

Glazialmeteorologische Arbeiten auf dem Filchner-Ronne-Schelfeis während der Standorterkundungsexpedition 1979/80

Von Oskar Reinwarth*

Zusammenfassung: Im Rahmen der Antarktis-Expedition 1979/80 zum Filchner-Ronne-Schelfeis wurden an der Position Filchner-Station glaziologische Untersuchungen — vorrangig zur Bestimmung des Schneeauftrags — durchgeführt sowie meteorologische Messungen und Beobachtungen vorgenommen. In wesentlich geringerem Umfang erfolgten analoge glaziologische Arbeiten an der Position Atka-Bucht. Im nachfolgenden Bericht werden hauptsächlich die glaziologischen Arbeiten und deren Ergebnisse vorgestellt.

Vorweg werden Grundlagen, Definitionsgrößen und Arbeitsmethoden der Schneeauftragsermittlung kurz erläutert, ergänzt durch Hinweise auf die Praxis der Schneeschachtaufnahme. Dabei werden Dichtemessungen, stratigraphische Analyse mit Hilfe eines Durchlichtsprofils und Festigkeitsbestimmungen näher beschrieben.

Die Auswertung des Filchner-Schneeprofiles von 1980 und der Ergänzungen von 1981 ergab 7 vollständige Haushaltsjahre für 370 cm Profiltiefe oder 53 cm Schneeauftrag/Jahr. Mit einer mittleren Dichte von $0,375 \text{ g/cm}^3$ entspricht dieser Wert einem Wasseräquivalent von 20 cm. In Atka wurden 3 Jahresschichten auf 210 cm Schneeprofil festgestellt, entsprechend 70 cm Zutrags/Jahr. Mit der merklich höheren mittleren Dichte von $0,438 \text{ g/cm}^3$ ergibt sich ein Wasserwert von 30 cm für den Jahresbetrag.

Zusätzlich zu den Schneeschachtaufnahmen wurden Flachbohrungen niedergebracht, an der Filchner-Station bis 10,8 m Tiefe mit 128 Probenahmen und in Atka bis 12,1 m Tiefe mit 114 Kernproben. Vom Institut für Radiohydrometrie der GSF, Neuherberg, wurden die Proben auf die Gehalte an den stabilen Isotopen ^2H und ^{18}O , bezogen auf V-SMOW als Standard, sowie des radioaktiven Isotops ^3H analysiert. Die Verteilung der stabilen Isotope mit der Tiefe zeigt eine quasiperiodische Variation, die als Jahresschwankung der Akkumulation angesehen wird. Die Auszählung der Schwankungen führt auf 20 Jahre für den Filchner-Kern, entsprechend 55 cm Jahresbetrag bzw. 22 cm Wasseräquivalent und 15 Jahre für Atka mit 75 cm jährlichem Zutrags bzw. 32 cm Wasseräquivalent. Schwankungsbereich und Mittelwerte der Isotopengehalte unterscheiden sich signifikant für beide Standorte.

Die Tritiumanalyse weist an der Filchner-Station 2 den Wintern 1965 und 1966 zuzuordnende Spitzenwerte auf. Diese Datierung stimmt mit der aus der Analyse der stabilen Isotope abgeleiteten Zeitskala vollständig überein. Der Bohrkern von der Atka-Bucht läßt keine entsprechenden Effekte erkennen.

In den Bohrlöchern wurden jeweils auch Firntemperaturen gemessen. Der besonders interessierende 10 m-Wert liegt für Filchner bei -25°C und in Atka bei $-17,0^\circ \text{C}$.

Summary: During the German Antarctic Expedition 1979/80 to the Filchner/Ronne Ice Shelf glaciological investigations were carried out at the Filchner station, mainly for determination of snow accumulation. Also meteorological measurements and observations were part of the programme. Similar glaciological work on a smaller scale was done at Atka Ice Port. The report presents the results of the glaciological investigations.

In an introductory part some basic considerations, definitions and methods are discussed briefly, completed by a few hints on practical snow pit work. Density measurements, stratigraphic analyses with aid of a throughlight profile and hardness determination are described in more detail.

The analyses of the Filchner snow profile of January 1980 with supplements of January 1981 reveal 7 complete budget years for 370 cm depth or 53 cm snow accumulation/year. With a mean density of $0,377 \text{ g/cm}^3$ this value corresponds to a water equivalent of 20 g/cm². At the Atka site 3 budget years were determined within 210 cm depth of the snow pit or 70 cm of mean annual accumulation. With the rather higher mean density of $0,438 \text{ g/cm}^3$ for this site the corresponding water equivalent amounts here to 30 g/cm².

In addition to the snow pit studies shallow drillings were made at Filchner Station to a depth of 10,8 m with 128 samples taken from the core and at Atka to 12,1 m depth with 114 samples. At the Institute for Radiohydrometry, Neuherberg, the samples were analysed with respect to the stable isotope ratios $^2\text{H}/^1\text{H}$ and $^{18}\text{O}/^{16}\text{O}$ related to V-SMOW. Also the tritium content was measured. The variations of the stable isotope ratios with the depth show quasiperiodic fluctuations which are regarded as annual cycles of the accumulation rate. Counting of the pronounced peaks leads to 20 years for the Filchner core, giving 55 cm annual accumulation or 22 g/cm² water equivalent respectively. At Atka 15 years could be found corresponding to 75 cm annual accumulation or 32 g/cm² of water. The range of variation and the mean value of the stable isotope ratios are significantly different for both sites, the agreement of the isotopic analyses with the pit studies is rather satisfactory. The tritium content shows for the Filchner core two pronounced peaks which can be related to the 1965 and 1966 winter seasons according to former studies at the South Pole station. These time estimates are consistent with the time scale derived from the stable isotopes distribution. At the Atka site no similar effect in the tritium values was found.

In the drillholes firn temperatures were measured carefully. The 10 m value was determined to be -25°C at Filchner Station and -17°C at the Atka position.

VORBEMERKUNG

Die Homogenität der Bedingungen ermöglicht heute für fast alle Bereiche des antarktischen Inlandeises und der angrenzenden Schelfeise eine näherungsweise Beschreibung der klimatischen Verhältnisse. Die von der geographischen Breite abhängende jahreszeitliche Variation der Sonnenhöhe und Dauer des Sonnenstandes über dem Horizont charakterisiert weitgehend die Strahlungsverhältnisse eines Ortes, der Ab-

* Dipl.-Met. Oskar Reinwarth, Kommission für Glaziologie der Bayerischen Akademie der Wissenschaften, Marstallplatz 8, D-8000 München.

stand zum Eisrand und die absolute Höhe sind maßgeblich für die mittleren Temperatur- und Akkumulationswerte, und die Geländeneigung und -orientierung zusammen mit Randabstand und Höhe bestimmen in erheblichem Maß die mittleren Windverhältnisse. Auf der Basis der inzwischen in beachtlicher Vollständigkeit vorliegenden Klimakarten der Antarktis (ATLAS ANTARKTIKI 1966) und kartographischen Darstellungen weiterer physikalisch-glaziologischer Parameter (BUDD et al. 1971) lassen sich für das Operationsgebiet der Standorterkundungsexpedition vorweg eine Reihe von Aussagen bereitstellen. Sie weisen dieses Gebiet entsprechend der geringen Höhe und der Eisrandnähe als einen Bereich mit relativ gemäßigten Mitteltemperaturen im Intervall -20° — -30° aus, mit vergleichsweise hohen Akkumulationsbeträgen zwischen 20 — 30 g/cm² als Jahresbeträgen, bei Dichtewerten zwischen $0,35$ — $0,40$ g/cm³ für den Tiefenbereich bis 2 m. Die Hauptwindrichtung ist im SE-Sektor anzunehmen.

Diese Angaben durch Untersuchungen und in situ Messungen im Verlauf der Expedition stärker zu präzisieren und zu ergänzen, bildete im wesentlichen die Aufgabe des glazialmeteorologischen Programnteils der Standorterkundungsunternehmung.

Im nachfolgenden Bericht werden hauptsächlich die Untersuchungen zur Bestimmung des Schneeauftrags behandelt.

1. SCHNEEAUFTRAGSBESTIMMUNG NACH DER STRATIGRAPHISCHEN METHODE

Die Ermittlung des jährlichen Schneeauftrags anhand der Analyse der Schnee- und Firnschichtung in Schneeschächten von zumeist 1 — 3 m Tiefe stellt ein bereits seit langem praktiziertes Verfahren dar, das als Feldmethode auch heute noch nicht überholt oder ersetzbar ist. Die modernen Verfahren basieren allgemein auf der Analyse bestimmter jahresperiodisch variierender physikalisch-chemischer Eigenschaften oder deren anderweitigen zeitlichen Zuordnungsmöglichkeiten, z. B. der Konzentration bestimmter natürlich vorkommender isotopischer Anteile im deponierten Niederschlag, deren Nachweis immer mit Laboruntersuchungen von Probenmaterial verbunden ist. In ihren Anwendungsmöglichkeiten sind diese Verfahren allerdings im Gegensatz zur Schneeschachtmethode nicht auf den Bereich visuell identifizierbarer Merkmale beschränkt.

Im Verlauf der Standorterkundungsunternehmung 1979/80 kamen beide Verfahren zur Anwendung, wobei hier die Schneeschachtmethode etwas ausführlicher dargestellt wird. Über die Ergebnisse der Isotopenuntersuchungen an Bohrkernen wird an anderer Stelle umfassender berichtet (REINWARTH et al. 1981).

Die in einem Schneeschacht als Funktion der Tiefe meßbaren Größen von Schnee- bzw. Firndichte (als Firn wird Material bezeichnet, das nicht mehr aus dem laufenden „Haushaltsjahr“ stammt), Korngröße und Materialfestigkeit sowie die beobachtbaren Merkmale der Kornform und Schichtgrenzen zeigen einen quasiperiodischen Verlauf. Die zyklische Wiederkehr bestimmter Kombinationen von Meßwerten und Merkmalen entspricht der jahreszeitlich unterschiedlichen Beschaffenheit des zur Deposition gelangenden, ausschließlich als Schnee fallenden Niederschlags und den jahreszeitlich unterschiedlich wirksamen Prozessen bei der nachfolgenden Metamorphose des deponierten Materials. Für die Beschaffenheit des zur Ablagerung kommenden Niederschlags sind vor allem die bei der Niederschlagsbildung herrschenden Temperatur- und Feuchtebedingungen (NAKAYA 1954) sowie die entsprechenden Bedingungen der vom Niederschlag durchfallenen Luftschichten maßgeblich. Der Wind ist zusätzlich im Sinne einer Verkleinerung der Niederschlagspartikel in Bodennähe sowie einer Kompaktierung nach der Ablagerung wirksam. Die nachträgliche Umwandlung des sedimentierten Materials wird bedingt durch Verdunstungs- und Kondensationsvorgänge in den obersten Schneeschichten. Die Intensität der Vorgänge ist dabei von der Firntemperatur selbst abhängig. Verursacht wird der Wasserdampftransport durch die starken Temperatur- und damit verbundenen Dampfdruckgradienten, die sich vornehmlich im Frühjahr und Herbst im oberflächennahen Bereich aufbauen. Die Umsetzung kurzwelliger Strahlung ist bei

den Vorgängen gleichfalls wirksam (TAYLOR 1971).

Die als Voraussetzung geltende Annahme, daß ein Zyklus der quasiperiodisch variierenden stratigraphischen Merkmale und Meßwerte eines Schneeprofiles einem Jahresbetrag des Schneeauftrags entspricht, begrenzt die Anwendbarkeit dieser Methode auf einen bestimmten Bereich der Akkumulationswerte. Wegen des außerordentlich großen Flächenanteils der Antarktis mit extrem niedrigen Auftragswerten von $< 5 \text{ g/cm}^2$ ist vor allem der untere Grenzbereich der Anwendbarkeit von besonderem Interesse (RUNDLE 1971). Bei den hier gegebenen äußerst geringen Schichtdicken kann Winderosion zum Abtrag von Sommer-, Winter- oder auch ganzen Jahresschichten führen, so daß eine chronologische Auswertung der Schichtabfolgen nicht mehr eindeutig möglich ist. Die Beeinflussung der gesamten Jahresschicht durch die Metamorphoseprozesse kompliziert in diesem Fall zusätzlich die Interpretation (KOERNER 1971). Die Grenze der eindeutigen Identifikation von Jahresschichten bei hohen Beträgen des jährlichen Schneeauftrags wird erreicht, wenn die von längeren Witterungsphasen im Schichtaufbau eines Schneeprofiles verursachten unterschiedlichen Merkmale so ausgeprägt sind, daß sie die zyklische Abfolge der Eigenschaften nicht mehr zweifelsfrei erkennen lassen.

Während die Unsicherheiten, bedingt durch zu geringen Schneeauftrag, bei beiden im Verlauf der Standorterkundung aufgenommenen Schneeprofilen keine Rolle spielten, wurden die Schwierigkeiten der nicht mehr gänzlich sicheren Abgrenzung der Jahresschichten vor allem bei den Arbeiten in der Atka-Bucht mit den relativ hohen Auftragswerten dieses Gebietes sehr deutlich.

Grundsätzlich ist zur Schneeprofilaufnahme anzufügen: Bei dem über ein bestimmtes Tiefenintervall gemessenen Schneeauftrag handelt es sich jeweils um einen Nettobetrag. Er ergibt sich als Bilanzwert von Zutrag, im Untersuchungsgebiet ausschließlich aus der Deposition von festem Niederschlag und — mit wesentlich geringeren Anteilen — aus der Ablagerung durch Winddrift herantransportierten Materials sowie von Oberflächenreif resultierend, und Abtrag, für den an den Meßstellen ausschließlich Winderosion und Verdunstung in Betracht kommen. Dabei ist für das ganze Gebiet der Zutrag stets größer als der Abtrag. Analog zu den in der Gletscherforschung eingeführten Definitionsgrößen (HOINKES 1970) entspricht der so bestimmte Wert des Schneeauftrags der spezifischen Nettobilanz in g/cm^2 . Diese wird für den Bereich mit positiven Werten — dem Akkumulationsgebiet — als spezifische Netto-Akkumulation bezeichnet.

Wird das betrachtete Tiefenintervall durch zwei aufeinanderfolgende Jahresgrenzen gebildet, so erhält man den allgemein als Ergebnis angestrebten Jahresbetrag der Netto-Akkumulation ($\text{g/cm}^2 \cdot a$). Wenn im folgenden von Akkumulation oder Auftragswerten die Rede ist, so sind darunter jeweils die Nettobeträge zu verstehen.

1.1. Anlage und Aufnahme des Schneeschachtes

Neben der stratigraphischen Situation des Schneeprofiles als solcher ist eine zuverlässige Interpretation und Auswertung wesentlich auch von den äußeren Arbeitsbedingungen abhängig. Eine der beabsichtigten Profiltiefe angepaßte Größe des Schneeschachtes, die richtige Orientierung des Schachtes zu Sonne und Wind, eine sorgfältige Präparation der Abstichswand und auf Schachttemperatur gehaltenes Arbeitsgerät (Dichtesonden) sind wichtige Punkte.

Unter weitgehender Beachtung dieser Gesichtspunkte wurde ein Schneeschacht an der Filchner-Station (vgl. Stationsaufnahme MÖLLER & GERDAU 1981) angelegt und ausgewertet, ein zweiter nahe dem Signal Atka-Bucht.

Die Methodik der Bearbeitung, Auswertung und der Darstellungsweise, wie sie in Abb. 1 wiedergegeben ist, schließt eng an die Arbeitsweise der Gruppe Glaziologie-Inlandeis der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) 1959/60 an (DE QUERVAIN 1969). Unmittelbar nach dem Ausheben des Schachtes wurden die Firntemperaturen in der Schachtwand gemessen. Die Störung des Tempe-

raturfeldes durch den Schacht bildet die einzige, schon nach relativ kurzer Zeit wirksam werdende Beeinträchtigung der Meßwerte. Die anschließende Dichtemessung erfolgte mit der CRREL-Schneedichte-Ausrüstung, deren wesentliche Bestandteile 12 Dichtesonden von 500 cm³ Volumen, beiderseits mit Gummikappen abschließbar, und eine, auf 1 g ablesbare Federwaage mit einem Meßbereich von 1200 g bilden. Vor der Dichtebestimmung wurde die Waageanzeige mit einem geeichten Gewichtssatz überprüft. Die Angaben der nachfolgenden Abschnitte 1.1.1. — 1.1.2. beziehen sich auf den Schneeschacht an der Filchner-Station. Die Ergebnisse der Untersuchungen in der Atka-Bucht sind in Abschnitt 1.2.2. zusammengefaßt.

1.1.1. Dichtewerte

Insgesamt wurden 67 Dichtemessungen über einen Tiefenbereich von 357 cm vorgenommen, wobei jeder Wert als Mittel über den Sondendurchmesser von 58 mm im rechten Teil von Abb. 1 eingetragen ist. Mit einem mittleren Abstand von 5,3 cm überdecken sich die Dichtemessungen geringfügig. Tatsächlich wurden die Dichtewerte in den Bereichen geringer Schichtdicken in wesentlich engerem Abstand genommen als in Bereichen größerer Homogenität des Materials. Der erfaßte Minimalwert der Dichte von 0,280 g/cm³ kommt einer grobkörnigen Lockerschicht in 52 cm Tiefe zu, der höchste Wert von 0,452 g/cm³ wird in einer sehr harten und feinkörnigen Schicht in 340 cm Tiefe erhalten. Das Mittel aller Dichtewerte liegt bei 0,377 g/cm³.

Für Vergleiche mit Literaturangaben ist die mittlere Dichte von der Oberfläche bis 2 m Tiefe, die hier 0,370 g/cm³ beträgt, heranzuziehen. In der Häufigkeitszusammenstellung von Dichtewerten für diesen Tiefenbereich für die gesamte Antarktis in Karte 6 von Folio 2 der Antarctic Map Folio Series (BENTLEY et al. 1964) rangiert dieser Wert im unteren Häufigkeitsbereich und tritt etwa halb so oft auf wie der häufigste Wert von 0,39 g/cm³. Er steht jedoch in fast vollständiger Übereinstimmung mit den analogen Dichtewerten der Ellsworth-Traverse 1957—58, wie sie in der Bearbeitung der Dichtezunahmen des Schnees in der Westantarktis von KOJIMA (1964) zusammengestellt sind. Dort finden sich entsprechende Werte für das Filchner-Schelfeis, die in dessen Randzone bei 0,37 g/cm³ liegen und für den ersten Teil der Traverse, quer über das Filchner-Schelfeis in Nord-Südrichtung, als Gruppenmittel von 12 Stationen, 0,361 g/cm³ ergeben.

1.1.2. Stratigraphie

Als weiterer Parameter wurde in der Folge die Korngröße bestimmt. Das Verfahren beschränkte sich darauf, mit der auch im Lawinendienst gebräuchlichen Rasterplatte mit Teilungen von 1 — 3 mm kleine Firmengen aus der Schachtwand zu nehmen und auf der Platte zu verteilen. Anschließend wird festgestellt, welcher Raster der mittleren Korngröße am besten entspricht. Dieses Verfahren ist relativ grob und gestattet keine näheren Aussagen etwa über die Korngrößenverteilung in einer Schicht. Eine exaktere Korngrößenbestimmung wird aber auch durch andere Feldmethoden nur beschränkt gewährleistet (KOERNER 1964). Als geeignetes Mittel zur Objektivierung der Angaben hilft vor allem die photographische Aufnahme weiter, die jedoch einen größeren Arbeitsaufwand bedingt. Im vorliegenden Fall beschränkte man sich darauf, Größenklassen zu erfassen, was im allgemeinen ausreichend ist. Die Ergebnisse sind gleichfalls in Abb. 1 eingetragen. Die überdurchschnittlichen Korngrößen der Lockerschichten, die eng mit niedrigen Dichtewerten korrelieren, sind das auffallendste Merkmal dieses Teils der Darstellung, aber auch die mit der Tiefe zunehmende mittlere Korngröße ist gut erkennbar.

Die beiden anschließenden Eintragungen zur Kennzeichnung der Schichtabfolgen in Abb. 1, nämlich eine Angabe zur Härte des Materials und zur Kornform sind rein qualitativ ermittelt. Als Kriterium für die Unterteilung in die 5 angegebenen Härtestufen dient der auch im Lawinendienst übliche Handtest (Faust, Hand, Finger, Bleistift, Messer), der hier jedoch etwas eingeengt angewendet wird, etwa in der Form — sehr weich: Finger gehen noch gut in den Schnee; mittel: es ist gerade noch möglich, mit dem Finger in den Schnee einzudringen; hart: Bleistift kann in den Schnee geschoben werden; sehr hart: Bleistift kann nicht mehr in den Schnee eindringen. Im allgemeinen sind feinkörnig und hart sowie grobkörnig und weich engkorrelierte Eigenschaften. Die Beurteilung und Unterscheidung der Begriffe weich, locker und

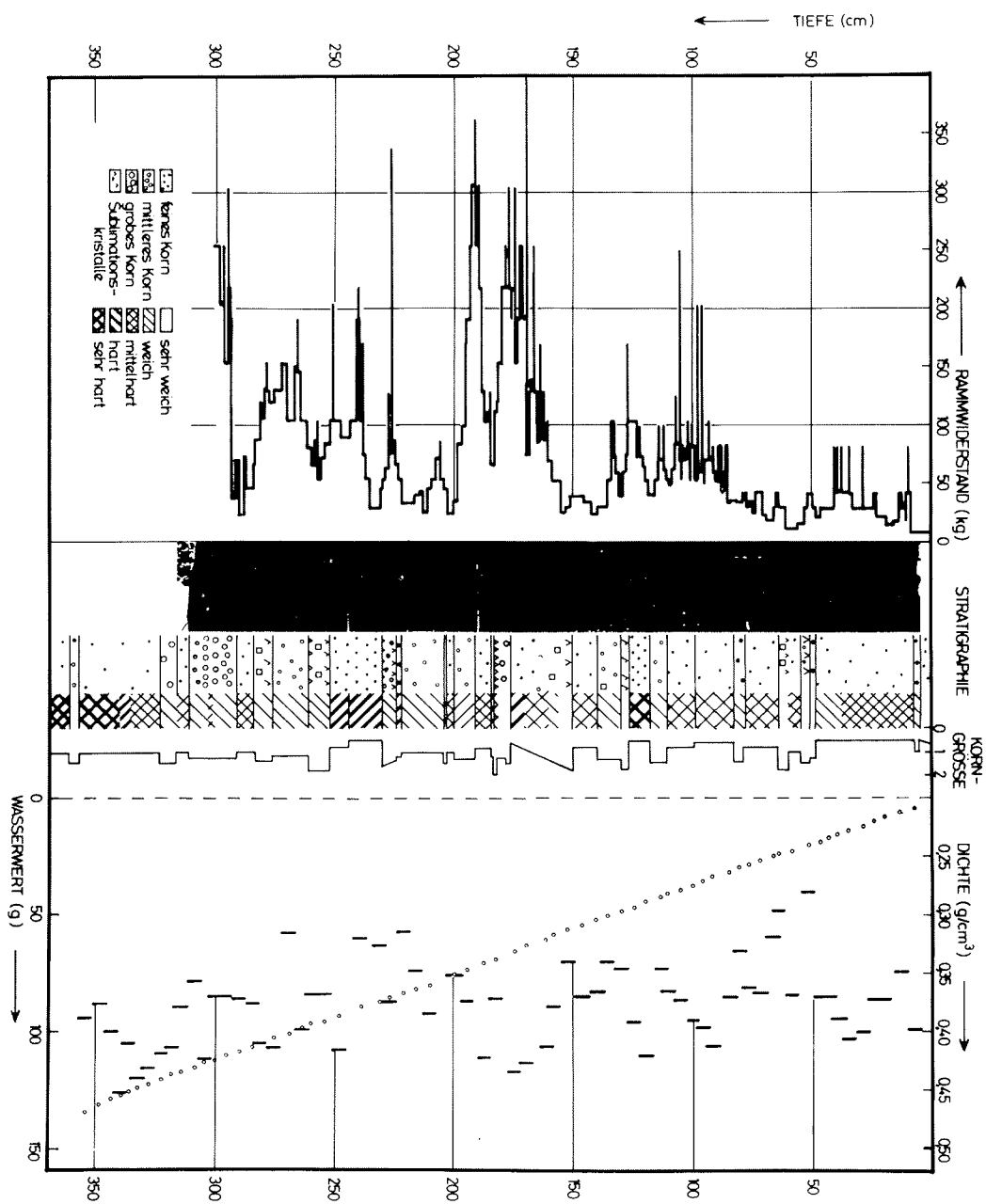


Abb. 1: Schneeprofilaufnahme an der Filchner-Station. Eingetragen von rechts: Dichte, Wasserwert, Korngröße in mm, Festigkeit, Kornform, Durchlichtprofil und Rammwiderstand.

Fig. 1: Snow pit analysis of Filchner Station. From left: density, water equivalent, grain size in mm, hardness, grain shape, throughlight profile and ramhardness.

geringe mechanische Festigkeit erweist sich dabei besonders problematisch.

Die Angabe der Form berücksichtigt vornehmlich den Metamorphosegrad der Firnkörner, wobei die lockersten Schichten allgemein von becherförmigen Tiefenreifkristallen gebildet werden, mittleres Korn bereits deutlich als metamorph anzusprechen ist und grobes Korn häufig kantige Strukturen aufweist, die auch in der Symbolik der Eintragung der Abb. 1 verdeutlicht wurden. Nur das feinkörnige Material der Winterschichten, das selten längere Zeit nahe der Oberfläche verblieb, kann in seiner Beschaffenheit als wenig verändert gegenüber den ursprünglichen Formen- und Größenverteilungen angesehen werden.

Durchlaufende Striche in der Darstellung der Stratigraphie von Abb. 1 geben die Abgrenzung einzelner Schichten durch zumeist dünne Krusten an, die entstehen, wenn die betreffende Grenzfläche auch nur für kürzere Zeit als Oberfläche exponiert war.

Dabei wird nicht unterschieden zwischen den durch Strahlungseffekten gebildeten Krusten und solchen die durch Windwirkungen zustande gekommen sind. Zieht man die durch Krusten deutlich erkennbaren Abgrenzungen als Kriterium heran, so findet man an der Filchner-Station 36 Schichten auf 370 cm Profiltiefe, entsprechend einer mittleren Schichtdicke von 10,3 cm. Der Korngrößenverlauf läßt hingegen 38 Schichtungen erkennen und die Härtebestimmung weist 48 abgrenzbare Bereiche unterschiedlicher Beschaffenheit auf.

1.1.3. Festigkeitsbestimmungen

Ergänzend zum subjektiven Härte-test wurde als quantitative Beschreibung der stark wechselnden mechanischen Festigkeit des Materials die Rammhärte ermittelt. Zum Einsatz kam die leichte Normalrammsonde nach Haefeli, Modell SLF (Eidgen. Institut für Schnee- und Lawinenforschung). Es wird die Eindringtiefe einer Stahlkegelspitze von 60° Scheitelwinkel und 4 cm Basisdurchmesser unter der Wirkung eines Fallgewichtes von 1 kg bestimmt und der Wert anhand der vereinfachten Rammsondenformel in den Rammwiderstand in kg umgerechnet. Die in ca. 0,5 m Entfernung von der Abstichwand des Schneeprofiles vorgenommene Sondierung war bei der Vielzahl dünner und zum Teil sehr lockerer Schichten ebenso wie harter Krusten schwierig auszuführen und zu analysieren. Die Rammhärteeintragung der Abb. 1 zeigt neben den auf kürzeste Distanz stark schwankenden Werten deutlich mehrere größere Komplexe, wobei die härteren Bereiche in etwa den Abschnitten mit höheren Dichtewerten entsprechen, aber nicht in jedem Fall mit feinkörnigen Schichten übereinstimmen.

Ein anderes Verfahren zur Beschreibung der mechanischen Festigkeit basiert auf der Bestimmung der Scherfestigkeit mit einer Drehflügelsonde, das erstmals in größerem Umfang 1959/60 bei rheologischen Untersuchungen im Rahmen der Internationalen Glaziologischen Grönland-Expedition (EGIG) angewandt wurde (HAEFELI & BRANDENBERGER 1968). Die im Rahmen der Standorterkundung durchgeführten entsprechenden Messungen (KOHLEN et al. 1981) sind vom Lehrstuhl für Grundbau und Bodenmechanik der Ruhr-Universität Bochum vorbereitet und ausgewertet worden. Während das als Ergebnis der Rammsondierung erhaltene Rammprofil eine quasi kontinuierliche Beschreibung von Festigkeitseigenschaften über die erfaßte Tiefe liefert, erbringen die Drehflügelmessungen Festigkeitswerte für konkrete Meßtiefen. Eine weitere Ergänzung der stratigraphisch auswertbaren Informationen ist mit diesen Meßwerten kaum möglich.

Weiter enthält der Bericht Festigkeitsuntersuchungen, die mit einem Cone-Penetrometer im Schneeschacht vorgenommen wurden. Sie sind den während der Schneeprofilaufnahme durchgeführten Messungen mit der kanadischen Härtesonde, wie sie in der CRREL-Schneedichte-Ausrüstung enthalten ist, vergleichbar. Wegen der beschränkten Repräsentativität der mit dieser Sonde erzielten Ergebnisse wurde von deren Darstellung hier abgesehen. Sie ist vor allem geeignet, um relative Härteunterschiede der einzelnen Schichten anzugeben.

1.2. Auswertung der Schneeprofilaufnahme

Die folgenden Abschnitte enthalten die Auswertung der Profilaufnahmen an den beiden erkundeten Standorten.

1.2.1. Schneeprofil Filchner-Station

Wie in Abb. 1 gut erkennbar ist, zeigen das Dichte- und Rammhärteprofil zwar deutliche quasiperiodische Schwankungen, eine eindeutige Abgrenzung von Jahresschichten ist damit im vorliegenden Fall nicht möglich. Erst die Kombination aller verfügbaren Parameter vermag eine solche Aussage zu liefern.

Im Gegensatz zu anderen Bearbeitungen, bei denen die Dichteschwankungen oder andere Größen bevorzugt zur Interpretation herangezogen wurden, stützt sich die Analyse des Filchner-Schneeschatzes vornehmlich auf die Bewertung der stratigraphischen Merkmale, die zu diesem Zweck deutlich sichtbar und mit Hilfe photographischer Aufnahmen objektiv dokumentierbar gemacht wurden. Je nach verfügbarer Zeit und Beschaffenheit des Materials gibt es hierfür verschiedene Verfahren (KOERNER 1964). Im vorliegenden Fall wurde ein Durchlichtprofil (Abb. 2) außerhalb des Schneeschatzes erstellt. Dazu wurden ca. 20 cm dicke Schneetafeln von ca. 1 m Länge und 0,5 m Breite aus der Schachtwand herauspräpariert und auf angehäuftem Schnee sorgfältig zu einer knapp 10 cm dicken, planparallelen Platte mit gut geglätteten Oberflächen zusammengefügt. Das Profil war so orientiert, daß die aufgerichteten Platten von der tiefstehenden Sonne durchleuchtet wurden, so daß im durchfallenden Licht alle Details der Schichtung genau erkennbar wurden. Die Wiedergabe des Durchlichtprofils in Abb. 1 läßt wegen der Schwierigkeit der Reproduktion die Einzelheiten nur mehr schwach erkennen. Die Abb. 2 veranschaulicht deshalb nochmals die Anordnung.

Neben der Schichtabfolge als solcher zeigt das Durchlichtprofil als weitere wichtige Information die weitgehend ungestörte Ausbildung der Schichten. Nur im Bereich 2,8—3,1 m sind merkliche Störungen des Schichtgrenzverlaufs, bedingt durch Sastrugi-Formen der damaligen Oberfläche erkennbar. Wenn auch der bekannte Abbau der oft erheblichen Oberflächenrauigkeit am Ausgang des Winters im Verlauf des Sommers (GOW 1965) hier sicher auch anteilig wirksam ist, so muß doch bei der überwiegend ungestörten Ablagerung die mittlere Windstärke dieses Gebietes so niedrig angesetzt werden, daß die Ausbildung solcher völlig horizontaler Schichten ermöglicht wird. Die Windbeobachtungen während des Aufenthaltes stützen diese Annahme.

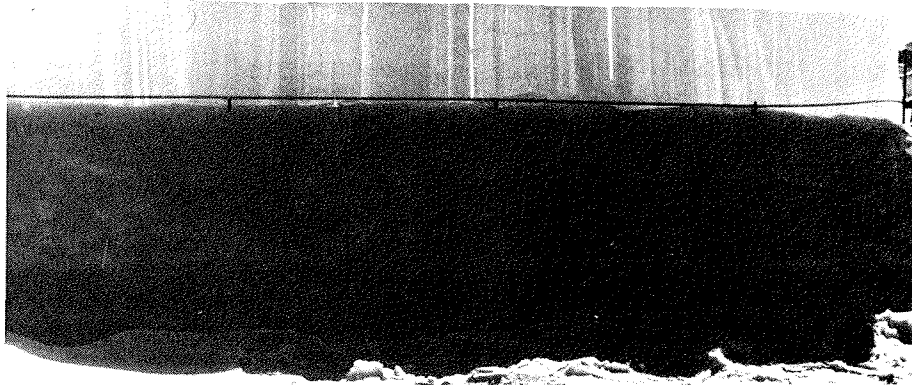


Abb. 2: Durchlichtprofil des Schneeschatzes an der Filchner-Station. Die Oberfläche entspricht dem linken Bildrand, die Pföckchen markieren die Meter-Abstände.

Fig. 2: Throughlight profile of the snow pit at the Filchner Station in detail: The surface corresponds to the lefthand edge of the photograph, the vertical sticks are inserted at metre distances.

Benützt man die auch von den Modellvorstellungen her (SHIMIZU 1964) am markantesten ausgebildeten Übergänge vom Herbst zum Winter als Abgrenzung der Jahresschichten, die zugleich auch die Grenzen des „natürlichen Haushaltsjahres“ markieren, so weist das Profil 4 nahezu klassische Situationen auf, nämlich in 48, 126, 175 und 251 cm Tiefe. Weniger gut ausgebildet sind die Horizonte in 222, 276 und 356 cm, doch zwingt die Materialbeschaffenheit auch hier, die nach unten anschließenden Abschnitte als Sommerschichten anzusprechen. Sodann sind die eindeutig als Winterschnee identifizierbaren Schichten festzulegen und anschließend zu prüfen, ob jeweils mindestens eine Winterschicht zwischen 2 Sommerhorizonten nachweisbar ist. Ohne alle Details der Analyse anführen zu können, ist festzustellen: Das Profil weist 6 vollständige Jahresintervalle, beginnend mit dem Winteranfang 1973 in 356 cm Tiefe, sowie ein unvollständiges Jahr mit dem Sommer des Expeditionsaufenthaltes auf, das jedoch der fortgeschrittenen Jahreszeit wegen auch als ganzes Jahr gezählt wird (vgl. Nachtrag). Daraus resultiert ein mittlerer Zutrag von 51 cm Schneehöhe pro Jahr mit einem Verhältnis von 2,6 zwischen dem höchsten Betrag (1978: 78 cm) und dem niedrigsten Wert (1975: 30 cm), womit die Auftragsschwankungen als vergleichsweise gering zu bezeichnen sind. Verhältnisse bis zum 3—4fachen werden als normal angesehen. Extremfälle bis zum 8fachen wurden beobachtet (HEAP & RUNDLE 1964).

Die aus der fortlaufenden Aufsummierung der Produkte von Schichtdicke multipliziert mit dem dafür gültigen Dichtewert resultierende Summenkurve ist in Abb. 1 als Wasseräquivalent in g/cm^2 eingetragen. Der Zahlenwert für 360 cm Profiltiefe ergibt $135,2 \text{ g}/\text{cm}^2$ und führt auf einen mittleren Dichtewert von $0,375 \text{ g}/\text{cm}^3$, der fast identisch ist mit dem Mittel aller Dichtemessungen, das $0,377 \text{ g}/\text{cm}^3$ beträgt. Die Umrechnung des Schneeauftrags in äquivalente Wasserwerte mit der genannten mittleren Dichte ergibt für die mittlere jährliche Netto-Akkumulation, bestimmt für den Zeitraum seit 1973, somit einen Wert von $19,1 \text{ g}/\text{cm}^2$. Bei dem Interpretationsspielraum und der Berücksichtigung der Meßfehler der Dichtebestimmung ist eine Rundung der Angaben zu 50 cm Jahresauftrag und 20 cm äquivalenter Niederschlags-höhe für den Bereich der Filchner-Station angebracht.

Nachtrag

Zur künftigen Kontrolle des Schneeauftrags wurde an der Filchner-Station im Januar 1980 ein Kleinpegelfeld angelegt bestehend aus 49 Rundholzstangen von 1 cm Durchmesser und 1 m Länge. Die Ablesung dieser Pegel am 14. 1. 1981 ergab einen Zutrag von 49,7 cm seit dem 8. 2. 1980. Gleichfalls konnte der an einer Stelle eingefärbte Oberflächenhorizont vom Februar 1980 freigelegt und der Auftrag mit 52 cm bestimmt werden. Die Überprüfung der Schichten zeigte, daß noch 13 cm Zutrag dem Sommer 1979/80 bis zur Ausbildung der ersten Winterschicht 1980 hinzuzufügen sind, so daß die Profiltiefe für 7 vollständige „Haushaltsjahre“ 370 cm beträgt. Der verbesserte Jahreswert der Netto-Akkumulation liegt damit bei 53 cm Schneeauftrag bzw. 20 cm Wasseräquivalent.

1.2.2. Schneeprofil Atka-Bucht

Erheblich verschieden zu den Verhältnissen an der Filchner-Station erwiesen sich in der Atka-Bucht bereits die Bedingungen für das Ausheben des Schneeschachtes, das nicht mehr mit der Schaufel möglich war, sondern nur noch mit der Säge erfolgen konnte. Der Einsatz einer Kettensäge (und die Unterstützung von K. Henning) waren dabei besonders hilfreich. Die Kürze der verfügbaren Arbeitszeit und die Härte des Firnmateri als begrenzt die Schachttiefe auf 2,1 m. Von der Rammsondierung und dem Durchlichtprofil mußte außerdem abgesehen werden.

Die stratigraphische Aufnahme zeigt gegenüber dem Filchner-Profil deutliche Unterschiede. Dazu zählen homogene, meist feinkörnige Schichten von merklich größerer Dicke, Vorkommen von Eislamellen und -linsen sowie eisigen Krusten und eine beträchtliche Härte fast aller Schichten, auch des sehr groben, stark metamorphen Materials.

Nach den Kriterien der Filchner-Profilaufnahme waren 3 Jahresschichten, jeweils beginnend mit den Winterablagerungen, erkennbar und zwar in 71, 135 und 208 cm Tiefe, was einem nahezu konstanten Jahreswert von ca. 70 cm des Schneeauftrags entspricht. Die wegen der Härte des Materials schwierig zu

bestimmenden Dichtewerte liegen deutlich über den Filchner-Werten. Der über die Wasserwertberechnung bestimmte Mittelwert der Dichte liegt bei $0,438 \text{ g/cm}^3$. Im Vergleich zum Mittel aller Dichtemessungen von $0,429 \text{ g/cm}^3$ zeigt dieser Wert, daß die Schichten hoher Dichte mit größerem Gewicht in die Mittelbildung eingehen, was auch der stratigraphischen Aufnahme entspricht. Der mit $30,7 \text{ g/cm}^2$ errechnete Jahresbetrag der Netto-Akkumulation ist um die Hälfte größer als der Vergleichswert der Filchner-Station.

Mit 20 g/cm^2 und 30 g/cm^2 für die beiden erkundeten Positionen entsprechen die erhaltenen Werte sehr genau den Intervallgrenzen, die in der Analyse von BUDD (1971) für das betreffende Gebiet angenommen werden.

2. AUFTRAGSERMITTLUNG MIT HILFE VON ISOTOPENMESSUNGEN AN BOHRKERNEN

Bei der Variabilität der Auftragswerte in der Antarktis kann die Erfassung eines 7 bzw. 3 Jahreswerte enthaltenden Akkumulationsbetrages nur mit Einschränkungen als repräsentativ angesehen werden, auch wenn die gefundenen Schwankungen geringer sind als erwartet. Um die Akkumulationsangaben besser zu sichern, wurde versucht, mit Hilfe von Bohrungen und nachfolgender Analyse der Kerne auf die Gehalte an den stabilen Isotopen ^2H und ^{18}O sowie des radioaktiven Isotops ^3H den Informationsgehalt noch tieferer Schichten zu erschließen. Die Arbeiten dienten zugleich als Vorversuch zu einem Projekt mit dem Ziel, nach diesem Verfahren Akkumulationswerte über die gesamte erbohrbare Eisdicke für verschiedene Punkte des Filchner-Ronne-Schelfeises zu gewinnen.

Vorbereitung und Auswertung dieser Programmteile erfolgten in enger Zusammenarbeit mit dem Institut für Radiohydrometrie der GSF, Neuherberg, das die gesamte Probenanalytik übernommen hat.

2.1. Bohrverfahren und Probennahme

Der verwendete Bohrer ist ein für Arbeiten auf Gletschern angefertigtes Gerät, bei dem käufliche Teile, nachgebaute Elemente und Eigenentwicklungen der Kommission für Glaziologie, München, zusammengefaßt sind und der sich vornehmlich durch sein geringes Gewicht auszeichnet. Bohrkörper und Vierkantgestänge sind aus Leichtmetall gefertigt, der Bohrkopf mit ausfahrbaren Messern basiert auf einer Entwicklung des Physikalischen Instituts der Universität Innsbruck (EISNER 1971). Die Abmessungen des Bohrers entsprechen dem SIPRE-Bohrer.

Die Bohrungen erfolgten vom Boden des Schachtes aus. Die meist in mehreren Stücken gewonnenen Kerne wurden anschließend in Plexiglasschalen zusammengesetzt und auf die jeweilige Bohrlänge ausgeglichen. Die Differenzen zwischen Kernlängen und Bohrtiefen waren allgemein gering. Die einzelnen Kernstücke wurden in Proben zwischen 6–12 cm Länge zerteilt, in Plastikdosen langsam erwärmt und nach dem Aufschmelzen in 100 ml Plastikflaschen gefüllt. Die Bohrstelle im Schneeschacht mit Teilen des Arbeitsgeräts zeigt Abb. 5.

Bei der Ergänzung der Proben im Bereich des Schneeschachtes erfolgte die Probennahme jeweils aus definierten, homogenen Schneeschichten. Somit liegt ein kontinuierliches Profil der Isotopenkonzentrationen von der Oberfläche bis 10,8 m Tiefe für die Filchner-Station und bis 12,1 m Tiefe von der Atka-Bucht vor. Insgesamt umfaßt die Probensammlung der Filchner-Station 47 Schacht- und 81 Bohrproben, von der Atka-Bucht sind 18 Schacht- und 96 Bohrproben vorhanden.

2.2 Ergebnisse der Deuteriummessungen

Die Gehalte an Deuterium (^2H) und Sauerstoff-18 (^{18}O) werden in der üblichen Weise als relative Abweichung $\delta^2\text{H}$ bzw. $\delta^{18}\text{O}$ des Isotopengehaltes der Proben vom Standard V-SMOW (Standard Mean Ocean Water) angegeben, wobei die Genauigkeit der Angaben 1 ‰ für den $\delta^2\text{H}$ -Wert und 0,15 ‰ für den $\delta^{18}\text{O}$ -Wert beträgt.

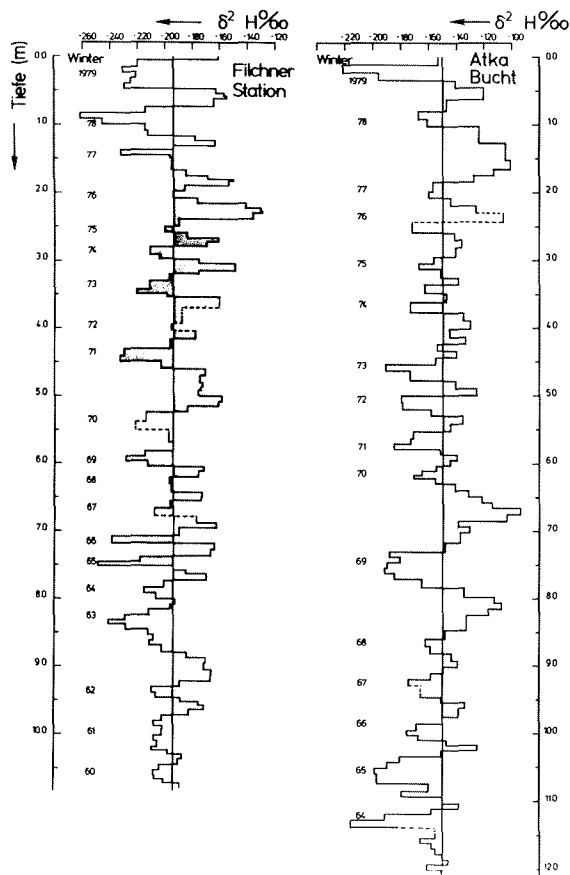


Abb. 3: Deuteriumprofile, gewonnen aus Messungen an Bohrkernen von der Filchner-Station und der Atka-Bucht.

Fig. 3: Deuterium profiles from analyses of ice cores gained at Filchner Station and Atka Ice Port.

Für die chronologische Bestimmung der Schneesichtfolgen sind die jahresperiodischen Schwankungen der δ -Werte bedeutsam (DANSGAARD et al. 1973). Sie werden bedingt durch Fraktionierungseffekte der unterschiedliche Dampfdrucke aufweisenden leichten H_2^{16}O - und schweren H_2^{18}O - oder $^1\text{H}^2\text{H}^{16}\text{O}$ -Moleküle bei Verdunstungs- und Kondensationsvorgängen sowohl während der Niederschlagsphase als auch während der Metamorphose nach der Deposition. Welches Gewicht dabei diesem letzteren Vorgang zukommt, ist noch weitgehend unbekannt. In Abb. 3 ist der Verlauf der $\delta^2\text{H}$ -Werte als Funktion der Tiefe für beide Standorte eingetragen. Für die Analyse der $\delta^{18}\text{O}$ -Werte, die in einer linearen Beziehung zu den $\delta^2\text{H}$ -Werten stehen, wird auf die Arbeit von REINWARTH et al. (1981) verwiesen.

Die Datierung der Jahresschichten in Abb. 3 basiert auf der Zuordnung von Maximalwerten des $\delta^2\text{H}$ -Verlaufs zu Sommerniederschlägen und von Minimalwerten zu Winterschneesichten. Zur besseren Veranschaulichung der Schwankungen wurden die im Bereich -260 ‰ bis -130 ‰ für Filchner und -220 ‰ bis -100 ‰ für Atka variierenden Werte als Abweichung von ihren Mittelwerten dargestellt. Die Unterschiede im Mittelwert und Schwankungsbereich der $\delta^2\text{H}$ -Werte für die beiden Positionen sind Ausdruck der verschiedenen geographischen und vor allem klimatischen Gegebenheiten der beiden Standorte. Dabei wirkt sich besonders die unterschiedlich lange Dauer der geschlossenen Meereisbedeckung im Sinne einer stärkeren Kontinentalität der Filchner-Station aus.

2.3. Tritium-Analyse

Das heute in der Natur vorkommende Tritium wurde hauptsächlich bei den thermonuklearen Waffen-

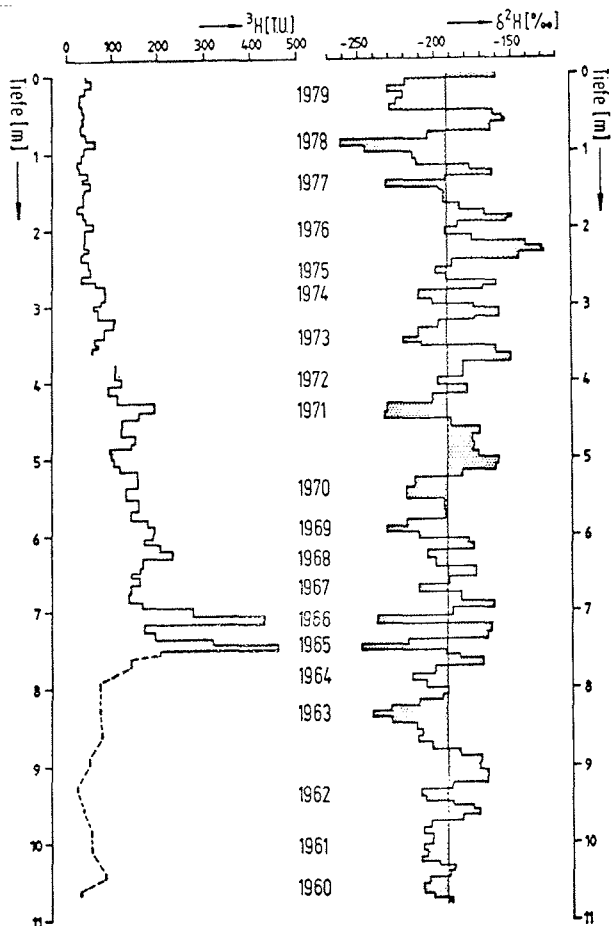


Abb. 4: Tritium- und Deuteriumprofil bis 10,8 m Tiefe an der Filchner-Station mit Datierung der Jahresschichten, jeweils bezogen auf den Winter.

Fig. 4: Tritium and deuterium profile to 10.8 m depth at Filchner Station with dating of the annual accumulation, related to the winter layers.

tests Ende der 50er und Anfang der 60er Jahre produziert. Die dadurch bedingten hohen Tritiumgehalte in den Niederschlägen sind im Abklingen begriffen. Das auf der Nordhalbkugel im Sommer 1963 beobachtete Konzentrationsmaximum findet sich, verzögert durch den interhemisphärischen Luftmassenaustausch, in der Antarktis in den Schneeschichten der Jahre 1965 und 1966 wieder. Entsprechende markante Tritiumanstiege, konzentriert auf die Winterschichten dieser Jahre, wurden am Südpol von JOUZEL et al. (1978) nachgewiesen.

Auch die Tritium-Analyse der Filchner-Proben zeigt zwei ausgeprägte Maxima der Konzentration in 7,1 und 7,5 m Tiefe. Ordnet man diese gleichfalls den Winterabschnitten der Jahre 1965 und 1966 zu, so ergibt sich eine vollkommene Übereinstimmung mit der aus den Deuteriummessungen erhaltenen Zeitskala und damit eine Bestätigung der Chronologie der Jahresschichten. Die Abb. 4, in welcher die Tritiumgehalte, angegeben in Tritiumeinheiten ($1 \text{ TU} \approx 3,2 \text{ pCi/l}$), als Funktion der Tiefe dargestellt sind, läßt diese Übereinstimmung deutlich erkennen.

An der Position Atka-Bucht ist kein entsprechend ausgeprägter Effekt vorhanden. Zwar zeigen auch hier die Tritiumgehalte zunächst eine leichte Zunahme mit der Tiefe, später wieder eine Abnahme; die scharf ausgebildeten Maxima, die eine Kontrolle der Zeitskalen ermöglichen würden, fehlen hier aber. Spätere Bohrungen zwischen den beiden Standorten könnten helfen, diese unterschiedlichen Merkmale der Tritiumprofile zu klären.

3. FIRNTEMPERATUREN

Die Messung der Firntemperaturen diene vorrangig dem Zweck, klimatische Informationen für die untersuchten Standorte bereitzustellen. Die Identifizierung der Firntemperatur in 10 m Tiefe mit dem Jahresmittelwert der Lufttemperatur an der Oberfläche gilt als allgemein akzeptiertes Verfahren, auf dem praktisch alle Kartendarstellungen der Temperaturverteilung der Antarktis basieren.

TAYLOR (1971) gibt für die Übereinstimmung der beiden Werte den Bereich von $0,1^\circ$ an. Untersuchungen über die Amplitudenabnahme der Temperaturschwankungen an der Oberfläche mit zunehmender Tiefe, gemessen in einem Temperaturprofil bis 5,5 m Tiefe an der Station Jarl-Joset auf dem grönländischen Inlandeis, ergeben einen etwas größeren Wert von $0,22^\circ$ in 10 m und $5,38^\circ$ in 5 m (DE QUERVAIN 1969).

Die Firntemperaturmessungen während der Standorterkundung wurden sowohl in den Bohrlöchern der Kernbohrungen wie auch in zusätzlich mit einem CRREL-Eisbohrer angelegten Bohrungen vorgenommen. Außerdem stehen Firntemperaturmessungen aus dem Schachtbereich zur Verfügung. Als Meßfühler wurden sorgfältig geeichte Pt 100-Widerstandsthermometer verwendet. Als Meßgerät diente ein Siemens-Gerät mit digitaler Anzeige auf $1/10^\circ$. Der Anschluß der Meßwertgeber erfolgte über eine 4-Leiterschaltung. Zur Feststellung einer evtl. Drift des Meßgerätes wurde die Anzeige mit einem Pt 100-Eichnormal kontrolliert. Bei den gegebenen Einsatzbedingungen an der Station zeigte sich jedoch kein entsprechender Effekt.

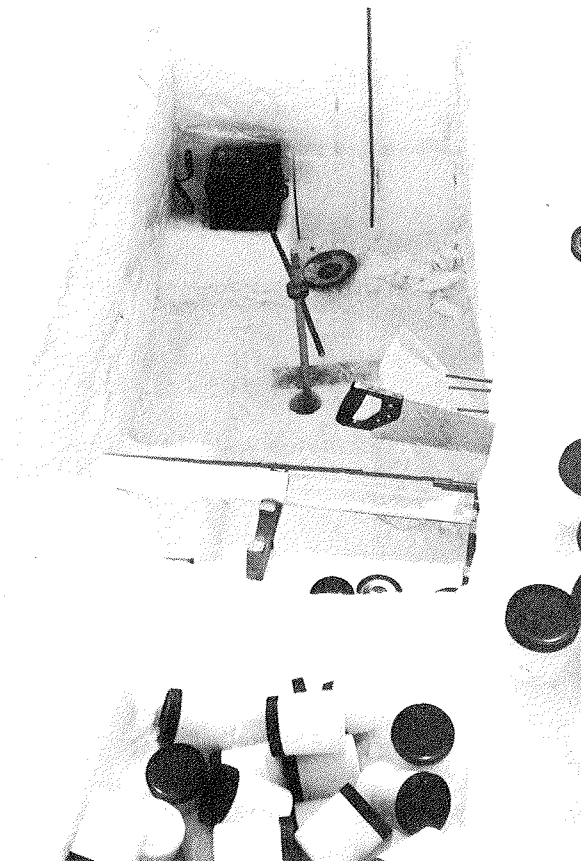


Abb. 5: Schneeschacht mit Bohrung, Bohrkern und Plastikdosen zur Abfüllung der Kernprobung an der Filchner-Station.

Fig. 5: Snow pit at Filchner Station with drillhole, ice core and plastic boxes for the core samples.

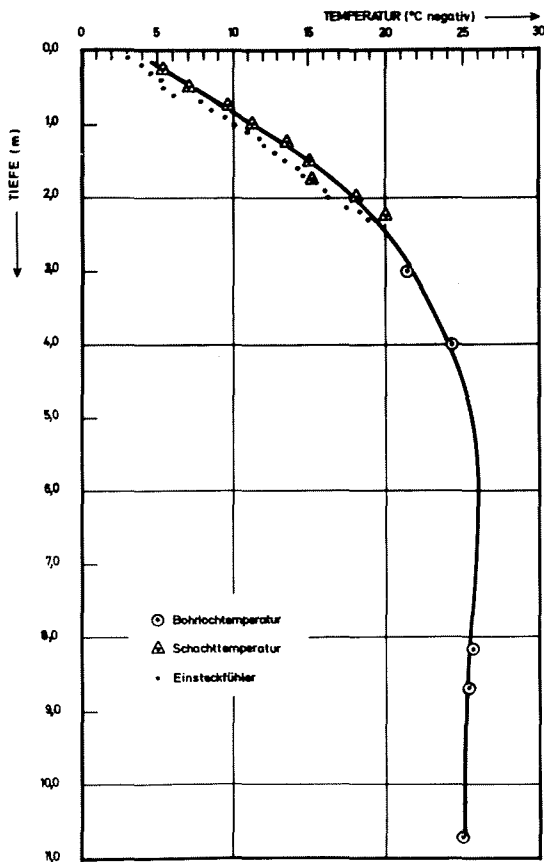


Abb. 6: Firntemperaturen an der Filchner-Station. Die mit Signaturen versehenen Werte wurden mit Pt-100-Widerstandsthermometern gemessen, die Punkte markieren Messungen mit Bimetall-Thermometern (Einstechfühlern).

Fig. 6: Firn temperatures at Filchner Station. Dots represent measurements with inserted bimetal thermometers, the other signatures are related to measurements with Pt-100 thermoohms.

Die Abb. 6 zeigt alle an der Filchner-Station ausgeführten Temperaturmessungen, nämlich die Schachtmessungen mit Bimetall-Einstechfühlern der CRREL-Schneedichte-Ausrüstung und mit ungeschützten Pt 100-Widerstandsthermometern und die mit einem metallgeschützten Widerstandsthermometer gemessenen Bohrlochtemperaturen. Die mit den Einstechfühlern gemessenen Temperaturen lassen deutlich die rasche Erwärmung der Schachtwand als Folge der hohen Lufttemperatur erkennen. Die Widerstandsthermometer wurden für die Temperaturmessungen 30 cm tief horizontal in die Schachtwand eingeführt.

Folgende Temperaturwerte seien angeführt:

Schacht: 1,00 m	-11,3 °	Bohrung: 3,00 m	-21,3 °
2,00 m	-18,1 °	4,00 m	-24,3 °
2,25 m	-20,0 °	7,75 m	-25,6 °
		8,28 m	-25,3 °
		10,72 m	-24,9 °

Die Interpolation des 10 m-Wertes führt auf -25,0°. Das Temperaturminimum in ca. 7 m Tiefe entspricht der eingedrungenen Kältewelle des vorangegangenen Winters. Die Phasenumkehr der jahresperiodischen Temperaturwelle wurde auch in Grönland etwa bei 7 m Tiefe erreicht (DE QUERVAIN 1969).

In der Atka-Bucht beschränken sich die Angaben ausschließlich auf Messungen in Verbindung mit den

Kernbohrungen. Dabei betrug die Temperatur in 8,92 m Tiefe $-18,6^{\circ}$ und in 12,10 m wurden $-16,8^{\circ}$ gemessen. Eine lineare Interpolation über diesen Bereich, die an sich nicht zulässig ist, ergibt $-18,0^{\circ}$ als 10 m-Wert. Bei den sorgfältigen Nachmessungen im Februar 1981 wurde als Temperaturwert für 10 m Tiefe $-17,0^{\circ}$ bestimmt.

Wichtig bei den Temperaturmessungen in den Bohrlöchern ist es, die Einstellung stabiler Temperaturverhältnisse abzuwarten. Die Temperaturstörungen im Bohrloch sind allgemein nicht durch Luftaustausch bedingt. Vielmehr ist anzunehmen, daß das Bohrmehl am Boden des Bohrloches, in das der Meßfühler eintaucht, nicht die Umgebungstemperatur der jeweiligen Bohrlochtiefe besitzt, so daß erst nach einem Temperaturengleich die Einstellung stabiler Bedingungen anzunehmen ist. Nach den vorliegenden Erfahrungen ist dafür ein Zeitbedarf von mindestens 2 Stunden anzusetzen, was auch mit den Angaben anderer Autoren übereinstimmt (SHIMIZU 1964).

Der mit -25° als Jahresmittel der Lufttemperatur angenommene Wert liegt um $2,7^{\circ}$ unter dem Temperaturmittelwert der 12jährigen meteorologischen Beobachtungsreihe (1955—1967) der auf geringfügig höherer Breite liegenden argentinischen Station General Belgrano ($77^{\circ} 58'S$, $38^{\circ} 48'W$). Das höchste Monatsmittel dieser Station liegt bei $-6,0^{\circ}$ (Dez./Jan.) und das niedrigste bei $-32,9^{\circ}$ (Aug.). Als Extremwerte findet man die Temperaturangaben $+6,8^{\circ}$ und $-56,0^{\circ}$ (SCHWERDTFEGGER 1970). Bei der etwas ausgeprägteren Kontinentalität der Filchner-Position sollte demzufolge ein Temperaturbereich $0^{\circ} - -60^{\circ}$ als Extrembereich nicht überschritten werden.

SCHLUSSBEMERKUNG UND DANK

Der vorgelegte Bericht beschränkt sich auf die glaziologisch wichtigsten Aufgabenstellungen der Standorterkundung. Er umfaßt damit nicht alle schneekundlichen Arbeiten. So fanden die Untersuchungen zur Kompaktierung von Schnee und Firn keine Aufnahme. Gleichfalls nicht behandelt werden die Messungen und Registrierungen meteorologischer Größen an der Filchner-Station. Ihr Wert besteht neben der Protokollierung des Wetterablaufs für die Dauer des Aufenthaltes vor allem in der Erprobung des verwendeten Instrumentariums.

Zum Schluß seien die vielfachen Hilfen bei der Abwicklung des glazialmeteorologischen Programms dankbar erwähnt. Mitarbeiter des Institut für Radiohydrometrie der GSF, Neuherberg, und des Meteorologischen Instituts der Universität München waren in erheblichem Umfang an den Vorbereitungen und Auswertungen beteiligt. Die gute Zusammenarbeit der Expeditionsteilnehmer bedeutete eine wesentliche Erleichterung für die Aktionen im Gelände. Der Einsatz von K. Henning bei den Bohr- und Profilarbeiten sei dabei mit besonderem Dank bedacht. Für die Übernahme der umfangreichen Laborarbeiten und die Überlassung der Ergebnisse der Isotopenanalysen für diesen Bericht wird den Herren Rauert und Stichler vom GSF-Institut für Radiohydrometrie gebührend gedankt.

Literatur

- Atlas Antarktiki (1966) — Glavnoe upravlenie geodezii i kartografii Soveta Ministrov SSSR, Moskau.
- Bentley, C. R., Cameron, R. L., Bull, C., Kojima, K. & A. J. Gow (1964): Physical characteristics of the Antarctic Ice Sheet. — Antarctic Map Folio Series, Folio 2, Am. Geogr. Soc., New York.
- Budd, W. F., Jensen, D. & U. Radok (1971): Derived physical characteristics of the Antarctic Ice Sheet. — Univ. of Melbourne, Meteorology Dept., Publ. 18.
- Dansgaard, W., Johnsen, S. J., Clausen, H. B. & N. Gundestrup (1973): Stable isotope glaciology. — Medd. Grønland 197 (2): 1—53.
- Eisner, H. (1971): Bestimmung der Firnrücklagenverteilung im Akkumulationsgebiet des Kesselwandferners (Ötztaler Alpen) durch Messung der Gesamt-Beta-Aktivität von Bohrproben. — Z. Gletscherkde. Glazialgeol. VII (1—2): 65—78.
- Gow, A. J. (1965): On the accumulation and seasonal stratification of snow at the South Pole. — J. Glaciol. 5 (40): 467—477.
- Häefeli, R. & F. Brandenberger (1968): Rheologisch-glaziologische Untersuchungen im Firngebiet des grönländischen Inlandeises. — Medd. Grønland 177 (1): 1—340.
- Heap, J. A. & A. D. Rundle (1964): Snow accumulation on the Ross Ice Shelf, Antarctica. — Antarctic Snow and Ice Studies, Antarctic Res. Ser., AGU Washington DC, 2: 119—125.

- Hoinkes, H. (1970): Methoden und Möglichkeiten von Massenhaushaltsstudien auf Gletschern. — Z. Gletscherkde. Glazialgeol. VI (1—2): 37—90.
- Jouzel, J., Merlivat, L., Pourchet, M. & C. Lorius (1979): A continuous record of artificial tritium fallout at the South Pole (1954—1978). — Earth Planet. Sci. Lett. 45: 188—200.
- Koerner, R. M. (1964): Firn stratigraphy studies on the Byrd — Whitmore Mountains Traverse, 1962—1963. — Antarctic Snow and Ice Studies, Antarctic Res. Ser., AGU Washington DC, 2: 219—236.
- Koerner, R. M. (1971): A stratigraphic method of determining the snow accumulation rate at Plateau Station. — Antarctic Snow and Ice Studies II, Antarctic Res. Ser., AGU Washington DC, 16: 225—238.
- Köhnen, H., Reinwarth, O., Diekmann, N. & H. L. Jessberger (1981): In situ-Messungen der mechanischen Festigkeit von Schnee auf dem Filchner-Ronne-Schelfeis 1979/80. — Polarforschung 51 (1): 77—84.
- Kojima, K. (1964): Densification of snow in Antarctica. — Antarctic Snow and Ice Studies, Antarctic Res. Ser., AGU Washington DC, 2: 157—218.
- Möller, D. & G. Gerda (1981): Geodetic surveying on the Filchner/Ronne Ice Shelf and in the Atka Bay 1979/80. — Polarforschung 51 (1): 43—53.
- Nakaya, U. (1954): Snow Crystals. — Cambridge, Mass., 1—510.
- Oeschger, H., Schotterer, U., Stauffer, B., Haeberli, W. & H. Röthlisberger (1977): First results from alpine core drilling projects. — Z. Gletscherkde. Glazialgeol. XIII (1—2): 193—208.
- de Quervain, M. (1969): Schneekundliche Arbeiten der Internationalen Glaziologischen Grönlandexpedition (Nivologie). — Medd. Grønland 177 (4): 1—283.
- Reinwarth, O., Rauer, W., Stichler, W. & H. Moser (1981): Preliminary investigations on accumulation at the Filchner/Ronne Ice Shelves and Atka Bay. — Annals Glaciol. 3 (im Druck).
- Rundle, A. S. (1971): Snow accumulation and firn stratigraphy on the East Antarctic Plateau. — Antarctic Snow and Ice Studies II, Antarctic Res. Ser., AGU Washington DC, 16: 239—255.
- Schwerdtfeger, W. (1970): The climate of the Antarctic. — In: S. Orvig, ed., Climates of the Polar Regions, World Survey of Climatology 14: 253—356.
- Shimizu, H. (1964): Glaciological studies in West Antarctica, 1960—1962. — Antarctic Snow and Ice Studies, Antarctic Res. Ser., AGU Washington DC, 2: 37—64.
- Taylor, L. D., (1971): Glaciological studies on the South Pole Traverse, 1962—1963. — Antarctic Snow and Ice Studies II, Antarctic Res. Ser., AGU Washington DC, 16: 209—224.