportorte wie Parsenn u. a. genannt, die wertvolle Beiträge zur Kenntnis der jeweiligen Schnee-verhältnisse liefern.

Entsprechend der grossen Anzahl von Berichten über Beobachtungen und Messungen an Gletschern und ihren Firngebieten, die seit Jahrzehnten alljährlich einlaufen, sowie an theoretischen Erörterungen, die von verschiedenen Autoren über einzelne Probleme der Gletscherforschung geäussert worden sind, hat sich bis zur Stunde ein sehr umfangreiches Material seit der Abfassung der Heim'schen Gletscherkunde angesammelt, das noch der Bearbeitung harret. Da ist es zu begrüssen, dass vereinzelt zusammenfassende Darstellungen über die Gletscher aus fachmännischer Feder vorliegen, nämlich von Dr. Streiff-Becker (Lit. 22, 26), W. Flaig (Lit. 4) und von Dr. W. Jost (Lit. 7).

Im folgenden soll von den speziellen neueren Untersuchungen an Gletschern der Schweizeralpen die Rede sein.

Beobachtungen in Firngebieten.

Schon vor 50 Jahren sind Beobachtungen über die Schneeverhältnisse in den Firngebieten der Alpengletscher gemacht und gesammelt worden. Sie beruhten aber in der Regel mehr auf gelegentlichen und persönlichen Wahrnehmungen, denen keine sehr grosse sachliche Bewertung zukam. Seit 1900 sind nun durch die Gletscherkommission der S. N. G. an einigen Orten Nivometer aufgestellt worden, die regelmässig abgelesen werden, so bei der Cabane d'Orny in 3119 m Höhe, auf der Diablerets in 3030 m und am Eiger in 3100 m. Diese Messeinrichtungen wurden seither durch die erwähnte Kommission in Verbindung mit der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt durch eine grössere Anzahl von Totalisatoren ergänzt, denen an einigen Orten noch Boyen (Messstangen) beigefügt wurden. Sodann machte man mit Erfolg Versuche, durch Anbringung von Ocker die absolute Mächtigkeit von Schneeschichten zu bestimmen. So gelangte man binnen kurzem in den Besitz von zahlreichem verwertbarem Beobachtungsmaterial, das sowohl im Jahrbuch des S. A. C., wie in der Zeitschrift der Zürcher Naturforschenden Gesellschaft und teilweise auch in den Annalen der Schweiz. Meteorologischen Zentralanstalt publiziert wurde (s. Lit 1, 14).

Ganz allgemein konnte festgestellt werden, dass sich die bedeutenden winterlichen Schneefälle erst in den Monaten Februar, März und April ereignen, während die Monate Dezember und Januar in der Regel sehr kalt und niederschlagsarm sind.

In den beiden Sommermonaten Juli und August setzt sodann eine besonders lebhaftere Ablation ein, sodass nicht selten auch in grosser Höhe, weit oberhalb der klimatischen Schneegrenze, mehr Schnee abschmilzt, als dort im vorhergehenden Winter und Frühjahr gefallen ist. So erfahren wir, dass beispielsweise im Sommer 1932 eine sehr starke Ablation erfolgte, indem nach den Ablesungen Ende August am Nivometer am Eiger in 3100 m 23 m Schnee abschmolzen, während vorher nur 14 m gefallen waren; auf den Diablerets schmolzen 8,5 m von 4 m gefallenem Schnee ab. Auch der Sommer 1934 war sehr warm und verursachte ebenfalls in vielen Firngebieten einen starken Firnschwund.

Herrn Dr. Streiff-Becker gelang es, die während 20 Jahren am Claridenfirn durchgeführten Feststellungen über Firnzuwachs und Ablation in instruktiver Weise mit den entsprechenden meteorologischen Verhältnissen der 2500 m hoch gelegenen Station Säntis in Zusammenhang zu bringen und namentlich darzulegen, dass die jeweiligen über 50 ausmachenden, hohen Mitteltemperaturen der Sommermonate mit den starken Ablationsvorgängen zusammenfallen. Ausser den bereits genannten waren auch die Jahre 1921 und 1928 durch bedeutenden Firnschwund gekennzeichnet, sodass danach fast jedes 5. oder 6. Jahr ein starkes Hinaufrücken der lokalen Schneegrenze eingetreten ist (Lit. 24, 25).

Auf dem Claridenfirn wie auf dem grossen Aletschgletscher wurden sodann genaue Untersuchungen über die Beschaffenheit des Firms durchgeführt; sie bezogen sich sowohl auf die Struktur, wie auch auf die Mächtigkeit, die Lagerung und die Veränderung des spezifischen Gewichtes der einzelnen Schichten, deren Erforschung stellenweise bis auf 15 m Tiefe gelang. Es wurde festgestellt, dass sich der anfänglich lockere, pulverige Schnee sehr rasch verändert, sich verfestigt, körnig wird oder lagenmässig stark vereist. Die oben vorhandene Dichte von 0,5 nimmt, wie Dr. Streiff ausführte, rasch nach unten zu, und schon in 4—6 m Tiefe beträgt sie 0,5 bis 0,7. Durch einsickerndes und wieder-gefrierendes Schmelzwasser entstehen teils ganze Lagen von Hartschnee, der reichlich aus Eis besteht, teils Eiskörner, deren Grösse und Form sich unter dem Druck der darüberliegenden Schichten allmählich verändern; insbesondere nimmt mit der Tiefe ihre Grösse rasch zu; betrug dieselbe in den obersten 30—80 cm nur 1—2 mm, so war ihre Grösse in 3 m Tiefe bei ca. 12 Jahre alten Schichten bereits auf 4—5 mm angewachsen. Mit grosser Deutlichkeit konnte Dr. Streiff erkennen, dass die Firnschichten nicht einfach «Jahresschichten» sind, wie vielfach noch angenommen wurde, sondern dass sie je nach Jahreszeiten und dem Wechsel von Niederschlags- und Ablationsperioden ein verschiedenes Aussehen erhalten; so ist nachweisbar, dass dunkle, staubführende und stark vereiste Schichten mehrheitlich in der wärmeren Jahreszeit entstanden sind, während die eigentlichen Winterschichten sich durch grössere Reinheit und höheren Gehalt an Luft auszeichnen und daher eine hellere Farbe besitzen.

Zu ähnlichen Folgerungen und Ergebnissen ist auch G. Seligman für die Firnbildung auf dem Grossen Aletschgletscher gelangt, wo die Kornbildung mit der Tiefe in der Masse vor sich geht, wie die Luftblasen und -kanäle im Firn und Eis verschwinden (Lit. 21). Seligman kam zu den folgenden Definitionen über Firn und Gletschereis: Firn ist Schnee, der körnig und kompakt geworden, jedoch von kommunizierenden Luftkanälen durchsetzt und daher wasserdurchlässig ist. Gletschereis ist wasserundurchlässig; etwa noch vorhandene Luft befindet sich in abgeschlossenen Hohlräumen. Der Uebergang von Firn zu Gletschereis, der durch das Wiedergefrieren von Schmelzwasser und das Setzen des Firnes bewirkt wird, vollzieht sich mit auffallender Regelmässigkeit bei einer Dichte von 0,80 bis 0,84.

In Verbindung mit Messungen von Schmelzwasserbewegungen im Firn wurde festgestellt, dass sich die winterlichen tiefen Temperaturen bis auf 15 m Tiefe bemerkbar machen, dass aber unterhalb dieser Tiefe das ganze Jahr hindurch Temperaturen um 0°C herrschen. Mit zunehmender Lufttemperatur im Frühjahr und Sommer sickert Schmelzwasser ein, das in den kalten, tieferen Schichten wieder gefriert, wodurch latente Wärme frei wird.

Weitere Versuche haben gezeigt, dass die Verfestigung des Firns durch fortgesetztes Gleiten und Rotieren von Kristallen und Aggregaten zustande kommt, bis die Kristalle dicht gepackt sind.

Ueber die Bewegung des Firns wurden ebenfalls beachtenswerte Beobachtungen gemacht. Nach Dr. Streiff wurde auf dem Claridentfirn im Winter 1933 und 1934 eine raschere Bewegung festgestellt als im Sommer, was sich aus der grösseren winterlichen Belastung erklären lässt. Sodann konnten dort wellenartige Bewegungen des Firns, sog. Firnwellen, beobachtet werden, deren Erscheinung ebenfalls als Folge der Neubelastung durch grosse Schneefälle bei gleichzeitiger Entlastung im unteren Teil des Gletschers gedeutet wurde.

Mittelst Stahlmarken stellte G. Seligman fest, dass im Firngebiet die Bewegung von Kristallaggregaten sowie von Einzelkristallen, keineswegs aber von Schichten mit einiger Ausdehnung getragen wird.

Zur Struktur der Gletscherzunge.

Bekanntlich weist das Eis der Gletscherzunge eine deutlich wahrnehmbare geschichtete Struktur auf, die bald als Bänderung, bald als Blaublätterstruktur und bald als Schmutzbänderung auftritt und die namentlich bei grossen, zusammengesetzten Gletschern tatsächlich recht verwickelt erscheint. Daher sind auch über die Entstehung dieser Strukturformen verschiedene Erklärungen abgegeben worden. Erst bei kleinen, einfachen Gletschern erkennt man, dass die regelmässige, den ganzen Gletscherkörper durchsetzende Struktur nichts anders ist als eine Art Schichtung, die aus den im Firngebiet gefallenen jahreszeitlichen

Niederschlägen entstanden ist, wobei infolge des anhaltenden und zunehmenden Druckes jene Firnschichten zu Eisschichten werden und an Dicke rasch abnehmen. Dabei bleiben aber gewisse ursprüngliche Eigenschaften, die im Firn als Hartschichten, als Staublagen u. a. auftreten, auch in der Gletscherzunge mehr oder weniger deutlich erhalten.

Dieser Zusammenhang von Firnschichtung und Schichtung der Gletscherzunge wird auch von R. Streiff-Becker angenommen und in mehreren Figuren zum Ausdruck gebracht. Eigentümlich ist jedoch seine Darstellung eines schematischen Längsschnittes durch einen Gletscher (Lit. 25). Nach bisheriger allgemeiner Auffassung reichen in der Regel die obersten Firnschichten in ziemlich flacher Lagerung bis zur sogenannten Firn- oder Schneegrenze hinab; unterhalb derselben treten dann die Gletscherschichten hervor, die mehr und mehr eine schiefe Stellung einnehmen, indem sie bergwärts einfallen und wobei sie regelmässig an Länge abnehmen, da sie an ihrem oberen Ende infolge Ablation jedes Jahr kürzer werden. Die den untersten Teil der Gletscherzungen bildenden Schichten sind deshalb auch die kürzesten. Dies wird grundsätzlich von Dr. Streiff auch so dargestellt; dagegen lässt dieser Forscher die flachen Firnschichten weit oberhalb der Firngrenze enden, und bei dieser selbst sind die z. T. ganz kurz gezeichneten Schichten vertikal gestellt, worauf sie mit erst wieder zunehmender Länge in der Zunge eine schiefe Lage erhalten. Es ist sicher verdienstlich, ein genaues Längsprofil eines Gletschers aufzunehmen und wiederzugeben, und es ist denkbar, dass das von Dr. Streiff gezeichnete Profil dem Längsschnitt eines bestimmten Gletschers zu einer bestimmten Zeit entspricht. Aber es ist kaum anzunehmen, dass es sich um einen Längsschnitt des Gletschers überhaupt handeln kann, schon aus dem Grunde, weil hier das Firngebiet, wo Akkumulation vorherrscht, im Verhältnis zum ganzen Gletscher viel zu klein, das Abschmelzgebiet aber viel zu gross dargestellt sind. Offenbar gibt die Zeichnung einen bestimmten Gletscher zur Zeit einer aussergewöhnlich starken Ablation wieder, in welcher vorübergehend die lokale Schneegrenze weit über ihre bisherige mittlere Lage hinaufgerückt war; in diesem Falle wäre eine entsprechende nähere Bezeichnung zur Figur am Platze gewesen.

Dass ausser der regelmässigen Schichtung oder Bänderung in der Gletscherzunge noch andere Strukturformen auftreten, ist eine bekannte Tatsache und bereits von Alb. Heim in seinem Handbuch der Gletscherkunde ausführlich dargestellt worden. Es liegt auf der Hand, dass ihre Entstehung zur Hauptsache auch im Firngebiet zu suchen ist. So führt auch R. Streiff aus, dass im Firnbecken entstandene Spalten häufig von Schnee oder Wasser erfüllt und zusammengequetscht werden. Auf diese Weise entstehen Bänderungen (weisse oder blaue Bänder), welche den Eiskörper in ganz verschiedenen Richtungen durchlaufen (Lit. 25).



Abb 1. Die Ogivenzonen des Grossen Aletschglatschers.
(Nach photographischen Aufnahmen gezeichnet von F. Nussbaum.)

Bekannt sind sodann die sog. Reid'schen Kämme, die auf Talgletschern meist gut entwickelt sind und gelegentlich kilometerweit parallel zueinander verlaufen; es wird auch als Pflugfurcheneis bezeichnet; seine Bildung wird mit der den Gletschern eigenartigen Struktur und der Bewegung in Zusammenhang gebracht.

Eine Folge der Bewegung und der Profilgestaltung der Gletscherzunge ist die sog. Löffelstruktur, indem die Schichten oder Bänder nicht nur in der Gletschermitte bergwärts einfallen, sondern auch an den Rändern jedes einzelnen Gletscherstromes steil stehen; solche Tatsachen sind bereits von L. Agassiz und A. Heim festgestellt worden.

Nicht selten zeichnet sich diese Löffelstruktur auf der Oberfläche von Gletscherzungen durch sich zuspitzende Schmutzbänder oder Ogiven aus. Der Verfasser hat 1929 die Erscheinung dieser Ogiven, die bereits den Männern der klassischen Gletscherforschung bekannt war, erneut betrachtet und ihre Entstehung, im Gegensatz zu Forbes, Tyndall, Heim u. a., welche diese Schmutzbänder auf Wulstbildungen am Fusse von Gletscherstürzen zurückführen wollen, in ursächlichen Zusammenhang mit der Firnschichtung gebracht (Lit. 17, 18, 19). Wie dort gelegentlich durch zeitweise starke Ablation dünnere eisreiche Hartschichten und mit Staub bedeckte, dunkle Firnschichten entstehen,

die dann wieder mit dickeren, luftreichen, weissen Schichten der winterlichen Schneefälle abwechseln, so tritt uns bei den meisten Gletschern an der Zunge das Bild abwechselnd heller und dunkler Bänder und Schichten entgegen, das dort besonders eindrucksvoll erscheint, wo infolge der Bewegung auf der Gletscherzunge diese Bänderung als sog. Schmutzbänderung auftritt. Dies kommt bekanntlich am Mer de Glace sowie am Triftgletscher im Berner Oberland in auffallender Weise vor. Wo Gletscher aus mehreren Firnmulden hervorgehen, entstehen entsprechend viele Ogivensysteme; dies ist beispielsweise auf dem Grossen Aletschgletscher der Fall (s. Abbildung 1).

Die vom Verfasser geäusserte Meinung, dass diese dunklen, spitzbogig ausgezogenen Bänder jeweilen den sommerlichen Schichten des Firngebietes entsprechen, sodass man nach ihrer Anzahl auf die entsprechende Anzahl Jahre der Gletscherzunge schliessen darf, ist nun kürzlich durch die pollenanalytischen Untersuchungen von V. Vareschi bestätigt worden (Lit. 28, 29, 30). Dieser Forscher hat insbesondere den Grossen Aletschgletscher sowohl im Firngebiet wie auch auf der Zunge, südlich des Konkordiaplatzes nach Blütenpollen untersucht und ist dabei zu sehr bemerkenswerten Ergebnissen gelangt. Er stellte fest, dass im Firngebiet während den warmen Jahreszeiten ein eigentlicher Pollenregen auf die jeweilen obersten Schnee- und Firnschichten niedergeht, die sodann von mächtigeren pollenleeren Winterschneeschichten überdeckt werden.

Dieser Wechsel von pollenreichen und pollenarmen Schichten tritt uns nun auch auf der Gletscherzunge mit aller Deutlichkeit in den verschiedenen Ogivensystemen entgegen. Entsprechend der Verbreitung der einzelnen Blütenarten vermochte Vareschi auch hier Frühlings-, Sommer- und Herbstschichten der ursprünglichen Firnbildungen zu unterscheiden; und er gelangt somit ebenfalls zur Auffassung, dass die Bildung der Ogiven oder Schmutzbänder in ursprünglichem Zusammenhang mit der Firnschichtung steht. So sagt er: «Die zuerst von Tyn-dall, später von Heim und Sherzer besprochene Auffassung, dass Ogiven dadurch entstünden, dass der Bruch nach unten zu in ein System von Wülsten und Querrinnen übergeht, in denen sich die Staubmassen sammelten, die später als Ogiven erscheinen, ist also unrichtig» (Lit. 30, p. 103).

Es sei noch darauf hingewiesen, dass sich solche Ogiven auch auf mehreren Gletschern nachweisen lassen, die bisher nicht genannt worden sind, so z. B. auf dem Zwillingsgletscher und dem Schwärzegletscher, wie sich aus der Karte des Gornergletschergebietes im Gletscherbuch von W. Flaig ergibt; ferner auf dem Rhonegletscher, wie ebenfalls eine schöne Karte zeigt, die von Dr. W. Jost publiziert worden ist (Lit. 6). Hier handelt es sich um Ogiven, die durchaus nicht mit einem Gletschersturz in Verbindung gebracht werden können, da ein solcher oberhalb der Ogivenzone, die sich vom « Sumpf » bis nahe zum gelben Profil hinzieht, fehlt und erst weiter abwärts folgt.



Abb. 2. Die Zunge des Triftgletschers im Berner Oberland, mit Ogiven und gestreiften Seitenmoränen. (Nach Photogr. von H. Mettler.)

Dass jedoch über die Bildung der Ogiven das letzte Wort noch nicht gesprochen ist, beweist die Darstellung von Dr. R. Streiff-Becker aus dem Jahre 1943 (Lit. 27). Hier zeigt er an der Abb. 20 den Gletschersturz des Triftgletschers mit den unterhalb des Sturzes vorkommenden Ogiven, die der genannte Autor als Druckwellen infolge des durch den Sturz ausgeübten Druckes erklärt. « Es werden, sagt er, hier die oberen starren Eisschichten gestaucht und durch den Fluss der plastischen Tiefenschicht zur Faltung (Ondulierung) gezwungen. Weil das Eis in der Strommitte schneller fliesst als an den Rändern, entstehen die bekannten talwärts konvexgebogenen dunklen Bänder, welche wir Ogiven nennen ».

Den gleichen Standpunkt nimmt auch W. Flaig ein, der in seinem Gletscherbuch ebenfalls eine Abbildung des Triftgletschers bringt.

Das Problem der Ogivenbildung im Zusammenhang mit Druckwülsten unterhalb eines Gletschersturzes bedarf offenbar näherer Untersuchungen. Der Verfasser hat vor einiger Zeit auf dem Triftgletscher Beobachtungen gemacht, die ihn zur Auffassung brachten, dass es sich auch hier bei den genannten bogenförmigen Schmutzbändern um Bildungen handelt, die in engster Beziehung zur Gletscherstruktur stehen. Aber es ist denkbar, dass die Bildung von Druckwülsten am Fusse von Gletscherstürzen in Zusammenhang mit der Schichtung des Gletschers steht und möglicherweise Laminarbewegungen bewirkt, die dort erst

quer zum Gletscher verlaufenden Oberflächenformen hervorrufen, welche weiter talabwärts infolge der Fliessvorgänge bogenförmige Gestalt annehmen (s. Abbildung 2).

Es kann beigefügt werden, dass die Erscheinung der Schmutzbänder auf den Gletschern nicht nur durch Struktur und Bewegungsvorgänge bedingt ist, sondern auch durch die an der Gletscheroberfläche eintretende Abschmelzung. Durch diese werden immer mehr Teile der unterhalb der Firn- oder Schneegrenze austretenden Schichten geschmolzen, also verkleinert; aber der in ihnen steckende Staub und Schutt bleibt noch längere Zeit liegen und gesellt sich zu neu ausschmelzenden Verunreinigungen. Auf breiteren, plateauförmigen Gletschern, die keine ausgesprochene Fluidalbewegung von der Art der schmalen Gletscherzungen besitzen, erscheinen deshalb die Ränder der ausschmelzenden Schichten nicht regelmässig bogenförmig, sondern zeichnen sich als recht merkwürdig verlaufende Linien und Bänder ab, die sogar ringförmig geschlossene Kurven bilden können, wie dies namentlich aus der Ansicht des Glärnischfirns hervorgeht, die nach einer Fliegeraufnahme der Ad Astra-Aero-Ph. AG. von Dr. Streiff wiedergegeben worden ist (Lit. 22, Fig. 3).

Dass an warmen Sommertagen die Abschmelzung auf der Gletscheroberfläche recht stark sein kann und zahlreiche Bäche hervorruft, die teils aus wassergefüllten Tümpeln kommen, teils aus vielen kleinen Adern entstehen, dann aber plötzlich in Spalten hinunterstürzen, das sind alles bekannte Tatsachen. Auffällig und rätselhaft sind sodann die zahlreichen Trichter, Wannen und Kessel, «Entonnoirs» genannt, auf dem Gornergletscher, die ebenfalls dem Abschmelzprozess ihre Entstehung verdanken. Sie sind kürzlich durch A. Renaud zum Gegenstand einer ausführlichen Beschreibung gemacht worden (Lit. 20).

Von der Gletscherbewegung.

Nachdem man durch die bekannten Rhonegletschervermessungen eine gute Vorstellung von der Art der Gletscherbewegung an seiner Oberfläche erhalten hatte, und wie Alb. Heim ausführte, zur Auffassung gelangt war, dass sich der Gletscher wie eine dickflüssige Masse verhalte, deren einzelne Teilchen sich beständig verschieben, machte man Versuche auch die Mechanik der Bewegung im Innern des Gletscherkörpers kennen zu lernen. Allerdings war die Durchführung solcher Versuche mit grossen Schwierigkeiten verbunden, und man musste sich bisher mit bescheidenen Ergebnissen zufrieden geben. Immerhin sind insbesondere die von R. Seligman auf dem Grossen Aletschgletscher und am Eigergletscher unternommenen Versuche erwähnenswert. Dieser Forscher ging von den folgenden Ueberlegungen aus (Lit. 21):

In der Frage des Vorgangs der Gletscherbewegung stehen sich die Auffassungen der Forscher Von Engeln und Chamberlin gegen-

über ; nach Ansicht des Erstgenannten fliesst der Gletscher durch plastisches, viskoses Nachgeben, wobei die Kristalle in einer sie umgebenden Mutterlauge wachsen und ihre gegenseitige Stellung verändern. Chamberlin dagegen fasst die Bewegung des Gletschers als ein Gleiten des ganzen Eiskörpers über den Felsgrund auf, wobei zeitweise Schlupf an Gleitflächen, Scherung von Kornaggregaten und schliesslich Fliessen in festem Zustand durch « ideomolekularen » Austausch zwischen Eiskristallen auftreten.

Seligman versuchte nun auf empirischem Wege mittelst Lotleine und Stahlmarken in entsprechend geschaffenen Gruben im Firn sowie im Gletschergebiet über die relative Bewegung der Gletscher Aufschluss zu erhalten, welche Versuche zu dem Ergebnis führten, dass, wie bereits angedeutet, im Firngebiet die Bewegung von Kristallaggregaten sowie von Einzelkristallen getragen wird, was auf ihre relative Beweglichkeit innerhalb des Schichtverbandes zurückzuführen ist, während im Zehrgebiet sowohl Uebereinandergleiten von Schichten (Laminarbewegung) als auch plastische Deformierung von Kristallindividuen, begleitet von Kristallwachstum, vorkommen.

Alfred Holl führte aus, dass zwar das Fliessen das Primäre sei, dass aber, wenn der Gletscher fliesse, die Eismassen fallen, also einen Höhenverlust erleiden ; dadurch werde Energie frei, die sich in Wärme umsetze. Es sei Reibungswärme oder Fliesswärme oder Verformungswärme, die kurz Fallwärme genannt werden könne (Lit. 5). Diese Wärme des Gletschers entstehe nicht nur an seiner Unterfläche als Gleitwärme, sondern vor allem im Innern des Gletschers, wenn auch nicht überall gleichmässig, als innere Reibungswärme oder eigentliche Fliesswärme, da wo Eis auf Eis drückt und sich durch Verformung reibt. Die Fliessverformung geschehe in der Weise, dass an den hindernden Punkten der Aussenfläche der Gletscherkörner soviel Eis weggeschmolzen wird, « dass die Körner, die immer straff aneinander grenzen, sich ineinander hineindrehen und übereinander hinüberdrehen können, was ja geschehen muss, wenn der Gletscher vorwärts kommen soll ». Aber auch zwischen den Gletscherkörnern bleibe das durch die Fallwärme entstandene Schmelzwasser nicht, sondern es entweiche durch das Haarspaltennetz dem Gletscher, der solches Wasser geradezu ausschwitze.

Merkwürdig ist bei der Annahme der auch im Gletscher eintretenden Differentialbewegung der Gletscherkörner deren unregelmässige Gestalt ; denn bekanntlich finden sich in der Gletscherzunge vorherrschend grosse, sehr unregelmässig geformte Gletscherkörner, die geradezu gelenkartig ineinander verbogen und gelagert sind. Offenbar findet in der Zunge, wie Seligman gefunden hat, zumeist eine Laminarbewegung ganzer Schichtbestände statt, ohne dass die einzelnen Eiskristalle verschoben werden. Solche Bewegungen treten dann nicht selten, wie H. Philipp betont und V. Vareschi bestätigt hat, als Abscherungen auf (Lit. 30).

Ausführlich hat sich auch Dr. Streiff-Becker über die Gletscherbewegung geäußert und Ansichten vertreten, die der v. Engeln zugeschriebenen Theorie sehr nahe kommen. Der Zürcher Forscher führt aus, dass die Bewegung der Gletscher, wie allgemein bekannt, durch die Schwerkraft verursacht, aber durch die sog. Sohlenschmelze ermöglicht werde. Im Innern des Firns bzw. Gletschers finden Differentialbewegungen statt, indem die Firn- und Gletscherkörner aneinander vorbeigleiten und durch Schmelzwasser ein Schmiermittel erhalten. Die Differentialbewegung sei auch der Grund, weshalb die körnige Struktur des Gletschereises vom Bergschrund an bis zum Zungenende erhalten bleibe, die Korngrösse jedoch auf dem langen Wege zunehme. Die zur Erzeugung der Feuchtigkeitshaut auf den Oberflächen der Eiskörner nötige Wärme werde aus drei Quellen gewonnen: Durch den Schwere- druck der hochaufgeschichteten Schneemassen, durch die Bewegungs- energie auf geneigter Bahn, durch die Reibung und schliesslich, wo die Firnauflage dick genug erscheint, um den Einfluss der äusseren Lufttemperatur auszuschalten, durch die von unten her konstant wirkende Erdwärme.

Im weiteren glaubt der genannte Forscher zwingende Gründe zur Annahme zu haben, dass im Firngebiet die Schichten fluid-plastischen Zustandes hauptsächlich in der Tiefe liegen müssen, wo auch die grösste Abflussgeschwindigkeit erreicht werde (Lit. 27). Unterhalb der Firngrenze wechsele die Zone grösster Beweglichkeit je nach den Gegebenheiten vielfach von den tieferen Schichten zu den oberen hinauf.

Mit der Annahme der tiefen Lage der Punkte grösster Bewegung des Gletscherkörpers stellt sich Dr. Streiff-Becker in Widerspruch zu der bisher allgemein verbreiteten und durch viele Beobachtungen erhärteten Auffassung, nach welcher die grösste Bewegung nahe oder auf der Oberfläche des Gletschers stattfindet, eine Auffassung, die kürzlich durch jene Bohrversuche von Finsterwalder und Hess auf ostalpinen Gletschern bestätigt wurde, wobei Stangenstücke abbrachen und sich dann unter konstant zunehmendem Winkel mit dem Gletscher schief abwärts bewegten. Auch Seligman findet im Firngebiet, dass die grössere Bewegung in den oberen Teilen vor sich gehe.

Abschliessend sei bemerkt, dass man zur Stunde über die im Innern der Gletscher stattfindenden Vorgänge der Bewegung dieser grossen Eismassen noch nicht völlige Klarheit besitzt, und dass es daher wünschenswert erscheint, wenn entsprechende Versuche und Beobachtungen fortgesetzt werden. Dass selbst am Gletscherende ausgeführte Messungen zu interessanten Ergebnissen hinsichtlich der Schwankungen der Eisbewegung führen können, haben die Beobachtungen von O. Lüttschg am Oberen Grindelwaldgletscher und am Allalingletscher bewiesen (Lit. 13, 12). Es zeigte sich hier, dass sich die Gletscher an der Zunge im Sommer rascher bewegten als im Winter.

Ueber seismische Eisdickenmessungen.

Im Jahre 1929 wurden zum ersten Mal auf einem schweizerischen Gletscher durch den Göttinger Physiker H. M o t h e s seismische Dickenmessungen ausgeführt, und zwar auf dem Konkordiaplatz (Lit. 15). Dabei wurde dort die erstaunliche Gletschermächtigkeit von 790 m festgestellt, während auf dem von Westen her einmündenden Grossen Aletschfirn nur 400—500 m gemessen wurden. Somit ergab sich eine sehr beträchtliche Uebertiefung des Hauptgletscherbettes, ausgerechnet dort, wo sich mehrere grosse Firnströme vereinigen.

Sodann wurden durch Mitglieder der Schweiz. Gletscherkommission im Jahr 1931 mehrere seismische Dickenmessungen am Rhonegletscher, zwischen dem Grossfirn und dem Absturz vorgenommen, die ebenfalls interessante Aufschlüsse ergaben (Lit. 6). Es wurde dort eine maximale Mächtigkeit des Gletschers von 240 m festgestellt; sodann konnte eine in das breite Gletscherbett eingesenkte schmälere Längsfurche nachgewiesen werden, über deren Entstehung allerdings die Forscher nichts Bestimmtes auszusagen vermochten; es kann sich möglicherweise um eine während eines Gletscherrückzuges entstandene fluviale Vertiefung handeln.

Schliesslich wurden in den Sommern 1936 bis 1939 auf dem Unteraargletscher solche Messungen vorgenommen, über welche Dr. A. K r e i s kurz berichtet hat (Lit. 11). Es wurde hierbei ermittelt, dass der genannte Gletscher beim «Abschwung» eine Mächtigkeit von 444 m aufwies; von hier ab senkt sich das Tal mit nur 1,1 ‰ Gefälle. Als Haupttal, das ebenfalls durch eine bemerkenswerte Uebertiefung gekennzeichnet ist, wurde dasjenige des Lauteraarfirns erkannt, indem die Sohle des Finsteraarhorns höher liege. Talabwärts zeigte sich im Bereich der Gletscherzunge eine 65 m hohe Schwelle und an diese angelehnt eine 40 m mächtige Schuttablagerung, auf welcher der Gletscher liegt, ohne sie wegzuräumen; dieser Schutt müsse von einer früheren Rückzugsperiode stammen.

Wir haben hier ähnliche Verhältnisse, wie sie durch Dr. Streiff von Gletschern der Glarner Alpen und durch Arnold Heim von zentralasiatischen Gletschern beschrieben worden sind. Im Anschluss hieran noch einiges über

Gletschererosion.

Dass Gletscher in ihrem untersten Teil auf ihrem eigenen Schutt liegen, ohne ihn wegzuräumen, darf nicht, wie A. Heim es tut, als Beweis gegen Gletschererosion angeführt werden, so wenig wie die Ablagerungen eines Flusses in seinem Unterlauf gegen fluviale Erosion sprechen. Es liegt auf der Hand, dass zurückgehende Gletscher sich immer langsamer bewegen und daher an ihrer Zunge keine Erosionskraft entwickeln können. Dr. R. Streiff-Becker ist der Auffassung, dass

allerdings die Gletscher im Firngebiet stärker zu erodieren vermögen als in der Gletscherzunge und imstande seien, jene hochgelegenen Mulden und Nischen auszuschleifen, die uns aus verlassenen Gletschergebieten als Kare bekannt sind (Lit. 23, 25).

Diese Erosion werde durch den im Grunde des Gletschers vorhandenen Gesteinsschutt bewirkt, der nach Dr. Streiff von den steilen Felshängen stamme und der hauptsächlich durch den Bergschrund sowie durch andere Spalten in die Tiefe gelange und zur Grundmoräne werde.

Es soll nicht bestritten, dass solcher Schutt gelegentlich in den Bergschrund hinunter stürzt; aber während des grösseren Teils des Jahres ist dieser Schrund von Neuschnee zugedeckt oder liegt so, dass der Schutt von den Hängen über ihn direkt auf den Firn gelangt *), Ohne Zweifel stammt ein grosser Teil der Grundmoräne auch vom Gletscherboden selber und wird vom Gletscher dort weggerissen und abwärts verfrachtet **).

Dies ist beispielsweise sehr gut erkennbar an norwegischen Plateaugleischern, in deren Firngebiet keine steilen, randlichen Felshänge und keine Bergschründe vorkommen, die aber doch an ihrem Ende reichlich Moränen ablagern. Solche Tatsachen liessen sich z. B. am Hardangerjökull und am Buarbrae gut feststellen (Lit. 16).

Ueberzeugend und anschaulich sind die Ausführungen von Dr. Streiff über die Bildung von Riegeln, von Wannen am Fusse von Talstufen und von Rundhöckern (Lit. 27).

Lehrreiche Beobachtungen über Gletschererosion hat jüngst auch Hans Carol an den beiden Grindelwaldgletschern gemacht, die lebhaft an die früher von Prof. A. Baltzer und A. De Quervain angestellten Versuche und Untersuchungen erinnern (Lit. 3).

Mehr theoretischer Art sind dagegen die Darlegungen R. Köchlin's über glaziale Erosion gehalten, wenngleich er von den Ergebnissen der Dickenmessungen an Gletschern ausgeht (Lit. 9, 10). Er führt aus, dass sich bestimmte, fast gesetzmässige Beziehungen zwischen Breite und Mächtigkeit des Gletschers und der Form ihrer Täler ergeben. Je breiter und dicker ein Gletscher sei, umso breiter und tiefer sei auch sein eigentliches Bett, das im Querprofil stets eine ausgesprochene Muldenform aufweise. Die Tiefenerosion bleibe gegenüber der seitlichen Abtragung zurück, weil der Gletscher bei einer Mächtigkeit von 240 m infolge des herrschenden Druckes am Grund in halbflüssigen Zustand übergehe und daher geringere Erosionskraft besitze. Trotzdem schreibt Köchlin der Erosion eiszeitlicher Gletscher die Bildung von « gorges » zu wie z. B. des Lauterbrunnentals und des Blin-

*) Man vergleiche beispielsweise die prächtige Ansicht des Momingrates vom K. Baumann in Heft 6 „Die Alpen“ 1943.

**) Diese Art der Gletschererosion ist erst kürzlich noch durch O. Lutschg vom Allalingsgletscher beschrieben worden (Lit. 12).

dentals im Wallis. — Dass der genannte Autor für solche « vallées glaciaires » den Ausdruck « gorges » verwendet, ist befremdend; man versteht bekanntlich darunter andere typische Talformen, deren Bildung mit Gletschererosion nichts zu tun hat; dagegen ist für ein alpinen Trogtal der französische Ausdruck « vallée en auge » von Fachleuten gebraucht worden.

Ueber Gletscherschwankungen.

Seit mehr als 50 Jahren werden über die jährlichen Vorstoss- und Rückgangsbewegungen zahlreicher Gletscher der Schweizeralpen regelmässig Berichte abgegeben und unter dem Titel: « Les variations périodiques des Glaciers des Alpes Suisses » in den Jahrbüchern und Heften des S. A. C. veröffentlicht (Lit. 14). Aus diesen Berichten geht hervor, dass unsere Gletscher seit mehr als 50 Jahren vorherrschend im Abnehmen begriffen sind, sodass nicht nur ihr Ende ständig von den Endmoränen der 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts zurückweicht, sondern auch die Gletscher in ihrer Dickenausdehnung ganz bedeutend abgenommen haben. Am allerdeutlichsten ist die allgemeine Abnahme am Rhonegletscher ersichtlich geworden, dessen Ausdehnung vor mehr als 100 Jahren in Wort und Bild festgehalten und dessen jeweiliger Zustand seither auch in zahlreichen Photographien fixiert wurde. Aber auch von mehreren andern Gletschern liegen entsprechende Nachrichten vor. In seiner Schrift « Aus der Gletscherwelt » hat Dr. Streiff-Becker in sehr anschaulicher Weise den seit 1888 eingetretenen Rückgang des Glärnischgletschers dargestellt.

Allein der namentlich seit den 80er Jahren eingetretene Rückgang wurde doch gelegentlich durch kleinere Vorstösse unterbrochen, die von P. Mercanton in einer lehrreichen Tabelle veranschaulicht worden sind (Lit. 14, 59e Rapport, 1938). Es zeigte sich, dass seit 1895 von 10 dargestellten Gletschern 6 in den Jahren 1920—1930 vorgestossen waren; besonders auffällig war dabei der Vorstoss des Oberen Grindelwaldgletschers (Lit. 13).

Man hat früher häufig über die Ursachen dieser Gletscherschwankungen geschrieben und sie zuerst auch mit den von E. d. Brückner erkannten 35jährigen Klimaschwankungen in Beziehung gebracht, später für sie andere meteorologische oder klimatologische Ursachen herangezogen, wie in der erwähnten neuen Gletscherkunde von Prof. Drygalski ausführlich dargelegt worden ist.

Vor kurzem hat nun Max Büttler dieses Thema wieder aufgegriffen (Lit. 2). Er stellte fest, dass bei einer grösseren Anzahl von Gletschern die Schwankungen von einem Minimum zum andern Minimum in annähernd gleichen Intervallen erfolge, wobei dieselben im Mittel 34—35 Jahre betragen und somit eine gute Uebereinstimmung mit den Brückner'schen Klimaschwankungen ergeben. Bei kleinen Gletschern seien die Intervalle allerdings kleiner (17—20 Jahre). Büt-

ler untersucht dann die verschiedenen Faktoren dieser Schwankungen, ohne aber zu einer positiven Beantwortung der aufgeworfenen Fragen zu gelangen.

Zum Schlusse sei noch auf die aufschlussreiche und umfassende Arbeit von Dr. H. Kinz l über die postglazialen Schwankungen zahlreicher Schweizergletscher hingewiesen; in dieser stellt der Verfasser seine Untersuchungen über die Lage der vor den heutigen Gletscherenden liegenden Endmoränen dar und zeigt, welchen Umfang seit dem Daunstadium der Rückgang der einzelnen grösseren Gletscher angenommen hat (Lit. 8).

Er gelangt dabei u. a. zu dem Ergebnis, dass die grössten nacheiszeitlichen Hochstände in eine der Vorstossperioden in der ersten Hälfte des 17. Jahrhunderts, ferner um 1820 und 1850 fallen.

Endlich sei noch auf die von Dr. R. Helbling gemachten Beobachtungen über rezente Schwankungen der Gletscher in den argentinischen Anden aufmerksam gemacht, wo sich Vorgänge einstellen, die mit alpinen Gletscherzuständen grosse Aehnlichkeit besitzen (Schweiz. Bauzeitung, Bd. 115, 1940).

LITERATUR.

1. R. Billwiller, Der Firnzuwachs pro 1932—1933 an einigen schweizerischen Firngebieten. Ber. Zürch. Gletsch. Kom. Vierteljahresschrift Nat. Ges. Zürich. 78. Jahrg. 1933.

2. Max Büttler, Probleme der Gletscherschwankungen. Die Alpen, Heft 1, 1937.

3. Hans Carol, Beobachtungen zur Entstehung der Rundhöcker. Die Alpen, Nr. 6. 1943.

4. W. Flaig, Das Gletscherbuch, Rätsel und Romantik, Gestalt und Gesetz der Alpengletscher. Brockhaus, Leipzig, 1938.

5. Alfred Holl, Gletscherwärmewirtschaft. Ein Kapitel aus der Gletscherphysik. Die Alpen 1937, Heft 8.

6. W. Jost, die seismischen Eisdickenmessungen am Rhonegletscher 1931. Neue Denkschr. S. N. Ges. Vol. 51.

7. W. Jost, Gletscher, Kommentar z. Schweiz. Schulwandbildwerk. 6. Heft, 1941.

8. H. Kinz l, Die grössten nacheiszeitlichen Gletschervorstösse in den Schweizer Alpen und in der Mont Blanc-Gruppe. Zeitschrift f. Gletscherkunde. 1932.

9. R. Köchlin, Formation et mouvement des glaciers. Die Alpen 1941, Nr. 11 und 12.

10. R. Köchlin, Sur la forme du lit des glaciers. Die Alpen 1943, Heft 4.

11. A. Kreis, Ergebnisse der seismischen Eistiefenbestimmungen auf dem Unteraargletscher. Verh. Schweiz. Nat. Ges. Basel, 1941.

12. O. Lüt sch g, Beobachtungen über das Verhalten des vorstossenden Allalngletschers im Wallis. Zeitschr. für Gletscherkunde. 1926.

13. O. Lüt sch g, Beobachtungen über das Verhalten des vorstossenden Oberen Grindelwaldgletschers im Berner Oberland. Verh. Schw. Nat. Ges. 1932.

14. P. L. Mercanton, Les variations périodiques des glaciers des Alpes Suisses. Die Alpen. 1939.

15. H. Mothes, Neue Ergebnisse der Eisseismik. Untersuchungen auf dem Konkordiaplatz. Zeitschr. f. Geophysik 5. Braunschweig 1929.

16. F. Nussbaum, Quer durch Norwegen. Jahrb. S. A. C. 45 Jahrg. 1910.

17. F. Nussbaum, Eine alpine Gletscherlandschaft. Schweiz. Geograph, 1928.

18. F. Nussbaum, Sur la formation des bandes sales des glaciers. Arch. sc. phys. et nat. Genève, 1929.

19. F. Nussbaum, Ueber die Schmutzbänderung der Gletscher. Mitt. Nat. Ges. Bern 1928. — Philippson Festschrift, Leipzig, 1930.

20. A. Renaud, Les entonnoirs du glacier de Gorner. Nouv. Mém. S. H. S. N. Vol. 51.

21. G. Seligman, Forschungsergebnisse am Grossen Aletschgletscher. Die Alpen. Heft 12, 1943.

22. R. Streiff-Becker, Aus der Gletscherwelt. Vierteljahresschr. Nat. Ges. Zürich, 1932.

23. R. Streiff-Becker, Glacialerosion und Eisbewegung. — Ebendort. 1934.

24. R. Streiff-Becker, Zwanzig Jahre Firnbeobachtung. Zeitschrift f. Gletscherkunde. 1936.

25. R. Streiff-Becker, Zur Dynamik des Firneises. Ebendort. 1938.

26. R. Streiff-Becker, Ueber Firn und Gletscher. Die Alpen. Nr. 9, 1940.

27. R. Streiff-Becker, Beitrag zur Gletscherkunde. Forschungen am Claridenfirn im Kanton Uri. Denkschr. Schw. Nat. Ges. Bd. 75, 1943.

28. V. Vareschi, Pollenanalysen aus Gletschereis. Bericht des Geobot. Forschungsinst. Rübel, Zürich, 1934.

29. V. Vareschi, Blütenpollen im Gletschereis. Zeitschrift für Gletscherkunde. 1935.

30. V. Vareschi, Die pollenanalytische Untersuchung der Gletscherbewegung. Veröff. Geobot. Inst. Rübel Zürich, 19. H., 1942.
