

# Das Mikroklima in Schneehöhlen

Von Norbert Hammer, Wien

Mit 8 Abbildungen

## Zusammenfassung

Anhand mehrerer Meßreihen wurde das Mikroklima in Biwakschneehöhlen untersucht. Zusätzlich konnte die Ausbreitung der Wärmewelle in den die Höhle umgebenden Schnee hinein gemessen werden.

Mit Hilfe eines Energiebilanzmodells des Menschen wurde schließlich die energetische Situation des Biwakierenden errechnet.

## 1. Einleitung

Immer wieder sehen sich Touristen, vor allem im Hochgebirge, gezwungen, nach unerwarteten Unwettereinbrüchen in Schneehöhlen Schutz zu suchen. Dies war der Anlaß, das Mikroklima in Schneebiwaks genauer zu untersuchen und die Auswirkungen der jeweiligen Klimasituation auf den Menschen, der sich darin aufhält, zu prüfen. Ermöglicht wurde das Projekt durch die Unterstützung von Herrn Univ. Prof. Dr. F. Steinhauser und die finanzielle Förderung durch die Österreichische Akademie der Wissenschaften; dafür sei an dieser Stelle herzlichst gedankt.

Unter zum Teil sehr anstrengenden Bedingungen konnten mehrere Meßreihen gewonnen werden, wobei zwischen dem 9. und 11. April 1980 neben Temperatur- und Feuchtemessungen im Schneebiwak auch noch der Temperaturverlauf in dem die Höhle umgebenden Schnee registriert wurde.

Zwischen dem 16. und 18. September 1977 wurden Temperatur- und Feuchtemessungen sowohl in einer Schneehöhle als auch parallel dazu in einem Zelt angestellt.

Der Temperaturunterschied zwischen einem mit Alufolien ausgelegten und einem "normalen" Schneeloch konnte bei Messungen am 7. Mai 1982 ermittelt werden.

Für einige spezifische Fälle wurde mit Hilfe eines Energiebilanzmodells (1) der Einfluß des Mikroklimas in Schneebiwakhöhlen auf die menschliche Energiebilanz errechnet und den Bedingungen im Freien gegenübergestellt.

Die Durchführung der Feldmessungen wurde durch folgende Personen ermöglicht: Georg Bissinger, Reinhard Böhm, Karl Gabl, Magda Hammer, Franz Hauleitner, Hans Lindler, Erich Mursch-Radlgruber, Karl Spruzina und Friedl Wallner. Allen teilnehmenden Personen sei an dieser Stelle herzlich gedankt.

## 2. Die Messungen zwischen dem 9. und 15. 4. 1980

Unterhalb des Sonnblickgipfels in einer Seehöhe von 3070 Meter wurde eine kuppelförmige Biwakhöhle schräg in einen etwa 25 Grad geneigten Hang angelegt, wobei zuerst eine Schliefröhre von rund 50 cm Durchmesser horizontal in den Schnee hinein gegraben und dahinter die Höhle dann zur gewünschten Form erweitert wurde. Ihre Höhe betrug 1.4 m, die Grundfläche war 2.1 m lang und 1.6 m breit. Als Untersuchungsort wurde deshalb der Gipfelbereich des Hohen Sonnblicks ausgewählt, weil dort einerseits mit arktischen Bedingungen zu rechnen ist (2), und andererseits auch Registrierungen und Beobachtungsergebnisse der meteorologischen Verhältnisse außerhalb der Schneehöhle zur Verfügung stehen, wodurch ein unmittelbarer Vergleich zwischen dem Schneehöhlen- und dem Außenklima möglich wird.

Die Biwakhöhle wurde während der Messungen mit einer beziehungsweise zwei Personen besetzt. Hernach wurde die Eintrittsöffnung von innen mit Schneeziegeln von ca. einem

halben Meter Dicke verschlossen. Einige wenige Zentimeter große Luftlöcher wurden angebracht.

Es soll mit größtem Nachdruck auf die Wichtigkeit derartiger Luftlöcher hingewiesen werden. Während der Messungen vom 9. auf den 10. 4. 1980 kam es um 4.40 Uhr nachts, das war acht Stunden nach dem Besetzen des Biwaks, zum Erlöschen der Kerze, welche dort gebrannt hatte, um eventuellen Sauerstoffmangel rechtzeitig feststellen zu können. Im Verlaufe einer anderen Messung am 7. 5. 1982 erlosch die Kerze bereits nach 35 Minuten, wahrscheinlich dadurch erklärbar, daß einerseits im Schnee eingelagerte Eislinsen, andererseits Alufolien, welche an der Innenwand angebracht waren, den Sauerstoffaustausch erschwerten.

Während des Grabens des Schneebiwaks am 9. 4. 1980 wurde zwischen 13.10 und 13.40 Uhr MESZ ein vertikales Schneetemperaturprofil nahe dem Höhleneingang angelegt.

Tabelle 1: Vertikales Schneetemperaturprofil auf dem Sonnblick (3070 m Seehöhe) am 9. 4. 1980, gemessen zwischen 13.10 und 13.40 Uhr MESZ

Schneetiefe (cm)	5	15	25	35	55	75	105	145	185	215
Temperatur (°C)	-3.0	-6.6	-7.7	-8.4	-9.2	-9.4	-8.7	-7.8	-6.9	-6.7

Die Grabung erfolgte bei wolkigem Himmel und Sonnenschein. Sehr deutlich ist die Erwärmung der oberen Schneeschichten während des Tages zu erkennen. Nach einer annähernd isothermen Schicht in einer Schneetiefe zwischen 55 und 90 cm ist anschließend ein kontinuierlicher Anstieg der Schneetemperatur zu beobachten.

Sowohl die Temperatur- als auch die Wärmeleitfähigkeit des Schnees hängen von dessen Dichte ab (3,4). In Schneeschichten geringerer Dichte tritt außerdem eine zusätzliche Wärmeleitung durch konvektive Luftströmung in den Poren einer Schneedecke auf, die zu einer wesentlichen Erhöhung der Wärmeleitfähigkeit führt (5). Es ist daher die Kenntnis des Dichteprofiles für die Wärmeleitfähigkeit einer Schneedecke von großer Bedeutung.

Deshalb wurde am Nachmittag des 11. 4. 1980 ein vollständiges Schneeprofil mit Dichte, Schneetemperatur, Feuchtigkeit, Kornform und Korngröße sowie der Härte des Schnees in der Nähe der Biwakhöhle angefertigt (Abbildung 1).

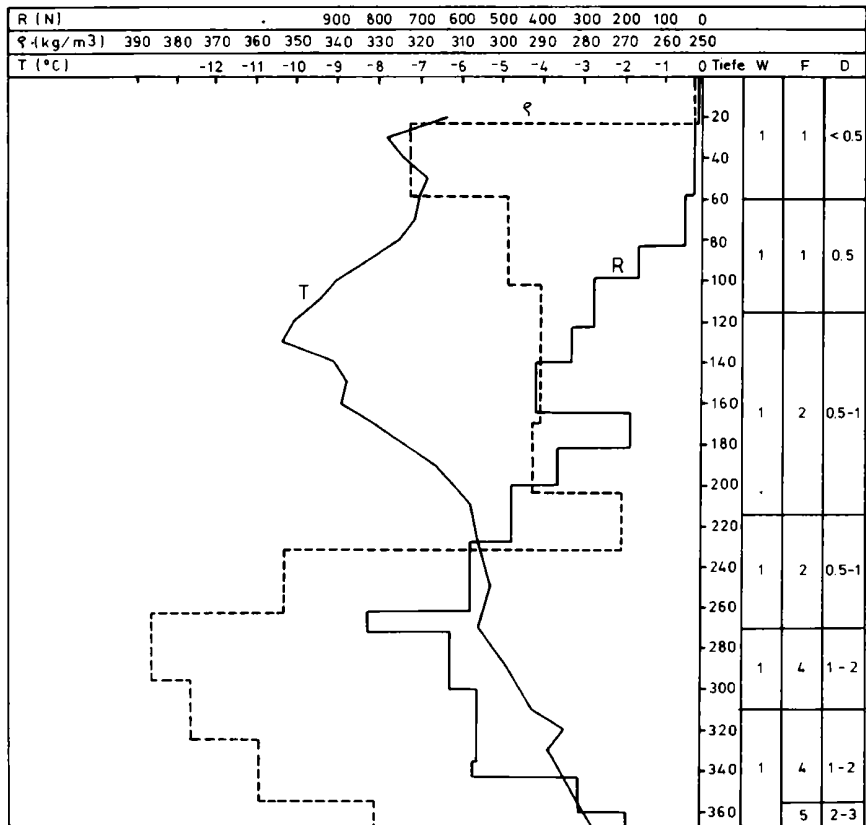


Abb. 1: Schneeprofil auf dem Sonnblick (3070 m Seehöhe)  
am 11. 4. 1980, gemessen zwischen 15.30 und 17.00 Uhr MESZ

- T Temperatur in der Schneedecke (Grad Celsius)  
R Rammwiderstand (Newton)  
 $\rho$  Schneedichte (kg/m<sup>3</sup>)  
Tiefe Schneetiefe (cm)  
W Feuchtigkeit einer Schneeschicht  
trocken = 1, schwach feucht = 2, feucht = 3, naß = 4, sehr naß = 5  
F Kornform  
ursprüngliche Gestalt der Kristalle = 1, beginnende abbauende Umwandlung = 2,  
fortgeschrittene abbauende Umwandlung = 3, beginnende aufbauende Umwandlung = 4,  
fortgeschrittene aufbauende Umwandlung = 5, gerundet durch Schmelzen - Gefrieren = 6,  
Oberflächenreif = 7  
D Korngröße (mm)

Die Temperatur der durchwegs trockenen Schneedecke nahm bis in eine Tiefe von 130 cm von -6 auf -10°C ab und stieg hernach kontinuierlich bis auf etwa -3°C an. Bis in eine Tiefe von 230 cm lag die Schneedichte zwischen 250 und 320 kg/m<sup>3</sup>. Die tieferliegenden Schichten erreichten Werte von 350 bis 385 kg/m<sup>3</sup>; zwischen 355 und 368 cm befand sich eine Schwimmschneeschicht mit einer Dichte von 330 kg/m<sup>3</sup>. Das Rammprofil ergab in den oberen 80 cm eine sehr geringe Schneefestigkeit zwischen 10 und 40 N. Anschließend war eine Festigkeitszunahme zu verzeichnen, wobei das Maximum von über 800 N zwischen 260 und 270 cm Tiefe auftrat. In der Schicht zwischen 360 und 368 cm wurde eine Festigkeitsabnahme auf 190 N beobachtet.

Die kontinuierlichen Messungen der Lufttemperatur im Biwakloch erfolgten mit einem Thermohygrographen, welcher ungefähr in der Mitte des Schneelochs mittels einer Lawinensonde befestigt wurde. Während der Messungen wurden immer wieder Vergleichsmessungen mit einem Assmannschen Aspirationspsychrometer angestellt bzw. die vertikale Temperaturschichtung mit einem Temperaturfühler (Tastotherm) eruiert. Als Differenzen zwischen der Innentemperatur in Kuppelnähe und in Bodennähe wurden Werte von etwas weniger als 1°C beobachtet. In Tabelle 2 sind die mittleren Innentemperaturen angeführt, in Tabelle 3 die meteorologischen Bedingungen im Freien.

Tabelle 2: Schneehöhleninnentemperatur auf dem Hohen Sonnblick

9.4.1980 - 19.30 Uhr MESZ bis 10.4.1980 - 5.40 Uhr: 2 Personen in Höhle  
 10.4.1980 - 10.15 Uhr bis 16.15 Uhr: 2 Personen in Höhle  
 11.4.1980 - 15.00 Uhr bis 18.15 Uhr: 1 Person in Höhle  
 14.4.1980 - 21.25 Uhr bis 15.4.1980 - 6.05 Uhr: 1 Person in Höhle (+ 1 Hund)

	2	4	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24 Uhr MESZ
9.4.1980										-0.5	3.0	1.8 °C
10.4.1980	1.5	1.5	-1.0	-1.6	-2.7	3.5	3.6	2.8	-0.4	-0.7	-1.3	-1.8 °C
11.4.1980	-2.3	-2.6	-3.2	-3.4	-3.5	-3.7	-2.8	0.7	0.8			°C
14.4.1980											0.6	0.6 °C
15.4.1980	1.4	1.2	1.0									°C

Tabelle 3: Klimabeobachtung auf dem Hohen Sonnblick

	Lufttemperatur (°C)					Rel. Feuchte (%)			Bewölkung (Zehntel)			Windrichtung und -stärke (Beaufort)		
	Max	Min	8h	15h	20h	8h	15h	20h	8h	15h	20h	8h	15h	20h
9.4.1980	-10.4	-17.8	-15.0	-11.0	-13.6	89	90	88	9	5	10	NNE4	N3	NNE6
10.4.1980	-13.0	-18.4	-16.5	-14.0	-15.2	87	89	89	8	8	10	NNW5	NNE5	N6
11.4.1980	-11.0	-15.4	-14.1	-11.9	-12.4	88	90	84	10	8	8	N5	N3	NW3
14.4.1980	-2.5	-8.3	-4.4	-6.1	-6.0	24	88	67	0	1	0	WSW1	SW6	WSW5
15.4.1980	-3.8	-7.2	-5.4	-5.0	-4.7	46	76	72	1	2	2	WSW5	WSW6	WNW2

Bereits durch den Bau der Biwakhöhle kommt es in der Schneedecke zu Dichte-, Temperatur- und Strukturänderungen, außerdem während der Besetzung des Schneelochs zu Veränderungen der Schneedichten und dadurch auch der Schneedichte; schließlich treten auch Vereisungen der Höhlenwände auf. Daraus resultieren kontinuierliche Veränderungen von Wärme- und Temperaturleitfähigkeit und es kommt zu konvektiven Strömungen der Porenluft in der Schneedecke.

Vergleicht man die Werte der Höhleninnentemperaturen mit denen im Freien, so fällt auf, daß - unabhängig von der Außentemperatur - je nach Aktivität der Höhlenbesetzung nach kurzer Aufenthaltszeit bei einer relativen Feuchte zwischen 95 und 100 Prozent Innentemperaturen zwischen 0.5 und 4°C auftreten. Schon in der ersten halben Stunde nach Besetzung der Schneehöhle am 9.4.1980 stieg die Innentemperatur von -9 auf -0.5°C an; am 14.4.1980 kam es nach Betreten der Schneehöhle um 21.25 Uhr bis um 22 Uhr zu einer Temperaturzunahme von -5.6 auf 0.6°C.

Die Schneetemperaturprofile wurden mit einem Widerstandsthermometer (Tastotherm) ermittelt und sind in Tabelle 4 angeführt; unter 0 cm ist dabei die Schneeoberflächentemperatur der Höhleninnenwände bzw. des Höhlenbodens zu verstehen.

Die Methode der Temperatursondierung mit einem Widerstandsthermometer, welches mit einem Meßfühler von 80 cm Länge versehen war, wurde gewählt, um dadurch ein durch Wärmeleitung bedingtes Vereisen oder Abschmelzen des Schnees um das Thermometer herum zu verhindern, wie dies bei fix montierten Thermometern leicht der Fall sein könnte. In folgender Abbildung ist die Meßrichtung an den einzelnen Meßpunkten veranschaulicht.

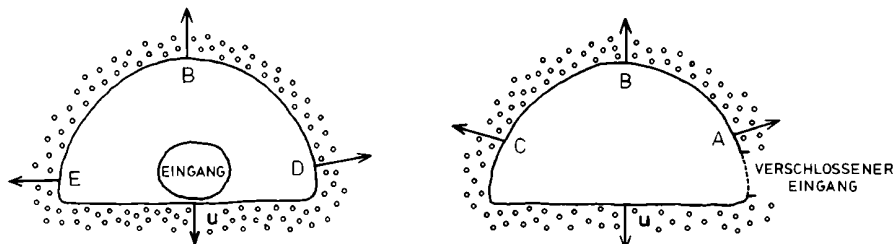


Abb. 2: Meßrichtungen an den einzelnen A, B, C, D, E und U in der Biwakschneehöhle

Tabelle 4: Schneetemperaturfeld in 0 bis 80 cm Entfernung um die Biwakschneehöhle (in °C) zu verschiedenen Zeiten

Die Meßrichtungen sind durch A, B, C, D, E und U aus Abb. 2 zu ersehen

Entfernung	0	10	20	30	40	50	80cm
Messung: 9.4.1980 20.00 - 20.10 Uhr MESZ							
A	-3.6	-5.4	-6.4	-7.1	-7.5		
B	-5.2	-6.4	-7.3	-7.5	-7.3		
C	-3.2	-4.4	-5.0	-5.4	-5.8		
D	-4.8	-5.7	-6.4	-6.8	-7.1		
E	-3.8	-4.0	-4.2	-4.4	-4.4		
Messung: 9.4.1980 20.30 - 20.40 Uhr MESZ							
A	-3.2	-4.9	-5.9	-6.4	-6.7	-6.9	
B	-0.5	-4.4	-6.2	-6.8	-7.1	-5.8	
C	-1.1	-2.7	-3.4	-4.1	-4.6	-5.0	
D	-3.1	-4.8	-6.2	-6.9	-7.3	-7.8	
E	-3.3	-4.4	-4.8	-5.1	-5.4	-5.6	
Messung: 9.4.1980 21.00 - 21.10 Uhr MESZ							
A	0.0	-2.5	-4.8	-6.4	-7.1	-7.7	-8.3
B	-0.3	-3.2	-4.4	-5.7	-6.4	-6.5	-6.2
C	0.0	-1.7	-3.4	-4.2	-4.8	-5.0	-5.6
D	-2.9	-4.8	-6.2	-6.9	-7.7	-8.2	-9.3
E	-2.1	-3.8	-5.4	-6.5	-6.9	-7.3	-8.2
Messung: 10.4.1980 04.35 - 04.45 Uhr MESZ							
A	0.0	0.0	-4.2	-5.6	-7.3	-8.1	
B	0.0	-2.3	-4.0	-5.4	-6.2	-6.5	
C	0.0	0.0	-2.3	-4.0	-4.8	-5.4	
D	-0.9	-1.9	-4.2	-6.5	-8.1	-8.8	
E	0.0	-2.4	-4.2	-5.4	-6.3	-6.4	
Messung: 10.4.1980 10.50 - 11.10 Uhr MESZ							
A	-0.5	-2.5	-4.9	-7.4	-8.5	-8.9	-10.4
B	0.0	-3.2	-5.2	-6.7	-7.6	-8.0	-9.3
C	-2.4	-3.1	-3.7	-4.4	-4.8	-5.2	-5.2
D	-1.0	-1.5	-2.7	-4.0	-4.9	-5.5	-6.2
E	-0.7	-2.7	-3.9	-5.0	-5.7	-6.1	-6.4
U	-1.9	-2.3	-3.2	-3.9	-4.4	-4.4	

Fortsetzung Tab. 4:

Messung: 10.4.1980 15.10 - 15.30 Uhr MESZ

A	0.0	-1.7	-4.4	-6.4	-7.5	-8.2	-9.8
B	0.0	-1.5	-3.9	-5.6	-6.5	-7.2	-9.1
C	0.0	-1.9	-2.8	-3.4	-4.2	-4.6	-4.9
D	-2.0	-2.1	-3.1	-3.9	-4.7	-5.0	-5.5
E	-1.3	-2.0	-3.5	-4.4	-5.0	-5.4	-5.8
U		-2.1	-2.2	-2.8	-3.3	-3.7	-4.1

Messung: 11.4.1980 15.00 - 15.20 Uhr MESZ

A		-2.2	-3.3	-4.4	-6.1	-7.1	
B		-3.1	-4.0	-4.9	-6.2	-6.6	-8.8
C		-2.3	-3.0	-3.2	-3.6	-4.1	-4.9
D		-2.5	-3.0	-3.4	-3.9	-4.4	-5.5
E		-2.9	-3.4	-4.1	-4.6	-5.1	-5.8

Abbildung 3 zeigt den typischen Temperaturverlauf in der Schneedecke rund um die Biwakhöhle, wie er sich in der kalten Jahreszeit ergibt, nachdem das Schneeloch eine Zeit lang bewohnt worden ist. Während sich die Höhleninnenwände größtenteils bis auf den Gefrierpunkt erwärmt haben, kommt es anschließend zu einem ausgeprägten Temperaturgradienten, welcher in Höhlennähe am größten ist.

In der Nähe der Höhlenkuppel ist der Temperaturabfall in den Schnee hinein wesentlich markanter als im Bereich des Höhlenbodens, bedingt durch die Konvektion der Luft.

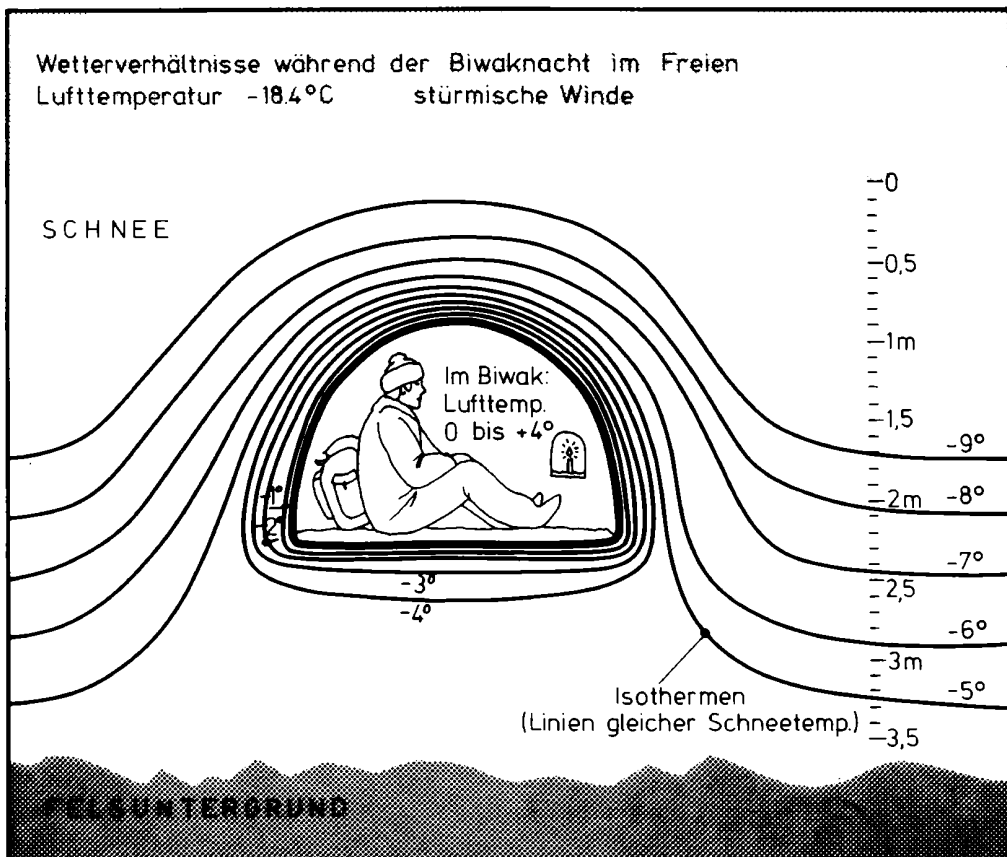


Abb. 3: Verlauf der Isothermen im Schnee rund um die Biwakhöhle

Der genaue Temperaturverlauf des Schnees ist in Abbildung 4 für drei verschiedene Zeiten an einigen Meßpunkten dargestellt. Sehr deutlich ist die Zunahme der Schneetemperatur vor allem in der Zeit nach dem Betreten der Höhle zu erkennen. Die Temperaturzunahme, und auch die Ausbreitung der Wärmewelle in den Schnee hinein, geht - wegen der bereits erwähnten konvektiven Strömungen in der Höhle - beim Punkt B (Höhlenkuppel) am raschesten vor sich, ist oberhalb des verschlossenen Höhleneingangs bei A schon geringer und beim Punkt D, welcher sich in der Nähe des Höhlenbodens befindet (siehe Abbildung 2) am schwächsten ausgeprägt. Auch nimmt die Eindringtiefe der Wärme von der Kuppel bis in Bodennähe von etwa 50 auf 30 cm ab. In größerer Entfernung von der Biwakhöhle kann eine Abkühlung der einzelnen Schneesichten beobachtet werden.

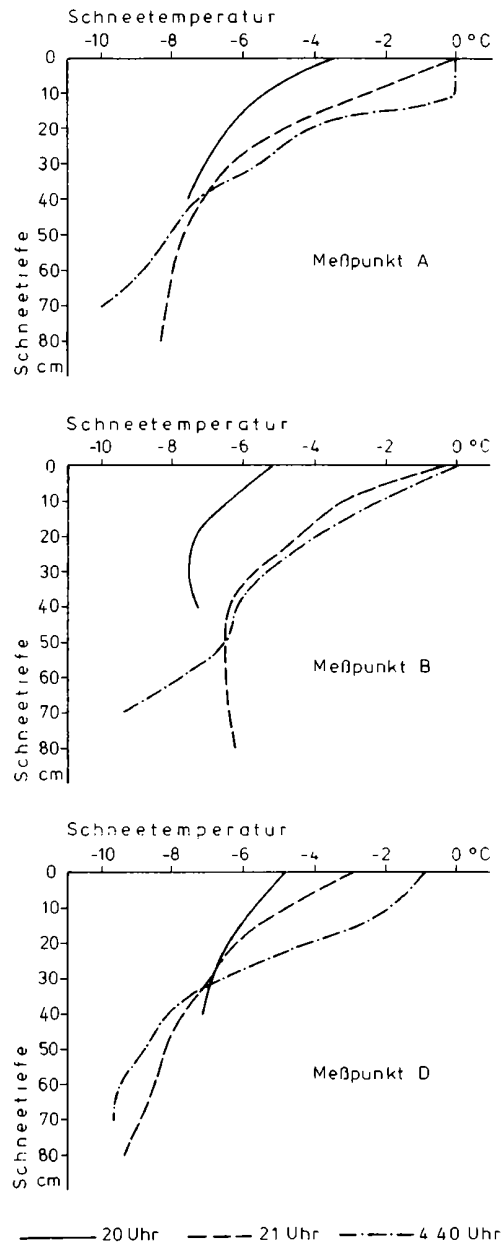


Abb. 4: Änderung der Schneetemperatur in der Umgebung der Biwakhöhle nach verschiedenen Meßrichtungen.

Die Isothermie beim Punkt A um 4.40 Uhr - sie ist nur in den ersten 10 cm zu verzeichnen - weist darauf hin, daß es hier zu Schmelz- und dadurch auch zu Vereisungsvorgängen kommt

### 3. Die Messungen zwischen dem 16. und 18. 9. 1977

Vom 16. bis zum 18. September 1977 wurde bei der Fleißcharte unterhalb des Gipfelaufbaues des Hohen Sonnblicks in einer Seehöhe von etwa 2970 Meter eine Biwakhöhle angelegt, daneben ein Zelt aufgestellt.

Die Schneetemperaturen lagen durchwegs bei 0°C, wie es für diese Jahreszeit charakteristisch ist (6). Der Eingang der Biwakschneehöhle wurde nicht mit Schneeziegeln, sondern nur mit einem Biwaksack verschlossen. In Abbildung 5 ist der Temperaturverlauf auf dem Gipfel des Hohen Sonnblicks demjenigen in der Schneehöhle bzw. im Zelt gegenübergestellt.

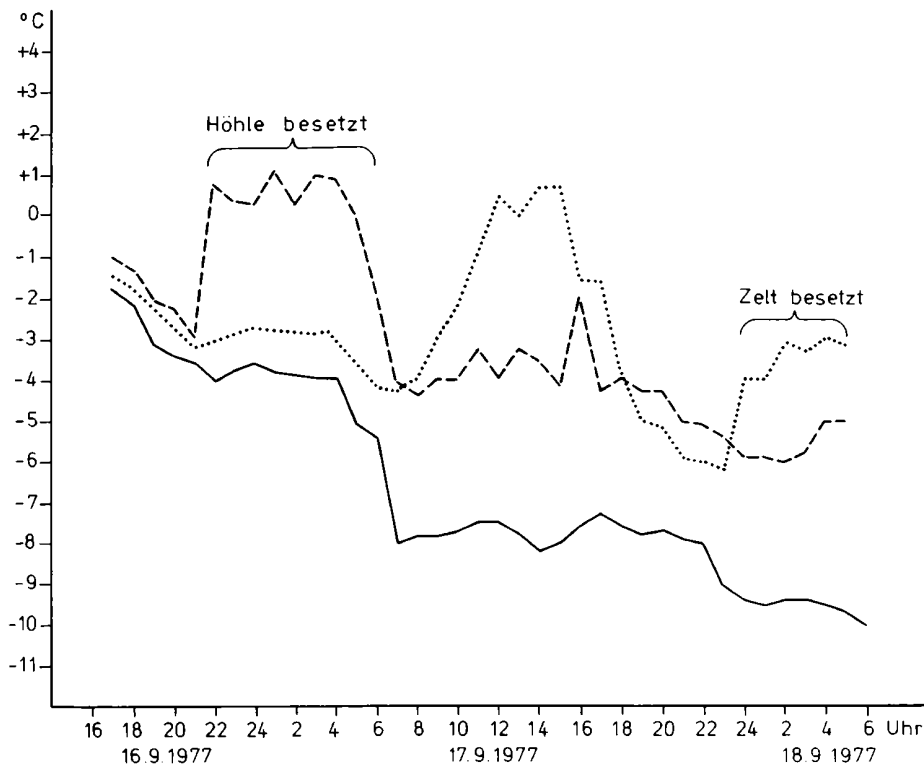


Abb. 5: Temperaturverlauf zwischen dem 16. und 18. 9. 1977 auf dem Hohen Sonnblick (\_\_\_\_), in der Schneehöhle (-----) und im Zelt (.....)

Während der Messungen in der ersten Nacht war das Wetter nur schwach windig. Die Schneehöhle wurde ab 21.45 Uhr von zwei Personen bis um 6 Uhr des nächsten Tages bewohnt. Dabei lagen die Innentemperaturen bei einer relativen Feuchte von 95 bis 100 Prozent zwischen 0 bis 1°C. Sofort nach dem Öffnen und Verlassen des Schneelochs kam es zu einem ausgeprägten Temperaturrückgang.

Am 17. 9. 1977 trat während des ganzen Tages dichter Nebel auf. Dennoch führte starke Himmelsstrahlung tagsüber bei schwachen Winden zu einem Anstieg der Zeltinnentemperatur auf über 0°C. Demgegenüber lag die Innentemperatur des leerstehenden Schneelochs bei ca. -4°C. Das Temperaturmaximum von -2°C rührt daher, daß zwischen 15.15 Uhr und 16.10 Uhr die Schneehöhle betreten wurde. Wegen der an diesem Tag deutlich



steigenden Windgeschwindigkeiten und der dadurch verstärkten Durchlüftung traten im Biwakloch keine positiven Innentemperaturen auf, obwohl sich zwei Personen fast eine Stunde lang darinnen aufgehalten haben.

Am 17. 9. wurde kurz nach 23 Uhr das Zelt bezogen, wobei wegen starker Durchlüftung die Innentemperaturen  $-3^{\circ}\text{C}$  nicht überschritten haben.

In einem nur mit einer Plane oder einem Biwaksack verschlossenen Schneeloch werden bei tiefen Außentemperaturen mit steigender Windgeschwindigkeit und dadurch auch Durchlüftung die Differenzen zwischen Innen- und Außentemperaturen geringer, bei Windstille oder schwachen Winden können aber die Innentemperaturen Werte von  $0^{\circ}\text{C}$  und mehr erreichen.

Bei tiefen Außentemperaturen und starken Winden ist die mikroklimatische Situation in einem derartigen Schneeloch aber wesentlich günstiger als in einem Zelt.

#### **4. Die Messungen am 7. 5. 1982**

Um die Auswirkungen von Alu-Folien auf das Mikroklima in Schneehöhlen festzustellen, wurden unterhalb des Wurtenkeeses auf dem Schareck gleichzeitig in zwei Schneebiwaklöchern, welche nur wenige Meter voneinander entfernt waren, Innentemperaturmessungen durchgeführt. Die Kuppel des einen Schneelochs wurde etwa zu zwei Drittel mit Alu-Folien verkleidet, das andere Biwak blieb in naturbelassenem Zustand.

Bei Außentemperaturen von  $-4^{\circ}\text{C}$  traten nach Besetzung mit je zwei Personen im mit Folien ausgekleideten Schneeloch Innentemperaturen zwischen  $6$  und  $8^{\circ}\text{C}$ , im anderen zwischen  $0$  und  $1^{\circ}\text{C}$  auf. Dieser große Unterschied findet seine Begründung darin, daß die Folie einerseits der Konvektion entgegenwirkt und andererseits den Strahlungswärmeverlust verringert.

Durch in die Schneedecke eingelagerte Eislinsen ist es in beiden Höhlen zu Sauerstoffmangel gekommen, im ausgekleideten Loch bereits nach 35 Minuten, im anderen nach 2.5 Stunden.

Auf Grund der gesammelten Erfahrungen ist es also trotz der günstigen thermischen Auswirkungen wesentlich sinnvoller, nur sich selbst mit Alufolien einzuhüllen, nicht aber die Innenwände auszukleiden, weil so die Sauerstoffzufuhr behindert wird.

#### **5. Die Energiebilanz des Menschen in einer Schneebiwakhöhle**

Die Auswirkungen der klimatischen Umweltbedingungen auf den Menschen werden am besten durch die Lösung der sogenannten Energiebilanzgleichung erfaßt, wobei also sämtliche Energieflüsse berücksichtigt werden. Für die Berechnung dieser einzelnen Wärme-flüsse ist die Kenntnis der physikalischen Prinzipien aus Wärmelehre und Thermodynamik sowie der entsprechenden physiologischen Grundlagen und Vernetzungen vonnöten. Eine genaue Beschreibung des Berechnungsverfahrens findet sich an anderer Stelle (1), hier soll nur auf die Schlußfolgerungen eingegangen werden, welche daraus abzuleiten sind.

Um eine Vorstellung über die Art und Größe der einzelnen Energieflüsse (in  $\text{W} = \text{Watt}$ ) in einer Schneehöhle zu vermitteln, sind diese in Abbildung 6 dargestellt, wobei die vom Körper wegführenden Wärmemengen mit einem negativen Vorzeichen versehen sind. Demnach wirken sich der Verlust durch Abstrahlung und durch fühlbare Wärme am stärksten auf die Energiebilanz aus.

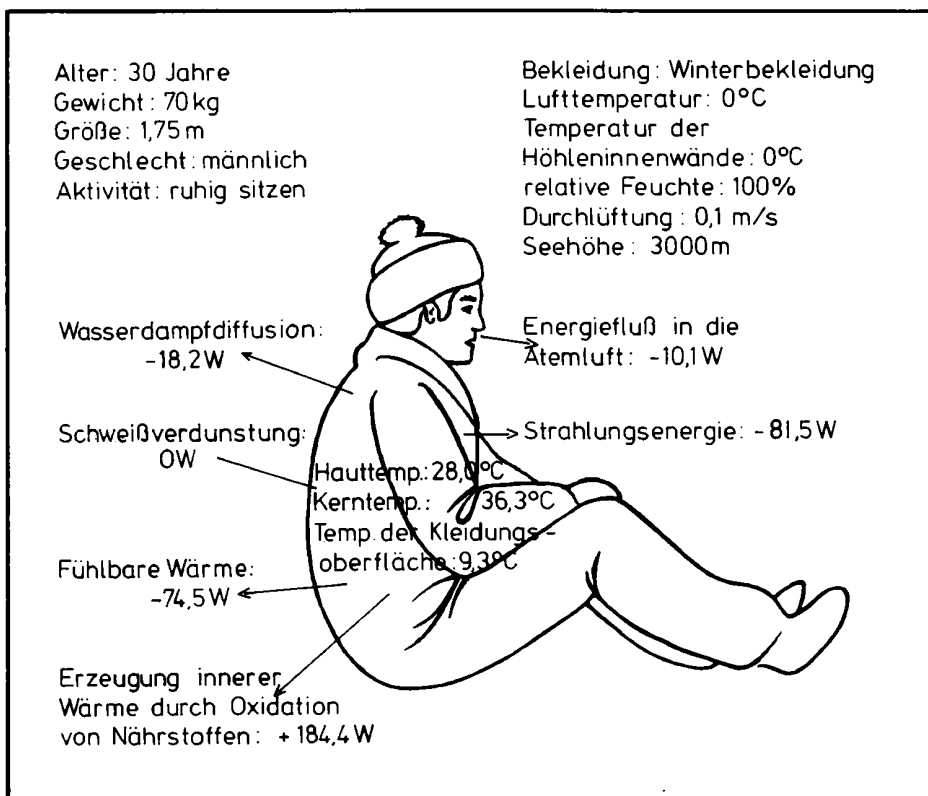


Abb. 6: Die Energieströme eines Bergsteigers in einer Bivak-Schneehöhle

In den Abbildungen 7 und 8 ist die Energiesituation eines Bergsteigers während der Nacht im Freien unter meteorologischen Bedingungen, wie sie während der Messungen vom 9. auf den 10. April 1980 geherrscht haben, derjenigen gegenübergestellt, die sich in einer Bivak-höhle ergibt.

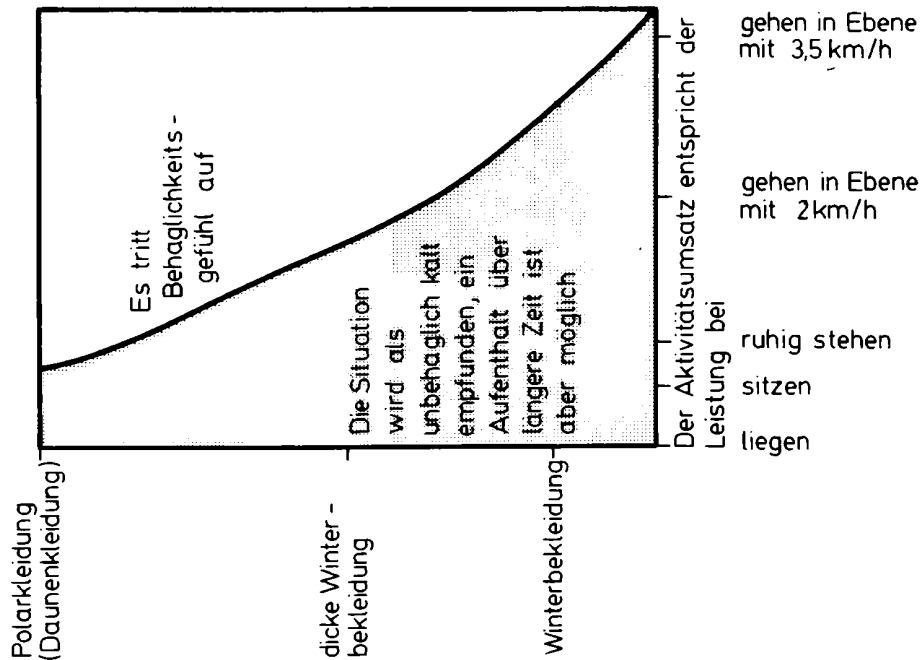


Abb. 8: Die Energiesituation eines Bergsteigers in einer Biwakhöhle

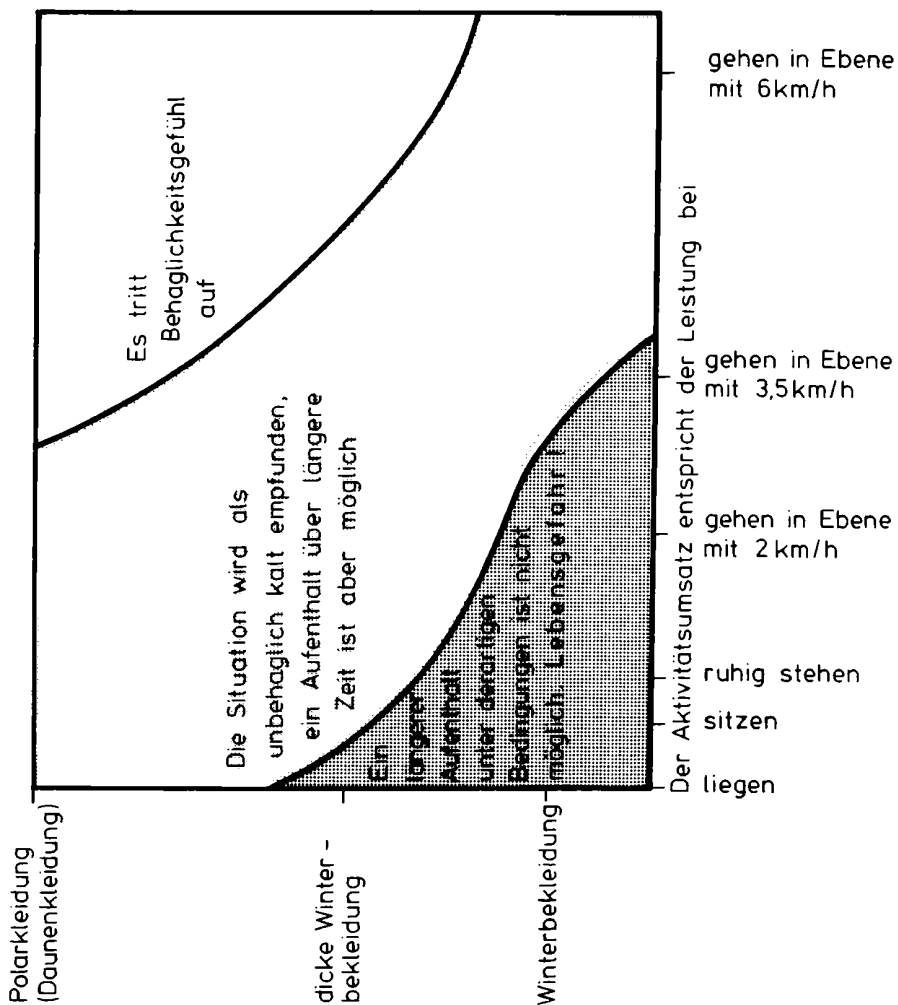


Abb. 7: Die Energiesituation eines Bergsteigers während der Nacht im Freien bei stürmischen Winden und Lufttemperaturen von -15°C

Aus Abbildung 7 geht hervor, daß unter derartig extremen Witterungsverhältnissen bei geringer Aktivität selbst mit dicker Winterbekleidung ein längerer Aufenthalt im Freien - von örtlichen Erfrierungen ganz abgesehen - nicht möglich ist, das heißt, nicht überlebt werden kann. Mit guter Daunenausrüstung lassen sich, ungeachtet örtlicher Erfrierungen, wie Kinn, Nase etc., selbst derartige Klimasituationen überstehen. Bei höheren Aktivitäten führt der durch Muskelarbeit hervorgerufene Wärmegewinn selbstverständlich zu einer wesentlich günstigeren energetischen Situation.

Demgegenüber kann man eine solche Nacht in einem Schneeloch selbst mit einer Bekleidung für die Übergangszeit auch im Zustand ruhigen Sitzens ohne Gefahr verbringen (siehe Abbildung 8). Selbstverständlich tritt dabei ein unbehagliches Kältegefühl auf, welches nur durch gesteigerte Aktivität überwunden werden kann.

Zur genaueren Dokumentation der einzelnen Energieflüsse in einer Biwakschneehöhle sind diese in der folgenden Tabelle für einen 30-jährigen, 1.75 m großen und 70 kg schweren Bergsteiger für unterschiedliche Aktivitäten und Bekleidungssembles dargestellt. Dabei wurde die Innentemperatur in der Schneehöhle sowie die Temperatur der Höhleninnenwände mit 0°C, die Luftbewegung mit 0.1 m/s, die relative Feuchte mit 100 % und die Seehöhe mit 3000 m angesetzt.

Die im Körper produzierten Wärmemengen sind positiv ausgedrückt, die vom Körper wegführenden Energieströme mit einem negativen Vorzeichen versehen.

Tabelle 5: Die energetische Situation eines Bergsteigers in der Schneebiwakhöhle für unterschiedliche Aktivität und Bekleidung

TSK	Mittlere Temperatur der Hautoberfläche (°C)
TC	Temperatur des Körperkerns (°C)
TCL	Mittlere Temperatur der Kleidungsoberfläche (°C)
WS	Wasserverlust durch Transpiration (Gramm/Stunde)
M	Metabolische Rate = Grundumsatz + Aktivitätsumsatz (Watt)
MSHIV	Umsatzsteigerung bei Kältebelastung (Watt)
ESW	Energiefluß durch Schweißverdunstung (Watt)
ERE	Energiefluß in die Atemluft (Watt)
ED	Energiefluß durch Wasserdampfdiffusion (Watt)
Q	Strahlungssaldo des Körpers (Watt)
L	Fluß fühlbarer Wärme (Watt)
B	Benetzungsgrad der Hautoberfläche (%)
GRU	Grundumsatz (Watt)

A) Geringe Aktivität, entsprechend ruhigem Sitzen

	TSK	TC	TCL	WS	M	MSHIV	ESW	ERE	ED	Q	L	B	GRU
Bekleidung für Übergangszeit	27.9	36.2	11.1	0.0	113.2	97.9	0.0	-10.1	-18.1	-95.8	-87.1	0	83
Normale Winterbekleidung	28.0	36.3	9.3	0.0	113.2	71.2	0.0	10.1	-18.2	-81.5	-74.5	0	83
Dicke Winterbekleidung	28.2	36.4	8.0	0.0	113.2	40.6	0.0	10.1	18.4	-64.8	-60.5	0	83
Polarkleidung (Daunenkleidung)	28.4	36.6	5.2	0.0	113.2	1.7	0.0	10.1	18.6	-44.3	-42.0	0	83

B) Höhere Aktivität, entsprechend dem Gehen in der Ebene mit 4 km/h

	TSK	TC	TCL	WS	M	MSHIV	ESW	ERE	ED	Q	L	B	GRU
Bekleidung für Übergangszeit	30.5	37.1	12.1	0.0	243.2	0.0	0.0	21.8	21.5	105.1	95.0	0	83
Normale Winterbekleidung	32.7	37.1	10.8	22.5	243.2	0.0	-15.2	21.8	23.6	95.8	86.8	5	83
Dicke Winterbekleidung	34.1	37.0	9.7	70.0	243.2	0.0	47.2	21.8	22.5	78.8	72.9	16	83
Polarkleidung (Daunenkleidung)	34.6	37.1	6.3	151.0	243.2	0.0	102.0	21.8	14.1	54.3	51.1	49	83

Kern- und Hauttemperaturen eines in einer Schneehöhle ruhig sitzenden Menschen bewegen sich auch bei unterschiedlicher Bekleidung nur in einem engen Temperaturbereich. Die ungünstigere Wärmehaushaltssituation eines dünner bekleideten Bergsteigers muß in diesem Fall durch vermehrtes Kältezittern ausgeglichen werden.

Bei einer erhöhten Aktivität, welche etwa dem Gehen in der Ebene mit 4 km/h entspricht und zum Beispiel durch isometrische Übungen auch in einem Schneeloch an den Tag gelegt werden kann, tritt überhaupt keine Kältebelastung auf, und das Kältezittern verschwindet.

Zusammenfassend kann also gesagt werden, daß bei Vorhandensein einer gut isolierenden Unterlage (Isoliermatte, gefüllter Rucksack etc.) ein Aufenthalt von einem Tag und länger in einem Schneeloch ohne weiteres auch mit normaler Winterbekleidung bei nur geringer

Aktivität möglich ist. Selbstverständlich wird dieser Zustand als unbehaglich empfunden. Mit genügend dicker Daunenausrüstung stellt sich sogar ein thermisches Behaglichkeitsgefühl ein. Dies wäre auch bei dünnerer Bekleidung durch Erhöhung der Aktivität erreichbar, wobei erfahrungsgemäß aber ruhiges Sitzen und Dahindösen vorgezogen wird.

Ausdrücklich hinzuweisen ist auf das hier nicht explizit erläuterte Ergebnis, daß sich bei Kälte, wenn Kleidungsisolation und Aktivität vorgegeben sind, Windgeschwindigkeit und Lufttemperatur unter allen Eingangsparametern auf die Energiebilanz des Menschen bei weitem am stärksten auswirken. Schutz vor Tiefsttemperaturen und Wind, wie er in Schneehöhlen geboten wird, bedeutet also Schutz vor dem sicheren Erfrieren.

#### Literatur

- (1) Hammer N.: Ein Energiebilanzmodell des Menschen. Die Energiebilanz in einem Schneebiwak. Teil A, Wetter und Leben 37,1, 1-12 (1985); Teil B, Wetter und Leben 37,2, 73-87 (1985)
- (2) Steinhauser F.: Die Meteorologie des Sonnblicks; Wien, Kommissionsverlag von Julius Springer, 1938
- (3) Abels H.: Beobachtungen der täglichen Periode der Temperatur im Schnee und Bestimmung des Wärmeleitvermögens des Schnees als Funktion der Dichte. Rep. Meteor. Petersburg 16, Nr. 1,31,32 (1982)
- (4) Devaux J.: L'conomie radio-thermique des champs de neige et des glaciers. Ann.Physique 20, Nr. 2 (1933)
- (5) Reuter H.: Über die Theorie des Wärmehaushaltes einer Schneedecke. Arch. f. Met., Geoph. u. Biokl., 1/1948
- (6) Mahringer W.: Der Jahresgang der Temperatur in der Schneedecke am Hohen Sonnblick (3100 m), 68.-69. Jahresbericht des Sonnblick-Vereines für die Jahre 1970 - 1971, 31 - 40. Wien 1973