

Hintereisferner

25 JAHRE
MASSENHAUSHALT

25 JAHRE MASSENHAUSHALTSUNTERSUCHUNGEN
AM HINTEREISFERNER

Auszug aus den glazialmeteorologischen Arbeiten im
Gebiet des Hintereisferners in den Ötztaler Alpen

Zusammengestellt von
M. Kuhn, G. Kaser, G. Markl, H.P. Wagner, H. Schneider

Nach Messungen und Analysen von

H. und T. Hoinkes

L. Vietoris, H. Schatz, G. Lochs

O. Schimpp, R. Rudolph, W. Ambach, F. Purtscheller,
N. Untersteiner, I. Dirmhirn, E. Trojer, H. Lang,
G. Wendler, H. Eisner, O. Reinwarth, W. Schneider,
H. Bartels, I. Lauffer, K. Schram, I. Vergeiner, E. Scekeres
N. Schatz, W. Seifert, H. Kraus, G. Eisbacher, O. Wörz,
F. Howorka, H. Queck, E. Dreiseitl, G. und Chr. Hoinkes,
H. und Chr. und C. Miller, St. Hoernes, E. Hoffer,
M. Enzensberg, L. Madsen, O. Melander, W. Nairz,
M. Url, G. und I. Patzelt, H. Rott, B. Schnyder,
H. Rentsch, R. Wagner, L. Siogas, M. Strobl, K. Gabl,
R. Steinacker, H. Schinner, G. Waleschkowski,
F. Obleitner, P. Seibert, A. Trawöger, U. Nickus
und vielen anderen.

Institut für Meteorologie und Geophysik
der Universität Innsbruck
Mai 1979

INHALTSVERZEICHNIS

Einleitung	1
Lage des Arbeitsgebiets	4
Die Volumenänderungen des Hintereisferners im Vergleich zur Massenänderung im Zeitraum 1953-64	6
Pegelplan	7
Nettoablation	8
Ablationspegel	10
Schneeschächte	12
Stratigraphie der Schneeschächte	14
Jahresgang eines Dichteprofils	16
Haushaltsanalyse	18
Massenbilanz HIntereisferner 52/53 bis 77/78	20
Die Höhenverteilung der spezifischen Bilanz	24
Massenbilanz und Gleichgewichtslinie	26
Die Flächenverhältnisse	28
Die TS-Kurven	30
Massenhaushalt und Großwetterlage	32
Über Beziehungen zwischen den Massenhaushalten der Gletscher und der allgemeinen Zirkulation	34
Das Klima von Vent	36
Die Luftdruckreihe Vent 1935 bis 1970	38
Klimastationen	40
Die hydrologische Methode der Massenhaus- haltsbestimmungen	44
Hydrometeorologische Ergebnisse aus Abfluß- messungen im Bereich des Hintereisferners in den Jahren 1957 bis 1959	46
Über den Anteil der Strahlung an der Ablation von Hintereis- und Kesselwandferner im Sommer	48
Strahlungshaushaltsuntersuchungen am Hintereis- ferner während der Hauptablationsperiode	50
Über Strahlungseigenschaften des Gletschereises	52
Fernerkundung	54
Der Spektralverlauf der Albedo	56
Oberflächentemperaturen	58
Messungen von Eis- und Firntemperaturen	60

Untersuchungen der vertikalen Komponente der Gletscherbewegung und der Deformation des Eises im Zungengebiet des Hintereisferners	62
Bewegungsmessungen am Hintereis- und Kesselwandferner	64
Längenänderungen und kumulative spezifische Massenbilanz	66
Dickenänderungen und Fließgeschwindigkeiten des Hintereisferners	68
des Kesselwandferners	70
Hubschraubertransporte	72
Veröffentlichungen	73

INHALTSVERZEICHNIS

EINLEITUNG

In diesem Heft ist ein Auszug aus den glazialmeteorologischen Arbeiten des Instituts für Meteorologie und Geophysik der Universität Innsbruck im Gebiet des Hintereisferners im hintersten Ötztal zusammengestellt und knapp kommentiert. Er soll interessierten Kollegen, Studenten, Besuchern und Geldgebern einen raschen Überblick über die Aktivitäten und Resultate des Forschungsprogramms ermöglichen, soll aber nicht als Rechenschaftsbericht oder wissenschaftliche Abhandlung aufgefaßt werden, weil er dazu zu provisorischer Natur wäre. Andererseits knüpft sich an die Zusammenstellung dieses Berichts der Wunsch nach Verständnis, Diskussionsbereitschaft und fachlichem Interesse bei den Nachbarinstituten und die Bitte um Kommentare und Vorschläge, die bei einer sorgfältigen Zusammenstellung aller bisherigen Messungen in einem Gesamtkatalog berücksichtigt werden können.

Die Arbeiten am Hintereisferner waren traditionell ein interdisziplinäres Unternehmen, bei denen neben Meteorologen und Hydrologen vor allem Physiker, Mathematiker (als Geodäten), Mineralogen, Geologen, Geographen und Botaniker am Werke waren und ihren Arbeitseinsatz und ihre Ideen in den gemeinsamen Topf der glaziologischen Wissenschaften warfen. Dementsprechend sollte auch die Urheberschaft der hier publizierten Resultate zu einem guten Teil als die einer wissenschaftlichen Gemeinschaft, einer Schule, gewertet werden. Aus der Anwendung der damaligen Mikrometeorologie und ihrer Adaption auf den Gletscher haben H. Hoinkes, N. Untersteiner und W. Ambach die ersten Wärmehaushaltsuntersuchungen, O. Schimpp die erste Massenhaushaltsbestimmung am Hintereisferner durchgeführt. Im Aufwind des Internationalen Geophysikalischen Jahres und mit der folgerichtigen Ausweitung der glazialmeteorologischen Arbeiten auf die Polargebiete fand die Schule von H. Hoinkes bald internationalen Anschluß und Anerkennung.

In der internationalen Hydrologischen Dekade, die in Österreich seit 1964 von der Akademie der Wissenschaften finanziert und von Univ. Prof. Dr. Ferdinand Steinhauser geleitet wird, wurden die Kontakte zu den ostalpinen Glaziologen (VAWE der ETH Zürich, Glaziologische Kommission der Bayerischen Akademie der Wissenschaften München, Geographische Institute der Universitäten Salzburg und Graz sowie Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien) glücklich gefestigt. Das Institut für Meteorologie

und Geophysik begann mit dem Programm "Kombinierte Studien des Eis- Wasser- und Wärmehaushalts der Gletscher im Rofental, Ötztaler Alpen", das in ähnlicher Form im derzeitigen Internationalen Hydrologischen Projekt weiterläuft.

Die Finanzierung des Programms durch die Geophysikalische Kommission der österreichischen Akademie der Wissenschaften (Prof. Dr. F. Steinhauser) wird durch Beiträge des Hydrographischen Zentralbüros (MR. Dr. Schimpp) und des Österreichischen Alpenvereins (Prof. Dr. W. Heißel) ergänzt. Das Bundesministerium für Inneres fördert die Arbeiten durch Bereitstellung von Hubschraubern zum Lastentransport.

Mit der Verbesserung der finanziellen Lage konnte 1966 die Station Hintereis in 3026 m Höhe errichtet werden. Nach eigenen Erfahrungen planten Dr. E. Dreiseitl, Dr. I. Wagner (Lauffer) und Univ. Doz. Dr. F. Moworka, diesen Stützpunkt und leiteten seinen technisch schwierigen Bau.

Die Feldarbeiten werden von den durch die Akademie angestellten Projektmitgliedern und von zahlreichen freiwilligen Helfern durchgeführt. Dabei sind Schwerpunkte im Aufgabebereich wie folgt verteilt:

Dr. H. P. Wagner: Ablation, Wärmehaushalt und Klima
G. Markl: Akkumulation und Haushaltsanalyse
G. Kaser: Niederschlag und Verdunstung
F. Obleitner: Klimadaten
Dr. H. Schneider (Mathem. Inst.): Präzisionsvermessung

Herr Dr. H. Rott betreut in dankenswerter Weise die Auswertung der automatisch erfaßten Klimadaten und bearbeitet Satelliten- und Luftbilder des Hintereisferners. Rege Zusammenarbeit herrscht mit dem Geographischen Institut, wo Dr. G. Patzelt und Mag. G. Groß den österreichischen Gletscherkataster bearbeiten. Die Zeitschrift für Gletscherkunde und Glazialgeologie wird von em. Univ. Prof. Dr. H. Kinzl herausgegeben, ihre Schriftleitung teilen sich G. Patzelt und M. Kuhn.

Für das Institut für Meteorologie und Geophysik bedeutet das Projekt Hintereisferner heute nur einen Teil eines vielseitigen Betätigungsfelds. Die Glaziologie findet aber bei den Institutsmitgliedern Fachkenntnis und aktive Mitarbeit und mit Univ. Prof. Dr. H. Pichler (Institutsvorstand, theoretische Meteorologie) und Univ. Prof. Dr. H. J. Bolle (allgemeine Meteorologie) zwei wohlwollende und erfahrene Professoren, die es sich nicht nehmen lassen, selber an den Feldarbeiten mitzuwirken.

Univ. Doz. Dr. Michael Kuhn
Projektleiter

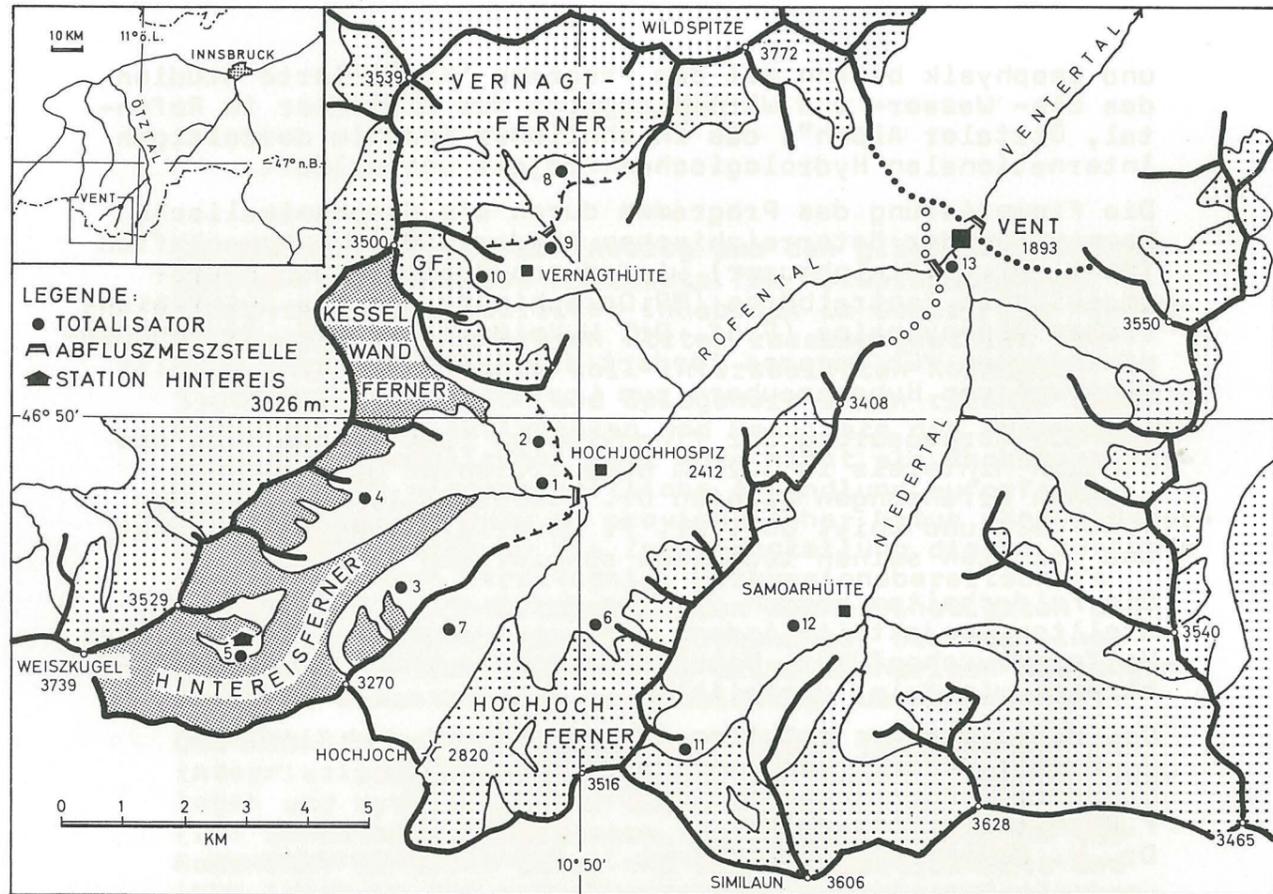


Abb. 1 Übersichtskarte des Einzugsgebietes der Schreibpegel Vent-Venterache (165 km²), Vent-Rofenache (98 km²) und Steg-Hospiz (26,6 km², Gletscherflächen eng gerastert).

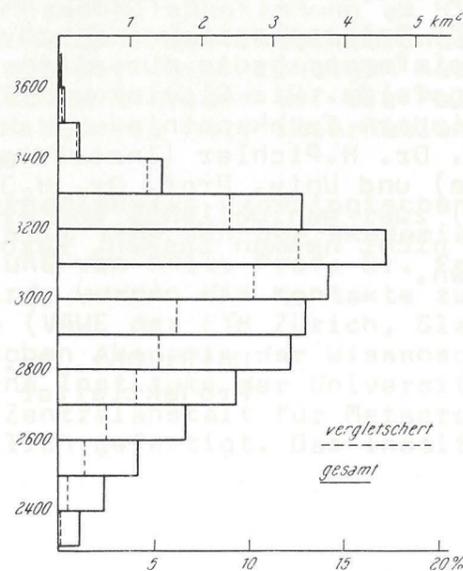


Abb. 5. Flächenanteil von 100-Meter-Stufen für das Einzugsgebiet des Pegels „Steg Hospiz“ (2287 m). Kartographische Grundlagen s. Legende zu Abb. 1

DIE LAGE DES ARBEITSGEBIETES

Auf der Übersichtskarte des Rofen- und Niedertals sind die Abflußpegel und ihre Einzugsgebiete eingetragen. Das Einzugsgebiet der Rofenache ist 98 km² und war 1970 zu etwa 70 % vergletschert. Für die Pegelmeßstelle unterhalb von Vent sind die entsprechenden Werte 165 km² und 40 %, für die Meßstelle unterhalb des Hochjochhospizes 26,6 km² und 58 % (1959). Von den 13 eingetragenen Totalisatoren sind heute 10 in Betrieb, Nr. 8, 11 und 12 sind eingestellt.

Im Gebiet des Hintereisferners sind zwei Klimastationen in Betrieb (Zunge 2440 m und Station Hintereis 3030 m). Zeitweise Registrierungen liegen vom Hochjochhospiz und von 2800 m und 2960 m Höhe am Hintereisferner vor, wo während der Hauptablationsperiode 1971 eine Wärmehaushaltsstation in Betrieb war. Eine automatische Kamera zur Beobachtung der temporären Schneegrenze steht zwischen den beiden Gletschern am Rofenberg in der Nähe des Totalisators Nr. 3.

Die Station Hintereis wird von Vent in 5 - 6 Stunden über das Hochjochhospiz erreicht oder in ca. 2 Stunden von der Bergstation der Schnalstaler Gletscherbahn (Südtirol).

HINTEREISFERNER 1953 UND 1964

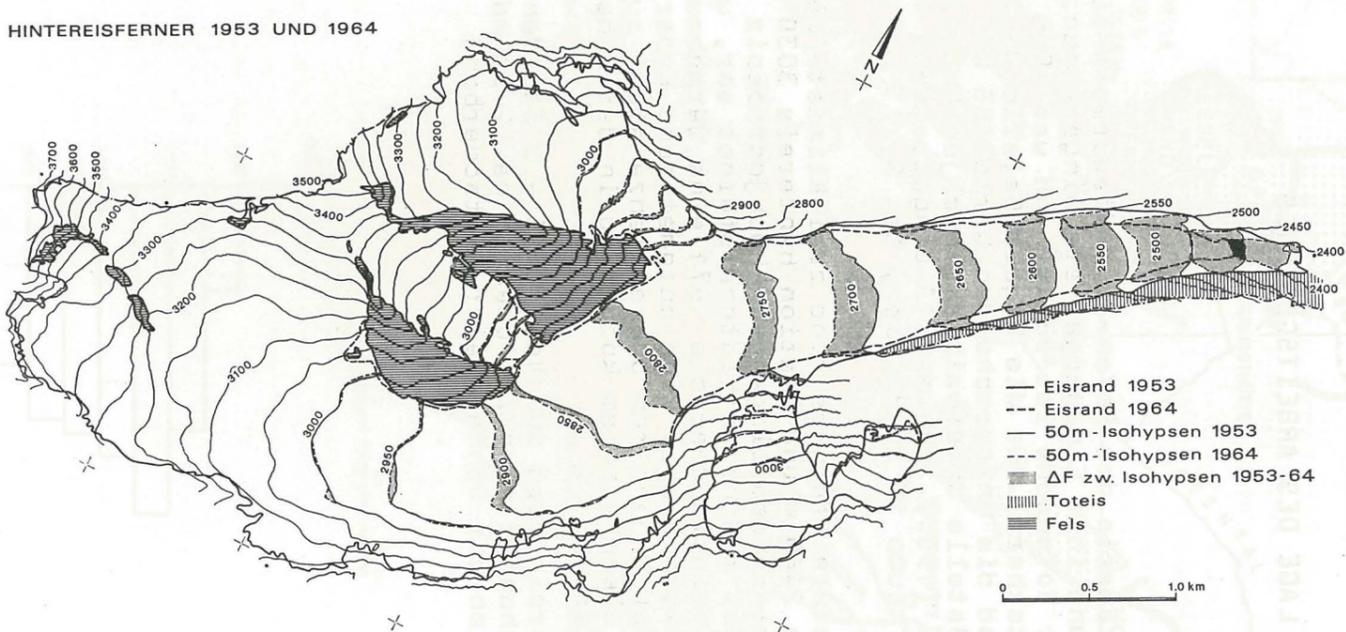


Abb. 5: Karte des Hintereisfeners nach den Schichtlinienplänen 1:10.000 der Aufnahmen 1953 und 1964.

DIE VOLUMENÄNDERUNG DES HINTEREISFERNERS (ÖTZTALER ALPEN) IM VERGLEICH ZUR MASSENÄNDERUNG IM ZEITRAUM 1953 - 1964

H. Lang und G. Patzelt

Die Volumenänderung des Hintereisfeners wurde mit der geodätischen Methode für den Zeitraum 1953 - 1962 (H. Lang) und unabhängig davon für den Zeitraum 1953 - 1963 (G. Patzelt) bestimmt. Die Ergebnisse wurden mit den aufsummierten Jahreswerten der Massenbilanz verglichen, die mit der glaziologischen Methode erhalten worden sind. Es stehen dem geodätisch ermittelten Volumenverlust und dem daraus berechneten Massenverlust von $-35,24 \times 10^6 \text{ m}^3$ Wasser (9 Jahre), bzw. $-51,65 \times 10^6 \text{ m}^3$ Wasser (11 Jahre) der glaziologisch bestimmte Massenverlust von $-33,33 \times 10^6 \text{ m}^3$ Wasser bzw. $-50,12 \times 10^6 \text{ m}^3$ Wasser gegenüber. Die gute Übereinstimmung innerhalb von 5 % bzw. 3 % weist darauf hin, daß die Ergebnisse der glaziologischen Methode nicht durch systematische Fehler verfälscht sind.

Die mittlere, auf die ganze Gletscherfläche bezogene Höhenänderung ergab $-0,44 \text{ m/Jahr}$ (1953 - 1962) und $-0,54 \text{ m/Jahr}$ (1953 - 1964). Für die mittlere Vertikal-komponente der Gletscherbewegung im Zeitraum 1953/62 wurde im Ablationsgebiet (Fläche unter 3000 m Meereshöhe) ein Wert von $+0,38 \text{ m/Jahr}$ erhalten, womit 26,3 % der abgeschmolzenen Eismassen ersetzt werden. Das Akkumulationsgebiet (über 3000 m) hat eine mittlere Vertikalkomponente von $-0,34 \text{ m/Jahr}$. Der aus Nettoakkumulation und Gletscherbewegung berechnete und der geodätisch ermittelte Massenzuwachs im Firngebiet stimmen ebenfalls befriedigend überein.

Nettoablation am Hintereisferner

(mm Wasseräquivalent im hydrologischen Jahr)

Längsprofil

	1972	73	74	75	76	77	78
L 5 (73)			19	10	64		
(72)		190					
(71)	+4	188	24	24	65		
L 6 (77)							3
(73)			36	58	83	11	3
(72)		214	45	54	79	5	6
(71)	29	206	36	68	92	4	14
L 7 (77)							23
(73)			90	92	143		
(72)		255	42	101			
(71)	62	244	67	99	131	39	47
L 8 (77)							100
(73)			152	172			
(72)		298					
(71)	114	311	140				
L 9 (77)							143
(73)			219	218	325	181	
(72)		375					
(71)	182	368					
L 10 (77)							217
(73)			259	326		198	
(72)		415					
(71)	235	412					
L 11 (77)							242
(73)			314	309	348		
(72)		478					
(71)	286	480					
L 12 (77)							
(73)			379	429	509		
(72)		533					
(71)	369	540					

+ bedeutet Akkumulation

DIE ABLATIONSPEGEL

Mit Beginn des Jahres 1964 standen 70 Ablationspegel auf der Zunge des Hintereisferners in Beobachtung; bedingt durch die starke Netto-Akkumulation des Jahres 1965 sind einige dieser Pegel temporär in den unteren Bereich des Nährgebietes gelangt und konnten erst im Sommer 1969 zu einem Teil wieder gefunden werden. Inzwischen sind 20 neue Pegel gesetzt worden, so daß die Gesamtzahl heute 90 beträgt. Als Ablationspegel dienen weiß gestrichene runde Hartholzstangen von 2 cm Durchmesser und 200 cm Länge; vier bis sechs dieser Pegelstangen werden durch kurze Gummi- oder Plastikschläuche verbunden und in 8 bis 12 m tiefe Bohrlöcher gesetzt, die mit dem Dampfbohrer von F. Howorka (1965) hergestellt werden können. Nach den bisherigen Erfahrungen am Hintereisferner ist eine Anzahl von etwa zehn Pegelstangen pro Quadrat-kilometer Ablationsfläche ausreichend, um reproduzierbare Flächenmittel der Eisablation für bestimmte Zeitabschnitte zu erhalten, doch divergieren die Meinungen über die ausreichende Pegelzahl noch weit. Das Aufschwimmen der Pegelstangen im Bohrloch muß ebenso verhindert werden, wie das Einsinken im Eis durch Wärmeleitung, wenn die Tiefe des Bohrloches weniger als einen Meter beträgt. Die im ersten Fall zu großen, im zweiten Fall jedoch zu geringen Ablationswerte können durch einen Vergleich mit der vorhergehenden Ablesung zumeist erkannt werden. Zur Kontrolle empfiehlt es sich, gelegentlich einige Bohrlöcher rings um den Pegel anzulegen und deren Tiefe bei jeder Pegelkontrolle ebenfalls zu messen.

Aus H. Hoinkes (1970)

Aus H. Hoinkes (1970)

Schneeschächte am Hintereisferner
(Rücklagen aus hydrologischem Jahr)

Meßstelle	IA ca. 3450 m ü.d.M.																
	1964	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	Summe	Mittel
Tiefe cm	252	216	154	165	231	88	201	218	208	121	88	351	209	2502	192
Dichte g/cm ³			0.494	0.518	0.438	0.492	0.499	0.492	0.500	0.430	0.415	0.504	0.410	0.504	0.459		0.479
Wasserwert cm			124	112	67	81	115	43	101	94	87	61	36	177	96	1194	92
Meßstelle	Steinschlagjoch SJ ca. 3270 m																
Tiefe	142	509	290	260	340	181	214	190	218	127	191	141	250	297	260	3610	241
Dichte	0.503	0.507	0.518	0.530	0.506	0.487	0.541	0.536	0.484	0.347	0.414	0.483	0.416	0.504	0.482		0.490
Wasserwert	72	258	150	138	172	88	116	102	106	44	79	68	104	150	125	1772	118
Meßstelle	Hintereisjoch HJ ca. 3315 m																
Tiefe	140	574	331	286	343	280	219	238	370	218	406	329	311	616	429	5090	339
Dichte	0.507	0.510	0.519	0.547	0.502	0.510	0.523	0.474	0.510	0.433	0.453	0.532	0.433	0.534	0.473		0.499
Wasserwert	71	293	172	156	172	143	114	113	189	94	184	175	135	329	203	2543	169
Meßstelle	Schimpfstollen ST ca. 3250 m																
Tiefe	155	(720)	309	(266)	324	(275)	165	267	317	212	354	352	283	525	391	4920	328
Dichte	0.526	(0.513)	0.565	(0.620)	0.522	(0.537)	0.485	0.490	0.509	0.383	0.455	0.542	0.477	0.530	0.518		0.512
Wasserwert	82	(360)	175	(165)	169	(150)	80	131	162	81	161	191	137	278	203	2525	168
Meßstelle	Weißkugeljoch WJ ca. 3170 m																
Tiefe	140	469	300	197	338	182	(198)	196	201	137	350		250	460	429	3847	274
Dichte	0.525	0.512	0.543	0.571	0.503	0.520	(0.586)	0.549	0.504	0.365	0.463		0.472	0.529	0.541		0.522
Wasserwert	74	240	163	125	170	95	(116)	108	101	50	162		118	243	232	1997	143
Meßstelle	Badeeis BE ca. 3145 m																
Tiefe	67	464	242	216	358	252	154	178	(175)	148	269	245	250	460	344	3822	254
Dichte	0.573	0.507	0.538	0.564	0.525	0.531	0.548	0.477	(0.486)	0.380	0.458	0.548	0.477	0.533	0.487		0.512
Wasserwert	38	235	130	122	188	134	84	85	(85)	56	124	134	119	245	167	1946	130
Meßstelle	Teufelseck TE ca. 3070 m																
Tiefe	61	422	188	174	(290)	163	119	115	191	132	303	154	195	390	196	3093	206
Dichte	0.510	0.518	0.533	0.542	(0.500)	0.474	0.536	0.513	0.492	0.355	0.473	0.548	0.469	0.538	0.462		0.510
Wasserwert	31	218	100	94	(145)	77	64	59	94	47	143	85	91	210	90	1578	105
Meßstelle	Langtaufenerjoch LJ ca. 3110 m																
Tiefe	69	484	310	249	278	158		166	182	118	275	186	161	382	281	3299	236
Dichte	0.450	0.494	0.583	0.553	0.528	0.479		0.451	0.491	0.368	0.442	0.541	0.447	0.520	0.493		0.500
Wasserwert	31	239	180	138	147	75		75	89	42	122	101	72	199	139	1649	118
Meßstelle	LS ca. 3180 m																
Tiefe	59	530	278	233	296	180	149	135	197	77	331	203	220	430	237	3563	238
Dichte	0.518	0.540	0.529	0.563	0.491	0.531	0.530	0.416	0.458	0.263	0.454	0.544	0.499	0.530	0.458		0.500
Wasserwert	31	286	147	131	145	100	79	56	90	20	150	111	110	228	108	1792	119

DIE SCHNEESCHÄCHTE

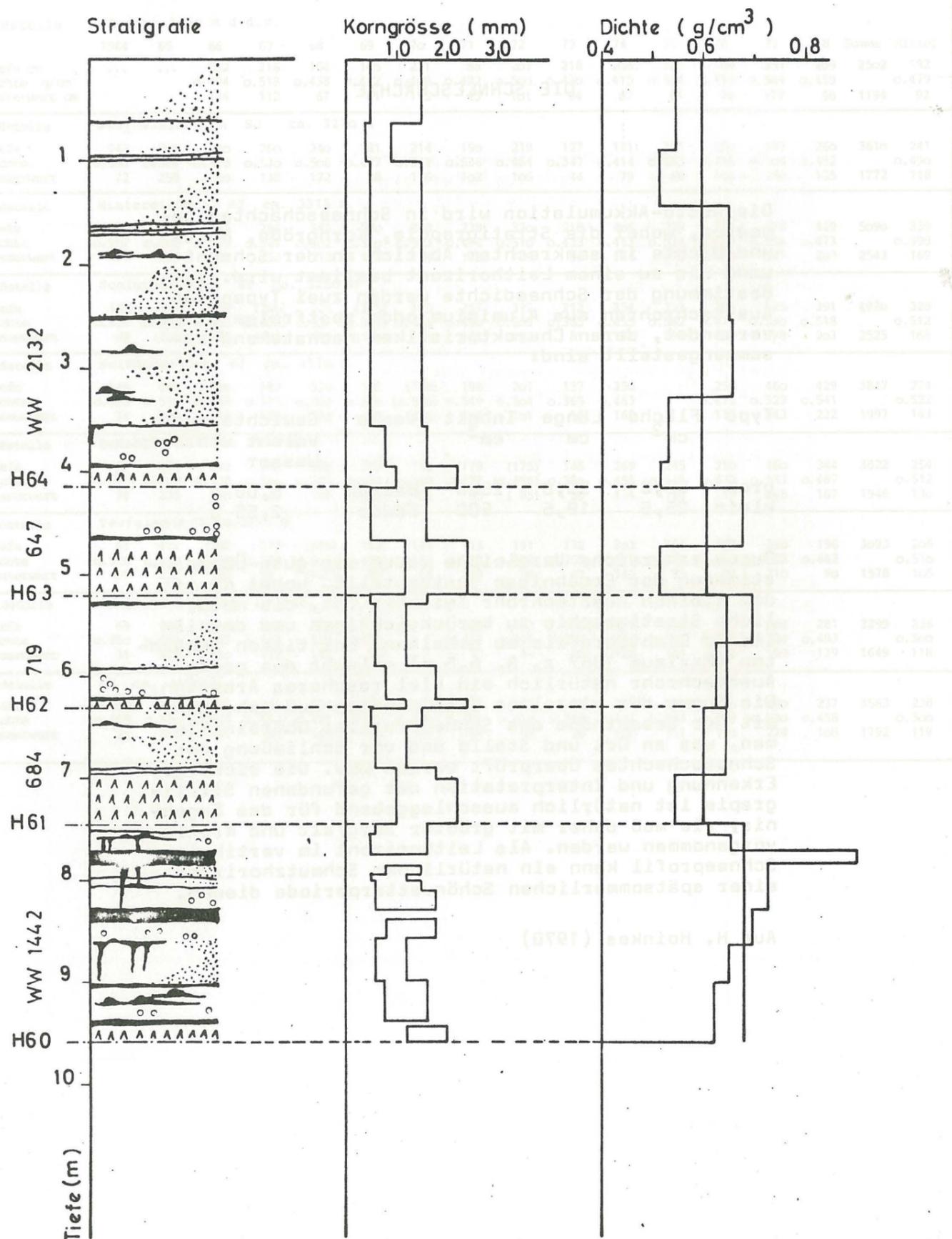
Die Netto-Akkumulation wird in Schneeschächten gemessen, wobei die Stratigraphie, Korngröße, Härte und Dichte in senkrechtem Abstich an der Schachtwand bis zu einem Leithorizont bestimmt wird. Zur Bestimmung der Schneedichte werden zwei Typen von Ausstechrohren aus Aluminium oder rostfreiem Stahl verwendet, deren Charakteristiken nachstehend zusammengestellt sind:

Type	Fläche cm ²	Länge cm	Inhalt cm ³	Waage	Gewichtsäqui- valent von 1 mm Wasser
groß	50,0	50,0	2500	Balken	5,00 g
klein	25,5	19,6	500	Feder	2,55 g

Durch zahlreiche Vergleiche wurde die gute Übereinstimmung der Ergebnisse festgestellt, wobei es mit dem kleinen Ausstechrohr leichter ist, die natürliche Stratigraphie zu berücksichtigen und detaillierte Dichteprofile zu erhalten. Bei tiefen Schächten (Maximum 1967 z. B. 6,5 m) erlaubt das große Ausstechrohr natürlich ein viel rascheres Arbeiten. Die Summe der einzelnen Abstichhöhen muß sehr nahe mit der Gesamthöhe des Schneeprofiles übereinstimmen, was an Ort und Stelle und vor Schließung des Schneeschatzes überprüft werden muß. Die richtige Erkennung und Interpretation der gefundenen Stratigraphie ist natürlich ausschlaggebend für das Ergebnis; sie muß daher mit größter Sorgfalt und Kritik vorgenommen werden. Als Leithorizont im vertikalen Schneeprofil kann ein natürlicher Schmutzhorizont einer spätsommerlichen Schönwetterperiode dienen.

Aus H. Hoinkes (1970)

STRATIGRAFIE KORNGRÖSSE UND DICHTE IN BOHRUNG 1QII



WW ... Wasserwert in mm
H60 .. Sommerhorizont 1960

STRATIGRAPHIE DER SCHNEECHÄCHTE

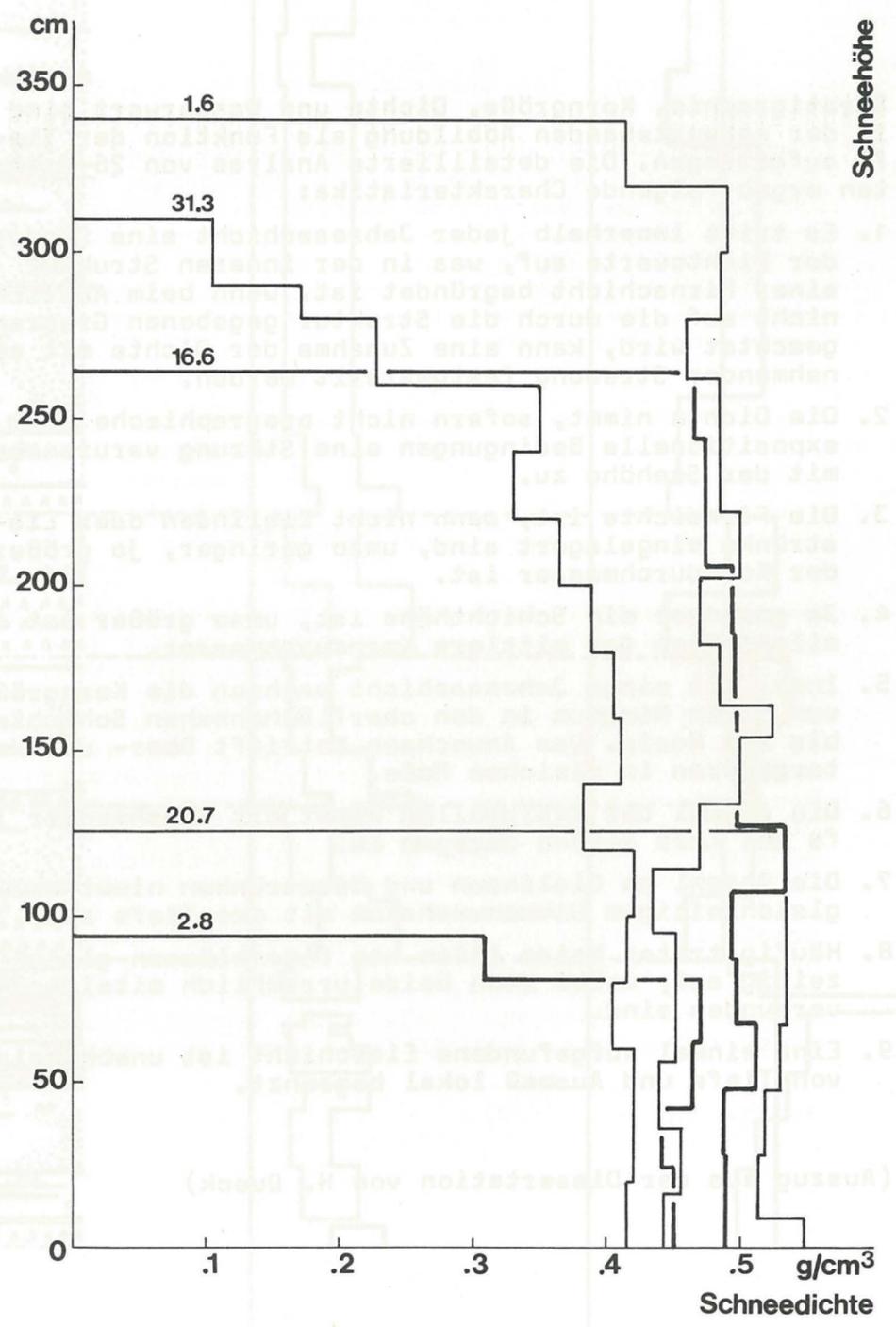
Stratigraphie, Korngröße, Dichte und Wasserwert sind in der nebenstehenden Abbildung als Funktion der Tiefe aufgetragen. Die detaillierte Analyse von 26 Schichten ergab folgende Charakteristika:

1. Es tritt innerhalb jeder Jahresschicht eine Streuung der Dichtewerte auf, was in der inneren Struktur einer Firnschicht begründet ist. Wenn beim Abstich nicht auf die durch die Struktur gegebenen Grenzen geachtet wird, kann eine Zunahme der Dichte mit abnehmender Streuung festgestellt werden.
2. Die Dichte nimmt, sofern nicht orographische oder expositionelle Bedingungen eine Störung verursachen, mit der Seehöhe zu.
3. Die Firndichte ist, wenn nicht Eislinnen oder Eisstrünke eingelagert sind, umso geringer, je größer der Korndurchmesser ist.
4. Je geringer die Schichthöhe ist, umso größer ist im allgemeinen der mittlere Korndurchmesser.
5. Innerhalb einer Jahresschicht wachsen die Korngrößen von einem Minimum in den oberflächennahen Schichten bis zur Basis. Das Anwachsen betrifft Ober- und Untergrenzen in gleichem Maße.
6. Die Anzahl der Eislammellen nimmt mit zunehmender Tiefe ab, ihre Stärke dagegen zu.
7. Die Anzahl an Eislinnen und Eisstrünken nimmt unter gleichzeitigem Dickenwachstum mit der Tiefe zu.
8. Häufig treten beide Arten von Einschlüssen gleichzeitig auf, wobei dann beide ursächlich miteinander verbunden sind.
9. Eine einmal aufgefundene Eisschicht ist unabhängig von Tiefe und Ausmaß lokal begrenzt.

(Auszug aus der Dissertation von H. Queck)

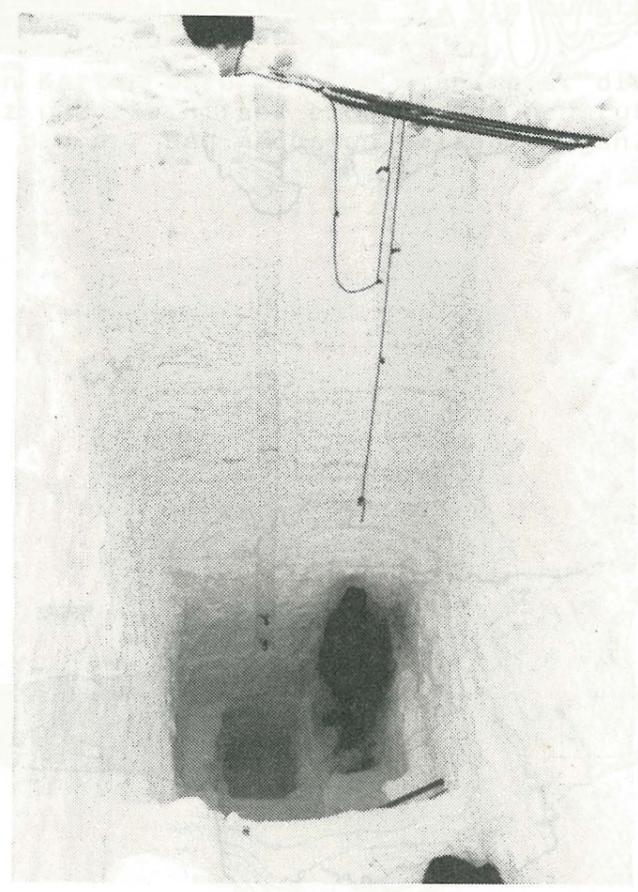
STRATIGRAFE KORNGRÖSSE UND DICHTEN IN BOHRUNG 10II

Stratigraphie ST28 1977 Korngröße (mm) Dichte (g/cm³)

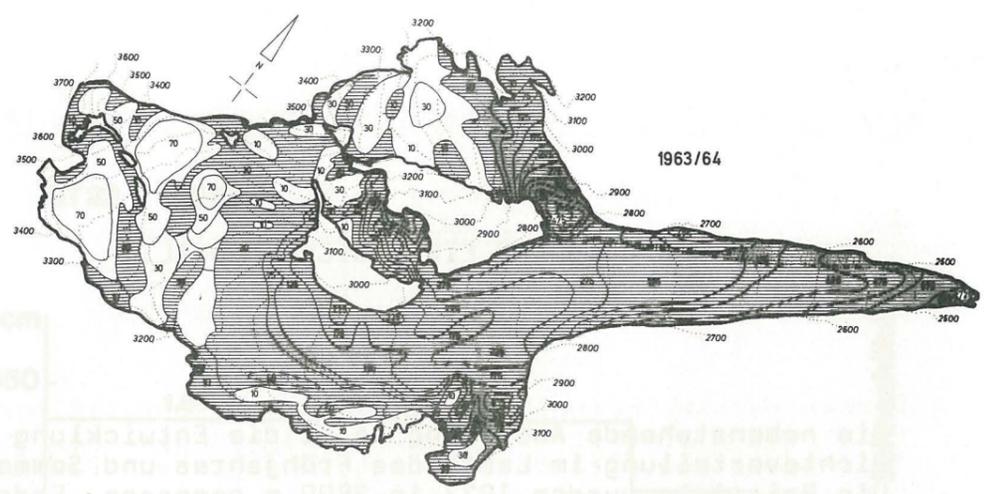


DER JAHRESGANG EINES DICHTEPROFILS

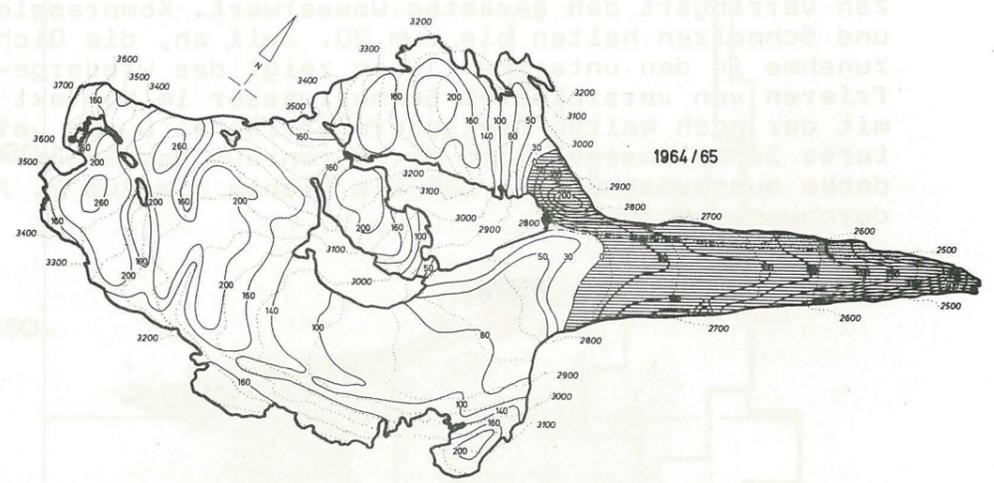
Die nebenstehende Abbildung zeigt die Entwicklung der Dichteverteilung im Laufe des Frühjahres und Sommers. Die Beispiele wurden 1977 in 2800 m gemessen. Ende März herrschen hier typisch winterliche Bedingungen, das Profil zeigt in allen Tiefen minimale Dichten, die nach oben zum Wert von lockerem Neuschnee (0,1 g cm⁻³) abnehmen. Bis Anfang Juni haben Höhe und Wasserwert durch Frühjahrsschneefälle noch zugenommen, an der Oberfläche liegt schwerer, feuchter Schnee. Bis zum 16. Juni setzt sich die Schneedecke, die unteren Schichten werden komprimiert, oberflächliches Schmelzen verringert den gesamten Wasserwert. Kompression und Schmelzen halten bis zum 20. Juli an, die Dichtezunahme in den untersten 10 cm zeigt das Wiedergefrieren von versickertem Schmelzwasser im Kontakt mit der noch kalten Gletscheroberfläche. Durch weiteres Schmelzwasser wird der Porenraum der Schneedecke ausgewaschen, so daß die Dichte bis zum 2. August durchwegs abnimmt.



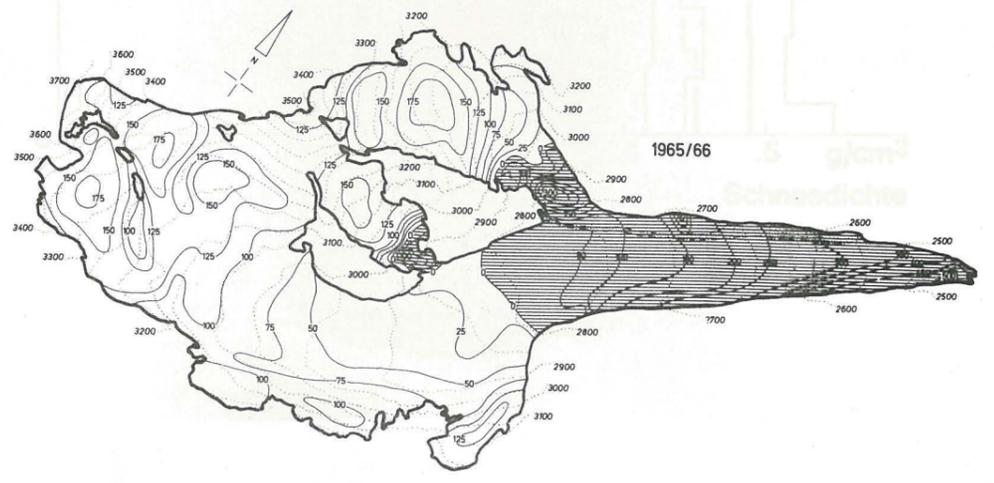
Wasserwert in cm
 1960



1963/64



1964/65



1965/66

DIE HAUSHALTSANALYSE

Haushaltsjahr	Nettoakkumulation		Nettoablation		Nettowasserbilanz	mittl. Höhe d. Gleichgewichts-Isolinie		Flächendichte	Mittl. Schneehöhe
	km ²	g/cm ²	km ²	g/cm ²		g/cm ²	g/cm ²		
1952/53	5.44	2.55	4.80	7.19	-1.65	2620	0.53	1.1	
1953/54								2.2	
1954/55								2.3	
1955/56								2.4	
1956/57								1.8	
1957/58								2.0	
1958/59								2.5	
1959/60								1.7	
1960/61								0.6	
1961/62								1.1	
1962/63								0.3	
1963/64								4.3	
1964/65								3.0	
1965/66								2.2	
1966/67								2.7	
1967/68								1.2	
1968/69								0.9	
1969/70								0.4	
1970/71								0.9	
1971/72								1.9	
1972/73								0.2	
1973/74								2.15	
1974/75								2.45	
1975/76								1.4	
1976/77	6.95	9.24	1.93	2.48	8.02	2840	0.78	3.59	
1977/78	6.81	5.87	2.07	2.32	4.74	2825	0.77	3.29	
		99.59		157.85	-58.26	2960	0.59	1.47	
1952/53-77/78	5.58	3.83	3.80	6.07	9.38	2960	0.59	1.47	

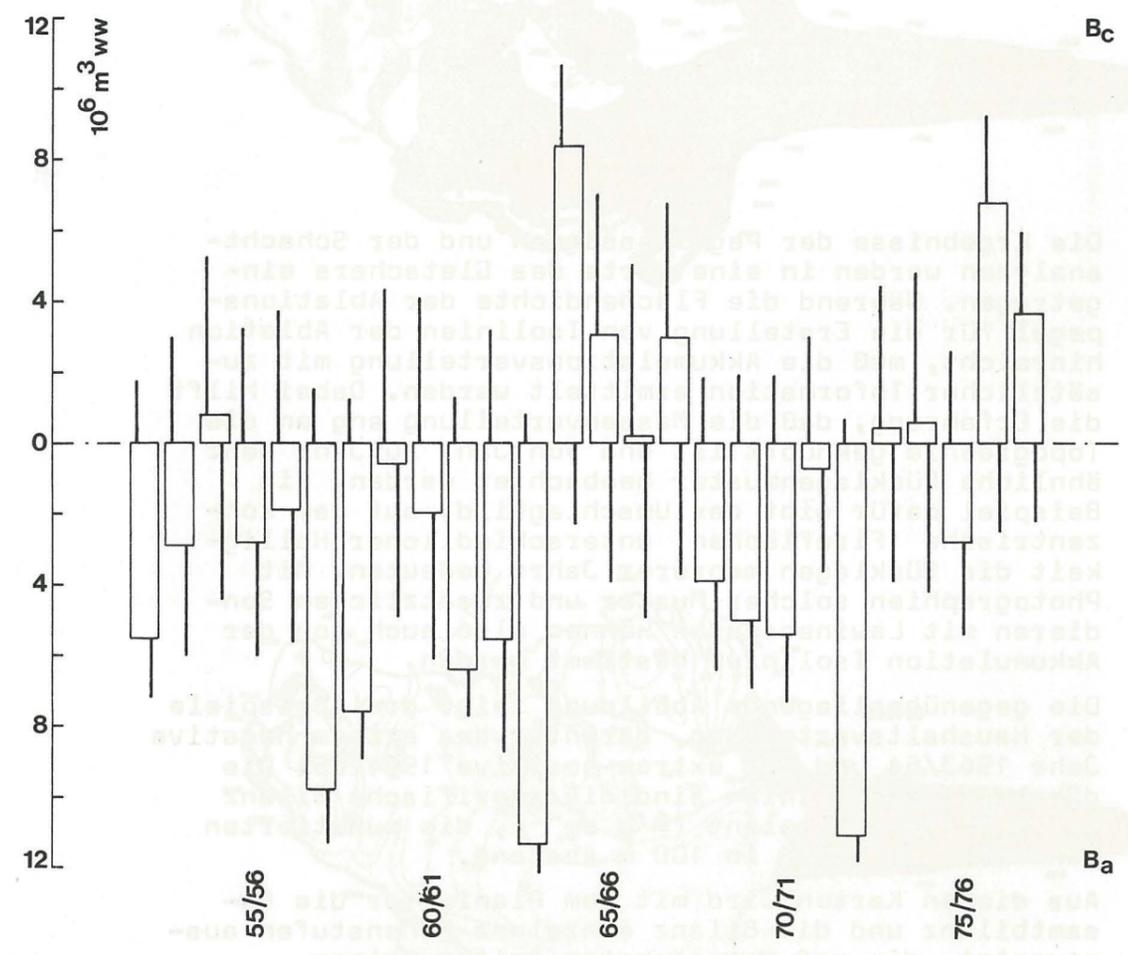
Die Ergebnisse der Pegelmessungen und der Schachtanalysen werden in eine Karte des Gletschers eingetragen. Während die Flächendichte der Ablationspegel für die Erstellung von Isolinien der Ablation hinreicht, muß die Akkumulationsverteilung mit zusätzlicher Information ermittelt werden. Dabei hilft die Erfahrung, daß die Massenverteilung eng an die Topographie geknüpft ist und von Jahr zu Jahr ganz ähnliche Rücklagenmuster beobachtet werden. Ein Beispiel dafür gibt das Umschlagbild, auf dem konzentrische Firnflächen unterschiedlicher Helligkeit die Rücklagen mehrerer Jahre bedeuten. Mit Photographien solcher Muster und zusätzlichem Sondieren mit Lawinensonden können also auch von der Akkumulation Isolinien bestimmt werden.

Die gegenüberliegende Abbildung zeigt drei Beispiele der Haushaltsverteilung, darunter das extrem negative Jahr 1963/64 und das extrem positive 1964/65. Die durchgezogenen Linien sind die spezifische Bilanz in cm Wasseräquivalent ($\hat{=}$ g cm⁻²), die punktierten sind die Isohypsen in 100 m Abstand.

Aus diesen Karten wird mit dem Planimeter die Gesamtbilanz und die Bilanz einzelner Höhenstufen ausgewertet, die auf den nächsten Seiten folgen.

Massenbilanz Hintereisferner 1952/53 - 1977/78

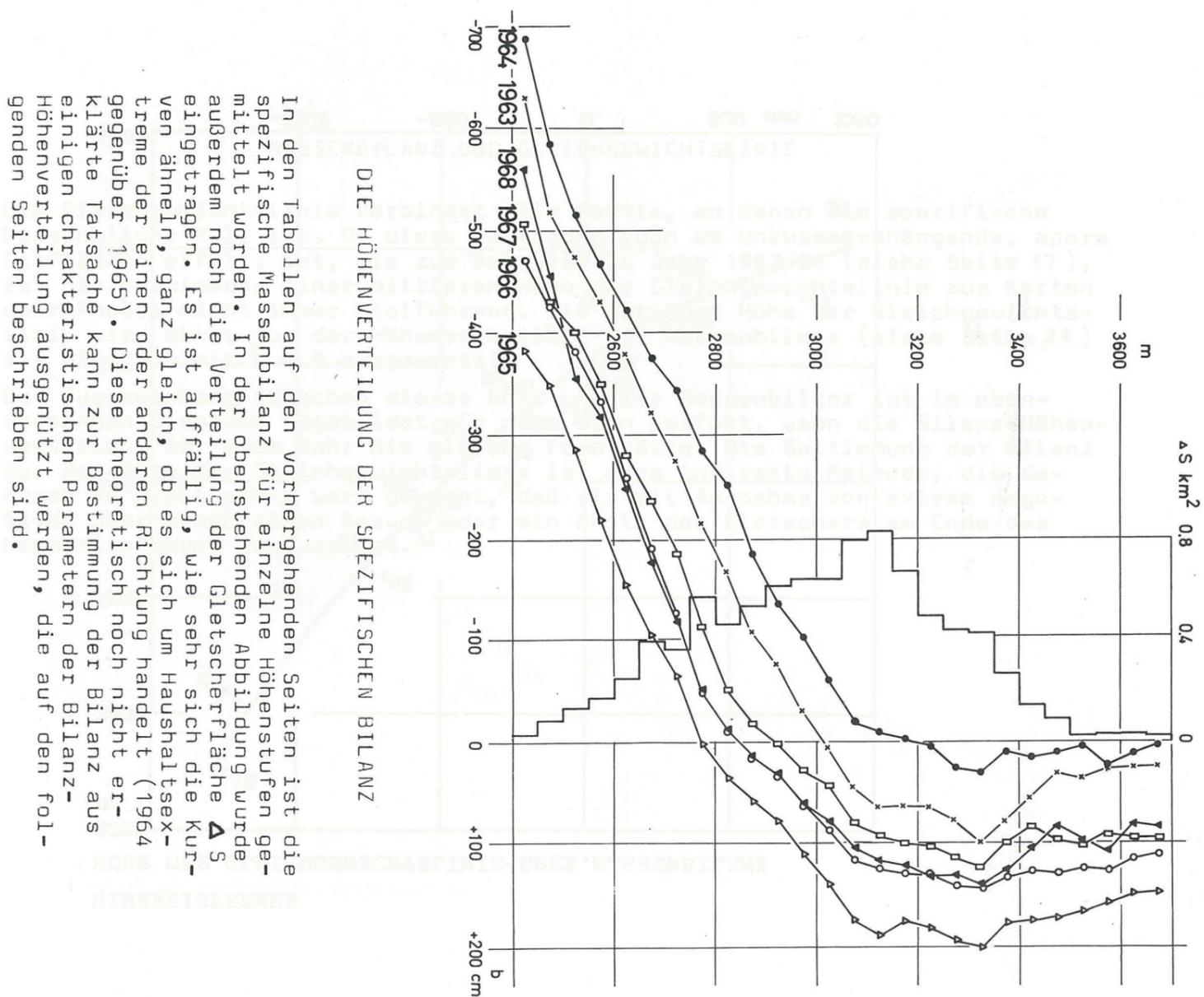
Nettoakkumulation, Nettoablation und Massenbilanz Hintereisferner



Haushalts- jahr 1.10.-30.9.	Netto- akkumulation		Netto- ablation		Massenbilanz		mittl.Höhe d. Gleichgewichts- linie \bar{b} mm ww	Flächenver- hältnisse		
	Sc km^2	Bc $10^6 \text{ m}^3 \text{ ww}$	Sa km^2	Ba $10^6 \text{ m}^3 \text{ ww}$	S km^2	B $10^6 \text{ m}^3 \text{ ww}$		Sc/S	Sc/Sa	
1952/53	5.44	1.66	4.80	7.19	10.24	-5.53	-540	3020	0.53	1.13
1953/54	7.04	3.03	3.16	5.95	10.20	-2.92	-286	2970	0.69	2.23
1954/55	7.57	5.20	2.58	4.43	10.15	+0.77	+76	2850	0.75	2.93
1955/56	7.01	3.19	3.10	5.97	10.11	-2.78	-275	2920	0.69	2.26
1956/57	6.51	3.74	3.55	5.64	10.06	-1.90	-189	2930	0.65	1.83
1957/58	3.49	1.49	6.53	11.32	10.02	-9.83	-981	3100	0.35	0.53
1958/59	3.42	1.26	6.55	8.87	9.97	-7.61	-763	3060	0.34	0.52
1959/60	7.15	4.32	2.77	4.94	9.92	-0.62	-62	2880	0.72	2.58
1960/61	6.27	4.11	3.61	6.14	9.88	-2.03	-205	2940	0.63	1.74
1961/62	3.57	1.27	5.64	7.68	9.21	-6.41	-696	3080	0.39	0.63
1962/63	4.83	3.20	4.33	8.72	9.16	-5.52	-603	3010	0.53	1.12
1963/64	2.29	0.81	6.77	12.09	9.06	-11.28	-1244	3180	0.25	0.34
1964/65	7.36	10.67	1.69	2.30	9.05	+8.37	+925	2770	0.81	4.36
1965/66	6.83	6.97	2.22	3.86	9.05	+3.11	+344	2850	0.76	3.08
1966/67	6.20	5.04	2.83	4.86	9.03	+0.18	+20	2920	0.69	2.20
1967/68	6.63	6.73	2.40	3.68	9.03	+3.05	+338	2850	0.73	2.76
1968/69	5.06	2.48	3.95	6.36	9.01	-3.88	-431	2960	0.56	1.28
1969/70	4.41	1.92	4.60	6.90	9.01	-4.98	-552	3030	0.49	0.96
1970/71	4.42	1.88	4.58	7.28	9.00	-5.40	-600	3040	0.49	0.97
1971/72	5.89	2.99	3.10	3.65	8.99	-0.66	-74	2935	0.66	1.90
1972/73	2.16	0.72	6.83	11.78	8.99	-11.06	-1229	3250	0.24	0.32
1973/74	6.14	4.36	2.85	3.87	8.99	+0.49	+55	2910	0.68	2.15
1974/75	6.37	4.80	2.60	4.22	8.97	+0.58	+65	2905	0.71	2.45
1975/76	5.23	2.64	3.73	5.45	8.96	-2.81	-314	2995	0.58	1.40
1976/77	6.95	9.24	1.93	2.48	8.88	+6.76	+760	2840	0.78	3.59
1977/78	6.81	5.87	2.07	2.22	8.88	+3.65	+411	2825	0.77	3.29
		99.59		157.85		-58.26	-6050			
1952/53- 77/78	5.58	3.83	3.80	6.07	9.38	-2.24	-233	2960	0.59	1.47

Höhenstufe	1970/71 Fläche km ²	\bar{b} g/cm ²	1971/72	1972/73	1973/74	1974/75	1975/76	1976/77	1977/78	
3750-3700	0.001	+ 13	0.002	+ 13	0.002	- 25	0.002	+ 12	0.002	+ 12
3700-3650	0.020	+ 13	0.023	- 2	0.024	- 25	0.024	+ 9	0.024	+ 13
3650-3600	0.030	+ 8	0.030	0	0.031	- 19	0.031	+ 15	0.031	+ 21
3600-3550	0.024	+ 17	0.023	+ 6	0.026	- 8	0.023	+ 35	0.023	+ 21
3550-3500	0.029	+ 23	0.026	+ 13	0.029	- 16	0.026	+ 47	0.026	+ 38
3500-3450	0.087	+ 33	0.085	+ 45	0.089	- 8	0.085	+ 58	0.085	+ 68
3450-3400	0.157	+ 38	0.156	+ 51	0.154	- 12	0.157	+ 76	0.157	+ 85
3400-3350	0.296	+ 42	0.296	+ 58	0.297	- 1	0.296	+ 90	0.296	+ 99
3350-3300	0.426	+ 60	0.434	+ 83	0.431	+ 24	0.433	+114	0.433	+115
3300-3250	0.456	+ 52	0.450	+ 55	0.449	+ 4	0.449	+ 88	0.449	+ 90
3250-3200	0.511	+ 36	0.502	+ 44	0.515	- 7	0.510	+ 92	0.510	+ 92
3200-3150	0.678	+ 34	0.673	+ 51	0.662	- 10	0.675	+ 89	0.675	+ 95
3150-3100	0.838	+ 31	0.840	+ 50	0.846	- 16	0.840	+ 78	0.840	+ 90
3100-3050	0.797	+ 15	0.803	+ 45	0.790	- 39	0.796	+ 64	0.796	+ 77
3050-3000	0.640	- 6	0.641	+ 26	0.635	- 86	0.639	+ 45	0.639	+ 48
3000-2950	0.642	- 51	0.642	+ 12	0.634	-112	0.642	+ 25	0.642	+ 31
2950-2900	0.585	- 67	0.585	- 3	0.595	-159	0.587	+ 10	0.587	+ 10
2900-2850	0.495	-105	0.499	- 12	0.501	-188	0.500	- 21	0.500	- 18
2850-2800	0.420	-133	0.418	- 40	0.422	-220	0.418	- 42	0.418	- 45
2800-2750	0.602	-173	0.603	- 72	0.603	-260	0.603	- 85	0.602	-102
2750-2700	0.355	-230	0.355	-123	0.362	-310	0.357	-145	0.357	-163
2700-2650	0.364	-285	0.368	-164	0.352	-368	0.364	-199	0.364	-206
2650-2600	0.226	-339	0.221	-206	0.227	-407	0.223	-231	0.223	-263
2600-2550	0.149	-387	0.148	-260	0.147	-447	0.148	-310	0.144	-325
2550-2500	0.110	-439	0.109	-317	0.110	-509	0.112	-339	0.107	-362
2500-2450	0.060	-565	0.058	-409	0.059	-595	0.053	-427	0.041	-448
2450-2400	0.005	-625	0.004	-475	0.002	-675			0.035	-509
	9.00	-60.0	8.99	-7.4	8.99	-122.9	8.99	+5.5	8.97	+6.5
									8.96	-31.4
									8.88	+76.1
									8.88	+41.1

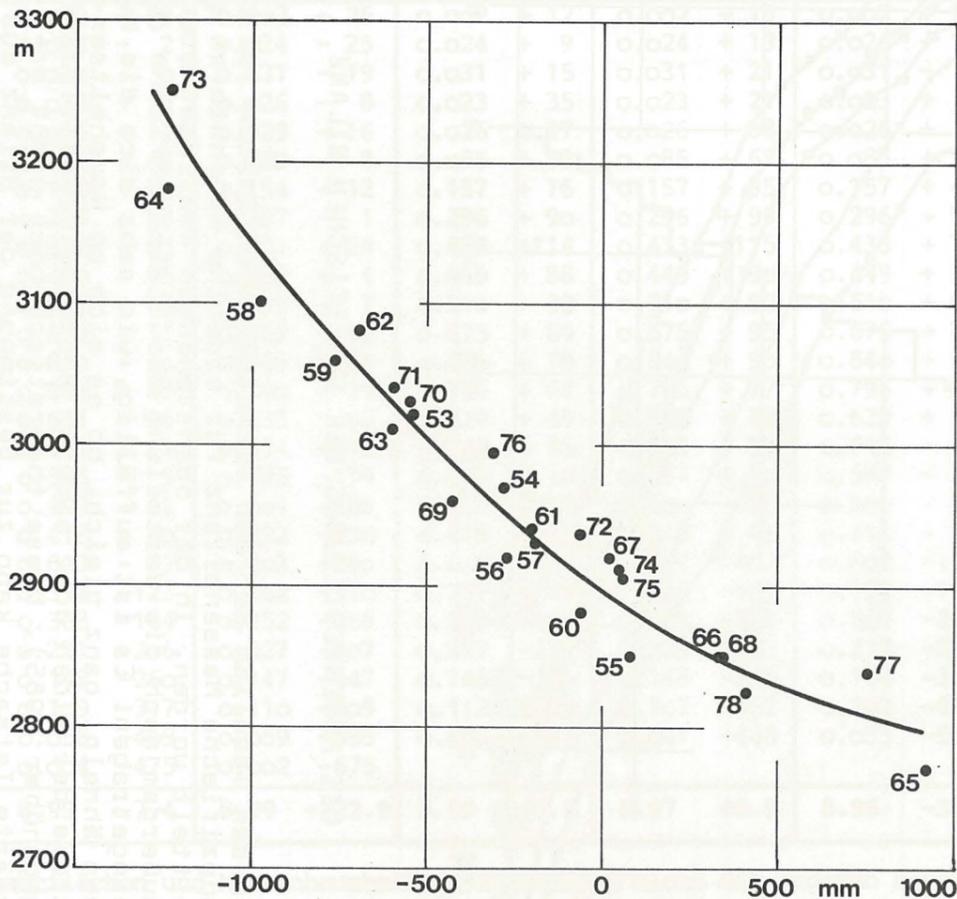
- 1952/53 - 1958/59 Die Gesamtflächen und Massenhaushaltswerte stimmen nicht mit anderen bereits veröffentlichten Werten überein, da einige Randpartien des Gletschers nicht berücksichtigt sind.
- 1959/60 - 1960/61 Hier liegen keine Analysen der spezifischen Massenbilanz der Flächen zwischen 50 m Isohypsen vor
- 1971/72 Eine neue Auswertung der Analysenunterlagen ergibt gegenüber früheren Veröffentlichungen einen leicht geänderten Massenhaushalt



In den Tabellen auf den vorhergehenden Seiten ist die spezifische Massenbilanz für einzelne Höhenstufen gemittelt worden. In der obenstehenden Abbildung wurde außerdem noch die Verteilung der Gletscherfläche Δs eingetragen. Es ist auffällig, wie sehr sich die Kurven ähneln, ganz gleich, ob es sich um Haushaltsextrime der einen oder anderen Richtung handelt (1964 gegenüber 1965). Diese theoretisch noch nicht erklärte Tatsache kann zur Bestimmung der Bilanz aus einigen charakteristischen Parametern der Bilanzhöhenverteilung ausgenutzt werden, die auf den folgenden Seiten beschrieben sind.

HINEREISFERNER

HÖHE DER GLEICHGEWICHTSLINIE-SPEZ. MASSENBILANZ



1952/53 - 1954/55

1959/60 - 1961/62

1971/72

Die hier veröffentlichten Werte sind die Mittelwerte der in den Jahren 1952/53 bis 1961/62 ermittelten Werte. Hier liegen keine Analysen der spezifischen Massenbilanz der Flächen zwischen 50 m Isohypsen vor. Eine neue Auswertung der Analysenunterlagen ergibt gegenüber früheren Veröffentlichungen einen leicht gehobenen Massenhaushalt.

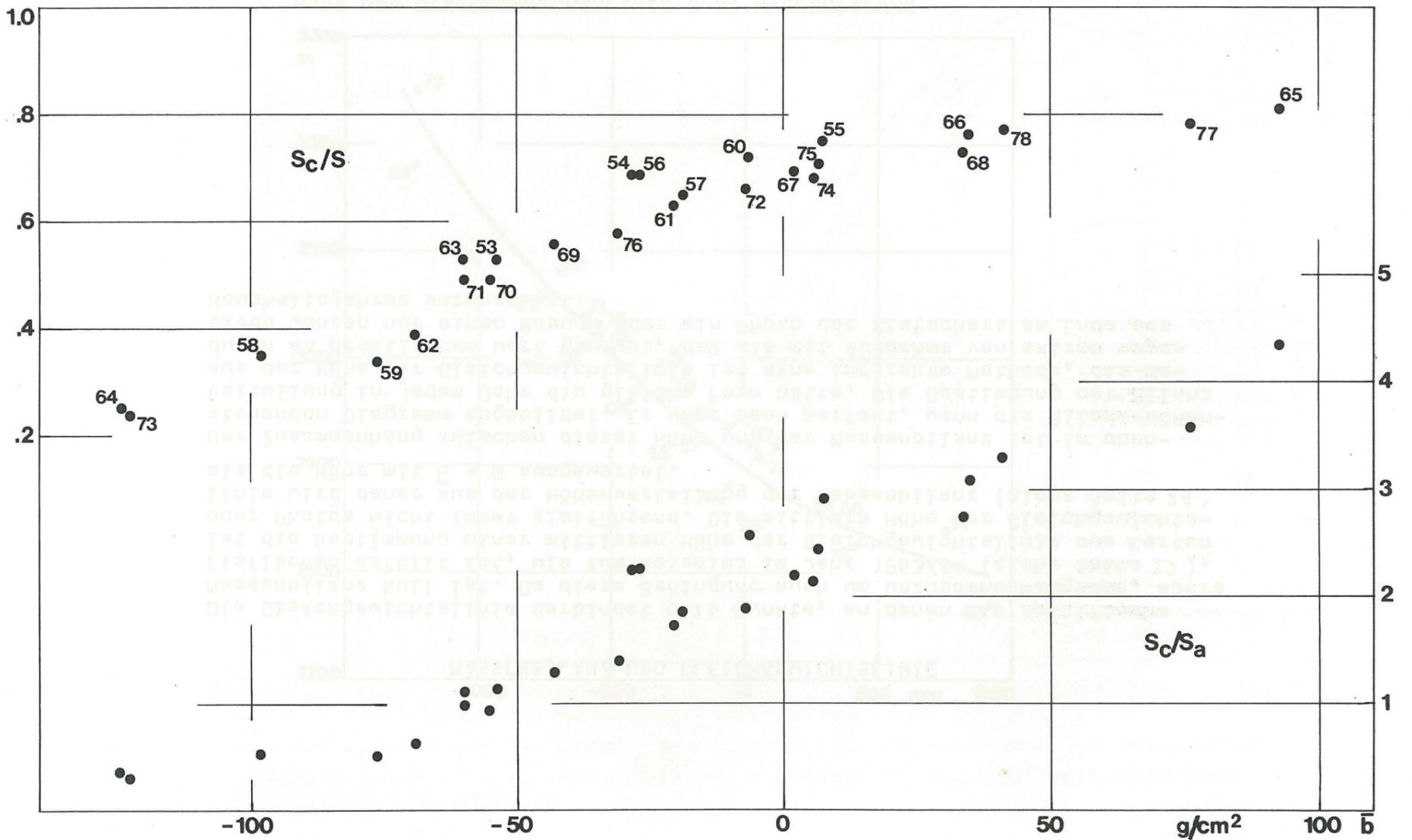
MASSENBILANZ UND GLEICHGEWICHTSLINIE

Die Gleichgewichtslinie verbindet alle Punkte, an denen die spezifische Massenbilanz Null ist. Da diese Bedingung auch um unzusammenhängende, apere Eisflächen erfüllt ist, wie zum Beispiel im Jahr 1963/64 (siehe Seite 17), ist die Bestimmung einer mittleren Höhe der Gleichgewichtslinie aus Karten oder Photos nicht immer zielführend. Die mittlere Höhe der Gleichgewichtslinie wird daher aus der Höhenverteilung der Massenbilanz (siehe Seite 24) als die Höhe mit $\bar{b} = 0$ ausgewertet.

Der Zusammenhang zwischen dieser Höhe und der Massenbilanz ist im obenstehenden Diagramm abgebildet. Er wäre dann perfekt, wenn die Bilanz-Höhenverteilung in jedem Jahr die gleiche Form hätte. Die Bestimmung der Bilanz aus der Höhe der Gleichgewichtslinie ist eine indirekte Methode, die dadurch an praktischem Wert gewinnt, daß sie mit Ausnahme von extrem negativen Jahren nur einen Besuch oder ein Photo des Gletschers am Ende des Haushaltsjahres voraussetzt.

Flächenverhältnisse und mittlere spezifische Massenbilanz

Hintereisferner

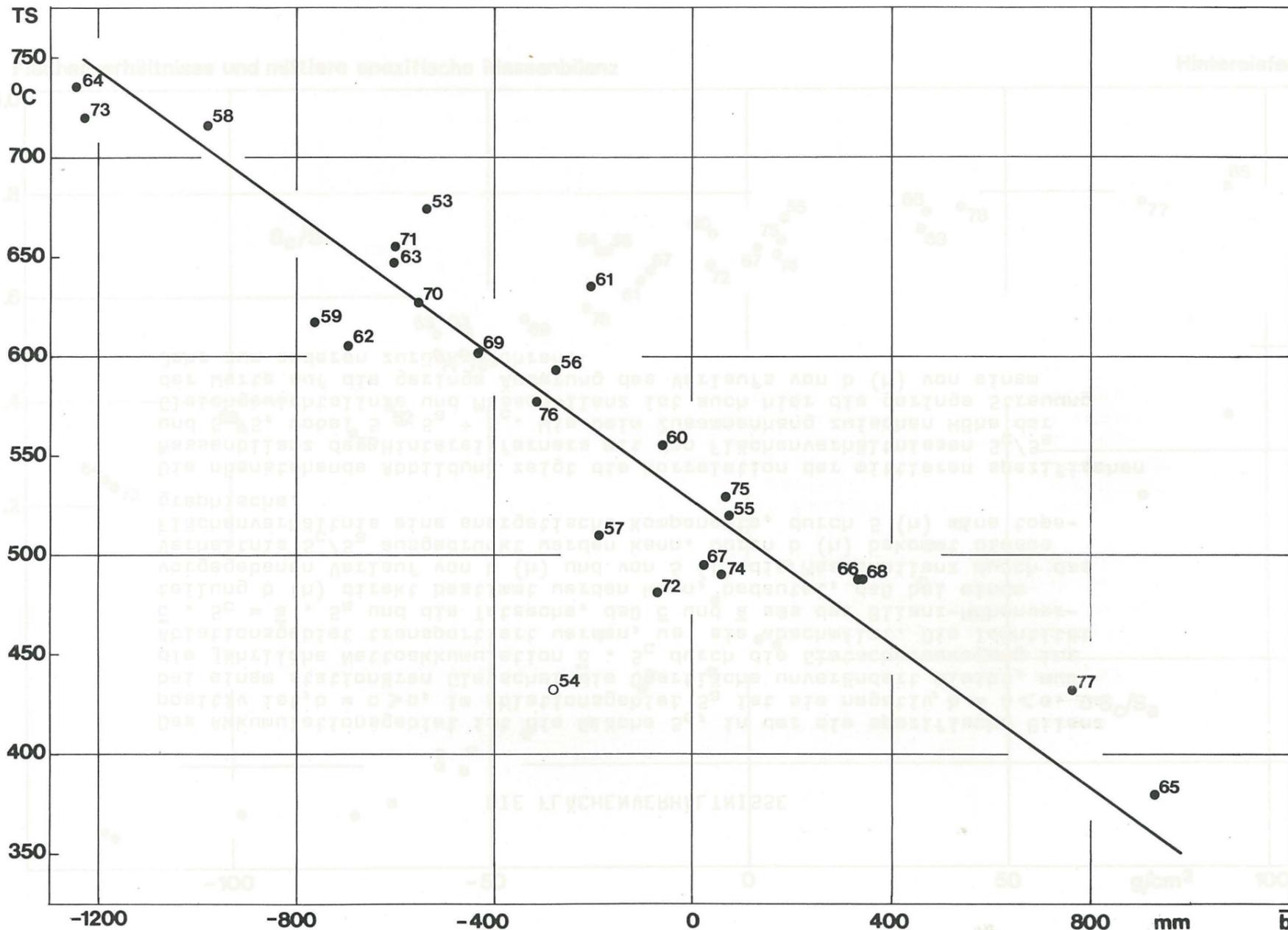


DIE FLÄCHENVERHÄLTNISSE

Das Akkumulationsgebiet ist die Fläche S_c , in der die spezifische Bilanz positiv ist, $b = c > 0$, im Ablationsgebiet S_a ist sie negativ, $b = a < 0$. Da bei einem stationären Gletscher die Oberfläche unverändert bleibt, muß die jährliche Nettoakkumulation $\bar{c} \cdot S_c$ durch die Gletscherbewegung ins Ablationsgebiet transportiert werden, wo sie abschmilzt. Die Identität $\bar{c} \cdot S_c = \bar{a} \cdot S_a$ und die Tatsache, daß \bar{c} und \bar{a} aus der Bilanz-Höhenverteilung $b(h)$ direkt bestimmt werden kann, bedeutet, daß bei einem vorgegebenen Verlauf von $b(h)$ und von $S(h)$ die Massenbilanz durch das Verhältnis S_c/S_a ausgedrückt werden kann. Durch $b(h)$ bekommt dieses Flächenverhältnis eine energetische Komponente, durch $S(h)$ eine topographische.

Die obenstehende Abbildung zeigt die Korrelation der mittleren spezifischen Massenbilanz des Hintereisferners mit den Flächenverhältnissen S_c/S_a und S_c/S , wobei $S = S_a + S_c$. Wie beim Zusammenhang zwischen Höhe der Gleichgewichtslinie und Massenbilanz ist auch hier die geringe Streuung der Werte auf die geringe Änderung des Verlaufs von $b(h)$ von einem Jahr zum anderen zurückzuführen.

Aus H. Hoinkes und R. Steinacker (1975)

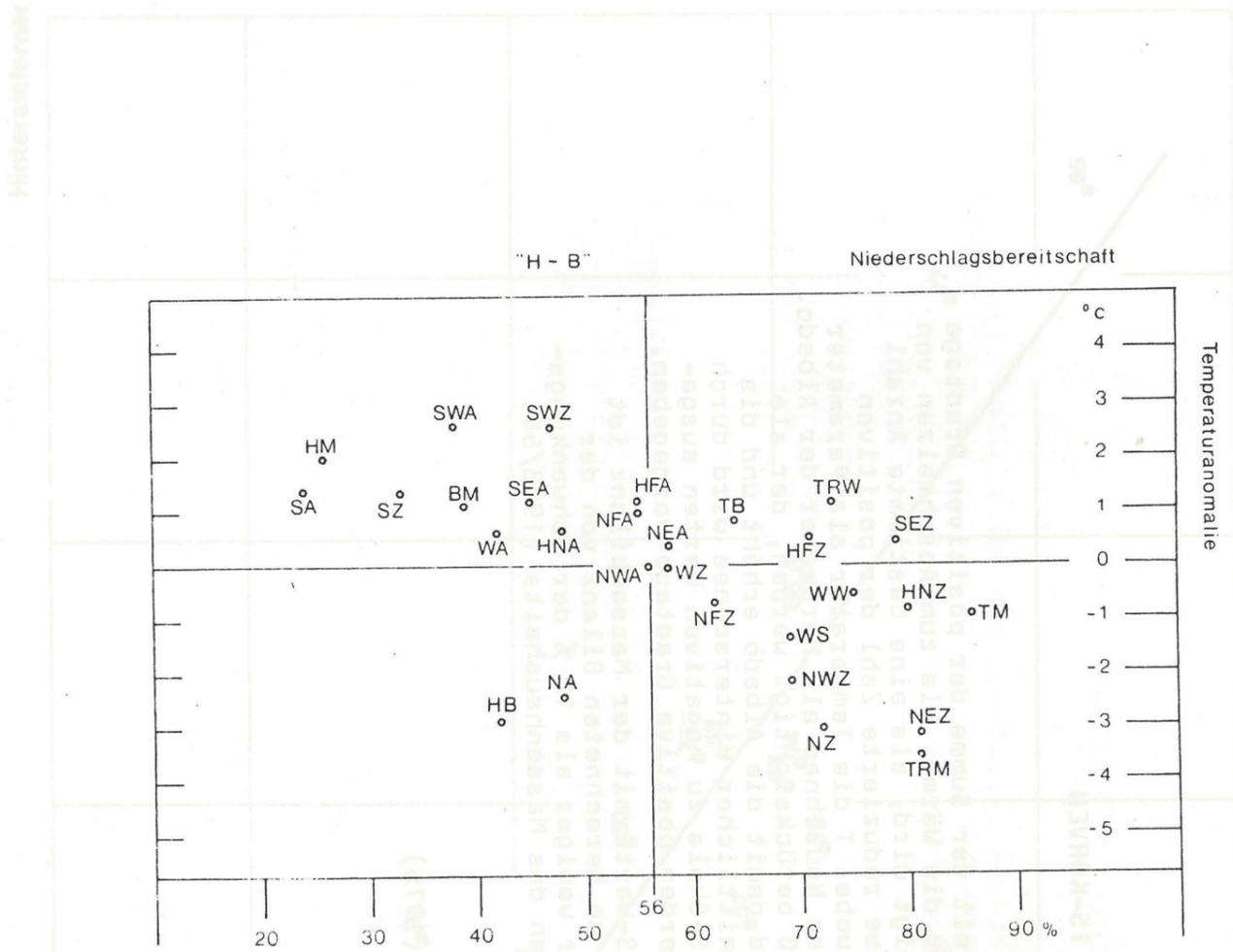


DIE TS-KURVEN

Die Korrelation der Massenbilanz mit der Summe der positiven Gradtage wird dadurch stark verbessert, daß die Wärme, die zum Abschmelzen von Neuschnee auf dem Gletscher benötigt wird, als eine bestimmte Anzahl von Gradtagen abgezogen wird. Diese reduzierte Zahl der positiven Gradtage wird mit TS bezeichnet, wobei T die Temperatur als Parameter der Globalstrahlung bedeutet, S den Neuschnee als Parameter der Albedo. Nur der Teil des Niederschlags muß berücksichtigt werden, der als Schnee auf den Gletscher fällt und damit die Albedo erhöht und die Ablation verringert. Überdurchschnittlicher Winterschnee wird durch Verschiebung des Nullpunkts der TS-Skala zu negativen Werten ausgeglichen, nach trockenen Wintern werden positive Gradtage vorgegeben.

Der Korrelationskoeffizient der TS-Werte mit der Massenbilanz ist -0.94. Die Standardabweichung der so berechneten Bilanz von der Regressionsgeraden ist 190 mm oder weniger als 10 % der Schwankungsbreite zwischen den beiden Extremen des Massenhaushalts (1963/64: - 1244 mm, 1964/65: + 925 mm).

Aus H. Hoinkes und R. Steinacker (1975)



MASSENHAUSHALT UND GROSSWETTERLAGEN

Der von H. Hoinkes eingeschlagene Weg, durch die Häufigkeit ausgewählter Wetterlagen (Großwetterlagen) die Schwankungen des Gletschers zu beschreiben, wurde weiter besprochen. In der Abbildung ist die Niederschlagswahrscheinlichkeit (%) und die mittlere Temperaturabweichung (°C) der Großwetterlagen nach Hess-Brezowsky in Vent für die Jahre 1955 bis 1971, Mai bis September, aufgezeichnet. Die Darstellung ist durch die mittlere Temperaturabweichung 0° C und durch die mittlere Niederschlagswahrscheinlichkeit von 56 % in 4 Felder unterteilt. In Quadranten mit zu tiefen Temperaturen und mit überdurchschnittlicher Niederschlagsabweichung sind im wesentlichen die für die Gletscher günstigen Lagen enthalten. Es sind dies vor allem die von H. Hoinkes als "sommerliche monsunale Großwetterlagen" bezeichneten Situationen. Der gletschergünstige Quadrant umfaßt mit 52 % etwa gleichviele Tage wie der Rest, welcher als ungünstig für den Gletscher angesehen wird. Eine Aufsummierung der als gletschergünstig bezeichneten Großwetterlagen läßt erkennen, daß die Häufigkeit der Tage in dieser Gruppe in den Ablationsperioden 1965, 1966 und 1968 wesentlich über einer durchschnittlichen Häufigkeit liegt. In diesen Jahren konnte am Hintereisferner jeweils ein deutlicher Massengewinn beobachtet werden.

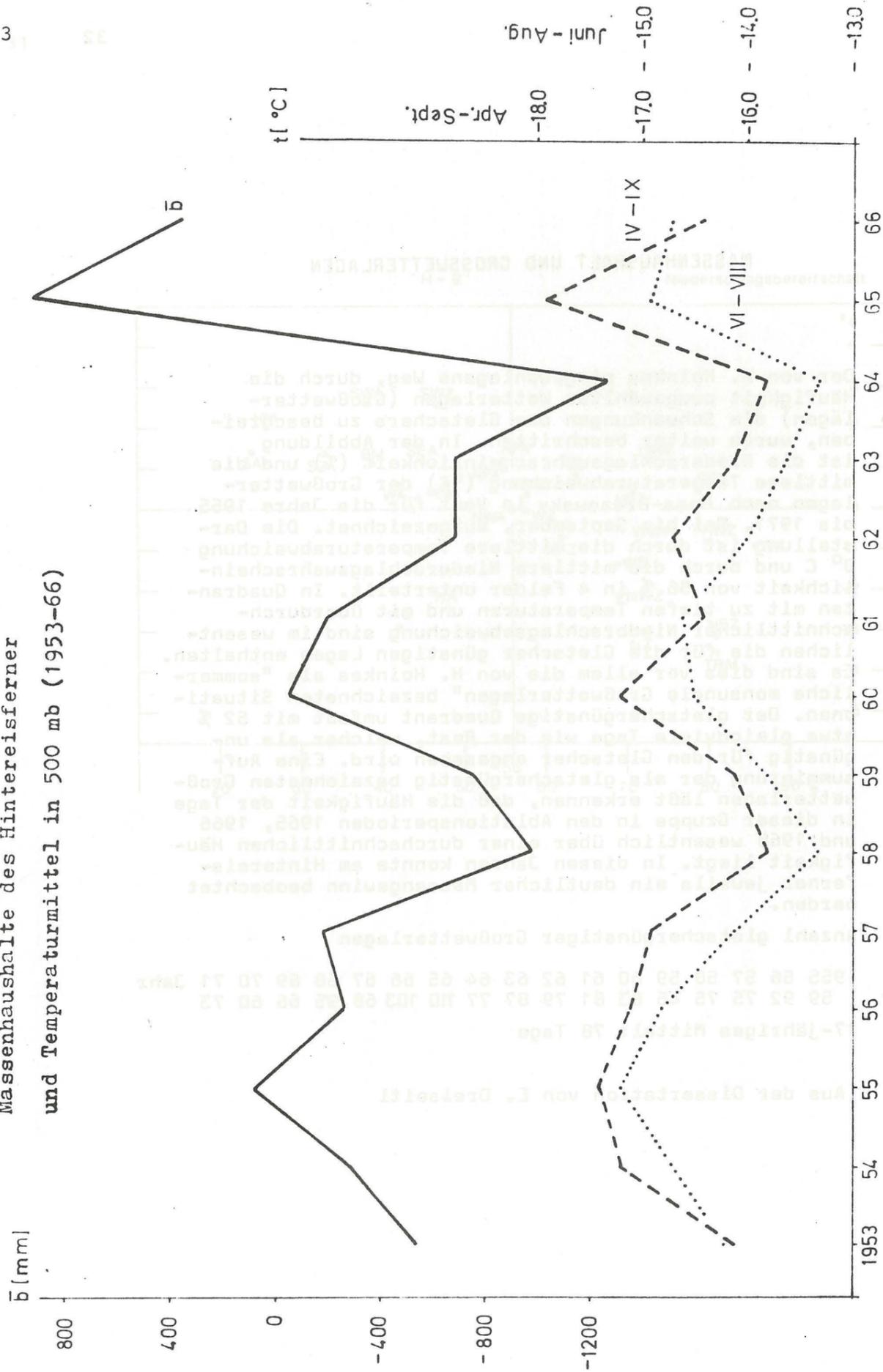
Anzahl gletschergünstiger Großwetterlagen

1955	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	Jahr
59	92	75	75	45	83	81	79	87	77	110	103	68	95	66	60	73	

17-jähriges Mittel: 78 Tage

Aus der Dissertation von E. Dreiseitl

Massenhaushalte des Hintereisferner
und Temperaturmittel in 500 mb (1953-66)



ÜBER BEZIEHUNGEN ZWISCHEN DEN MASSENHAUSHALTEN DER
GLETSCHER UND DER ALLGEMEINEN ZIRKULATION

Im ersten Teil werden für den Hintereisferner (Ötztaler Alpen) und für den Storglaciären (Schwedisch Lappland) die Massenhaushalte 1952/53 bis 1965/66 mit den Temperaturen im 500 mb-Niveau während der Ablationsperiode verglichen. Es wird gezeigt, daß bei Mittelwerten die Änderung der Temperatur in 500 mb etwa so groß ist wie die Änderung der Mitteltemperatur der Schicht 500/1000 mb. Die troposphärische Temperatur erweist sich als ein praktisches und brauchbares Maß zur Beschreibung der mittleren Ablationsbedingungen. In laufend übergreifenden Korrelationsrechnungen werden die Massenhaushalte mit den troposphärischen Temperaturen kürzerer Zeitspannen innerhalb der Ablationsperiode verglichen, um einen Hinweis auf besonders wichtige Zeitabschnitte zu erhalten. Für den Hintereisferner stellt sich heraus, daß seine Bilanzen vorzugsweise von der Hochsommerwitterung (Juli, August) abhängig sind, während beim Storglaciären der wichtigste Zeitabschnitt mehr gegen den Frühsommer verschoben erscheint. Da für den Blue Glacier und für den South Cascade Glacier (Washington State, USA) nur die Ergebnisse der acht Haushaltsjahre 1957/58 bis 1964/65 zur Verfügung standen und die Bilanzen der beiden Gletscher trotz ihrer Nachbarschaft zuweilen erhebliche Diskrepanzen aufwiesen, werden neben der Betrachtung der 500 mb-Temperaturen Klimadaten der beiden Stationen Tatoosh Island und Seattle-Tacoma verwertet. Anhand dieser Untersuchungen kann die hervorragende Bedeutung der Frühlingwitterung (Mai, Juni) für die Massenhaushalte dieser beiden Gletscher demonstriert werden.

Im zweiten Teil werden die ausgewählten Kartengrundlagen und das erstellte Kartenmaterial diskutiert.

Im dritten Teil werden die Kriterien der allgemeinen Zirkulation mit ihrer Auswirkung auf die Massenbilanzen besprochen und gezeigt, daß eine schwache nordhemisphärische Zirkulation sich im Mittel ungünstig auf die Gletscher auswirkt, daß dagegen eine intensive Zonalzirkulation oft hohe positive Bilanzwerte zur Folge hat.

Aus der Dissertation von W. Schneider

Klimadaten von Vent, 1893 m, ab 1971 1906 m; 1952/53 bis 1977/78

T = Lufttemperatur °C, N = Niederschlag mm, S = Sonnenscheindauer Stunden

	Hydrolog. Jahr		Akkum. Periode		Ablations- Periode			Sommer		
	1.10.-30.9.		1.10.-30.4.		1.5.-30.9.			1.6.-31.8.		
	T	N	T	N	T	N	S	T	N	S
1952/53	1.1	675	-4.0	308	8.4	367	779	9.2	282	440
53/54	1.4	759	-2.7	251	7.0	508	658	8.1	357	408
54/55	1.3	667	-3.0	334	7.3	333	731	8.7	198	403
55/56	0.8	667	-4.2	181	7.7	486	822	8.2	293	460
56/57	1.2	746	-2.9	244	7.0	502	718	8.8	401	479
57/58	1.8	583	-3.2	234	8.7	349	888	9.2	263	512
58/59	2.1	593	-2.0	314	8.0	279	756	9.3	210	423
59/60	1.4	751	-2.9	259	7.5	492	801	8.9	273	489
60/61	2.2	573	-2.0	309	8.1	264	920	9.3	186	597
61/62	1.0	527	-3.3	254	7.0	273	932	8.5	149	605
62/63	0.5	600	-4.9	254	8.0	346	757	9.4	246	487
63/64	1.9	485	-2.7	190	8.3	295	913	9.5	236	551
64/65	0.5	836	-4.0	274	6.7	562	742	8.4	311	490
65/66	1.7	726	-2.4	214	7.4	512	841	8.3	410	479
66/67	1.4	721	-3.0	349	7.5	372	847	8.9	222	553
67/68	1.5	605	-2.4	197	7.0	408	812	8.1	302	482
68/69	1.2	554	-3.4	216	7.7	338	844	8.1	255	486
69/70	0.5	596	-4.5	204	7.5	392	923	8.9	280	573
70/71	1.2	542	-3.4	180	7.6	362	922	9.2	242	576
71/72	1.5	608	-2.1	225	6.5	383	805	8.5	305	501
72/73	1.4	601	-3.7	231	8.5	370	833	9.7	219	494
73/74	1.7	717	-2.3	341	7.3	376	877	8.8	248	555
74/75	1.3	777	-3.4	299	7.9	478	813	8.6	317	500
75/76	1.2	562	-3.2	188	7.3	374	849	8.8	206	515
76/77	1.6	847	-2.4	442	7.1	405	756	8.6	298	493
77/78	(1.4)	576	(-2.4)	273	(6.6)	303	-	8.2	183	-
Mittel										
1952/53 -1977/78	1.3	650	-3.1	260	7.5	390 +)	822	8.8	265 +)	502
1964/65 -1973/74 IHD	1.3	651	-3.1	243	7.4	408	845	8.7	279	519
1968/69 -1977/78	1.3	638	-3.1	260	7.4	378 ++)	847	8.7	255 ++)	521

+) 1978 keine Sonnenscheinregistrierung mehr (25-jähriges Mittel)

++) 9-jähriges Mittel

() ergänzte Werte

DAS KLIMA VON VENT

In der Dissertation von I. Lauffer wurden die Daten der meteorologischen Station erster Ordnung in Vent seit Januar 1935 ausgewertet. Das Material wurde mit den Methoden der klassischen Klimatologie bearbeitet, d. h. es wurden jeweils die Monats-, Jahreszeiten- und Jahresmittel gebildet, ihre Abweichungen vom langjährigen Mittel bestimmt und die mittleren Jahresgänge der meteorologischen Elemente für 25 Jahre (1936 bis 1960) berechnet. Sehr eingehend wurde die Lufttemperatur behandelt, wobei Häufigkeitsverteilungen die Angaben über Mittelwerte und Extreme ergänzen.

Da in Vent schon vor Errichtung der Station erster Ordnung im Herbst 1934 meteorologische Beobachtungen jeweils durch kürzere Perioden angestellt worden waren, erschien es aussichtsreich, die Lücken in den Reihen von Temperatur und Niederschlag durch Reduktion zu schließen. Die Temperaturreihe konnte so bis 1851, die Niederschlagsreihe nur bis 1891 rekonstruiert werden.

Eine Jahresmitteltemperatur von 1,6° C, eine Jahreschwankung von 17,1° C, die einem Kontinentalitätsgrad von 19,4 Prozent entspricht, eine hohe relative Sonnenscheindauer von 54 Prozent, eine geringe Jahressumme des Niederschlags von 692 mm, wovon 44 Prozent in fester Form fallen, 178 Tage mit Schneedecke, wobei die Schneehöhe im Mittel 110 cm erreicht, sowie die geringe Anzahl von sieben Gewittern im Jahr sind charakteristische Klimamerkmale für eine hochgelegene inneralpine Talstation.

In dem betrachteten Zeitabschnitt (1935 bis 1960) fällt der Höhepunkt der allgemeinen Erwärmung im europäisch-nordatlantischen Raum. So wirkt sich in Vent in einer Erhöhung der Jahresmitteltemperatur um einen Grad im Lustrum 1946 bis 1950 gegenüber den übrigen Jahre aus. Alle vier Jahreszeiten nehmen an dieser Erwärmung teil, wobei das Frühjahr mit fast zwei Grad den höchsten Beitrag liefert. Die Jahressummen der Sonnenscheindauer zeigen einen ähnlichen Gang wie die Jahresmittel der Temperatur.

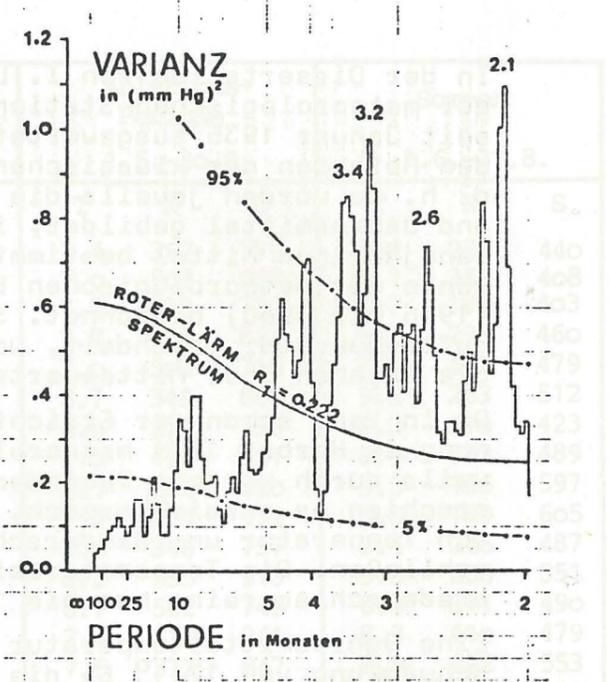
Aus der Dissertation von I. Lauffer

Vent, 1933 m, ab 1971 1906 m; 1952/53 bis 1977/78
 TAVV NOV AMI JK 240
 für °C, h - Niederschlag ...

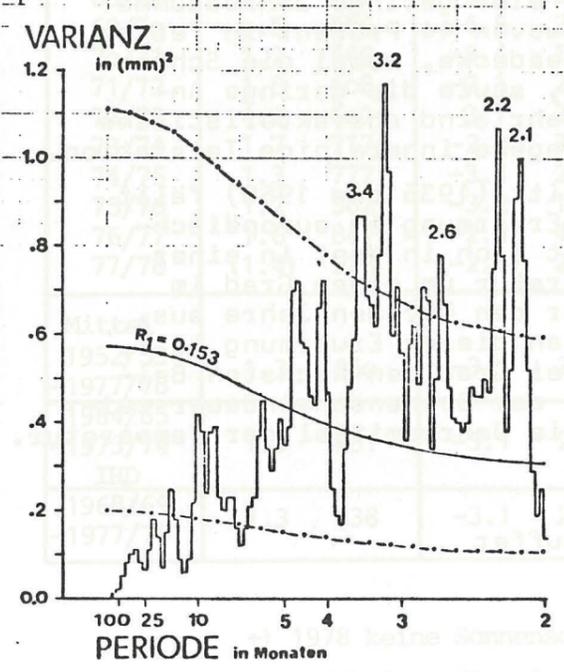
36
 disierten
 rucks
 0

maximale Zeitverschiebung = 100

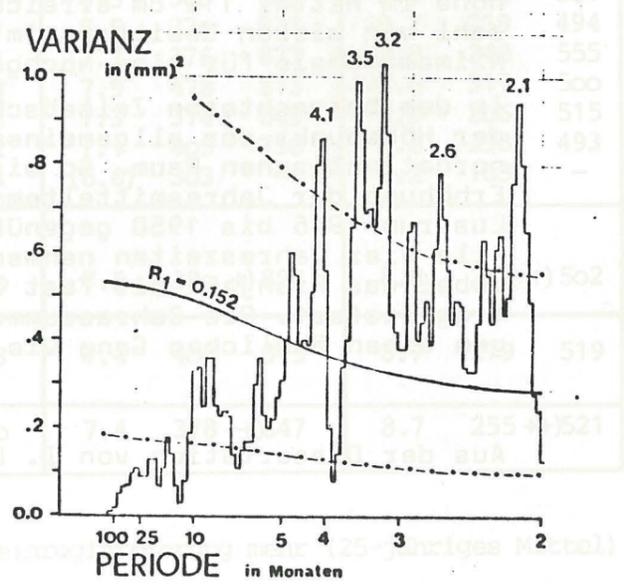
VENT 1904m



INNSBRUCK 582m



HOCHSERFAUS 1817m



DIE LUFTDRUCKREIHE VENT 1935 BIS 1970

Die Arbeit beginnt mit der kritischen Sichtung des Zahlenmaterials und einer teilweisen Korrektur der Venter-Luftdruckreihe. Es wird dabei im wesentlichen von der Differenzmethode Gebrauch gemacht.

Neben den Mittel- und Extremwerten der Venter Luftdruckreihe werden die Häufigkeitsverteilungen von 11 Beobachtungsstationen durch statistische Größen höherer Ordnung diskutiert. Für Vent ist die Verteilungsform durch negative Schiefe (Momentkoeffizient -0,7) und Exzeß 0 gekennzeichnet. Durch den Vergleich mit Stationen des Flachlandes (Wien, 302 m) und hochgelegenen Gipfelstationen (Sonnblick, 3106 m) ergeben sich klare Hinweise auf unterschiedliche Schiefe- und Exzeßwerte in den verschiedenen Meereshöhen als Folge der andersartigen Luftdruckjahresgänge. Die Zeitreihe Vent der Luftdrucktagesmittel entspricht mit ihrer Persistenzcharakteristik $R_1^2 > R_2$ (R_1 ... Autokorrelationskoeffizient der Zeitverschiebung τ) nicht der Eigenschaft einer Markow'schen Reihe ($R_1^2 = R_2$), sondern erweist sich damit als autoregressiver Prozeß höherer Ordnung.

Mit Hilfe der Harmonischen Analyse wird das Schwankungsverhalten des Luftdruckes Vent sowohl im jahresperiodischen Bereich (ganz-, halb-, drittel- und vierteljährige Luftdruckwelle) als auch im tagesperiodischen (ganz- und halbtägige Luftdruckwelle) untersucht. Die Ganzjahreswelle ist dabei mit ihrer Amplitude und Phasenlage eindeutig von der Meereshöhe abhängig, die Halbjahreswelle zeichnet sich hingegen sowohl durch Amplituden- als auch Phasenkonstanz aus. Die Halbjahreswelle, die drittel- und die vierteljährige Luftdruckwelle sind hingegen das Resultat der Luftdruckänderungen, die durch den synoptischen Witterungsverlauf bedingt sind.

Für die tagesperiodischen Schwankungsvorgänge ist vor allem ein ausgeprägt stationsspezifisches Verhalten typisch. Dies geht aus dem Vergleich zwischen Vent und Innsbruck hervor und betrifft vor allem die ganztägige Luftdruckwelle.

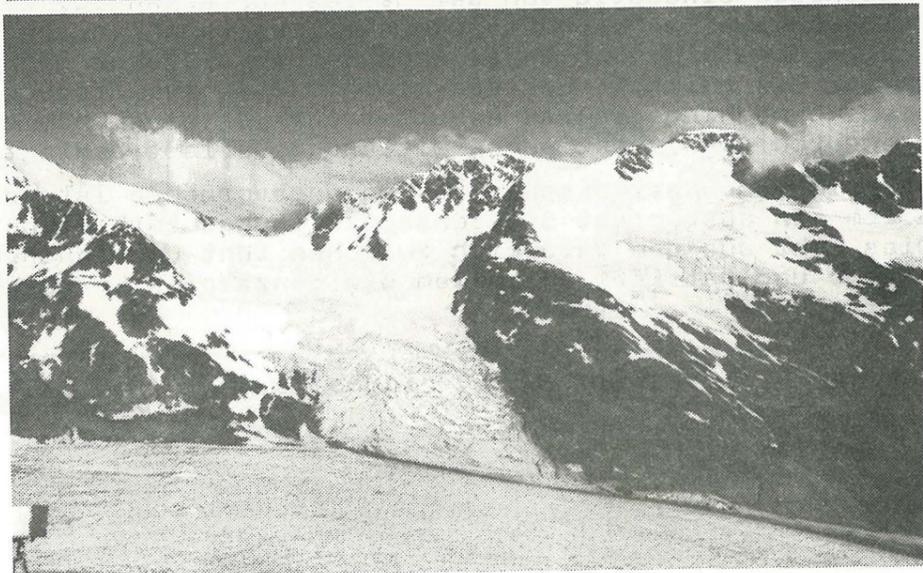
Aus der Dissertation von L. Siogas

36

BIS 1970

maximale Zeitversch
 ung des
 turtur der
 tlichen
 ft-
 77
 herer
 Ex-
 len

38



Der Hintereisferner vom Standpunkt der automatischen Kamera, 20.9.1978

KLIMASTATIONEN

Am 31. 12. 1977 mußte in Vent (1900 m) der Klimadienst aus personellen Gründen eingestellt werden. So mußte die Registrierung der Sonnenscheindauer, die Beobachtungen der Bewölkung und des Witterungsablaufs fallen gelassen werden. Weiter registriert wird aber der Luftdruck, die Temperatur, die relative Feuchte, der Wind und der Niederschlag (Niederschlagswaage). Kontrollbeobachtungen und Streifenwechsel werden weiterhin vom früheren Beobachter und von Mitarbeitern des Institutes für Meteorologie und Geophysik in Innsbruck durchgeführt.

In den für den Massenhaushalt des Hintereisferners wichtigen Klimadaten von Vent mußten im Jahr 1978 auf Grund von Gerätereparaturen einige Werte mit Hilfe der nahe gelegenen Station Obergurgl ergänzt werden.

Amorographisch linken Rand des Hintereisferners wurde auf einem Felsrücken im Jahre 1966 die Station Hintereis in 3026 m als Unterkunft errichtet. Im Sommer 1968 wurden die ersten Temperaturregistrierungen mit Thermohygrographen aufgenommen. Seit Mai 1969 werden diese Messungen mit unterschiedlicher Registrierdauer, meist aber während der Ablationsperiode (1.5. - 30.9.) fortgeführt. Später kamen noch Druck-, Wind- und Niederschlagsregistrierungen dazu.

Im Juni 1977 wurde die Registrierung der Temperatur auf Magnetband umgestellt. Das erste erhaltene Temperaturjahresmittel (1978) beträgt -5.0° C. Mitregistriert wird seitdem auch die Globalstrahlung mit einem Sternpyranometer und die Windgeschwindigkeit.

Im August 1969 wurde auf einem im Herbst 1968 ausgeaperten Felskopf unmittelbar vor der Zunge des Hintereisferners in 2440 m Seehöhe eine Wetterhütte und ein Windmast errichtet. Seit Sommer 1973 wird auch der Niederschlag während der Ablationsperiode registriert.

Die im Sommer nahezu wöchentlichen Kontrollen der Geräte gewährleisteten eine befriedigende Genauigkeit für die erhaltenen Werte, was sich auch in den erhaltenen mittleren Temperaturgradienten zwischen den Stationen niederschlägt. Darin zeichnet sich nicht nur die mittlere Temperaturschichtung der Atmosphäre, sondern auch ein "Ausaperungseffekt" ab. Es zeigt sich eine Überhitzung der tiefer liegenden Stationen im Mai und Juni gegenüber der Station Hintereis, bei der zu dieser Zeit noch winterliche Bedingungen vorherrschen.

Temperaturmittel an der Station Hintereis (3030 m) und der Station Hintereisferner-Zunge (2440 m), 1969 - 1978

	Station H I N T E R E I S					Hintereisferner - ZUNGE						
	SOMMER ABLAT.Per. 1.6.-31.8. 1.5.-30.9.					SOMMER ABLAT.Per. 1.6.-30.8. 1.5.-30.9.						
	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP		
1969	-1.2	-1.2	3.4	1.2	2.0	(3.1)	(3.0)	(7.1)	4.6	4.5	(4.9)	(4.5)
70	(-4.9)	1.4	2.2	2.6	2.1	(-0.6)	4.5	5.4	5.5	5.4	5.1	4.0
71	-2.1	-1.4	3.6	5.0	-0.2	2.5	3.2	6.8	7.6	2.6	5.9	4.5
72	(-3.6)	-0.2	2.3	2.0	-3.5	(0.7)	3.9	5.3	5.3	0.2	4.8	3.1
73	-1.9	1.2	2.0	5.0	2.1	2.5	5.3	5.9	7.0	4.5	6.1	5.0
74	-4.3	-1.4	1.7	4.0	0.2	0.3	2.9	6.0	6.7	3.5	5.2	3.9
75	-2.6	-0.8	2.8	2.8	2.2	1.4	3.3	6.0	6.2	5.7	5.2	4.5
76	-2.3	1.5	2.9	0.3	-2.2	1.7	6.0	6.5	4.5	1.8	5.7	4.1
77	(-3.1)	-0.1	2.3	0.9	-0.6	0.9	4.2	6.4	5.4	2.1	5.3	3.8
78	-5.0	-0.7	1.3	1.6	-0.1	-0.3	3.8	6.0	5.5	4.3	5.1	3.9
Mittel 1969 - 78	(-3.1)	-0.2	2.5	2.5	0.2	1.6	4.1	6.1	5.8	3.5	5.3	4.1

() ergänzte Werte

Das Monatsmittel der Temperatur ist berechnet aus $\frac{1}{4}(7+14+21+21)h$

Mittlere Temperatur-Gradienten ($^{\circ}C/100 m$) zwischen den Stationen Vent (1906 m), Hintereisferner-Zunge (2440 m) und Station Hintereis (3030 m)

	VENT - ST. HINTEREIS						
	MAI	JUN	JUL	AUG	SEP	SOMMER 1.6.-31.8.	ABLAT.Per. 1.5.-30.9.
	1969	0.69	0.67	0.61	0.59	0.51	0.62
70	(0.68)	0.68	0.61	0.54	0.51	0.61	(0.61)
71	0.69	0.73	0.57	0.51	0.46	0.61	0.59
72	(0.68)	0.68	0.61	0.61	0.60	0.63	(0.63)
73	0.69	0.70	0.64	0.53	0.46	0.62	0.61
74	0.72	0.70	0.70	0.58	0.55	0.66	0.65
75	0.66	0.67	0.61	0.58	0.61	0.62	0.62
76	0.68	0.68	0.64	0.62	0.61	0.64	0.65
77	(0.68)	0.71	0.65	0.65	0.53	0.68	(0.64)
78	0.67	0.70	0.68	0.61	0.55	0.67	0.64
Mittel 69-78	(0.68)	0.70	0.62	0.59	0.54	0.64	0.62
VENT - HINTEREISFERNER-ZUNGE							
1969	(0.64)	(0.62)	(0.58)	0.60	0.60	(0.60)	(0.60)
70	(0.62)	0.84	0.69	0.60	0.45	0.71	(0.66)
71	0.58	0.67	0.60	0.58	0.45	0.62	0.58
72	(0.62)	0.66	0.71	0.68	0.56	0.69	0.64
73	0.62	0.69	0.62	0.75	0.52	0.68	0.66
74	0.65	0.67	0.65	0.71	0.54	0.68	0.64
75	0.64	0.64	0.69	0.58	0.62	0.64	0.64
76	0.67	0.58	0.67	0.52	0.54	0.58	0.60
77	0.67	0.69	0.60	0.52	0.62	0.62	0.62
78	(0.52)	(0.64)	0.54	0.54	0.34	(0.58)	(0.51)
Mittel 69-70	(0.62)	(0.67)	(0.64)	0.61	0.52	(0.64)	(0.62)
HINTEREISFERNER-ZUNGE - STATION HINTEREIS							
1969	(0.73)	(0.71)	(0.63)	0.58	0.42	(0.64)	(0.63)
70	(0.73)	0.53	0.54	0.49	0.56	0.51	(0.56)
71	0.78	0.78	0.54	0.44	0.47	0.59	0.59
72	(0.73)	0.69	0.51	0.56	0.63	0.58	(0.63)
73	0.75	0.69	0.66	0.34	0.41	0.58	0.56
74	0.78	0.73	0.73	0.46	0.56	0.64	0.66
75	0.68	0.69	0.54	0.58	0.59	0.61	0.61
76	0.68	0.76	0.61	0.71	0.68	0.69	0.69
77	0.68	0.73	0.69	0.76	0.46	0.73	0.66
78	0.80	0.76	0.80	0.66	0.75	0.75	0.76
Mittel 69-70	(0.73)	(0.73)	(0.61)	0.56	0.56	(0.63)	(0.63)

Niederschlagswerte aus Totalisatoren im Raume Hintereisferner in mm

	VENT 1900 m			RM VENT 1900 m			HOCHJOCHHOSPIZ 2360 m			PROVIANTDEPOT 2780 m			ROFENBERG 2850 m			HINTEREISALM 2900 m			HEF alt 2960 m			HEF neu 2970 m				
	Wi	So	Jahr	Wi	So	J	Wi	So	J	Wi	So	J	Wi	So	J	Wi	So	J	Wi	So	J	Wi	So	J	Wi	So
52/53	253	422	675				329	618	947	360	690	1050							465	842	1307					
53/54	215	543	758				271	661	932	288	765	1053							331	920	1251					
54/55	258	409	667				400	490	890	420	540	960							524	716	1240					
55/56	148	519	667				266	654	920	296	731	1027							435	1019	1454					
56/57	202	542	744				271	641	912	296	695	991	432	889	1321				523	1073	1596					
57/58	178	404	582				294	558	852	378	589	967	435	694	1129				545	735	1280					
58/59	270	321	591				356	383	739	432	437	869	582	482	1064				699	591	1290					
59/60	238	513	751				426	641	1067	471	686	1157	624	908	1532				757	1015	1772					
60/61	281	292	573				380	371	751	415	409	824	503	539	1042				607	659	1266					
61/62	212	315	527				326	438	764	385	506	891	574	546	1120				690	664	1354					
62/63	178	423	601				272	572	844	336	641	977	456	880	1336	397	834	1231	410	920	1330					
63/64	159	325	484				226	429	655	233	468	701	440	587	1027	396	638	1034	400	590	990					
64/65	235	601	836				328	804	1132	417	1002	1419	571	1077	1648	496	1075	1571	485	1250	1735	512	1361	1873		
65/66	181	545	726				239	635	874	294	718	1012	413	826	1239	384	897	1281	561	1199	1760					
66/67	305	417	722				470	547	1017	497	587	1084	504	756	1260	515	802	1317	515	1018	1533					
67/68	175	429	604				245	521	766	383	515	898	399	730	1129	420	799	1219	438	1010	1448					
68/69	190	363	553	220	401	621	308	449	757	266	497	763	308	549	857	293	604	897				543	816	1359		
69/70	164	433	597	189	471	660	224	512	736	268	593	861	386	627	1013	371	856	1227				455	859	1314		
70/71	164	377	541	195	365	560	238	434	672	266	491	757	382	605	987	382	659	1041				564	618	1182		
71/72	154	454	608	186	466	654	231	495	726	247	573	820	327	551	878	344	607	951				529	778	1306		
72/73	198	402	600	200	423	623	170	461	631	208	506	714	289	612	901	287	700	987				329	824	1153		
73/74	305	413	718	310	463	773	408	458	866	381	545	926	421	558	977	417	648	1069				454	772	1228		
74/75	266	511	777	279	516	795	348	531	879	367	594	961	444	672	1116	486	757	1243				595	849	1444		
75/76	163	399	562	156	434	590	199	470	669	313	539	752	293	555	848	314	630	944				252	686	938		
76/77	376	468	845	376	520	895	429	614	1039	414	646	1064	542	754	1301	500	819	1319				711	1045	1757		
77/78	248	327	576	281	389	673	338	448	789	308	510	823	422	609	1031	395	674	1077				579	805	1382		

TOTALISATOR	Reihe vor I H D			I H D			gesamte Reihe											
	von	bis	Jahre	Wi	So	Jahr	von	bis	Jahre	Wi	So	Jahr	von	bis	Jahre	Wi	So	Jahr
VENT ^{+) 1900 m}	52/53	63/64	12	216	419	635	64/65	73/74	10	207	443	650	52/53	77/78	26	220	430	649
VENT 1900 m							68/69	73/74	6	217	432	648	68/69	77/78	10	239	445	684
HJH 2360 m	52/53	63/64	12	318	538	856	64/65	73/74	10	286	532	818	52/53	77/78	26	307	532	840
PD 2780 m	52/53	63/64	12	359	596	956	64/65	73/74	10	323	603	925	52/53	77/78	26	344	595	935
ROB 2850 m	56/57	63/64	8	506	691	1196	64/65	73/74	10	400	689	1089	56/57	77/78	22	443	682	1125
HEA 2900 m	62/63	63/64	2	396	736	1135	64/65	73/74	10	391	765	1156	62/63	77/78	16	400	750	1150
HEF alt 2960 m	52/53	63/64	12	532	812	1344	64/65	67/68	4	500	1119	1619	52/53	67/68	16	524	889	1413
HEF neu 2970 m							64/65	73/74	10	521	898	1420	64/65	77/78	14	525	884	1408

HJH: Hochjochospiz, PD: Proviantdepot, ROB: Rofenberg, HEA: Hintereisalm

HEF: Hintereisferner

VENT^{+) : Klimastation Vent, bis 31.12.77 tägliche Terminbeobachtungen, nachher Terminwerte aus der Registrierung mittels Niederschlagswaage}

RM VENT: Steht nicht direkt bei der Klimastation

PD: Im August 68 wurde ein neuer Totalisator am alten Platz aufgestellt

ROB: Im August 68 wurde ein neuer Totalisator etwa 50 m talein vom alten aufgestellt; 68/69 Wi nach HEA ergänzt

HEF alt: Im September 55 hangabwärts versetzt (2960 m)

HEF neu: Steht etwa 50 m talaus von HEF alt und wenige Höhenmeter darüber

Tabelle 1 Versuche zur Anwendung der hydrologischen Massenhaushaltsgleichung

A. Wahrscheinliche Werte von Gebietsniederschlag N, Abfluß A und Gebietsverdunstung V im Einzugsgebiet des Schreibpegels Steg-Hospiz (2287 m, 26,62 km², h_m = 2981 m, 58% vergletschert) für die hydrologischen Jahre 1957/58 und 1958/59. Massenbilanz (R-B) und Abfluß A direkt gemessen, N aus Totalisatoren und Schneedecke berechnet, V als Restglied bestimmt

	N	A	V	= (R-B)	Gletscherspende	Quelle
1957/58	42,75	48,90	5,70	= -11,85 × 10 ⁶ m ³ Wasser	24%	Hoinkes u. Lang 1962 B
	1606	1837	214	= -445 mm Wasser		
1958/59	40,81	46,43	3,86	= -9,48 × 10 ⁶ m ³ Wasser	20%	Hoinkes u. Lang 1962 B
	1533	1744	145	= -356 mm Wasser		

B. Geschätzte Werte von N (Totalisatoren nur im Rofental), V und (R-B), A gemessen, im Einzugsgebiet des Schreibpegels Vent-Venterache (1893 m, 165 km², h_m = 2910 m, 41% vergletschert)

	N	A	V	= (R-B)	Gletscherspende	Quelle
1952/53	229,2	194,9	53,8	= -19,5 × 10 ⁶ m ³ Wasser	10%	Wendler 1967
1963/64	1389	1181	326	= -118 mm Wasser		
1952/53	224,4	200,5	45,4	= -21,5 × 10 ⁶ m ³ Wasser	11%	Rudolph unveröffentlicht
1961/62	1360	1215	275	= -130 mm Wasser		
	237,1	205,1	53,8	= -21,8 × 10 ⁶ m ³ Wasser	11%	Lauscher 1961
	1437	1243	326	= -132 mm Wasser		

DIE HYDROLOGISCHE METHODE DER MASSENHAUSHALTSBESTIMMUNG

Die Wasserbilanz eines Einzugsgebietes ist ausgeglichen, wenn die Einnahmen aus dem Niederschlag gleich den Ausgaben in Form von Abfluß (einschließlich Grundwasserabfluß) und Verdunstung sind. In einem vergletscherten Gebiet wird die Bilanz durch die Rücklage oder den Aufbrauch von Eis gestört. Bei negativem Massenhaushalt wird der Anteil des Gebietsabflusses, der aus dem Schmelzen von Eis stammt, als Gletscherspende bezeichnet.

Die obenstehende Tabelle aus Hoinkes (1970) zeigt, welche Größe die Gebietsverdunstung im Vergleich zur Gletscherspende hat, und wie nahe letztere an der Meßgenauigkeit des Gebietsniederschlags liegt. Die gegenüberliegenden Tabellen zeigen nur eine Auswahl der Totalisatoren, doch auch bei der doppelten Anzahl von Meßpunkten bleibt die Extrapolation auf das ganze Einzugsgebiet die entscheidende Schwierigkeit.

Derzeit wird auf dem Hintereisferner durch direkte Wägung und durch Profilmessungen die lokale Verdunstung bestimmt. Der Bau eines Abflußpegels vor der Hintereiszung ist mit der heutigen Schotterbedeckung des Geländes nicht möglich. Ergebnisse von früheren Abflußmessungen folgen auf den nächsten Seiten.

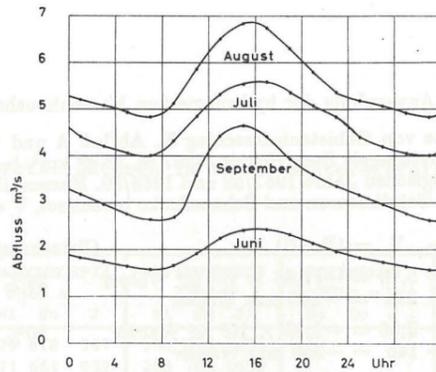


Abb. 6. Mittlerer Tagesgang des Abflusses am Pegel Steg-Hospiz im Sommer 1958

Tabelle 1. Abfluß am Pegel Steg-Hospiz (Einzugsgebiet 26,62 km²) Monatsmittel und Summen

	Abfluß Steg-Hospiz m ³ /s	Abfluß-spende l/s km ²	Abfluß-höhe mm	Abfluß-menge m ³	Abfluß-Vent m ³ /s	m ³ /s Vent m ³ /s S—H	Abfluß Steg-Hospiz m ³ /s	Abfluß-spende l/s km ²	Abfluß-höhe mm	Abfluß-menge m ³	Abfluß-Vent m ³ /s	m ³ /s Vent m ³ /s S—H
a) Haushaltsjahr 1957/58						b) Haushaltsjahr 1958/59						
Oktober	0,354	13,30	35,6	948 154	2,36	6,67	0,871	32,72	87,6	2332 886	4,26	4,89
November	0,245	9,20	23,9	635 040	1,27	5,18	0,275	10,33	26,8	712 800	1,28	4,66
Dezember	0,140	5,26	14,1	374 976	0,67	4,79	0,185	6,95	18,6	495 504	0,76	4,11
Januar	0,095	3,57	9,6	254 448	0,42	4,42	0,145	5,45	14,6	388 368	0,56	3,86
Februar	0,075	2,82	6,8	181 440	0,40	5,33	0,125	4,70	11,4	302 400	0,44	3,52
März	0,070	2,63	7,0	187 488	0,40	5,72	0,155	5,82	15,6	415 152	0,46	2,97
April	0,075	2,82	7,3	194 400	0,42	5,60	0,185	6,95	18,0	479 520	1,04	5,63
Mai	1,477	55,48	148,6	3 955 997	7,98	5,40	0,753	28,29	75,8	2 016 835	4,59	6,10
Juni	1,986	74,61	193,4	5 147 712	10,9	5,49	2,351	88,32	228,9	6 093 792	14,4	6,13
Juli	4,800	180,32	483,0	12 856 320	20,6	4,29	5,554	208,64	558,8	14 875 834	25,2	4,54
August	5,717	214,76	575,2	15 312 413	23,3	4,08	3,809	143,09	383,2	10 202 026	14,7	3,86
September	3,525	132,42	343,2	9 136 800	15,1	4,28	3,393	127,46	330,4	8 749 656	12,4	3,65
Summe			1847,7	49 185 188					1769,7	47 109 773		
Mittel	1,559	58,59			7,04	4,52	1,494	56,12			6,72	4,50

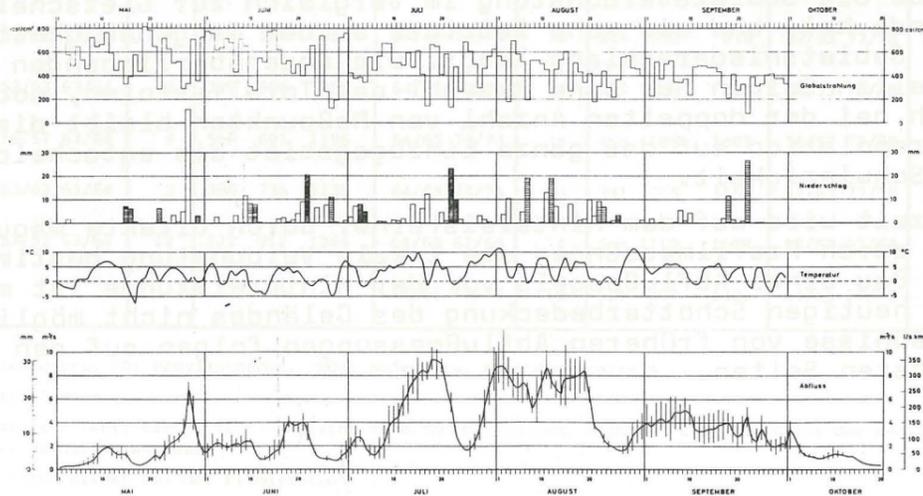


Abb. 7. Abfluß und Wetterelemente im Sommer 1958. Tageswerte der Globalstrahlung und des Niederschlages am Hochjochhospiz (2410m) und der Temperatur (reduziert auf die mittlere Höhe des Einzugsgebietes). Abflußganglinie am Pegel Steg-Hospiz mit Tagesamplituden (senkrechte Striche). Niederschläge im Einzugsgebiet in Form von Schnee: dicht schraffiert — teilweise Schnee: weniger dicht schraffiert — vorwiegend Regen: ohne Signatur

HYDROMETEOROLOGISCHE ERGEBNISSE AUS ABFLUSSMESSUNGEN IM BEREICH DES HINTEREISFERNERS (ÖTZTALER ALPEN) IN DEN JAHREN 1957 BIS 1959

H. Lang

Während der Internationalen Geophysikalischen Jahre 1957 bis 1959 wurde an einer Pegelmeßstelle bei 2287 m Höhe der Abfluß vom Hintereis- und Kesselwandferner, registriert. Im vorliegenden Arbeitsbericht sollen spezifische Merkmale des Abflusses aus dem zu 58 % vergletscherten Einzugsgebiet (26,6 km²) im Zusammenhang mit den meteorologischen Bedingungen dargestellt werden.

Der Jahresabfluß betrug im Haushaltsjahr 1957/58 1848 mm und im Haushaltsjahr 1958/59 1770 mm; bedingt durch den stark negativen Massenhaushalt der Gletscher war die Gletscherspende von 24 % bzw. 20 % des Jahresabflusses außergewöhnlich hoch. Der Winterabfluß (Oktober bis März) betrug nur 5 % bzw. 10 % des Jahresabflusses; die drei Sommermonate Juli bis September lieferten dagegen 76 % bzw. 72 %. Der größte Monatsabfluß wurde im August 1958 mit 575 mm, im Juli 1959 mit 559 mm registriert.

Die Häufigkeitsverteilung der Tagesabflußmengen für das Jahr 1957/58 ließ eine Andauer des Niedrigwassers mit Tages-Mittelwerten kleiner als 18,8 l/s km² (0,5 m³/s) von 217 Tagen (Oktober bis Mai, 59 % des Jahres) erkennen. Größere Tagesabflüsse als 225 l/s km² (6,0 m³/s) kamen nur im Juli und August vor. Als Maximum wurden Abflußwerte bis zu 640 l/s km² Gletscherfläche im Tagesmittel erreicht, entsprechend 55 mm Abflußhöhe von den Schnee- und Eisflächen. Der exponentielle Abfall der Abflußganglinie vom Herbst zum Minimum im Frühjahr deutet an, daß es sich beim Winterwasser vorwiegend um das verzögerte Abfließen von in den Gletschern zurückgehaltenem Schmelzwasser aus der vorangegangenen Ablationsperiode handelt. Das Ansteigen der Wasserführung nach dem Beginn der Schneeschmelze im Frühjahr erfolgt wegen des Wiedergefrierens von Schmelzwasser und wegen des Retentionsvermögens der Schneedecke mit einiger Verzögerung.

Arch. f. Met., Geoph. u. Biokl. Ser. B: Allgemeine und biologische Klimatologie, Bd. 14, 3. - 4. Heft, 1966

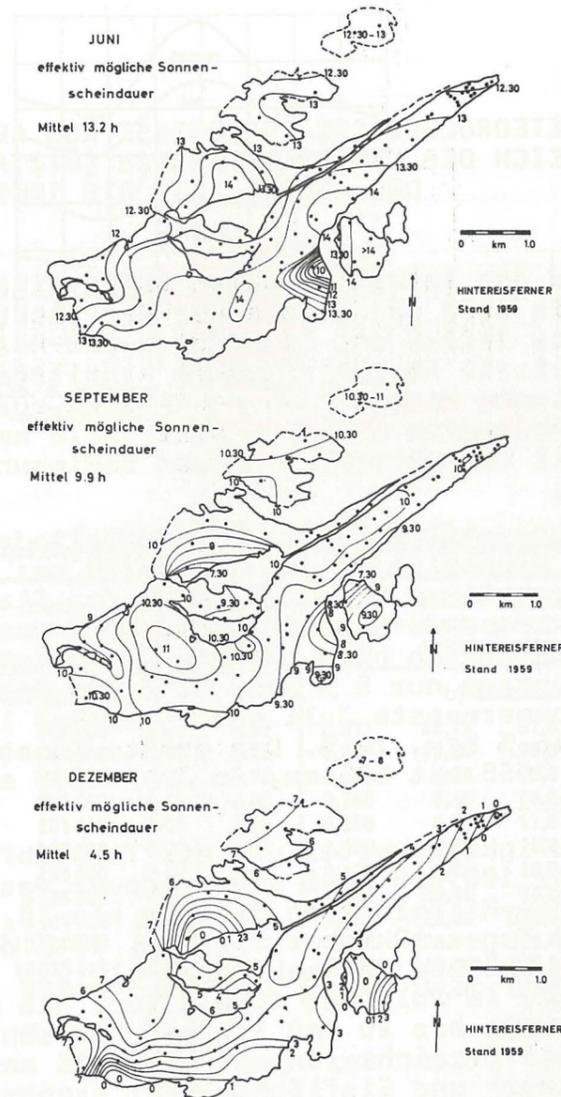


Abb. 8. Linien gleicher effektiv möglicher Sonnenscheindauer für den Hintereisferner und für die Seitengletscher: a) im Juni, b) im September und c) im Dezember. Meßpunkte markiert

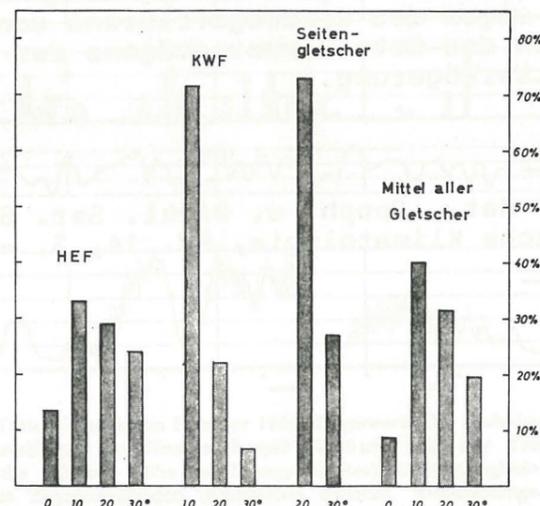


Abb. 6. Häufigkeitsverteilung der Hangneigungen (Prozent) für Hintereisferner, Kesselwandferner, Seitengletscher und für das Mittel aller Gletscher

DER ANTEIL DER STRALUNG AN DER ABLATION VON HINTEREIS- UND KESSELWANDFERNER (ÖZTALER ALPEN, TIROL) IM SOMMER 1958

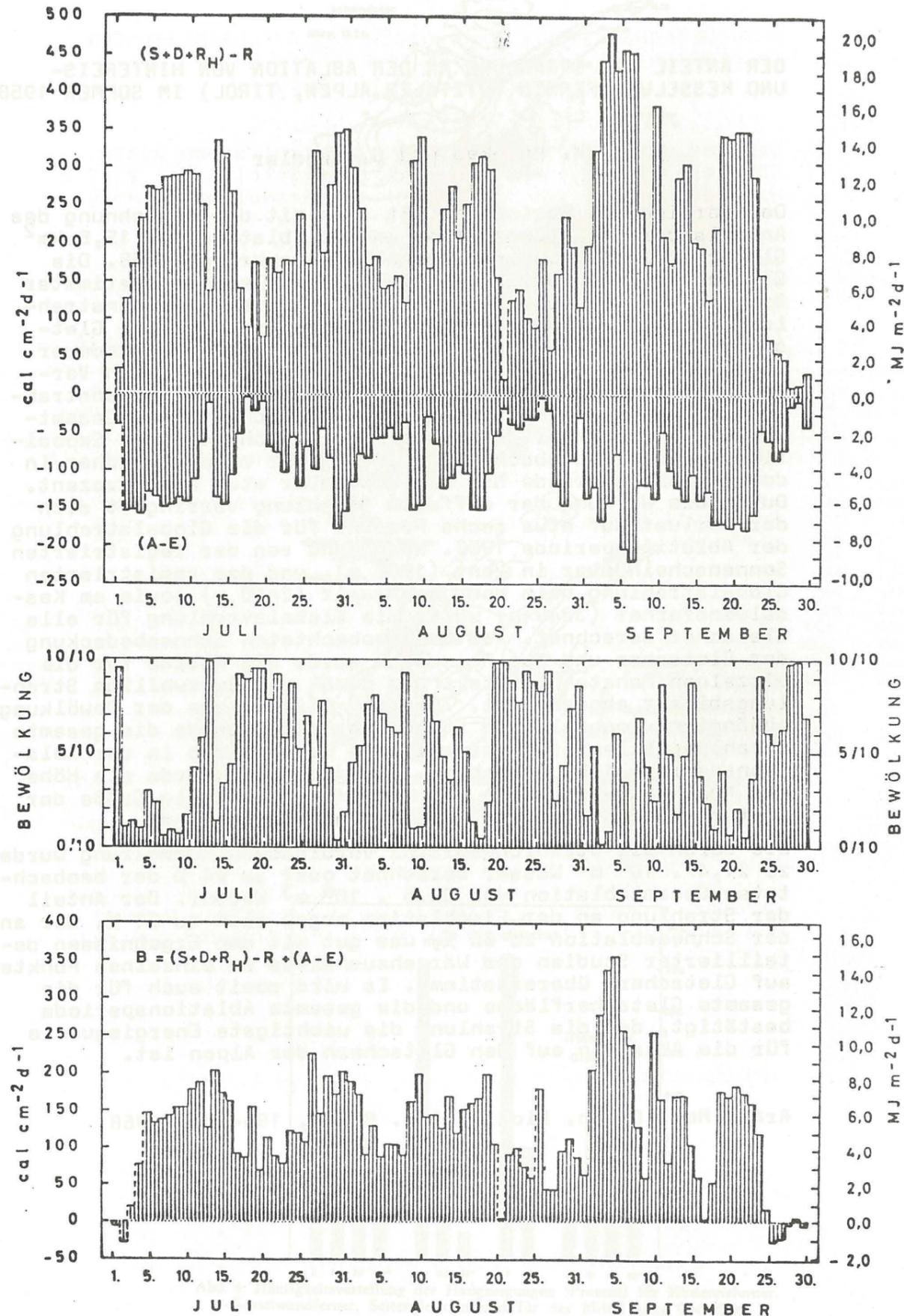
H. Hoinkes und G. Wendler

Der vorliegende Bericht befaßt sich mit der Berechnung des Anteils der Strahlungsbilanz an der Ablation auf 15,5 km² Gletscherflächen während der Ablationsperiode 1958. Die Gletscherflächen wurden in 175 Flächenelemente bestimmter Neigung und Richtung zerlegt und die direkte Sonnenstrahlung relativ zur horizontalen Fläche wurde für die Gletscher ermittelt. Die effektiv mögliche Sonnenscheindauer wurde für 177 Punkte auf den Gletscherflächen durch Vermessung bestimmt und daraus die Reduktion der Sonnenstrahlung durch die Horizontabschirmung berechnet. Der Gesamtverlust an direkter Sonnenstrahlung durch Neigung, Exposition und Horizontabschirmung betrug für alle Gletscher in der Ablationsperiode Mai bis September etwa acht Prozent. Durch die Wirkung der diffusen Strahlung verringert sich der Verlust auf etwa sechs Prozent für die Globalstrahlung der Ablationsperiode 1958. Ausgehend von der registrierten Sonnenscheindauer in Vent (1900 m), und der registrierten Globalstrahlung beim Hochjochospiz (2410 m) sowie am Kesselwandferner (3240 m) wurde die Globalstrahlung für alle Gletscher berechnet. Aus der beobachteten Schneebedeckung der Gletscher und aus Messungen wurde die Albedo für die einzelnen Monate ermittelt und damit die kurzwellige Strahlungsbilanz abgeschätzt. Zusammen mit der von der Bewölkung abhängigen langwelligen Strahlungsbilanz wurde die gesamte Strahlungsbilanz für verschiedene Albedowerte in der Ablationsperiode 1958 berechnet. Für jeden Tag wurde die Höhe der Null-Grad-Isotherme ermittelt und damit die Größe der Gletscherfläche, auf der Schmelzung möglich war.

Die durch die Strahlungsbilanz verursachte Schmelzung wurde zu 21,4 · 10⁶ m³ Wasser berechnet oder zu 64 % der beobachteten Gesamtablation von 33,5 · 10⁶ m³ Wasser. Der Anteil der Strahlung an der Eisablation ergab sich zu 61 %, der an der Schneeablation zu 66 %, was gut mit den Ergebnissen detaillierter Studien des Wärmehaushaltes an einzelnen Punkten auf Gletschern übereinstimmt. Es wird somit auch für die gesamte Gletscherfläche und die gesamte Ablationsperiode bestätigt, daß die Strahlung die wichtigste Energiequelle für die Ablation auf den Gletschern der Alpen ist.

Arch. Met. Geoph. Biokl., Ser. B, 16, 195-236 (1968)

VERLAUF DER KURZWELLEN- $[(S+D+R_H) - R]$, DER LANGWELLEN- $[(A-E)]$ UND DER GESAMTSTRAHLUNGS-
BILANZ $[B]$ AN DER HAUPTSTATION HINTEREISFERNER (2960m) VON JULI-SEPTEMBER 1971
TAGESMITTEL DER BEWÖLKUNG (06-22h)



STRAHLUNGSHAUSHALTSUNTERSUCHUNGEN AM HINTEREISFERNER/
ÖTZTAL WÄHREND DER HAUPTABLATIONSPERIODE 1971

Die ersten Strahlungsmessungen auf Alpengletschern wurden von Sauberer (1938a/b) durchgeführt. Detailliertere Untersuchungen konnten in den Alpen erst nach dem zweiten Weltkrieg in Angriff genommen werden. So wurden von Sauberer und Dirmhirn (1952) am Hohen Sonnblick (3106 m) im Sommer 1950 Strahlungshaushaltsuntersuchungen und von Hoinkes und Untersteiner (1952) ebenfalls im Sommer 1950 am Vernagtferner (Ötztaler Alpen) Wärmeumsätze in Verbindung mit Ablationsmessungen durchgeführt, die Hoinkes (1953) am Hornkees (Zillertaler Alpen) im September 1951 fortsetzte.

Nach einer Reihe von Voruntersuchungen wurde im Sommer 1971 in 2960 m Höhe die Hauptstation Hintereisferner errichtet, um die Wärmehaushaltskomponenten und deren Veränderungen im Zusammenhang mit dem Witterungsablauf und den daraus resultierenden Auswirkungen auf den Massenhaushalt während einer Ablationsperiode studieren zu können.

Die Abbildung zeigt den Verlauf der kurzwelligen, der langwelligen und der Gesamtbilanz von Juli bis September 1971 an der Hauptstation Hintereisferner. Des Weiteren wurden die Tagesmittel der Bewölkung für diese Monate dargestellt.

Die langwellige Bilanz zeigt einen bis ins Detail gehenden konphasen Verlauf mit der Bewölkung. Der numerische Zusammenhang wurde in einem eigenen Kapitel beschrieben. Außerdem fällt der antiphase Verlauf von langwelliger und kurzwelliger Strahlungsbilanz auf. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß bei geringen Albedoschwankungen die kurzwellige Bilanz nur vom Betrag der Globalstrahlung abhängt.

Während die Globalstrahlung mit zunehmender Bewölkung kleiner wird, nimmt die langwellige Bilanz zu. Insgesamt sieht man aber aus den Abbildungen, in denen nur die gemessenen Daten eingetragen sind, daß die Gesamtstrahlungsbilanz (B) positiv mit der kurzwelligen Bilanz $(S + D + R_H) - R$ korreliert ist, während für die langwellige Bilanz $(A - E)$ keine Korrelation mit (B) feststellbar ist. Die Ursache dafür ist vor allem die im Mittel abnehmende Albedo der Gletscheroberfläche während des Sommers, was höhere Werte der kurzwelligen Bilanz zur Folge hat. Die Beträge der kurzwelligen Bilanz sind über weite Teile des Sommers doppelt so groß wie die der langwelligen Bilanz.

Auszug aus der Dissertation H. P. Wagner

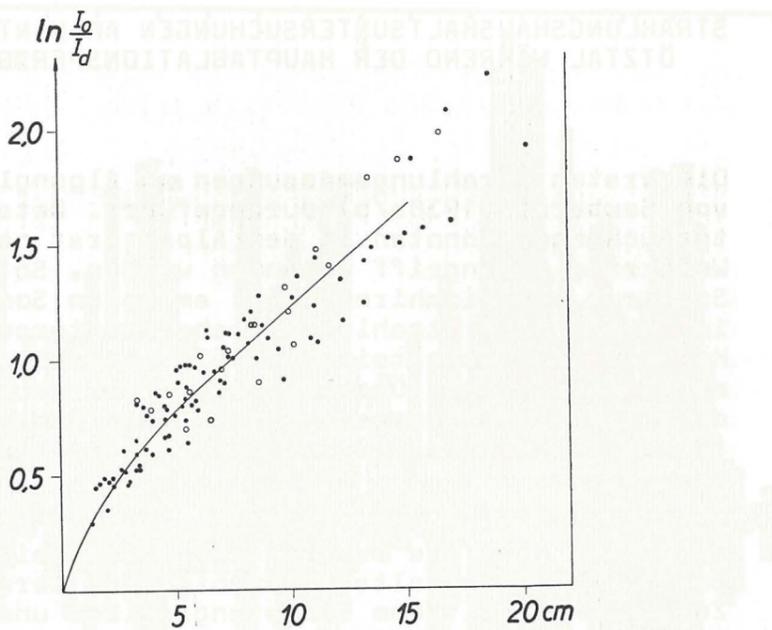


Abb. 4. Gemessene Durchlässigkeit und berechnete Extinktionskurve. Punkte: R und I_a gemessen; Kreise: reflektierte Strahlung R nicht gemessen, sondern aus R (b) interpoliert; durchgelassene Strahlung I_a gemessen

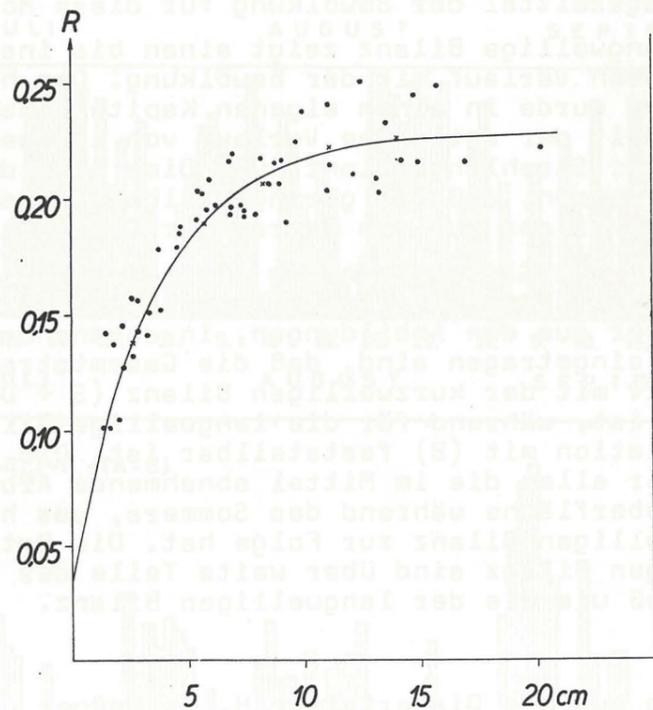


Abb. 1. Das Reflexionsvermögen als Funktion der Plattendicke

ÜBER STRAHLUNGSEIGENSCHAFTEN DES GLETSCHEREISES

A. Jaffé

Am Hintereisferner wurden im Sommer 1956 Strahlungsmessungen an Gletschereisplatten mit Hilfe eines Solarimeters Moll-Gorczyński durchgeführt. Dabei ergab es sich, daß die Albedo der Eisplatten gesetzmäßig mit der Plattendicke zunimmt und außerdem von der Sonnenhöhe abhängig ist. Durchlässigkeitsmessungen lieferten für die Schicht zwischen 10 und 35 cm Tiefe einen mittleren Extinktionskoeffizienten von $0,085 \text{ cm}^{-1}$.

Auf theoretischem Wege wurde versucht, die Beziehungen zwischen Extinktion, Zerstreuung und Reflexion sowie die Strahlungsverhältnisse im Innern der Eisplatten zu erfassen; auf diese Weise war es auch möglich, auf die vertikale Intensitätsverteilung der eindringenden Strahlung in den obersten Dezimetern des Gletschers zu schließen und die in den verschiedenen Tiefenschichten umgesetzten Energiebeträge abzuschätzen.

Arch. Met. Geoph. Biokl. Ser. B, 10, 376 - 395 (1960)

H. Rott

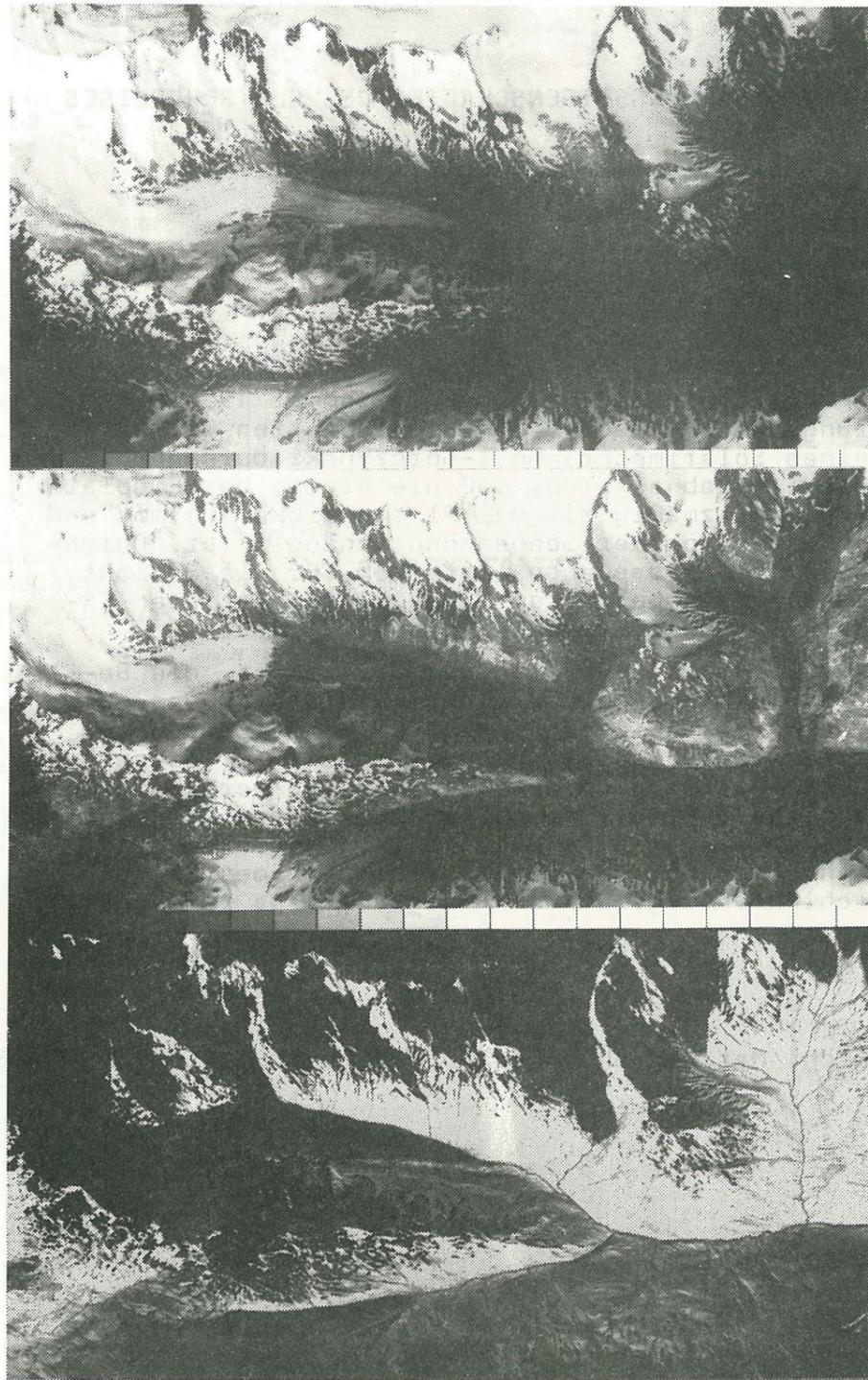


Abb. 1. Die Schneebelastung als Funktion der Plateaulänge

FERNERKUNDUNG

Fernerkundungsverfahren bieten die Möglichkeit, Schnee- und Eisparameter großflächig und zum Teil auch innerhalb kurzer Zeitabstände zu erfassen. Wesentliche Voraussetzung für die Entwicklung und den Einsatz von Fernerkundungs-Methoden über große Gebiete ist die vergleichende Analyse der Flugzeug- und Satellitenmessungen mit Bodenmeßdaten. Testgebiete, wie das Rofental, in denen eingehende glaziologische und hydrologische Untersuchungen durchgeführt werden, bringen wesentliche Voraussetzungen für solche Vergleiche. Im Ötztal wurde die Genauigkeit der Schneekartierung aus Daten meteorologischer Satelliten und Erdkundungssatelliten überprüft. Daten des multispektralen Scanners auf Landsat erlauben die Schneekartierung in Einzugsgebieten ab etwa 10 km^2 Größe, bei ebenmäßigen Geländeformen wie auf Gletschern auf noch kleineren Flächen. Schneeanalysen von Bildern der meteorologischen NOAA Satelliten sind für Einzugsgebiete ab etwa der Größe des Ötztals (900 km^2) brauchbar.

Im August 1978 wurde das Einzugsgebiet der Rofenache von einem Meßflugzeug aus aufgenommen, das mit verschiedenen Kameras und mit einem Scanner mit 10 Kanälen im Sichtbaren und nahen Infrarot und einem Kanal im thermischen Infrarot bestückt war. Aus den Messungen wird das spektrale Reflexionsvermögen verschiedener Schnee- und Eisarten bestimmt. Dafür wird die atmosphärische Transmission zwischen Objekt und Sensor und die spektrale Verteilung verschiedener Strahlungsflüsse berechnet, wofür als Eingangsparemeter auch radiometrische Bodenmessungen dienen. Die Untersuchungen sollen unter anderem dazu beitragen, spektrale Scannerdaten von Satelliten besser zu interpretieren. Die angewandten Verfahren zur digitalen Analyse der Bilddaten können auf andere Messungen übertragen werden.

Der Beschränkung der Messungen im Sichtbaren und im nahen Infrarot durch Bewölkung unterliegen Verfahren im Mikrowellenbereich nicht. Mikrowellen durchdringen Wolken und dringen in den Schnee ein, weshalb Mikrowellen Information über verschiedene Schneeparemeter liefern können. Aktive (Radar) und passive Verfahren sollen in Hinkunft im Rofental angewandt werden, wobei geplant ist, Daten von verschiedenen Meßträgern - Flugzeugen, Satelliten, Spacelab - in Beziehung zu Bodenmessungen zu analysieren. Die Abbildung zeigt die photographische Wiedergabe von Scannerdaten des 20.8.1978, 11 h MEZ, aus 3 Kanälen. Es ist das Rofental vom Hintereisferner bis knapp unter die Einmündung des Vernagtaches dargestellt. Der oberste Bildstreifen gibt die reflektierte Sonnenstrahlung von $0.49 - 0.54 \mu\text{m}$ (Kanal 3) im sichtbaren Bereich des Spektrums wieder, der mittlere Streifen in Kanal 10 ($0.97 - 1.06 \mu\text{m}$) im nahen Infrarot. Während das Reflexionsvermögen von Schnee und Eis vom Sichtbaren ins nahe Infrarot abnimmt, reflektiert Vegetation, zum Teil auch Felsgelände, in Kanal 10 stärker als Eis. In Kanal 11, im thermischen Infrarot, sind die Südosthänge mit Temperaturen über 25°C als wärmste Flächen hell dargestellt, Schnee und Eis erscheinen schwarz.

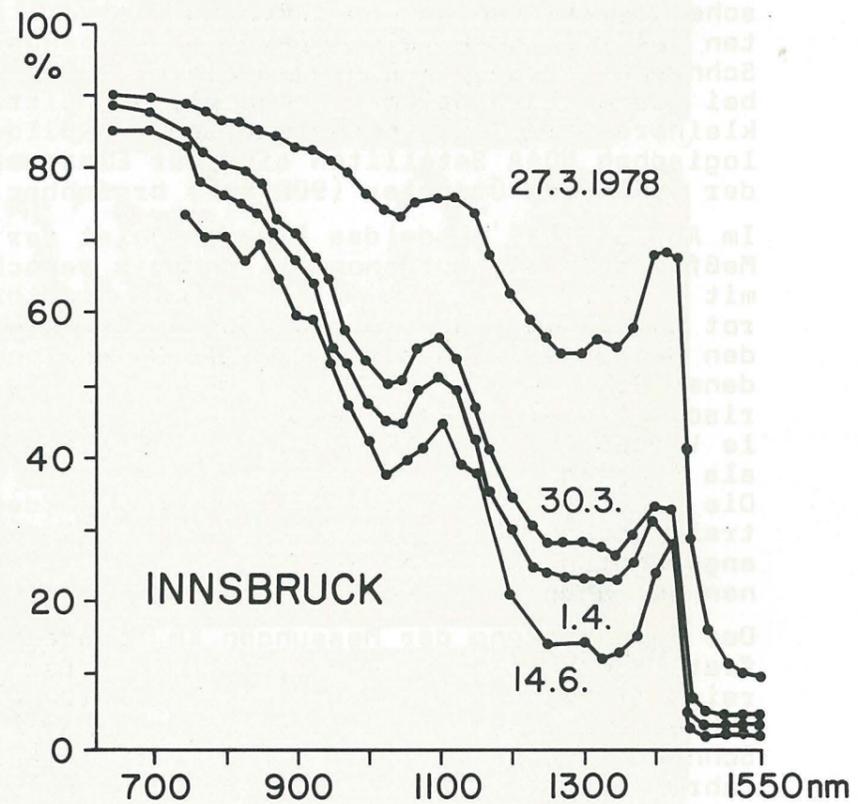


fig. 7

DER SPEKTRALVERLAUF DER ALBEDO

Die von Schnee- und Eisflächen reflektierte Energie dringt zum größten Teil erst in das Medium ein, bevor sie durch Vielfachstreuung nach oben gelenkt wird. Das Spektrum der Albedo wird also von Absorption und Streuung bestimmt und zeigt vor allem im Bereich der H_2O -Banden im nahen Infrarot die Möglichkeit von Rückschlüssen auf die Struktur der Schneedecke.

Die nebenstehende Abbildung zeigt eine Meßserie von Spektren der von einer ebenen Schneefläche auf der Seegrube bei Innsbruck hemisphärisch reflektierten Globalstrahlung. Bei frischgefallenem, trockenem Schnee (27. 3.) ist die Single Scattering Albedo wegen der feinen Kristallstruktur nahezu Eins und die Albedo bleibt auch im nahen Infrarot hoch. Mit der Durchfeuchtung der Schneedecke (30. 3.) überwiegt der Einfluß der Absorption an flüssigem Wasser und in den metamorphen Schneekörnern. Mit zunehmender Vergrößerung der Körner (1. 4. und 14. 6.) sinkt die Gesamtalbedo und die H_2O -Banden werden tiefer.

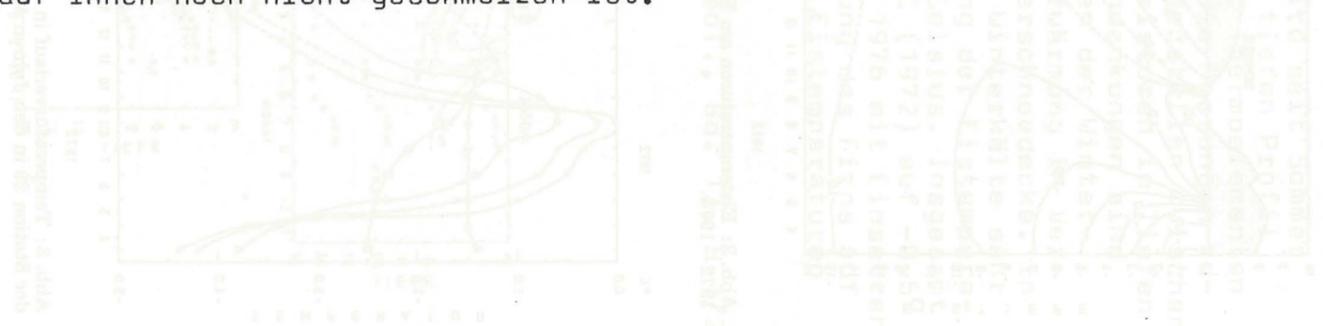
Parallelmessungen der spektralen Albedo am Hintereisferner und in der Antarktis werden zur Zeit auf ihre Verwendbarkeit in der Fernerkundung untersucht.



OBERFLÄCHEN-TEMPERATUREN

Die Temperatur einer Oberfläche wird von ihrem Energiehaushalt bestimmt und von der Möglichkeit von Phasenübergängen. Wenn die Summe von Strahlungsbilanz-, Bodenwärmestrom und turbulenten Strömen fühlbarer und Verdunstungswärme positiv ist, schmilzt eine Eisfläche und bleibt auf 0°, während unter den gleichen Bedingungen Steine auf erhebliche positive Temperaturen aufgeheizt werden. Im Vorfeld des Hintereisferners wurden im Juli mit einem Infrarotthermometer an trockenen Steinen Temperaturen von über 40° C beobachtet, an windausgesetzten Stellen wirkte der turbulente Austausch mit der kälteren Luft abkühlend auf die Steine, im feuchten Sand lagen wegen der Verdunstung die Temperaturen bei 10°, während sie bei trockenem Sand ca. 25° C betragen.

Dort, wo unter dem Moränenschotter noch Toteis liegt, das sind unbewegte Reste einer größeren Gletscherausdehnung, ist der Energiehaushalt der Oberfläche durch einen stärkeren, in den Boden gerichteten Wärmestrom gekennzeichnet. Das nebenstehende Photo zeigt das Vorfeld und die Zunge des Hintereisferners nach einem Neuschneefall am 8. 8. 1955. An den Moränenhängen zeichnen sich die kälteren Zonen mit Toteiskernen deutlich dadurch ab, daß der Neuschnee auf ihnen noch nicht geschmolzen ist.



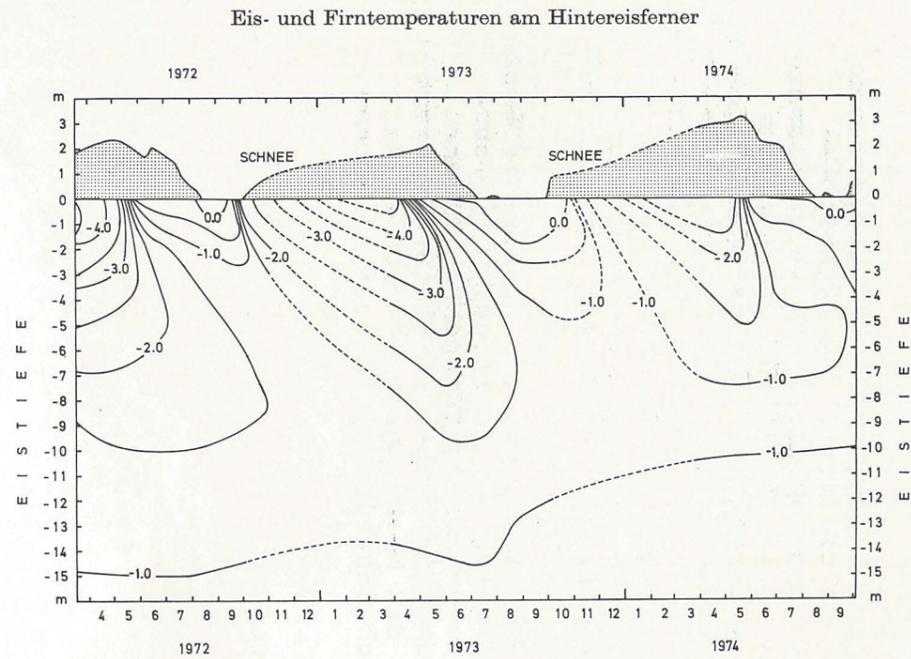


Abb. 2: Eistemperaturen am Hintereisferner in 2800 m Höhe (Station 28) in den Jahren 1972-1974.

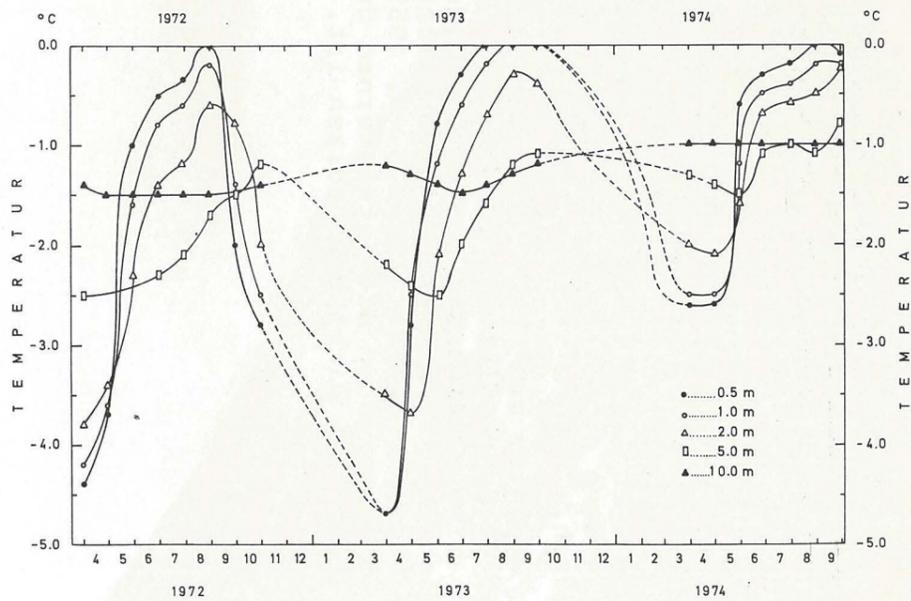


Abb. 3: Temperaturverlauf in 0,5, 1,0, 2,0, 5,0 und 10,0 m Tiefe am Hintereisferner bei der Station 28 in den Jahren 1972-1974.

MESSUNGEN VON EIS- UND FIRNTEMPERATUREN AM HINTEREISFERNER (ÖTZTALER ALPEN)

UNTERSUCHUNG DER VERTIKALEN KOMPONENTE DER GLETSCHER-
BILDUNG G. Markl und H.P. Wagner
DES HINTEREISFERNERS

Am Hintereisferner, Ötztal, Tirol, wird seit Sommer 1972 in 2800 m Seehöhe an einem 15 m tiefen Profil die Temperatur des Gletschereises mit Thermoelementen gemessen. Seit Herbst 1975 erfolgen die Messungen zusätzlich in einem Längsprofil mit 5 Meßstellen zwischen 3150 und 2550 m Seehöhe mittels Thermistoren in Tiefen bis zu 16 m. Die jahreszeitlichen Schwankungen sind gekennzeichnet durch a) das Eindringen der Winterkälte und b) durch die sommerliche Erwärmung in Verbindung mit dem Abschmelzen der Winterschneedecke. In 10 m Tiefe trifft bei Station 28 die Winterkälte sehr verspätet ein und die Jahresschwankung der Eistemperatur beträgt nur wenige Zehntel Grad Celsius. Insgesamt stieg die 10 m-Temperatur von $-1,5^{\circ}\text{C}$ (1972) auf $-0,5^{\circ}\text{C}$ (1976) an. Im Längsprofil zeigt sich 1976 mit Einsetzen der Schneeschmelze die rasche Erwärmung des Firns auf 0°C , während im Ablationsgebiet die Eistemperaturen ab 2 m Tiefe leicht negativ blieben.

Zeitschr. f. Gletscherk. u. Glazialgeol., Bd. 13, H 1/2 (1977), S 261 - 265

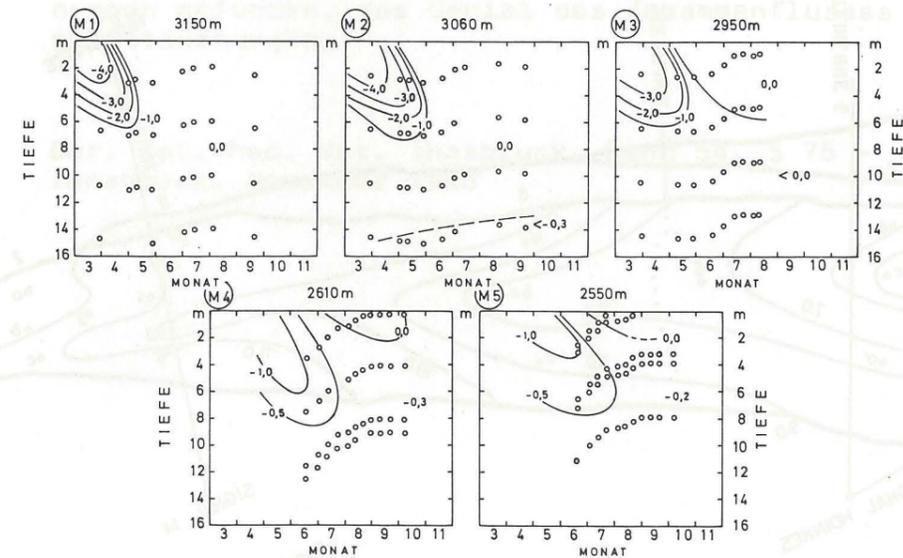
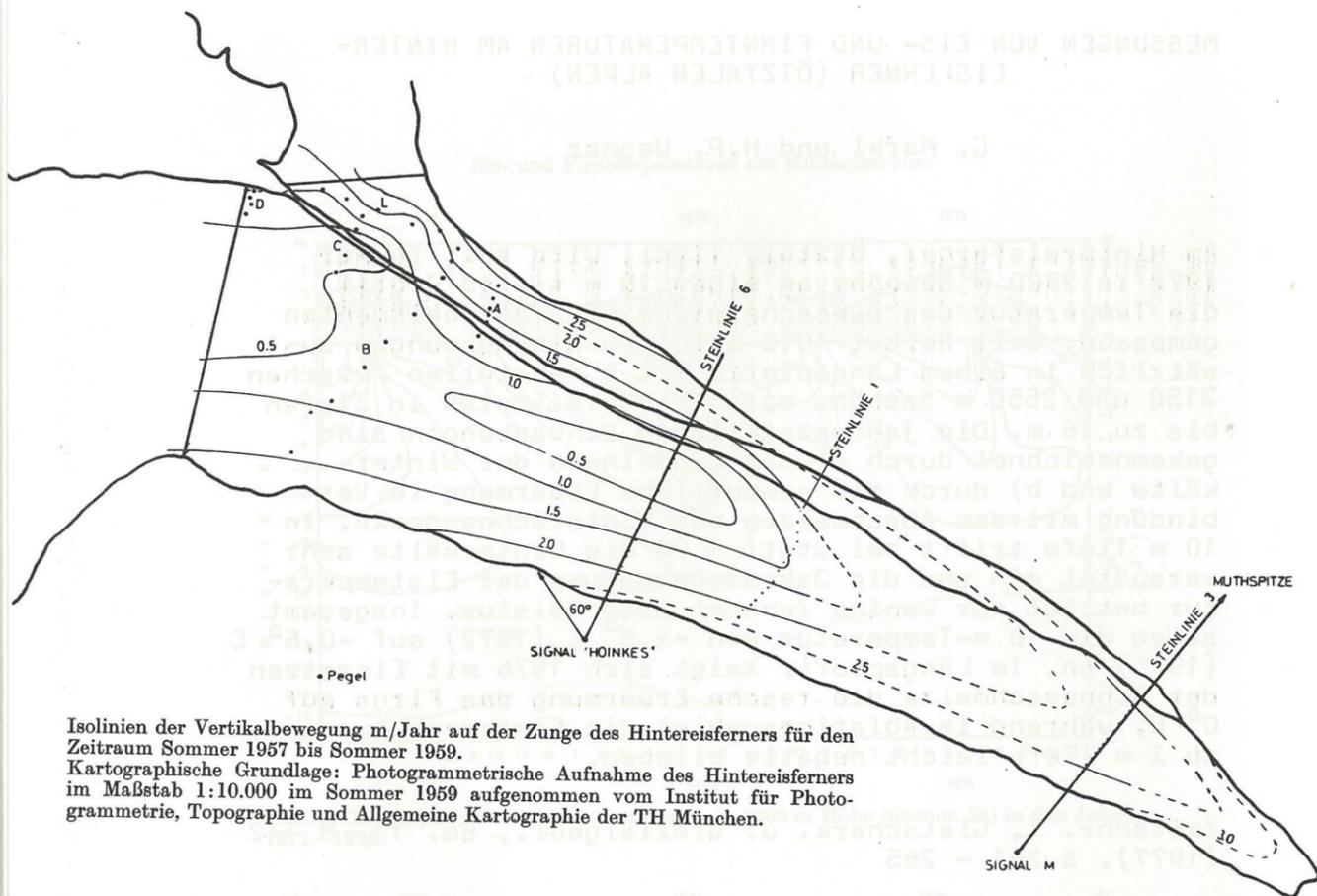
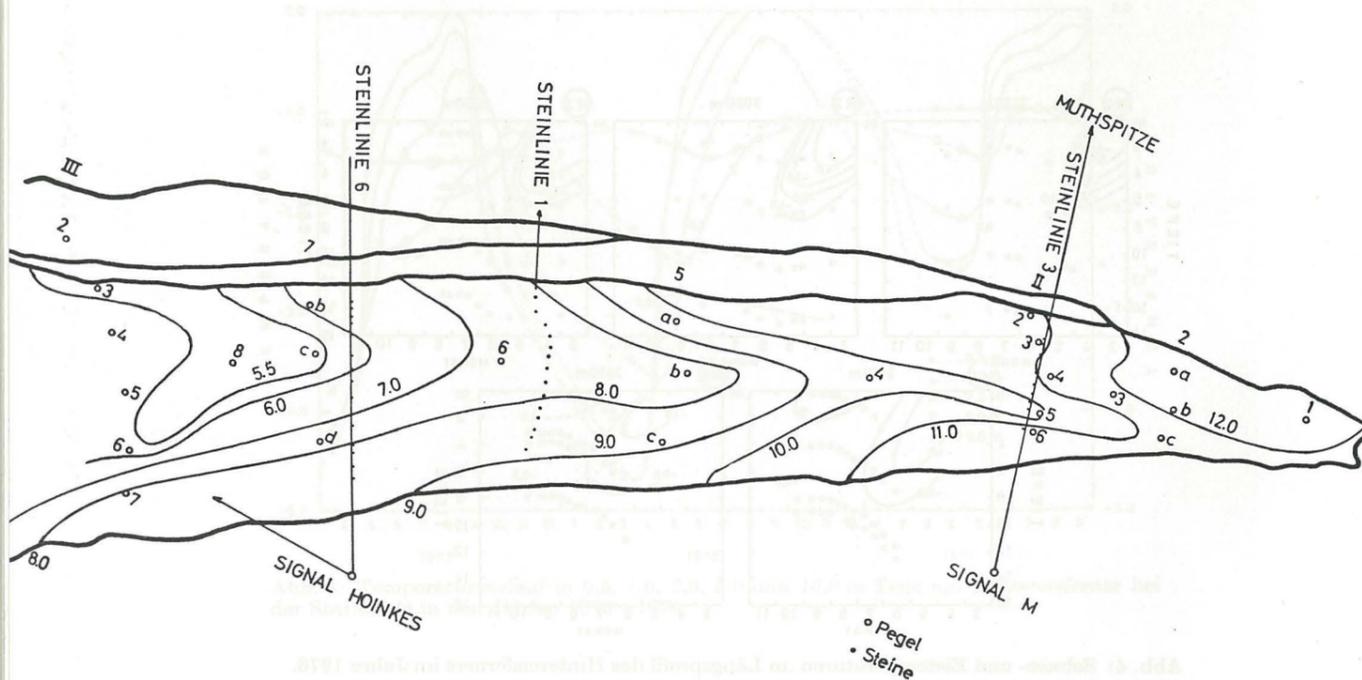


Abb. 4: Schnee- und Eistemperaturen im Längsprofil des Hintereisferners im Jahre 1976.

SIGNAL 'HANNES'



Isolinien der Vertikalbewegung m/Jahr auf der Zunge des Hintereisferners für den Zeitraum Sommer 1957 bis Sommer 1959.
Kartographische Grundlage: Photogrammetrische Aufnahme des Hintereisferners im Maßstab 1:10.000 im Sommer 1959 aufgenommen vom Institut für Photogrammetrie, Topographie und Allgemeine Kartographie der TH München.



Isolinien der Ablation [m Eis] vom 9. 8. 1957 bis 2. 9. 1959.

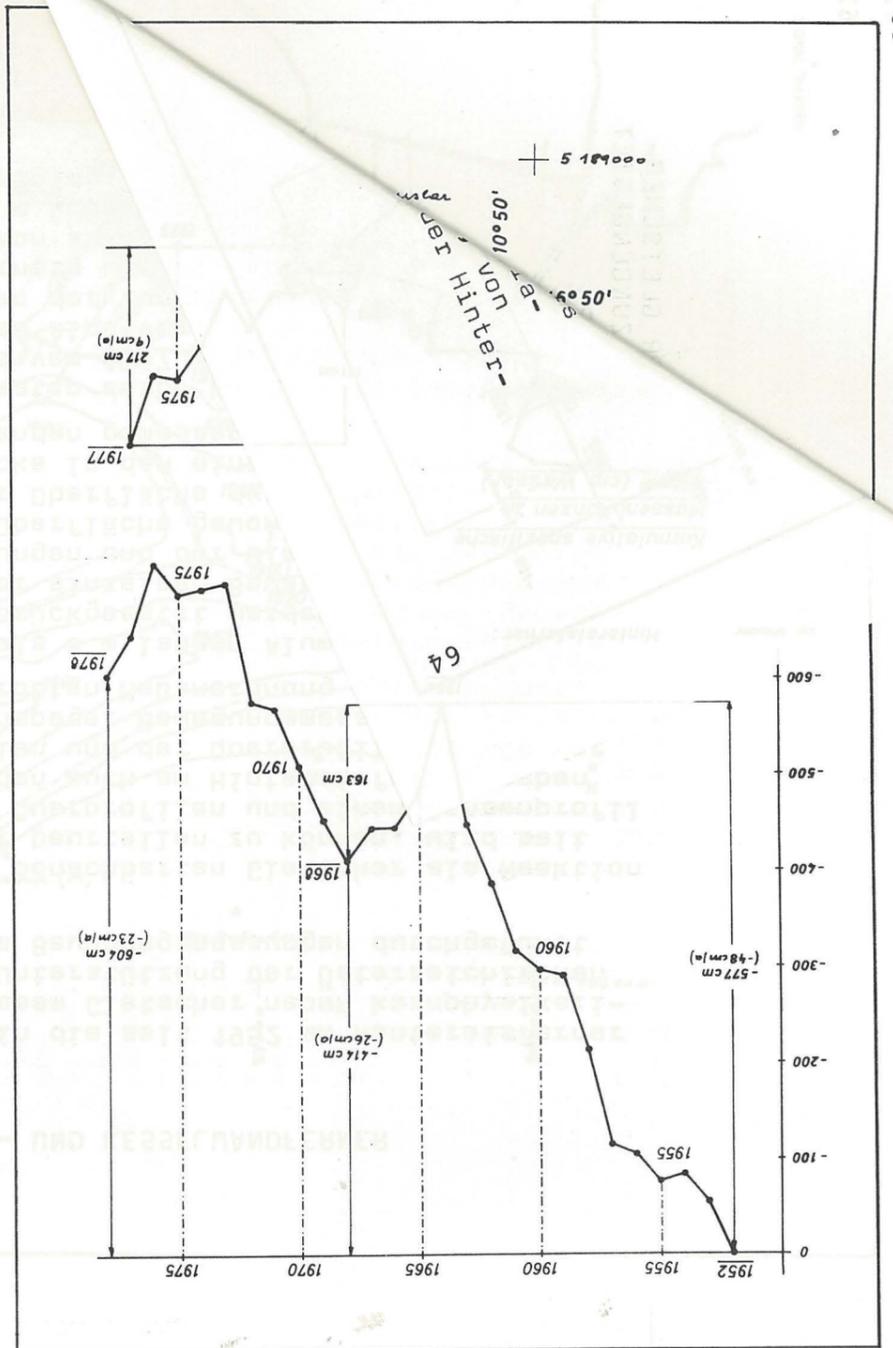
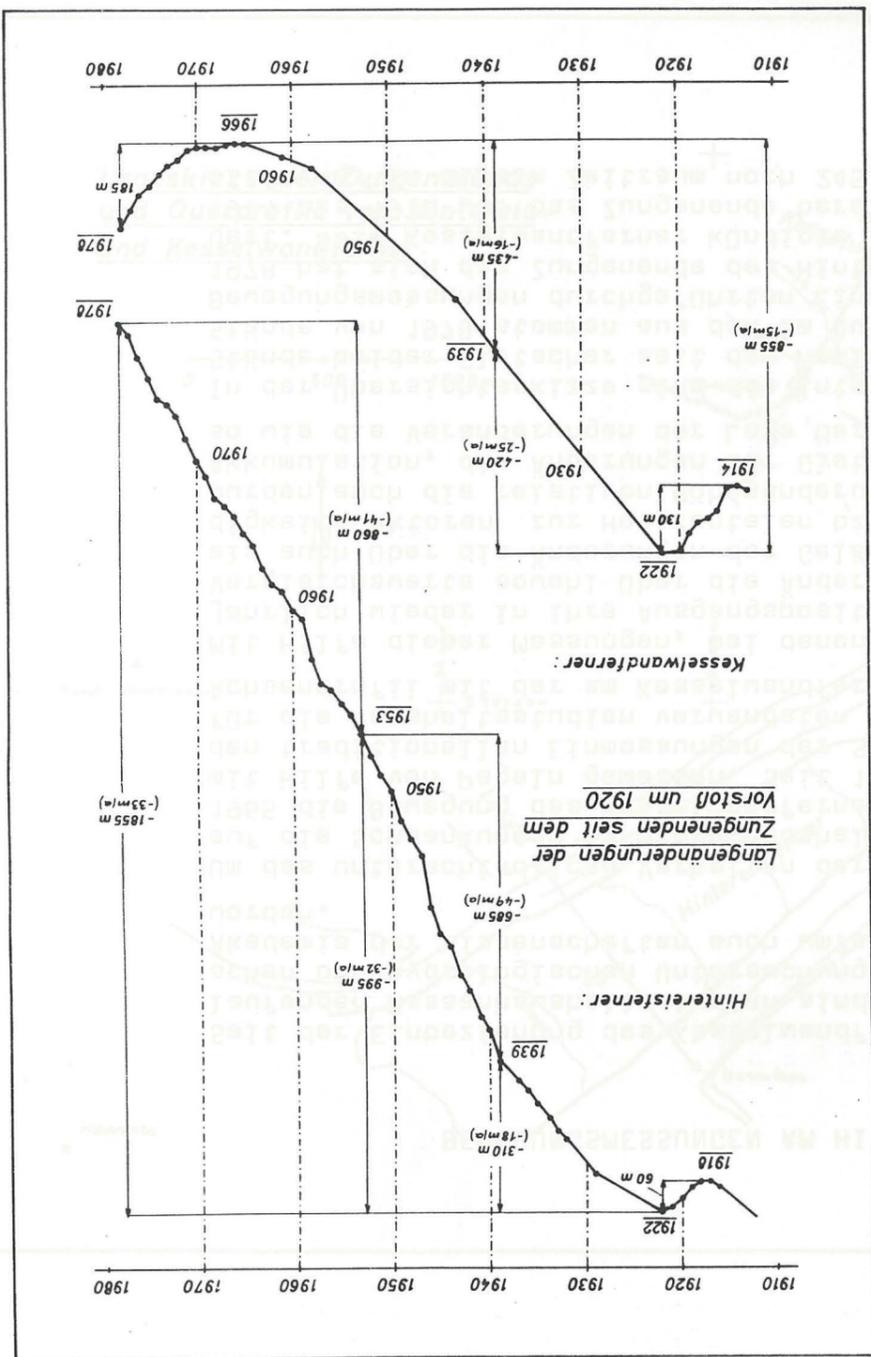
UNTERSUCHUNG DER VERTIKALEN KOMPONENTE DER GLETSCHERBEWEGUNG UND DER DEFORMATION DES EISES IM ZUNGENGEBIET DES HINTEREISFERNERS

K. Schram

Mit Hilfe von Pegeln und Steinlinien wurde die vertikale Komponente v_z der Geschwindigkeit des Eises auf der Zunge des Hintereisferners (Öztalener Alpen) in der Periode 1957 bis 1959 gemessen. Der Mittelwert von v_z betrug 1,50 m/Jahr für die betrachtete Fläche von 2,0 km², das bedeutet, daß 40 % des durch Ablation von der Zunge entfernten Eises durch die Bewegung ersetzt wurden. Die Beziehung zwischen Nettoablation und vertikaler Komponente der Geschwindigkeit spiegelt den stark negativen Massenhaushalt des Hintereisferners in den betrachteten Jahren wider.

Die Verteilung der Dilatationen wurde für eine Fläche von ungefähr 0,3 km² bestimmt, indem ein Netz von 30 Pegeln verwendet wurde. Dieses wurde im Sommer 1957 im Gebiet des Zusammenflusses des Hintereis- und Lagtaufererjochferners errichtet und in jedem Jahr bis zum Sommer 1963 neu vermessen. In den Zonen, in denen Spalten auftreten, wurden große Dehnungen gefunden, das Gebiet des Zusammenflusses zeigte nur Stauchungen.

Ber. Nat.-Med. Ver. Innsbruck, Band 54, S 75 - 150,
Innsbruck, November 1966



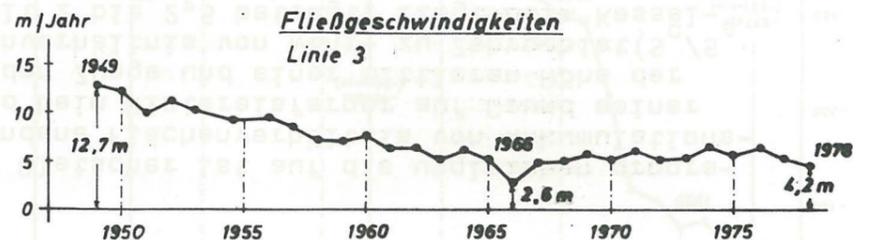
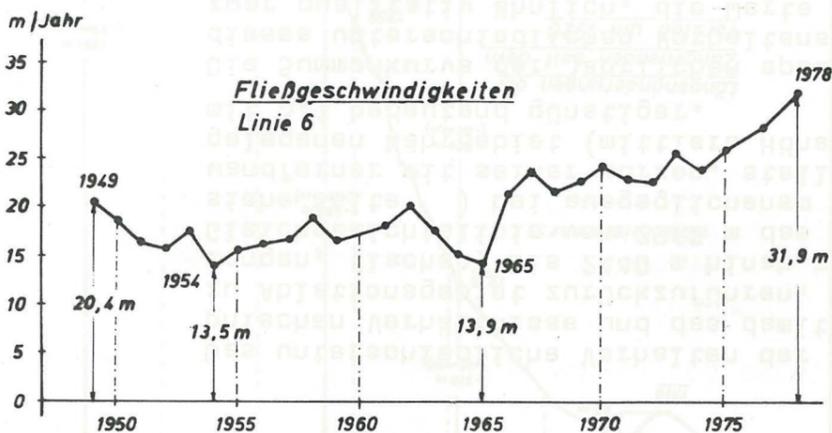
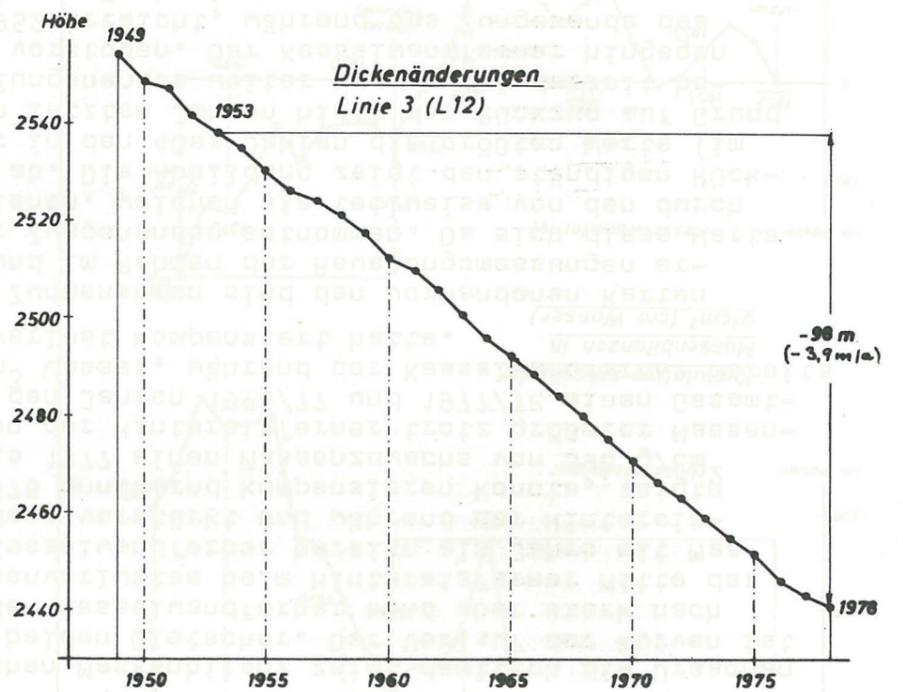
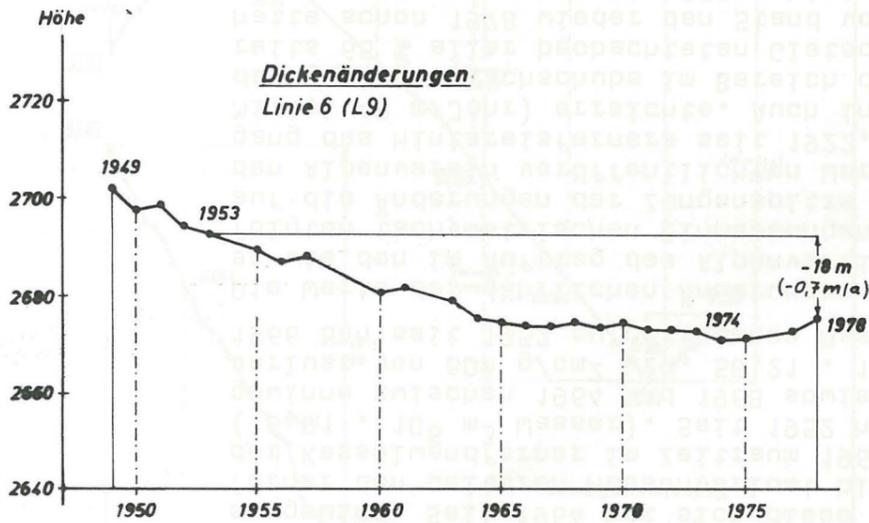
LÄNGENÄNDERUNGEN UND KUMULATIVE SPEZIFISCHE MASSENBIlanz

Das unterschiedliche Verhalten der beiden Gletscher ist auf die ungleichen orographischen Verhältnisse und das damit verbundene Flächenverhältnis von Akkumulations- zu Ablationsgebiet zurückzuführen. Während beim Hintereisferner auf Grund seiner langen, flachen, bis 2440 m hinab reichenden Zunge und einer mittleren Höhe der Gleichgewichtslinie von 2960 m das Flächenverhältnis von Nähr- zu Zehrgebiet (S_c/S_a siehe Seite) bei ausgeglichenem Haushalt 2 bis 2,5 beträgt, liegt beim Kesselwandferner mit seiner kurzen, steilen, bis 2700 m reichenden Zunge und seinem höher gelegenen Nährgebiet (mittlere Höhe der Gleichgewichtslinie 3090 m) dieser Wert mit 3,1 bedeutend günstiger.

Die Summenkurve der jährlichen spezifischen Massenbilanz zeigt deutlich die Ursachen dieses unterschiedlichen Verhaltens der beiden Gletscher. Der Verlauf der Kurven ist zwar qualitativ ähnlich, die Werte für den Kesselwandferner sind aber stark nach oben verschoben. Die Jahre geringen Massenverlustes beim Hintereisferner Mitte der 50er Jahre und um 1960 erscheinen beim Kesselwandferner bereits als Jahre mit Massengewinn. Seit 1964 hat sich diese Tendenz verstärkt und während der Hintereisferner den weiteren Massenverlust bis 1978 annähernd kompensieren konnte, zeigt der Kesselwandferner im Zeitraum 1964 bis 1977 einen Massenzuwachs von 390 g/cm^2 ($16,01 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Wasser). Seit 1952 hatten der Hintereisferner trotz größerer Massengewinne zwischen 1964 und 1968 sowie in den Jahren 1976/77 und 1977/78 einen Gesamtverlust von 604 g/cm^2 bzw. $58,21 \cdot 10^6 \text{ m}^3$ Wasser, während der Kesselwandferner bereits 1966 den seit 1952 aufgetretenen Massenverlust kompensiert hatte.

Die Werte der jährlichen Änderungen der Zungenenden sind den vorhandenen Karten so wie den im Auftrag des Alpenvereins und im Rahmen der Bewegungsmessungen erfolgten tachymetrischen Einmessungen der Zungenenden entnommen. Da sich diese Werte auf die Änderungen der Zungenspitze beziehen, weichen sie teilweise von den durch den Alpenverein veröffentlichten Werten ab. Die Abbildung zeigt den ständigen Rückgang des Hintereisfernens seit 1922, der in den 40er Jahren die größten Werte (im Mittel 49 m/Jahr) erreichte. Auch in den letzten Jahren hielt der Rückzug auf Grund des geringen Nachschubs im Bereich des Zungenendes weiter an, obwohl derzeit bereits 65 % aller beobachteten Gletscher vorstoßen. Der Kesselwandferner hingegen hatte schon 1978 wieder den Stand von 1952 erreicht, während das Zungenende des Hintereisfernens bereits 860 m hinter dieser Marke lag.

Dickenänderungen und Fließgeschwindigkeiten des Hintereisferners im Bereich der Steinlinien 6 und 3



DICKEÄNDERUNGEN UND FLIESSGESCHWINDIGKEITEN DES HINTEREISFERNERS

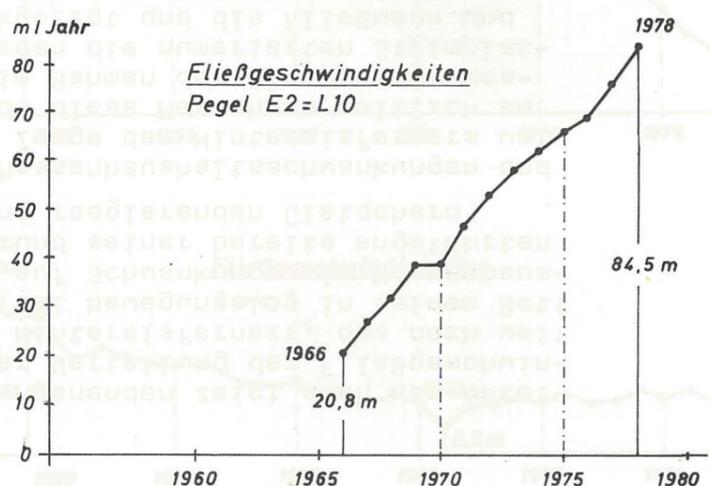
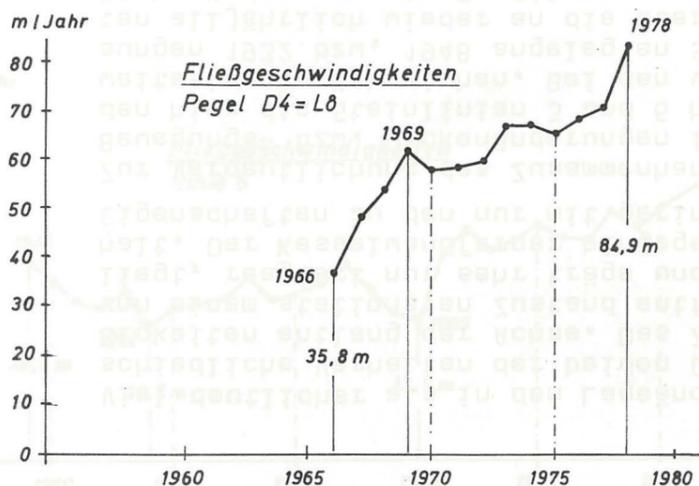
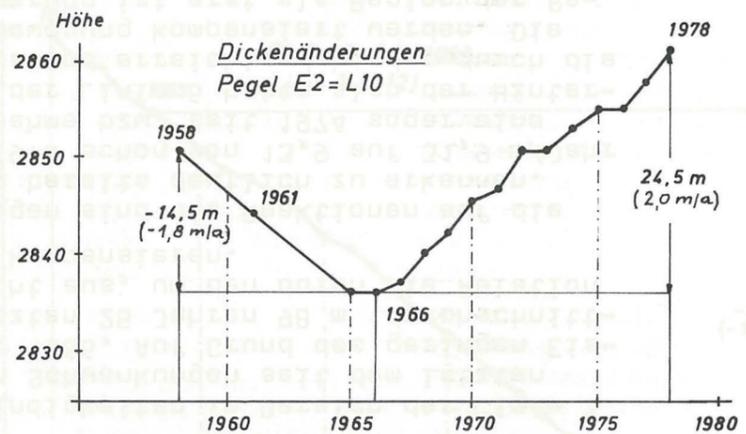
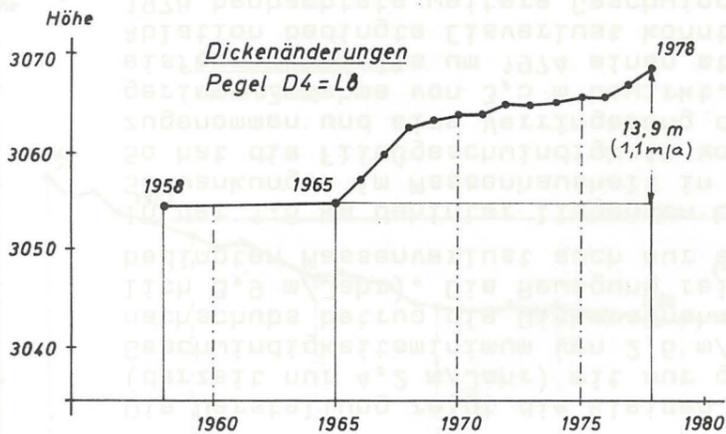
Viel deutlicher als in den Lageänderungen der Zungenenden zeigt sich das unterschiedliche Verhalten der beiden Gletscher in der Verteilung der Fließgeschwindigkeiten entlang der Achse. Das Zungenende des Hintereisferners, das noch weit von einem stationären Zustand entfernt ist und fast bewegungslos in seinem Bett liegt, reagiert nur sehr träge und abgeschwächt auf Schwankungen im Massenhaushalt. Der Kesselwandferner hingegen zählt auf Grund seiner bereits angeführten Eigenschaften zu den nur mit geringer Verzögerung reagierenden Gletschern.

Zur Verdeutlichung des Zusammenhanges zwischen Massenhaushaltsschwankungen und Bewegungs- bzw. Dickenänderungen im Bereich der Zunge des Hintereisferners werden hier die Steinlinien 3 und 6 herangezogen, da diese Messungen zeitlich am weitesten zurückreichen. Bei den von H. Schatz im Rahmen der Alpenvereinsmessungen 1932 bzw. 1948 angelegten Steinlinien werden die nummerierten Steinplatten alljährlich wieder an die Querprofile zurückgelegt und die Fließwege und Dickenänderungen im Profil gemessen. Um die langjährigen Meßreihen nicht zu unterbrechen, werden diese Steinlinienmessungen von H. Schneider seit 1967 konsequent fortgesetzt.

Die Darstellung zeigt die kleinen Fließgeschwindigkeiten im Bereich der Linie 3 (derzeit nur 4,2 m/Jahr) mit nur geringfügigen Schwankungen seit dem letzten Geschwindigkeitsminimum von 2,6 m/Jahr im Jahr 1966. Auf Grund des geringen Eisnachschiebs betrug die Dickenabnahme in den letzten 25 Jahren 98 m (durchschnittlich 3,9 m/Jahr). Die Bewegung reicht hier nicht aus, um den durch die Ablation bedingten Massenverlust auch nur annähernd zu kompensieren.

In der 1,5 km dahinter liegenden Linie 6 hingegen sind die Reaktionen auf die Schwankungen im Massenhaushalt in der Bewegung bereits deutlich zu erkennen. So hat die Fließgeschwindigkeit von 1965 bis 1978 schon von 13,9 auf 31,9 m/Jahr zugenommen und eine Verringerung der Dickenabnahme bzw. seit 1974 sogar eine geringe Zunahme von 3,5 m bewirkt. Im Bereich der Linie 6 hatte also der Hintereisferner bereits um 1974 einen stationären Zustand erreicht, d.h. der durch die Ablation bedingte Eisverlust konnte durch die Bewegung kompensiert werden. Die 1978 beobachtete weitere Geschwindigkeitssteigerung ist erst als Beginn der Reaktion auf die beiden positiven Haushaltsjahre 1976/77 und 1977/78 anzusehen.

Dickenänderungen und Fließgeschwindigkeiten des Kesselwandfenners im Bereich der Pegel D4 und E2



DICKENÄNDERUNGEN UND FLIEßGESCHWINDIGKEITEN DES KESSELWANDFENNERS

Der Kesselwandfennern wurde 1965 für genaue Bewegungsstudien dem Hintereisfennern deshalb vorgezogen, weil sich seine Zunge bereits damals in einem nahezu stationären Zustand befunden hatte und das Zungenende auf den Massenzuwachs Mitte der 50er Jahre durch die Ausbildung von kleinen Vorstoßmoränen reagiert hatte. Daher war schon damals eine Reaktion auf das extrem positive Haushaltsjahr 1964/65 zu erwarten.

Nach einer im großen und ganzen stationären Phase des Zungenendes zwischen 1966 und 1969 ist der erwartete Vorstoß, verstärkt durch die positiven Massenbilanzen der Jahre 1965/66 bis 1967/68, dann ab 1970 eingetreten. Auch die Haushaltsjahre 1970/71 bis 1976/77, von denen nur das Jahr 1972/73 eine negative und das Jahr 1975/76 eine ausgeglichene Bilanz aufwies, haben dazu beigetragen, daß das Zungenende infolge der enormen Geschwindigkeitssteigerungen insgesamt 185 m (im Mittel 26,4 m/Jahr) vorgestoßen ist.

In der Abbildung sind die bei den Pegeln D4=L8 und E2=L10 (siehe Skizze auf Seite) gemessenen horizontalen Geschwindigkeitskomponenten und Dickenänderungen zusammengestellt, um einen Einblick in die gewaltigen Veränderungen der ganzen Gletscherzunge des Kesselwandfenners zu erhalten. Unterhalb der mittleren Gleichgewichtslinie im Bereich des Pegels D4=L8 hat die Fließgeschwindigkeit seit 1965 von 35,8 auf 84,9 m/Jahr zugenommen, verbunden mit einer Dickenzunahme von 13,9 m. Bei dem derzeit ca. 0,6 km oberhalb des Zungenendes stehenden Pegel E2=L10 war in diesem Zeitraum eine Geschwindigkeitssteigerung von 20,8 auf 84,5 m/Jahr und eine Dickenzunahme von 24,5 m zu beobachten. Hier zeigt sich, daß sich unmittelbare Zusammenhänge zwischen den Schwankungen im Massenhaushalt und den Geschwindigkeitsänderungen nur im höher gelegenen Bereich der Zunge feststellen lassen, während die Fließgeschwindigkeit im unteren Zungenteil fast linear zunimmt.

Am Zungenende selbst hat die Eigenbewegung seit Beginn des Vorstoßes bis 1977 von 26,7 auf 74,5 m/Jahr zugenommen. Über der Stelle, an der sich 1970 der tiefste Punkt der Zunge befand, dürften jetzt schätzungsweise mehr als 40 m Eis liegen. Alle Anzeichen deuten darauf hin, daß mit einer Fortdauer des kräftigen Vorstoßes des Kesselwandfenners gerechnet werden kann.

Dickenänderungen und Fließgeschwindigkeiten des Kesselwandlagers im Bereich der Pegel D4 und E2



Ein Großteil der Arbeiten wäre ohne die nun schon lang-jährige Unterstützung des Innenministeriums, durch die Bereitstellung von Flächenflugzeugen und Hubschraubern für Material- und Gerätetransporte, nicht möglich gewesen. Ausgeführt wurden diese Flüge von den Piloten der Flugeinsatzstelle Innsbruck, den Bezirksinspektoren K. Holzhammer, A. Prodingler, P. Strasser und N. Winter unter der Leitung von Abteilungsinspektor J. Neumayr, denen bei dieser Gelegenheit herzlichst gedankt wird.

La Météorologie, IV.
 Jaffé, A.: 1957: Aus der neueren Alpen-Gletscherforschung.
 Die Pyramide, H. 9-10

VERÖFFENTLICHUNGEN

Die folgende Zusammenstellung beschränkt sich auf die Arbeiten des Instituts für Meteorologie und Geophysik und bleibt dadurch ein Provisorium, das durch den bibliographischen Teil des österreichischen Gletscherkatasters abgelöst werden wird. Eine frühere glaziologische Bibliographie des inneren Ötztals wurde von Rudolph (1963) veröffentlicht. Unter den Beiträgen anderer Institute zur Erforschung des Hintereisferners seien vor allem die Dissertationen von O. Schimpp und W. Ambach erwähnt, die Messungen von I. Dirmhirn, so wie die zahlreichen Arbeiten, die unter Anleitung von W. Ambach im Rofental entstanden sind.

Dissertationen:

- 1959 A. Jaffé: Beiträge zur Kenntnis der Strahlungseigenschaften des Gletschereises.
- 1962 H. Lang: Massenhaushalt und Abfluß des Hintereis- und Kesselwandferners (Ötztaler Alpen) in den hydrologischen Jahren 1957/58 und 1958/59 (IGY, IGC).
- 1964 G. Wendler: Die Berechnung des Strahlungsanteils an der Ablation im Gebiet des Hintereis- und Kesselwandferners (Ötztaler Alpen) im Sommer 1958.
- 1966 I. Lauffer: Das Klima von Vent
- 1966 H. Queck: Massenhaushaltsstudien am Kesselwandferner (Ötztaler Alpen). Eine Untersuchung über Gesetzmäßigkeiten der Rücklagenstruktur und Rücklagenverteilung
- 1967 W. Schneider: Über Beziehungen zwischen den Massenhaushalten der Gletscher und der allgemeinen Zirkulation.
- 1973 E. Dreiseitl: Witterungsklimatologie von Vent und Massenbilanz des Hintereisferners 1955-1971
- 1977 L. Siogas: Die Luftdruckreihe Vent 1935 - 1970. Eine Analyse des Jahres- und Tagesperiodischen sowie des aperiodischen Schwankungsverhaltens an einer inneralpinen Talstation im Vergleich zu anderen Stationen des Alpenraums.
- 1978 H. P. Wagner: Strahlungshaushaltsuntersuchungen am Hintereisferner/Ötztal während der Hauptablationsperiode 1971.

Hoinkes, H.: 1952: Neue Niederschlagszahlen aus den zentralen Ötztaler Alpen. Jahresber. d. Sonnblick-Vereines, Jg.49-50

Hoinkes, H. und Untersteiner, N.: 1952: Wärmeumsatz und Ablation auf Alpengletschern. I. Vernagtferner (Ötztaler Alpen), August 1950. Geografiska Ann. 34, 1-2

Hoinkes, H.: 1953: Zur Mikrometeorologie der eisnahen Luftschicht. Archiv f. Met. etc. Serie A, Bd.4

Hoinkes, H.: 1953: Wärmeumsatz und Ablation auf Alpengletschern. II. Hornkees (Zillertaler Alpen), September 1951. Geografiska Annaler 35, H.2

Hoinkes, H.: 1954: Beiträge zur Kenntnis des Gletscherwindes. Archiv f. Met. etc. Serie B, Bd.6, H.1-2

Hoinkes, H.: 1954: Über glazial-meteorologische Arbeiten im Sommer 1952. Anzeiger d.math.natw.K.d.Ö.Ak.d.Wiss. No.15, Sitzung vom 9.Dezember 1954

Hoinkes, H.: 1954: Über Messungen der Ablation und des Wärmeumsatzes auf Alpengletschern mit Bemerkungen über die Ursachen des Gletscherschwundes in den Alpen. Publ.No.39 de l'Ass. Intern.de Hydrologie, Assemblée générale de Rome, tome 4.

Hoinkes, H.: 1955: Über die Schneumlagerung durch den Wind. Ein Beitrag zur Frage der Beurteilung der Leistungsfähigkeit von Niederschlagstotalisatoren im Hochgebirge. Jahresber. d. Sonnblick-Vereines f.d.Jahre 1953-55. Bd.51-53

Hoinkes, H.: 1956: Die Bedeutung des aufgefrorenen Eises (superimposed ice) für die Entstehung von Kryokonitlöchern. Zschr. f. Glkde. Bd.3

Hoinkes, H.: 1957: Über ein neues Instrument zur Messung der Strahlungsdurchlässigkeit von Gletschereis oder Schnee. La Météorologie, IV.

Jaffé, A.: 1957: Aus der neueren Alpen-Gletscherforschung. Die Pyramide, H.9-10

- Hoinkes, H.: 1957: "Zur Bestimmung der Jahresgrenzen in mehr-jährigen Schneeansammlungen." Archiv, Bd.8, B, 56-60. 1957
- Hoinkes, H.: 1958: Das glazial-meteorologische Forschungsprogramm in den Ötztaler Alpen. Ber.d.Dt.Wetterdienstes No.54, 8-13
- Jaffé, A.: 1958: Neuere Albedo- und Extinktionsmessungen an Gletschereisplatten. Ber.d.Dt.Wetterdienstes No.54, 273-274
- Jaffé, A.: 1960: Über Strahlungseigenschaften des Gletschereises. Archiv MGB, Ser.B, Bd.10, Hft.3
- Hoinkes, H. u. R. Rudolph: Variations in the Mass-Balance of Hintereisferner (Ötztal Alps), 1952-61, and their relation to variations of climatic elements. Symposium of Obergurgl 10-18 IX 1962. IASH Publ.No.58, 16-28, 1962
- Hoinkes, H.: Schwankungen der Alpengletscher - ihre Messung und ihre Ursachen. Die Umschau 62, 558-562, 1962.
- Hoinkes, H. u. H. Lang: Winterschneedecke und Gebietsniederschlag 1957/58 und 1958/59 im Bereich des Hintereis- und Kesselwandferners (Ötztaler Alpen). Archiv f. Meteorologie etc. B, Bd.11, 424-446, 1962
- Hoinkes, H. and R. Rudolph: Mass-Balance studies on the Hintereisferner, Oetztal Alps, 1952-1961. Journal of Glaciology, Vol.4, No.33. 266-278, 1962
- Rudolph, R.: Abflußstudien an Gletscherbächen. Methoden und Ergebnisse hydrologischer Untersuchungen in den zentralen Ötztaler Alpen in den Jahren 1953-1955. Veröffentl. d. Museum Ferdinandeum in Innsbruck. Bd.41, 117-266, 1962
- Hoinkes, H. u. H. Lang: Der Massenhaushalt von Hintereis- und Kesselwandferner (Ötztaler Alpen), 1957/58 und 1958/59. Archiv f. MGB, B, 12, 284-320, 1963
- Ambach, W. and H. Hoinkes: The heat balance of an Alpine Snowfield (Kesselwandferner, 3240 m. Oetztal Alps, Aug.11-Sept.8, 1958). Preliminary communication, Publ.No.61 de l'Assoc. Internat. d'Hydrologie Scientifique, 24-36, Assemb.Gen. de Berkeley 1963

- Rudolph, R.: A brief account of the geography of the Central Oetztal Alps with special reference to its glaciology. Bulletin IASH, VIII, No.2, 126-131, 1963
- Rudolph, R.: Glaciological Bibliography of the Central Oetztal Alps. Bulletin IASH, VIII, No.2, 132-139, 1963
- Rudolph, R.: Die Eisablation auf dem Hintereisferner im Haushaltsjahr 1953/54, 58/59. Jahresber.d. Sonnblick-Vereins f.d. Jahre 1960-1961, 34-50, 1963
- Hoinkes, H.: Glacial Meteorology. Research in Geophysics, Vol.2, Solid Earth and Interface Phenomena, ch.15, 391-424, MIT-Press, Cambridge, Mass, 1964
- Wendler, G.: Die Berechnung des Strahlungsanteiles an der Ablation im Gebiet des Hintereis- und Kesselwandferners (Ötztaler Alpen) im Sommer 1958. Dissertation Universität Innsbruck 1964, 132 S. 35 Tab. 44 Abb.
- Howorka, F.: A steam-operated ice drill for the installation of ablation stakes on glaciers. Journal of Glaciology 5, 749-750, 1965
- Hoinkes, H.: Zirkulationsbedingte Gletscherschwankungen. Carinthia II, 24.Sonderheft (VIII.Int.Tagung f. Alpine Met. Villach 1964), 272-280, Wien 1965
- Lang, H.: Hydrometeorologische Ergebnisse aus Abflußmessungen im Bereich des Hintereisferners (Ötztaler Alpen) in den Jahren 1957-1959. Archiv MGB, B, 14, 280-302, 1966
- Queck, H.: Massenhaushaltsstudien am Kesselwandferner (Ötztaler Alpen). Dissertation Universität Innsbruck 1966, 124 S. mit Anhang: 56 Tab., zahlr. Abb.(hektogr.)

IHD/IHP
Nr.1

- Hoinkes, H., E. Dreiseitl, F. Howorka, I. Lauffer, H. Queck, W. Schneider and H. Slupetzky: Combined water, ice and heat budget investigations in the Austrian Alps, carried out during the Internat. Hydrological Decade, 1964 to 1966. Final Report, UNESCO Contract NS/2803/65, May 1967, 89 pp., 16 Tab., 35 Fig. (mimeogr.)

IHD/IHP Nr.

- 2 Wendler, G.: Die Vergletscherung in Abhängigkeit von Exposition und Höhe und der Gebietsniederschlag im Einzugsgebiet des Pegels Vent in Tirol. Arch. f. MGB, B, 15, 260-273, 1967
- 3 Hoinkes, H.: Gletscherschwankungen und Wetter in den Alpen. 9.Int. Tagung f. Alpine Met. in Brig u. Zermatt, Sept.1966. Veröffentl.d.Schweizer Met. Zentralanstalt Nr.4, 9-24, Zürich 1967
- 4 Hoinkes, H. und G. Wendler: Die Berechnung des Strahlungsanteils an der Ablation im Gebiet des Hintereis- und Kesselwandferners (Ötztaler Alpen) im Sommer 1958. Vorläufige Mitteilung. 9.Int.Tagung f. Alpine Met. in Brig u. Zermatt. Sept. 1966. Veröff.d.Schweizer Met. ZA Nr.4, 43-45, Zürich 1967
- 5 Hoinkes, H.: Austria (National Report) in Annals of the IGY, Vol.XLI Glaciology p.63-65. Pergamon Press, Oxford 1967
- 6 Hoinkes, H.: Glacier Variation and Weather. Journal of Glaciology Vol.7, No.49, p.3-19, 1968
- 7 Hoinkes, H. und G. Wendler: Der Anteil der Strahlung an der Ablation von Hintereis- und Kesselwandferner. Archiv f. MGB, B, Bd.16, 195-236, 1968
- 8 Hoinkes, H.: Glaciology in the Internat. Hydrological Decade. Presidential address. Comm. of Snow and Ice, IUGG General Assembly Bern 1967. Int.Assoc.Scient.Hydrol., Publ.No.79, p.7-16, 1968
- 9 Hoinkes, H., F. Howorka and W. Schneider: Glacier mass budget and mesoscale weather in the Austrian Alps 1964 to 1966. IUGG General Assembly Bern 1967. Int.Assoc.Scient.Hydrology Publ.No.79, p.241-254, 1968
- 10 Schneider, W.: Über Beziehungen zwischen den Massenhaushalten der Gletscher und der allgemeinen Zirkulation. Dissertation Universität Innsbruck 1967. 93 S., zahlr.Abb.u.Tab.(hektogr.)

IHD/IHP Nr.

- 11 Hoinkes, H.: Surges of the Vernagtferner in the Ötztal Alps since 1599. Canadian Journal of Earth Sciences, Vol.6, No.4, p.853-861, 1969
- 12 Schneider, H.: Die Grundlagen der Vermessungen am Kesselwandferner (Ötztaler Alpen) und die Bewegung dieses Gletschers in den Haushaltsjahren 1965/66, 1966/67 und 1967/68. Dissertation Univ. Innsbruck 1970, 186 S., zahlr.Abb., Tab. u. Programme im Anhang (hektogr.)
- 13 Hoinkes, H.: Ergebnisse des glazial-meteorologisch-hydrologischen IHD-Programmes im Rofental bei Vent 1964-1968. Österr. Wasserwirtschaft Jg.22, H.5/6, S.101-113, 1970
- 14 Hoinkes, H.: Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. Ergebnisse der Meßreihe Hintereisferner (Ötztaler Alpen) 1953-1968. Zeitschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie, Bd.VI, S.37-90, 1970
- 15 Hoinkes, H.: Über Beziehungen zwischen der Massenbilanz des Hintereisferners (Ötztaler Alpen, Tirol) und Beobachtungen der Klimastation Vent. Annalen der Meteorologie, Neue Folge Nr.5 (1971), S.259-264
- 16 Lang, H. u. G.Patzelt: Die Volumenänderung des Hintereisferners (Ötztaler Alpen) im Vergleich zur Massenänderung im Zeitraum 1953-1964. Zeitschr. f.Glkde. Bd.VII, H.1-2, 1971, S.39-55
- 17 Dreiseitl, E.: Witterungsklimatologie von Vent und Massenbilanz des Hintereisferners 1955-1971. Ein Beitrag zur Meteorologie der Gletscher. 81 S., 36 Tab., 15 Abb. (vervielf.), Dissertation Innsbruck 1973
- 18 Hoinkes, H., E. Dreiseitl and H.P. Wagner: Mass Balance of Hintereisferner and Kesselwandferner 1963/64 to 1972/73 in Relation to the Climatic Environment. Preliminary results of the combined water, ice and heat balances project in the Rofental. IHD-Activities in Austria 1965-1974; Report of the Int. Conference on the Results of the IHD, 2-14 Sept. 1974 in Paris, p.42-53, Wien 1974

IHD/IHP Nr.

- 19 Hoinkes, H. & R. Steinacker: Zur Parametrisierung der Beziehung Klima-Gletscher. *Rivista Italiana di Geofisica*, 1, 97-104, Torino, 1975
- 20 Hoinkes, H., A. Lässer und G. Patzelt: Die Vergletscherung der Zillertaler Alpen, ihre Veränderungen und ihr Einfluß auf die Hydrologie. Hochwasser- und Lawinenschutz in Tirol. Herausgeg. v. Land Tirol, 321-334. Innsbruck, 1975
- 21 Hoinkes, H. & R. Steinacker: Hydrometeorological implications of the mass balance of Hintereisferner, 1952-53 to 1968/69. IAHS-AISH Publ. No.104, 144-149, 1975.
- 22 Schneider, H.: Die Karte des Kesselwandferners 1971 und die Grundlagen der Vermessungen. *Zeitschr.f.Gletscherkunde und Glazialgeologie*, Bd.XI, Hft.2, S.229-244
- 23 Markl, G.: Massenhaushaltswerte von Hintereisferner und Kesselwandferner 1968/69 - 1974/75. *Zeitschr. f. Gletscherkunde u. Glazialgeologie*. Bd.XI, Hft.2, S.271-272
- 24 Siogas, L.: Die Windverhältnisse an der Station Hintereis (3026 m) in den Öztaler Alpen. *Archiv f. MGB,B,25,79-89* (1977)
- 25 Siogas, L.: Die Luftdruckreihe Vent 1935-1970. Eine Analyse des jahres-u. tagesperiodischen sowie des aperiodischen Schwankungsverhaltens an einer inneralpinen Talstation im Vergleich zu anderen Stationen des Alpenraumes. Diss. Univ.Innsbruck, 150 S., 34 Tab., 25 Abb., Feb.1977
- 26 Kuhn, M.: Recent Glaciological Work in Austria. *Ice*, No.50: 2-6 (1976)
- 27 Kuhn, M.: Recent Glaciological Work in Austria, *Ice*, No.54: 2-4 (1977)
- 28 Rott, H.: Analyse der Schneeflächen auf Gletschern der Tiroler Zentralalpen aus Landsat-Bildern. *Zeitschr.f.Gletscherkunde u. Glazialgeologie XII* (1976), 1, 1-28 (1977)
- 29 Dreiseitl, E.: Zur Berechnung der Eisablation. *Zeitschr.f.Gletscherkunde u. Glazialgeologie XII* (1976), 1, 75-78 (1977)

IHD/IHP Nr.

- 30 Wagner, H.P.: Strahlungshaushaltsuntersuchungen am Hintereisferner/Öztal während der Hauptablationsperiode 1971. Diss. Univ. Innsbruck, 216 S., 99 Tab., 46 Abb. März 1978.
- 31 Rott, H.: Analyse des Gletscherverhaltens aus Satelliten- und Luftbildern. Bericht über die 14. Int. Tagung für Alpine Meteorologie vom 15.-17. Sept. 1976 in Rauris, Salzburg. *Arbeiten aus der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik*, Heft 31. Publikation Nr. 227, 5/1-2, Wien 1978.
- 32 Markl, G.: Massenhaushaltsstudien am Hintereisferner. *Wie 31*, S.55/1
- 33 Wagner, H.P.: Strahlungshaushaltsuntersuchungen am Hintereisferner (Öztaler Alpen) während der Ablationsperiode 1971. *Wie 31*, S.56/1
- 34 Dreiseitl, E.: Witterungsklimatologie von Vent und Massenbilanz des Hintereisferners. *Wie 31*, S. 57/1-5
- 35 Kuhn, M.: Die Höhe des Geschwindigkeitsmaximums im Gletscherwind als Parameter des Wärmehaushalts. *Wie 31*, S.69/1-8
- 36 Markl, G. & H.P. Wagner: Messungen von Eis- und Firntemperaturen am Hintereisferner (Öztaler Alpen). Symposium über die Dynamik temperierter Gletscher. *Zeitschr. f. Gletscherkunde und Glazialgeologie*, 13(1977), 261-265 (1978).
- 37 Kuhn, M.: On the non-linearity of the glacier length response to climatic changes. Comments on a paper by H.W. Posamentier. *J. of Glaciology*, 20(83):443-445
- 38 Kuhn, M.: On the computation of heat transfer coefficients from energy balance gradients. *Journal of Glaciology*, Vol. 22(87).