

DIE MASSENBILANZ DES FILLECKKEESES (HOHE TAUERN)

VON 1964 BIS 1978

Ein Beitrag zur Charakterisierung des Massenbilanz- und Umsatz-
verhaltens von sehr kleinen Gletschern

Heinz Slupetzky, Salzburg

Zusammenfassung

Es werden die Ergebnisse von Massenbilanzuntersuchungen an einem sehr kleinen Gletscher, dem Filleckkees im Stubachtal, Hohe Tauern (Oesterreich) für die Messerie 1964 bis 1979 vorgeführt. Von 15 Massenbilanzen waren 11 positiv und nur 4 negativ. Der Massengewinn betrug in diesem Zeitraum 0.590 Mio m³ Wasseräquivalent oder 3.29 m mittlere spezifische Nettobilanz, von 1965 bis 1978 0.728 Mio m³ oder 4.55 m. Das IHD-Mittel 1964/65 bis 1973/74 ist 26.1 g/cm². Zur Erklärung der Besonderheiten und Eigenschaften des kleinen Gletschers werden die jährlichen Haushaltskurven, das Flächenverhältnis S_c/S und der spezifische Nettoumsatz diskutiert. Der spezifische Nettoumsatz, der definiert wird als die Summe der Beträge der Nettoakkumulation und Nettoablation $B_c/S + |B_a/S|$ ist bei diesem kleinen Gletscher sehr grossen Schwankungen unterworfen, erreicht aber bei ausgeglichenem Haushalt den geringen Betrag von 25 g/cm²; das Flächenverhältnis S_c/S ist dann 0.5. Unter Verwendung eines Korrelationsdreieckes wird die jährlich wechselnde Ausdehnung der Eis-, Firn- und Altschnee areale an der Oberfläche des Filleckkeeses dargestellt und gezeigt, dass bei gleichem Flächenverhältnis S_c/S von 0.02 die Massenbilanz 1972/73 nur -86 g/cm² war, weil der Grossteil des Gletschers firnbedeckt blieb, während 1963/64 die Massenbilanz -126 g/cm² betrug, da fast nur Eis exponiert war. Massenbilanzuntersuchungen an sehr kleinen Gletschern tragen zum Verständnis der Klima-Gletscherbeziehung bei und helfen ihre Eigenschaften und ihr Verhalten im Unterschied zu grösseren Gletschern und anderen Gletschertypen zu charakterisieren.

The mass balance of the Filleckkees (Hohe Tauern) from 1964 to 1978. -

A contribution for characterizing the mass balance- and mass exchange behaviour of very small glaciers.

Abstract

The results of mass balance studies on a tiny glacier, the Filleckkees in the Stubach Valley, Hohe Tauern (Austria) for the measurement series 1964 through 1978 are given. Of the 15 mass balances 11 were positive and only 4 negative. The mass gain within this period was 0.590 m³ waterequivalent or 3.29 m mean specific net mass balance, and 0.728 Mio m³ or 4.55 m from 1965 to 1978. The IHD-average for 1964/65 to 1973/74 was 26.1 g/cm². To explain the peculiarities and properties of the small glacier the yearly mass balance curves, the AAR and the specific net mass exchange are discussed. The specific net mass

exchange which is defined as the sum of the two quantities net accumulation and net ablation $B_C/S + |B_a/S|$ shows very high variations for this tiny glacier but reaches a small quantity of 25 g/cm^2 for a balanced year; under this conditions the AAR is 0.5. Using a triangular correlation graph the yearly variations of the ice-, firn- and old snow areas of the surface of the Filleckkees are presented indicating that two years had the same AAR of 0.02 but the mass balance of 1972/73 was only -86 g/cm^2 when most of the glacier was covered by firn of the previous years while 1963/64 the mass balance gave -126 g/cm^2 for there was almost only ice exposed. Mass balance investigations on very small glaciers contribute to the understanding of the climate - glacier relations and help to characterize their properties and behaviour compared to large glaciers and other glacier types.

Einleitung

Das Filleckkees ist ein Gletscherfleck im Stubachtal in der Granatspitzgruppe in den Hohen Tauern. Es liegt zwischen 2775 und 2925 m, hat eine Fläche von nur 0.16 km^2 und ist süd- bis südostexponiert. Das Filleckkees (Abb. 1) ist der



Abb. 1 Das kleine Plateau um das Hochfilleck (2943 m, links des Windkolkes) zwischen dem Stubach- und dem Oedtal (Hintergrund). Links des Gipfels liegt das $160\,000 \text{ m}^2$ grosse, südsüdostexponierte Filleckkees, rechts davon das Rubinkees. (Foto H. Slupetzky vom 19.9.1975).

südliche Teil eines kleinen, vergletscherten Plateaus um das Hochfilleck (2943m); den Nordwestteil bildet das Rubinkees, der Ostteil besteht nur mehr aus einem sehr kleinen Eisfleck zwischen dem auslaufenden Nordgrat des Hochfillecks und dem Nordgipfel (2925 m) des Plateaus. Die Vergletscherung um das Hochfilleck ist als ein Rest eines früher grösseren Plateaugletschers anzusehen, der im vorigen Jahrhundert und bis in die Dreissigerjahre hier vorhanden war. Der allgemeine Gletscherrückgang seit den Zwanzigerjahren hat zu einer Abtrennung des Filleckkeeses vom eigentlichen Stubacher Sonnblickkees geführt. Heute besteht wieder eine schmale Verbindung zum Sonnblickkees in Form einer Firnzunge.

Am Stubacher Sonnblickkees (einschliesslich Filleckkees) werden seit 1963 Massenbilanzuntersuchungen durchgeführt. Diese Forschungen stehen im Rahmen des Projektes "Kombinierte Studien von Eis-, Wasser- und Wärmehaushalt vergletschertter Einzugsgebiete" während der Internationalen Hydrologischen Dekade (IHD) von 1965 bis 1974 (P. Kasser, 1973; F. Müller, 1977) und des Nachfolgeprojektes des Internationalen Hydrologischen Programmes (IHP) von 1975 bis 1980.

Die jährlichen Massenbilanzen werden am Stubacher Sonnblickkees mit der direkten glaziologischen Methode unter Verwendung des "natürlichen" Haushaltsjahres (stratigraphic system) bestimmt. Bei der Berechnung der Bilanzen wurde das kleine Filleckkees zum Sonnblickkees gerechnet. Anlässlich der Bearbeitung der Ergebnisse aus den ersten acht Haushaltsjahren wurde der sogenannte spezifische Nettoumsatz des Stubacher Sonnblickkeeses untersucht (H. Slupetzky, 1974). Die dabei gefundenen systematischen Beziehungen warfen die Frage auf, welcher Art diese Zusammenhänge bei sehr kleinen Gletschern sind (H. Slupetzky, 1976), und welche Unterschiede sich zum Sonnblickkees und anderen, grösseren Gletschern ergeben. Es wurde daher nachträglich die Massenbilanz des kleinen Filleckkeeses gesondert berechnet, dazu standen ausreichend Messergebnisse und Kenntnisse über den Gletscher zur Verfügung.

Eine Darstellung der bei den Massenbilanzbestimmungen angewandten Methoden für die Feldarbeiten, Auswertungen und Berechnungen ist in H. Slupetzky, 1974 gegeben. Am Filleckkees wurde je nach Ausaperung während eines Haushaltsjahres die Ablation mit 1 bis 6 (1964) Pegeln und die Akkumulation durch Grabung von 1 bis 4 Schneeschächten, ergänzt durch zahlreiche Sondierungen (1965 ein

Schacht und 42 Sondierungen), gemessen. Eine Karte über den maximalen Stand der Ausaperung des Filleckkeeses und von einer Analyse des Haushaltes 1969/70 findet sich in H. Slupetzky, 1964. (S. 18 und S. 27). Die Genauigkeit einer jährlichen Massenbilanz wird auf etwa $\pm 5 \text{ g/cm}^2$ geschätzt.

Ergebnisse

a. Die Massenänderung des Filleckkeeses.

Von den 15 Massenbilanzen der Messreihe 1964 bis 1978 waren 11 positiv und nur 4 negativ (Tab. 1, Abb. 2). Der grösste jährliche Massenverlust wurde im Haushaltsjahr 1963/64 mit einer mittleren spezifischen Nettobilanz von -126 g/cm^2 , der grösste Massengewinn im Jahr 1964/65 mit 189 g/cm^2 gemessen; damit wurden zufälligerweise gleich zu Beginn der Haushaltsuntersuchungen die bisher aufgetretenen Extremwerte erfasst. (1963/64 wurde am Pegel Nr. 76 in einer Seehöhe von 2875.7 m der bisher grösste Abschmelzbetrag am Filleckkees von 237 cm = 213 g/cm^2 Wasseräquivalent festgestellt, und nahe dieser

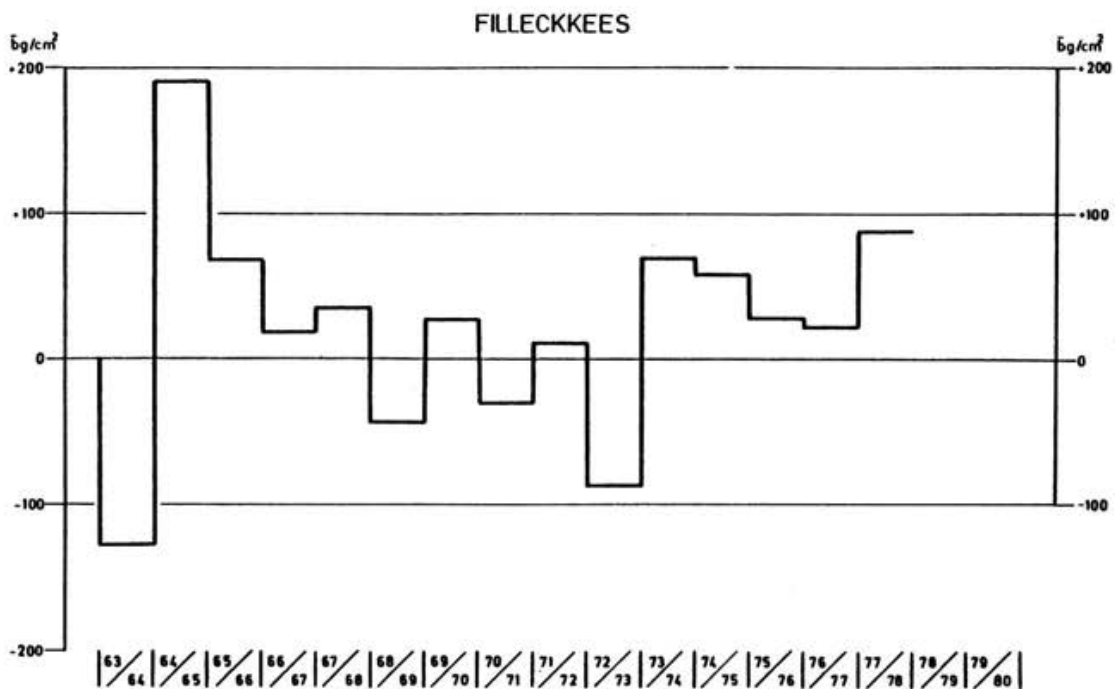


Abb. 2. Die Schwankungen der jährlichen mittleren spezifischen Netto-Massenbilanz

Tabelle 1. Massenbilanz des Filleckekeeses für die Messreihe 1963/64 bis 1977/78.

Jahr	S_c km ²	B_c 10 ⁶ m ³	S_a km ²	B_a 10 ⁶ m ³	S km ²	B 10 ⁶ m ³	\bar{b} g/cm ²	S_c/S	S_c/S_a	Dauer des natürlichen Haushaltsjahres
63/64	0.002	0.000	0.107	-0.138	0.109	-0.138	-126	0.02	0.02	26. 9. 63 - 16. 9. 64
64/65	0.160	0.302	0.000	0.000	0.160	0.302	+189	1.00	∞	17. 9. 64 - 25. 8. 65
65/66	0.155	0.110	0.005	-0.001	0.160	0.109	+ 68	0.97	33. 80	26. 8. 65 - 17. 10. 66
66/67	0.126	0.042	0.034	-0.011	0.160	0.030	+ 19	0.79	3. 73	18. 10. 66 - 2. 10. 67
67/68	0.150	0.060	0.010	-0.003	0.160	0.056	+ 35	0.94	15. 74	3. 10. 67 - 18. 9. 68
68/69	0.013	0.003	0.147	-0.072	0.160	-0.068	- 43	0.08	0.09	19. 9. 68 - 24. 10. 69
69/70	0.144	0.050	0.016	-0.005	0.160	0.044	+ 28	0.90	9. 13	25. 10. 69 - 25. 9. 70
70/71	0.021	0.004	0.113	-0.044	0.134	-0.040	- 30	0.16	0.18	26. 9. 70 - 27. 9. 71
71/72	0.086	0.027	0.046	-0.010	0.132	0.016	+ 12	0.65	1. 85	28. 9. 71 - 10. 9. 72
72/73	0.003	0.001	0.138	-0.121	0.141	-0.121	- 86	0.02	0.02	11. 9. 72 - 21. 9. 73
73/74	0.145	0.103	0.003	-0.001	0.148	0.102	+ 69	0.98	53. 80	22. 9. 73 - 20. 9. 74
74/75	0.148	0.083	0.000	0.000	0.148	0.083	+ 56	1.00	∞	21. 9. 74 - 4. 10. 75
75/76	0.132	0.042	0.016	-0.001	0.148	0.041	+ 28	0.89	8. 42	5. 10. 75 - 31. 8. 76
76/77	0.122	0.041	0.026	-0.008	0.148	0.034	+ 23	0.82	4. 69	1. 9. 76 - 28. 10. 77
77/78	0.160	0.140	0.000	0.000	0.160	0.140	+ 87	1.00	319. 00	29. 10. 77 - 31. 8. 78

Stelle im darauffolgenden Haushaltsjahr 1964/65 eine Schneehöhe von 306 cm mit einem Wasserwert von 171 g/cm^2 am Haushaltsende gemessen; die maximale Schneehöhe war am Filleckkees in diesem Jahr am Ende der Ablationsperiode über 4 m). Stark negativ war auch das Haushaltsjahr 1972/73 mit -86 g/cm^2 , beträchtlich positiv schlossen die Haushaltsjahre 1977/78 mit 87 g/cm^2 und 1965/66 mit 68 g/cm^2 ab.

Betrachtet man die jährlichen Schwankungen des mittleren spezifischen Nettohaushaltes (Abb. 2), so fällt neben dem Tiefst- und Höchstwert zu Beginn der Messreihe die Periode 1965 bis 1968 mit positiven Bilanzen, die Periode 1969 bis 1973 mit überwiegend negativen Haushalten und die Periode 1974 bis 1978 mit fünf positiven Bilanzen in ununterbrochener Reihenfolge auf. Die spezifische Bilanz für die Messreihe 1964-78 beträgt im Mittel 21.9 g/cm^2 . Das IHD-Mittel 1964/65 bis 1973/74 ist 26.1 g/cm^2 . Zum Vergleich dazu ist letzteres beim gesamten Stubacher Sonnblickkees 26.0 g/cm^2 , beim Kesselwandferner 28.0 g/cm^2 und beim Hintereisferner -12.0 g/cm^2 (G. Markl, 1976).

In Abb. 3 ist die Summenkurve der jährlichen mittleren spezifischen Massenbilanzen vom Filleckkees dargestellt. Nach der Periode mit überwiegend Massenverlust bis 1964 setzt mit dem extrem positiven Haushaltsjahr 1964/65 ein Abschnitt mit Massenzuwachs ein, der zwischen 1969 und 1973 unterbrochen wurde, ohne dass hier jedoch ähnlich stark negative Werte erreicht wurden, wie vor 1965. Nach 1973 setzt sich der Trend des Massengewinns verstärkt fort. Von 1964 bis 1978 hat das Filleckkees 0.590 Mio m^3 Wasseräquivalent an Masse zugenommen, in den Jahren 1965 bis 1978 betrug der Zuwachs 0.728 Mio m^3 . Der spezifische Nettomassenzuwachs belief sich auf 3.29 m Wasseräquivalent für den ersteren und 4.55 m für den letzteren Zeitraum. Während der IHD 1965-74 betrug der Massengewinn des Filleckkeeses 0.430 Mio m^3 (2.61 m) und der des gesamten Stubacher Sonnblickkeeses 4.659 Mio m^3 (2.60 m).

b. Die Haushaltskurven

Das Filleckkees erstreckt sich nur über eine Höhenzone von 150 m zwischen 2775 und 2925 m ü.M. Es wurden zunächst, wie oft üblich, Haushaltskurven für 50 m-Höhenstufen gezeichnet. Da jedoch in der Höhenstufe 2775 bis 2800 m nur 5400 m^2 oder 3.4% der Gletscherfläche liegen und in der Stufe zwischen 2900 m und 2925 m 9640 m^2 oder 6% ist das jährliche Ergebnis hier zu sehr

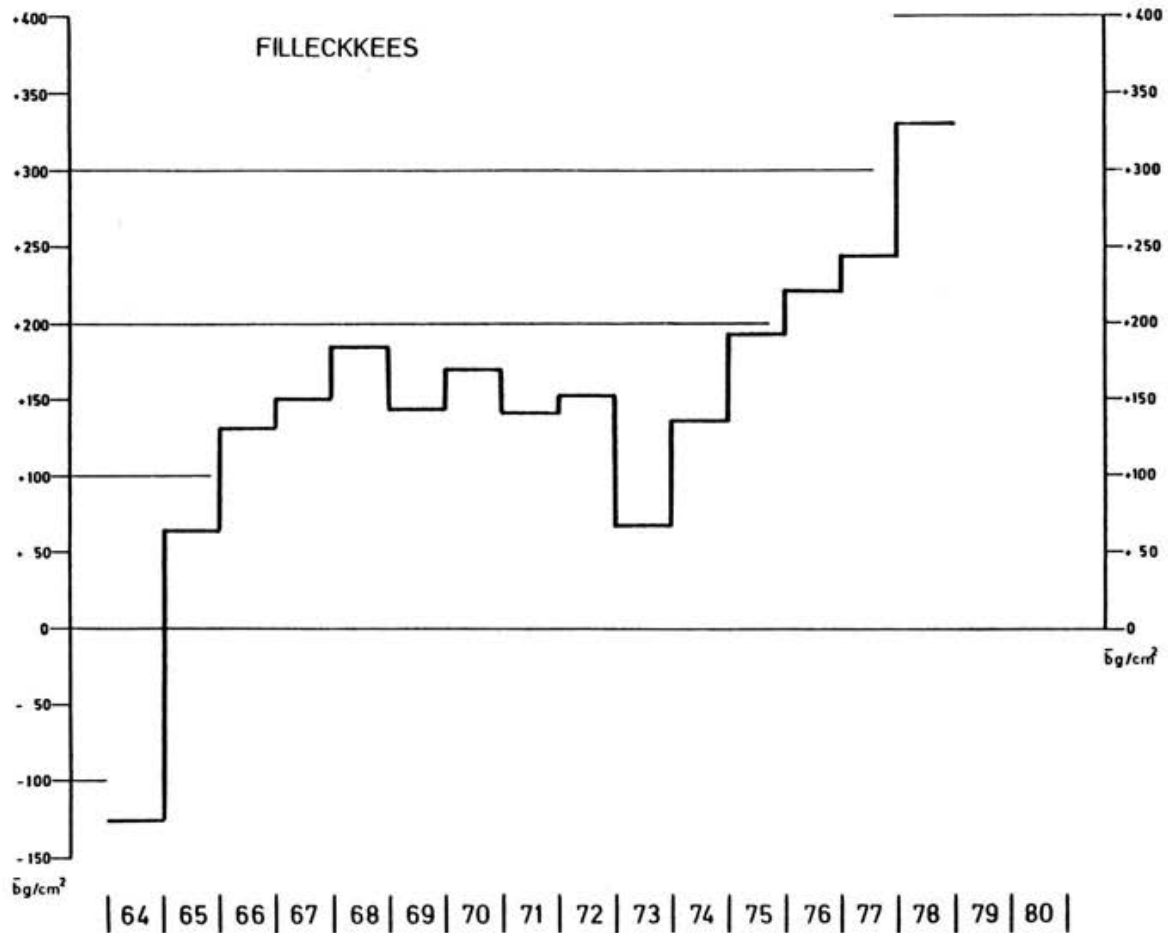


Abb. 3. Summenkurve der mittleren spezifischen Massenbilanz

von Zufälligkeiten abhängig. Es wurde daher in "100"-m-Höhenstufen von 2775 bis 2850 und 2950 bis 2925 m zusammengefasst. Es stellt sich in diesem Zusammenhang überhaupt die Frage, ob es sinnvoll ist, eine Funktion mit der Höhe bei so geringer Höhenerstreckung des Gletschers zu verwenden.

In Abbildung 4 ist die spezifische Nettobilanz am Filleckkees und die Netto-Massenbilanz für Mittelwerte je 100 m-Höhenstufe dargestellt (Tab. 2). Der Gletscher ist zumeist zur Gänze Akkumulations- oder Ablationsgebiet. Die grossen Schwankungen im jährlichen Bilanzvolumen machen den exzessiven Charakter des Gletschers deutlich. Bisher traten in den beiden Höhenstufen im Mittel immer nur negative oder positive ΔS -Werte auf. Positive Werte in der oberen und negative Werte in der unteren 100 m-Höhenstufe wären bei einem ausgeglichenen Haushalt, der bisher nicht vorkam, möglich. Aber auch wenn eine genau ausge-

Tabelle 2. Spezifische Massenbilanz b (g/cm^2) je "100" m-Höhenstufen für die Messreihe 1963/64 bis 1977/78.

Höhenstufe	ΔS 10^3m^2	$b \Delta S$ 10^3m^3	b g/cm^2	ΔS 10^3m^2	$b \Delta S$ 10^3m^3	b g/cm^2
	1963/64					
2920-2850	54.9	- 67.7	-123			
2850-2890	54.1	- 70.0	-129			
	109.0	-137.7	-126			
	1964/65			1971/72		
2925-2850	71.9	148.4	206	62.0	6.1	10
2850-2775	88.1	153.8	175	70.4	10.0	14
	160.0	302.2	189	132.4	16.1	12
	1965/66			1972/73		
2925-2850	71.9	42.4	59	66.8	-52.3	-78
2850-2775	88.1	66.7	76	73.8	-68.3	-93
	160.0	109.1	68	140.6	-120.6	-86
	1966/67			1973/74		
2925-2850	71.9	12.9	18	70.5	51.4	73
2850-2775	88.1	17.6	20	77.4	50.9	66
	160.0	30.5	19	147.9	102.3	69
	1967/68			1974/75		
2925-2850	71.9	22.0	31	70.5	44.1	63
2850-2775	88.1	34.4	39	77.4	39.1	51
	160.0	56.3	35	147.9	83.2	56
	1968/69			1975/76		
2925-2850	71.9	- 35.5	- 49	67.2	17.6	26
2850-2775	88.1	- 32.9	- 37	80.7	23.2	29
	160.0	- 68.4	- 43	147.9	40.8	28
	1969/70			1976/77		
2925-2850	71.9	20.5	29	76.5	9.6	14
2850-2775	88.1	23.6	27	81.4	24.0	30
	160.0	44.1	28	147.9	33.6	23
	1970/71			1977/78		
2925-2850	62.4	- 20.2	- 32	71.9	61.8	86
2850-2775	71.6	- 20.1	- 28	88.1	77.7	88
	134.0	- 40.3	- 30	160.0	139.5	87

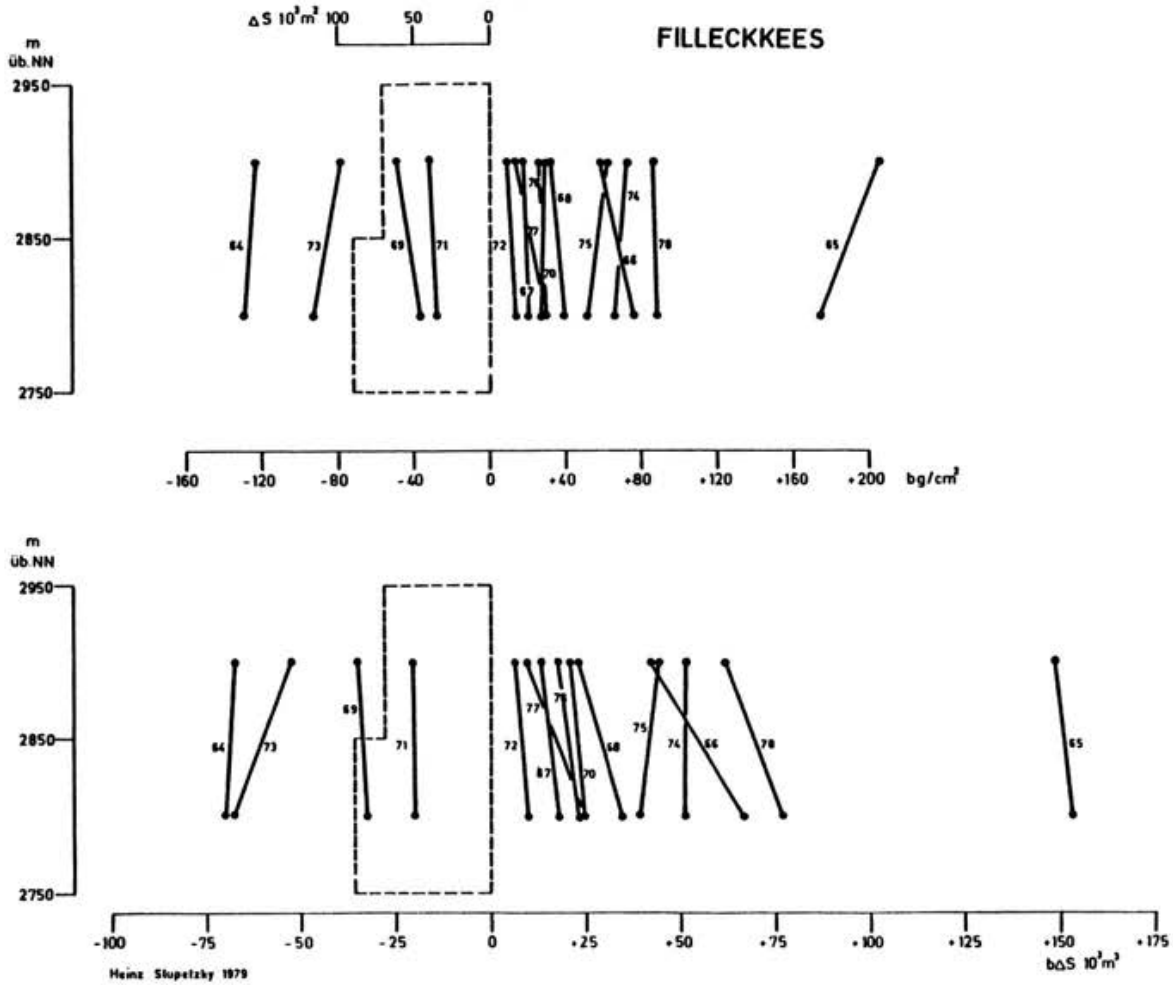


Abb. 4. Spezifische Nettobilanz des Filleckkeeses (in g/cm^2) und Netto-Massenbilanz (in $10^3 m^3$ Wasser) als Funktion der Höhe, jeweils Mittelwerte für 100 m-Höhenstufen für die Haushaltsjahre 1963/64 bis 1977/78. Flächenanteile in $10^3 m^2$.

gliche Bilanz vorkommen sollte, wird der Gletscher in diesem Fall nicht durch eine höhenparallel verlaufende, regelmässige Gleichgewichtslinie (Altschneelinie) geteilt, sodass das Akkumulationsgebiet oberhalb vom Ablationsgebiet unterhalb scharf getrennt ist. Es entsteht vielmehr ein unregelmässiges Muster von Flecken mit Akkumulation oder Ablation, wie die bisherigen Ausaperungsstände nahe einem ausgeglichenen Haushalt gezeigt haben.

Aus der Darstellung der spezifischen Nettobilanz als Funktion der Höhe geht hervor, dass in den meisten der bisher beobachteten Fälle kaum ein Bilanzgradient vorhanden ist und wenn, so wechselt das Vorzeichen ständig. Im Mittel über 15 Jahre ist der Bilanzgradient praktisch Null ($0.3 cm/100 m$). Die Gründe, warum

in manchen Jahren ein - wenn auch relativ geringer- Gradient auftritt, wie 1964/65 mit 31 cm/100m und 1965/66 mit -17 cm/100m und warum dieser einmal negativ oder positiv sein kann, sind erstens auf die Genauigkeit der Massenbilanzbestimmung und zweitens auf die Akkumulationsbedingungen im Winter zurückzuführen. Die bei den Bilanzmessungen auftretenden, allgemein bekannten Schwierigkeiten führen jeweils zu einer jährlichen Massenbilanzzahl mit gewissen Fehlergrenzen, sodass (relativ) unterschiedliche Gradienten teilweise nicht reell sein können. Stärker gehen jedoch die Witterungsbedingungen während der Akkumulationsperiode ein. Die Lage des Filleckplateaus in der Gipfelregion in nahezu 3 000 m und das Kleinrelief bestimmen im Zusammenwirken mit dem Wind während und nach Schneefällen über die Art der Ablagerung des Schnees. Das Vorhandensein eines grossen Windkolkes mit einer Dauerwächte im Nordwesten des Filleckgipfels (Abb. 1) - innerhalb der sich der "Eissee" befand, der 1973 ausfloss - weist auf grosse Windgeschwindigkeiten aus nordwestlicher Richtung hin; im Lee entstehen im Anschluss an Felsinseln und Graten unmittelbar am Südostrand des kleinen Plateaugletschers, im "Nährgebiet" des Filleckkeeses, 3 bis 4 Wächten, wobei dazwischen fast schneefreie Windgassen auftreten. Während bei Winden aus dem Nordwestsektor das Filleckees im Lee liegt und nur im unmittelbaren Windschatten des Hochfillecks relativ weniger Schnee abgelagert wird, kommt es bei Winden aus südlichen Richtungen zu einem Verdriften des trockenen Schnees. Alle diese Faktoren führen im allgemeinen zu einer jährlich ähnlichen, nur relativ zueinander unterschiedlichen Ablagerung des Schnees bzw. zu einem charakteristischen Rücklagenmuster der Schneedecke. Abweichungen von den durchschnittlichen jährlichen Witterungsbedingungen und -abläufen, wie dies zum Beispiel 1965, 1966 und 1973 der Fall war, ergeben eine gewisse geänderte Schneeverteilung am Ende der Akkumulationsperiode. Diese Unterschiede werden auch nicht durch die sommerlichen Ablationsbedingungen verwischt und äussern sich in - wenn auch relativ geringen - unterschiedlichen Haushaltsgradienten.

c. Der spezifische Nettomassenumsatz.

Der spezifische Nettomassenumsatz eines Gletschers wird definiert als die Summe der Beträge $B_c/S + |B_a/S|$ (Slupetzky, 1974, S. 84). Das Umsatzdiagramm vom Filleckkees (Abb. 5) mit der Beziehung der mittleren spezifischen Massenbilanz \bar{b} (g/cm^2) zum spezifischen Nettomassenumsatz zeigt charakte-

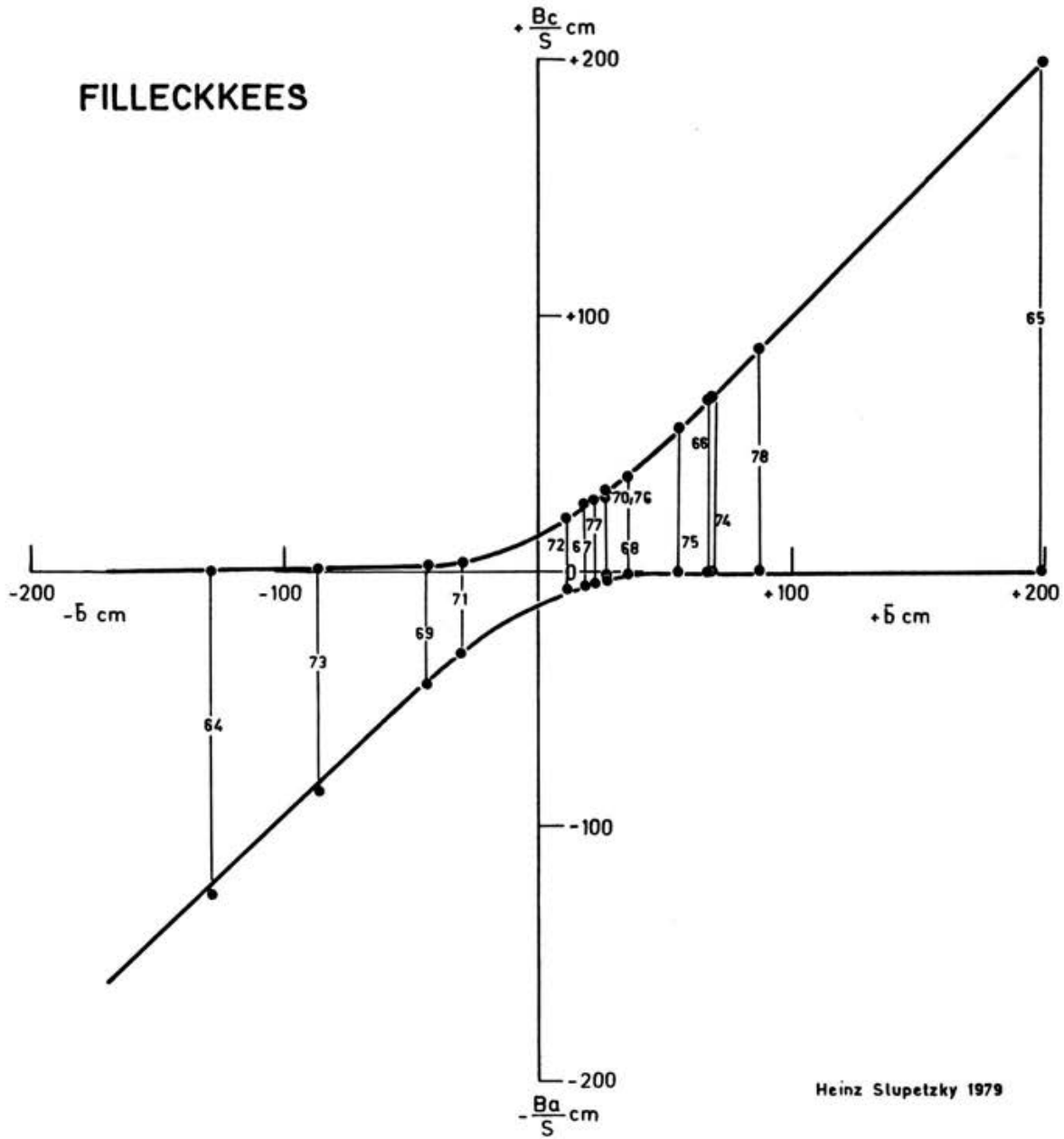


Abb. 5. Beziehung zwischen der mittleren spezifischen Massenbilanz \bar{b} (g/cm²) und dem spezifischen Netto-Massenumsatz $\frac{B_c}{S} + |\frac{B_a}{S}|$.

ristische Merkmale und scheint typisch zu sein für sehr kleine Gletscher. Der Nettoumsatz ist im Bereich ausgeglichener Haushalte sehr gering, steigt rasch gegen die Extreme an und wird hier identisch mit dem negativen bzw. positiven Anteil am Massenumsatz. Das Filleckkees ist in der Mehrzahl der Fälle fast oder zur Gänze Nähr- oder Zehrgebiet. Der Umsatz erreicht ein Minimum, wenn der Gletscher einen ausgeglichenen Massenhaushalt hat. Das Minimum des Netto-

Tabelle 3. Zahlenwerte zum spezifischen Nettomassenumsatz des Filleckkeeses.

Jahr	B_c/S	B_a/S	$B_c/S + B_a/S $
1963/64	0	-126.3	126.3
1964/65	188.8	0	188.8
1965/66	68.8	- 0.6	69.4
1966/67	26.3	- 6.9	33.2
1967/68	37.5	- 1.9	39.4
1968/69	1.9	- 45.0	46.9
1969/70	31.3	- 3.1	34.4
1970/71	3.0	- 32.8	35.8
1971/72	20.5	- 7.6	28.1
1972/73	0.7	- 85.8	86.5
1973/74	69.6	- 0.7	70.3
1974/75	56.1	0	56.1
1975/76	28.4	- 0.8	29.2
1976/77	27.7	- 5.4	33.1
1977/78	87.2	0	87.2

Umsatzes beträgt beim ausgeglichenen Haushalt beim Filleckkees rund 25 g/cm^2 , beim Stubacher Sonnblickkees 50 g/cm^2 und beim Hintereisferner rund 100 g/cm^2 . Die Gestalt der beiden Kurven (Hyperbeläste) zeigen Unterschiede zu den Umsatzdiagrammen vom Stubacher Sonnblickkees und vom Hintereisferner (Slupetzky, 1974, S. 58).

d. Das Flächenverhältnis S_c/S (AAR)

Die Darstellung in Abbildung 6 zeigt den Zusammenhang zwischen dem Flächenverhältnis S_c/S und \bar{b} (g/cm^2) sowie die Beziehung zu den beiden Anteilen des Nettomassenumsatzes. Die mittlere Kurve ist gleichzeitig das Ergebnis aus der algebraischen Summe $B_c/S + B_a/S$. Es muss sich beim Filleckkees für den Zusammenhang zwischen S_c/S und \bar{b} (g/cm^2) eine doppelt gekrümmte Kurve mit einem Wendepunkt und mit Verflachungen der Kurvenenden gegen die Extreme ergeben. Darin spiegelt sich wieder der exzessive Charakter des kleinen, sich nur über eine geringe Höhenzone erstreckenden Gletschers wieder. Ein genau

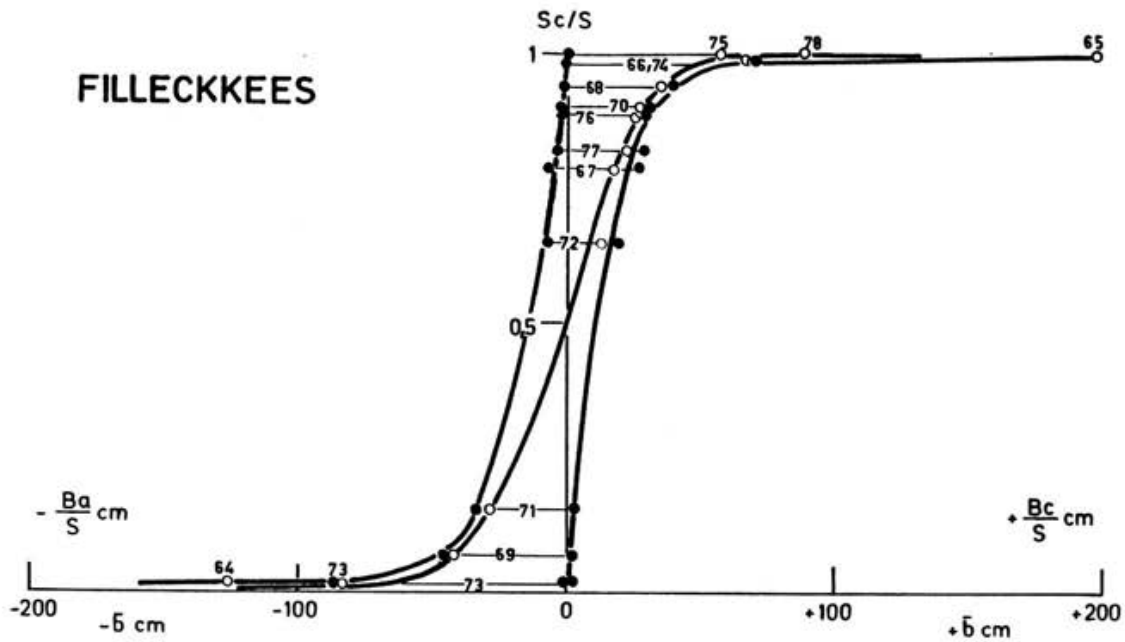


Abb. 6. Der Zusammenhang zwischen dem Flächenverhältnis S_c/S und der mittleren spezifischen Nettomassenbilanz \bar{b} (g/cm^2) und seine Abhängigkeit vom positiven und negativen Anteil am spezifischen Nettomassenumsatz $B_c/S + |B_a/S|$.

ausgeglichener Haushalt kommt selten vor, innerhalb der 15-jährigen Messreihe kein einziges Mal. Aus den Diagrammen geht eindeutig hervor, dass das Filleckkees ein Flächenverhältnis des ausgeglichenen Haushaltes nahe 0.5 haben muss. Beim Sonnblickkees ist es um 0.6.

Bei Verwendung des Flächenverhältnisses S_c/S (AAR = Accumulation Area Ratio) bleibt unberücksichtigt, wie das Ablationsgebiet beschaffen ist, das heißt, ob es (zum Teil) firnbedeckt ist. Bei detaillierteren Untersuchungen muss dies jedoch berücksichtigt werden, da die Beschaffenheit der Gletscheroberfläche (Altschnee, Eis oder Firn) über die unterschiedliche Albedo in den Wärmehaushalt einget. Beim Filleckkees wurden für die einzelnen Jahre die Ausaperungsverhältnisse am Ende des jeweiligen Haushaltsjahres kartiert und die Flächenanteile der einzelnen Areale berechnet (Tab. 4). Die Darstellung dieser in einem Dreiecksdiagramm (Abb. 7) lässt eine für einen Gletscherfleck charakteristische Verteilung der bisher vorgekommenen Flächenkombinationen erkennen. 1964 war die Oberfläche des Filleckkeeses fast zur Gänze Eis, 1965 zur Gänze altschneebedeckt. Diese Altschneedecke und diejenigen aus nachfolgenden Jahren waren Ursache

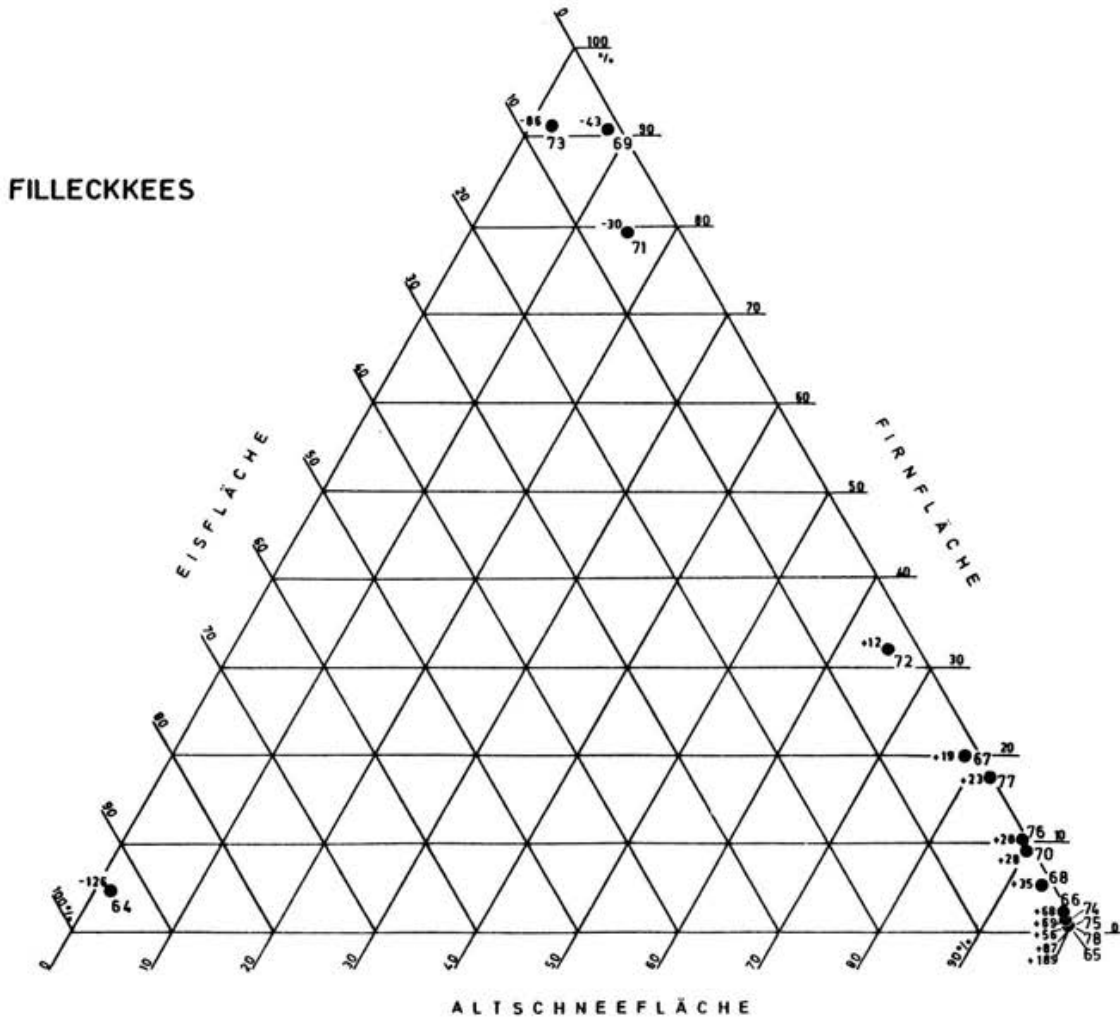


Abb. 7. Dreieckdiagramm der Prozentanteile von Arealen mit Altschnee, Firn und Eis der Gletscheroberfläche des Filleckkeeses am Ende der einzelnen Haushaltsjahre. Zuordnung der jährlichen mittleren spezifischen Massenbilanz \bar{b} (g/cm²) zur jeweiligen Flächenkombination.

dafür, dass der Gletscher bei fortschreitender Ausaperung in manchen Jahren immer firnbedeckt blieb und kaum Eis an der Oberfläche war. Es liegen alle 14 Punkte mit Ausnahme von 1964 auf der Seite mit "Firnfläche", da die Altschnee-Firnflächen Kombination dominierte. Während 1972/73 und 1963/64 das Filleckkees das gleiche Flächenverhältnis S_c/S von 0.02 hatte, war die Bilanz im ersteren Jahr wegen der Firnbedeckung nur -86 g/cm² gegenüber -126 g/cm² im letzteren.

Es zeigen sich bezeichnende Unterschiede entsprechend der Gletschertypen zu den Dreiecksdiagrammen vom Stubacher Sonnblickkees und vom Hintereiserner

Tabelle 4. Flächen und Prozentanteile der Arealie mit Altschnee, Firn und Eis der Gletscheroberfläche am Ende eines Haushaltsjahres für die Messreihe 1963/64 bis 1977/78 vom Füllseees.

	Gletscher- fläche: S 10 ³ m ²	%	Altschneefläche Sc 10 ³ m ²	%	Firnfläche 10 ³ m ²	%	Eisfläche 10 ³ m ²	%	Firn- und Eisfläche Sa 10 ³ m ²	%
16. 9.1964	109	100	1.9	1	4.9	5	102.2	94	107.1	99
25. 8.1965	160	100	160.0	100	0.0	0	0.0	0	0.0	0
17.10.1966	160	100	155.4	97	4.0	2.5	0.6	0.5	4.6	3
2.10.1967	160	100	126.1	79	32.0	20	1.8	1	33.9	21
18. 9.1968	160	100	150.4	94	7.9	5	1.7	1	9.6	6
24.10.1969	160	100	13.2	8	133.3	90	2.4	2	146.8	92
25. 9.1970	160	100	144.2	90	14.4	9	1.4	1	15.8	10
27. 9.1971	134	100	20.9	16	106.5	80	6.6	4	113.1	84
10. 9.1972	132	100	86.0	65	42.6	32	3.8	3	46.4	35
21. 9.1973	141	100	3.1	2	128.7	92	8.8	6	137.5	98
20. 9.1974	148	100	145.2	98	2.3	1.5	0.4	0.5	2.7	2
4.10.1975	148	100	147.9	100	0.0	0	0.0	0	0.0	0
31. 8.1976	148	100	132.2	89	15.7	11	0.0	0	15.7	11
28.10.1977	148	100	121.9	82	26.0	18	0.0	0	26.0	18
31. 8.1978	160	100	159.5	99.7	0.5	0.3	0.0	0	0.5	0.3

(Slupetzky, 1974, S. 47).

Schlussfolgerungen

Die geringe Grösse des Filleckkeeses und seine Oberflächentopographie bringen es mit sich, dass der Gletscher eine annähernd symmetrische Höhenverteilung der Fläche aufweist. Die geringe Höhererstreckung und die topographische Lage schaffen weitgehend ähnliche klimatische Verhältnisse über den ganzen Gletscher. Beim Filleckkees ist daher die Forderung nach symmetrischer Flächenverteilung und einer linearen Abnahme der Nettoablation bei gleichzeitiger Zunahme der Nettoakkumulation weitgehend erfüllt (Hoinkes, 1970, S. 62), sodass das Flächenverhältnis S_c/S bei ausgeglichenem Haushalt 0.5 ist bzw. die Akkumulations- zur Ablationsfläche sich wie 1:1 verhält. Bei zunehmender Gletscherfläche verschiebt sich der AAR langsam zu einem höheren Wert, zum Beispiel beim Stubbacher Sonnblickkees mit einer Fläche von 1.7 km² auf 0.6.

Starke Schwankungen der jährlichen Höhenlagen der Altschneelinie lassen das Filleckkees oft weitgehend Nährgebiet und dann wieder Zehrgebiet werden. Aufgrund der klimatischen Verhältnisse in den vergangenen 15 Jahren lag die Altschneelinie mehrmals tiefer als der Gletscher. Wenn der in der Höhenlage des Filleckkeeses gefallene Schnee gleich der am Gletscher schliesslich abgelagerten Menge gewesen wäre, also nicht zum Teil verdriftet oder umgelagert worden wäre, hätte das Filleckkees noch öfter zur Gänze Akkumulationsgebiet sein müssen, als dies aus den jährlichen Flächenverhältnissen hervorgeht.

Es kommt sehr selten vor, dass das Filleckkees eine ausgeglichene Massenbilanz hat und die entsprechende Altschneelinie auf dem Gletscher zu liegen kommt. (Es ist dies dann keine Linie, die den Gletscher ungefähr höhenparallel halbiert, sondern die Summe der Flecken mit Akkumulation und die mit Ablation sind gleich gross). Der Gletscher hat in diesem Fall einen sehr geringen spezifischen Netto-Massenumsatz, die Umsatzanteile sind nur sehr kleine Beträge. Es genügt für den ausgeglichenen Haushalt eine sehr geringe Akkumulation, um die ebenso geringe Ablation zu kompensieren. Jedoch könnte der kleine Gletscher nur theoretisch einen Gleichgewichtszustand erreichen, praktisch bleibt er immer (weit) davon entfernt.

Trotz des grossen möglichen Nettoumsatzes ist der Gletscherfleck inaktiv, was auch daraus zu ersehen ist, dass im langjährigen Mittel der Haushaltsgradient

null ist. Der Gletscher vermag grosse Netto-Massengewinne (zunächst) nicht in ein geändertes Fliessverhalten umzusetzen. Er kann gleichsam nicht eine dem Massenzuwachs entsprechende Gletscherzunge (ein diesem entsprechendes Ablationsgebiet) entwickeln. Insoferne sind sehr kleine Gletscher nicht als solche anzusehen, die insgesamt rasch auf klimatische Aenderungen reagieren. Sie zeigen nur in ihrem Massenbilanz- und Umsatzverhalten eine empfindliche, unmittelbare Reaktion, aber nicht so sehr in ihrer Fliessbewegung. Sie werden bei anhaltendem Massenzuwachs zunächst eher eine Vergrösserung der Gletscheroberfläche durch Ausgreifen des Akkumulationsgebietes (oft nach allen Seiten) erfahren als durch Ausdehnung infolge eines Vorstosses. Bei anhaltendem Massenverlust wird die Gletscherfläche ebenfalls weitgehend von allen Seiten her verkleinert und nicht so sehr durch Verkürzung der Gletscherlänge.

Der spezifische Nettoumsatz beträgt beim Filleckkees bei einem ausgeglichenen Haushalt 25 g/cm^2 . Der Umsatz erreicht - zumindest bei bestimmten Gletschertypen und bei bestimmten Ernährungsbedingungen - ein Minimum, wenn sich der Gletscher im Massengleichgewicht befindet (Slupetzky, 1974, S. 57 ff). Dies beschreibt offenbar eine maximale Anpassungsmöglichkeit an die gegebenen klimatischen Verhältnisse, der Gletscher hat bei diesem Zustand gleichsam den sparsamsten Netto-Massenumsatz. Je kleiner aber ein Gletscher ist, umso labiler ist dieser Zustand und umso weniger kann sich ein solcher einstellen. Bei noch kleineren Gletscherflecken als es das Filleckkees ist bis zu perennierenden Firnfeldern sollte der spezifische Nettoumsatz des ausgeglichenen Haushaltes immer kleiner werden und nahezu null erreichen.

Massenbilanzmessungen an kleinen Gletschern können zur Beantwortung der Frage herangezogen werden, welche Mindestgrösse ein Gletscher für Massenbilanzuntersuchungen haben sollte. Kleinere Gletscher haben den Vorzug, in ihrem Massenbilanzverhalten in direkter Beziehung zu den klimatischen Gegebenheiten und Aenderungen zu stehen, die Bezugsfläche wird nicht durch Aenderung der Gletscherfläche infolge Vorstosses oder Rückzuges "gestört". Bei der Untersuchung der Klima-Gletscherbeziehung ist daher die Verwendung eines kleinen - aber nicht zu kleinen und zu sehr von Besonderheiten geprägten - Gletschers insoferne günstig, als sich seine Gletscherfläche und damit die Bezugsfläche für die Massenbilanz über einen längeren Zeitraum relativ wenig ändert. Ein kleiner Gletscher kann daher dieselbe Funktion erfüllen wie die Auswahl einer Testfläche

auf einem grossen Gletscher mit dem Ziel, die Klima-Massenbilanzbeziehung am unmittelbarsten erfassen zu können und um von grossen Flächenänderungen während längerer Zeiträume unabhängig zu sein (Nye, 1963, S. 59).

Dank

Die vorliegenden Untersuchungen am Filleckkees wurden im Rahmen des Forschungsprojektes "Oberes Stubachtal - mittlere Hohe Tauern" vom Projektträger und einigen Mitarbeitern innerhalb der IHD und des IHP durchgeführt. Sie wurden vom Oesterreichischen Nationalkomitee für das IHP über den wissenschaftlichen Beirat bei der Oesterreichischen Akademie der Wissenschaften, dessen Vorsitzender Univ. Prof. Dr. F. Steinhauser ist, subventioniert. Für die Unterstützung des Forschungsprogrammes und die Mitarbeit von Kollegen und Studenten sei auch hier herzlich gedankt. Der Dank gilt auch Herrn Mag. J. Koschitz für die Mitarbeit bei der Berechnung der Massenbilanzen und für die Reinzeichnung der Abbildungen.

Literatur

- Kasser, P. 1973: Fluctuations of Glaciers 1965-1970.
Vol. II, IAHS (ICSI) - Unesco, 357 S., Paris
- Markl, G., 1976: Massenhaushaltswerte von Hintereisferner und Kesselwandferner 1968/69 - 1974/75.
Z. für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. XI, H. 2, S. 271-272, Innsbruck
- Hoinkes, H. 1970: Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. Ergebnisse der Messreihe Hintereisferner (Oetztaler Alpen) 1953-1968.
Z. für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. VI, S. 37-90
- Müller, F., 1977: Fluctuations of Glaciers 1970-1975.
Vol. III, IAHS (ICSI) - Unesco, 269 S., Paris
- Nye, J. F., 1963: Discussion to: H. Hoinkes and R. Rudolph: Variations in the Mass-balance of Hintereisferner 1952-1961, and their relations to variations of climatic elements.
Bulletin of the IAHS, VIII, No. 2.
- Slupetzky, H., 1974: Untersuchungen zur Massenbilanz eines Hanggletschers. Ergebnisse und Schlussfolgerungen aus der Messreihe 1963/64 - 1970/71 vom Stubacher Sonnblickkees (Hohe Tauern).
Z. für Gletscherkunde und Glazialgeologie, Bd. X, S. 11-69
- Slupetzky, H., 1976: Der spezifische Netto-Massenumsatz von Gletschern - Aussagen und Anwendungsmöglichkeiten.
10. Int. Polartagung, Zürich 6.-8. April 1976.
(Programm und Kurzfassung der Vorträge). S. 36-37.

Adresse des Verfassers:

Univ. Doz. Dr. Heinz Slupetzky
Institut für Geographie
Universität Salzburg
Akademiestrasse 20

A-5020 Salzburg