

Ein Versuch der Korrelation von Zungenänderungen eines Einzelgletschers mit ortsfremden Temperaturmessungen : erläutert am Beispiel des Tschingelgletschers

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

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **Mitteilungen der Naturforschenden Gesellschaft in Bern**

Band (Jahr): **28 (1971)**

PDF erstellt am: **22.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-319568>

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.

Heinz Rutishauser ¹

Ein Versuch der Korrelation von Zungenänderungen eines Einzelgletschers mit ortsfremden Temperaturmessungen

(Erläutert am Beispiel des Tschingelgletschers)

Zusammenfassung

Vorläufige dedroklimatologische Untersuchungen ergaben, daß die ortsfremden Temperaturwerte des Säntis zur Korrelation mit Zungenänderungen des Tschingelgletschers benützt werden dürfen. Für die untersuchte Zeitspanne ergibt der Vergleich der Temperaturkurve und der Kurve der Zungenänderung Übereinstimmung bei einer Phasenverschiebung von ungefähr 9 Jahren.

Einleitung

Der Tschingelgletscher gehört zu den 105 schweizerischen Gletschern, deren Zungen, im Auftrage der Gletscherkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft, durch das Forstpersonal der Kantone, die Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der ETH, Kraftwerkgesellschaften, weitere Institutionen und einzelne Mitarbeiter gemessen werden. Die Publikation der Resultate, nebst solchen anderer Gletschermessungen, erfolgt jedes Jahr in der Zeitschrift «Die Alpen» des Schweizerischen Alpenklubs als Bericht der Gletscherkommission der Schweizerischen Naturforschenden Gesellschaft (KASSER, 1968). Bereits öfters ist versucht worden, Veränderungen der Gletscherzungen mit Klimawerten, insbesondere solchen des Säntis, zu korrelieren (z. B. KASSER und MÜLLER, 1960). Dabei hat es sich gezeigt, daß die Gletscheränderungen klimabedingt sind und die Hauptursache des in den letzten Jahrzehnten beobachtbaren Gletscherschwundes nicht in einem Mangel an Niederschlägen, sondern in einer Zunahme der Ablation, infolge steigender Temperaturen und erhöhter Einstrahlung, begründet liegt (KASSER, 1968). Je nach Größe, Form, Neigung und Exposition reagiert ein Gletscher allerdings langsamer oder rascher auf Klimaänderungen. Die langjährigen Gletschermessungen erlauben heute einen Vergleich der Zungenänderungen mit meteorologischen Daten. Für eine allgemeine Aussage allerdings nur insofern, als die an zahlreichen Gletschern erfolgten Zungenmessungen statistisch betrachtet werden. Über das Sonderverhalten einzelner Gletscher sind wir noch zu wenig informiert. In der vorliegenden Arbeit wird versucht, die Zungenänderungen des Tschingelgletschers um das Jahr 1920 mit Temperaturmessungen auf dem Säntis zu vergleichen.

¹ Adresse des Verfassers: H. Rutishauser, Mineralogisch-Petrographisches Institut, Abteilung Geochemie, der Universität Bern, Sahlistraße 6, Bern.

Der Tschingelgletscher ist der östliche Abfluß der Plateauvergletscherung, die im Petersgrat mit 3207 m ihre Kulmination aufweist (Abb. 1). Die Veränderung des Gletschers in der Zeit von 1927 bis 1960 kann anhand des Isohypsensystems der Landeskarte von 1927 und desjenigen des Übersichtsplanes von 1960 berechnet und graphisch dargestellt werden (Abb. 2). Insbesondere ist die Gletschergrenze von 1927 rekonstruierbar (RUTISHAUSER, 1968). Diese fällt ungefähr mit einer auffälligen, scharfen Wallmoräne zusammen, die Zeuge eines kurzfristigen Gletschervorstoßes ist. Durch einen Zufall konnte die von R. Schwammerger, Oberförster, angelegten und im Laufe der Zeit mit Schutt bedeckten Punkte der Basislinie von 1935 wieder aufgefunden werden. Dies ermöglichte die Rekonstruktion der Messungen von R. Schwammerger. Zusammen mit den Resultaten der Messungen von Oberförster O. Müller, dem Vorgänger von R. Schwammerger in der Beobachtung des Tschingelgletschers, sind wir gut informiert über die Veränderungen der Zunge von 1895 bis 1938. Anhand dieser Daten ist es möglich, die Frage zu prüfen, ob in dieser Zeit ein deutlicher Zusammenhang zwischen Temperaturdaten und Gletscherschwankungen im Einzelfalle des Tschingelgletschers besteht.

Rezente und frührezente Gletscherstände des Tschingelgletschers

Nach KINZL (1929) werden Gletscherstände nach 1820/50 als rezent und solche, die in die Zeit der größten historischen Vereisung (etwa 1600) und 1820/50 fallen, als frührezent bezeichnet. Verschiedene Gletscher der Alpen erreichten allerdings ihre größte historische Ausdehnung erst um 1820/50. Mit Hilfe von zeitgenössischen Berichten, Malereien, Archivstudien, Photos und topographischen Karten sind markante Gletscherstände des oberen Lauterbrunnentales zeitlich einstuftbar.

In der Abb. 4 sind die wichtigsten Gletscherstände auf Grund einer Flugaufnahme (Abb. 3, Photo H. Rutishauser) schematisch dargestellt worden. Die Abb. 4 weist demnach die gleiche projektive Verzerrung auf wie die Flugaufnahme und ist deshalb nur bedingt mit dem Ausschnitt der Landeskarte vergleichbar (Abb. 1). Auffallend ist der große, scharfe Moränenwall westlich des Oberhornsees (Koordinaten 633400/150350, siehe Abb. 1). Er markiert den Gletscherstand von 1850, der durch die topographischen Aufnahmen von J. Stengel für den Siegfried-Atlas, Blatt Blümlisalp, belegt ist. Die Gletschergrenze von 1850 (rezentes Maximalstadium) ist weiter anhand der großen Moräne am Fuße von Tschingelgrat und Ellstabhorn sowie derjenigen des Breithorngletschers (topographische Punkte 2285 und 2241, siehe Abb. 1, außerhalb von Abb. 3 und 4 liegend), rekonstruierbar. Die Zunge des Tschingelgletschers reichte damals bis zum Schafläger (Koordinaten 633400/151300; in Abb. 3 und 4 nicht mehr abgebildet, in Abb. 1 knapp außerhalb, in der Fortsetzung des Namens-



Abb. 1 Gletscherstände von 1927. Ausschnitt aus der Landeskarte 1:50 000, Blatt 264 Jungfrau. Perimeter: 630-637/147-151. (Reproduziert mit Bewilligung der Eidgenössischen Landestopographie vom 5. März 1968.)

zuges «Weisse Lütschine», liegend). Im Gegensatz zu den frührezenten Gletscherablagerungen (etwa 1600 bis 1850, in der Abb. 4 waagrecht schraffiert) ist das Vorfeld des Gletschers innerhalb des 1850er Standes nicht oder nur spärlich mit Vegetation bedeckt.

Auf der Westflanke der großen, markanten Wallmoräne ist ein Doppelwallsystem ausgebildet, dessen innere Moräne ungefähr mit der rekonstruierbaren Gletschergrenze von 1927 zusammenfällt. Diese innere Moräne entstand als Folge einer Vorstoßphase, die von 1918 bis 1933 dauerte. Der Gletscherstand von 1933 ist demnach anhand dieses Walles und der Isohypsenysteme der Landeskarte und des Übersichtsplanes rekonstruierbar. Leider geben uns die Dokumente keine Auskunft über die Bildungszeit der äußeren Moräne des Doppelwallsystems. Auf Grund des nachfolgenden Vergleiches von Klimawerten und Gletscherschwankungen darf allerdings angenommen werden, daß sie um 1890 gebildet worden ist.

Nach 1933 ist die Verbindung zwischen Tschingel- und Breithorngletscher am Fuße des Lauterbrunnens-Wetterhornes (Punkt 2360 der Landeskarte, siehe Abb. 1) abgerissen. Die nach 1938 unterbrochenen Beobachtungen des Tschingelgletschers wurden 1962 wieder aufgenommen (Beobachter: R. Schwammberger). Sie zeigen einen weiteren, allerdings immer geringer werdenden Rückzug.

Maßstab in einem Diagramm aufgetragen. Dendrochronologische Untersuchungen zeigten, daß die Jahrringbreitenschwankungen, die in den Diagrammen anschaulich dargestellt werden können, historische Einmaligkeit aufweisen. Zum Vergleich zweier Diagramme (oder Jahrringkurven) kann das sogenannte Gegenläufigkeitsprozent benutzt werden (HUBER, 1948, S. 151). Dieses Ähnlichkeitsmaß, das sich auf den gesamten Kurvenverlauf stützt, kann folgendermaßen definiert werden:

Wenn von einem Jahr zum nächsten die Jahrringkurve beim ersten Diagramm steigt (das heißt die Jahrringbreite zunimmt) und beim zweiten Diagramm die Kurve sinkt (die Jahrringbreite abnimmt), dann sind die beiden Kurven im betrachteten Zeitabschnitt gegenläufig. Das heißt der Verlauf der Kurve ist im ersten Fall steigend, im zweiten fallend. Nun werden beim Vergleich zweier Kurven die Anzahl Jahre mit Gegenläufigkeit in Prozenten der Anzahl Jahre, die die beiden Kurven gemeinsam haben, angegeben. Diese Rechnung ergibt das Gegenläufigkeitsprozent, das formelmäßig folgendermaßen ausgedrückt werden kann:

$$\text{Gegenläufigkeitsprozent} = \frac{\text{Anzahl der Jahre mit Gegenläufigkeit}}{\text{Anzahl der verglichenen Jahre}} \cdot 100$$

In Zahlen erhält man zum Beispiel beim Vergleich der Diagramme von Radius 1 mit Radius 2 (siehe nachstehende Tabelle) der untersuchten Arve durch Rechnung:

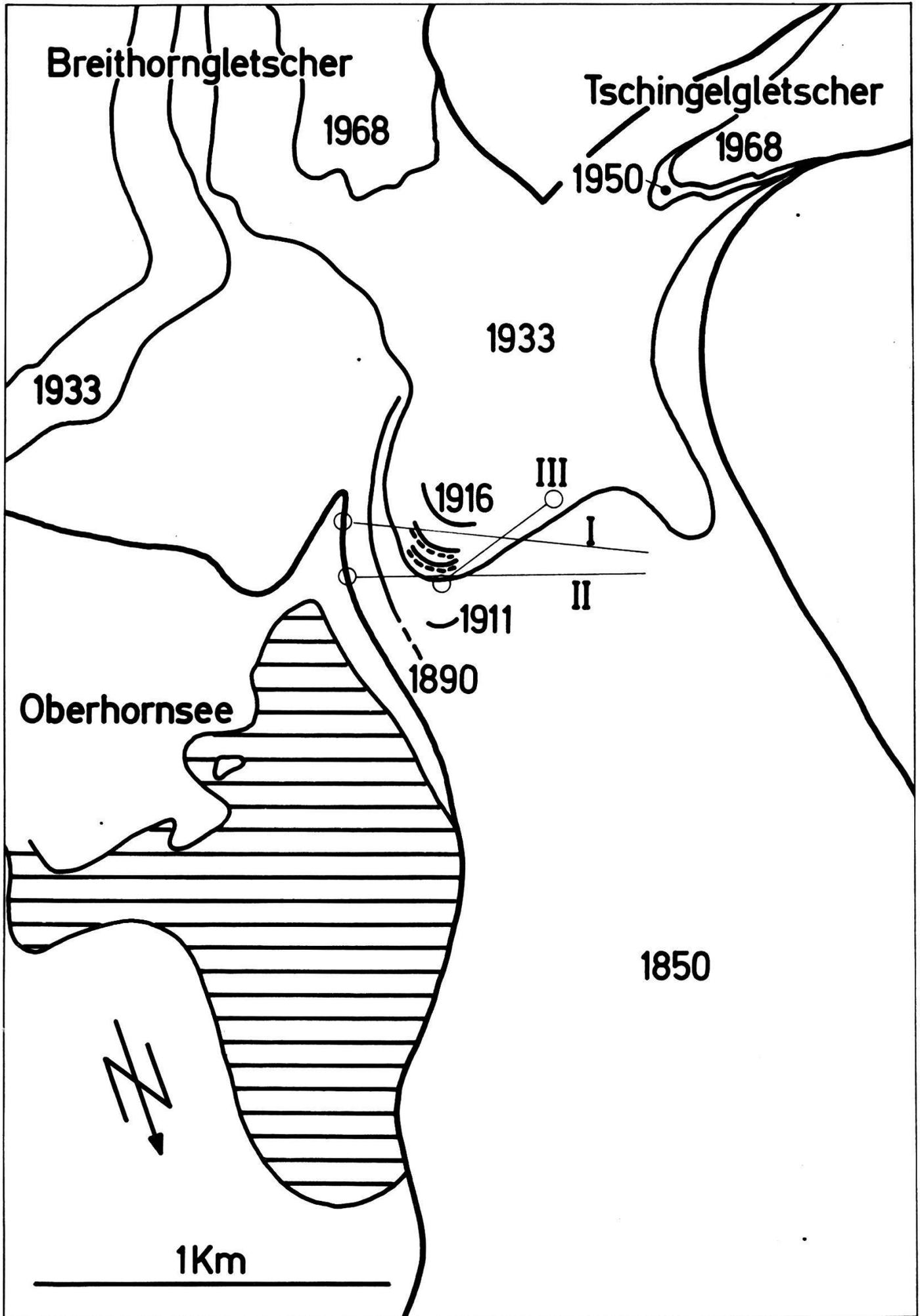
Anzahl der Jahre mit Gegenläufigkeit	8
Anzahl verglichener Jahre (Alter des Baumes)	57
Gegenläufigkeitsprozent	$\frac{8 \cdot 100}{57} = 14$

Wenn zwei Kurven nichts miteinander zu tun haben, ist es wahrscheinlich, daß sie von einem Jahr zum anderen gleichsinnig wie gegensinnig verlaufen. Über

Abb. 3 Oberes Lauterbrunnental mit Oberhornsee, Tschingelgletscherzunge und Breithorn-gletscher. Im Zentrum des Bildes ist eine markante Seitenmoräne des Tschingelgletschers erkennbar, dessen Zunge in der rechten oberen Bildecke liegt. Links der Breithorn-gletscher mit einem kleinen Seitenarm, der vor 40 Jahren noch mit dem Tschingelgletscher in Verbindung stand. Heute bildet die Zunge dieses Seitenarmes einen steilen Eisabbruch. Deutlich erkennbar ist zudem der Mutthornhüttenweg vom Schafläger zum Oberhornsee mit der Abzweigung zu den Hütten der Oberhornalp. Flugaufnahme H. Rutishauser, 11. September 1966, 1800 Meter über Grund.

Abb. 4 Schematische Zeichnung auf Grund von Abb. 3 mit der rezenten und frührezenten (waagrecht schraffiert) Gletscherausbreitung von Tschingel- und Breithorn-gletscher. I bis III Bezugslinien für die Zungenmessungen.





eine längere Zeit muß sich eine 50 %-Gegenläufigkeit ergeben (HUBER, 1948, S. 152). Synchroner Kurven weisen dagegen weniger als 50 % Gegenläufigkeit auf. Auch verschiedene Radien einer Stammscheibe können Unterschiede von etwa 10 % bis 20 % Gegenläufigkeit ergeben. Bäume der gleichen Art und desselben Standortes unterscheiden sich durchschnittlich um 20 % bis 25 % Gegenläufigkeit. In Wirklichkeit ist die Ähnlichkeit synchroner Kurven meist besser, als man nach dem Gegenläufigkeitsprozent vermuten würde. Durch die Bestimmung von charakteristischen Jahren (Weiserjahren) wird die Verwandtschaft von Jahrringabfolgen viel deutlicher.

Die nachfolgenden Ausführungen über die Dendroklimatologie stützen sich hauptsächlich auf die gründlichen Untersuchungen von MÜLLER-STOLL (1951). Nach ihr sind im nordamerikanischen Westen (Mittelmeerklima) der Niederschlag, im subpolaren Klimabereich die Temperatur und in Mitteleuropa (gemäßigtes Klima) Temperatur und Niederschlag die für die Jahrringfolgen bestimmenden Klimafaktoren. Glücklicherweise ist es so, daß in höheren Lagen der Alpen, ähnlich wie im Norden, der Faktor Niederschlag an Einfluß verliert und hauptsächlich die Temperatur für die Jahrringbreiten maßgebend wird.

Die Beziehungen zwischen Klimadiagrammen und Jahrringabfolgen kann wieder mit dem Gegenläufigkeitsprozent abgeschätzt werden. Dabei können die geringsten Prozentwerte je nach Lage und Holzart auch bei zeitlich gegenseitiger Verschiebung der Kurven auftreten. Mit den Niederschlägen ergibt sich bei der Untersuchung von Müller-Stoll in fast allen Fällen eine ausgezeichnete Übereinstimmung bei Verschiebung um ein Jahr. Mit der Temperatur erfolgt sie meistens bei richtiger Deckung, zum Teil aber auch erst bei Verschiebung um ein Jahr. Für die Verhältnisse im oberen Lauterbrunnental sind die folgenden Bemerkungen interessant (MÜLLER-STOLL, 1951, S. 73, 78):

. . . Während die Kurven von Tanne und Buche sowohl mit den Sommer- als auch mit den Jahresniederschlägen in allen 10 Fällen beste Übereinstimmung bei Verschiebung um ein Jahr zeigen, gilt dies bei der Fichte nur für den Sommerniederschlag . . . Auch die Kiefer zeigt zu den Sommer- und Jahresniederschlägen die größten Beziehungen bei zeitlich richtiger Kurvenlage, doch steht hier nur ein Vergleich zur Verfügung . . .

. . . Bei der Fichte liegt das Schwergewicht der Ähnlichkeit mit der Temperaturkurve vorwiegend bei richtiger Deckung, nur bei den Wintertemperaturen teilweise bei um ein Jahr verschobener Lage . . .

Die ersten dendrochronologischen Messungen wurden vom Autor an einer Arvenscheibe (*Pinus cembra*) aus dem Schwarzwald, ungefähr 100 Meter unterhalb der Hütten von Oberhorn, gemacht. 1965 wurde sie vom Blitz gefällt. Eine Stammscheibe mit einem Durchmesser von 30 cm wurde entlang von 10 gleichmäßig verteilten Radien ausgemessen. Die Auszählung ergab ein Alter von 57 Jahren. Vergleicht man die einzelnen Radiendiagramme wechselseitig miteinander, erhält man die folgenden Gegenläufigkeitsprozente (die Werte wurden auf ganze Prozente auf- oder abgerundet):

1/2 = 14 ‰	2/3 = 12 ‰	3/5 = 17 ‰	4/8 = 25 ‰	6/8 = 17 ‰
1/3 = 10 ‰	2/4 = 7 ‰	3/6 = 21 ‰	4/9 = 23 ‰	6/9 = 14 ‰
1/4 = 17 ‰	2/5 = 16 ‰	3/7 = 21 ‰	4/10 = 12 ‰	6/10 = 21 ‰
1/5 = 12 ‰	2/6 = 21 ‰	3/8 = 23 ‰	5/6 = 21 ‰	7/8 = 32 ‰
1/6 = 28 ‰	2/7 = 23 ‰	3/9 = 17 ‰	5/7 = 10 ‰	7/9 = 14 ‰
1/7 = 21 ‰	2/8 = 17 ‰	3/10 = 12 ‰	5/8 = 19 ‰	7/10 = 19 ‰
1/8 = 26 ‰	2/9 = 25 ‰	4/5 = 26 ‰	5/9 = 12 ‰	8/9 = 21 ‰
1/9 = 21 ‰	2/10 = 12 ‰	4/6 = 25 ‰	5/10 = 17 ‰	8/10 = 19 ‰
1/10 = 9 ‰	3/4 = 17 ‰	4/7 = 30 ‰	6/7 = 21 ‰	9/10 = 18 ‰

Die Zahlen halten sich in den von MÜLLER-STOLL (1951) angegebenen Grenzen. Ein Vergleich der Radiendiagramme ergibt zudem, daß keine gesetzmäßige Zunahme der Gegenläufigkeitsprozente mit zunehmendem Winkel zwischen den Radien festzustellen ist.

In Abb. 5 wurden die 10 Radiendiagramme und in der Mitte die Durchschnittskurve aufgetragen. Abschnitte der Durchschnittskurve ohne Gegenläufigkeit wurden stark, ein- bis zweimalige Gegenläufigkeit mit einem Doppelstrich und mehr als zweimalige Gegenläufigkeit mit einem dünnen Strich gezeichnet.

Die unterste Kurve stellt die Jahresdurchschnittstemperaturen des Säntis von 1908 bis 1960 dar.

Wie bereits erwähnt worden ist, kann die Beziehung zwischen Klimadiagrammen und Jahrringabfolgen ebenfalls mit dem Gegenläufigkeitsprozent abgeschätzt werden. Im vorliegenden Fall soll der Vergleich von Temperaturdiagrammen (Messungen vom Säntis) mit der Durchschnitts-Jahrringkurve der untersuchten Arve zeigen, ob zwischen dem Temperaturverlauf auf dem Säntis und dem jährlichen Holzzuwachs ein Zusammenhang besteht. Um eine möglichst große Zahl Vergleichsmöglichkeiten zu schaffen, wurden die Temperaturdiagramme nach Monaten und Jahreszeiten variiert und in zeitlich verschiede-

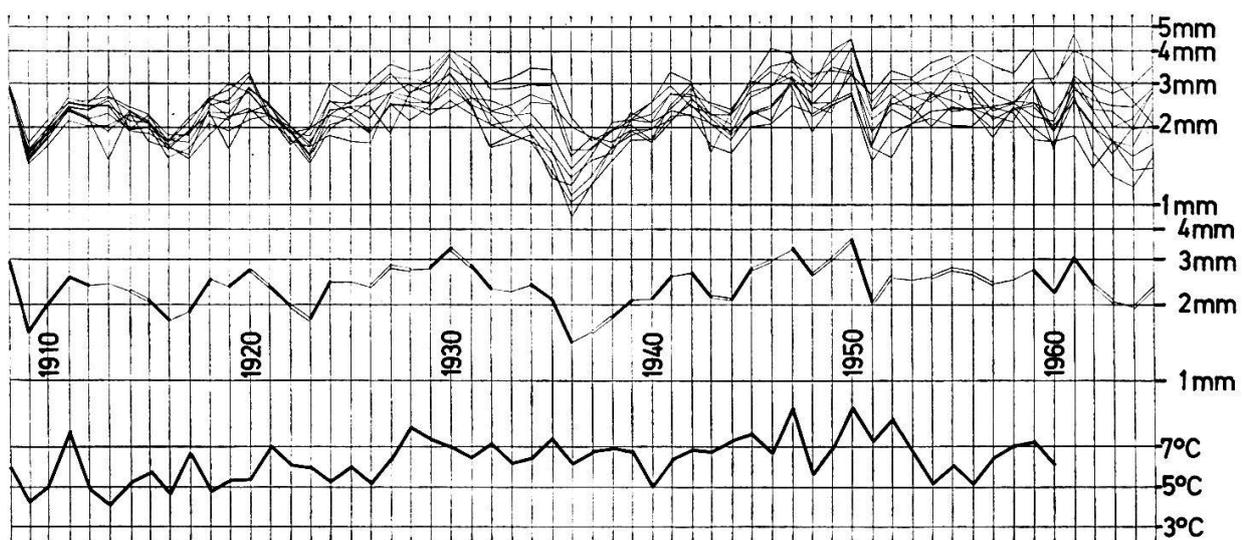


Abb. 5 Dendrochronologische Kurve einer Arve aus dem Schwarzwald auf Oberhorn und Kurve der Jahrestemperatur vom Säntis.

nen Deckungslagen mit der Durchschnitts-Jahrringkurve verglichen. Letztlich ergeben sich noch Variationsmöglichkeiten bei der Berechnung des Gegenläufigkeitsprozentes, je nach dem, ob alle oder nur Abschnitte ohne Gegenläufigkeit der einzelnen Radian auf der Durchschnitts-Jahrringkurve berücksichtigt werden.

In Abb. 6 sind die Gegenläufigkeitsprozente verschiedener Vergleichsmöglichkeiten auf der Ordinate aufgetragen. Für den Wert 0 auf der Abszisse stimmen die miteinander verglichenen Kurven zeitlich überein. + 1 und + 2 bedeuten eine zeitliche Vorverschiebung der Temperaturkurve um ein, bzw. 2 Jahre, das heißt die Temperatur eines bestimmten Jahres würde sich erst in einem, bzw. zwei Jahren in der Jahrringbreite auswirken. Der Wert - 1 auf der Abszisse ist praktisch unmöglich, da sich die Temperatur nicht rückwirkend auf die Jahrringbreite des Vorjahres auswirken kann.

Die einzelnen graphischen Darstellungen der Abb. 6 verdeutlichen Vergleiche der Durchschnitts-Jahrringkurve der Arve mit folgenden Temperaturreihen:

- A und B: Juni, Juli, August (die Monate sind wie bei C bis H mit römischen Zahlen bezeichnet. Ergänzende Bemerkungen am Schluß.)
 C und D: September, Oktober, November
 E und F: Dezember, Januar, Februar
 G und H: März, April, Mai
 J: Sommertemperaturen (Juni, Juli, August)
 K: Herbsttemperaturen (September, Oktober, November)
 L: Wintertemperaturen (Dezember, Januar, Februar)
 M: Frühlingtemperaturen (März, April, Mai)
 N, O, P: Durchschnittliche Jahrestemperaturen
 A, C, E, G, J1, K1, L1, M1, N: Berücksichtigung nur derjenigen Abschnitt auf der Durchschnitts-Jahrringkurve, in welchen die einzelnen Radian keine Gegenläufigkeit aufweisen (in Abb. 5 stark gezeichnete Abschnitte)
 B, D, F, H, J2, K2, L2, M2, O: Ein- bis zweimalige Gegenläufigkeit mitberücksichtigt (in Abb. 5 Doppelstriche)
 J3, K3, L3, M3, P: Alle Abschnitte auf der Durchschnitts-Jahrringkurve berücksichtigt.

Der Vergleich zeigt, daß bei zeitlich richtiger Deckungslage eine Beziehung zwischen den durchschnittlichen Sommertemperaturen (Juni, Juli, August) auf dem Säntis und den Jahrringbreiten der untersuchten Arve besteht (J in Abb. 6). Dies stimmt überein mit der Bemerkung von HUBER (1948, S. 151), wonach die Jahrringbreiten von Arven in den bayerischen Alpen weitgehend der mittleren Sommertemperatur, mittleren sommerlichen Mittagstemperatur und Sonnenscheindauer des Zugspitz-Observatoriums entsprechen.

Auf Grund dieser Tatsachen dürfen wir annehmen, daß der sommerliche Temperaturverlauf im oberen Lauterbrunnental für diese Zeitspanne demjenigen auf dem Säntis ähnlich ist. Für die außerhalb der Wachstumsperiode der Arve liegenden Jahreszeiten besitzen wir keine gebietseigenen Klimaindikatoren. Doch scheint es wahrscheinlich, daß die Säntis-Temperaturen auch der anderen Jahreszeiten für das obere Lauterbrunnental Gültigkeit haben.

Obschon nur eine einzige dendrochronologische Kurve vorliegt, ermutigt das vorläufige Resultat zu weiteren Untersuchungen. Eine gesicherte dendrochronologische Kurve kann zur Prüfung der Brauchbarkeit von Temperaturreihen ortsfremder Wetterstationen für glazialklimatologische Untersuchungen wertvolle Dienste leisten.

*Die Korrelation der Zungenänderungen am Tschingelgletscher mit
Temperaturmessungen auf dem Säntis*

Die Zungenlage des Tschingelgletschers wurde im Laufe der Jahre von fünf verschiedenen Bezugslinien aus gemessen (siehe Abb. 4):

- 1894—1911: Verbindungslinie Großhorn—Tschingelgrat
- I 1916—1925: Verbindungslinie Punkt X (Einmündung des Fußweges auf die markante Moräne westlich des Oberhornsees)—Tschingeltritt
- II 1928—1933: Wie bei I (der Punkt X wurde auf der Moräne 90 Meter nach Norden verschoben)
- III 1935—1938: Basislinie. Punkte A—D (auf anstehendem Fels eingemeißelte Kreuze)
- 1962—: Die heute benutzte Basislinie (Punkte A—E) liegt ungefähr 500 Meter gletscherwärts von III

Aus den Protokollen der Beobachter geht hervor, daß der Gletscher von 1918 bis 1933 im Vorstoß begriffen war. In der Abb. 4 sind die Gletscherstände von 1923 und 1928 zwischen den Ständen von 1916 und 1933 als nicht unterbrochene Linien angegeben. Die gestrichelten Linien sind die Stände von 1935 und 1938. (Der Stand von 1935 liegt näher bei demjenigen von 1933.)

In Abb. 7 wurden die Änderungen der Zunge in bezug auf die vorangehende Messung und die übergreifenden Fünfjahres-Durchschnittswerte der Sommer- und Herbsttemperaturen vom Säntis aufgetragen (Monate Juni bis November. Der Durchschnittswert z. B. der Jahre 1906/7/8/9/10 wurde im Jahre 1910 aufgetragen, derjenige der Jahre 1907/8/9/10/11 im Jahre 1911). Die Problemstellung läßt für die Art des Auftragens der Temperaturwerte beliebigen Spielraum. Wir haben hier die übergreifenden Mittel gewählt, um die Gesamtcharakteristik der Kurve deutlicher sichtbar zu machen.

Von der Tatsache ausgehend, daß nach 1933 am Tschingelgletscher keine Gletschervorstöße mehr beobachtet worden sind, wurde die Temperaturschwelle von 4,2 ° C eingezeichnet. Die Bereiche der Temperaturkurve, die unterhalb dieser Schwelle liegen, wurden in Abb. 7 schraffiert.

Der Vergleich der beiden Kurven zeigt, daß bei einer zeitlichen Vorverschiebung der Kurve der Zungenänderung, der Gletschervorstoß von 1918—1933 mit der Temperaturdepression um 1916 in Beziehung gebracht werden kann. Das heißt mit anderen Worten, daß der Tschingelgletscher in dieser Zeit mit einer Verzögerung auf eine Temperatursenkung reagierte. Die exakte Bestimmung

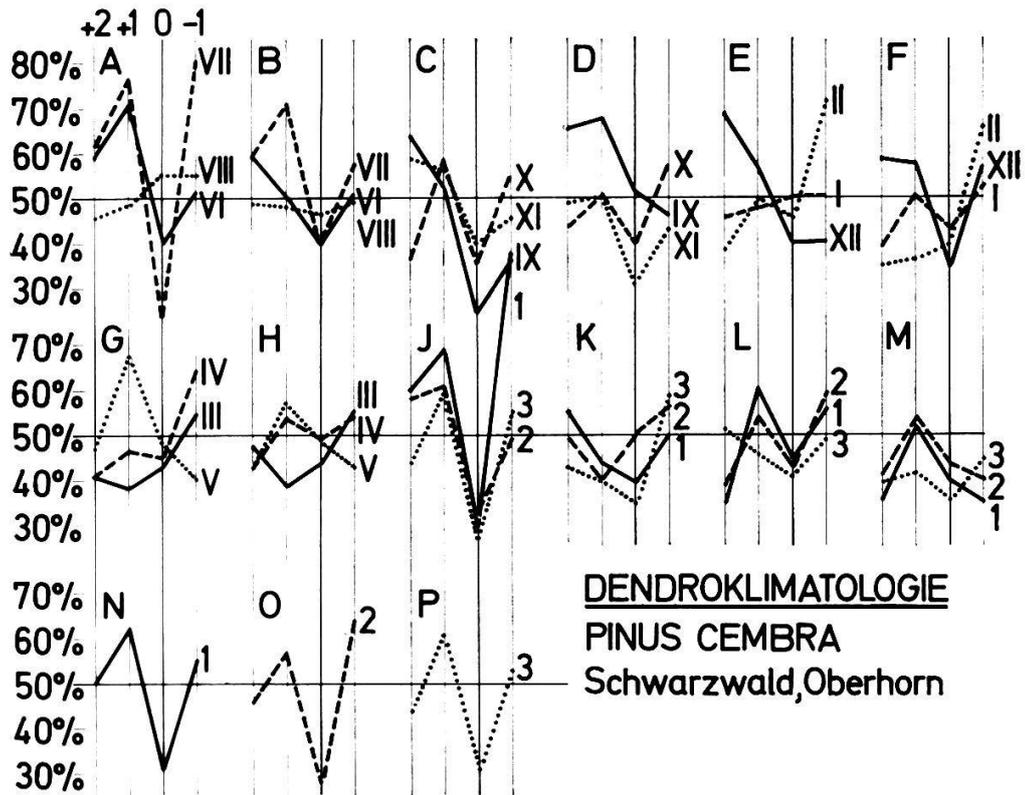


Abb. 6 Vergleich der dendrochronologischen Kurve einer Arve mit Temperaturen vom Säntis.

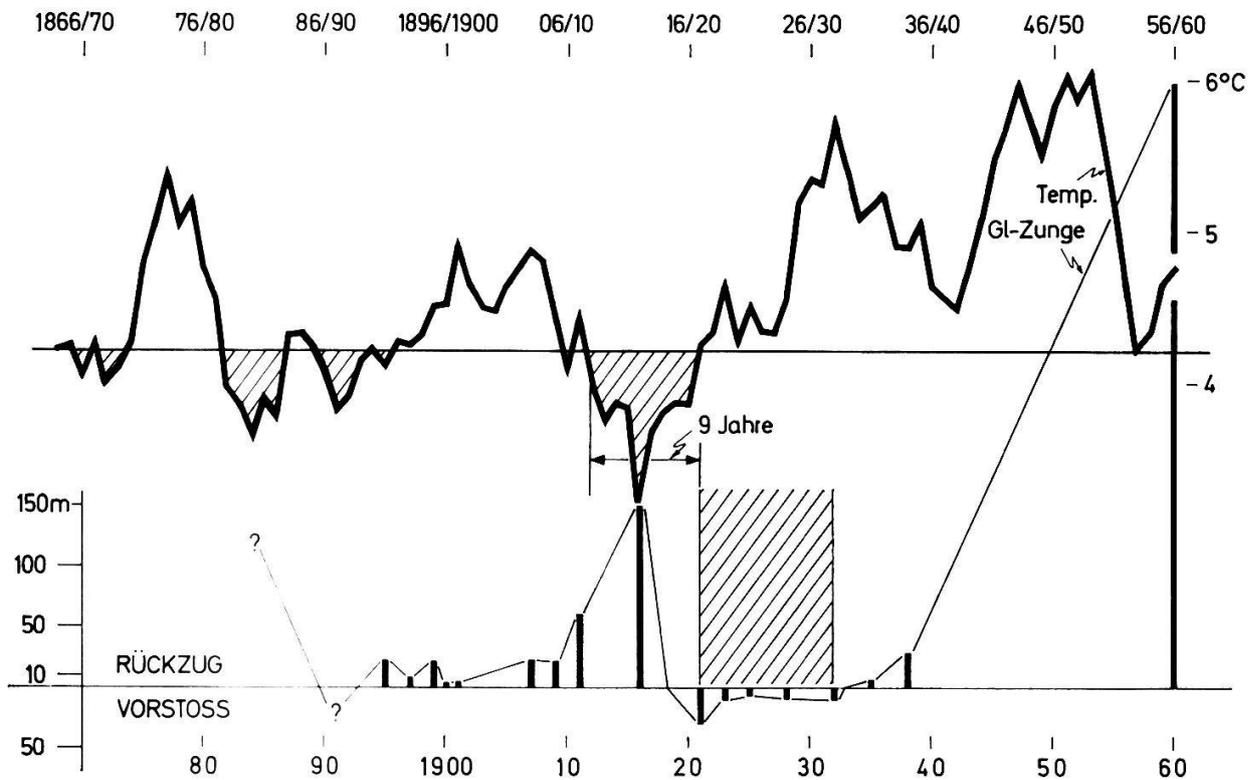


Abb.7 Darstellung der Zungenschwankungen des Tschingelgletschers und übergreifende Fünfjahresdurchschnitte von Sommer- und Herbsttemperaturen vom Säntis.

dieser Verzögerung ist schwierig und hängt von vielen Faktoren ab, die im vorliegenden Beispiel zuwenig bekannt sind. In der graphischen Darstellung ergeben sich 9 Jahre von einem angenommenen Temperaturdepressions-Anfangspunkt bis zum ersten markanten Vorstoß der Gletscherzunge. Ungeachtet der Unsicherheit der zeitlichen Erfassung dieser Verzögerung steht das Resultat in Übereinstimmung mit den neuesten Beobachtungen an den Gletschern des oberen Lauterbrunnentales: Seit zwei Jahren rücken die wesentlich kleineren Schmadri- und Breithorn-gletscher deutlich vor, währenddem diese Tendenz beim Tschingelgletscher erst in einem verzögerten Rückzug bemerkbar wird.

Die Temperaturkurve gibt uns zudem einen Anhaltspunkt über die Bildungszeit der äußeren Moräne des erwähnten Doppelwallsystems. Um das Jahr 1885 zeichnet sich ebenfalls eine Temperaturdepression ab, die allerdings weniger ausgeprägt ist als die oben erwähnte. Berücksichtigen wir den gleichen Verzögerungsfaktor und nehmen wir den Beginn der Temperaturdepression im Jahre 1881 an, dann fällt die Bildung dieser äußeren Moräne in die Zeit von 1890. Diese ist wesentlich kleiner als die innere, was sich in der Temperaturkurve deutlich widerspiegelt.

Für die kritische Durchsicht des Manuskripts danke ich Herrn P. Kasser, dipl. Ing. ETH, Leiter der Abteilung für Hydrologie und Glaziologie der Versuchsanstalt für Wasserbau, Hydrologie und Glaziologie an der Eidgenössischen Technischen Hochschule in Zürich.

Literaturverzeichnis

- HUBER, B. (1948): Die Jahresringe der Bäume als Hilfsmittel der Klimatologie. *Naturwissenschaft* 35, S. 151—154.
- KASSER, P. und MÜLLER, W. (1960): Über die Gletscherveränderungen seit 1900 in den Schweizer Alpen. *Zeitschrift für Wasser- und Energiewirtschaft*, 52, S. 224—233.
- KASSER, P. (1968): Gletscherbeobachtungen in der Schweiz. *Schweizerische Bauzeitung* 86/31, S. 1—4.
- KINZL, A. (1929): Beitrag zur Geschichte der Gletscherschwankungen in den Ostalpen. *Zeitschrift für Gletscherkunde*, Bd. XVII.
- MÜLLER-STOLL, H. (1951): Vergleichende Untersuchungen über die Abhängigkeit der Jahrringfolge von Holzart, Standort und Klima. *Bibliotheca Botanica* 122, Stuttgart.
- POKORNY, A. (1867): Über den Dickenzuwachs und das Alter der Bäume. *Schriften Verein z. Verbreitung naturw. Kenntnisse*. Wien, 6.
- RUTISHAUSER, H. (1968): Graphische Darstellung und Berechnung der Veränderung des Schmadri- und Breithorn-gletschers sowie der Tschingelgletscherzunge in der Zeit von 1927 bis 1960. *Die Alpen*, XLIV, S. 98—103.