

Beobachtungen zur Bildung von Jahresmoränen am Tschingelgletscher (Berner Oberland)

Autor(en): **Rutishauser, Heinz**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Eclogae Geologicae Helvetiae**

Band (Jahr): **65 (1972)**

Heft 1

PDF erstellt am: **12.05.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-164078>

Nutzungsbedingungen

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

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

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

Haftungsausschluss

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

Beobachtungen zur Bildung von Jahresmoränen am Tschingelgletscher (Berner Oberland)

Von HEINZ RUTISHAUSER

Mineralogisch-Petrographisches Institut, Abteilung Geochemie, der Universität Bern

ZUSAMMENFASSUNG

Die Veränderung einer Gletscherzunge wird von zwei sich überlagernden Vorgängen hervorgerufen: einer mehr oder weniger kontinuierlichen, das ganze Jahr dauernden Vorwärtsbewegung des Eises und der Abschmelzung (Ablation) des Eises während der warmen Jahreszeit. Ist die Ablation grösser als die Vorwärtsbewegung, können sich sogenannte Jahresmoränen bilden. Solche sind am Tschingelgletscher in ununterbrochener Reihe seit 1962 nachweisbar.

Problemstellung

Der Tschingelgletscher ist der östliche Abfluss der Plateauvergletscherung, die im Petersgrat mit 3207 m ihre Kulmination aufweist. Die Gletscherzunge hat sich in den letzten Jahrzehnten sehr stark zurückgezogen und befindet sich heute auf etwa 2280 m, oberhalb eines markanten, triasischen Dolomitbandes, im Oberen Lauterbrunnental (Fig. 1).

1966 hatte der Autor die Gelegenheit, das Obere Lauterbrunnental zu überfliegen und zu photographieren. Beim nachträglichen Studium der Aufnahmen fiel eine eigenartige Strukturierung des engeren Vorfeldes des Tschingelgletschers auf (Fig. 2). Bei einer Feldbegehung entpuppten sich die auf der Photographie parallel zum Gletscherrand angeordneten, hellen Streifen als kleine Moränenwälle, deren grösste ungefähr 50 cm hoch sind. Zur Verdeutlichung sind die Moränen in Figur 3 auf Grund der Luftaufnahme schematisch dargestellt. Um eine Erklärung der Entstehungsweise dieser Wälle zu finden, wurde eine Arbeitshypothese aufgestellt und deren Annahmen mit Hilfe von Felduntersuchungen und Vergleichen mit zeitlich belegten Dokumenten des Gletschers überprüft.

Arbeitshypothese

In den Jahren 1874 bis 1915 wurde der Rhonegletscher sehr eingehend untersucht: von 1874 bis 1888 unter der Leitung des «Gletscherkollegiums» des Schweizer Alpenklubs und der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft und von 1888 bis 1915 unter derjenigen der «Gletscherkommission» der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft.

Die Resultate der Untersuchungen sind in einer umfassenden Publikation veröffentlicht worden (MERCANTON 1916). Davon interessiert im Zusammenhang mit der vorliegenden Arbeit vor allem das Kapitel über den jährlichen Rhythmus der Längen-



Fig. 1. Tschingelgletscherzunge. Im Hintergrund das Gspaltenhorn. Der untersuchte Teil des Gletschervorfeldes liegt zwischen dem hellen Dolomitband und der Gletscherzunge, die sich auf der linken Seite des Bildes im Schutt verliert. Aufnahme H. Rutishauser, 30. September 1967.

änderung beim Rhonegletscher. Die dazugehörenden graphischen Darstellungen konnten auf Grund von mühevollen Vermessungen, die im Winter zudem nicht ungefährlich waren, zusammengestellt werden. MERCANTON schreibt dazu (Seite 73):

... Les mensurations ont été faites par les soins de Félix Imahorn, d'Oberwald, dans des conditions souvent difficiles et même dangereuses: le risque d'avalanche est parfois grand en hiver au voisinage du glacier.... Il fallait souvent creuser la neige pour délimiter exactement le front du glacier, et ce n'était pas une mince besogne. Les opérateurs pratiquaient un trou à l'endroit voulu et s'aidaient d'un fil à plomb pour la mesure...

In der graphischen Darstellung von Figur 4 (Fig. 11, S. 78, aus MERCANTON 1911) sind die Distanzen des Eisrandes von einem Fixpunkt aus aufgetragen, und zwar jeweils am Ende des Sommers und am Ende des Winters. In der Zeit vom 4. Juli bis zum 5. Oktober 1887 hat sich der Gletscher zum Beispiel um 11 Meter zurückgezogen, während



Fig. 2. Tschingelgletscherzunge und rechts das in der Einleitung erwähnte Dolomitband, das man mit Hilfe der Figur 3 erkennen kann. Dazwischen das auffällig strukturierte Vorfeld des Tschingelgletschers mit den verschiedenen Jahresmoränen. Flugaufnahme H. Rutishauser, 11. September 1966, 1800 Meter über Grund (extreme Ausschnittvergrößerung).

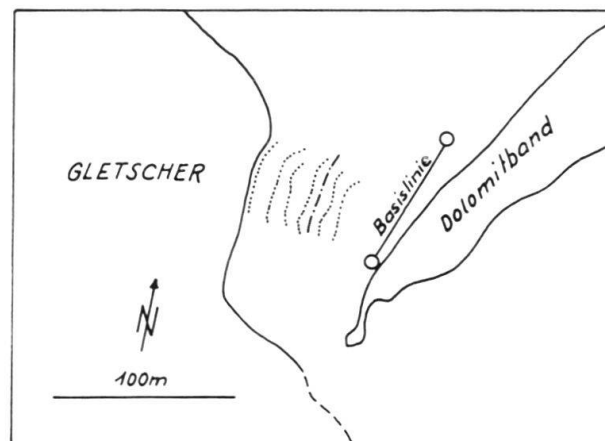


Fig. 3. Schematische Skizze zu Figur 2. Punktiert: verschiedene Jahresmoränen. Strichpunktiert: Gletscherrand August 1961.

er vom 5. Oktober 1887 bis zum 27. Juli 1888 um 7 Meter vorstieß. Solche Sommerrückzüge und Wintervorstöße sind für den während der Zeit von 1887 bis 1913 im Detail beobachteten Gletscher charakteristisch. Das Resultat der sorgfältigen Messungen fasst MERCANTON (1916) auf den Seiten 73 und 75 folgendermassen zusammen:

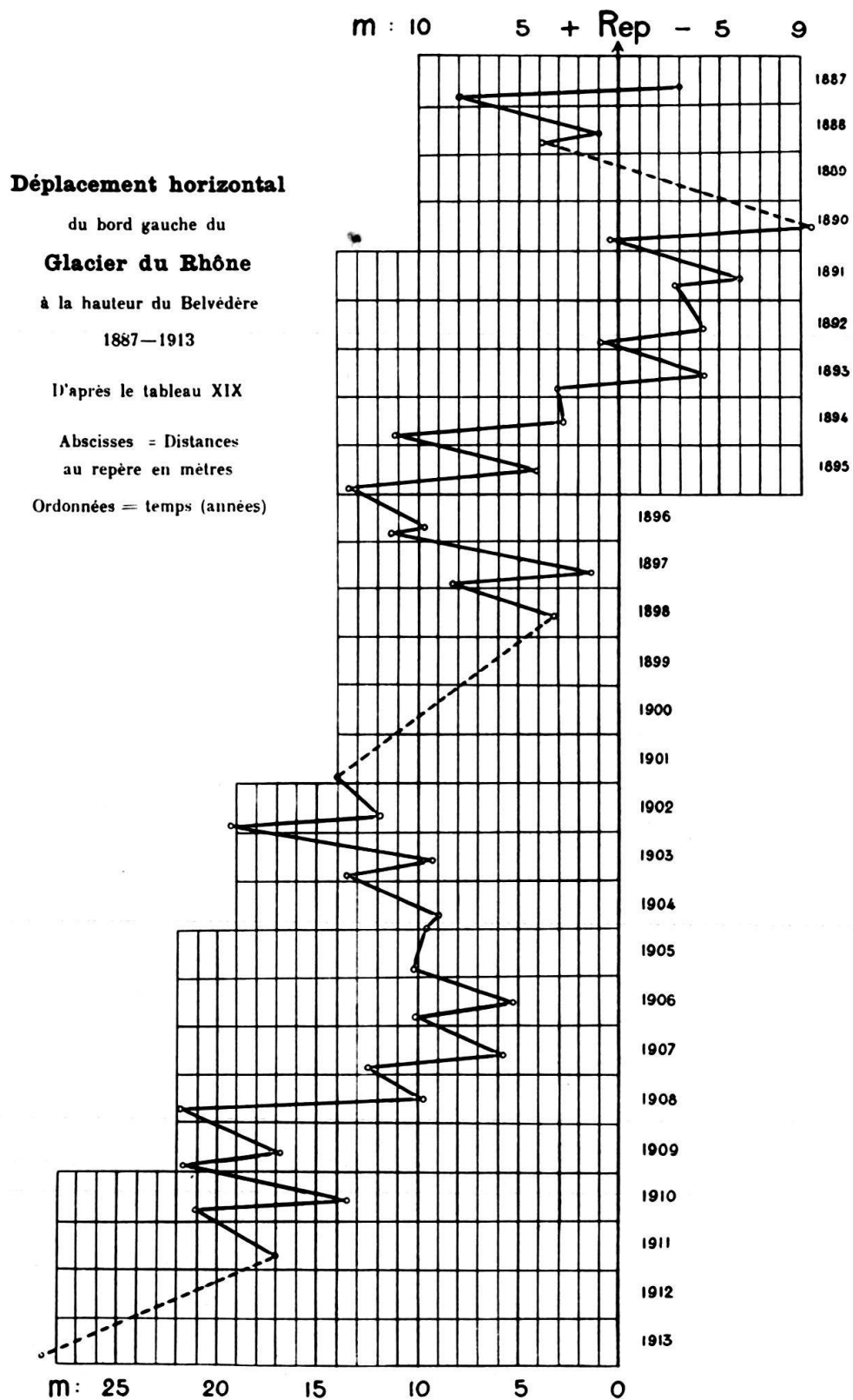


Fig. 4. Horizontale Verschiebung des linken Randes beim Rhonegletscher in der Höhe des Belvédères. Auf der Waagrechten sind die Distanzen vom Fixpunkt aus aufgetragen, auf der Senkrechten die verschiedenen Jahre. Eine Vergrößerung des Gletschers entspricht einem Kurvenverlauf von links nach rechts. Aus MERCANTON (1916): Vermessungen am Rhonegletscher, Seite 78.

...Ce qui frappe d'emblée à l'examen de ce graphique c'est l'étonnante régularité des oscillations saisonnières du front. A de rares exceptions près, les dentelures de la courbe sont identiques de forme pendant toute la période des mensurations, de 1887 à 1910. A un recul accentué et rapide du front pendant la saison chaude, succède une poussée en avant plus lente et plus restreinte pendant l'hiver... En résumé, l'allure du tracé représentatif des positions du front de 1887 à 1910 correspond nettement à la superposition d'un effet d'ablation discontinu à un effet d'écoulement continu, le premier l'emportant en général de beaucoup sur le second...

Die Veränderung einer Gletscherzunge wird also durch zwei sich überlagernde Vorgänge hervorgerufen: erstens durch eine mehr oder weniger kontinuierliche, das ganze Jahr währende Eisbewegung und zweitens durch die Abschmelzung (Ablation) des Eises an der Zunge während der warmen Jahreszeit.

Der für den Gletscher resultierende jährliche Rhythmus in der Längenänderung war eines der Hauptergebnisse der Untersuchungen am Rhonegletscher. Im folgenden wird ein Aspekt dieser jährlichen Schwankung zur Sprache gebracht, der in der Arbeit von MERCANTON nicht beleuchtet worden ist.

Ausgangspunkt sind die oben beschriebenen kleinen Moränenwälle an der Front des Tschingelgletschers. Es wurde nun auf Grund der Untersuchungen am Rhonegletscher angenommen, dass die Bildung eines Walles in die Zeit des winterlichen Vorstosses des Gletschers fällt. Da die Tschingelgletscherzunge sich in den letzten Jahren regelmässig zurückgezogen hat (RUTISHAUSER 1968, 1971 b), ist es wahrscheinlich, dass ein winterlicher Vorstoss der Zunge denjenigen des Vorjahres jeweils nicht erreicht hat. Wir hätten demnach über mehrere Jahre einen Kurvenverlauf realisiert, wie er in der Figur 4 von 1890 bis 1892, von 1893 bis 1896 und von 1906 bis 1909 feststellbar ist.

Zusammenfassend ergibt sich die folgende Arbeitshypothese: Es wird angenommen, dass die jährliche Oszillation der Tschingelgletscherzunge zur Bildung einer Reihe von Jahresmoränen geführt hat, die, wegen des gleichmässigen Rückzuges der Gletscherzunge, mit einer stetigen Reihe von Jahreszahlen korreliert werden kann.

Feldarbeiten

Der Tschingelgletscher ist einer der 105 Schweizer Gletscher, die regelmässig beobachtet werden. Dies geschieht, indem die Zunge jeweils von einer Basislinie aus eingemessen wird. Es lag nahe, diese Basislinie als Ausgang der vorliegenden Messungen zu benützen. Da ihre Lage im offiziellen Koordinatensystem nicht bekannt war, mussten zwei Punkte von offiziellen Koordinatenpunkten IV. Ordnung trigonometrisch nach Lage und Höhe bestimmt werden. Von der Basislinie wurden durch Vorwärtseinschnitt auf Moränenblöcken die Hilfspunkte A bis E (Fig. 5) nahe der Gletscherzunge eingemessen.

Neben einer einfachen Einmessung der Distanzen zwischen den Jahresmoränen mit dem Messband wurden 1968 und 1969 von den erwähnten Punkten aus gefärbte und numerierte Steine, die den jeweiligen Gletscherrand von 1968 markierten, eingemessen. Solche Steinreihen wurden am 22. August (weisse), am 6. September (rote) und am 20. September (grüne) angelegt (Fig. 5). Es zeigte sich, dass im Sommer 1969 nur die Steine der grünen Reihe nicht mehr die gleiche Lage aufwiesen.

Im weiteren wurde 1968 und 1969 die Veränderung der Gletscherzunge von den verschiedenen Vermessungshilfspunkten aus durch photographische Aufnahmen dokumentiert.

TSCHINGELGLETSCHER

Jahresmoränen 1966-1970

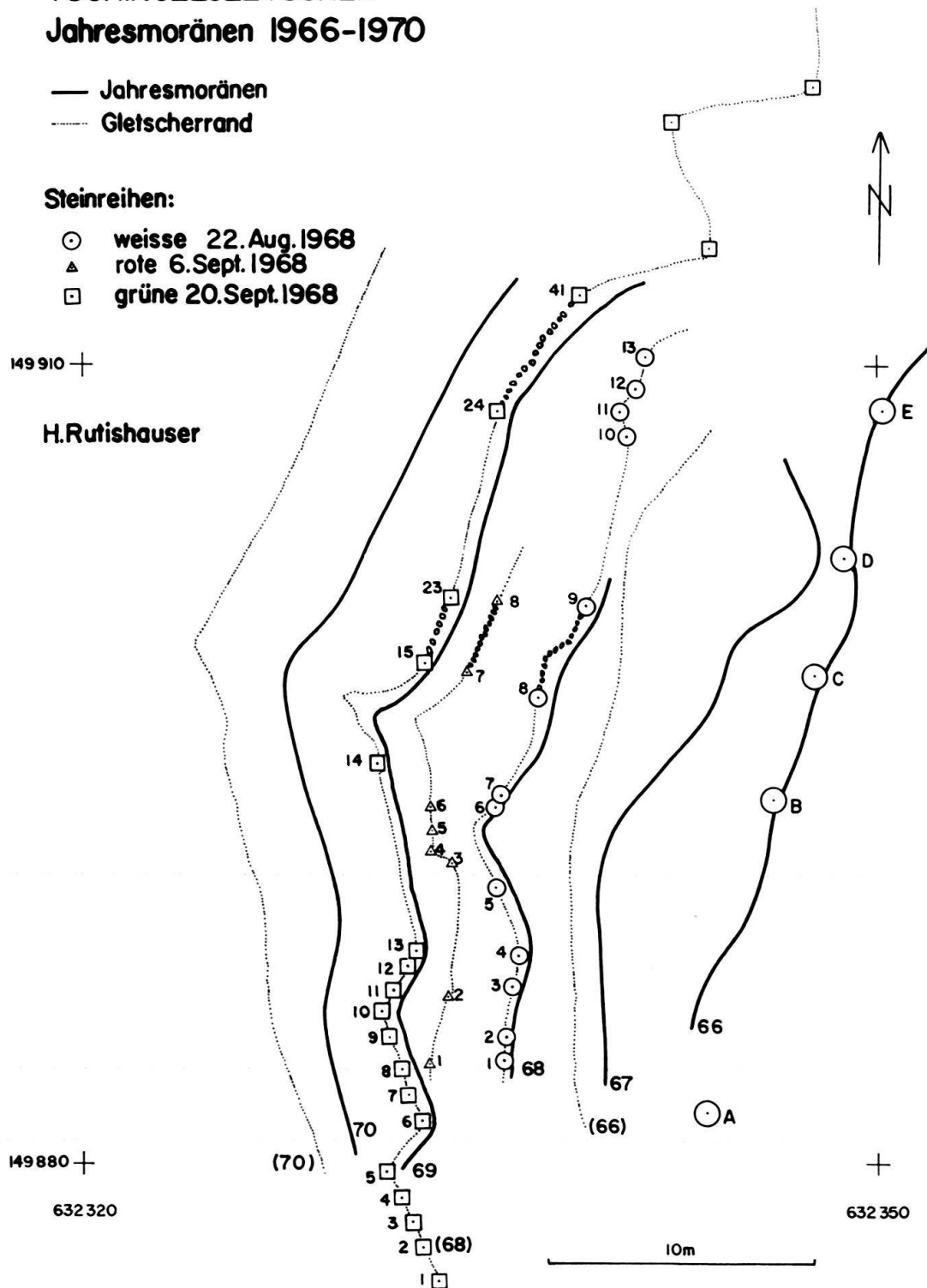


Fig. 5. Plan der Veränderung der Tschingelgletscherzunge von 1966 bis 1970. Von den Vermessungshilfspunkten A bis E wurden verschiedene Steinreihen, Jahresmoränen und herbstliche Gletscherstände tachymetrisch eingemessen. Die Herbstlage von 1966 ist von den Messungen der Schweizerischen Gletscherkommission übernommen worden.

Ergebnisse der Untersuchungen

In Figur 5 sind die verschiedenen Steinreihen von 1968 eingetragen. Erwartungsgemäss wurde 1969 ein kleiner Moränenwall vor der ehemaligen Lage der grünen Steinreihe festgestellt. Auf seinem Kamm lagen grüne Steine, deren erneutes Einmessen die Konstruktion von Bewegungsvektoren erlaubte (Fig. 6). Die jährliche Oszillation der Gletscherzunge konnte mit den Messungen somit nachgewiesen werden: Der sommerliche Rückzug der Gletscherzunge ist belegt durch die verschiedenen Steinreihen und das winterliche Vorstossen durch die einsinnige Lageveränderung der Steine der grünen Reihe, die mit der Bildung des kleinen Walles in Zusammenhang steht.

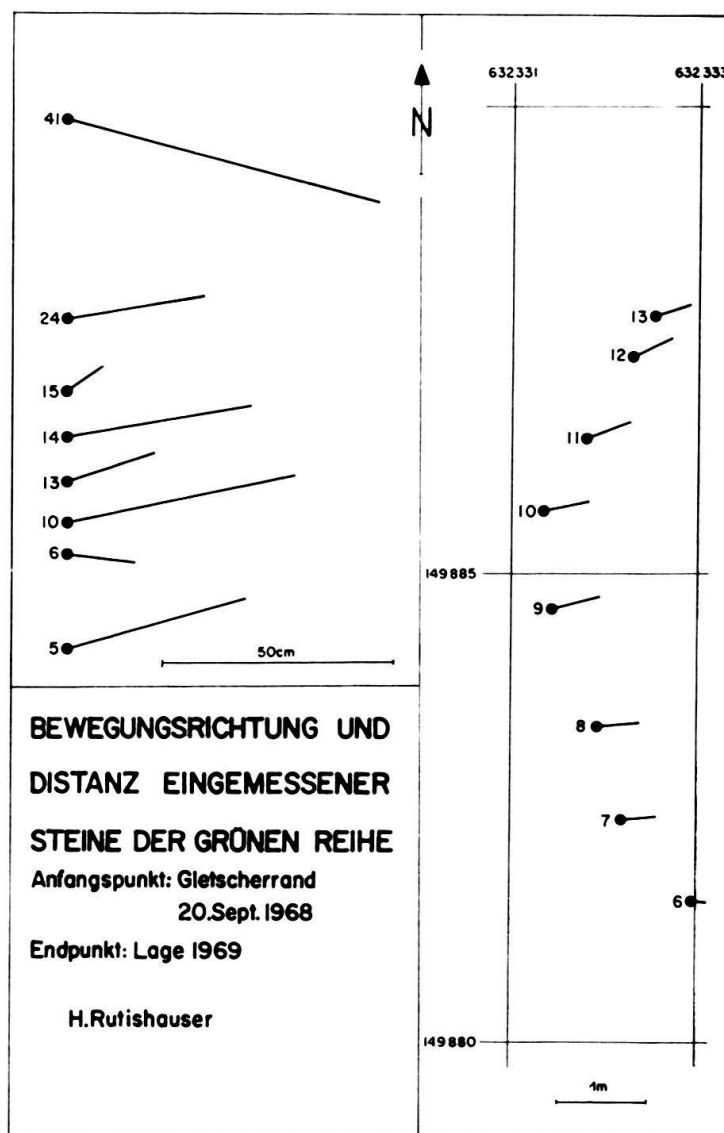


Fig. 6. Bewegungsvektoren von Steinen der grünen Reihe. In der linken Darstellung ist die Lage der verschiedenen Steine zueinander willkürlich. Rechts ist die Bewegung der Nummern 6 bis 13 lagemässig richtig und im offiziellen Koordinatennetz dargestellt.

Durch diese Untersuchung ist die Bildung der Jahresmoräne von 1969 rekonstruierbar. Damit wissen wir aber noch nicht, ob die gesamte Reihe der Jahresmoränen mit

einer stetigen Reihe von Jahreszahlen korreliert werden kann. Um hier eine Aussage machen zu können, sind genau datierte Dokumente verschiedener Gletscherstände nötig. Vom Tschingelgletscher sind für die letzten 20 Jahre die folgenden Dokumente bekannt:

Messungen der Tschingelgletscherzunge von verschiedenen Punkten einer Basislinie aus

Seit langem misst Herr Schwammberger aus Unterseen bei Interlaken im Auftrage der Gletscherkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft von einer Basislinie aus die Veränderungen der Zunge. Die Resultate der verschiedenen Messungen werden periodisch mit anderen in den «Alpen», dem Publikationsorgan des Schweizerischen Alpenklubs, veröffentlicht (KASSER 1968). 1962 wurde eine neue Basislinie angelegt und von den Punkten A bis E mit dem Messband in den Jahren 1962, 1964, 1966 und 1968 bis 1970 der Gletscherrand eingemessen. Die Basislinie ist in Figur 3 eingezeichnet. Sie liegt heute ungefähr hundert Meter vor der Gletscherzunge. Infolge starker Schuttüberdeckung kann der Gletscher südlich davon nicht untersucht werden.

Flugaufnahmen

7. Oktober 1951: Aufnahme der Eidgenössischen Landestopographie, Nachführung der Gletscherstände, LK 264, Jungfrau, Berner Oberland. Fluglinie 3, Platte 275.

20. August 1961: Aufnahme Eidgenössische Vermessungsdirektion für die Erstellung des Übersichtsplanes 1:10000. Operat 604, Lauterbrunnen. Fluglinie 37, Aufnahme 4, Negativ Nr. 2031.

11. September 1966: Aufnahme H. Rutishauser. Archivnummer: Rollei 210. Angenäherte Senkrechtaufnahme.

27. September 1968: Aufnahme Eidgenössische Vermessungsdirektion, im Auftrage des Mineralogisch-Petrographischen Instituts, Abteilung Geochemie, der Universität Bern und der Schweizerischen Gletscherkommission. Fluglinie 3, Aufnahme 8, Negativ Nr. 8994.

Es galt nun, die Reihe der im Gelände festgestellten Moränenwälle mit diesen Dokumenten zu vergleichen. Senkrecht zur Basislinie der Gletscherkommission, zwischen den Punkten E und D, sind die folgenden durchschnittlichen Distanzen zwischen den 11 Jahresmoränen gemessen worden:

Jahresmoränen	1960	1961	1962	1963	1964	1965	1966	1967	1968	1969	1970
Distanz zwischen den Jahresmoränen (Meter)	11	6	10	10	8	13	5	4	4	4	

Die Distanz zwischen der Basislinie und der Jahresmoräne von 1960 beträgt 11 Meter.

Wenn die Datierung der Reihe stimmt, dann müssen die Zungenmessungen von der Basislinie aus für ein bestimmtes Jahr (die Messungen werden immer im Herbst ausgeführt) eine grössere Distanz ergeben als die Jahresmoräne des darauffolgenden Jahres. Die Messungen von 1968 bis 1970 wurden nicht berücksichtigt, weil in dieser Zeit die Bildung der einzelnen Jahresmoränen direkt beobachtet werden konnte.

Damit die aus den Protokollen der Gletscherkommission entnommenen Distanzen der Zungenmessungen mit den aus Winkelmessungen gerechneten Distanzen verglichen werden können, müssen die ersteren auf eine horizontale Projektionsebene reduziert werden. (Formel für die Reduktion: $D = d \cdot \cos 2\alpha$. D = reduzierte Distanz, d = unreduzierte, mit dem Messband gemessene Distanz, α = Geländewinkel, d. h. Differenz zur Horizontalen. In den Protokollen ist die Neigung des Vorgeländes in Prozenten angegeben. Daraus lässt sich der Winkel α berechnen.)

Für die verschiedenen Jahre ergeben sich nach der Reduktion die folgenden Zahlen:

1962	44 Meter (38/38–48)
1964	68 Meter (56/56–69)
1966	75 Meter (74/74–78)

In Klammern stehen einerseits die Distanzen der im darauffolgenden Winter gebildeten Jahresmoräne. Diese sind tatsächlich durchwegs kleiner als die herbstlichen Zungenmessungen. Andererseits sind die Distanzintervalle der Jahresmoränen des nächsten und übernächsten Winters angegeben. Dass die herbstlichen Zungenmessungen in dieses Intervall fallen, zeugt für die Regelmässigkeit der Oszillation der Zunge, ist aber für unsere Beweisführung nicht erforderlich, da der herbstliche Gletscherstand ohne weiteres gletscherwärts des Intervalles liegen könnte.

Von den zur Verfügung stehenden Flugbildern ist wegen der günstigen Beleuchtung der Jahresmoränen zur Zeit der Aufnahme diejenige von 1966 für eine quantitative Auswertung besonders geeignet (Fig. 2). Die Aufnahme wurde am 11. September gemacht. Die vor der Zunge noch knapp sichtbare Jahresmoräne entspricht der Wallbildung vom Winter 1965/66. Passt die Zungenlage auf der Flugaufnahme in unsere Reihe, dann müssen die messbaren Distanzen zwischen den in der Flugaufnahme erkennbaren Jahresmoränen den Distanzen proportional sein, die zwischen entsprechenden Jahresmoränen im Felde gemessen wurden. Dies ist tatsächlich der Fall.

JAHRESMORÄNEN		1961	1962	1963	1964	1965	1966
Distanz zwischen den Jahresmoränen	Feldmessung (Meter)	6	10	10	8	13	
	Flugaufnahme (Millimeter)	35	64	64	47	76	
Proportionalitätsfaktor		17(1.0)	15(0.9)	15(0.9)	17(1.0)	17(1.0)	

Auf der Flugaufnahme vom 20. August 1961 sind die Jahresmoränen vor der Gletscherzunge nicht erkennbar. Da sich das Gletschervorfeld von 1961 bis 1966 nicht wesentlich verändert hat, können wir anhand von vielen Anhaltspunkten (helle Felspartien, grössere Blöcke und Wasserrinnen) die Gletschergrenze in der Aufnahme von 1961 in diejenige von 1966 übertragen (Fig. 3). In der Flugaufnahme von 1966 kommt sie zwischen die Jahresmoränen von 1962 und 1963 zu liegen. Dies ist eine weitere Bestätigung für die Richtigkeit unserer Annahme.

Auf der Flugaufnahme von 1951 erkennt man deutlich, dass die Gletscherzunge das früher erwähnte Dolomitband (Fig. 1) überfließt. Diese Tatsache widerspricht unserer Annahme nicht, ist doch die erste Jahresmoräne unserer Reihe, diejenige von 1960, nur 11 Meter von der Basislinie entfernt, und diese selbst verläuft mehr oder weniger an der oberen Kante des Dolomitbandes.

Die Resultate unserer Untersuchungen, tabellarisch zusammengefasst, zeigen, dass die Annahmen, die wir in unserer Arbeitshypothese getroffen haben, richtig sind. Die dokumentierten herbstlichen Gletscherstände nehmen die richtige Lage in der postulierten Jahresmoränenreihe ein. Die nicht belegten Lücken stimmen zahlenmässig mit den fehlenden Jahren überein.

JAHRESMORÄNEN 1960-1970												
postuliert		60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
Bildung beobachtet										X	X	X
Herbstliche Gletscherstände in richtiger Lage zu den Jahresmoränen	dokumentiert			1961	1962		1964		1966	1967	1968	1969
	ergänzt	1959	1960			1963		1965				

Versuchen wir, den Vorgang der Jahresmoränenbildung anhand einer schematischen Darstellung (Fig. 7) zu veranschaulichen. Aus dem Schema geht hervor, welche Bedeutung der Distanz zwischen den einzelnen Jahresmoränen zukommt, und wir können das Ergebnis in einer einfachen Formel zusammenfassen:

$$Y_F = R_S - V_W,$$

wobei R_S den Sommerrückzug, V_W den Wintervorstoss und Y_F die Frühjahrszungenänderung bedeuten. Die letztere entspricht nicht der Zungenänderung im Haushaltjahr eines Gletschers, dessen Dauer vom 1. Oktober bis zum 30. September des nächsten Jahres definiert ist.

Die Bedeutung der Bildung von Jahresmoränen für die Glaziologie im allgemeinen

Wenn in der Formel $Y_F = R_S - V_W$ der Wintervorstoss V_W grösser als 0 angenommen wird, sind drei Fälle unterscheidbar:

$V_W < R_S$: Der Vorstoss ist kleiner als der Rückzug. Die jährliche Frühjahrszungenänderung ist positiv: Der Gletscher zieht sich zurück.

$V_W = R_S$: Vorstoss und Rückzug sind gleich gross. Die jährliche Frühjahrszungenänderung ist 0: Die Gletscherzunge nimmt im Frühling wieder die gleiche Lage ein wie im Frühling des Vorjahres.

$V_W > R_S$: Der Vorstoss ist grösser als der Rückzug. Die jährliche Frühjahrszungenänderung ist negativ: Der Gletscher rückt vor.

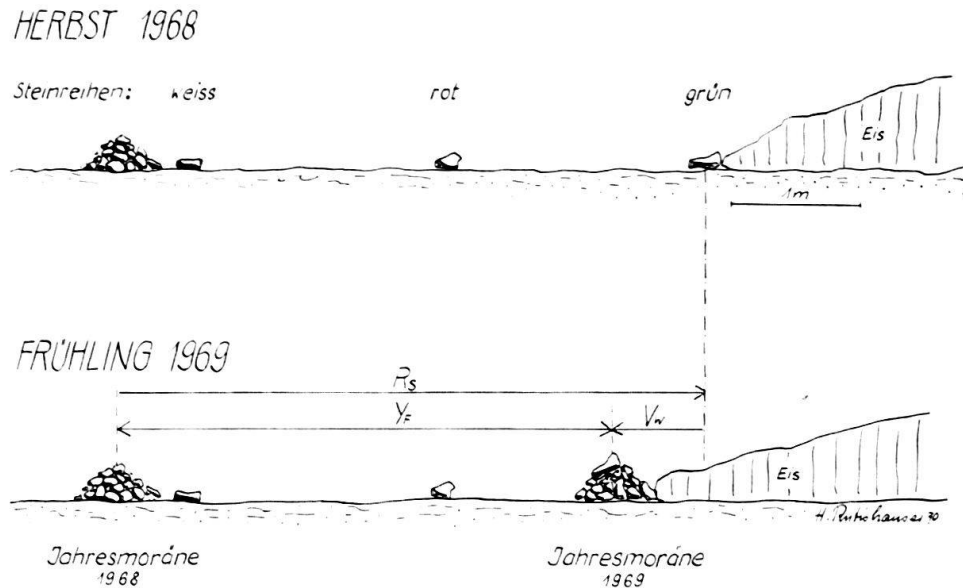


Fig. 7. Schematische Darstellung der Jahresmoränenbildung.

Wenn Vorstoss und Rückzug gleich sind, oszilliert die Gletscherzunge zwischen einer Frühlings- und einer Herbstlage. Die Jahresmoränen häufen sich an der gleichen Stelle und bilden Wälle, wie sie in den unbewachsenen Vorfeldern der Alpengletscher häufig zu finden sind. Diese Wälle sind gleichermassen Konzentrationen von Jahresmoränen.

Der dritte Fall ist in seinem Effekt am eindrucklichsten. Eine alles überfahrende Gletscherzunge rückt dann vor und schiebt Schuttmassen vor sich her, die zu grossen Moränenwällen angehäuft werden.

Der erste Fall ist für unsere Betrachtung der interessanteste, weil wir aus dem ganzen Spektrum der Diskussionsmöglichkeiten ein ganz bestimmtes Problem anzielen. Wenn der Wintervorstoss kleiner ist als der Sommerrückzug, dann erreicht die Gletscherzunge beim winterlichen Vorstossen die Frühlingslage des Vorjahres nicht. Es werden alle Jahre, vorausgesetzt dass das Vorgelände des Gletschers für die Entwicklung günstig ist, kleine Moränenwälle gebildet, die hier als Jahresmoränen bezeichnet worden sind. Wenn die während des ganzen Jahres dauernde Vorwärtsbewegung des Gletschers und damit der Eistransport an der Gletscherzunge konstant ist, dann ist für R_S allein der Gang der sommerlichen Temperatur verantwortlich. Die Distanzen zwischen den Jahresmoränen sollten demnach mit entsprechenden Temperaturwerten korreliert werden können. Eine völlige Übereinstimmung über längere Zeitspannen darf dabei allerdings nicht erwartet werden, da die Vorwärtsbewegung des Gletschers von vielen, schwer erfassbaren Faktoren abhängt und deshalb selten konstant sein wird. Anhand von Unstimmigkeiten zwischen der Temperaturkurve und den Distanzen zwischen den Jahresmoränen sollte es aber möglich sein, Tendenzen erfassen und damit Gletscheränderungen prognostizieren zu können. In Figur 8 sind die Distanzen der Jahresmoränen von der Basislinie für die Zeit von 1960 bis 1970 aufgetragen worden. Die Kurve wird von 1966 an deutlich flacher. Weil keine Temperaturmessungen vom Oberen Lauterbrunnental zur Verfügung stehen, können wir nicht abschätzen, ob diese Tendenz der Distanzen zwischen den Jahresmoränen

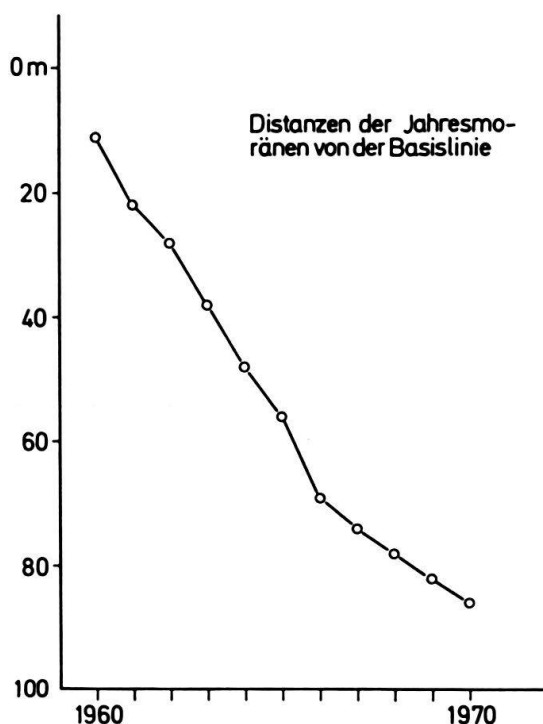


Fig. 8.

von R_S oder von V_W abhängig ist. Zudem ist die 10jährige Zeitspanne zu kurz für eine sorgfältige Prognose. Einen Hinweis gibt uns allerdings das Verhalten der anderen, wesentlich kleineren Gletscher des Oberen Lauterbrunnentales, bei denen seit drei Jahren Anzeichen eines Vorstosses feststellbar sind. Ein untrügliches Kennzeichen ist die Verfallung einer verfirnten Altschneesicht an der Zunge eines seitlichen Armes des Breithorngletschers und die an Schmadri- und Breithorngletscher beobachtbare Bildung von grösseren Wallmoränen (RUTISHAUSER 1971 b).

Jahresmoränen dokumentieren das Verhalten einer Gletscherzunge. Ihr Studium ermöglicht es, detailreiche Angaben von Gletschern zu erhalten, die nicht oder nur sporadisch beobachtet werden. Die Jahresmoränenbildung ist kein seltenes Phänomen. Die einzelnen Jahresmoränen sind allerdings im Felde nicht immer so deutlich erkennbar wie auf Figur 2.

Durch die Bildung von Jahresmoränen wird ein Gletschervorfeld strukturiert. Diese Strukturierung ist nach unseren bisherigen Betrachtungen eine Folge von zwei sich überlagernden Vorgängen: einer während des ganzen Jahres wirksamen Vorwärtsbewegung des Gletschers und einem auf die Sommermonate beschränkten (durch die Ablation bedingten) Rückzug.

In unserer Formel ist der sommerliche Vorstoss des Gletschers in R_S (Sommer-rückzug) enthalten, und V_W ist allein der Wintervorstoss. Es ist theoretisch durchaus denkbar, dass eine Vorwärtsbewegung bei einem Gletscher fehlt. Die Formel nimmt dann die folgende einfache Form an:

$$Y_F = R_S.$$

Mit dieser Annahme stehen wir unvermittelt mitten in einem Problem der modernen Glaziologie. In den letzten Jahren sind Gletscher bekanntgeworden, deren Fliessge-

schwindigkeit plötzlich einige hundertmal grösser sein kann als ihre normale Bewegung. Viele dieser Gletscher scheinen zudem während längerer Zeit überhaupt keine Bewegung aufzuweisen. Solche Ruhepausen werden dann plötzlich von kurzen, ungewöhnlichen Vorstössen unterbrochen. Diese dauern 2 bis 3 Jahre, im Gegensatz zu den Ruhepausen, die durchschnittlich 20 bis 30 Jahre währen. Wesentlich längere Zeitspannen scheinen allerdings auch möglich zu sein. Beim Bjørnbo-Gletscher in Ostgrönland zum Beispiel ist mit einer Ruhephase von 100 Jahren zu rechnen (RUTISHAUSER 1971a). Solche Gletscher werden heute als «surging glacier» bezeichnet. (Der Begriff «surging glacier» hat sich in den letzten Jahren allmählich herauskristallisiert. Als «surge» – englisch gleich Welle, Woge, Brandung – wird der aussergewöhnliche Vorstoss bezeichnet. Eine Orientierung geben uns die im Canadian Journal of Earth Science, Vol. 6, Nr. 4, Pt. 2 [August 1969] zusammengestellten Aufsätze über «surging glaciers».)

In grosser Zahl lernte man «surging glaciers» beim Vergleich von periodisch erstellten Luftaufnahmen in abgelegenen Gebieten kennen. So vor allem in Alaska, aber auch in anderen Regionen der Welt, wie in Zentralasien, Spitzbergen und nicht zuletzt auch in Grönland (HENRIKSEN und WATT 1968; RUTISHAUSER 1971a).

Kommen wir wieder zurück auf unsere Formel. $V_W = 0$ bedeutet, dass die Bildung von Jahresmoränen nicht möglich ist. Bei einem «surging glacier» wird demnach die Strukturierung des Vorfeldes fehlen. Dass das Vorfeld eines «surging glacier» tatsächlich Unterschiede aufweisen kann im Vergleich mit demjenigen eines «normalen» Gletschers, haben detaillierte Untersuchungen am Bighorn- und Grizzlygletscher in Nordamerika gezeigt (RUTTER 1969).

Ausgehend von einer Beobachtung am Tschingelgletscher und in unserem Gedankengang aufbauend auf die bahnbrechenden Untersuchungen am Rhonegletscher, führten uns unsere Überlegungen mitten in ein Problem der modernen Glaziologie. Über eine Arbeitshypothese, deren Annahmen sich als richtig erwiesen, kommen wir wiederum zu einer Hypothese: Die Strukturierung des Gletschervorfeldes ist charakteristisch für einen «normalen» Gletscher, bei dem sich Vorwärtsbewegung und Ablation überlagern. Demgegenüber ist im Vorfelde eines «surging glacier», weil die Vorwärtsbewegung während der Ruhephase offenbar fehlt, eine Strukturierung nicht zu erwarten. Ob eine scharfe Trennung zwischen diesen Gletschertypen den Tatsachen entspricht, bleibt eine offene Frage.

LITERATURVERZEICHNIS

- HENRIKSEN, N., und WATT, W. S. (1968): *Geological Reconnaissance of the Scoresby Sund Fjord Complex*. Rapp. Grønlands geol. Unders. 15, 72–77.
- KASSER, P. (1968): *Gletscherbeobachtungen in der Schweiz*. Schweizerische Bauzeitung 86, August.
- MERCANTON, P. L. (1916): *Vermessungen am Rhonegletscher 1874 bis 1915*. Neue Denkschriften der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft 52.
- RUTISHAUSER, H. (1968): *Graphische Darstellung und Berechnung der Veränderung des Schmadri- und Breithorngletschers sowie der Tschingelgletscherzunge in der Zeit von 1927 bis 1960*. Die Alpen 44, 98–103.
- (1971 a): *Observations on a Surging Glacier in East-Greenland*. Journal of Glaciology 59/10, 227–236.
 - (1971 b): *Ein Versuch der Korrelation von Zungenänderungen eines Einzelgletschers mit ortsfremden Temperaturmessungen*. Mitt. Natf. Ges. Bern. N. F. 28.
- RUTTER, N. W. (1969): *Comparison of Moraines Formed by Surging and Normal Glaciers*. Canadian Journal of Earth Sciences 6/4, 991–999.

