

Zeitschrift: Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft des Kantons Glarus
Herausgeber: Naturforschende Gesellschaft des Kantons Glarus
Band: 14 (1984)

Artikel: Rudolf Streiff-Becker als Gletscherforscher
Autor: Kasser, Peter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1046730>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 24.02.2026

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

Rudolf Streiff - Becker als Gletscherforscher

Peter Kasser

1. Einleitung und Übersicht	S. 53
2. Streiff-Becker's Weg zur Theorie des «Extrusion Flow»	S. 55
3. Auswirkungen auf die Arbeiten anderer Forscher und kritische Erwägungen	S. 64
4. Ergänzende und zusammenfassende Bemerkungen	S. 74
Glaziologische Publikationen von Rudolf Streiff-Becker	S. 77
Publikationen anderer Autoren	S. 81

1. Einleitung und Übersicht

Nach harten Arbeitsjahren von 1894 bis 1919 in Brasilien kehrte der diplomierte Maschinentechniker und Industrielle Rudolf Streiff-Becker in die Heimat zurück und verwirklichte als Privatgelehrter seinen Jugendtraum, Naturforscher zu werden. Die Geologie des Glarnerlandes, seine Gletscher und der Mechanismus des Föhns boten ein weites Spektrum von Erscheinungen, die es zu beobachten und verstehen galt, wobei sich das Interesse auch auf die Flora und Fauna erstreckte. Die Arbeiten seines ehemaligen Lehrers Jakob Oberholzer boten einen Einstieg, das Lebenswerk von Albert Heim, der im Jahre 1885 im Alter von 36 Jahren ein klassisches Werk, das «Handbuch für Gletscherkunde» (Heim 1885) verfasst hatte und anfangs der zwanziger Jahre die Ergebnisse seiner geologischen Forschung in der «Geologie der Schweiz» (Heim 1916-1922) herausgab, war sein grosses Vorbild. Der ausdauernde Bergsteiger Streiff-Becker war ein genauer und sorgfältiger Beobachter, der es verstand, seine Befunde in naturgetreuen Zeichnungen festzuhalten. So skizzierte er bereits im Jahre 1891 das Zungenende des Bifertengletschers. Durch diese Zeichnung kam er in Kontakt mit Alfred de Quervain, der zusammen mit Erwin Schnitter im Jahre 1920 ihre Untersuchungen am Zungenbecken des Bifertengletschers publizierte (de Quervain und Schnitter, 1920). A. de Quervain, der im Jahre 1912 Leiter der Grönlanddurchquerung (de Quervain und Mercanton 1920) war, wurde 1913 Mitglied der Gletscherkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft und der in diesem Jahre gegründeten Gletscherkommission der Physikalischen Gesellschaft Zürich (de Quervain 1922); diese hatte sich die Aufgabe gestellt, «neben sonstigen physikalischen Beobachtungen namentlich die Arbeiten der Gletscherkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft zu unterstützen durch Erhebungen über die Firnanhäufung in der Firnregion der Zentral- und Ostschweiz» (Rutgers 1914). Am Claridenfirn, einem ihrer Untersuchungsgebiete, wurde Streiff-Becker ab 1920 auf Wunsch von de Quervain ständiger Mitarbeiter der Kommission. Diese Aufgabe bedeutete eine eigentliche

Pionierarbeit, war das Nährgebiet der Gletscher damals doch noch viel weniger gut erforscht als das Zehrgebiet.

Rudolf Streiff-Becker wollte das Werden und Vergehen der Gletscher, ihre Auswirkungen auf die Landschaft und den Mechanismus der Gletscherbewegung im Zusammenhang umfassend verstehen. Mit offenen Augen und wachen Sinnen betrachtete er die mannigfachen Erscheinungsformen im Gelände, inventarisierte er die Glarner Gletscher und ordnete sie in eine glazialmorphologische Klassierung ein (Streiff 1939, S. 5, 1949 b). Resultate früherer Berichte und eigene Beobachtungen an den Zungenenden und den Moränen der Gletschervorfelder wurden in Kartenskizzen festgehalten, als Beiträge zur Geschichte des Glärnischfirns, des Claridenfirns und des Bifertengletschers (Streiff 1932; 1939; 1949 c). Im Jahre 1923 begannen die jährlichen Beobachtungen am Glärnischfirn, die noch heute regelmässig weitergeführt werden (Streiff 1932; 1949 c). Die Glaziallandschaften mit ihren Talformen, Moränen, Rundhöckern, Gletscherschliffen und Strudellöchern riefen nach einer Erklärung über ihre Entstehung, aufgrund der geologischen Voraussetzungen und der Wirkung von Wasser und Gletscher (Streiff 1934b; 1941; 1943; 1949a; 1950; 1951a,b). Oberflächenformen auf dem Gletscher wie Sandkegel, Gletschertische, Büsserschnee und Schmelzrillen spiegeln den Einfluss von Witterung und Klima. Sie verraten manches Geheimnis über den Mechanismus von Ablation und Wasserabfluss (Streiff 1952b; 1954; 1956). Zum wichtigsten Feldlaboratorium wurde für Streiff-Becker der Claridenfirn. Dort prüfte er den Einfluss der Orographie auf den Niederschlag (Streiff 1932; 1943), sowie den Einfluss von Niederschlag und Temperatur auf den Firnzuwachs (Streiff 1936c; 1938; 1943, 1946a). Auf die Messungen an den Firnpegeln und die Überlegungen, welche zur Bewegungstheorie des «Extrusion Flow» (s. S. 58) und zu einer besonderen Auffassung über den Mechanismus der Glazialerosion führten, soll nachstehend eingehender berichtet werden. Der Verfasser kann sich zwar diesen theoretischen Schlussfolgerungen, die Streiff-Becker aus seinen Beobachtungsergebnissen zieht, nur teilweise anschliessen und lehnt die Theorie des «Extrusion Flow» ab, anerkennt aber den bleibenden Wert seiner mit einfachsten Mitteln und grösster Zähigkeit durchgeführten sorgfältigen Feldbeobachtungen, sowie die Auswirkungen seiner Arbeiten auf die Programme anderer Forscher, insbesondere in den vierziger und fünfziger Jahren, die einen wichtigen Beitrag zur glaziolo-

gischen Forschung darstellen. Eine Würdigung der wissenschaftlichen Leistungen von Streiff-Becker muss vom Stand der Kenntnisse zu seiner Zeit ausgehen und auch die Mittel berücksichtigen, die ihm zur Verfügung gestanden haben. Es ist von besonderem Reiz, in Kapitel 2 mit Zitaten aus den Publikationen chronologisch schrittweise den Weg nachzuvollziehen, der Streiff-Becker zu seiner Bewegungstheorie geführt hat, vorerst ohne auf mögliche Einwände einzutreten. Hinweise auf Untersuchungen anderer Forscher, die durch seine Publikationen angeregt worden sind sowie kritische Erwägungen zu seiner Theorie werden im dritten Kapitel zusammengefasst.

2. Streiff-Becker's Weg zur Theorie des «Extrusion Flow»

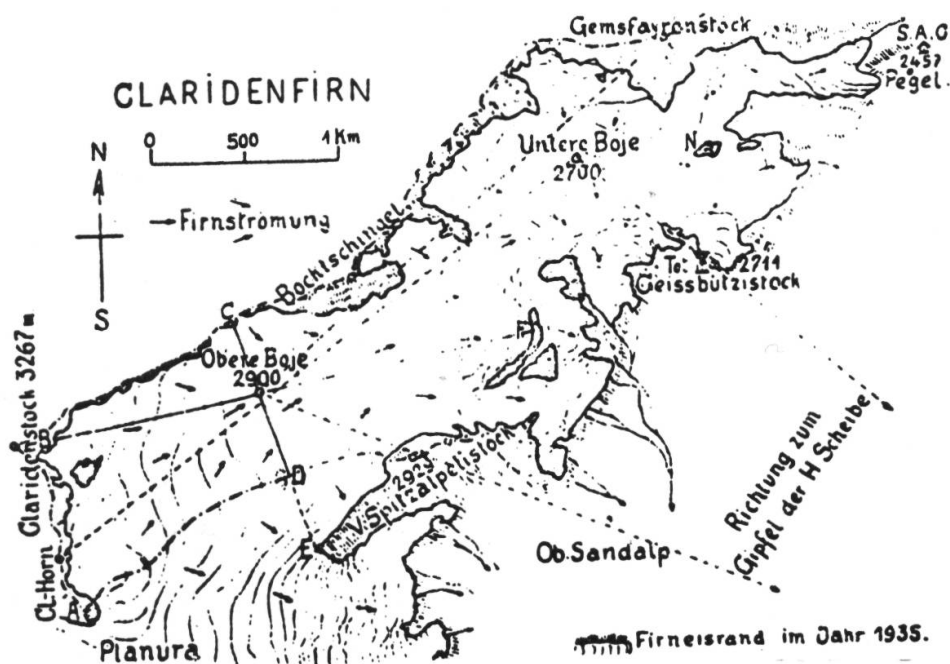


Bild 1: Situationsskizze des Claridenfirns nach (Streiff 1938 a, S. 2, Fig.1)

In der Situationsskizze des Claridenfirns in Bild 1 (Streiff 1938 a, S. 2) sind die Messstellen der Zürcher Gletscherkommission eingetragen, der Totalisator auf dem Geissbützistock für die Niederschlagsmessung, der Pegel bei der SAC-Hütte, sowie die als «Untere Boje» und «Obere Boje» bezeichneten Firnpegel zur Messung der Schneehöhen. Die beiden, in der Regel aus 5 bis 6 m langen Eschenholz-Stangen bestehen-

den Bojen wurden im Herbst jeweilen in den Fixpunkten, die als Schnitt von je zwei Richtungen (Visuren) im Gelände immer wieder neu bestimmt wurden, aufgestellt. Die Distanz vom Fixpunkt zu den mit dem Gletscher gewanderten Stangen ergab die Verschiebungen des Oberflächenpunktes und damit die Geschwindigkeit im betrachteten Zeitintervall. Von besonderer Bedeutung wurde die Bestimmungsvisur für die obere Boje über den Steinmann am Gipfel des rund 1 km entfernten Vorderen Spitzalpelistocks zu dem 6 km weiter weg liegenden Riss im Gipfel der Hinteren Scheibe. In den Jahren vor 1927 «versank der Scheibengipfel mehr und mehr und war auch im Jahre 1927 nicht mehr sichtbar, trotz einem Firnzuwachs (im Jahre 1926/27) von 4.5 m . . . Nach dem heissen Sommer 1928 mit nur 0.05 m Firnzuwachs erschien der Scheibengipfel wieder hoch über dem Spitzalpelistock, um 1929 wieder zu verschwinden und 1931 gerade auf die Höhe des Steinmanns am Spitzalpelistock aufzutauchen» (Streiff 1932, S. 12). Streiff-Becker schloss daraus auf Wellenbewegungen im Gletscher und wurde in dieser Deutung durch die nachstehend beschriebene Beobachtung bestärkt: «Auf der 2 km langen Strecke von der Unteren Boje 2700 m bis zur Oberen Boje 2900 m zählten wir vier flache Wellenberge und Täler, leicht sichtbar durch das Verschwinden und Wiederauftauchen des Körpers eines Mannes, den wir in der Entfernung von 50 m vor uns hergehen liessen. Aus obigen und anderen Beobachtungen ziehen wir den Schluss, dass durch den Firn eine wellenartige Bewegung geht, worüber wir schon an anderer Stelle (Streiff 1932, S. 12) berichtet haben. Ich erkläre mir den Vorgang auf folgende Weise: Im Firnbecken ist in grösserer Tiefe die Firnmasse unabhängig von den Temperaturschwankungen der Jahreszeiten und wegen der Nähe des Schmelzpunktes in gewissem Sinn plastisch. Jede Neubelastung durch grosse Schneefälle (Mai/Juni), bei gleichzeitiger Entlastung im Gebiet der Gletscherzunge, oder, in heissen Sommern, der Druck ausnahmsweise vom Untergrund losfrierender oder abgleitender, höhergelegener Firnhänge, bewirkt eine ähnliche Wellenbewegung, wie sie durch einen Schlammhügel (Breimasse usw.) geht, wenn auf dessen Gipfel auch nur wenig neues Material aufgeschüttet wird» (Streiff 1936c, S. 41 und 42). In derselben Publikation (S. 42) wird noch auf eine andere Beobachtung hingewiesen: «Vorletztes Jahr (1933/34) hatten wir Gelegenheit, eine sehr bedeutende Schwankung der Fliessgeschwindigkeit des Firns innerhalb des hydrographischen Jahres zu beobachten . . . Auch diese

Merkwürdigkeit liesse sich wie die Firnwellen aus der winterlichen Belastung erklären.» Im Jahre 1936/37 wurde eine im Winter raschere Firnbewegung als im Sommer bestätigt (Streiff 1938a, S. 19). Überraschend waren diese Resultate im Firngebiet deshalb, weil sie im Gegensatz zu den längst bekannten Erfahrungen im Ablationsgebiet der Gletscherzungen stehen, wo Minima der Oberflächengeschwindigkeit im Hochwinter und Maxima ungefähr im Juni gemessen worden sind.

Drei weitere Glieder führen die Kette der Gedanken von Streiff-Becker weiter. Erstens ist es die immer wieder festgestellte Tatsache, dass die Oberflächengeschwindigkeit eines Gletschers vom Bergschrund bis in die Gegend der Firnlinie zunimmt und gegen das Gletschertor zu wieder kleiner wird, zweitens die Hypothese von Agassiz (1807-1873), «dass die auf den oberen Firnböden flach gelagerten Firnschichten im mittleren Laufe des Eisstromes nahezu vertikal gestellt sind, talabwärts aber wieder flacher zu liegen kommen. Er sagte richtig, dass die Ursache dieser veränderlichen Neigung der Schichten in den verschiedenen Geschwindigkeiten liegen müsse, mit welcher das Gletschereis fliesse» (Agassiz 1847, S. 270; Streiff 1938a, S. 7) . . Zur Beschreibung des dritten Gliedes dieser Kette diene folgendes Zitat: «Noch eine andere, allgemeine und kaum nur zufällige Erscheinung hätte uns auf besondere Bewegungsenergien im Firn hinweisen sollen, nämlich die weitverbreitete Existenz sehr flacher Firn- und Karmulden inmitten stark bewegten Reliefs. Da die Eisbewegung am höchsten Punkt oben ihren Anfang nimmt, ungefähr in der Mitte des Eislaufes ihr Maximum erreicht und am Zungenende ein Minimum, so sollte logischerweise ein Längsschnitt durch die Oberfläche eine nach unten konkav geschweifte Linie darstellen, wie es bei ganz kurzen Firnen oder kleinen Karen der Fall ist. Nun beobachten wir aber in den meisten Fällen schon im Firngebiet, wo Konvexität nicht von erhöhter Ablation herrühren kann, wie am Gletscherende, die Form des liegenden $\smile$, sehr oft sogar Wiederholungen dieser Form. Woher kommt das?» (Streiff 1938a, S. 7). Aus den weiteren Ausführungen kann herausgelesen werden, dass Streiff-Becker einen Zusammenhang zwischen der Fliessgeschwindigkeit in der Nähe des Gletscherbettes und dem Erosionsvermögen vermutet, so dass für die kräftigere Erosion in Muldenlagen grössere Fliessgeschwindigkeiten in Bettnähe erforderlich seien als bei den von der Erosion geschonten Kuppen der Gletschersohle.

Er rechnete deshalb in Muldenlagen mit einem tiefliegenden Geschwindigkeitsmaximum.

Zur Überprüfung dieser Hypothese diente eine Abschätzung des Durchflussvolumens durch einen Gletscherquerschnitt und der Vergleich der sich daraus ergebenden Geschwindigkeiten im Abflussquerschnitt und an der Gletscheroberfläche. In Bild 1 ist CD der Abflussquerschnitt durch die Obere Boje, ABCD das aufgrund der photogrammetrischen Aufnahme für die Landeskarte gezeichnete Einzugsgebiet. Das Abflussvolumen wurde berechnet als Produkt des bei der Oberen Boje gemessenen mittleren jährlichen Firnzuwachses der Jahre 1915 bis 1935 von 3.167 m und der Fläche von 1 089 200 m² des Einzugsgebietes. Für den mittleren Firnzuwachs wurde von einem Raumgewicht von 0.58 t/m³ ausgegangen und eine zusätzliche Verdichtung um 10 % angenommen, womit sich ein Durchflussvolumen ergibt von $2.88 \cdot 1\,089\,200\text{ m}^2$ oder 3,1 Mio m³. Wenn man annimmt, dass in der betrachteten Periode von 1915 bis 1935 die Gesamtmasse des Gletschers im Einzugsgebiet abgenommen hat, so sind die 3,1 Mio m³ ein unterer Grenzwert. Für den Abflussquerschnitt unter der Linie CD wurde mit einer Firndicke (Gletschertiefe) von 110 m und einer Fläche von 68 000 m² gerechnet, mit einer weniger wahrscheinlichen Alternative von 200 m und 120 110 m². Daraus ergeben sich im ersten Fall mittlere Durchflussgeschwindigkeiten von 45.6 m/Jahr, im zweiten von 25.8 m/Jahr. Diese Werte sind rund 3mal, beziehungsweise doppelt so gross wie die an der Boje gemessenen Oberflächengeschwindigkeiten von rund 14 m/Jahr. Damit war Streiff-Becker von einem tiefliegenden Geschwindigkeitsmaximum (Streiff 1938a, S. 9-11) und von seiner Theorie des «Extrusion Flow» überzeugt. 1*)

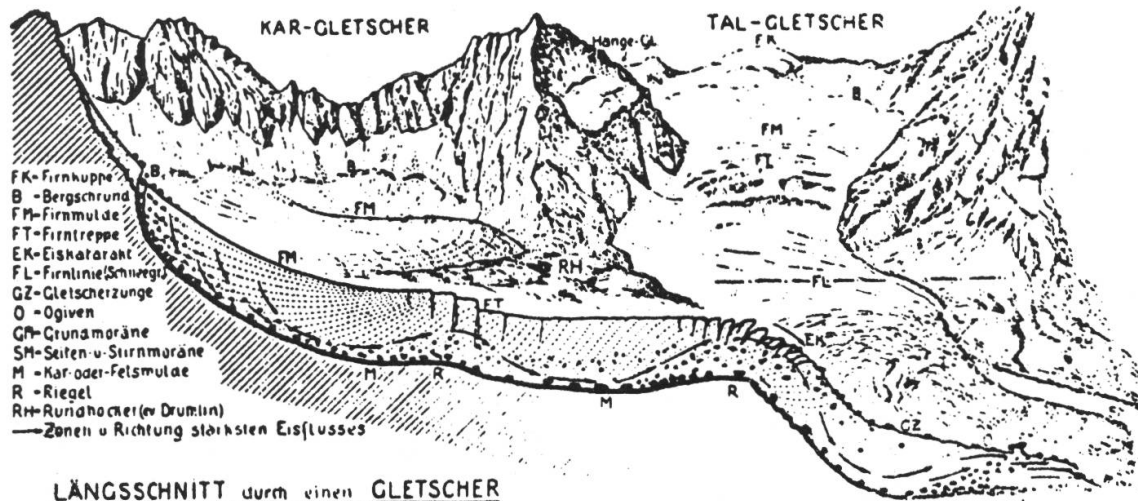
Über die Bewegungstheorie des «Extrusion Flow» wird im «Beitrag zur Gletscherkunde, Forschungen am Claridenfirn im Kanton Glarus» berichtet (Streiff 1943). Einem einleitenden Teil (S. 111-114) mit der Geschichte der Erforschung, sowie der Beschreibung der Topographie

1*) Definition des «Extrusion Flow»: Unter «Extrusion Flow» wird die Hypothese verstanden, dass Eis unter der Auflast der darüberliegenden Schichten in der Tiefe des Gletscherkörpers beweglicher werde und mit grösserer als an der Oberfläche gemessenen Geschwindigkeit durch den Abflussquerschnitt gepresst wird.

lateinisch: ex-trudo = heraustreiben

englisch: extrude = austreiben, verdrängen.

und Geologie folgt ein zweiter Teil (S. 114-122) mit den Forschungsergebnissen bezüglich Niederschläge, Firnzuwachs, Firnbewegung, Glazialgelände und Toteisbildungen. Im dritten Teil (S. 122-132) sind die theoretischen Schlussfolgerungen zusammengefasst, gegliedert nach der Dynamik des Firn- und Gletschereises, der Wirkung des bewegten Eises auf das Gelände und dem Einfluss des toten Eises auf das Gelände. In der Systemskizze in Bild 2 (Streiff 1943, S. 124) ist



R St-B

Abb. 13

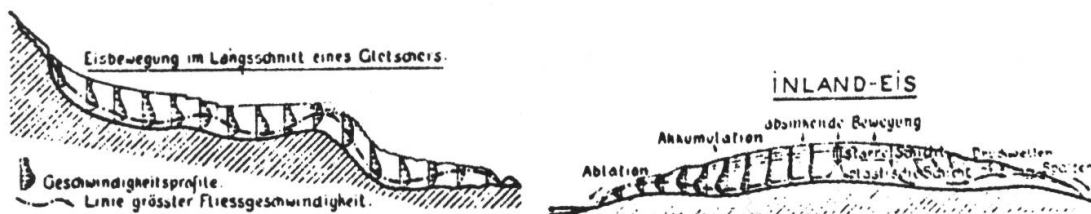


Bild 2: Schematische Darstellung des «Extrusion Flow»
nach (Streiff 1943, S. 124, Abb. 13-15)

das Prinzip des «Extrusion Flow» durch «Zonen und Richtung des grössten Eisflusses oder Linie der grössten Fliessgeschwindigkeit» im Längsprofil eines Gletschers dargestellt. Den Bewegungsmechanismus sieht Streiff-Becker wie folgt: «Das Firneis bewegt sich, indem die Firnkörner unter Differenzialbewegungen aneinander vorbeigleiten, respektive übereinander rollen, ganz ähnlich, wie das bei jedem körnigen Material in einem technischen Silo geschieht, sobald am Silo unten Material entzogen wird. An der Gletscherzunge wird unten durch Ablation Material entzogen, im Firnsilo oben durch Neuschnee aufgeschüt-

tet. Die tägliche Erfahrung zeigt uns, dass im technischen Silo diese Differentialbewegung selbst bei ganz rauhem und trockenem Material vor sich geht, demnach umso eher möglich sein muss bei Firn- und Gletscherkörnern, weil diese überdies ihren Aggregatzustand leicht ändern können und durch Schmelzwasser ein Schmiermittel hinzukommt. Wo an den Oberflächenstellen der Gletscherkörner entgegengesetzte Bewegungsrichtung herrscht, tritt schleifende Reibung auf, daher Erwärmung und Schmelzung, wo hingegen gleichsinnige Bewegungsrichtung herrscht, kommt rollende Reibung vor, daher Druckentlastung und Regelation. Auf diese Weise wird ohne erheblichen Substanzverlust fortgesetzt Wasser als Schmiermittel erzeugt und gleich wieder als Eis zurückgewonnen. Die Differentialbewegung ist auch der Grund, weshalb die körnige Struktur des Gletschereises vom Bergschrund an bis zum Zungenende erhalten bleibt, die Korngrösse jedoch auf dem langen Weg zunimmt (S. 123) . . . Wir haben schon im zweiten Teil, im Abschnitt Firnbewegung, gesagt, dass wir zwingende Gründe haben anzunehmen, dass im Firngebiet die Schichten fluid-plastischen Zustandes hauptsächlich in der Tiefe liegen müssen, wo die Firnmasse durch Auftreten von Schmelzfeuchtigkeit zum Ausweichen befähigt wird und die grösste Abflussgeschwindigkeit erreicht wird. Unterhalb der Firngrenze wechselt die Zone grösster Beweglichkeit je nach den Gegebenheiten vielfach von den tieferen Schichten zu den oberen hinauf. Die Eiskornmasse wird dort fluid-plastisch, wo die stärksten Druckkräfte auftreten und weicht unter deren Einfluss in der Richtung des geringsten Widerstandes aus. Die grössten Druckkräfte treten auf: Bei grosser Eistiefe, vor plötzlichen Talverengungen, bei Talkrümmungen, bei Geländeanstieg oder wo ein Übermass an Grundmoräne die Reibungswiderstände zu gross macht. Die Linie grösster Fliessgeschwindigkeit verläuft nicht einfach parallel der Oberfläche und in der Strommitte, sondern je nach den örtlichen Gegebenheiten in Schlangenwindungen innerhalb des Eiskörpers» (S. 124-125). Zur Erosion wird weiter ausgeführt: »Demzufolge wechselt auch das Mass der Glazialerosion von Stelle zu Stelle am nämlichen Gletscher, es kann beim Zusammentreffen günstiger Umstände hohe Werte annehmen, aber gleich null werden oder sogar negativen Wert annehmen, wenn z. B. durch Übermass von Schutt dieser stecken bleibt und sich anhäuft . . . Weil die Firnmasse in der Tiefe schneller abfliesst als oben, werden die keilförmigen Firnschichten, die oben talwärts einfallen, auf ihrem

Weiterzug allmählich so nach unten abgedreht, dass sie horizontal zu liegen kommen, schliesslich oft sogar steilgestellt bergeinwärts fallen. Ist der angesammelte Firn von Felswänden umrahmt, dann fallen von diesen abwitternde Steine auf den Firn, stürzen in den Bergschrund oder bleiben in dessen Nähe im Schnee stecken. Durch die abwärtskreisende Bewegung werden die scharfkantigen Steine gegen den Untergrund mitgeführt und schleifen diesen muldenförmig aus, ähnlich wie ein scharrendes Tier mit seinen Pfoten eine Grube aushöhlt . . . Je nach der Dauer der Vereisung wird die Mulde mit der Zeit immer tiefer, der Riegel relativ höher» (S. 125). Manche Erscheinungen an den Gletschern sah Streiff-Becker im Einklang mit seiner Theorie. So deutete er Bild 3 wie folgt: «Firnschichten von Claridenstock, fast ungestört 3 km weit gewandert bis zum Abbruch an der Geissbütziwand. Man sieht, wie die deutliche Schichtung der halbstarren Oberschicht nach unten hin allmählich im fluid-plastischen Tiefeneis verloren geht» (Streiff 1952 a, Tafel I). Er sah die Ogiven am Fuss des 400 m hohen

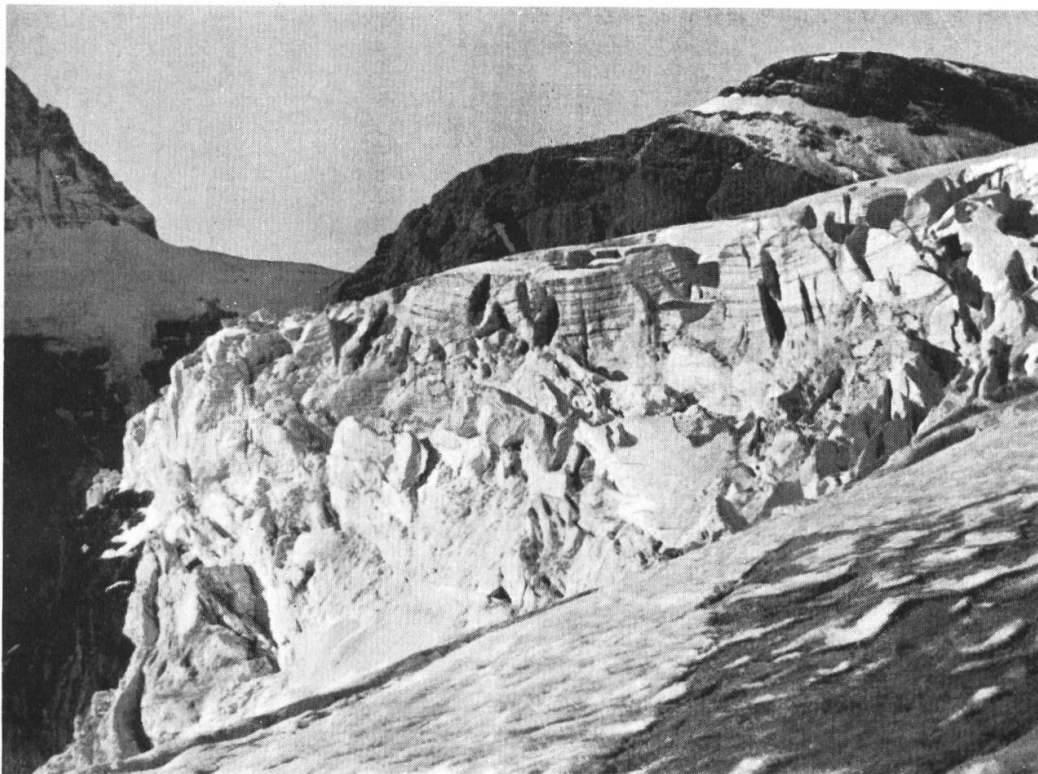


Bild 3: Schichtung an der Geissbützi-Wand des Claridenfirns
Aufnahme Streiff-Becker
nach (Streiff 1952 a, Tafel I bei S. 8)

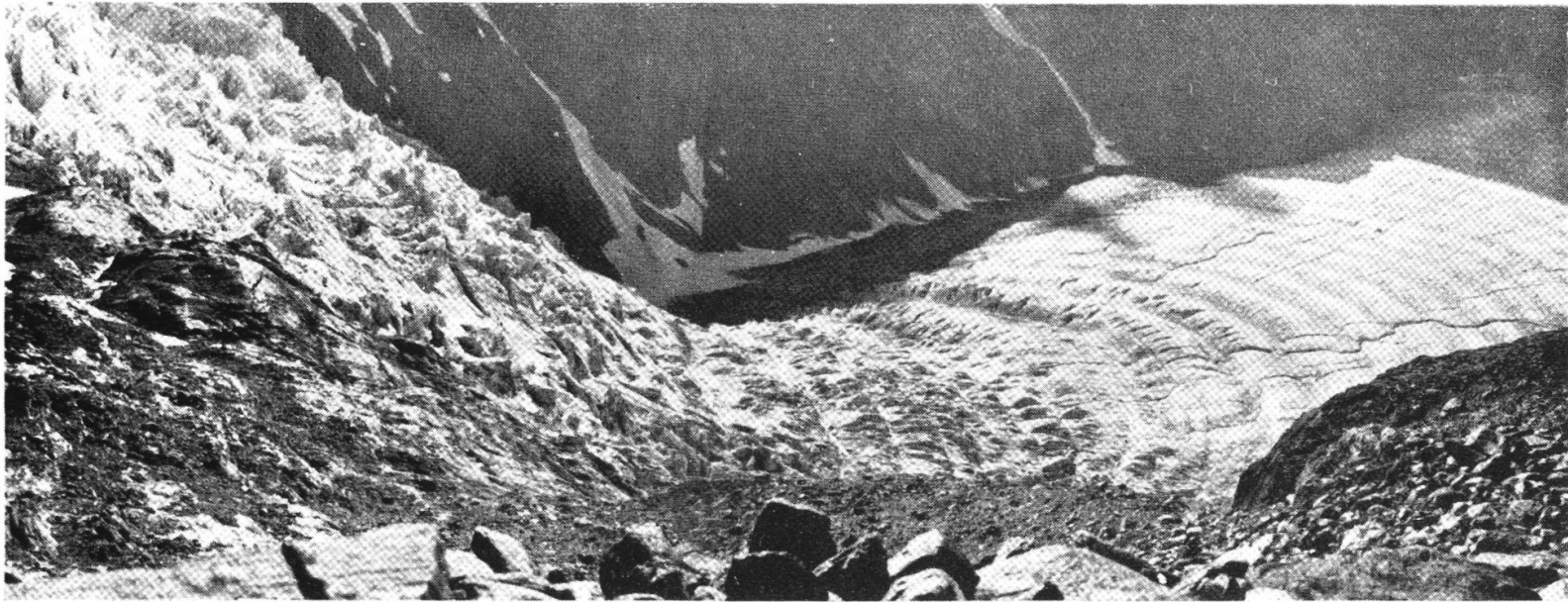


Bild 4: Ogiven am Triftgletscher (Berner Oberland)
Aufnahme Streiff-Becker nach (Streiff 1943, S. 129, Abb. 20 und 1952 a, Tafel II bei S. 9)

chaotischen Eissturzes des Triftgletschers (Berner Oberland) rechts im Bild 4 (Streiff 1943, Abb. 20 und 1952 a, Tafel II) als Druckwellen, die seine Theorie bestätigen. Er entdeckte in Bild 5 (Streiff 1943, S. 125) «einzelne Firnklötze, die hoch über das allgemeine Firnniveau emporgepresst werden, weil der Druck der plastischen Tiefenschicht am Hindernis des Riegels nach oben gerichtet ist» (S. 126).



Bild 5: Blümlisalp-gletscher (Berner Oberland)
Aufnahme 1941
nach Streiff (1943, S. 125, Abb. 16)

3. Auswirkungen auf die Arbeiten anderer Forscher und kritische Erwägungen

Sowohl zum Verständnis der Arbeiten von Streiff-Becker als auch der nachfolgenden Diskussion drängt sich eine kurze historische Einführung auf, mit welcher inbezug auf die Forschungsarbeiten am Claridenfirn der wissenschaftliche Stand etwa zwischen 1920 und 1950 auszugsweise umrissen wird. Mit Bild 2 (S. 59) ist die Problematik der Gletschermechanik irgendwie angesprochen: Hinten im Bild, in der Ansicht, die Oberfläche der Landschaft, von der recht viel bekannt ist, vorn, im Schnitt, das noch wenig erforschte Innere. Das mechanische Verhalten des polykristallinen Eises, zusammen mit der flüssigen und gasförmigen Phase sowie mit Einschlüssen an fremden Stoffen birgt noch viele Geheimnisse. Schon im 18. Jahrhundert erscheint der Begriff des Gletschers als plastische Masse, die sich unter der Wirkung der Schwerkraft talwärts bewegt (Bordier 1773). Genauere Vorstellungen über die Gletscherbewegung gingen gegen Ende des 19. Jahrhunderts von hydrodynamischen Vorstellungen aus. Fast gleichzeitig erschienen Arbeiten, welche die laminare Bewegung des Gletschers durch kinematische Modelle, mit Stromlinien einer zähen Flüssigkeit, unter Berücksichtigung von Akkumulation und Ablation, darstellten (Reid 1896; Finsterwalder 1897). Ein Jahrzehnt später erschien eine Publikation «Über den Koeffizienten der inneren Reibung des Gletschereises und seine Bedeutung für die Theorien der Gletscherbewegung» (Weinberg 1907), in welcher der Gletscher als zähe Flüssigkeit behandelt wurde, unter Benützung von Messdaten am Hinterersferner (Blümke und Hess, 1899 und folgende Jahre) und der Reibungskoeffizienten, die der Autor mittels Torsionsversuchen an Eisproben selbst bestimmt hat. Im Jahre 1921 wurde auf der gleichen physikalischen Grundlage für ein zylindrisches Gerinne mit halbkreisförmigem Querschnitt eine Formel abgeleitet, mit der sich die Gletschertiefe aus Oberflächengeschwindigkeit, Neigung und kinematischer Zähigkeit berechnen liess (Somigliana, 1921, kommentiert durch Finsterwalder, 1926). Die früher zitierte Arbeit von Boris Weinberg ist nicht nur durch den bereits erwähnten experimentellen Teil bemerkenswert, sondern auch durch den theoretischen Teil, in welchem er eine Übersicht der zu seiner Zeit bekannten, teils auch schon definitiv abgelehnten Theorien über die Gletscherbewegung gibt, gegliedert nach:

- «a) den Kräften, welche als Ursache der Gletscherbewegung angesehen werden,
- b) dem Charakter der Bewegung, welche dem Eise zugeschrieben wird,
- c) der physikalischen Erklärung jener Eigenschaft des Eises, welche seine Bewegung ermöglicht».

Unter c) erwähnt er folgende Möglichkeiten:

- 1) «Plastizität wird erklärt durch Erniedrigung der Schmelztemperatur bei erhöhtem Druck und die Erscheinung der Regelation.
- 2) Hauptursache in der körnigen Struktur mit Schmelzen und Regelation an den Kornflächen.
- 3) «Trockene» Plastizität analog Metallen, die weit von der Schmelztemperatur sind
- 4) Beweglichkeit nicht im Eise selbst, sondern den Staublagen, welche Schichtung erkennen lassen.» (Weinberg 1907, S. 328).

Nach der Systematik von Weinberg lassen sich die Hypothesen von Streiff-Becker wie folgt einordnen: Ursache der Gletscherbewegung ist die Schwerkraft, Hauptursache der Bewegungsmöglichkeit ist die körnige Struktur mit Schmelzen und Regelation an den Kornflächen, wobei die Erniedrigung der Schmelztemperatur bei erhöhtem Druck wesentlich zum plastischen Verhalten beiträgt. Neu ist der Charakter der Bewegung, der durch ein tiefliegendes Geschwindigkeitsmaximum, den sogenannten «Extrusion Flow» gekennzeichnet ist (Vergleiche Bild 2). Fast gleichzeitig sind ähnliche Ideen auch im Zusammenhang mit einem Gletscher in Westgrönland publiziert worden (Demorest 1937, p. 45). Die Arbeit «Zur Dynamik des Firneises» (Streiff 1938 a) stiess in der Fachwelt auf grosse Beachtung. Namhafte Forscher liessen sich weitgehend von den Beobachtungsergebnissen am Claridenfirn, insbesondere der Berechnung des Durchflussvolumens überzeugen, mit der ein tiefliegendes Geschwindigkeitsmaximum nachgewiesen wurde. Am 26. April 1946 berichtete Gerald Seligman an einer Sitzung der British Glaciological Society in Cambridge ausführlich über die Arbeiten von Streiff-Becker, unter dem Titel: «Extrusion Flow» in Gletschern, eine Beschreibung von Tests zur Überprüfung der Hypothese und einige Einzelheiten bezüglich seines Einflusses auf die Glazialerosion («Extrusion flow in glaciers, a description of tests to prove the hypothesis and some details regarding its influence on glacial

erosion»). Er schliesst mit den Worten: I have put forward the extrusion flow hypothesis. While there is much to be said in its favour and while it is supported by many eminent glaciologists, my personal opinion is that it cannot be finally accepted without further observational research. Nevertheless, the observations and the arguments are sufficiently compelling to justify serious consideration» (Seligman 1947).

In einer langen Diskussion äusserten sich Zweifler und Befürworter. Eine gewisse Unsicherheit wurde bei den Untersuchungen am Claridenfirn in der Bestimmung des für den Eisabfluss massgebenden Einzugsgebietes gesehen, in der Art, wie die Verdichtung des Firns zu Eis berücksichtigt wurde und im mittleren Betrag von über 3 Metern für den mittleren jährlichen Firnzuwachs, der mit einem gezeigten mehrjährigen Schichtprofil im Widerspruch zu stehen schien. Es wurde auch gefragt, ob die Bedingung nach Penk, dass der Schwerpunkt der bewegten Eismasse im Längsprofil stets absinken müsse, erfüllt sei. Die Befürworter stützten sich einerseits auf Analogien mit der Bewegung einer Tonböschung mit einer dünnen aufgeweichten Oberflächenschicht. («Movements of a clay slope with a thin softened surface layer»), anderseits auf die Interpretation von pleistozänen Glaziallandschaften in Nord-West England, wo in einem Fall auf eine Aufwärtsbewegung des Eises von 500 auf 1400 Fuss geschlossen werden dürfe und in einem andern Fall der Ausfluss des Eises von einer Eiskalotte über die Pässe der umgebenden Bergkette sich gut nach Streiff-Becker erklären lasse. Dr. Perutz schliesslich ist, wie Seligman, beeindruckt vom Ausmass des Verhältnisses von Querschnitts- und Oberflächengeschwindigkeit. Perutz sieht die Ansichten von Streiff-Becker völlig verträglich (fully consistent) mit Resultaten aus Untersuchungen über die mechanischen Eigenschaften von Eis, die sich während des Krieges bei der Planung von grossen Flugzeugbasen («large aircraft-carriers») auf Eis ergaben. Er erachtete die Kenntnisse über die Kriecheigenschaften von Eis als zur Zeit noch nicht genügend, um das Ausmass eines «Extrusion Flow» unter gegebenen Bedingungen von Tiefe, Dichte und Temperaturverteilung zu berechnen und vermutete, dass in Gletschern sowohl plastisches Fliessen als auch Gleiten längs Scherflächen auftreten könnten. Die Diskussion wurde mit folgendem Statement abgeschlossen: «To sum up the discussion, the meeting paid tribute to the valuable observations carried out over so many years by Dr. Streiff-Becker. At the same time the feeling appeared to be that the value of the figures

adduced by him would have been strengthened had his measurements of firn flow and calculations been carried out over the whole breadth of the glacier, and if the contraction of the snow mass by settling had been taken into account. Nevertheless his views carried great weight and were well backed up by the physical facts which fully supported his hypothesis, even though more work seemed necessary before it could be finally accepted».

Die Geschwindigkeitsverteilung an einer Vertikalen im Innern eines Gletschers kann gemessen werden, wenn ein senkrechtes Bohrloch durch ein flexibles Gestänge verrohrt ist. Die genaue Form des Gestänges wird wiederholt mittels eines Klinometers mit Gyroskop bestimmt. Die Formänderung im Messintervall gibt die Geschwindigkeitsänderung gegenüber dem Oberflächenpunkt, dessen Standort am Anfang und am Ende des Intervalls von einer Basis aus eingemessen wird. Unter der Leitung von Dr. Perutz wurde eine solche Messung von 1948 bis 1950 am Jungfraufirn des Aletschgletschers auf 3350 Meter über Meer durchgeführt. (Perutz 1950; Gerrard, Perutz und Roch 1953) Bei einer Bohrlochtiefe von 137 m bis nahe an das Gletscherbett und einer Oberflächengeschwindigkeit von rund 35 m pro Jahr ergab sich von oben nach unten eine progressiv abnehmende Geschwindigkeit, also kein «Extrusion Flow». Streiff-Becker führte das Fehlen von Extrusion-Flow auf den Einfluss der auf 3350 m ü. M. tiefen Lufttemperatur zurück, welche die Bildung einer «fluidplastischen» Schicht verhindere (Streiff 1953). Aus früheren Untersuchungen (Seligman 1941) war aber im Jungfraufirn, abgesehen von einer Oberflächenschicht, eine dem Druckschmelzpunkt entsprechende Temperatur, also ein quasi-isothermer Zustand zu erwarten. Dies wurde später im benachbarten Ewigschneefeld bestätigt, wo in etwa 30 m Tiefe ein Grundwasserspiegel gefunden wurde (Lang, Schädler und Davidson 1976; Schommer 1977). Eine zweite Bewegungsmessung an einem Bohrloch wurde am Malaspinagletscher in Alaska durchgeführt, an einer Stelle, wo aus seismischen Sondierungen bekannt war, dass das Gletscherbett in Richtung der Gletscherbewegung anstieg. Bei einer seismisch bestimmten Eisdicke von 595 m wurde bis in 305 m Tiefe gebohrt und gemessen (Sharp 1953). Auch in diesem Fall konnte kein Extrusion Flow festgestellt werden. Sharp erachtete die Möglichkeit von Extrusion Flow in grösserer Tiefe als unwahrscheinlich, wenn er sie auch nicht absolut ausschliessen konnte.

Für das sogenannte Konkordialprofil am Grossen Aletschgletscher ist aus der Massenbilanz eine mittlere Durchflussgeschwindigkeit von rund 300 m/Jahr berechnet worden, bei einer mittleren Oberflächengeschwindigkeit von 165 m/Jahr und einem Oberflächenmaximum von 206 m/Jahr. Dabei ist eine maximale Eisdicke von 500 m vorausgesetzt und eine definitive Auswertung der seismischen Sondierungen vorbehalten worden (Haefeli und Kasser 1948). Die Sondierungen von 1947 ergaben leider keine sicheren Resultate und wurden deshalb auch nie publiziert. Eine seismische Kampagne im Jahre 1958 beschränkte sich auf den tiefsten Bereich bergseits des Durchflussprofils, wo, bezogen auf die Oberfläche von 1957, Eisdicken bis 890 m festgestellt wurden (Thyssen und Ahmad 1969). Neue Überprüfungen des Durchflusses durch den Berichterstatter, mit Massenbilanzen für den stationären Zustand und mit einer maximalen Eisdicke von 600 m, ergaben für das Konkordiaprofil Durchflussgeschwindigkeiten, die nur wenig von der mittleren Oberflächengeschwindigkeit abwichen. Haushaltsrechnungen vom Gletscherende her und mit einer Eisdicke von 550 m im Profil deuteten in einzelnen Jahren auf Extrusion Flow hin, in anderen nicht (Röthlisberger 1982), wobei die Streuung der Resultate durch die Ungenauigkeit der Methode bedingt sein dürfte. Deshalb kann der Nachweis des «Extrusion Flow» im Konkordiaprofil kaum mehr als signifikant bewertet werden, wie dies früher geschah (Streiff 1953). Auch eine Überprüfung der Durchflussrechnung für den Claridenfirn führt zu einem ähnlichen Schluss, wenn mit den nachstehenden, unter a) bis c) aufgeführten Daten gerechnet wird:

- a) Einzugsgebiet: Die Grenze gegen den Spitzalpelirfirt ist unsicher. Nach den Luftbildern vom 17. September 1979 der Eidgenössischen Landestopographie kann mit einer um etwa 20 % kleineren Fläche, oder $0,8 \cdot 1\,089\,200$ gleich $871\,360 \text{ m}^2$ gerechnet werden.
- b) Verdichtung des Firnzuwachses: von 1962 bis 1977 sind die gemessenen Raumgewichte des Firnzuwachses an der Oberen Boje publiziert (Kuhn 1962; Lemans 1963 - 1977). Für diese 16 Messjahre entspricht einem mittleren jährlichen Firnzuwachs von 3.06 m ein mittleres Raumgewicht von 0.523 t/m^3 ; für diese Firnmassen soll mit einer Verdichtung auf Eis von 0.82 t/m^3 gerechnet werden.
- c) Firnzuwachs: Der mittlere bei der Oberen Boje in der Periode von 1915/16 bis 1934/35 gemessene jährliche Firnzuwachs von 3.167 m wird als massgebend für das Einzugsgebiet akzeptiert.

- d) Durchflussprofil: Es soll mit den 120 110 m² Querschnittsfläche gerechnet werden, die für eine grösste Eisdicke von 200 m geschätzt worden sind. Damit ergäbe sich eine mittlere Durchflussgeschwindigkeit von $3.167 \cdot \frac{0.523 \cdot 871\,360}{0.82 \cdot 120\,110} = 14.65$ m/Jahr, also ungefähr gleich viel wie die Oberflächengeschwindigkeit der Oberen Boje.

Es gibt noch weitere Unsicherheitsfaktoren:

Der Firnzuwachs der Oberen Boje ist als massgebend für das ganze Einzugsgebiet angenommen worden. Dieser Wert könnte etwas zu gross sein, wie ein durch Hans Siegenthaler (VAW-ETHZ) am 5. April 1952 aufgenommenes Schneehöhenprofil zeigt (Kuhn 1952).

Nach den topographischen Gegebenheiten könnte die grösste Gletscherdicke im Durchflussprofil noch grösser als 200 m und damit der Durchflussquerschnitt grösser als die eingesetzten 120 110 m² sein. Aufgrund aller dieser Überlegungen ist ein tiefliegendes Geschwindigkeitsmaximum sehr fraglich. Direkte Geschwindigkeitsmessungen in Bohrlöchern, wie sie andernorts von Perutz und von Sharp durchgeführt worden sind, könnten in den Durchflussquerschnitten von Clariden und Konkordia eindeutige Ergebnisse liefern.

Der Mechanismus des «Extrusion Flow» müsste für die mögliche maximale Dicke von Gletschern Konsequenzen haben, die Streiff-Becker wie folgt formuliert hat:

«Es ist wahrscheinlich, dass entsprechend der geographischen Lage und der zugehörigen mittleren Jahrestemperatur jeden Ortes die Firndicke einen gewissen Maximalwert erreicht, diesen jedoch nie wesentlich überschreitet, weil bei jedem ausserordentlichen Firnzuwachs eine Steigerung des Druckes und erhöhte Abflussgeschwindigkeit in den tieferen Schichten eintritt» (Streiff 1938 a, S. 12/13). Es ist zu erwarten, dass die Überprüfung an einigen vergleichbaren Gletschern zur Ablehnung dieser Hypothese führen wird.

Abreibbilder («rubblings») von angeschmolzenem Gletschereis zeigen die Korngrenzen. Auffällig ist dabei oft die unregelmässige Gestalt und die starke Verzahnung der einzelnen Kristalle. In einem solchen Gebilde ist ein Bewegungsmechanismus durch gegenseitiges Abrollen der Eiskörner mit Regelation kaum möglich. Deshalb lag es nahe, an Rekristallisationsvorgänge analog der Warmverformung von Metallen zu denken. Über das Fliessen von Eis und anderen festen Stoffen («The Flow of ice and other solids») diskutierten Mitglieder der British

Glaciological Society, des British Rheologists' Club und des Institute of Metals am 29. April 1948 unter Vorsitz von Richard Finsterwalder (Orowan and Perutz 1949). Über das Wachstum der Eiskristalle in Gletschern erschien eine Publikation, in der angeregt wurde, den Wachstumsmechanismus der Gletscherkristalle zu untersuchen (Seligman 1949). In der Schweiz sind die Arbeiten des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch/Davos (EISLF) zu erwähnen, in welchen Schnee als kristallines Aggregat untersucht wurde (z. B. Bader u. a. 1939; de Quervain 1945). Damit lag die Entwicklung der fünfziger Jahre in der Luft. Im Laboratorium wurden die Fließgesetze von Eis experimentell untersucht, in England das Potenzgesetz zwischen Schubspannung und Deformationsgeschwindigkeit gefunden (Glen 1952). Grosse Beachtung fand die Publikation über «Experimentelle Untersuchungen zur Plastizität von Eis», die im Rahmen des EISLF (Steinemann 1958) durchgeführt wurden. Aufgrund solcher Messresultate muss angenommen werden, dass Rekristallisationsprozesse bei Formänderung von Eiskristallen unter Spannung und Kornwachstum massgebend sind, und in diesem Sinne das Verhalten von polykristallinem Eis ähnlichen Gesetzen gehorcht wie die Warmverformung von Metallen. Untersuchungen von Streiff-Becker an Schnee- und Firnproben beschränkten sich auf eine Oberflächenschicht von etwa 4 Metern Mächtigkeit, deren Eigenschaften anders sind als diejenigen von Gletschereis. Untersuchungen in Meereshöhen von 3140 bis 3460 Metern über Meer an Schächten und Spalten des Jungfraufirns zeigen, dass der Übergang von Firn zu Gletschereis von einem Raumgewicht $> 0.8 \text{ t/m}^3$ etwa 20 bis 30 Meter unter der Oberfläche festgestellt werden kann (Seligman 1943).

Strudellöcher, in welchen Schmelzwasserbäche ins Innere der Gletscher verschwinden und die Austritte des Wassers aus den Gletschertoren sind bekannt, seit Menschen die Gletscher begehen. Die Wasserwege im Eis und die Rolle, die sie für die Gletscherbewegung spielen, werden erst seit etwa einem Jahrzehnt eingehender untersucht. Der Gletscher ist einem Karstgebirge vergleichbar, in welchem sich aber die Kanäle in einem Jahreszyklus erweitern und verengen (Röthlisberger 1972; 1980). Bei der Schneeschmelze im Frühjahr wird das Wasser im Inneren zurückgestaut, Grundwasserspiegel und der Wasserdruck an der Sohle steigen, die Kanäle erweitern sich und der Grundwasserspiegel fällt. Im Winter, wenn wenig Wasser anfällt, werden die Kanäle

enger. Wasserdruckmessungen, vorerst in Strudellöchern (Iken 1972), später in Bohrlöchern durchgeführt, welche mit dem Gletscherbett kommunizieren (Iken u. a. 1978; Röthlisberger 1980; Iken 1981), verbunden mit der Messung der Geschwindigkeitsänderungen an der Gletscheroberfläche, zeigen einen engen Zusammenhang zwischen dem Wasserdruck und der Geschwindigkeit, mit welcher der Gletscher auf seiner Unterlage gleitet. Dass es sich dabei nicht um «Extrusion Flow» handelt, ist zum Beispiel am vorstossenden Findelengletscher zu sehen (Besuch vom 3. September 1983), wo die Randspalten bestätigen, dass die Reibungswiderstände am Ufer kaum genügen, um die wenig gestörte Oberflächenschicht zurückzuhalten. Diese «schwimmt» vielmehr auf den tieferen Schichten und macht deren Bewegung mit. Die Erosion am Gletscherbett kann durch die Arbeit der mit dem Eis und dem Wasser mitgeführten Steine erklärt werden.

Unter der Wirkung der Schwerkraft setzt sich die Gletscherbewegung aus zwei ganz verschiedenen Mechanismen zusammen. Erstens aus der Differentialbewegung im Innern des Gletscherkörpers, die durch Rekristallisationsvorgänge in den unter Spannung stehenden Eiskristallen gesteuert wird, zweitens aus dem Gleiten des Gletscherkörpers auf seinem Bett, mit dem Wasserdruck als bestimmender Grösse, der die Reibung am Bett überwinden hilft, wobei auch Regelation im Kontakt mit dem Untergrund mitbeteiligt ist. Die Berechnung der Differentialbewegung im Gletscherinnern ist einer mathematischen Behandlung besser zugänglich als das Gleiten auf der Unterlage. Neuere Handbücher sind immer mehr mathematisch orientiert (Paterson 1968 & 1980) und es gibt bereits Handbücher über «theoretische Glazilogie» (Hutter 1983).

Trotz grundlegender physikalischer Erkenntnisse und trotz der Möglichkeiten moderner Mathematik stecken die Gletscher aber heute noch voller Geheimnisse. Vor allem die Mechanik der aussergewöhnlich raschen Gletschervorstösse, der sogenannten «Surges», kann noch nicht befriedigend erklärt werden. Viele Probleme stecken in den Einzelheiten. So sieht sich ein Experte, der Massnahmen empfehlen soll, die den möglichen Ausbruch eines eisgestauten Sees verhindern sollen, oder der das Risiko eines Gletschersturzes beurteilen muss, immer wieder vor neuen Schwierigkeiten (Röthlisberger 1974, 1981). Die Grenzen können an folgendem «einfachen» Beispiel illustriert werden. Der aktuelle Vorstoss von verschiedenen Gletschern hat schon einige

Wasserfassungen ausser Betrieb gesetzt. Vor dem Findelengletscher ist vorsorglich eine neue Fassung gebaut worden, die auch unter dem Gletscher funktionieren sollte. Es wird noch heute kaum jemand in der Lage sein, in einem solchen Fall mit Sicherheit vorauszusagen, ob und wann der Gletscher die Fassung erreichen wird, welche Mengen und welche Korngrössen von Geschiebe er mitführen wird, welche die Fassung verstopfen könnten, wie das Eis im Einzelnen das Bauwerk überfließen wird und welche Kräfte dabei auftreten werden.

Die Bemerkungen in den beiden letzten Abschnitten sollen vereinfacht und auszugsweise auf den heutigen Stand der Glaziologie hinweisen, aber auch zeigen, dass es noch heute viele ungelöste Fragen gibt. Ein geschichtlicher Abriss war notwendig, um den Stand der glaziologischen Wissenschaft in den dreissiger und vierziger Jahren zu verstehen und damit die Randbedingungen für die Forschungsarbeiten von Streiff-Becker zu umreissen. Auch wenn es bisher in keinem Falle gelungen ist, die Existenz eines «Extrusion Flow» signifikant nachzuweisen, und die heutige Lehrmeinung kaum mehr an diese Möglichkeit glaubt (Sharp 1960; Lliboutry 1965), so ist es doch ein bleibendes Verdienst von Streiff-Becker, durch seine Ideen über den Bewegungsmechanismus der Gletscher und über die Erosion, einen Beitrag zur Entwicklung geleistet zu haben. Die Auseinandersetzung mit seinen Hypothesen hat stattgefunden und Anlass zu neuen Untersuchungen und Resultaten gegeben.

4. Ergänzende und zusammenfassende Bemerkungen

Als Streiff-Becker im Jahre 1919 seine glaziologischen Studien aufnahm, war er 46 Jahre alt. Seine wichtigsten Arbeiten publizierte er im siebten Jahrzehnt seines Lebens. Der Autodidakt muss neben seiner Begeisterung für die Forschung über grosse Kraftreserven verfügt haben, um seine vielfältigen Aufgaben trotz der Lücken in seiner mathematischen und physikalischen Ausbildung zu lösen. Wissenschaftliche Neugierde, Ideenreichtum und Ausdauer in der Verfolgung seiner Ziele waren die Eigenschaften, welche die Laufbahn des Naturforschers und Alpinisten geprägt haben. Die drei Phasen in seiner glaziologischen Tätigkeit sind von 1919 bis 1930 Einführung und vorwiegend praktische Feldarbeit, von 1930 bis 1943 viel Feldarbeit und Formulierung der wichtigsten

Resultate (Streiff 1932; 1936c; 1938a; 1939; 1943), schliesslich nach 1943 bis zu seinem Hinschied im Jahre 1959 die Überprüfung und Sicherung seiner Erkenntnisse, sowie der Kampf um Anerkennung seiner Auffassungen. Das glaziologische Werk von Streiff-Becker muss im Lichte der damaligen Kenntnisse gewürdigt werden, in einer Übergangszeit, die der stürmischen Entwicklung vorausging, welche in den fünfziger Jahren einsetzte. Werk und Ausstrahlung von Streiff-Becker mag in folgenden sechs Punkten a) bis f) zusammengefasst werden:

- a) Mit der umstrittenen Bewegungstheorie hat der Privatgelehrte die anderen Glaziologen herausgefordert. Die Diskussionen über den «Extrusion Flow» gaben den Anlass zu neuen Untersuchungen, die seine Theorie zwar nicht bestätigten, dafür aber anderweitig zu neuen Resultaten führten.
- b) Aus der Hypothese des «Extrusion Flow» abgeleitet, schrieb er dem Gletscher nur eine örtlich beschränkte Erosionsarbeit von Bedeutung zu und entfernte sich damit nicht allzu weit von den Auffassungen von Albert Heim, der dem Gletscher nur eine leicht modifizierende Wirkung auf das Geländerelief zubilligte.
- c) Die im Herbst 1913 am Claridenfirn begonnenen Messungen des Firnzuwachses sind die längsten derartigen Beobachtungsreihen und als solche von unschätzbarem Wert. Streiff-Becker hat durch grossen Einsatz von 1920 bis 1947 die Kontinuität der Reihe gesichert, bis diese von der Schweizerischen Meteorologischen Anstalt und später durch die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich übernommen worden ist. Seit 1980 hat die Gletscherkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft die Verantwortung dafür übernommen, dass die Reihe nicht abbricht. Erste Untersuchungen über die Beziehung des Firnzuwachses am Claridenfirn zu Niederschlag und Temperatur hat Streiff-Becker durchgeführt (Streiff 1932; 1934a; 1936c), später hat W. Kuhn (1950) eine kurze Arbeit publiziert. Die Schriftenreihe mit Jahrbuchcharakter «Der Firnzuwachs pro . . . in einigen schweizerischen Firngebieten» (Rutgers 1914-1916, Billwiller 1918-1946, Kuhn 1947-1962 und Lemans 1963-1977), in denen die Claridenmessungen von Streiff-Becker zu finden sind, wird bei allen relevanten Untersuchungen dieser Art berücksichtigt werden.

ALPENTAL MIT GLETSCHERN

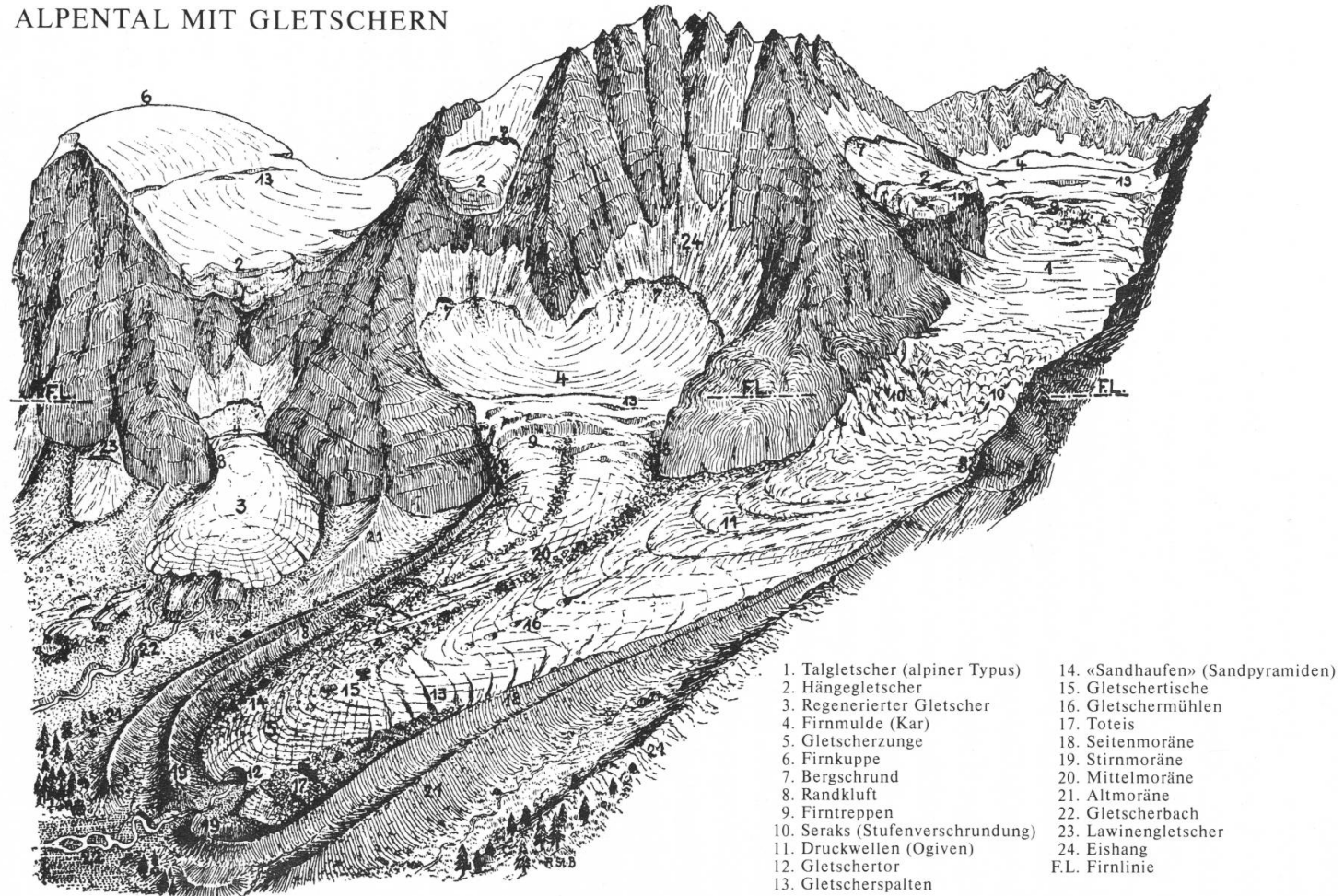
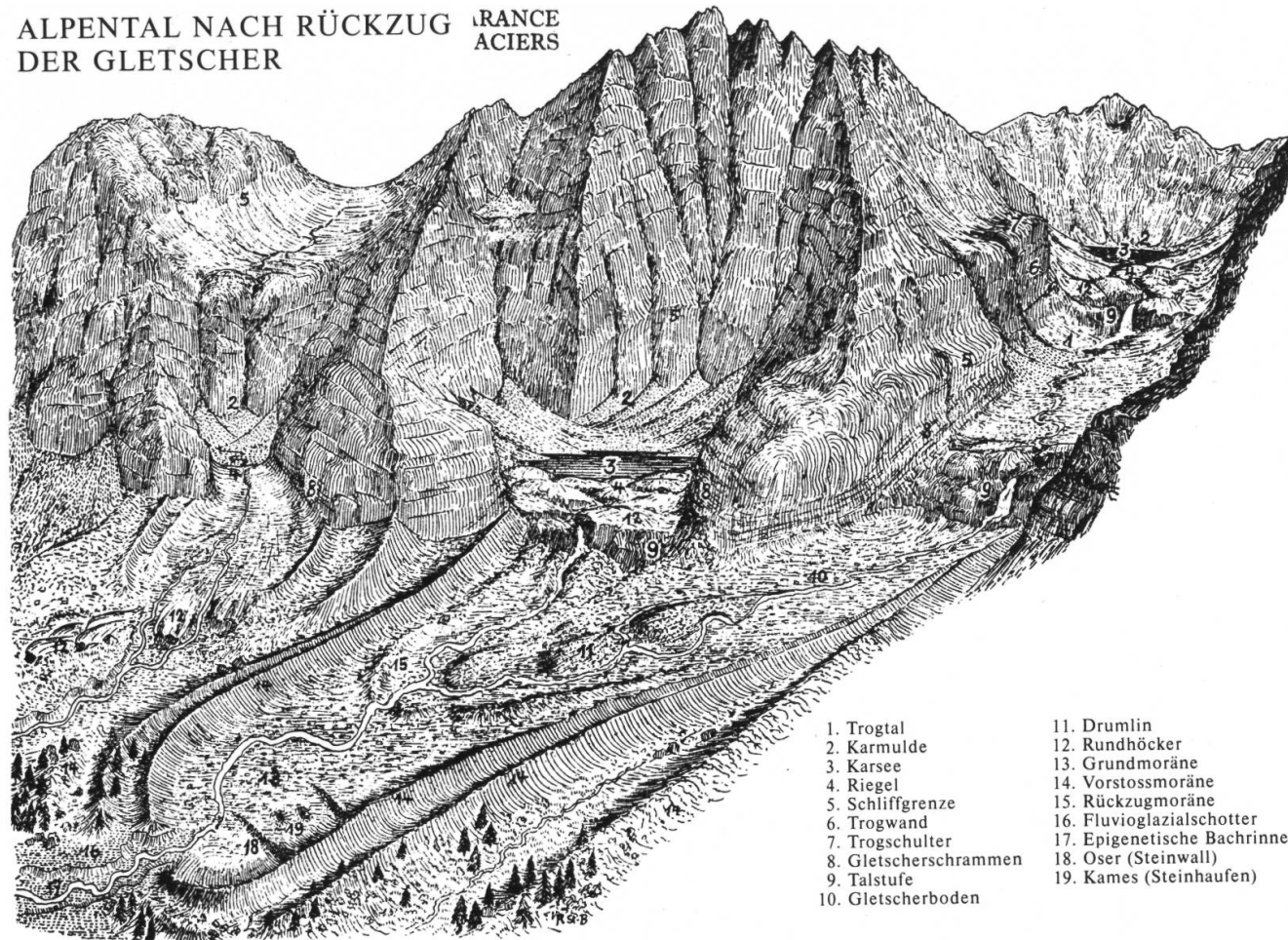


Bild 6: Alpental mit Gletscher
nach (Streiff 1947 b, S. 64 und 1947 d, S. 160)

ALPENTAL NACH RÜCKZUG
DER GLETSCHER

RANCE
ACIERS



- | | |
|-----------------------|-----------------------------|
| 1. Trogtal | 11. Drumlin |
| 2. Karmulde | 12. Rundhöcker |
| 3. Karsee | 13. Grundmoräne |
| 4. Riegel | 14. Vorstossmoräne |
| 5. Schliiffgrenze | 15. Rückzugmoräne |
| 6. Trogwand | 16. Fluvioglazialschotter |
| 7. Trogschulter | 17. Epigenetische Bachrinne |
| 8. Gletscherschrammen | 18. Oser (Steinwall) |
| 9. Talstufe | 19. Kames (Steinhaufen) |
| 10. Gletscherboden | |

Bild 7 Alpentäl ohne Gletscher
nach (Streiff 1947 b, S. 65 und 1947 d, S. 161)

Interessant sind auch die Beobachtungen über die jährliche Wanderung der oberen Boje, die mit einfachsten Mitteln durchgeführt worden ist. Trotz der bescheidenen Genauigkeit lässt sich von 1917 bis 1950 ein abnehmender Trend der Geschwindigkeiten nachweisen, der mit dem allgemeinen Gletscherrückgang in Zusammenhang stehen dürfte.

- d) Die systematische Beschreibung der Glarner Gletscher nach seiner morphologischen Klassierung ist ein interessantes Inventar dieser Region (Streiff 1939).
- e) Wertvoll sind auch die Beiträge zur Geschichte der Gletscherveränderungen während der kleinen Eiszeit, z. B. beim Glärnischfirn, Claridenfirn und Bifertengletscher, sowie weitere dokumentarische Hinweise (z. B. Streiff 1934a; 1939).
- f) Nicht zuletzt werden die instruktiven Zeichnungen, die vom Grundsätzlichen her die Erscheinungen an einem Gletscher illustrieren, die Interpretation einer Glaziallandschaft (Streiff 1941/43) oder die Gegenüberstellung einer hypothetischen Landschaft mit und ohne Gletscher (Streiff 1947b, S. 64/65 und 1947d, S. 160/161) in einem weiteren Leserkreis das Verständnis für unsere Gletscher wecken. Die Bilder 6 und 7 dienten dem Journal of Glaciology als Grundlage zur Definition von Begriffen.

Glaziologische Publikationen von Dr. h. c. Rudolf Streiff-Becker

- 1922 Betrachtungen über die Theorie des Gleitens der Gletscher.
Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden
Gesellschaft, Bern 1922. II Teil, S. 188-191, 1 Fig.
- 1932 Aus der Gletscherwelt.
Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in
Zürich, LXXVII (1932), S. 1-21, 10 Fig.
- 1934 a Der Claridenfirn.
Die Alpen, X (1934), Nr. 1, S. 8-17, 4 Fig., 1 Kartenskizze,
4 Photos.
- 1934 b Glazialerosion und Eisbewegung.
Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in
Zürich, LXXIX (1934), S. 195-208, 2 Fig.
- 1936 a Schnee und Lawinen.
Die Alpen, XII (1936), Nr. 2, S. 46-57, 4 Fig., 2 Photos.
- 1936 b Zur Dynamik der Staublawinen.
Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden
Gesellschaft, Solothurn 1936, II. Teil, S. 265-267, 1 Fig.
- 1936 c Zwanzig Jahre Firnbeobachtung.
Zeitschrift für Gletscherkunde, Bd. XXIV (1936), S. 31-42,
5 Fig., 4 Photos.
- 1938 a Zur Dynamik des Firneises.
Zeitschrift für Gletscherkunde, Bd. XXVI (1938), H 1/2,
S. 1-21, 3 Tab., 9 Fig.
- 1938 b Eisbewegung im Firn und Gletscher und ihre Wirkung.
Physica Acta Vol. XI (1938), S. 541-543, 1 Fig.
- 1939 Glarner Gletscherstudien.
Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft des Kantons
Glarus, Heft VI (1939), S. 5-33, 13 Fig. (inkl. 5 Photos).

- 1940 Über Firn und Gletscher.
Die Alpen, XVI (1940), Nr. 9, S. 321-328, 5 Fig.
- 1941 Über die Entstehung glazialer Felsformen.
Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in
Zürich, LXXXVI (1941), S. 67-76, 4 Abb.
- 1943 Beitrag zur Gletscherkunde. Forschungen am Claridenfirn im
Kanton Glarus.
Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden
Gesellschaft, Bd. LXXV (1943), Abh. 2, S. 111-132, 23 Abb.
(inkl. 10 Photos).
- 1941/43 Schulbeispiel einer Glaziallandschaft.
Mitteilungen der Geographisch-Ethnographischen Gesell-
schaft in Zürich, Bd. XLI (1941/43), S. 121, 1 Photo,
1 Zeichnung.
- 1944 a Rezension: René Koechlin: Les Glaciers et leur Mécanisme.
196 S., 102 Abb., F. Rouge & Cie. S. A. Lausanne 1944. 1 S.
- 1944 b Nachtrag zur Gletschertheorie.
Die Alpen XX (1944), Nr. 12, S. 353-359, 4 Fig.
- 1945 Eine neue Gletscherkunde (Rezension René Koechlin).
Neue Zürcher Zeitung, Nr. 155, 27. Januar 1945.
- 1946 a Temperatur und Niederschlag im Firnhaushalt.
Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in
Zürich. XCI (1946), S. 61-63, 1 Tab.
- 1946 b Probleme der Schnee- und Gletscherforschung.
Prisma, Frauenfeld, 1946, Nr. 5, S. 31-33, 1 Photo.
- 1947 a Extrusion Flow in Glaciers (presented by G. Seligman).
Journal of Glaciology, Vol. I, Nr. 1, p. 12-21, 4 fig.
- 1947 b Glacierization and Glaciation.
Journal of Glaciology, Vol. I, Nr. 2, p. 63-65,
2 Zeichnungen.

- 1947 c Die Schneegrenzen in den Alpen.
Leben und Umwelt, 3. Jg., H. 7, 1. April 1947, S. 107 - 110.
1 Abb., 2 Photos.
- 1947 d Werden und Vergehen des Claridengletschers.
Schweizer Schulfunk, 12 Jg., Heft 5, Oktober 1947, S. 141 +
155 bis 161, 1 Photo + Div. Abb.; (auch auf Tonband).
- 1948 Der Wasserabfluss in einem Gletschertal.
UGGI-Generalversammlung 1948 Oslo. Proceedings AIHS-
Neiges et Glaces, 1950, p. 338 - 340.
- 1949 a Beitrag zur Glazialmorphologie.
Geographica Helvetica, IV (1949), Heft 2, S. 106 - 111,
3 Photos, 1 Fig.
- 1949 b Der Bächifirn.
Die Alpen, XXV (1949), Nr. 7, S. 264 - 266.
- 1949 c Der Glärnisch-Gletscher.
Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in
Zürich. Jg. 94 (1949). S. 109 - 122, 2 Fig., 8 Abb.
- 1949 d Rezension: R. Haefeli: Schnee, Lawinen, Firn und Gletscher.
(in L. Bendels Ingenieur-Geologie.)
Schweizerische Bauzeitung 23. Juli 1949, S. 417.
- 1949 e Rezension: R. von Klebelsberg: Handbuch der Gletscher-
kunde und Glazialgeologie, Bd. 1 und Bd. 2 (Springer Verlag) -
Journal of Glaciology, Vol. I, No. 6, October 1949, p. 343 - 344.
- 1950 Gletschermühlen.
Prisma, 4 Jg. (1949/50), Nr. 9. Januar 1950, S. 443 - 448, 7 Abb.
- 1951 a Pot-holes and glacier mills.
Journal of Glaciology, Vol. I, No. 9, p. 488 - 490.
(with some comments by S. E. Hollingworth, p. 490).
- 1951 b Pot-holes and glacier mills. Correspondence (Replik).
Journal of Glaciology, Vol. I, No. 10, p. 582.

- 1952 a Probleme der Firnschichtung.
Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. II,
Heft 1, S. 1-9, 4 Fig., 2 Photos.
- 1952 b Steigendes Wasser, von der Kapillarkraft.
Prisma, 7. Jg. 1952/53, Nr. 5, September 1952, S. 225-227, 3 Abb.
- 1952 c Albert Heim als Gletscherforscher (Gletscher und Eiszeit).
in «Albert Heim, Leben und Forschung», Wepf & Co. Verlag,
Basel, S. 121-132.
- 1953 Extrusion Flow in Glaciers.
Journal of Glaciology, Vol. 2, No. 13 April 1953, p. 181-182,
1 Fig.
- 1954 The initiation of dirt cones on snow (Comment on Mr. J.
Warren Wilson's paper. Journal of Glaciology Vol 2, No. 14,
November 1953, p. 281-287, 3 Fig.)
Journal of Glaciology, Vol. 2, No. 15, April 1954, p. 365-367.
- 1955 a Gletscherschwund.
Leben und Umwelt, Basel 1954, No. 9, S. 199-202. 2 Bilder.
- 1955 b Ein aussergewöhnlicher Gletschervorstoss.
Geographica Helvetica X, No. 1, S. 50.
- 1956 Zur Entstehung der Penitentes.
Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie,
Bd. III 1956, Heft 2, S. 245-246, 1 Fig.
- 1957 Glacier advances apparent and real. A contribution to the
discussion (bezieht sich A.E. Harrison, Fluctuations of the
Nisqually Glacier, Mt. Rainer, Washington, since 1750, Journal
of Glaciology, Vol. 2, No. 19, p. 675-683 und K.B. Bengtson,
Activity of the Coleman Glacier, Mt. Baker, Washington,
U. S. A., 1949-1955, Journal of Glaciology, Vol. 2, No. 20,
p. 708-713).
Journal of Glaciology, Vol. 3, No. 22, p. 151.
- 1924/29 Feldbuch mit persönlichen Aufzeichnungen.

Publikationen anderer Autoren

- Agassiz, L. 1847: *Système glaciaire. Nouvelles études et expériences sur les glaciers actuels, leur structure, leur progression et leur action physique sur le sol* (V. Masson, Paris), 598 p.
- Bader, H., Haefeli, R., Bucher E., Neher, J., Eckel, O., Thams, Chr., mit Einführung von P. Niggli, P. 1939: *Der Schnee und seine Metamorphose.*
Beiträge zur Geologie der Schweiz- Hydrologie – Nr. 3.
- Billwiller, R., 1918 -1920: *Berichte der Gletscherkommission der Physikalischen Gesellschaft, Zürich* (4. - 7. Firnbericht für 1916/17 - 1919/20). *Jahrbuch Ski* XIII. - XV. Jg.
- Billwiller, R., 1922 -1946: *Der Firnzuwachs pro . . . in einigen schweizerischen Firngebieten, Berichte der Gletscherkommission der Physikalischen Gesellschaft Zürich* (8. -13. Firnbericht für 1920/21 -1925/26) und der Zürcher Gletscherkommission (14. - 33. Firnbericht für 1926/27 -1945/46). *Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich* LXVII - XCI. Jg.
- Blümke, A. und Hess, H. 1899: *Untersuchungen am Hintereisferner.* Wiss. Ergänzungshefte zur Zeitschrift des D. und Oe. Alpenvereins, V, VII, VIII, IX, X, München.
- Bordier, L.C. (Mr.B), 1773: *Voyage pittoresque aux glaciers de Savoie, fait en 1772*, Genève, 303 p.
- Bucher, Edwin, 1948: *Beitrag zu den theoretischen Grundlagen des Lawinenverbaus.*
Beiträge zur Geologie der Schweiz – Hydrologie – Nr. 6.
- Demorest, M. 1937: *Glaciation of the Upper Nugssuak Peninsula, West Greenland.*
Zeitschrift für Gletscherkunde, Vol. 25, 1937, p. 36 - 56.
- Finsterwalder, S., 1897: *Der Vernagtferner, seine Geschichte und seine Vermessung in den Jahren 1888 -1889.* Wissenschaftliche Ergänzungshefte zur Zeitschrift des D. und Oe. Alpenvereins, I. Band, 1. Heft, Graz 1897.

- Finsterwalder, S., 1926: Über die innere Reibung des Eises und die Bestimmung der Gletschertiefe
(nach Somigliano: Aufsatz in Bolletino del Comitato glaciologico italiano, Nr. 6, Rom 1925).
Zeitschrift für Gletscherkunde XV. Bd. (1926/27), H.1
(Septémbre 1926), S. 55-59.
- Finsterwalder, Richard 1950: Some comments on glacier flow
The Journal of Glaciology, Vol. 1, No. 7, March 1950,
p. 383-388.
- Flotron, A. 1973: Photogrammetrische Messung von Gletscherbewegungen mit automatischer Kamera — Schweizerische Zeitschrift für Vermessung, Kulturtechnik und Photogrammetrie, Fachheft 1/1973.
- Gerrard, J.A.F., Perutz, M.F. and Roch, André (1953): Measurement of the velocity distribution along a vertical line through a glacier.
Proceedings of the Royal Society, Series A, Vol. 213, 1952,
p. 546-558.
- Glen, J.W. 1952: Experiments on the deformation of ice.
Journal of Glaciology, Vol. 2, No. 12, p. 111-114.
- Haefeli, R. und Kasser, P., 1948: Beobachtungen im Firn- und Ablationsgebiet des Grossen Aletschgletschers.
Schweizerische Bauzeitung, 1948, Nr. 35 und 36, 66. Jg.,
S. 477-481 und S. 489-494, speziell S. 490.
- Heim, Albert, 1885: Handbuch der Gletscherkunde, Stuttgart.
- Heim, Albert, 1916-1922: Geologie der Schweiz.
Verlag Chr. Herm. Tauchnitz, Leipzig.
- Hess, Hans, 1923: Der Hintereisferner 1893 bis 1922. Ein Beitrag zur Lösung des Problems der Gletscherbewegung.
Zeitschrift für Gletscherkunde XIII Bd (1923/24), H. 1/2
(Februar 1923), S. 145-203.

- Hughes, T.P., and Seligman, G. 1939: Monthly Notices of the Royal Astronomical Society, Geophysical Supplement, Vol. 4, No. 8, p. 261.
- Hutter, K. 1983: Theoretical Glaciology, Reidel Publ. Comp. Dordrecht, Boston, 510 p.
- Iken, A. 1972: Measurement of Water pressure im moulines as part of a movement study of the White Glacier.
Journal of Glaciology, Vol. 11, No. 61, p. 53 - 58.
- Iken, A., Röthlisberger, H. und Hutter, K. 1978: Deep drilling with a hot water jet – Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. XII, H. 2, S. 143 - 156.
- Iken, A., 1981: The effect of the subglacial water pressure on the sliding velocity of a glacier in an idealized numerical model. — Journal af Glaciology, Vol. 27, Nr. 97, p. 407 - 421.
- Klebelsberg, von, R. 1948: Handbuch der Gletscherkunde und Glazialgeologie, 2 Bde., Springer Verlag, Wien.
- Klebelsberg, von, R. 1961: Dr. R. Streiff-Becker, 1873 - 1959.
Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. IV, Heft 3, S. 279 - 280.
- Kuhn, W., 1947 - 1962: Der Firnzuwachs pro . . . in einigen schweizerischen Firngebieten (34. - 49. Firnbericht für 1946/47 - 1961/62). Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesellschaft in Zürich, 92. - 107. Jg.
- Kuhn, W., 1950: Zusammenhang zwischen Firnzuwachs, Sommertemperatur und Niederschlag nach Messungen auf dem Clariden- und Silvrettagletscher.
Verhandlungen der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Davos 1950, S. 145 - 146.
- Lagally, M., 1930: Die Zähigkeit des Gletschereises und die Tiefe der Gletscher.
Zeitschrift für Gletscherkunde, Bd. XVIII (1930), H. 1/3, S. 1 - 8.

- Lang, Herbert, Schädler, Bernhard und Davidson, Gail, 1976:
Hydroglaciological Investigations on the Ewigschneefeld-
Gr. Aletschgletscher.
Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. XII,
H. 2, S. 109-124.
- Lemans, A., 1963-1978: Der Firnzuwachs pro . . . in einigen schwei-
zerischen Firngebieten (50.-64. Firnbericht für 1962/63-
1976/77). Vierteljahrsschrift der Naturforschenden Gesell-
schaft in Zürich, 108. -123. Jg.
- Lliboutry, L., 1965: Traité de Glaciologie, Tome 2, p. 589.
Masson et Cie., Editeurs, Paris, 1965.
- Mercanton, P.-L. 1916: Vermessungen am Rhonegletscher 1874-1915.
Neue Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden
Gesellschaft, Bd. LII, 189 Seiten mit 26 Abb. und 2 Plänen,
10 Pläne ausser Text.
- Nye, J.F. 1952: The mechanics of glacier flow, Journal of Glaciology,
Vol. 2, Nr. 12, p. 82-93.
- Orowan, E. and Perutz, M.F., 1949: The flow of ice and other solids.
Discussion on the joint meeting of the British Glaciological
Society, the British Rheologists' Club and the Institute of
Metals, 29 April 1948.
The Journal of Glaciology, Vol. I, No. 5, March 1949,
p. 231-240.
- Paterson, W.S.B., 1968; 1980: The Physics of Glaciers.
Pergamon International Library, 2nd edition, 380 p.
- Penk, A. und Brückner, E. (1901-1909): Die Alpen im Eiszeitalter,
3 Bde, Leipzig.
- Perutz, M.F., 1947: Problems of Glacier flow.
The Journal of Glaciology, Vol. I, No. 2, July 1947, p. 47-51.
- Perutz, M.F. 1950: Direct measurement of the velocity distribution in
a vertical profile through a glacier.
The Journal of Glaciology, Vol. 1, No. 7, March 1950, p. 382-383.

- Quervain, de, Alfred und Mercanton P.-L., 1920: Ergebnisse der schweizerischen Grönlandexpedition 1912-1913. Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Bd. LIII.
- Quervain, de, Alfred und Schnitter, Erwin, 1920: Das Zungenbecken des Bifertengletschers. Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, Bd. LV, Abh. II, 1920.
- Quervain, de, Alfred, 1922: Die Tätigkeit der «Zürcher Gletscherkommission». Zeitschrift für Gletscherkunde, XII. Band (1921/22, H. 3/4 (Mai 1922). S. 137-146.
- Quervain, de, Marcel, 1945: Schnee als kristallines Aggregat. *Experientia* 1.
- Quervain, de, Marcel, 1979: Schneedeckenablation und Gradtage im Versuchsfeld Weissfluhjoch — Mitteilungen der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie der ETHZ, Nr. 41, S. 215-232.
- Reid, F.H., 1896: The mechanics of glaciers. The Journal of Geology. Vol. 4, p. 912-928, Chicago.
- Röthlisberger, H., 1972: Water pressure in intra- and subglacial channels. Journal of Glaciology, Vol. 11, Nr. 62, p. 177-203.
- Röthlisberger, H., 1974: Möglichkeiten und Grenzen der Gletscherüberwachung — Neue Zürcherzeitung No. 196 (29. April).
- Röthlisberger, H., 1980: Gletscherbewegung und Wasserabfluss. Wasser, Energie, Luft, 72. Jg., H. 9, S. 290-294.
- Röthlisberger, H., 1981: Eislawinen und Ausbrüche von Gletscherseen. Gletscher und Klima, Jahrbuch der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, wiss. Teil, 1978, S. 170-212.
- Röthlisberger, H., 1982: Persönliche Mitteilung.
- Rutgers, F., 1914-1916: Berichte der Gletscherkommission der Physikalischen Gesellschaft, Zürich (1.-3. Firnbericht für 1913/14-1915/16). Jahrbuch Ski IX. Jg. — XI, Jg.

- Schommer, Paul, 1977: Wasserspiegelmessungen im Firn des Ewig-schneefeldes 1976.
Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. XII,
H. 2, S. 125 -141.
- Seligman, G., 1941: The structure of a temperate glacier.
Geographical Journal, Vol. 97, No. 5, 1941, p. 297 -317.
- Seligman, G., 1943: Forschungsergebnisse am Grossen Aletschglet-scher. – Die Alpen, XIX Jg., No. 12, S. 357 -364.
- Seligman, G., 1947: Extrusion flow in glaciers – A description of the tests to prove the hypothesis and some details regarding its influence on glacial erosion, presented on the General Mee-ting of the British Glaciological Society in Cambridge on 26 April 1946.
The Journal of Glaciology, Vol. I, No. 1, January 1947, p. 11 -21.
- Seligman, G., 1949: Growth of the glacier crystal.
Journal of Glaciology, Vol. I, No. 5, p. 254 -267.
- Sharp, Robert, P., 1953: Deformation of a vertical bore hole in a piedmont glacier.
The Journal of Glaciology, Vol. 2, No. 13, April 1953, p. 182 -184.
- Sharp, Robert, P., 1960: Glaciers, Condon Lectures, Oregon State System of Higher Education, Eugene, Oregon, 78 p.
- Somigliana, C., 1921: Sulla profondità dei ghiacciai. Rendiconti della R. accademia nazionale dei Lincei (scienze fis. mat. e naturali), Vol. 30, p. 291 e seq.
- Steinemann, S., 1958: Experimentelle Untersuchungen zur Plastizität von Eis.
Beiträge zur Geologie der Schweiz, Hydrologie No. 10, 72 S.
- Thyssen, F. und Ahmad, M., 1969: Ergebnisse seismischer Messungen auf dem Aletschgletscher, Polarforschung, Bd. VI, Jg. 39, No. 1, S. 283 -293.

Weinberg, Boris, 1907: Über den Koeffizienten der inneren Reibung des Gletschereises und seine Bedeutung für die Theorien der Gletscherbewegung. — Zeitschrift für Gletscherkunde, Bd. I. 1906/07, Heft 5 (April 1907), p. 321-347.

Zingg, Th., 1951: Beitrag zur Kenntnis des Schmelzwasserabflusses der Schneedecke. Schnee und Lawinen in den Schweizer Alpen, Winter 1949/50. Winterbericht des Eidgenössischen Institutes für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch, Davos, No. 14, Davos 1951.

Adresse des Autors:

Prof. Peter Kasser, Rennweg 45, 8704 Herrliberg

