

b) Fließbewegung		1988/89	1989/90	Änderung
Viktor-Paschinger-Linie	(4 Steine)	5,53 m	5,23 m	-0,40 m
Seelandlinie	(11 Steine)	28,11 m	26,92 m	-1,19 m
Burgstalllinie	(10 Steine)	38,57 m	37,01 m	-1,56 m

An allen Profillinien ergab sich gegenüber dem Vorjahr eine weitere Höhenabnahme der Gletscheroberfläche und eine verringerte Fließbewegung. Die 25 Meßpunkte auf der Pasterzenzunge sind im Mittel um 2,64 m (1988/89: -1,64 m) eingesunken, das entspricht bei einer Zungenfläche von ca. 4,3 km² (bis 2500 m) einer Volumsabnahme von 11,37 Mio. m³ Eis bzw. 10,23 Mio. m³ Wasser.

Berichter: G. Patzelt

Im Kaprunertal sind die Rückzugsbeträge (1989/90 -7,6 m) gegenüber dem Vorjahr (-3,0 m) mehr als verdoppelt. Dazu trägt vor allem das Wielinger Kees bei, dessen steil herabhängendes Zungenende sich rasch auflöst. Das Karlinger Kees, 1987 noch stark vorgerückt, 1988 und 1989 stationär, ist jetzt klar zurückgeschmolzen. Vor dem linken, schuttbedeckten Zungenrand liegt eine 2-3 m hohe Endmoräne.

SCHOBERGRUPPE

Berichter: G. Lieb

Sowohl Horn- als auch Gößnitzkees zeigen gegenüber dem Vorjahr relativ geringe Veränderungen, jedoch eindeutige Rückzugsbeträge. Am Gößnitzkees wird die Altschneelinie auf 2800 m Höhe geschätzt, was eine geringere Ausaperung als 1988 bedeutet.

GOLDBERGGRUPPE

Berichter: N. Hammer

Das im Vorjahr noch vorstoßende Schlapperebenkees ist heuer mit -0,5 m stationär einzustufen. Die übrigen 4 Gletscherenden sind durchwegs stärker zurückgeschmolzen als 1989, das Kleine Fleißkees mit -11,7 m besonders stark.

ANKOGEL-HOCHALMSPITZGRUPPE

Berichter: H. Lang

Das Gebietsmittel aus den 6 gemessenen Gletschern hat sich gegenüber dem Vorjahr (-0,18 m) auf -5,83 m erhöht. Das ist vor allem auf den starken Rückgang des Westlichen Trippkeeses (-11,0 m) zurückzuführen, für das im Vorjahr noch ein Vorstoß von 10,3 m gemessen wurde. Das Großelendkees, im Vorjahr mit -2,3 m klar zurückgeschmolzen, ist heuer nach dem Mittelwert (+0,9 m) stationär einzustufen.

An den 4 nachgemessenen Profilen ergaben sich folgende Höhenänderungen:

Großelendkees	Profil Z	-2,03 m seit 1989 (+0,13 m 1988/89)
Kälberspitzkees	Profil C	-1,95 m seit 1989 (-1,27 m 1988/89)
Kleinelendkees	Prof. B Süd	-1,62 m seit 1987
	Prof. B Ost	-2,73 m seit 1987

Vor allem die höher gelegenen Bereiche der Gletscher sind weiter eingesunken. Die Eisränder sind viel flacher geworden.

NACHMESSUNGEN AN DER PASTERZE (GLOCKNERGRUPPE) VON 1971 BIS 1990

Von H. WAKONIGG, Graz

Mit 6 Abbildungen

ZUSAMMENFASSUNG

Die Ergebnisse der Nachmessungen an der Pasterze von 1971 bis 1990 werden zusammengefaßt und in Form von Diagrammen übersichtlich dargestellt. Es handelt sich um einfache Längmessungen an vier Gletschern, daneben um Messungen der Änderung der Höhe der Gletscheroberfläche entlang von fünf Profilen auf der Pasterze sowie des Jahresweges der Gletscheroberfläche an drei dieser Profile. Neben einer groben Abschätzung des Eisverlustes wird auch ein Überblick über die Witterung des genannten Zeitraumes gegeben. Wie allgemein in den Ostalpen läßt sich eine gletschergünstige Periode bis spätestens 1980/81 von einer darauffolgenden, äußerst gletscherabträglichen unterscheiden.

SURVEYS OF THE PASTERZE GLACIER 1971 TO 1990

ABSTRACT

The results obtained between 1971 and 1990 by systematic annual measurements at the Pasterze Glacier (Hohe Tauern, Austrian Alps) are summarized and illustrated in a number of graphs. The observations concern three aspects: a) the variation in length of four glaciers, b) the variation in height of the glacier surface measured at five measuring sections on the Pasterze Glacier and c) the variation of annual surface velocity measured at three of these sections. A rough estimate of the loss of ice volume is given as well as a summary of the weather conditions influencing the mass balance of glaciers. In consistency with the general conditions in the Eastern Alps, the results reflect two distinctive periods: a period rather favourable for glacier conditions up to 1980/81 and a very unfavourable one after that date.

Die in Rede stehenden Nachmessungen gehen in ihrer heutigen Form auf die von V. Paschinger in den Jahren 1926 („Seelandlinie“), 1936 („Burgstalllinie“) und 1937 („Sattellinie“) begonnenen, und bis 1946 weitergeführten Profilmessungen zurück, die sowohl der Feststellung der Höhenänderung der Gletscheroberfläche, als auch des Jahresweges an der Gletscheroberfläche dienen (V. Paschinger 1948, S. 43f.). Die Profilmessungen wurden dann von 1947 bis 1959 durch H. Paschinger; 1960 bis 1962 durch G. Gruber und von 1963 bis 1970 durch H. Aigelsreiter und E. Neuer weiterbetrieben, schließlich von 1971 bis 1990 durch den Verfasser. Von H. Paschinger wurden noch zwei weitere Profile, das „Firnprofil“ und die „Linie am Hohen Burgstall“ eingerichtet, welche ebenfalls mit Ausnahme witterungsbedingter Lücken bis in die Gegenwart weiterbeobachtet wurden.

Die schon von V. Paschinger am Hofmannskees und Kleinen Burgstall eingerichteten Meßprofile (H. Paschinger 1969, S. 201) wurden spätestens in den sechziger Jahren aufgegeben und auch vom Verfasser nicht mehr wieder eingerichtet. Im Jahr 1963 mußte die Sattellinie, das unterste Meßprofil an der Pasterzenzunge wegen des starken Gletscherrückzuges aufgegeben und durch die etwas gletscheraufwärts angelegte „Viktor-Paschinger-Linie“ ersetzt werden. Die Situation der Profile mit Stand 1967 ist aus der Fig. 1 bei H. Paschinger 1969, S. 202 zu entnehmen. Sie hat sich seither praktisch nicht verändert, nur das Firnprofil wurde durch den Verfasser gestreckt und auf 1000 m verlängert. Die Messungen werden ab 1991 durch G. K. Lieb weitergeführt, womit ihre Homogenität auch in den nächsten Jahren gewährleistet sein dürfte, allerdings wird wohl auch die V.-Paschinger-Linie neuerlich verlegt werden müssen.

Die Meßmethodik stützt sich bei der Ermittlung der Höhenänderung der Gletscheroberfläche ausschließlich auf die Tachymetrie, wobei von einem eingemessenen Fixpunkt quer über den Gletscher Höhe und Entfernung mehrerer hintereinandergeleiteter Punkte mit möglichst gleichbleibenden Abständen eingemessen werden, und der Theodolit am jeweils eingemessenen Punkt neu aufgestellt werden muß. Da bis 1972 nur einfachste Theodoliten eingesetzt wurden, war eine genaue bzw. vorgegebene Einhaltung konstanter Abstände nicht möglich, wurden doch die Horizontalabstände erst nach Abschluß der Messungen umständlich mittels Tachymetertabellen ermittelt, wodurch weder eine Fehlerkontrolle im Gelände, noch eine Korrektur möglich war. So waren einigermaßen brauchbare Ergebnisse nur bei angenähert horizontaler Profilage zu erzielen. Erst seit 1973 wurde durch den Verfasser ein Diagramm-Tachymeter eingesetzt, womit Horizontalentfernungen und Höhendifferenzen direkt am Gerät abgelesen werden können, wodurch erstere nun wirklich konstant gehalten werden konnten. Sie wurden gleichzeitig bei allen Profilen auf 100 m vereinheitlicht, ausgenommen nur bei widriger Oberflächenbeschaffenheit, etwa Spalten. Zusätzlich war eine erste Kontrolle der Ergebnisse im Gelände selbst durch Vergleiche mit den Vorjahreswerten möglich, die ja mit Ausnahme des jeweils ersten Punktes auf dem Eis eine auffallende Übereinstimmung durch mehrere Jahre zeigen. Damit wurden auch Ablesefehler (5-m-Fehler, 10-m-Fehler) bei Höhe und Entfernung praktisch ganz ausgeschaltet.

Die Jahreswege wurden mit Hilfe hinterlegter und numerierter Steine in Form einfacher Bandmessungen ermittelt, wobei die Auffindungsquote der im Vorjahr hinterlegten Steine zwischen 1971 und 1990 an den drei Hauptlinien durchschnittlich 91 % (maximal 100 %, minimal 77 %) betrug.

Unabhängig von den Profilmessungen wurden natürlich vom Verfasser wie von den Vorgängern Endmarkennachmessungen nach den vom Alpenverein schon vor einem Jahrhundert vorgegebenen Regeln an der Pasterze und einigen kleineren Gletschern der Umgebung durchgeführt.

Genauer zur Geschichte der Nachmessungen an der Pasterze ist der Arbeit von H. Wakonigg (1991) zu entnehmen, die vorliegende Studie ist nur als Zusammenfassung und Veranschaulichung der Ergebnisse der beiden letzten Jahrzehnte gedacht.

Die Ergebnisse der Einzeljahre wurden und werden seit 1971 wie auch überwiegend schon vorher in der Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie in ungekürzter Form veröffentlicht. Daneben wurden die Ergebnisse in Kurzform im Rahmen des „Gletscherberichtes“ bis 1978 durch H. Kinzl und ab 1978 durch G. Patzelt sowohl in der genannten Zeitschrift, als auch in den Mitteilungen des Österreichischen Alpenvereins veröffentlicht. Auf eine vollständige Literaturzitation wird hier verzichtet.

WITTERUNGSÜBERSICHT

Wegen der Konzeption dieser Arbeit (siehe letzter Absatz) kann die Witterungsübersicht nur in Form einer überblicksmäßigen Orientierung anhand einer Darstellung wichtiger und möglichst einfach zu gewinnender Kenngrößen, die den komplexen Witterungscharakter insbesondere des Glazialsommers ansprechen, erfolgen (Abb. 1). Die meisten davon sind aus ihrer Bezeichnung allein verständlich, als Erläuterung sei hinzugefügt: Die „Schneehöhe am Sonnblick“ wird auf der Fleißkarte etwas unterhalb

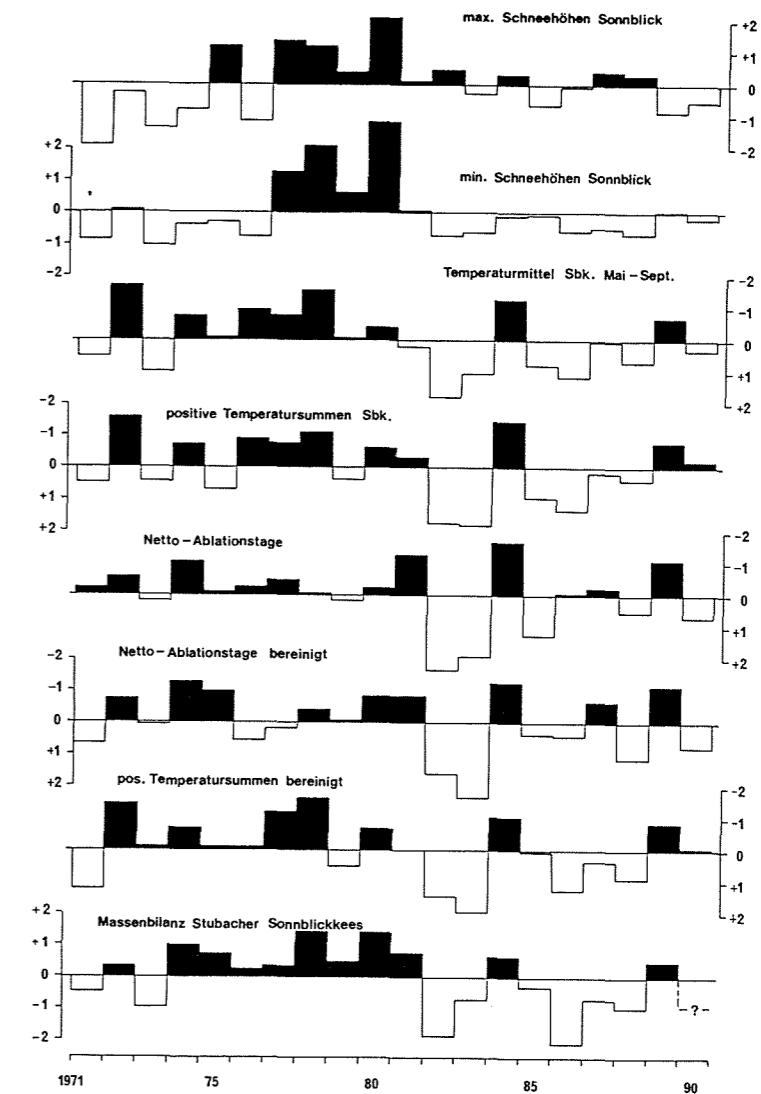


Abb. 1: Kenngrößen für Einflussfaktoren auf das Gletscherverhalten (Erläuterung im Text)

des eigentlichen Sonnblickgipfels gemessen, die Werte wurden bis 1983 den Jahrbüchern der Zentralanstalt f. Met. u. Geodyn. entnommen, später den amtlichen Wetterkarten. Die positiven Temperatursummen der Tagesmaxima wurden aus allen Monaten, in denen solche vorkamen, d. h. frühestens im März, spätestens im Dezember (!) entnommen, doch spielen solche bis April und ab November weder für den Gletscherhaushalt noch für die Größe der gesamten Temperatursumme eine nennenswerte Rolle. Die „Netto-Ablationstage“ ergeben sich durch Auszählung der für jeden Tag herrschenden „ostalpinen Wetterlage“ (System Lauscher) und Gewichtung nach dem Vorschlag des Verfassers (1971, S. 118), und zwar mit +1: H, Hz, HE, SW, S, TSW; +0,5: h, HF, W, TB, TwM, g; ±0: TR; -1: N, NW, TS, TK; -2: Vb. Die Summe der Gewichte ergibt dann die „Netto-Ablationstage“, d. h. die im Sommer in etwa 2900 m voll wirksamen Ablationstage unter Abzug der Schlechtwettertage bzw. von Gewichten für Neuschneeabschmelzung. Das Maximum wurde für Mai bis September im Jahr 1982 mit 72,5 Tagen, das Minimum 1984 mit 13,5 Tagen (Durchschnitt 38 Tage) ermittelt. Der Ausdruck „bereinigt“ bei den positiven Temperatursummen bzw. Netto-Ablationstagen bedeutet, daß die nach dem Meßbeginn (Anfang bis Mitte September) ermittelten Werte dem jeweils nächsten Sommer zugerechnet wurden. Die Massenbilanzwerte für das Stubacher Sonnblickkees wurden bis 1988 aus H. Slupetzky, 1991 entnommen bzw. für 1989 einer persönlichen Mitteilung des genannten Autors.

Alle Werte wurden standardisiert, d. h. in allen acht Stufendiagrammen ist das arithmetische Mittel null und die Standardabweichung eins, wodurch die Reihen untereinander direkt vergleichbar werden, die Kenntnis der Absolutwerte aber verlorengelassen. Die Orientierung erfolgt so, daß gletschergünstige Werte jeweils nach oben zeigen.

Das erste Beobachtungsjahr 1971, war allen Anzeichen nach ein sehr gletscherabträgliches Haushaltsjahr (hier vereinfacht statt „1970/71“). Das ist wohl schon auf ein großes Defizit an Winterschnee zurückzuführen, dazu waren die Monate Mai, Juli und insbesondere der August viel zu warm, während der September eher feucht-kalt war und die Hauptablationsperiode schon am 11./12. beendet wurde. Der Sommer 1971 war zudem äußerst niederschlagsarm und ist weithin als ausgesprochener Trockensommer in Erinnerung.

Ungleich gletschergünstiger verlief dagegen das Jahr 1972, hauptsächlich durch einen feucht-kühleren Sommer (besonders Mai und weitaus kältester September!), doch blieben bei nur mäßigem Winterschnee die positiven Massenbilanzen eher bescheiden bzw. bei größeren Gletschern auch negativ.

Dagegen war 1973 das gletschergünstigste Haushaltsjahr zwischen 1964 und 1982! Nach sehr geringen Winterschneefällen folgte ein warm-trockener Sommer, wobei alle Monate außer Juli positive Temperaturabweichungen aufwiesen und der August zum zweitwärmsten der Periode wurde. 1973 ist allen Vertrauten als jenes Jahr in Erinnerung, in welchem die Altschneelinie zum letzten Mal bis 1982 weit über die Firngrenze zu liegen kam und die Firnggebiete durch klassische Aferfiguren (Schichtogiven) belebt wurden.

1974 war dagegen wieder ein recht gletschergünstiges Jahr. Nach keineswegs übernormalen Winterschneefällen folgte ein kalt-feuchter Frühsommer bis einschließlich Juli, erst der August war dann als drittwärmster der Reihe hochsommerlich warm, doch gab es schließlich deutliche positive Massenbilanzen, wohl weil das Hauptschlechtwetter mit den sommerlichen Schneefällen in die Zeit höchster Sonnenstände und Globalstrahlung gefallen war.

Die nächsten beiden Jahre sind nun ausgesprochene Sonderfälle: 1975 war durch

extreme Schneezuwächse im Winterhalbjahr, insbesondere Dezember 1974 und März/April 1975 gekennzeichnet, die im Diagramm zwar als solche weniger hervortreten, aber im Umkreis der Pasterze durchaus ihre Wirkung zeigten, etwa bei der frühlommerlichen Räumung der Glocknerstraße. Der Sommer war dagegen sogar übernormal warm, insbesondere im September, der als drittwärmster der Reihe noch nach den Messungen (6.—10.) die Höchsttemperaturen im Hochgebirge bescherte bzw. noch starke Ablation bewirkte. Von den positiven Temperatursummen des Sonnblicks entfielen damals 24 % auf die Zeit nach Meßbeginn (Durchschnitt 17,5 %, Max. 1978: 28 %, Min. 1972: 9 %). Immerhin schloß dieses Jahr noch mit deutlich positiven Bilanzen ab.

1976 schien sich nach schneearmem Winter wegen des außergewöhnlich warm-trockenen Frühsommers zu einem Gletscher-Katastrophenjahr zu entwickeln, doch wurde die Haupt-Ablationsperiode schon am 20./21. Juli (!) beendet, worauf der kälteste August nicht nur der Reihe, sondern des ganzen Jahrhunderts, wie ein ebenfalls kalt-feuchter September folgten und die Bilanzen noch „retteten“. Das Stubacher Sonnblickkees verzeichnete sogar einen bescheidenen Massenzuwachs. Demgegenüber zeigten die Profilmessungen an der Pasterzenzunge ausnehmend starke Einsinkbeiträge, weil einerseits die Herbstablation 1975 miterfaßt wurde, andererseits im strahlungsreichen Frühsommer höchste Ablationsleistung erzielt wurde und die Zunge auch im August überwiegend schneefrei blieb. Wie stark der Herbst 1975 die Ergebnisse verzerrte, zeigt die Tatsache, daß sich auch die Gletscherstirn der Pasterze zwischen 6. September 1975 und 20. Juni 1976 deutlich zurückgezogen hat.

Das Jahr 1977 war ohne Besonderheiten. Auf einen schneereichen Winter folgte ein mäßig kühlfeuchter Sommer (vor allem August!), was im Endeffekt leicht positive Massenbilanzen bewirkte, gegenüber z. B. hochpositiven in Westösterreich.

1978 war dann ein ausnehmend gletschergünstiges Jahr. Nach reichlichen Winterschneefällen folgte ein ausnehmend kalt-feuchter Sommer, nach 1972 der kälteste der Reihe, was sich auch in allen Meßergebnissen zeigt: So wurde im Mittel der Gletscherzunge kein Einsinken mehr registriert und am Stubacher Sonnblickkees bilanzierte dieses Haushaltsjahr neben 1979/80 am besten.

1979 war ähnlich wie 1977 ohne Besonderheiten und bei durchschnittlichen Sommertemperaturen mit sehr warmem Juni und kühlem Juli weithin ausgeglichen bis mäßig gletschergünstig.

1980 war schließlich an der Pasterze das gletschergünstigste Jahr seit 1965: Sowohl maximale als auch minimale Schneehöhe am Sonnblick erreichten Rekordwerte, der Sommer blieb bis etwa 22. Juli ausnehmend kalt-feucht, wodurch die Pasterzenzunge zu dieser Zeit erst teilweise ausgeapert war. Wohl folgten ein sehr warmer August und September, wodurch die Temperaturabweichung des Gesamtsommers nicht stärker negativ wurde, doch blieb der Schlechtwettereinfluß des Frühsommers dominant und die Pasterzenzunge zeigte das erste und einzige Mal deutliche Aufhöhungen bzw. das Stubacher Sonnblickkees die höchste Zuwachsrate seit 1965.

Nur mehr mäßig gletschergünstig war dann das Jahr 1981, in dem neben recht durchschnittlichen Bedingungen nur der markante Wettersturz des 18. Juli besondere Erwähnung verdient, der mit seinen Neuschneemassen die Ablation in den höheren Gletscherteilen wenigstens 14 Tage hinauszögern konnte. 1981 war schließlich das letzte Jahr mit positivem Trend bei den Massenbilanzen (Beginn 1964/65).

Nach den insgesamt recht günstigen siebziger Jahren mußte dann das Jahr 1982 als ausgesprochenes „Gletscherkatastrophenjahr“ empfunden werden. Auf normale Winterschneebedingungen folgte der wärmste Bergsommer des Jahrhunderts, bei dem ent-

scheidend war, daß alle Monate zu warm waren und es kaum nennenswerte sommerliche Neuschneefälle gab, wodurch auch noch im September (dem wärmsten der Reihe) außergewöhnliche Ablationswerte erzielt wurden. Es war solcherart das gletscherungünstigste Jahr seit 1964.

Kaum besser war dann das Jahr 1983, welches schließlich durch den „Jahrhundert-Juli“ gekrönt wurde, in dem aber wenigstens der September mit einigen Kaltlufteinbrüchen nur mehr geringe Ablationsleistung zeigte.

Eine leichte Erholung gab es dann 1984, in dem nach mäßig gutem Winterschneezuwachs ein recht feucht-kühler Sommer relativ gletschergünstige Bedingungen bescherte und das Stubacher Sonnblickkees zum letzten Mal bis 1989 schwach positiv bilanzierte. Im Jahr 1985 gab es nach recht schneearmem Winter einen sehr warmen Hochsommer und mäßig negative Haushaltsbedingungen, doch folgte nach den Messungen (7.—11. Sept.) ähnlich wie 1975 ein langer trockenwarmer Altweibersommer, der bis wenigstens 7., höchstens 30. Oktober dauerte und noch starken Massenverlust bewirkte, der sich schließlich in den Messungen des Jahres 1986 niederschlug.

Dieses Jahr war dann wieder ein hochnegatives Gletscherjahr, wobei es schon im Mai, dem wärmsten der Reihe, zu starker Ablation gekommen ist und der Grundstein für die hohen Ablationswerte des zwar nur mäßig übernormal warmen Sommers gelegt wurde, in dem aber zwischen 8. Juni und 23. August keine wirksamen Neuschneefälle erfolgten. Auch 1986 gab es nach den Messungen (13.—16. Sept.) noch einen langen Nachsommer bis 18. Oktober (!), wodurch die positiven Temperatursummen nach den Messungen trotz des relativ späten Termins den absoluten Höchstwert der ganzen Reihe erreichten, doch ergeben sich zwischen den normalen und „bereinigten“ Temperatursummen (4. und 7. Diagramm in Abb. 1) kaum Unterschiede, da auch der Herbst 1985 ähnliche Werte verzeichnete. Jedenfalls gab es 1986 am Stubacher Sonnblickkees den schlechtesten Massenhaushalt seit Beginn der Beobachtung (1958/59).

1987 gab es recht günstige Bedingungen bis Ende Juni, worauf die nur vier Wochen dauernde Hauptablationszeit folgte, die trotz ihrer geringen Dauer wegen der hochsommerlichen Temperaturen recht wirksam war. Nach dem normalen August gab es dann den zweitwärmsten September der Reihe mit einer ausgesprochenen Hitze-welle um die Monatsmitte, wodurch zum dritten Mal hintereinander hohe positive Temperatursummen nach dem Meßbeginn verzeichnet wurden. Insgesamt war dieses Jahr deutlich gletscherabträglich, die Massenbilanz am Stubacher Sonnblickkees war sogar fast gleich negativ wie 1982/83.

1988 war schließlich für die Pasterzenzunge das schlechteste Jahr. Nach durchaus normalen Winterschneebedingungen (extrem schneereicher März!) begann die Ablationszeit schon Anfang Mai und erreichte zwischen 20. Juli und 19. August einen auffallenden Höhepunkt, der mit einem mittleren täglichen Maximum von $8,3^\circ$ gut mit dem Juli 1983 ($8,1^\circ$) vergleichbar ist. Dadurch gab es auch wieder hochnegative Bilanzen und allein das Defizit der fünf Jahre 1982, 1983, 1986—1988 am Stubacher Sonnblickkees war größer als die Summe des Zuwachses aller 11 positiven Bilanzjahre des 20jährigen Zeitraumes.

1989 war in seiner Charakteristik geradezu das Pendant zu 1975: jetzt folgte auf einen ausgesprochen schneearmen Winter, der wieder hochnegative Bilanzen erwarten ließ, ein zwar nur mäßig kühler Sommer, in dem aber die Neuschneefälle so günstig verteilt waren, daß es schließlich noch ein ausgeglichenes bis schwach positives Haushaltsjahr wurde.

1990 ist in seiner gesamten Charakteristik (besonders der warme Hochsommer von

Mitte Juli bis Ende August) recht gut mit 1988 vergleichbar und somit wieder äußerst gletscherabträglich.

Ausführliche Witterungsschilderungen der glazialen Haushaltsjahre finden sich in den von G. Patzelt verfaßten „Gletscherberichten“ in der Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie ab 1979, mit Diagrammen für den alpinen Temperaturgang ab 1980.

MARKENNACHMESSUNGEN

Markennachmessungen wurden neben der Pasterze am Wasserfallwinkelkees, Freiwandkees (ab 1972) und Pfandschartenkees (ab 1973) durchgeführt. Dabei gilt als Charakteristik, daß die zu große und träge Pasterze weit von ihrem, den Klimabedingungen der jüngsten Vergangenheit entsprechenden, Gleichgewichtszustand entfernt ist und auch in günstigen Gletscherjahren starke Rückzüge verzeichnet, während das Wasserfallwinkelkees den Gleichgewichtszustand 1980 erreicht, das Freiwandkees ihn sogar kurzfristig übertroffen hat, wogegen das (südliche) Pfandschartenkees ähnlich wie das Wurtenkees eigentlich nur mehr als abschmelzendes Resteis ohne aktives Nährgebiet bezeichnet werden kann.

Die jeweils aus mehreren Marken gemittelte Änderung der Lage der Gletscherstirnen zeigt die Abb. 2. Die Pasterze ist erwartungsgemäß in permanentem Rückgang begriffen, der beim moränenfreien Teil auffallend gleichmäßig, beim moränenbedeckten aber äußerst ungleichmäßig erfolgte, da die äußersten Teile des letzteren als Toteis gelten können, was bekanntlich recht sprunghafte Rückzugswerte bewirkt. In Summe hat sich der moränenbedeckte Teil um 449 m, der moränenfreie um 197 m und der Gesamtgletscher um 315 m zurückgezogen, das ergibt Einzeljahresdurchschnitte von 22,5, 9,9 und 15,8 m. Trotz der trägen Reaktionszeit der Pasterze sind günstige Perioden (bis 1975) durch geringere und ungünstige (1986, 1988!) durch deutlich höhere Rückzüge gekennzeichnet. Durch das unterschiedliche Verhalten der beiden Gletscherteile haben sich auch die Lagen den beiden Gletscherstirnen, welche durch regelrechten Zerfall des moränenfreien Teiles (Sandersee!) bis 1964 ihren größten Abstand erreicht hatten, wieder stark angenähert (um 250 m), sind aber trotzdem noch um einige 100 m voneinander entfernt.

Beim Wasserfallwinkelkees blieb die Gletscherstirn zwischen 1974 und 1981 weitgehend unverändert (Rückzug nur $0,94$ m pro Jahr), hat sich aber seither um fast 67 m zurückgezogen (1972—1990: 87,4 m). Auch das Pfandschartenkees konnte seine Gletscherstirn in den günstigen siebziger Jahren weitgehend unverändert halten (1973—1981: $-8,7$ m), wurde aber in der Folge von einem geradezu bestürzenden Eisschwund erfaßt, was einen Rückzug von gut 120 m in nur neun Jahren zur Folge hatte.

Demgegenüber konnte das Freiwandkees zwischen 1973 und 1984 mit einem bescheidenen Vorstoß von insgesamt etwa 24 m aufwarten, der bis 1990 allerdings wieder aufgezehrt wurde, wobei die Lage der Gletscherstirn jetzt wieder etwa der von 1972 entspricht, sich aber fast 140 m oberhalb jener von 1968 befindet. Immerhin wurde durch diesen schwachen Vorstoß eine schöne Stirnmoräne zusammengescho-ben.

Aus Photovergleichen ist zu entnehmen, daß im Umkreis der Pasterze nur das Hofmannskees zwischen Mitte der sechziger Jahre und Mitte der achtziger Jahre einen wirklich bedeutenden und aktiven Vorstoß wohl in der Größenordnung von 150—200 m verzeichnet hat, welcher aber mangels direkter Messungen (Gefahr durch Eislawinen!) in seiner genauen Größe unbekannt bleibt.

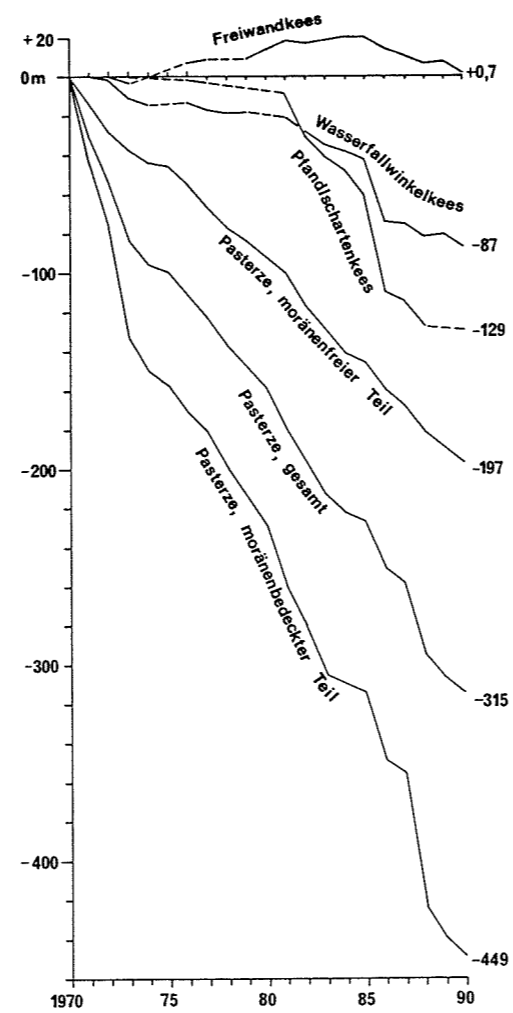


Abb. 2: Lageänderungen der Gletscherstirnen

HÖHENÄNDERUNG DER GLETSCHEROBERFLÄCHE

Bei der Höhenänderung der Gletscheroberfläche zeigt sich wieder ganz auffallend, daß die Pasterze für die rezenten Klimabedingungen viel zu groß ist, somit einerseits gegen das Zungenende zu immer stärker einsinkt, andererseits an der Zunge auch in relativ gletschergünstigen Jahren einsinkt, gegen das Zungenende sogar in allen Jahren, d. h. auch in den gletschergünstigsten. Umgekehrt spiegeln sich in den beiden obersten Linien mit geringer Bewegungsaktivität die Ernährungsbedingungen in auffallend gleichsinnigen Beträgen für die Höhenänderung wider.

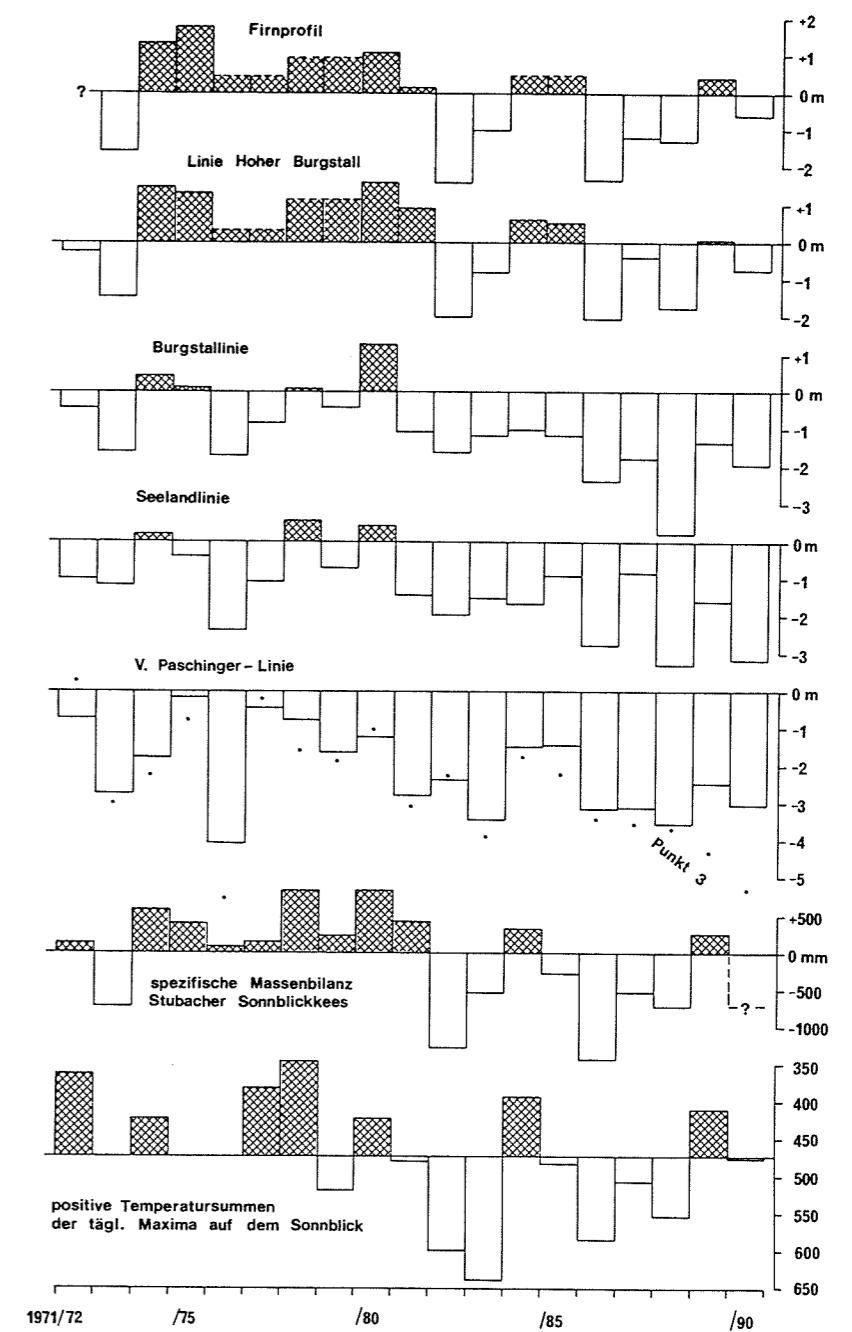


Abb. 3: Höhenänderung der Gletscheroberfläche und Kenngrößen für Witterung und Gletscherhaushalt

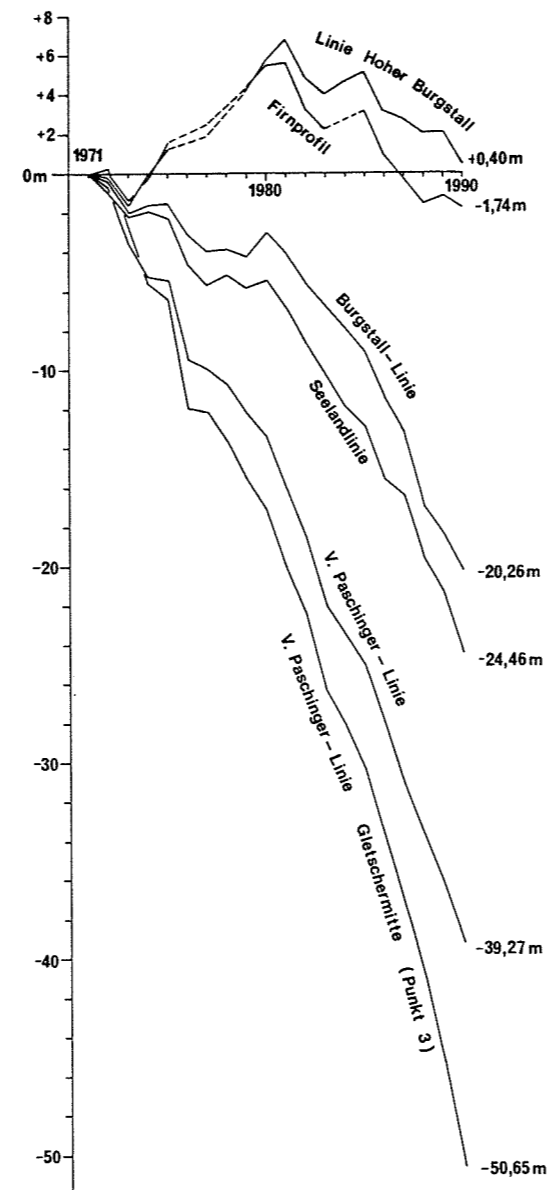


Abb. 4: Höhenänderung der Gletscheroberfläche: Summenlinien

Die Ergebnisse werden für die fünf Profile für alle Beobachtungsjahre in den Abb. 3 und 4 in übersichtlicher Form zusammengestellt. Am Firnprofil und an der Linie am Hohen Burgstall zeigt sich die Zweiteilung in eine positive Haushaltsphase von 1973/74 bis höchstens 1980/81 und eine negative ab 1981/82 am besten. Der Gesamtbetrag der Aufhöhung von 1973 bis 1981 beträgt am Firnprofil 7,16 m, an der Linie am Hohen Burgstall sogar 8,45 m, das Einsinken seither bis 1990 am Firnprofil 7,35 m, am Hohen Burgstall 6,39 m, wodurch die Aufhöhung am Firnprofil mehr als wettgemacht, und am Hohen Burgstall bis auf 2,06 m aufgezehrt worden ist. Dort verbleibt noch eine unbedeutende Überhöhung von 40 cm gegenüber dem Stand von 1971.

An der Burgstalllinie gab es nur von 1979 auf 1980 einen kräftigen Anstieg, daneben nur noch in drei Jahren unbedeutende Aufhöhungen. Von 1973 bis 1980 sank die Gletscheroberfläche nur um 97 cm ein (= 14 cm pro Jahr), von 1980 bis 1990 aber um 17,26 m (= 1,73 m pro Jahr). An der Seelandlinie, wo es nur in drei Jahren geringfügige Aufhöhungen gab, betrug das Einsinken von 1973 bis 1980 3,30 m (= 47 cm pro Jahr), von 1980 bis 1990 19,04 m (= 1,90 m pro Jahr), und schließlich waren es an der V.-Paschinger-Linie im ersten Abschnitt 10,02 m (= 1,43 m pro Jahr), im zweiten aber beachtliche 26,80 m (= 2,68 m pro Jahr). Seit 1971 ist der Gletscher dort im Durchschnitt um fast 40 m, in der Gletschermitte (Punkt 3) sogar um über 50 m eingesunken (= 2,67 m pro Jahr), in den letzten 10 Jahren beschleunigte sich das Einsinken dort auf 33,5 m mit dem Höhepunkt von 5,33 m allein im letzten Beobachtungsjahr.

Wie schon oben angedeutet nimmt der Zusammenhang zwischen der Änderung der Höhe der Gletscheroberfläche und Parametern für Witterung bzw. Gletscherhaushalt von oben nach unten ab.

Tabelle 1: Korrelationskoeffizienten zwischen der Änderung der Höhe der Gletscheroberfläche und der spezifischen Massenbilanz am Stubacher Sonnblickkees (A) sowie „bereinigten“ positiven Maximaltemperatur-Summen auf dem Sonnblick (Temperatursummen des Herbstes nach Meßbeginn zum Folgejahr gezählt (B)). Zahlen in Klammern = Anzahl der verwendeten Wertpaare

	FP	LHB	BL	SL	VPL
A	+0,96 (14)	+0,94 (16)	+0,76 (18)	+0,70 (18)	+0,57 (18)
B	-0,74 (15)	-0,69 (17)	-0,52 (19)	-0,50 (19)	-0,53 (19)

Daß die Zahl der Wertpaare in allen Fällen unter 20 bleibt, ergibt sich daraus, daß für 1970 keine Höhenangaben für die Pasterze, für 1990 noch keine Massenbilanzangaben für das Stubacher Sonnblickkees vorliegen. Das Firnprofil konnte zudem in drei Jahren, die Linie am Hohen Burgstall in zwei Jahren nicht nachgemessen werden. In diesen Fällen wurden Höhenänderung, Massenbilanz und Temperatursummen aus zwei Jahren gemittelt und in die Korrelationsrechnung als jeweils nur ein Wert eingebracht. Auch in der Abb. 2 wurden die über zwei Jahre gemessenen Werte halbiert.

Für ausgewählte Jahre werden Querschnitte entlang der Meßprofile durch die Gletscheroberfläche dargestellt (Abb. 5). Dabei ist am Firnprofil die konkave Form des Nährgebietes, an der Burgstall- und Seelandlinie die konvexe des Zehrgebietes deutlich feststellbar, an der V.-Paschinger-Linie ist sie nur im linken, moränenfreien Gletscherteil angedeutet und verschwindet bis 1990 völlig. Dort ist der Punkt 1, in

120 m Abstand vom Fixpunkt zwischen 1976 und 1979 eisfrei geworden und liegt jetzt an der Innenflanke einer recht steilen Ufermoräne in 2125 m Höhe. Seit 1971 sind dort ca. 16 m Eis niedergeschmolzen, seit 1963 etwa 55 m. Der Punkt 2 lag bis 1987 auf der schutfreien, aktiven Gletscherzunge und liegt nach Abschmelzung von 7–8 m Eis seit 1988 im Sander des Gletschervorfeldes in 2110 m, doch ist dort noch Toteis unterlagert, wodurch ein weiteres Einsinken wahrscheinlich ist. Seit 1971 ergab sich dort ein Einsinken von knapp 48 m, seit 1963 von 74 m. Der Punkt 3, immer noch auf aktivem Gletschereis gelegen, ist seit 1971 um 50,5 m, seit 1963 um 74,7 m eingesunken, der Punkt 4 um 30,3 bzw. 55,6 m, Punkt 5 um 35,3 bzw. 55,8 m und schließlich der Punkt 6 um 26,4 bzw. 42,7 m.

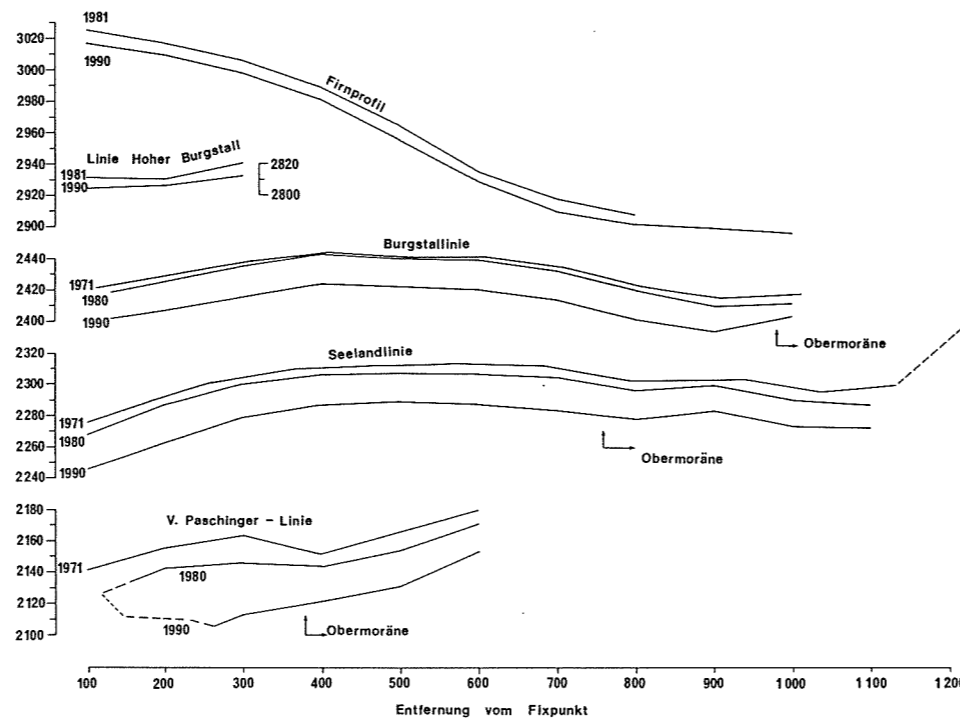


Abb. 5: Querprofile durch die Gletscheroberfläche an den Meßprofilen in ausgewählten Jahren. Überhöhung 1:2

An allen Querprofilen über die Zunge wird wieder der geringe Einsinkbetrag der siebziger Jahre und der hohe der achtziger Jahre deutlich, an den beiden oberen Meßlinien ist die Höhe im Jahr 1990 weitgehend mit jener am Beginn der siebziger Jahre identisch. An der Seelandlinie beträgt die Höhendifferenz zwischen der Hofmanshütte und dem linken Eisrand der Pasterze bereits 198 m (1990).

DER EISVERLUST DER PASTERZE

In allen Einzelberichten über die Nachmessungen an der Pasterze wurden traditionellerweise Werte für den Volumsverlust an der Pasterzenzunge mitgeteilt, die durch Multiplikation der mittleren Einsinkbeträge der Zunge mit einer Fläche von 6 km² gewonnen wurden. Nun hat sich aber einerseits im Laufe der Zeit die Fläche der eigentlichen Gletscherzunge unterhalb des Eisbruches von 6 auf etwas über 4 km² vermindert, andererseits könnten die ermittelten Einsinkwerte auch weit über diese Zungenfläche hinaus Gültigkeit haben, womit auch heute eine Fläche von 6 km² wenig danebengegriffen wäre. Da es sich bei den Profilen ohnehin nur um Stichprobenmessungen handelt, aus welchen wirklich genaue Volumsdifferenzen nicht abzuleiten sind, haben die solcherart mitgeteilten Werte nur orientierenden Charakter, sind aber größenordnungsmäßig sicher realistisch.

Unter der Annahme der Gültigkeit der mittleren Einsinkbeträge der unteren drei Profile für eine 6 km² große Fläche beträgt der Volumsverlust für die Pasterze von 1971 bis 1990 knapp 154.10⁶ m³ Eis, das sind 8,1.10⁶ m³ pro Jahr oder 12,7 % des für 1970 geschätzten Gesamtvolumens von 1,216.10⁹ m³ (O. Bittmann et alii 1973, S. 16). Dabei ist der Volumsverlust von 1973 bis 1980 mit nur 21,7.10⁶ m³ (= 3,1.10⁶ m³ pro Jahr) zu veranschlagen, für 1980 bis 1990 aber mit 117,8.10⁶ m³ oder 11,8.10⁶ m³ pro Jahr, das sind jeweils etwas über 1 % der Gesamtmasse.

BEWEGUNG AN DER OBERFLÄCHE

Die Jahresbewegungen an der Gletscheroberfläche, umgerechnet auf den Einheitszeitraum von 365 Tagen, werden in der Abb. 6 dargestellt. Bei den beiden großen

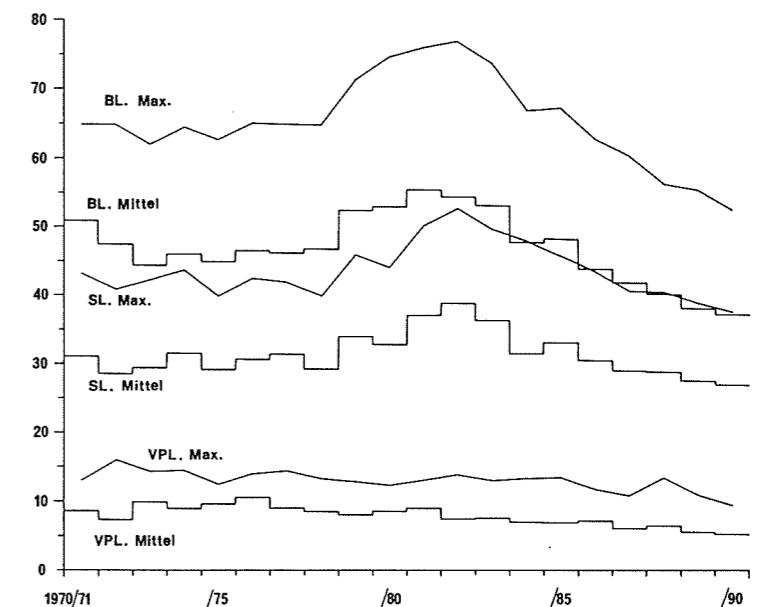


Abb. 6: Jahresbewegungen an der Oberfläche der Pasterzenzunge im Bereich der drei Meßprofile: BL = Burgstelllinie, SL = Seelandlinie, VPL = Viktor-Paschinger-Linie

Hauptlinien, der Burgstall- und Seelandlinie ist der Typ des laminaren Strömens mit allmählicher Zunahme vom Rand zur Mitte gegeben, bei den kleineren Linien wohl auch anzunehmen, aber aus Gründen der örtlichen Situation (geringe Jahreswege, Asymmetrie, Meßprobleme usw.) nicht mehr eindeutig zu belegen.

Bei den genannten Profilen ist bis 1978 ein Gleichbleiben, dann bis 1982 eine auffallende Zunahme und schließlich bis 1990 eine anhaltend starke Verkürzung der Jahreswege festzustellen. Die Jahreswege von 1981 auf 1982 bzw. 1982 auf 1983 waren die bisher größten seit Beginn der Beobachtungen durch V. Paschinger, und haben — unter der Annahme der davon unmittelbaren Abhängigkeit des Eisnachschiebens vom Nähr- ins Zehrgebiet den Eisschwund in den hochnegativen Haushaltsjahren 1981/82 und 1982/83 gegenüber etwa jenen von 1985/86, 1987/88 und 1989/90 noch in erträglichen Grenzen halten können. An der Burgstalllinie betrug der mittlere Jahresweg (unkorrigiert) 1982/83 noch 96 % jenes von 1981/82, 1985/86 aber nur mehr 81 %, 1987/88 nur mehr 73 % und 1989/90 gar nur 67 %. 1987/88 erreichten die Einsinkbeiträge Rekordwerte, obwohl dieses Jahre nicht jenes mit der gletscherabträglichsten Witterung bzw. negativsten Massenbilanz war (Abb. 3).

An beiden Linien wurde das letzte Minimum Mitte der fünfziger Jahre beobachtet: Von 1955 auf 1956 betrug der maximale Jahresweg an der Burgstalllinie nur 42,8 m, das sind 55 % jenes von 1981 auf 1982, an der Seelandlinie waren es 1954/55 sogar nur 22,4 m oder 42 % jenes von 1981 auf 1982. Im Zusammenhang damit steht wohl auch der damalige eklatante Rückzug bzw. allgemeine Massenschwund an der Zunge.

Die Werte für die V.-Paschinger-Linie leiden unter Inhomogenitäten bei der Mittelbildung und meßtechnischen Problemen (Ableiten der Steine ?) und sind nur eingeschränkt aussagekräftig. Immerhin ist ein genereller Trend zur Verlangsamung erkennbar, das Maximum zu Beginn der achtziger Jahre ist dort nicht mehr feststellbar.

Mit den hier mitgeteilten Werten werden aber noch keineswegs die größten Jahreswege erfaßt, welche in der Gletschermitte, unmittelbar am Fuß des „Eisbruches“ anzunehmen sind, wo zu Beginn der achtziger Jahre von seiten der „Tauernkraftwerke AG“ 129 m gemessen wurden.

An der nur aus drei Punkten bestehenden Linie am Hohen Burgstall in etwas über 2800 m Höhe wurden alle drei Steine nur in den Jahren 1973, 1981—83, 1986 und 1988 gefunden, jeweils ein Stein in den Jahren 1971, 1972 und 1989. Die Jahreswege liegen dort je nach Meßpunkt bzw. Meßjahr zwischen 3,2 und 5,2 m, bei Mittelwerten von 3,7 bis 4,5 m.

LITERATUR

- Bittman, O., et al., 1973: Die Ergebnisse der seismischen Gletschermessungen am Obersten Pasterzenboden (Glocknergruppe) im Jahre 1970. Arb. aus d. Zentralanst. f. Met. u. Geodyn. (Wien), H. 11, S. 1—17.
- Paschinger, H., 1969: Die Pasterze in den Jahren 1924—1968. Neue Forschungen im Umkreis der Glocknergruppe. Wissenschaftl. Alpenvereinshefte, H. 21, S. 201—217.
- Paschinger, V., 1948: Pasterzenstudien XI. Sonderh. d. Carinthia II (Festschr. z. 100jähr. Bestand d. Naturwiss. Vereins f. Kärnten), S. 1—119.
- Slupetzky, H., 1991: Die Massenbilanzmeßreihe vom Stubacher Sonnblickkees 1958/59 bis 1987/88. Zeitschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie 25 (1989), S. 69—89.

Wakonigg, H., 1971: Gletscherverhalten und Witterung. Zeitschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie VII, S. 103—123.

Wakonigg, H., 1991: Die Nachmessungen an der Pasterze von 1879 bis 1990. Arb. aus d. Inst. f. Geogr. d. Univ. Graz 30, S. 271—307.

Manuskript erhalten am 8. Februar 1991

Anschrift des Verfassers: Prof. Dr. Herwig Wakonigg
 Institut für Geographie der Universität Graz
 Heinrichstraße 36
 A-8010 Graz