

MEDDELELSER OM GRØNLAND

UDGIVNE AF

KOMMISSIONEN FOR VIDENSKABELIGE UNDERSØGELSER I GRØNLAND

Bd. 177 · Nr. 4

---

EXPEDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND

E. G. I. G. 1957—1960 Vol. 5 No. 1

---

SCHNEEKUNDLICHE ARBEITEN DER  
INTERNATIONALEN GLAZIOLOGISCHEN  
GRÖNLANDEXPEDITION  
(NIVOLOGIE)

VON

MARCEL DE QUERVAIN

MIT BEITRÄGEN UND UNTER MITARBEIT

VON

FRITZ BRANDENBERGER, OSKAR REINWARTH, ANDRÉ RENAUD,  
ANDRÉ ROCH UND RENÉ SCHNEIDER

---

MIT 19 PHOTOS, 66 ABBILDUNGEN UND  
99 TABELLEN IM TEXT

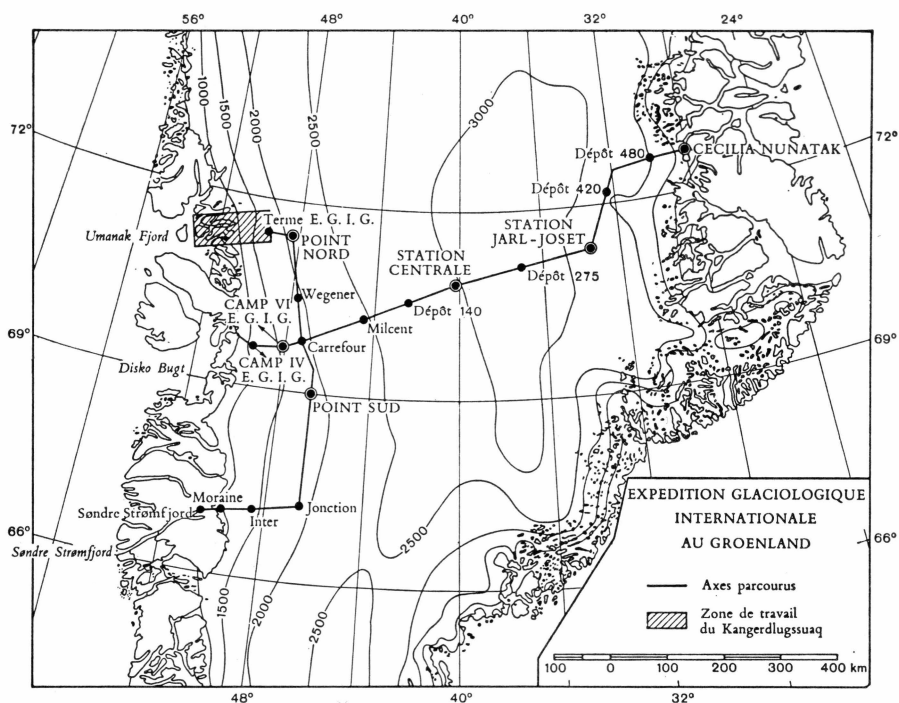
KØBENHAVN

C. A. REITZELS FORLAG

BIANCO LUNOS BOGTRYKKERI A/S

1969





## EXPEDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND 1957-1960

Réalisation technique:  
EXPEDITIONS POLAIRES FRANÇAISES  
(Mission PAUL-EMILE VICTOR)

L'EXPEDITION GLACIOLOGIQUE INTERNATIONALE AU GROENLAND est une expédition commune à un certain nombre d'organismes scientifiques des pays suivants: Allemagne, Autriche, Danemark, France et Suisse. Créée en 1956, elle fut autorisée par le Gouvernement de Danemark et patronnée par L'ASSOCIATION INTERNATIONALE D'HYDROLOGIE SCIENTIFIQUE.

La direction scientifique de l'expédition est assurée par le COMITE DE DIRECTION, et sa réalisation confiée aux EXPEDITIONS POLAIRES FRANÇAISES. Le chef d'expédition est PAUL-EMILE VICTOR. Le support aérien a été assuré par les FORCES ARMEES DE L'AIR (France).

Après deux années de préparation et de reconnaissances (1957-1958), le programme de recherches glaciologiques dans la partie centrale du Groenland a été réalisé pendant la campagne d'été 1959 et l'hivernage à la Station Jarl-Joset (1959-1960). L'expédition proprement dite s'est terminée par une campagne réduite en 1960 ramenant hivernants et matériel.

### Abstract

This report deals with the work carried out by the snow research section of the EGIG during the summer campaign 1959 and the subsequent wintering (1959/60). After a description of the operations and the topography of the working areas the following items are treated (Numbers referring to respective chapters):

6. The annual accumulation in the range from Camp VI EGIG to Station Jarl-Joset (with some fragmentary observations to both sides beyond these stations) is studied. The methods consist of an analysis of all readings of the pole-markers set by EGIG and former expeditions, and of a stratigraphic examination of snow pits including the 40 m deep inclined shaft dug out by the Central-Greenland Expedition 1956-57 (JEAN DUMONT). An east-west profile of the mean accumulation is presented (Abb. 32). The stratigraphic study implied the extensive production and examination of thin sections at the wintering station (Jarl-Joset) and in Swiss cold laboratories. Based on these observations an attempt is made to date the firn layers down to the bottom of the shaft and to evaluate the rate of settling and densification.

7. At the main stations of EGIG the temperature of the névé is measured to a depth of about 20 m partly by means of electrical thermometers. Readings taken in subsequent years (1960, 1964) allow to evaluate variations in the surface temperatures. The temperature profile of the shaft Dumont reveals a slight decrease of temperature with depth, suggesting remainders of a colder period about a century ago. The temperature regime down to a depth of about 5 m was established during the wintering time.

8. At the station Jarl-Joset, evaporation was continually measured during July 1959 and then again sporadically between April and June 1960. The net loss in July 1959 amounting to 4,3 mm H<sub>2</sub>O (hourly rates up to  $40 \cdot 10^{-3}$  mm) was superior to the accumulation of the same period (2 mm only). During the spring period of 1960 evaporation was distinctly lower (hourly values up to  $13 \cdot 10^{-3}$  mm). As a whole, evaporation is not an important factor of the mass balance of central Greenland.

9. A particular investigation was devoted to the formation of the so called "summer facies" of the névé. It could be demonstrated that in summer, strong variations of the temperature gradient in the uppermost layer provoke a high rate of "constructive metamorphism" even in the absence of melting processes.

10. Ice-petrofabric studies of thin sections from firn sampled in the shaft Dumont showed a distinct preferred orientation of the C-axis in the vertical direction. Using a photometric procedure a slight azimuthal preference of the horizontal component of the axis is observed in most of the sections, but summing up all observations only a very weak indication of a preference is remaining. This is attributed to a predominant snow drift direction rather than to a rheological process.

11. A series of snow profiles taken at station Jarl-Joset during the presence of the wintering group (August 1959 to July 1960) allowed a detailed study of the development of the three last annual deposits. This again resulted in an evaluation of the accumulation.

12. The shaft Dumont offered an opportunity for studying the deformation of the névé crust down to 40 m depth. Marks set by the Central Greenland Expedition (DUMONT) in 1957 were remeasured by the EGIG in 1959. Despite the missing accuracy in the basic measurements (1957) it was possible to calculate figures for the horizontal and vertical shrinking of the shaft and to extrapolate the state which will be met with in 1965. A new set of marks was planted in the untouched wall of the shaft and surveyed for a future control.

## INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Abstract .....	3
1. Vorwort .....	7
2. Programm .....	9
3. Teilnehmer und Material .....	11
4. Verlauf der Expedition .....	15
4.1. Sommercampagne 1959 .....	15
4.2. Ueberwinterung 1959/60 .....	21
5. Topographie der wichtigsten Standorte .....	27
6. Akkumulation auf dem Querprofil der EGIG .....	37
6.1. Allgemeines .....	37
6.2. Pegelablesungen .....	39
6.3. Niederschlagsfelder .....	55
6.4. Stratigraphische Untersuchungen .....	66
6.4.1. Methodik .....	66
6.4.2. Schicht- und Rammprofile .....	72
6.4.3. Dichte- und Wasserwertmessungen .....	79
6.4.4. Spezielle granulometrische Untersuchungen (Station Jarl-Joset) .....	101
6.5. Synthese .....	118
6.5.1. Datierungsversuche und Akkumulationsbestimmungen .....	118
6.5.2. Beziehungen zwischen Firntiefe und Schichtalter .....	135
7. Firntemperaturmessungen .....	142
7.1. Einleitung .....	142
7.2. Experimentelles .....	143
7.3. Messungen .....	148
7.3.1. Westrand Inlandeis .....	148
7.3.2. Station K 3 .....	150
7.3.3. Camp VI EGIG .....	153
7.3.4. Milcent .....	155
7.3.5. Station Centrale .....	157
7.3.6. Dépôt 275 Crête .....	160
7.3.7. Station Jarl-Joset .....	162
7.4. Theoretische Betrachtungen .....	175
7.4.1. Energieumsatz und Bildung von Superimposed Ice bei K 3 ....	175
7.4.2. Temperaturschwankungen im Schacht Dumont .....	177
8. Verdunstungsmessungen an der Station Jarl-Joset 1959 und 1960 .....	184
8.1. Sommercampagne 1959 .....	184
8.1.1. Einleitung .....	184
8.1.2. Messmethode .....	185

	Seite
8.1.3. Fehlerabschätzung .....	186
8.1.4. Messungen der Sommercampagne 1959 .....	188
8.1.5. Rechnerische Behandlung des Austauschs .....	200
8.1.6. Diskussion .....	202
8.2. Ueberwinterung 1959/60 .....	204
9. Firnoberflächentemperaturen und Schneeuwandlung .....	207
9.1. Allgemeines .....	207
9.2. Methoden .....	208
9.3. Messungen und Beobachtungen .....	211
10. Studien zur Gefügeregelung .....	219
10.1. Dünnschnittpräparation .....	219
10.2. Azimutale polarimetrische Anisotropie von Dünnschnitten .....	220
10.2.1. Problemstellung .....	220
10.2.2. Untersuchungsmethode .....	220
10.2.3. Theoretische Hinweise .....	221
10.2.4. Untersuchungen und Resultate .....	223
10.3. Räumliche Gefügeregelung (Jarl-Joset) .....	227
10.3.1. Kristallachsenlagen .....	227
10.3.2. Relative Achsenwinkel .....	230
11. Etude de la couche superficielle de névé à Jarl-Joset (R. SCHNEIDER) .....	233
11.1. Investigation de la couche de névé .....	233
11.1.1. Généralités .....	233
11.1.2. Investigation d'un profil .....	235
11.1.3. Observations réduites .....	241
11.2. Profil dans le temps de la couche de névé superficielle .....	256
11.2.1. Introduction .....	256
11.2.2. Datage sommaire des couches annuelles .....	256
11.2.3. Etude de la couche de neige 1959/60 .....	260
11.2.4. Etude des couches sous-jacentes à la couche 1959/60 .....	260
11.2.5. Variation de l'accumulation au cours de l'année 1959/60 .....	263
11.2.6. Conclusion générale .....	264
12. Puits glaciologique de la station Jarl-Joset .....	265
12.1. Historique et situation du puits .....	265
12.2. Observations de JEAN DUMONT .....	266
12.3. Observations de FRITZ BRANDENBERGER ET RENE SCHNEIDER .....	267
12.4. Déformations longitudinales .....	273
12.5. Le tassement .....	275
12.6. Retrécissement du puits .....	278
12.7. Conclusions .....	282
Literatur .....	283

## 1. VORWORT

Die vorliegende Veröffentlichung berichtet über die schneekundlichen Arbeiten der Gruppe „Glaziologie Inlandeis“ während der Sommercampagne 1959 sowie der Ueberwinterungsgruppe 1959/60 unter Ausschluss der meteorologischen, rheologischen und radiologischen Beobachtungen. Diesen Gebieten sind besondere Hefte anderer Autoren gewidmet. Beigefügt sind ferner einige Messungen der Zwischencampagne 1964.

In den Bericht sind einbezogen, teils in wörtlicher Wiedergabe, teils in aufgliederter Form, Teilberichte und Mitteilungen von F. BRANDENBERGER, W. PFROMMER, O. REINWARTH, A. RENAUD, A. ROCH und R. SCHNEIDER. Von diesen Mitarbeitern sind ganze Bereiche der Beobachtungs- und Auswertarbeiten selbständig betreut worden. Der unterzeichnete Verfasser hat versucht, das ganze Material soweit möglich in koordinierter Form vorzulegen. Ein kleiner Teil der diskutierten Beobachtungen ist indessen im Heft „Rheologie“ verblieben. Aus Kostengründen musste auf die Wiedergabe einer Reihe von Belegen und auch von Spezialbeobachtungen verzichtet werden. Kopien aller Unterlagen befinden sich im Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung Weissfluhjoch/Davos.

Ein wesentlicher Zug der EGIG besteht darin, dass sie in geographischer Hinsicht nicht Neuland erschliesst, sondern bewusst den Spuren früherer Expeditionen folgt, um deren Arbeit zu vertiefen. Es bezieht sich dies auf

- Schweizerische Grönlandexpedition 1912/13 (A. DE QUERVAIN).
- Deutsche Grönlandexpedition 1930/31 (A. WEGENER).
- Expéditions Polaires Françaises 1948/53 (P.-E. VICTOR).
- Expedition Snow Ice and Permafrost Research Establishment, 1955, (C. S. BENSON).
- Expédition Française Centre Groenland 1956/57 (J. DUMONT).

Da mit den unterbreiteten Resultaten keine abschliessende Analyse verbunden ist, – eine weitere wesentliche EGIG-Campagne steht ja noch bevor – wird auch auf Vergleiche mit früheren Feststellungen nur sporadisch eingetreten. Besonders aufschlussreich werden die Beziehungen zu den Ergebnissen der Expedition BENSON 1955 (BENSON 1962)

sein, da diese Gruppe auf dem Gebiet der Firnprofiluntersuchung bedeutende Arbeiten vorweggenommen hat. Das interessanteste Objekt früherer Begehungen, mit dem sich die EGIG und i. bes. die Gruppe Glaziologie befasste, war zweifellos der von J. DUMONT und M. DE LANNURIEN im Winter 1956/57 gegrabene 40 m tiefe Schrägschacht bei der Station Jarl-Joset.

Folgenden Stellen, die den hier behandelten Arbeiten ihre direkte oder indirekte Unterstützung gewährt haben, sei hier im Namen der Gruppe „Glaziologie Inlandeis“ herzlich gedankt:

Schweizerischer Nationalfonds für wissenschaftliche Forschung (finanzieller Hauptbeitrag).

Schweizerische Naturforschende Gesellschaft (finanzieller Beitrag).

Eidg. Inspektion für Forstwesen (Mitarbeit des Institutes für Schnee- und Lawinenforschung).

Schweizerische Stiftung für Alpine Forschung (finanzieller Beitrag).

Expédition Française Centre Groenland, J. DUMONT (Vorbereitung des Schrägschachtes).

Für die Ermöglichung und die tadellose technische Durchführung der Expedition richtet sich unser Dank an die Dänische Regierung, die Französische Regierung (einschliesslich die Luftwaffe) und die Expéditions Polaires Françaises (i. bes. P.-E. VICTOR, Expéditionsleiter und J. VAUGELADE, Organisator).

Abschliessend sei ein persönlicher Dank gerichtet an die bisherigen Präsidenten des Schweiz. Landeskomitees, Prof. Dr. R. HAEFELI und Prof. Dr. F. KOBOLD, deren unentwegten Bemühungen es zu verdanken ist, dass das hier behandelte Programm realisiert werden konnte, und an den Generalsekretär der EGIG, Prof. A. BAUER.

MARCEL DE QUERVAIN

## 2. PROGRAMM SCHNEEKUNDE

In dem 1956 aufgestellten schneekundlichen Programm (DE QUERVAIN M. 1956) war vorgesehen, das Schwergewicht der Arbeiten ins Gebiet der Station Centrale zu legen. Nach der erfolgreichen Rückkehr der Expedition Dumont, die als Geschenk an die EGIG den 40 m tiefen Schrägschacht gegraben hatte, wurde die Station Dumont als nivologisches Expeditionsziel gewählt. Die dort errichtete EGIG – Station hat den Namen Jarl-Joset erhalten.

Nachfolgend wird der Abschnitt „Problemstellung“ des genannten Programms auszugsweise mit der erwähnten Standortanpassung wiedergegeben. (Weggelassen sind Punkte, die sich auf die Rheologie und die radioaktive Datierung beziehen).

### Problemstellung

Die schneekundlichen Untersuchungen dienen einerseits dazu, die Menge der jährlichen *Akkumulation* an repräsentativen Stellen des von der EGIG zu erforschenden Gebiets festzustellen. Sie sollen ferner Aufschluss geben über die *Umwandlung des Schnees* in den Polarfirn und das Eis der Randzone (unter besonderer Berücksichtigung des „superimposed ice“). Die kristallographischen Arbeiten über die Ablagerung und Umwandlung des Schnees haben in enger Fühlung zu geschehen mit den rheologischen Untersuchungen (Programm Gletscherkommission). Für das Problem der Metamorphose, wie auch für die Fragen der Firnbewegung und die Massenbilanz muss das *Temperaturregime* erforscht werden, und zwar an der Oberfläche wie nach der Tiefe.

### 2.1. Oberflächenbedingungen

Laufende Beobachtungen der Oberflächenbedingungen an allen in Permanenz oder für längere Dauer besetzten Stationen beziehen sich auf:

- Atmosphärische Bedingungen.
- Schneeablagerung und oberflächliche Schneeschichten.

Untersuchungspensum und Instrumentarium richten sich von Fall zu Fall nach dem Ausbau und der zeitlichen Besetzung einer Station.



2.1.1. *Atmosphärische Bedingungen (Programm Meteorologie).*

2.1.2. *Schneeeablagerung, Schnee-Erosion, Zustand der obersten Schneeschichten.*

- Menge des täglichen Schneezuwachses bzw. Abtrages.
- Typus und Grösse der fallenden Schneeteilchen.
- Treibschneetransport (Art und Menge, ev. Transportdistanzen).
- Verdunstung und Kondensation (inkl. Nebelfrostablagerungen).
- Form der Schneeoberfläche (Windschliffe, Erosionsformen, Wanderdünen etc.).
- Mechanische Eigenschaften der obersten Schneelagen (Tragfähigkeit, Härte, Setzungsmass).
- Schichtung und Umwandlung der obersten Schneelagen.
- Schneeoberflächentemperatur, Temperatur der obersten Schneelagen.

2.2. *Untersuchung des Polarfirnes nach der Tiefe*

2.2.1. *Identifizierung der Jahresschichtung.*

Zur Bestimmung der jährlichen Akkumulation soll versucht werden, auf Grund kristallographischer und mechanischer Methoden die Jahresschichtung in eine grösstmögliche Tiefe zu analysieren. An der Station Jarl-Joset ist eine Tiefe von ca. 50 Jahresschichtungen anzustreben. An den übrigen Punkten des Profils wird man sich mit geringeren Tiefen begnügen.

2.2.2. *Umwandlung des Polarfirnes nach der Tiefe unter dem Einfluss von Druck, Zeit und Temperatur.*

- Bestimmung der Raumgewichte mit zunehmender Tiefe.
- Zahlenmässige und bildmässige Charakterisierung der Firnstruktur von Proben aus verschiedener Tiefe.

Eine Extrapolation der Verdichtung nach grösserer Tiefe soll versucht werden.

2.2.3. *Mechanische Prüfung des Firnmaterials (Rheologisches Programm).*

2.2.4. *Differentielle Bewegung des Firns.*

Dieses Problem wird in erster Linie im rheologischen Programm behandelt. Seitens der Schneekunde soll eine kristallographische Charakterisierung des Versuchsmaterials geliefert werden. In den für die Schneekunde ausgehobenen Schächten sind Messvorrichtungen vorgesehen für die Bestimmung der Setzungsbewegung und allfälliger seitlicher differentieller Bewegungskomponenten.

2.2.5. *Thermische Untersuchungen.*

Temperaturprofile sind an verschiedenen Orten und mit verschiedenen Methoden aufzunehmen. Dabei ist möglichst grosse Tiefe anzustreben. Einzelne thermoelektrische Messstellen sind derart einzubauen, dass nach längerer Zeit (nach Jahren oder gar Jahrzehnten) Ablesungen vorgenommen werden können.

### 3. TEILNEHMER UND MATERIAL

#### 3.1. Personelles

Abkürzungen: EPF Expéditions Polaires Françaises.  
(E)TH (Eidgenössische) Technische Hochschule.  
SLF Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung.

Die Gruppe Glaziologie Inlandeis setzte sich wie folgt zusammen:

Gruppenleiter: MARCEL DE QUERVAIN, Dr. sc. nat., Dir. SLF Davos (strukturelle Stratigraphie, Firntemperaturen, Verdunstung).

Wissensch. Mitarbeiter: FRITZ BRANDENBERGER, Dipl. Ing. ETH, Zürich (Rheologie\*, Rammprofile, Vermessung).

ANDRÉ RENAUD, Prof., Lausanne (Radioaktive Schichtdatierung\*).

ANDRÉ ROCH, Dipl. Ing., SLF Davos (Firnprofile).

RENÉ SCHNEIDER, Dipl. Ing., EPF Paris (Statigraphie, Firntemperaturen, Verdunstung, Vermessung).

Techn. Mitarbeiter: MAURICE BARDARY, EPF Paris, STEPHAN SANVELIAN, EPF Paris.

Die Ueberwinterungsgruppe umfasste:

Gruppenleiter: MICHEL DE LANNURIEN, EPF, Paris (Teilnehmer der Expedition Dumont mit Ueberwinterung 1956/57).

Wissensch. Mitarbeiter: F. BRANDENBERGER und R. SCHNEIDER (s. oben).

OSKAR REINWARTH, Dipl. Meteorologe, TH München (Meteorologie\*, Firntemperaturen).

Arzt: HENRI-GEORGES DE SYPIORSKI, EPF Paris.

Techn. Mitarbeiter: CAMILLE MARINIER, EPF Paris (Teilnehmer der Grönlandexpeditionen EPF 1949, 50, 51. Ueberwinterung Station Centrale 1949/50).

Die Herren BRANDENBERGER, RENAUD und REINWARTH arbeiten mit Schwergewicht nach Programme, über die andernorts Bericht erstattet wird (oben mit \* bezeichnet). Nach Massgabe der verfügbaren Zeit beteiligten sie sich an den hier behandelten Arbeiten. Es muss festge-

stellt werden, dass die verschiedenen Programme eng ineinander verflochten waren und daher meistens auch gemeinsamer Anstrengungen bedurften.

In die z. T. äusserst harte körperliche Arbeit (Profilgrabungen, Kernbohrungen, Rammarbeiten etc.) teilten sich auch in unschätzbarer Weise die technischen Mitarbeiter, einschliesslich der Expeditionsarzt, denen als Hauptaufgabe die operationelle Betreuung der Expedition oblag. In diesem Zusammenhang muss auch des dänischen Beobachters Dr. BØRGE FRISTRUP, Kopenhagen dankbar gedacht werden, der es sich nicht nehmen liess, immer wieder Hand anzulegen. Wertvolle Beobachtungen steuerten auch *Cap.* R. GUILLARD, der Chef des Transportwesens und der operationellen Feldarbeiten und PAUL GFELLER, Dipl. Ing. ETH (Gruppe Lagemessung) bei.

Einen besondere Beitrag leistete WILHELM PFROMMER, Dipl. Ing. TH Karlsruhe, der anlässlich der Campagne 1964 mit grösster Sorgfalt Pegel- und Temperaturablesungen besorgte.

Ohne die Unterstützung all der Genannten wäre das Programm nicht realisierbar gewesen. Andererseits arbeiteten auch Mitglieder der Gruppe Glaziologie und Ueberwinterung zeitweilig mit andern Gruppen (O. REINWARTH mit Gr. Geophysik, R. SCHNEIDER mit Gruppe Nivellement). Eine nicht zu umgehende aber im Zeitplan nicht vorgesehene Belastung bedeutete die starke Inanspruchnahme von R. SCHNEIDER und F. BRANDENBERGER mit dem Bau der Ueberwinterungsstation. Abschliessend sei zweier Mitarbeiter der Gruppe Glaziologie gedacht, die inzwischen verschieden sind: ANDRÉ RENAUD († 1964) hat der EGIG wertvollste Impulse verliehen. In der Sommercampagne 1959 hat er sich vielleicht über seine Kräfte ausgegeben. STEPHAN SANVELIAN († 1964), ein erfahrener Polarpraktiker, hat die Gruppe sicher über die grosse Strecke geführt und war in den stationären Phasen ein besorgter Betreuer aller Mitarbeiter. Beide Namen bleiben mit der EGIG verbunden.

Mit dem Rücktransport von Firnproben an das Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung wurde diesem Institut eine erhebliche Arbeit überbunden. Sie wurde, wie auch andere Vorbereitungs- und Auswertungsarbeiten, unter Mitwirkung folgender Mitarbeiter geleistet, denen hiemit Dank und Anerkennung ausgesprochen sei:

M. KOPP, dipl. Phys., B. R. HUGHES, E. BECK (Dünnschnittpräparation und -Auswertung), F. BRÄNDLIN (Apparatebau), G. KLAUSEGGER, E. WENGI, D. SOLLER (Zeichner- und Photoarbeiten, Bearbeitung der Berichte).

### 3.2. Material

Es können hier nur die wichtigsten Gerätschaften für die Bearbeitung der in diesem Bericht erwähnten Programmpunkte erwähnt werden. Ein kleiner Teil des Materials wurde durch die Gruppe ab Søndre Strømfjord mitgeführt, zum grössten Teil gelangte es direkt – durch Direktabwurf, Fallschirmabwurf oder Bodentransport – an die verschiedenen Depotstationen. Die Ausrüstung war also von einer Station zur andern nicht identisch. Für die Station Jarl-Joset stand natürlich ein Maximum an Gerätschaften zur Verfügung.

#### a) *Ausrüstung der mobilen Phase (K 3 bis Jarl-Joset).*

- \* gleiche Ausrüstung zusätzlich für Station Jarl-Joset.
- \*Profilkiste für die Grabung und Aufnahme von Firnprofilen (Spaten, Schaufeln, Handsägen, Eisäxte, Ausstichsonden (500 cm<sup>3</sup>), Küchenwaage, Schneethermometer (Metall), Lupen, Kornraster, Doppelmeter, Seile, etc.)
- 1 \* Al.-Leiter.
- Rammsonde schwer mit Rückzugwinde, Modell VAWE, Erdbau (siehe Bericht Rheologie).
- 2 Rammsonden leicht, Modell SLF, 5 m.
- 2 \* Kernbohrer Modell SIPRE (40 m Stangen) mit Dreibein und Flaschenzug. (1 Exemplar leihweise von US-Air Base Søndre Strømfjord).
- 3 Schlangenbohrer 2,5 cm (30 m Stangen).
- 1 Härtebohrer, (Neuentwicklung SLF).
- 1 \* Härteprüfer H 45 (SLF).
- 1 Kettensäge Homelite (elektrisch) mit Benzinaggregat 3 KW.
- 10 Transportkasten für Kernproben (inkl. Kartonrohre).
- 18 \* Widerstandsthermometer (Platin 100 $\Omega$ ) mit je ca. 20 m Dreileiterkabel Butanox.
- 1 \* Widerstandsmessbrücke, Tettex.
- 3 \* Hg – Präzisionsthermometer.
- \* Werkzeugsortiment.
- \* Niederschlagsgitter (für Schichtmarkierung).

#### b) *Ausrüstung Station Jarl-Joset.*

Die unter a) angeführten Objekte, dazu

- Mikroskop Dialux Pol (Leitz) mit Mikrophotoausrüstung, Beleuchtung.
- Kreutzisch, Universaldrehtisch, Quarzkeil, Berek Kompensator, Mikrometer.
- Photomakrostat für „Alpa“ (Paillard SA).
- Binokkular (Leitz).
- Dünnschnittmaschine, Modell SLF.
- Material für Dünnschnittpräparation (Al-Gefässe, Gläser, Phtalsäureester, Tetralin etc.).
- Heizplatte mit Thermostat.
- Thermostatschrank (Selbstbau).

- 2 Transportkasten (isoliert) zum Rücktransport von Firnproben nach Europa.
- 6 Verdunstungsschalen (Plexiglas).
- Balkenwaage (1 kg, 0,01 g).
- 2 Schneedriftsammler, (Versuchsentwicklung SLF).
- Wärmeleitmesser nach Lachenbruch (Bau SLF).
- 36 Hg-Thermometer  $1/5^{\circ}$ .
- Foto-, Entwicklungs- u. Vergrößerungsausrüstung (Entwicklungsdose, Vergrößerungsapparat, Schalen, Fototrockner etc.).
- Elektr. Messinstrumente.
- Elektrowinde (für Schacht Dumont).

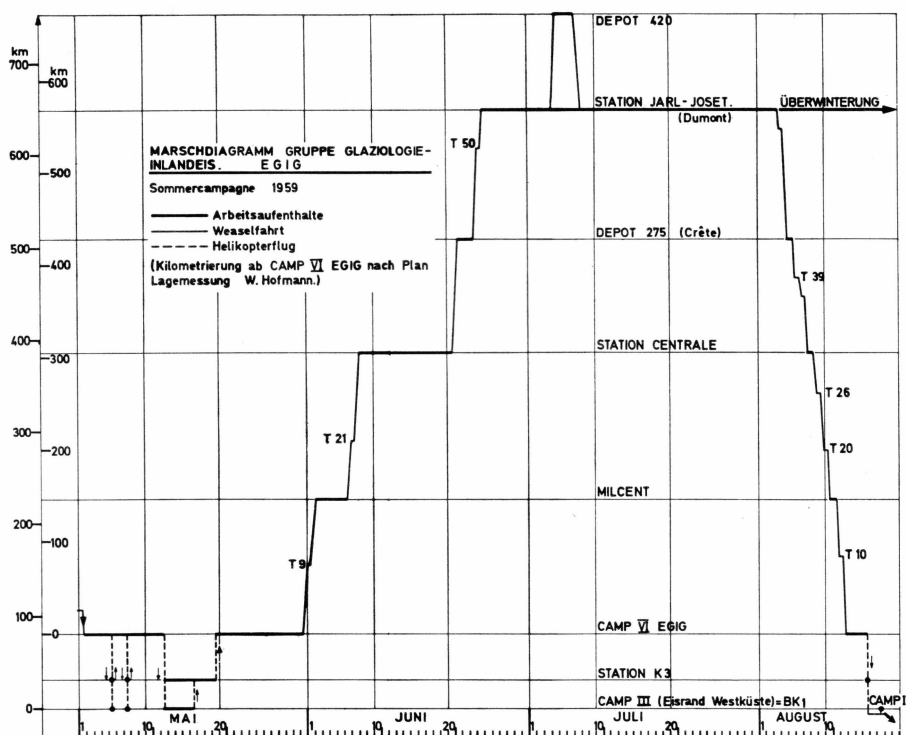


Abb. 1. Marschdiagramm der Gruppe Glaziologie Inlandeis Sommercampagne 1959.

## 4. VERLAUF DER EXPEDITION (Gruppe Glaziologie Inlandeis und Ueberwinterung).

### 4.1. Sommercampagne 1959

In den nachfolgenden chronologischen Notizen der Sommercampagne sind die Arbeiten aus dem rheologischen und isopenchemischen Programm nur beiläufig erwähnt, da ihnen besondere Berichte gewidmet sind. (zeitliche Marschskizze siehe Abb. 1).

1.-11.5.

Nach Erreichen der Gegend des *Camp VI* (EPF) installiert sich die EGIG in der Nähe des an herausragenden Pegelstangen erkennbaren Depots der Expedition „Jello“, (SIPRE, C. BENSON 1955). Die ersten Tage gelten dem Aufbau des *Camp VI* EGIG, der Entgegennahme von Materialabwürfen und der Bergung von US-Weaseln nach ihrer Lokalisierung unter ca. 50–100 cm Firn. Materialkontrollen, Eichprüfungen. Helikopter Rekognoszierungsflüge ins erste, westlich gelegene Arbeitsgebiet (K 3, *Camp III*).

12.5.-19.5.

Abflug des einen Teils der Gruppe (BRANDENBERGER, DE QUERVAIN, RENAUD) an den Westrand des Inlandeises (*Camp III*) und des anderen (ROCH, SCHNEIDER,



Photo 1. Fahrt der Gruppe Glaziologie Inlandeis gegen Osten (Q. 517/20).

zuzüglich DE LANNURIEN) nach K 3. Die erste Equipe befasst sich mit der Lokalisierung und Gewinnung von altem Eis, der Messung von Temperaturen am Eisrand und einer Studie des Parasitengletschers westlich der Randmoräne. Nach einer Fussexkursion nach de Quervains Havn (1912) schliesst sie am 17.5. zur anderen Equipe nach K 3 auf, die inzwischen einen Profilschacht im kompakten Eis ausgehoben hat. Entnahme von Eisproben, Einbau von Temperaturmesselementen. Bei der Bohrung eines 10 m-Loches ist die Gruppe Küsten-Glaziologie (AMBACH, BAUER) behilflich.

20.5.–30.5.

Rückkehr zum *Camp VI* EGIG. Profilgrabung, Kernbohrung (Tritium-Proben), Rammsondierungen, Temperaturbohrungen. Gewisse Verzögerungen in den Materialabwürfen und Störungen durch Schneetreiben lassen diese Phase etwas länger dauern als vorgesehen.

31.5.–1.6.

Die Gruppe (einschliesslich Ueberwinterung) ausgerüstet mit 3 Weasel (davon ein ausgegrabener der Expedition Benson), 2 Wohnschlitten und 1 Gepäckschlitten begibt sich zusammen mit der Gruppe Geophysik auf die Fahrt nach Osten. (Photo 1). Unterwegs werden die von der Gruppe Lagemessung gestellten 10-m Pegel abgelesen.

2.6.–5.6.

Arbeitsaufenthalt bei der Station *Milcent*. Das Pensum (Profilgrabung und -Aufnahme, Rammprofile, Kernbohrung, Einbau Temperaturelemente, Anlage Akkumulationsfeld, rheologische und Topographische Arbeiten) kann unter günstigsten Bedingungen in kürzester Zeit erledigt werden.

6.6.–7.6.

Fahrt nach *Station Centrale* unter Ablesung der Pegel.

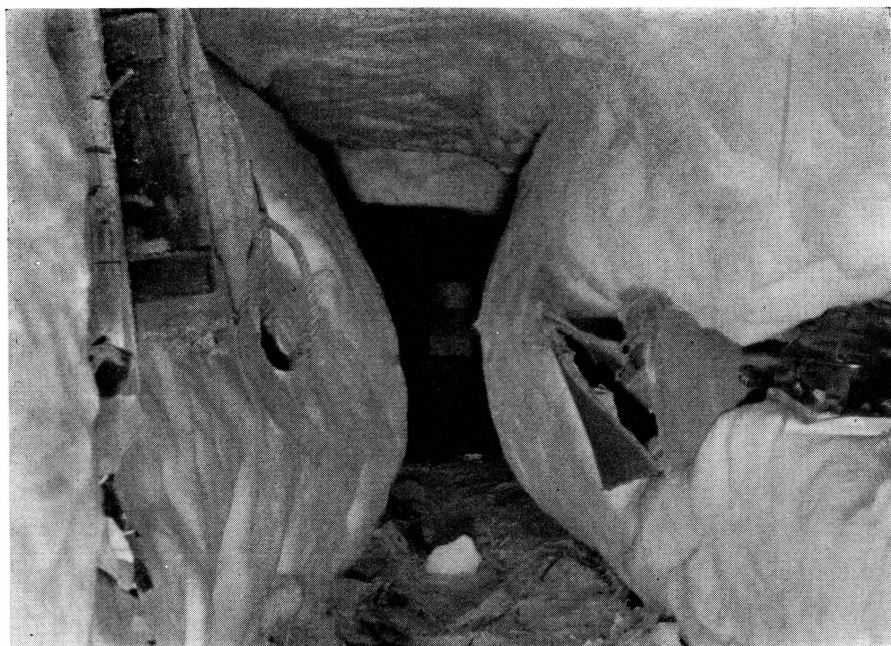


Photo 2. Blick in die eingesunkenen Gänge der Station Centrale EPF 1950/51 (Ursprüngliche Höhe: 2,2 m, 8.6.1959: ca. 1,2 m) (Q. 517/13).

8.6.–19.6.

Die von Benson markierte alte EPF-Station Centrale wird in ca. 10 m Tiefe unter der Oberfläche angetroffen, die Höhe der Gänge auf ca. 1,2 m reduziert. (Photo 2). Nach einem halben Ruhetag wird das bei der Station Milcent erwähnte Pensum ca. 500 m SE des Lagerplatzes in Angriff genommen. Mit dem SIPRE-Bohrer wird eine Tiefe von 30 m erreicht. Unter Mitwirkung von Teilnehmern der EPF-Expedition 1951 (MARINIER, MARET) sowie der Geophysiker und Topographen wird wiederholt nach dem von M. PEREZ gegrabenen und von C. BENSON noch aufgefundenen Vertikalschacht („Benoto“) gesucht. Die verfügbaren Pläne scheinen nicht zu stimmen; jedenfalls ist der Schacht trotz zahlreicher Abstiche und Ziehen von Gräben nicht lokalisierbar. Damit muss ein interessantes Vergleichsobjekt leider aufgegeben werden. Die Temperatur fällt bei gutem Wetter auf  $-31^{\circ}$ .

20.6.–21.6.

Fahrt der Gruppe in einem Zug nach dem *Dépôt 275* (Crête), das sich ungefähr auf dem Kulminationspunkt der Traverse befindet. Die Piste ist zunehmend verweht und rauh. Von T 38 bis über T 41 hinaus ist eine von Osten kommende Fuchsspur zu erkennen.

21.6.

Nach Ankunft bei *Dépôt Crête* am Morgen Retablieren und Ruhe.

22.6.

Durchführung eines etwas reduzierten nivologischen Programms.

23.6.–24.6.

Abschluss der Messungen bei *Dépôt 275* und Fahrt nach Station Jarl-Joset.



24.6.–25.6.

Ankunft *Station Jarl-Joset*; Besuch der Unterkunft Dumont. Öffnung des *Schrägschachtes Dumont*. Er wird in einwandfreiem Zustand vorgefunden. Starke Reifbildung in den obersten 10 m. Lagerbezug.

26.6.–29.6.

Die Kernbohrung in unmittelbarer Nähe des Schachtes Dumont (zu Vergleichszwecken) wird sofort vorgenommen. Da die Laboratorien der Ueberwinterungsstation erst Mitte Juli bereit sein können, wird die Unterkunft Dumont provisorisch als Kältelabor erschlossen. Das Bodenniveau befindet sich ca. 3,5 m unter der Oberfläche. Die Temperatur beträgt ca.  $-25^{\circ}\text{C}$ . Im weiteren sind Materialarbeiten auszuführen. (Auspacken, Kontrolle, Installation etc.). Die Anlage der Ueberwinterungsstation wird neu geplant.

30.6.–2.7.

Beginn der Verdunstungsmessungen. Diese ziehen sich dank des anhaltend guten Wetters über den ganzen Aufenthalt bei Jarl-Joset. Abstecken des Niederschlagsfeldes. Beginn der Arbeiten im Monatsprofil.

3.7.–6.7.

ROCH und SANVELIAN fahren nach *Dépôt 420* zur Ausführung einer Kernbohrung, nebst Ramm- und Dichteprofil. Bei Jarl-Joset wird das Monatsprofil fortgesetzt. BRANDENBERGER und SCHNEIDER, die beiden Teilnehmer an der Ueberwinterung, werden in zunehmendem Mass für den Bau der Ueberwinterungsstation beansprucht und können nur noch sporadisch am nivologischen Programm mitwirken. Sie besorgen topographische Aufgaben und das rheologische Programm (BRANDENBERGER).

7.7.–11.7.

Beginn der Laborarbeit in der Unterkunft Dumont. Herstellung von Dünnschnitten. Der Schrägschacht wird für die Vermessung vorbereitet. Versuche zur Schneedriftmessung. (Diese Versuche sind wegen des schönen, ruhigen Wetters während der Sommercampagne praktisch gegenstandslos).

12.7.–17.7.

Neben der Verdunstungsmessung wird der oberflächliche Temperaturgradient laufend verfolgt in Verbindung mit der oberflächlichen Schneeeumwandlung. Weitere Messungen zur Firnschichtung (Ramm- und Pfeilhärte, Versuche mit Härtebohrer) Vermessung Deformationsvierecke und -Kreise.

18.7.

Eine Blinddarmoperation, vortrefflich ausgeführt vom Expeditionsarzt SYPIORSKI an einem französischen Teilnehmer, berührt alle Anwesenden der Station. Die Gruppe Glaziologie stelle ihren Wohnwagen als Krankenzimmer zur Verfügung und wird auf andere Unterkünfte verteilt.

19.7.–26.7.

Das neue nivologische Labor wird im Rohbau fertig. Inneneinrichtung und Bezug. Der Meteomast wird aufgerichtet, die Winterstation (Igloo) gedeckt. (Photo 3, 4). Präparation von Firnproben für die Laboruntersuchung. Studien an Reifkristallen. Entnahme von Tritiumproben im Schrägschacht.

27.7.–2.8.

Die hohen Aussentemperaturen ( $-1$  bis  $-3^{\circ}$  mit Schneeschmelze unter Strahlungswirkung) verunmöglichen die weitere Dünnschnittarbeit im Labor ( $-5^{\circ}$  statt  $-15^{\circ}$ ). Sie muss wieder in die Baracke Dumont verlegt werden. Bohrungen im Schacht Dumont und im Schneelabor zum Einbau der Widerstandsthermometer. Temperaturmessungen. In dieser Phase erfolgt die Uebergabe der Laborarbeit

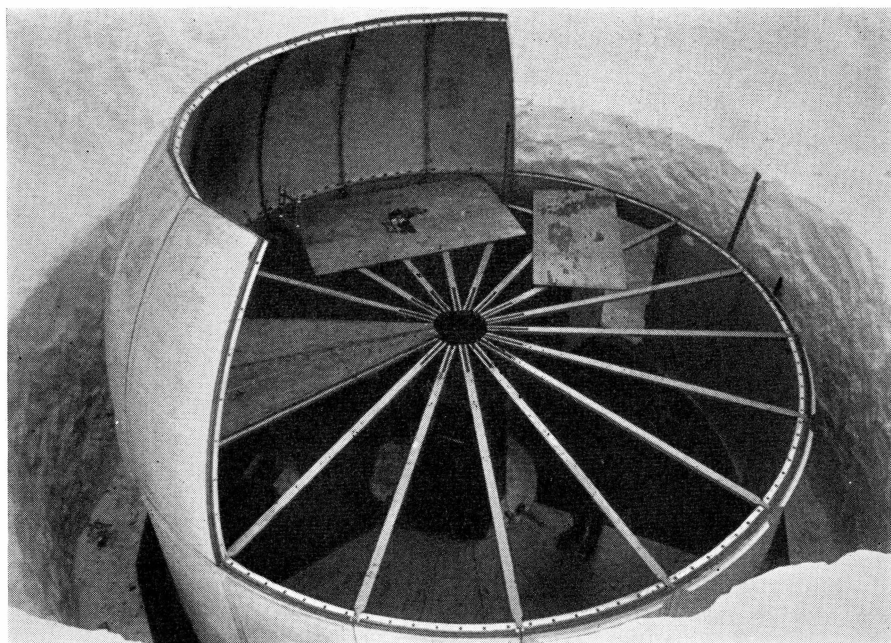


Photo 3. Bau des „Igloo“ der Ueberwinterungsstation Jarl-Joset aus Isoliermaterial.  
Juli 1959.



Photo 4. Fertiggestellter „Igloo“ mit Kuppel und Kamin, Juli 1959 (Ro 621/15).

an die Ueberwinterungsgruppe (i. bes. SCHNEIDER). Die nach der Schweiz zurückzubringenden konservierten Firnproben werden GUILLARD übergeben, der später reist und weniger Gefahr läuft, Schmelztemperaturen anzutreffen.

3.8.

Die Sommergruppe verabschiedet sich von den Ueberwinterern – bereits taucht die Mitternachtssonne in den Horizont – und tritt die Rückreise westwärts an (2 Weasel, 1 Wohnschlitten, 1 Transportschlitten). Ablesen der Pegel.

4.8.–5.8.

Arbeitsaufenthalt bei *Dépôt 275* (Crête) Profilgrabung, Temperaturablesung, Pegel R 18 aufgestellt, Rammprofil. Aufladen der Tritiumproben. Am Nachmittag Weiterfahrt bis T 39, dann Nebel.

6.8.–7.8.

Bei schlechter Sicht zeitweilige Irrfahrt bis T 37, anderntags flüssig nach Station Centrale.

7.8.–8.8.

Arbeit wie bei *Dépôt 275*, zusätzlich Niederschlagsfeld und sämtliche Pegel abgelesen. Fahrt bis T 28. Firnstoss festgestellt.

9.8.–10.8.

Nach Raupenbruch Fahrt bis *Milcent* Arbeitshalt (wie Station Centrale).

11.8.

Zahnradbruch verzögert Abmarsch.

12.8.

In der Wellenzone fällt auf, dass sich die frische Driftablagerung, erkennbar an matter Oberfläche, leeseits der Wellenzüge befindet. (Dies könnte auf Wanderdünencharakter der Wellen deuten). Durch Sastrugi teilweise ohne Routenmarkierung über Carrefour bis Camp VI EGIG.

13.8.–14.8.

*Camp VI EGIG*. Der Expeditionsleiter P.-E. VICTOR dringt auf möglichst rasche Evakuierung der Expedition per Helikopter nach der Küste (Camp I). Durch Krankheit eines Teilnehmers wird die bis dahin kerngesunde Gruppe empfindlich geschwächt. Es werden nur die nötigsten Beobachtungen ausgeführt (Verzicht auf Profilgrabung und Rammprofil).

15.8.

Abflug nach *Küste* (Camp I) mit Zwischenlandung bei K 3 (Ablesung Temperaturpegel). Besuch in der Grönländersiedlung Atå.

16.8.–17.8.

Fussekkursion nach Moräne Equip Sermia, Helikopterflug zum Eisrand (Camp III). Mit W. PFROMMER letztes Profil im Parasitengletscher gegraben. Fussmarsch zurück nach Camp I.

18.8.–20.8.

Fahrt auf der „Gauss“ nach Søndre Strømfjord.

20.8.–12.9.

Während das Gros der Expedition am 26.8. nach Europa zurückfliegt, muss noch die Ankunft der auf dem Eis zurückkehrenden Gruppe Guillard mit den Firnproben abgewartet werden. Diese werden am 1.9. per Helikopter in einer Isolierkiste in die US-Air-Base geflogen und im Kühlhaus eingelagert. Am 8.9. erfolgt die Evakuierung der Proben und des Begleiters, Einbettung der erstren in Kohlen-säureschnee, auf dem Luftweg nach Paris und Zürich.



Photo 5. Ruhestunde in der Station Jarl-Joset während der Ueberwinterung (O. REINWARTH, F. BRANDENBERGER).

## 4.2. Ueberwinterung 1959/60

(nach Angaben von F. BRANDENBERGER).

In der anschliessend gegebenen Uebersicht über die wissenschaftliche Tätigkeit (Tabelle 1) sind alle von der Ueberwinterungsgruppe bearbeiteten Programme erwähnt, also auch diejenigen, die Gegenstand besonderer Berichterstattung sind (Meteorologie, Rheologie).

### Aeussere Ereignisse

3.8.–16.8.

Nach Abreise der Gruppe Glaziologie wird der Ausbau der Station und der Laboratorien beendet und es werden Versuche und Eichungen vorgenommen. Die neue Unterkunft wird am 10.8. bezogen (Photo 5).

16.8.

Abreise der Gruppe Guillard, *Beginn der Ueberwinterung*.

1.9.

Erster Schneesturm.

9.9.

Letzte Versorgung aus der Luft.

23.9

Um 12 h Zonenzeit Umstellung der Uhren auf GMT.

25.10.

Ueberfliegung der Station durch ein unbekanntes Flugzeug von NW nach SE (ca. 1000 m über Grund).

Tabelle 1. *Uebersicht über die wissenschaftlichen Arbeiten während der Ueberwinterung.*

Zeitspanne	Meteorologie (O. REINWARTH)	Nivologie (R. SCHNEIDER)	Rheologie (F. BRANDENBERGER)
August 1959 bis Ende Oktober 1959	Ab August kontinuierliche Luftdruckregistrierungen mit Barograph und Mikrobarograph. Messung der Sonnenscheindauer (Heliograph), der Windgeschwindigkeiten (0–10 m Höhe) Registrierung der kurzwelligen Strahlung ab 1.9.1959, der Strahlungsbilanz ab 15.9.59.	Messungen im Niederschlagsfeld. Erstes Monatsprofil anfangs Oktober aufgenommen.	Deformationsmessungen im Schacht Dumont (Wiederholung). Vorbereitungen für Messung der Lotverschiebung neben Schacht Dumont. Einmessung Deformationskreise. Klinometermessung (bis 30.10.), Rammsondierung. Plattenversuche.
1.11.– 7.11.	Auswertung von Registrierungen. Reparaturen	Aufnahme Schneeprofil	Einmessen Pegel M 1. Nische für Schachtlot. Installation von Laborapparat.
8.11.–11.11.	Auswertung von Registrierungen. Reparaturen	Vorbereitungen für kristallographische Analyse	Bohrloch und Nische für Schachtlot. Plattenversuch in der Nische.
15.11.–21.11.	Reparatur Windmessanlage	Stromversorgung Photolabor. Proben Station Centrale im durchscheinenden Licht.	Akkumulationsmessungen. Vorbereitung Kriechversuche. Einhängen des Schachtlotes.
22.11.–28.11.	Installationen Meteorokabine Reparaturen am Georgi-Gerät	Proben von Station Centrale fotografiert. Konstruktion eines Rheostats und Thermostats für Mikroskop.	Ausgangsmessung Schachtlot. Zug- und Druckfestigkeitsversuche. Vorversuche zu Kriech- und Oedometerversuchen. Auswertung Klinometer.
29.11.– 5.12.	Streifenauswertungen Installationen und Reparaturen.	Konstruktionsarbeiten Rheostat.	Auswertung Klinometer. Vorbereitung Rammprofile
6.12.–12.12.	Streifenauswertungen Eichprüfungen	Aufnahme Schneeprofil Dünnschnitte Station Centrale	Rammsondierungen im Labor
13.12.–19.12.	Reparatur Meteomast Eichung Gradientmesser	Dünnschnitte Station Centrale	Rammsondierungen im Labor. Setzungsmessungen in situ installiert

(Fortsetzung)

Tabelle 1 (fortgesetzt).

Zeitspanne	Meteorologie (O. REINWARTH)	Nivologie (R. SCHNEIDER)	Rheologie (F. BRANDENBERGER)
20.12.–26.12.	Aussenarbeiten am Meteomast. Reparatur und Unterhalt von Registriergeräten		
27.12.– 2. 1.	Einrichtung zur Messung des Firntemperaturprofils. Eicharbeiten	Dünnschnitte	Rammsondierungen (Ende) Setzungsmessungen in situ
3. 1.– 9. 1.	Streifenauswertung		Kriech- und Oedometerversuche
10. 1.–16. 1.	Messung Firntemperaturen	Aufnahme Schneeprofil. Dünnschnitte	Vorbereitung Plattenversuch Labor
17. 1.–23. 1.	Thermoelektrische Versuche	Bearbeitung Schnee- profil. Driftmessungen	Deformationsmessung Kugelhavernen. Neue Fixpunkte
24. 1.–30. 1.	Anschluss für Messung Windprofil	Driftmessungen. Stratigraphie Schacht Dumont. Dünnschnitte	Aushubarbeiten Schacht Dumont. Probenentnahme
31. 1.– 6. 2.	Enteisungsarbeiten. Vorbereitung Pilotballons	Stratigraphie. Schacht Dumont. Dünnschnitte	Vorbereitung Viscosimeter.
7. 2.–13. 2.	Registrierung Windprofil. Eichung Thermo- säule	Stratigraphie Schacht Dumont. Driftmessungen	Viscosimeterversuche Probenentnahme im Schacht
14. 2.–20. 2.	Anschluss Thermo- säule. Reparatur Georgi-Gerät	Dünnschnitte. Arbeiten Schacht Dumont	Verdunstungsmessungen Labor. Klinometer- messungen Labor
21. 2.–27. 2.	Solarimeterregistrierung. Eichung Gradientmesser	Eichung Dünnschnitte. Driftmessungen	Probenentnahme für Oedometerversuche. Vorbereitung Dünnschnitte
28. 2.– 5. 3.	Montage Gradient- messer	Dünnschnitte. Replica von Drift	Viscosimeterversuche. Auswertung Rammsondierungen
6. 3.–12. 3.	Aufstellung Sonnen- scheinautographen	Stratigraphie Schacht Dumont, Dünnschnitte, Aufnahme Schnee- profil	Wiederaufnahme Klinometermessungen. Einrichten Setzungs- profil in Laborwand
13. 3.–19. 3.	Niederschlagsproben für Programm A. Renaud	Arbeiten im Schacht. Dünnschnitte	Vorbereitung Luft- extraktion. Setzungs- profil Labor

(Fortsetzung)

Tabelle 1 (fortgesetzt).

Zeitspanne	Meteorologie (O. REINWARTH)	Nivologie (R. SCHNEIDER)	Rheologie (F. BRANDENBERGER)
20. 3.-26. 3.	Windprofilmessung. Vorbereitung Fesselballon	Dünnschnitte (Dumont). Messung Niederschlagsfeld	Luftextraktionsversuche. Aushub Hohlkugel 40 m Tiefe
27. 3.- 2. 4.	Windprofil. Neuaufstellung Strahlungsmessgeräte	Dünnschnitte Verdunstungsmessungen	Luftextraktionsversuche
3. 4.- 9. 4.	Windprofilmessungen. Eichungen; Unterhaltarbeiten	Dünnschnitte photographiert Verdunstungsmessungen	Probenentnahme im Schacht. Abstecken Axe für Ballonaufstiege
10. 4.-16. 4.	Eichungen. Vover-suche zu Ballonaufstiegen	Stratigraphie Schacht Dumont. Aufnahme Schneeprofil	Klinometermessung. Deformationsviereck. Pegelablesungen Deformationskreis.
17. 4.-23. 4.	Pilotballonaufstiege. Neuaufstellung Meteohütten	Stratigraphie Schacht Dumont, Dünnschnittproben	Hohlkugel in 40 m Tiefe, Fertigstellung und Ausmessung
24. 4.-30. 4.	Anemometervergleich. Reparaturen, Eichungen	Dünnschnitte. Verdunstungsmessung	Verdunstungsmessung Hohlkugel. Luftextraktionsversuche
1. 5.- 7. 5.	Pilotballonaufstiege. Strahlungseichungen	Dünnschnitte. Verdunstungsmessungen	Pegelablesungen. Viscosimeterversuch (14 m)
8. 5.-14. 5.	Ballonaufstiege, Versuchsaufstieg Fesselballon	Stratigraphie Schacht Dumont. Probenentnahme	Scherversuche in situ. Luftextraktion, Rammprofil
15. 5.-21. 5.	Ballonaufstiege. Umbau Windmessanlage	Schneeprofil	Luftextraktion-Auswertung Deformationsvierecke
22. 5.-28. 5.	Umbau Windmessanlage	Dünnschnitte. Stratigraphie Schacht Dumont	Viscosimeterversuch (19 m). Klinometermessungen
29. 5.- 4. 6.	Anemometer-vergleiche. Windprofilmessungen. Strahlungseichungen	Verdunstungsmessungen. Dichtemessung Schacht Dumont	Deformationsviereck (Pegel aufgerichtet. Nivellement) Schneehöhen. Scherfestigkeitsversuche in situ. Luftextraktion
5. 6.-11. 6.	Aktinometervergleiche. Windprofilmessungen	Verdunstungsmessungen. Stratigraphie Schacht Dumont, Dünnschnitte	Luftextraktionsversuche. Vermessung Deformationsviereck (Wiederholung)

(Fortsetzung)

Tabelle 1 (fortgesetzt).

Zeitspanne	Meteorologie (O. REINWARTH)	Nivologie (R. SCHNEIDER)	Rheologie (F. BRANDENBURGER)
12. 6.–18. 6.	Aufzeichnung Temperaturprofil im Firn	Aufnahme Schneeprofil, Stratigraphie und Firnproben Schacht Dumont	Vermessung Deformationsviereck. Situationsaufnahme Station Jarl-Joset (inkl. Nivellement)
19. 6.–25. 6.	Strahlungsmessungen, Windprofilmessungen, Ballonaufstiege	Dünnschnitte, Dichtemessungen Schacht Dumont, Verdunstungsmessungen	Deformationskreise (Vermessung, Pegelverlängerung)
26. 6.–2. 7.	Aktinometervergleiche, Anemometermessungen	Probenentnahme Schacht Dumont	Vermessung Station Jarl-Joset, Schneehöhenablesungen, Viscosimeterversuche
ab 3.7.		Abschlussarbeiten, Wiederholungsmessung Deformation Schacht Dumont	Wiederholungsmessungen Hohlkugel 20 und 40 m Tiefe

11.11.

Temperatur zum ersten mal unter  $-50^{\circ}\text{C}$ .

23.11.

Sonne am Mittag zum letzten mal über Horizont.

22.1.1960

Sonne erscheint wieder über Horizont.

8.2.

Heftigster Sturm der Ueberwinterung. Starke statische Aufladungen. Rauchgase schlagen im Kamin zurück. Während des ganzen Februar Arbeiten im Freien wegen Kälte und Drift erschwert oder verunmöglicht.

22.2.

Ca. 1430 GMT halbkreisförmiger weisser Nebelbogen um die Sonne. Bodentemperatur ca.  $-41^{\circ}$ . rel. Feuchte ca. 90 %.

6.3.

Abends erste Cumuluswolken des Jahres im Osten.

11.4.

Unreparierbarer Defekt am Stromgenerator. Beginn eines chronischen Strommangels, da Windgenerator wegen zu kleiner Windgeschwindigkeit nur selten anspringt.

23.4.

Erster Zugvogel beobachtet.

8.5.

Zusammenbruch der Stromversorgung behindert wissenschaftliche Laborarbeit.



- 9.5.  
Erste Beobachtung von Firnglanz an einzelnen Stellen der Oberfläche.
- 15.5.  
Fuchsspuren in unmittelbarer Nähe der Station.
- 18.5.  
Erste Luftversorgung trifft ein seit September 1959. Abwurf eines neuen Generators.
- 26.5.  
Neuer Generator defekt. Stromversorgung äusserst knapp.
- 3.6.  
1107 GMT heftiger Firnstoss (vgl. Faszikel Rheologie Abschn. 3.11.).
- 6.6.  
Weisser Nebelbogen. (Bodentemperatur  $-10^{\circ}$ ).
- 21.6.  
Fahrt zu Pegel T 52. Dieser ist knapp über der Oberfläche abgebrochen, wieder aufgerichtet.
- 12.–13.7.  
*Ankunft der Gruppe Guillard*
- 21.7.  
Fahrt zu TAA 53. Pegel abgebrochen, wieder aufgerichtet.
- 23.7.  
Fahrt zu T 54 Pegel abgebrochen, wieder aufgerichtet.
- 28.7.  
*Die Station wird geschlossen. Abreise Richtung Camp VI EGIG.*
- 1.8.  
Ankunft Station Centrale.
- 5.8.  
Ankunft Milcent.
- 9.8.  
Ankunft Camp VI. EGIG.
- 12.8.  
Abfahrt von Camp VI.
- 21.8.  
Ankunft Station Dye 2.
- 22.8.  
Rückflug der Ueberwinterungsgruppe nach Søndre Strømfjord.

## 5. TOPOGRAPHIE DER WICHTIGSTEN STANDORTE DER GRUPPE GLAZIOLOGIE INLANDEIS. 1959/60

### Grundlagen:

Längen und Breiten: (W. HOFMANN 1964).

Höhen: (H. MÄLZER 1964).

Lokal-topographische Aufnahmen von F. BRANDENBERGER (1959 u. 1960).

An den Hauptstationen definieren die Pegel der Deformationsvierecke lokale Koordinatensystem mit den Pegeln TA als Bezugspunkte. Die absolute Orientierung dieser Systeme ist im Abschnitt 3.3. des Faszikels Rheologie gegeben. (R. HAEFELI und F. BRANDENBERGER 1968).

### *Camp III und BK 1 (Westrand Inlandeis).*

Länge: W 50°07'

Breite: N 69°43,4'

Höhe: 613 m

Das Zeltlager befand sich ausserhalb des Inlandeises, ca. 600 m NE des „Søndagsfjeld“. (= Fixpunkt des Nivellements A 14) in der Nähe des Eisrandlagers der Durchquerungsexpedition 1912 (A. DE QUERVAIN).

### *K 3*

Länge: W 49°15'

Breite: N 69°39,5'

Höhe: 1219 m

Die Bezeichnung dieses ca. 40 km von der Westküste entfernten Standortes stammt von den Expéditions Polaires Françaises. Eine genaue Vermessung der lokalen Situation besteht nicht.

Der neue Pegel R 1 befindet sich ca. 40 m östlich des alten schiefen EPF-Pegels bei dem auch der Schacht gegraben wurde. (siehe Abb. 2).

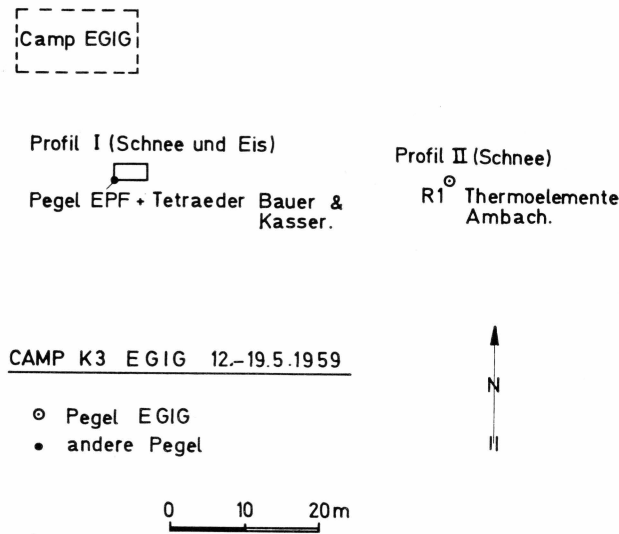


Abb. 2. Topographische Situation bei K 3 (12.-19.5.1959).

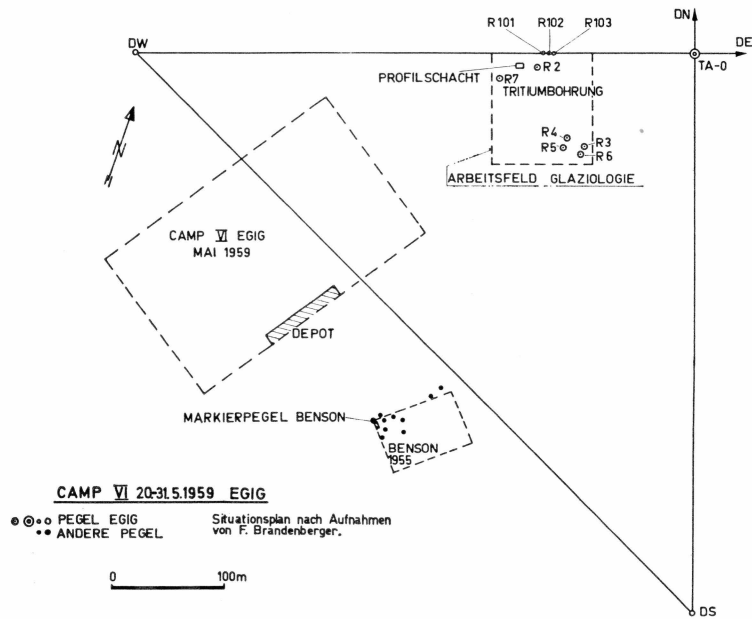


Abb. 3. Topographische Situation bei Camp VI (20.-31.5.1959).

Camp VI EGIG

Länge: W 48°04,3'

Breite: N 69°44,3'

Höhe: 1677 m

Abb. 3 gibt die allgemeine Situation von Lager, Depot, Arbeitsstellen Camp Benson und Pegel, deren lokale Koordinaten sind in Tabelle 2 aufgezeichnet.

Tabelle 2. Koordinaten Camp VI EGIG, (1959) bezogen auf Deformationsviereck. von F. BRANDENBERGER.

Bezeichnung	Ordinaten Y		Abszissen X		Höhen über Oberfl. Sommer 1959	Bemerkungen Art der Punkte
	±	Meter	±	Meter		
TA 0 .....	+	1000,00	+	1000,00		} Koord. nach Neusetzung der Pegel im August 1959
DN .....	+	1000,09	+	1505,73		
DE .....	+	1513,62	+	1000,00		
DS .....	+	999,89	+	479,09		
DW .....	+	441,67	+	999,88		
R 2 .....	+	860,40	+	982,40		Temperaturmessung
R 3 .....	+	905,10	+	913,10		Niederschlagsfeld
R 4 .....	+	889,50	+	920,40		Niederschlagsfeld
R 5 .....	+	885,80	+	911,30		Niederschlagsfeld
R 6 .....	+	901,50	+	905,70		Niederschlagsfeld
R 7 .....	+	840,30	+	956,30		Temperaturmessung
R 101 .....	+	865,10	+	995,00		Klinometermessung
R 102 .....	+	870,10	+	995,20		Klinometermessung
R 103 .....	+	874,70	+	995,40		Klinometermessung
Kernbohrung .....	+	844,90	+	982,10		nicht markiert
Depot EGIG .....	+	667,90	+	756,30		Az. Depot 256 <sup>g</sup> 10*)
Pegel. Carav. Benson	+	716,90	+	628,00		Az. Eing. Caravan 172 <sup>g</sup> 41*)

\*) bezogen auf das lokale Koord.-system mit Az (TA0-DE) = 100<sup>g</sup>

Station Milcent

Länge: W 44°35,0'

Breite: N 70°18,4'

Höhe: 2449 m

Abb. 4 gibt die allgemeine Situation, Tabelle 3 die lokalen Koordinaten.

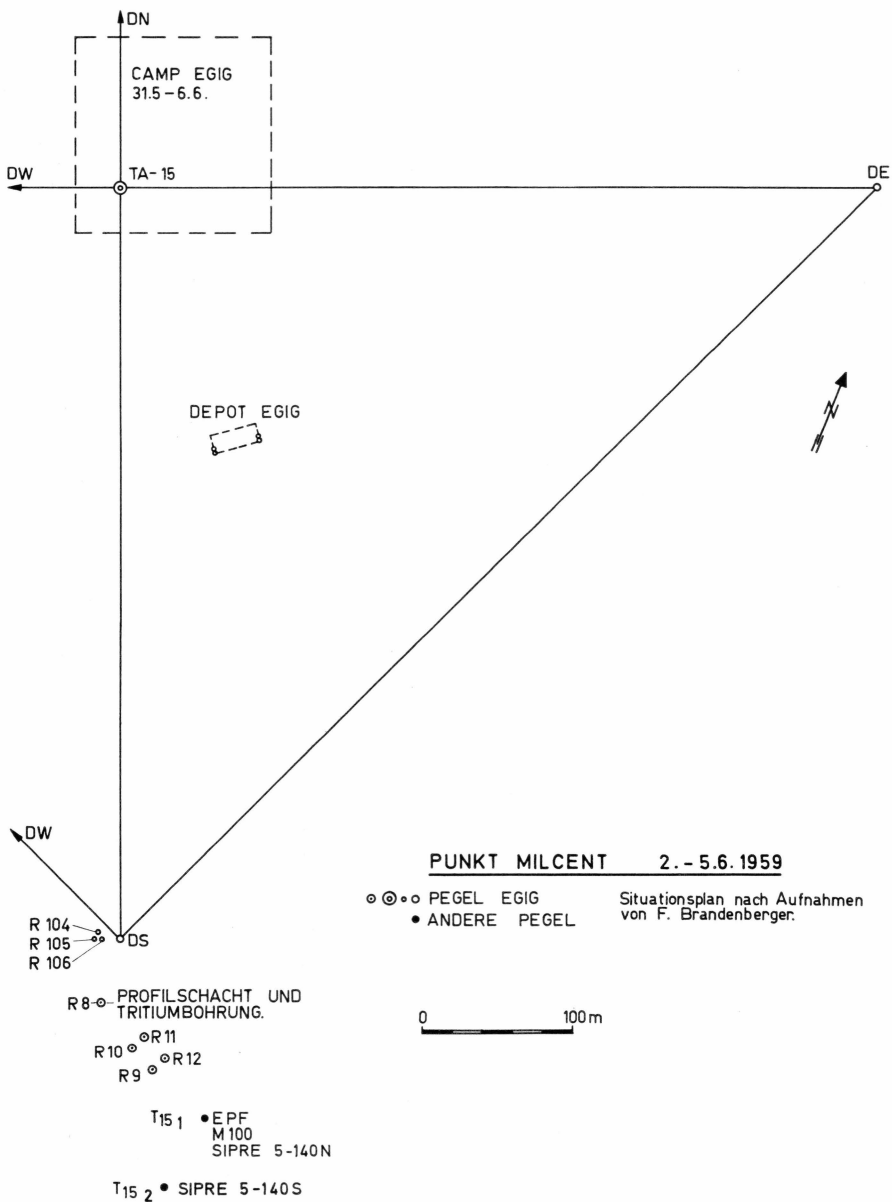


Abb. 4. Topographische Situation bei Milcent (2.-5.6.1959).

Tabelle 3. *Koordinaten Milcent (1959) bezogen auf Deformationsviereck.*  
(von F. BRANDENBERGER)

Benennung der Punkte	Ordinaten Y		Abszissen X		Höhen über Oberfl. Sommer 1959	Bemerkungen Art der Punkte
	±	Meter	±	Meter		
TA 15 . . . . .	+	15000,00	+	1000,00	6,69	
DN . . . . .	+	15000,03	+	1503,01	ca. 7,00	
DE . . . . .	+	15503,08	+	1000,00	6,99	
DS . . . . .	+	15000,03	+	488,48	ca. 7,00	
DW . . . . .	+	14495,04	+	1000,01	6,95	
T 15/1 . . . . .	+	15055,27	+	369,33	0,30	Pegel EPF
T 15/2 . . . . .	+	15028,80	+	324,93	2,01	Pegel Benson
R 8 . . . . .	+	14987,90	+	446,20		Temperaturmessung
R 9 . . . . .	+	15008,70	+	417,00		Niederschlagsfeld
R 10 . . . . .	+	15021,10	+	401,20		Niederschlagsfeld
R 11 . . . . .	+	15028,90	+	408,40		Niederschlagsfeld
R 12 . . . . .	+	15016,20	+	422,90		Niederschlagsfeld
R 104 . . . . .	+	14985,80	+	492,70		Klinometermessung
R 105 . . . . .	+	14983,30	+	488,40		Klinometermessung
R 106 . . . . .	+	14988,30	+	488,40		Klinometermessung
Depot EGIG . . . . .	+	15061,30	+	835,40		Az. Depot ca. 82 g*)

\*) bezogen auf das lokale Koordinatensystem mit Az (TA15–DE) = 100 g

Station Centrale

Länge: W 40°38,0'  
Breite: N 70°54,6'  
Höhe: 2964 m

Hier sind neben den Installationen der EGIG Elemente der Expeditionen EPF 1948–51, Benson 1955 und „Hiran“ (eine amerikanische Versuchsstation 1958) anzutreffen. Nicht alle sichtbaren Strukturen sind sicher identifizierbar. Von den EPF dürfte an der Oberfläche nichts mehr anzutreffen sein.

Abb. 5 gibt einen Ueberblick über die 1959 angetroffenen und aufgestellten Objekte, Tabelle 4 die zugehörigen lokalen Koordinaten.

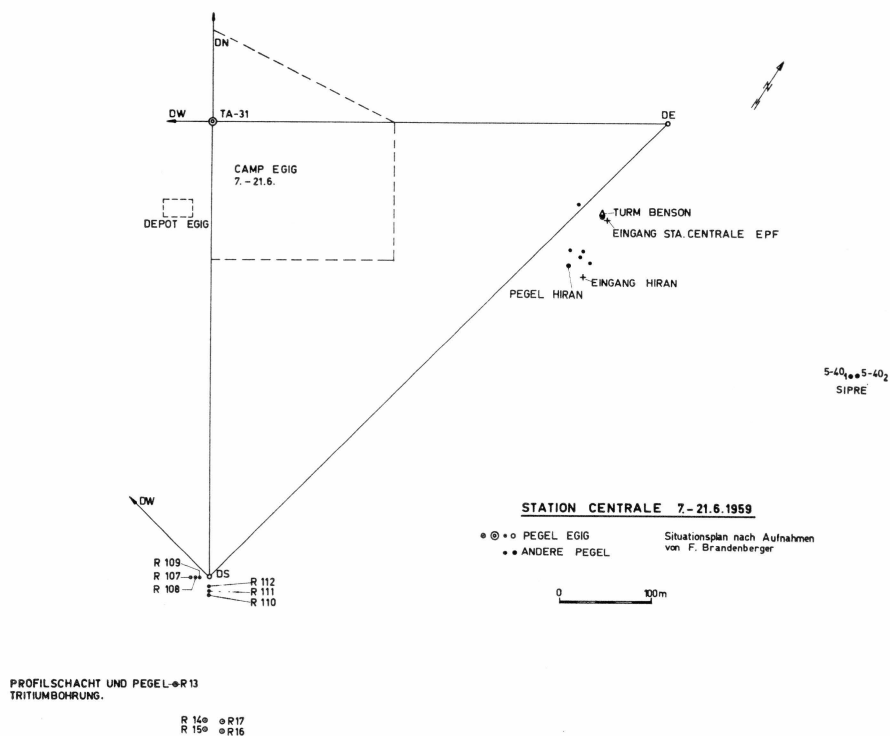


Abb. 5. Topographische Situation bei Station Centrale (7.-21.6.1959).

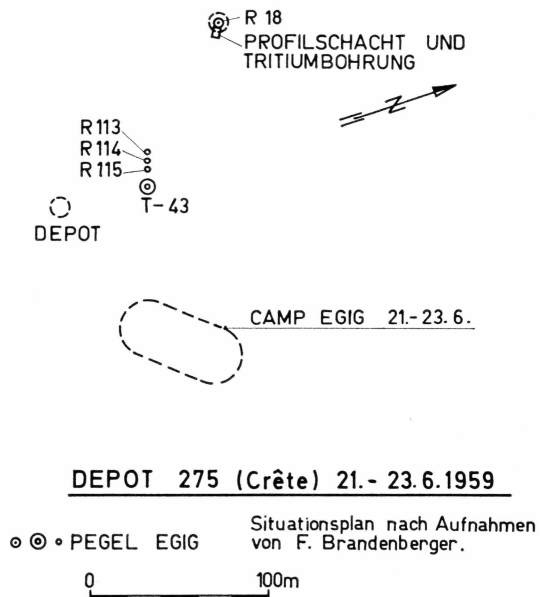


Abb. 6. Topographische Situation bei Dépôt 275 (Crête) (21.-23.6.1959).

Tabelle 4. *Koordinaten Station Centrale, (1959) bezogen auf Deformationsviereck.* (von F. BRANDENBERGER)

Benennung der Punkte	Ordinaten Y		Abszissen X		Höhen über Oberfl. Sommer 1959	Bemerkungen Art der Punkte
	±	Meter	±	Meter		
TA 31 .....	+	31000,00	+	1000,00	6,83	
DN .....	+	30999,97	+	1507,58	ca. 7,00	
DE .....	+	31509,50	+	1000,00	6,97	
DS .....	+	31000,03	+	488,54	ca. 7,00	
DW .....	+	30492,36	+	999,98	7,00	
R 13 .....	+	30964,20	+	370,90	7,66	Temperaturmessung
R 14 .....	+	30996,80	+	331,10	2,27	Niederschlagsfeld
R 15 .....	+	30996,10	+	321,50	2,15	Niederschlagsfeld
R 16 .....	+	31015,00	+	320,20	2,18	Niederschlagsfeld
R 17 .....	+	31016,80	+	330,30	2,20	Niederschlagsfeld
R 107 .....	+	30979,90	+	487,80		Klinometermessung
R 108 .....	+	30985,00	+	488,00		Klinometermessung
R 109 .....	+	30990,00	+	488,20		Klinometermessung
R 110 .....	+	30999,90	+	468,20		Klinometermessung
R 111 .....	+	30999,90	+	473,20		Klinometermessung
R 112 .....	+	30999,90	+	478,30		Klinometermessung
Pegel 1 .....	+	31740,30	+	709,40	0,36	Astropkt. Benson?
Pegel 2 .....	+	31739,20	+	707,60	0,60	Astropkt. Benson?
Bambus 1 .....	+	31638,60	+	880,90		unbekannte Bedeut.
Bambus 2 .....	+	31446,50	+	883,70		unbekannte Bedeut.
Benson-Turm .....	+	31438,80	+	899,20	ca.11,50	Balise EGIG, an der östl. Turmkante
Pegel Hiran .....	+	31400,20	+	842,90		abgespannte Al-Bal.
– Eing. Hiran .....	+	31416,30	+	827,30	ca. 4,00	Eing. ca. 3 m südl.
– Eing EPT .....	+	31444,60	+	893,80		
– Depot EGIG .....	+	30978,10	+	894,30		Az. Depot 301 <sup>g</sup> 32*)
						*) bezogen auf das lo- kale Koordinatensy- stem mit Az (TA 31 – DE) = 100 <sup>g</sup>

Dépôt 275 (Crête)

Länge: W 37°19,2'

Breite: N 71°07,2'

Höhe: 3175 m

Da kein Deformationsviereck vorhanden ist, wird die Situation (Abb. 6) direkt auf den Pegel T 43 bezogen.



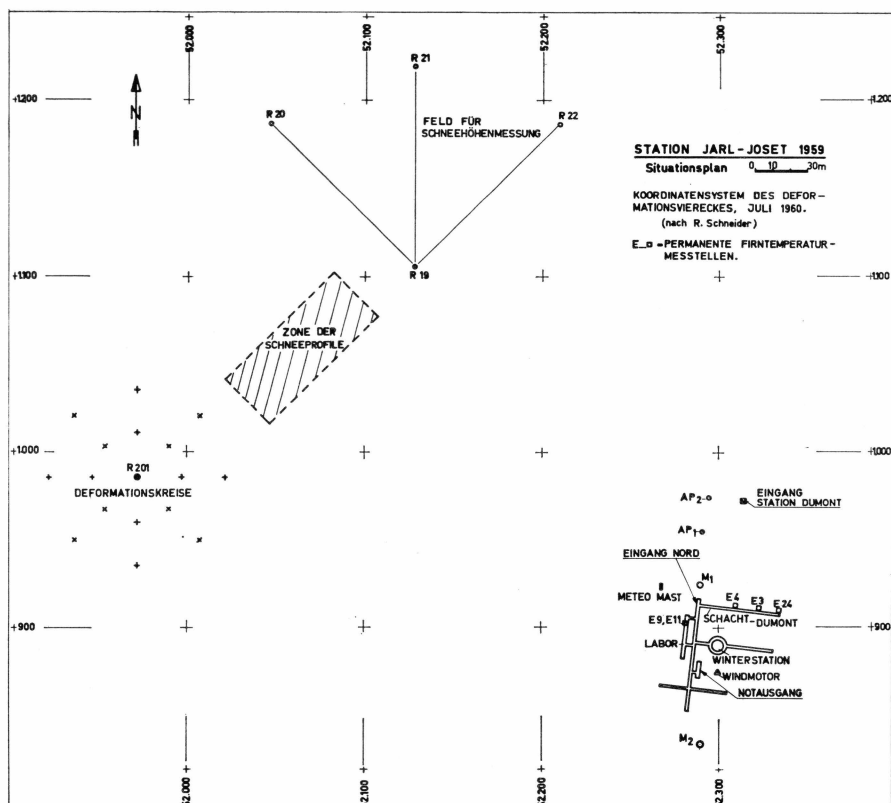


Abb. 7. Topographische Situation bei Station Jarl-Joset nach dem Ausbau der Ueberwinterungsstation 1959/60.

### Station Jarl-Joset

Länge: W  $33^{\circ}28,0'$

Breite: N  $71^{\circ}21,3'$

Höhe: 2867 m

Diese Hauptstation der EGIG hat die Ueberwinterung von DUMONT 1956/57 und der EGIG 1959/60 beherbergt. Abb. 7 (nach F. BRANDENBERGER und R. SCHNEIDER) zeigt die wesentlichsten Anlagen von Interesse für die Glaziologie. Daneben waren noch zahlreiche temporäre Installationen vorhanden (Antennen, Messtände etc.). Es bestehen noch Detailpläne von F. BRANDENBERGER die hier aus Masstabgründen nicht wiedergegeben werden können. Von den wesentlichen Objekten sind die örtlichen Koordinaten in Tabelle 5 vermerkt.

Tabelle 5. *Koordinaten Station Jarl-Joset (1960) bezogen auf Deformationsvierecke (von F. BRANDENBERGER)*

Benennung der Punkte	Ordinaten Y		Abszissen X		Höhen über Oberfl. Sommer 1960	Bemerkungen Art der Punkte
	±	Meter	±	Meter		
TA 53 .....	+	53000,00	+	1000,00	6,06	Niederschlagsfeld Zentrum Def. kreis Klinometermessung
DN .....	+	53000,09	+	1444,41	6,01	
DE.....	+	53454,44	+	1000,00	6,04	
DS .....	+	52999,91	+	500,58	6,16	
DW .....	+	52489,39	+	999,95	5,81	
M 1 .....	+	52289,77	+	925,25	6,38	
M 2 .....	+	52290,38	+	834,32	6,72	
R 19 .....	+	52128,00	+	1105,40		
R 201 .....	+	51971,50	+	985,90		
Eing. Stat. Dumont ..	+	52312,00	+	973,90		
Stat. Jarl-Joset (EGIG)						NW-Ecke  SW-Ecke NE-Ecke SE-Ecke
Pegel Eing. Nord ....	+	52287,10	+	914,60	6,00	
Eing. Nord.....	+	52286,60	+	916,60		
Eing. Schacht .....	+	52289,60	+	913,60		
Eing. Motorenraum...	+	52290,10	+	877,20		
Eing. Süd.....	+	52278,60	+	852,00		
Eing. Süd.....	+	52282,20	+	854,40		
Eing. Süd.....	+	52281,60	+	851,50		
Pegel. Plexiglask. ....	+	52286,80	+	891,50	6,00	
Plexiglaskuppel .....	+	52287,00	+	892,40		
Windgenerator.....	+	52302,20	+	876,80	8,44	
Kamin Igloo .....	+	52299,30	+	891,40	2,27	
Meteo-Mast .....	+	52268,90	+	923,10	ca. 9,00	
Antennemast .....	+	52307,00	+	899,90	ca. 3,00	
Antennemast .....	+	52330,10	+	832,30	ca. 3,00	

Dépôt 420

Länge: W 32°19,6'

Breite: N 72°13,4'

Höhe: (approximativ) 2750 m

Von dieser durch zwei Mitglieder der Gruppe Glaziologie nur während zweier Tage besetzten Station besteht keine topographische Skizze. Das Deformationsviereck hat die in Tabelle 6 angegebene relative Lage.

Tabelle 6. *Koordinaten Dépôt 420 (1959) Deformationsviereck.* (Messung P. GFELLER)

Benennung der Punkte	Ordinaten Y		Abszissen X		Höhen über Meer	Bemerkungen Art der Punkte
	±		±			
TA 61 .....	+	61000,00	+	1000,00		Az. (TA-DN) = 0 (lokales Koord. sy- stem)
DN .....	+	61000,00	+	1506,87		
DE.....	+	61508,04	+	999,91		
DS .....	+	60999,83	+	496,54		
DW.....	+	60557,26	+	1000,07		

## 6. AKKUMULATION AUF DEM QUERPROFIL DER EGIG

VON M. DE QUERVAIN

mit Beiträgen und unter Mitarbeit von:

F. BRANDENBERGER, A. RENAUD, A. ROCH und R. SCHNEIDER

### 6.1. Allgemeines

Die Bestimmung der wahren mittleren Akkumulation über eine Reihe von Jahren zurück beruht auf verschiedenen sich ergänzenden und kontrollierenden Verfahren. Grundsätzlich handelt es sich um folgenden Aufgaben:

- Identifizierung von Jahreshorizonten in Firn.
- Datierung der Horizonte.
- Bestimmung der Schichtmächtigkeiten.
- Messung der Dichten.

Für die rezente Akkumulation würde man gerne auf die Ablesung an *Pegeln* abstellen, wobei mit der sicheren Identifizierung und Datierung des Basishorizontes und der als Pegelstand ermittelten Schichthöhe gerechnet wird. Die Erfüllung dieser Voraussetzung ist nicht ohne weiteres gewährleistet, indem der Pegelfusspunkt sich unter den Setzungskräften (Ruhedruck  $\times$  Mantelreibung) in tiefere Schichten einbohren kann. Damit würde eine höhere Akkumulation vorgetäuscht. Leider wurde es unterlassen, die Pegel mit einer Fussplatte zu versehen, oder sie wenigstens unten zu schliessen, was dem Einbohren entgegengewirkt hätte. Bei niedrigen Pegelständen (bis ca. 3 m) dürfte der Fehler nicht allzu-gross sein. Bei mittleren Pegelständen (schätzungsweise 3–15 m) besteht maximale Unsicherheit; später sollte die Schichttreue eher wieder besser werden. Vielleicht gelingt es, den Prozess des Einsinkens experimentell oder theoretisch soweit zu erfassen, dass Korrekturen möglich sind. Bei allen auf Pegel bezogenen Akkumulationen sind die Setzungsraten zu berücksichtigen. Differenzen von Ablesungen tiefer Pegel können bei Vernachlässigung dieses Effektes grosse Fehler erbringen. (siehe Abschn. 6.5.2.).

Um in den EGIG-Jahren 1959/60 von Pegeln unabhängige Akkumulationswerte zu erhalten, wurden an den Hauptstationen des Querprofils Horizonte durch Gitter markiert und die Zuwachsraten als Schneehöhen und Wasserwerte durch Abstich ermittelt (Abschn. 6.3.).

Die *Identifizierung von Jahreshorizonten* stützt sich auf eine Variation der Dichte, der Härte (Rammwiderstand) oder kristallographischer Parameter (Korngrösse, Kornform, oder darauf beruhend, der Transparenz der Schichten).

Nach der Identifizierung von Jahreshorizonten geschieht die *Datierung* durch Abzählung, was das Vorhandensein einer lückenlosen Serie voraussetzt. Bezüglich direkter Datierungsmethoden auf radioaktiver Basis sei verwiesen auf die Berichte von A. RENAUD und H. OESCHGER (1969).

Die Bestimmung der *Schichtmächtigkeiten* bietet nach erfolgter Datierung keine Probleme. Eine örtliche Variation, die sicher anzutreffen ist, gleicht sich bestimmt im Laufe eines bis einiger Jahre aus. (Vorbehalten bleibt die Möglichkeit einer Dünenbildung, wie sie durch das West-Ost-Höhenprofil suggeriert wird).

*Dichtemessungen* dienen der Wasserwertbestimmung von Einzelschichten und Schichtkomplexen, aber auch unmittelbar der Abzählung von Jahresschichten auf Grund von saisonmässigen Dichteschwankungen.

Tabelle 7. *Uebersicht über die der Akkumulationsbestimmung dienenden Arbeiten an den Hauptstationen (ohne Pegelablesungen) EGIG. Campagne 1959 und Ueberwinterung 1959/60.*

Zahlen: Monat und Jahr des Arbeitsaufenthaltes.

	Camp III	K 3	Camp VI EGIG	Mil- cent	Cen- trale	Dépôt 275 (Crête)	Jarl-Joset		Dépôt 420
							Feld	Schacht Dumont und Labor	
Niederschlags- felder.....			5.59 5.59 8.60	6.59 8.59 8.60	6.59 8.59 8.60		7.59 bis 7.60		
Profilschächte	5.59 8.59	5.59	5.59 8.60	6.59 8.59 8.60	6.59 8.59 8.60	6.59 8.59	7.59 bis 7.60	2.-7.60	
Rammprofile..		5.59	5.59	6.59 8.59 8.60	6.59 8.59 8.60	6.59 8.59	7.59 bis 7.60	9.59	7.59
Kernbohrungen			5.59	6.59	6.59	6.59	7.59		7.59

(Wasserwertmessungen können auch primär anfallen und auf mittlere Dichtewerte umgerechnet werden). Aus den Dichteprofilen lassen sich im weiteren rheologische Schlüsse ziehen, von denen die Setzungsraten wiederum zur Korrektur von Pegelablesungen nützlich sind.

In den Zonen der Perkolation und partiellen Ablation ist die Bestimmung der Akkumulation erschwert, und zwar nicht nur durch die den Profilgrabungen und Bohrungen Widerstand leistenden Eislagen sondern grundsätzlich durch die Störung der Schichtfolgen, indem das Schmelzwasser absinkt und in tieferen Horizonten gefriert.

Tabelle 7 bietet einen Ueberblick über die auf dem EGIG-Profil Camp III – Dépôt 420 durchgeführten der Akkumulation dienlichen Beobachtungen, ohne Pegelablesungen. (Diese sind im Abschnitt 6.2. zusammengestellt).

## 6.2. Pegelablesungen

### 6.2.1. Durch die EGIG gesetzte Pegel

Die zur Hauptsache durch die Gruppe Lagemessung gesetzten EGIG-Pegel werden von W. HOFMANN (1964) näher beschrieben. Ergänzend sei hier angeführt, dass die Rohre mit 63 mm Durchmesser und 2 kg Laufmetergewicht, wenn luftgefüllt, ein Raumgewicht von ca.  $640 \text{ kgm}^{-3}$  besitzen. In ca. 30–40 m Firntiefe würde – hydrostatische Verhältnisse vorausgesetzt – das Gewicht durch den Auftrieb kompensiert. Die alle 2 m angebrachten Manchetten bringen bezüglich der Setzungskräfte nicht einfach überblickbare Verhältnisse, weshalb das erwähnte Eindringen des Pegelfusspunktes in tiefere Schichten nicht ohne weiteres in Rechnung gestellt werden kann.

Neben den Pegeln der Lagemessung, bezeichnet mit T, wurden durch die Gruppe Glaziologie mit R bezeichnete Pegel gesetzt. Ferner sind die Pegel der Deformationsvierecke mit D markiert. Auf jedem Pegелеlement ist neben dem Kennbuchstaben und der Laufnummer des Pegels, tiefer gesetzt die Nummer des 2 m – Elementes eingeprägt.

Dies gestattet, unabhängig von Verlängerungen die Lage des Fusspunktes zu erkennen. *Alle Ablesungen der EGIG-Pegel beziehen sich auf den Pegelfusspunkt (Tiefe des Fusspunktes unter der Oberfläche).*

Die in der Tabelle 8 wiedergegebene Zusammenstellung aller für Akkumulationsbetrachtungen interessanten EGIG-Pegel wurden in der Campagne 1959 teilweise durch die Gruppe Nivellement teilweise durch die Gruppe Glaziologie Inlandeis abgelesen. Im Sommer 1960 wie auch 1964 erfolgte die Ablesung und, wo nötig, die Verlängerung durch W. PFROMMER. Die laufenden Ablesungen während der Dauer der Überwinterung sind in den Tabellen 9–12 separat angeführt.

Tabelle 8. *Pegel EGIG West-Ostprofil*

Ablesungen: Firnhöhen über dem Pegelfusspunkt. Alle Längen in cm. Länge eines Elementes: 200 cm.

Pegel R: Glaziologische Pegel. Standort siehe Situationsplan Kapitel 5.

Pegel D: Deformationsvierecke. Standort siehe Situationsplan Kapitel 5.

Pegel T: Pegel der Lagemessung. Standort siehe W. HOFMANN EGIG Vol. 2. No. 4 (1964)

Bezeichnung	R <sub>1</sub>	T <sub>301</sub>	R <sub>2</sub>	R <sub>3</sub>	R <sub>4</sub>	R <sub>5</sub>	R <sub>6</sub>	R <sub>7</sub>	DN	DE	DS	DW
Standort	K 3	Camp VI EGIG										
Anzahl Elem. Länge 1959	4 804 <sup>1)</sup>	3 600	4 805 <sup>1)</sup>	2 400				4 804 <sup>1)</sup>	4 800			
<i>Ablesungen 1959</i>												
Gr. Glaziologie u. Nivellement . . . .	18.5. 221	31.5. 186	26.5 227					28.5. 214		7.5. 130		7.5. 127
Gr. Glaziologie	15.8. 132		13.8. 200	13.8. 159	13.8. (135)?	13.8. 169	13.8. 172	13.8. 206		13.8. 300 <sup>2)</sup>	14.8. 260 <sup>2)</sup>	
Verlängerung 1960 + Anzahl Elem. Totale Länge									+ 1 1000	+ 1 1000	+ 1 1000	+ 1 1000
<i>Ablesungen 1960</i> W. PFROMMER		26.6. 232							3.6. 365	2.6. 375	3.6. 335	2.6. 342
										1.7. 363		
			8.8. 225					9.8. 237	10.8. 333	10.8. 340	10.8. 295	10.8. 320
<i>Ablesungen 1964</i> W. PFROMMER		24.6. 409	24.6. 516					24.6. 493	23.6. 628	23.6. 622	23.6. 582	23.6. 660
Verlängerung 1964 + Anzahl Elem. Totale Länge		+ 2 1000	— 805					— 804	+ 1 1200	+ 1 1200	+ 1 1200	+ 1 1200

<sup>1)</sup> Differenz gegen volle Meterwerte: Spalt zwischen 1. und 2. Element zur Kabeldurchführung. Alle Ablesungen sind auf diese Skalenverschiebung korrigiert.

<sup>2)</sup> Pegel im August 1959 tiefer gesetzt. Keine gültigen Zuwachswerte.

(Fortsetzung)

Tabelle 8 (fortgesetzt)

Bezeichnung	T <sub>A0</sub>	T <sub>1</sub>	T <sub>2</sub>	T <sub>3</sub>	T <sub>4</sub>	T <sub>5</sub>	T <sub>6</sub>	T <sub>6/1</sub> <sup>3)</sup>	T <sub>7</sub>	T <sub>8</sub>	T <sub>9</sub>	T <sub>10</sub>
Standort	Camp VI				Carre-four							
Anz. Elemente Länge 1959	5 1000							4 800 (1960)	5 1000			
<i>Ablesungen 1959</i> Gr. Glaziologie	7.5. 290				31.5. 324	31.5. 340	31.5. 322		31.5. 327	1.6. 310	1.6. 327	1.6. 324
Gr. Nivellement	1.6. 302	2.6. 302	3.6. 308	4.6. 331	4.6. 322	5.6. 340	6.6. 323		7.6. 325	8.6. 306	9.6. 326	10.6. 337
Gr. Glaziologie	13.8. 276	12.8. 281	12.8. 282	12.8. 318	12.8. —	12.8. 342	12.8. 333	— —	— —	12.8. 320	12.8. 360	11.8. 349
<i>Ablesungen 1960</i> W. PFROMMER	2.6. 335	27.5. 349	27.5. 395	27.5. 393	27.5. 405	— —	4)		5)			
	1.7. 323	1.7. 349	1.7. 382	1.7. 395	1.7. 400	3.7. 419			3.7. 425	3.7. 420	3.7. 423	3.7. 437
	10.8. 297	10.8. 325	8.8. 360	8.8. 375	8.8. 386	7.8. 410		7.8. 207				
<i>Ablesungen 1964</i> W. PFROMMER	23.6. 555	23.6. 598	23.6. 796	23.6. 739	23.6. 851	22.6. 836	—	22.6. 629	22.6. 812	22.6. 843	22.6. 809	22.6. 870
Verlängerung 1964 + Anzahl Elem.	+ 1	+ 1	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2		+ 2	+ 2	+ 2	+ 2	+ 2
Totale Länge	1200	1200	1400	1400	1400	1400	—	1200	1400	1400	1400	1400

3) Ersatzpegel für T<sub>6</sub> ab 1960.  
4) Nicht aufgefunden.  
5) Kein Schmelzen August 1960.

(Fortsetzung)



Tabelle 8 (fortgesetzt)

Bezeichnung	T <sub>11</sub>	T <sub>11 a</sub>	T <sub>12</sub>	T <sub>13</sub>	T <sub>14</sub>	T <sub>A15</sub> <sup>6)</sup>	DN	DE	DS	DW	R <sub>8</sub>	R <sub>9</sub>
Standort						Milcent						
Anz. Elemente Länge 1959	5 1000	2 410	5 1000								4 805 <sup>1)</sup>	2 400
<i>Ablesungen 1959</i> Gr. Glaziologie	1.6. 317		1.6. 338	1.6. 310	1.6. 312	2.6. 335	2.6. 300	2.6. 300		2.6. 300	5.6. 200	2.6. 155
Gr. Nivellement	11.6. 316	12.6. 114	13.6. 340	16.6. 318	16.6. 324	17.6. 331		17.6. 301		17.6. 305	—	
Gr. Glaziologie	11.8. 317	11.8. 140	11.8. 351	11.8. 335	11.8. 340	10.8. 359	11.8. 330	11.8. 317	11.8. 326	11.8. 327	10.8. 229	10.8. 181
Verlängerung 1960 + Anzahl Elem. Totale Länge		+ 2 800										
<i>Ablesungen 1960</i> W. PFROMMER	5.7. 431	5.7. 225	5.7. 420	5.7. 427	5.7. 420	5.7. 443	5.7. 412	5.7. 409	5.7. 423	5.7. 429	5.8. 320	—
<i>Ablesungen 1964</i> W. PFROMMER	22.6. 836	22.6. 658	22.6. 861	21.6. 849	21.6. 826	21.6. 865	21.6. 840	21.6. 827	21.6. 855	21.6. 868	21.6. 755	—
Verlängerung 1964 + Anzahl Elem. Totale Länge	+ 2 1400	+ 2 1200	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1205	

<sup>6)</sup> Depot von Fässern 10–20 m ESE Pegel T<sub>A15</sub>.

Tabelle 8 (fortgesetzt)

Bezeichnung	R <sub>10</sub>	R <sub>11</sub>	R <sub>12</sub>	T <sub>16</sub>	T <sub>17</sub>	T <sub>18</sub>	T <sub>19</sub>	T <sub>20</sub>	T <sub>21</sub>	T <sub>22</sub>	T <sub>23</sub>	T <sub>24</sub>
Standort	Milcent											
Anz. Elemente Länge 1959	2 400			5 1000								
<i>Ablesungen 1959</i> Gr. Glaziologie	2.6. 160	2.6. 134	2.6. 146	6.6. 314	6.6. 300	6.6. 305	6.6. 305	6.6. 295	6.6. 305	7.6. 317	7.6. 300	7.6. —
Gr. Nivellement				18.6. 320	19.6. 299	20.6. 310	20.6. 310	21.6. 309	23.6. 305	24.6. 320	25.6. 302	26.6. 310
Gr. Glaziologie	10.8. 182	10.8. 153	10.8. 156	10.8. 337	10.8. 316	10.8. 320	10.8. 322	9.8. 320	9.8. 315	9.8. 337	9.8. 323	9.8. 316
<i>Ablesungen 1960</i> W. PFROMMER	—	—	—	6.7. 428	6.7. 404	7.7. 415	7.7. 416	7.7. 407	7.7. 399	7.7. 406	7.7. 403	7.7. 400
<i>Ablesungen 1964</i> W. PFROMMER	—	—	—	21.6. 837	21.6. 832	20.6. 835	20.6. 819	17.6. 781	17.6. 788	17.6. 790	17.6. 789	16.6. 768
Verlängerung 1964 + Anzahl Elem. Totale Länge	—	—	—	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400

(Fortsetzung)

Tabelle 8 (fortgesetzt)

Bezeichnung	T <sub>25</sub>	T <sub>26</sub>	T <sub>27</sub>	T <sub>28</sub>	T <sub>29</sub>	T <sub>30</sub>	T <sub>A31</sub>	DN	DE	DS	DW	R <sub>13</sub>
Standort	Station Centrale											
Anz. Elemente	5											5
Länge 1959	1000											1007
<i>Ablesungen 1959</i>							12.6.		12.6.	12.6.	12.6.	17.6.
Gr. Glaziologie	–	–	–	–	–	–	310	–	305	299	300	234
Gr. Nivellement	26.6. 310	27.6. 290	29.6. 298	29.6. 320	30.6. 298	1.7. 315	1.7. 317	– –	4.7. 302	– –	1.7. 300	– –
Gr. Glaziologie	9.8. 325	8.8. 306	8.8. 317	– –	8.8. 308	8.8. 323	8.8. 327	8.8. 326	8.8. 316	8.8. 304	8.8. 308	7.8. 252
<i>Ablesungen 1960</i>							9.7.	9.7.	9.7.	9.7.	9.7.	2.8.
W. PFROMMER (R. SCHNEIDER R13)	8.7. 412	8.7. 383	8.7. 390	8.7. 403	8.7. 380	8.7. 394	9.7. 404	9.7. 397	9.7. 384	9.7. 374	9.7. 390	322
<i>Ablesungen 1959</i>							14.6.	14.6.	14.6.	14.6.	14.6.	14.6.
W. PFROMMER	16.6. 770	16.6. 745	16.6. 745	16.6. 740	16.6. 716	16.6. 707	14.6. 723	14.6. 714	14.6. 695	14.6. 688	14.6. 701	14.6. 647
Verlängerung 1964 + Anzahl Elem.	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	+ 2 1400	– 1007
Totale Länge												

Tabelle 8 (fortgesetzt)

Bezeichnung	R <sub>14</sub>	R <sub>15</sub>	R <sub>16</sub>	R <sub>17</sub>	T <sub>32</sub>	T <sub>33</sub>	T <sub>34</sub>	T <sub>35</sub>	T <sub>36</sub>	T <sub>37</sub>	T <sub>38</sub>	T <sub>39</sub>
Standort	Station Centrale											
Anz. Elemente	2				5							
Länge 1959	400				1000							
<i>Ablesungen 1959</i>					20.6.	20.6.	20.6.	20.6.	20.6.	20.6.	21.6.	21.6.
Gr. Glaziologie	17.6. 175	17.6. 186	17.6. 185	17.6. 182	20.6. 328	20.6. 311	20.6. 320	20.6. 306	20.6. 310	20.6. 312	21.6. 305	21.6. 303
Gr. Nivellement	–	–	–	–	4.7. 325	6.7. 300	7.7. 316	8.7. 301	8.7. 310	10.7. 317	11.7. 312	11.7. 304
Gr. Glaziologie	7.8. 188	7.8. 195	7.8. 188	7.8. 185	7.8. 336	7.8. 319	7.8. 324	7.8. 313	7.8. 318	6.8. 328	6.8. 324	6.8. 313
<i>Ablesungen 1960</i>					10.7.	10.7.	10.7.	10.7.	10.7.	10.7.	10.7.	10.7.
W. PFROMMER	–	–	–	–	405	385	399	374	384	393	392	373
<i>Ablesungen 1964</i>					14.6.	14.6.	14.6.	14.6.	13.6.	13.6.	13.6.	13.6.
W. PFROMMER	–	–	–	–	719	683	682	662	664	678	668	649
Verlängerung 1964 + Anzahl Elem.					+ 2	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1
Totale Länge	–	–	–	–	1400	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200

(Fortsetzung)

Tabelle 8 (fortgesetzt)

Bezeichnung	T <sub>40</sub>	T <sub>41</sub>	T <sub>42</sub>	T <sub>43</sub>	R <sub>18</sub>	T <sub>44</sub>	T <sub>45</sub>	T <sub>46</sub>	T <sub>47</sub>	T <sub>48</sub>	T <sub>49</sub>	T <sub>50</sub>
Standort				Dépôt 275								
Anz. Elemente Länge 1959	5 1000				4 803 <sup>1)</sup>	5 1000						
<i>Ablesungen 1959</i>	21.6.	21.6.	21.6.	23.6.	—	23.6.	23.6.	23.6.	23.6.	23.6.	24.6.	24.6.
Gr. Glaziologie	312	312	312	311	—	300	300	312	295	300	310	313
Gr. Nivellement	13.7.	15.7.	15.7.	18.7.	—	19.7.	19.7.	20.7.	21.7.	23.7.	24.7.	25.7.
	312	311	306	310	—	305	300	313	300	305	307	308
Gr. Glaziologie	5.8.	5.8.	5.8.	4.8.	5.8.	4.8.	4.8.	4.8.	4.8.	4.8.	4.8.	3.8.
	325	320	313	335	185	315	311	319	307	310	314	310
<i>Ablesungen 1960</i>	11.7.	11.7.	11.7.	11.7.	30.7.	11.7.	11.7.	11.7.	12.7.	12.7.	12.7.	12.7.
W. PFROMMER (R. SCHNEIDER R18)	385	376	374	388	256	374	379	394	389	378	383	377
<i>Ablesungen 1964</i>	13.6.	13.6.	13.6.	12.6.	12.6.	12.6.	7.6.	7.6.	7.6.	7.6.	7.6.	8.6.
W. PFROMMER	634	632	626	643	510	613	601	609	601	585	585	569
Verlängerung 1964 + Anzahl Elem.	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	—	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1
Totale Länge	1200	1200	1200	1200	803	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200

Tabelle 8 (fortgesetzt)

Bezeichnung	T <sub>51</sub>	T <sub>52</sub>	T <sub>A53</sub>	DN <sup>7)</sup>	DE <sup>7)</sup>	DS <sup>7)</sup>	DW <sup>7)</sup>	M <sub>1</sub> <sup>7)</sup>	M <sub>2</sub> <sup>7)</sup>	AP <sub>1</sub> <sup>7)</sup>	AP <sub>2</sub> <sup>7)</sup>	T <sub>54</sub>
Standort			Station Jarl-Joset									
Anz. Elemente Länge 1959	5 1000								4 800			5 1000
<i>Ablesungen 1959</i>	24.6.	24.6.	14.7.	14.7.	14.7.	14.7.	14.7.			1.12.	1.12.	
Gr. Glaziologie	294	300	304	309	322	301	330			65	60	
Gr. Nivellement	26.7.	27.7.	29.7.									
	300	300	300									
Gr. Glaziologie	3.8.	—	15.9.	15.9.	15.9.	15.9.	15.9.					
	320	—	347	332	333	316	329					
<i>Ablesungen 1960</i>	12.7.	12.7.	15.7.	15.7.	15.7.	15.7.	15.7.	15.7.	15.7.	15.7.	15.7.	21.7.
(W. PFROMMER + F. BRANDENB.)	385 <sup>8)</sup>	390 <sup>8)</sup>	394	399	396	384	419	362	328	108	97	387
<i>Ablesungen 1964</i>	8.6.	8.6.	9.6.	10.6.	10.6.	10.6.	10.6.	10.6.	10.6.			9.6.
W. PFROMMER	584	572	589	587	588	594	626	534	532	—	—	573
Verlängerung 1964 + Anzahl Elem.	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 1	+ 2			+ 1
Totale Länge	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200	1200			1200

<sup>7)</sup> Vollständige Reihen siehe Tabellen 9, 10 und 11.

(Fortsetzung)

<sup>8)</sup> Pegel bei 4 m gebrochen; wieder ergänzt.

Tabelle 8 (fortgesetzt)

Bezeichnung	T <sub>55</sub>	T <sub>56</sub>	T <sub>57</sub>	T <sub>58</sub>	T <sub>59</sub>	T <sub>60</sub>	TA <sub>61</sub>	DN	DE	DS	DW	T <sub>62</sub>
Standort							Dépôt 420					
Anz. Elemente Länge 1959	5 1000											
Ablesung 1959 (G. GFELLER)							8.7. 305	8.7. 320		8.7. 300		
Bezeichnung	T <sub>63</sub>	T <sub>64</sub>	T <sub>65</sub>	T <sub>66</sub>	T <sub>67</sub>	T <sub>68</sub>	T <sub>69</sub>	T <sub>70</sub>	T <sub>71</sub>	CN		
Standort										Cecilia Nuna- tak		
Anzahl Elemente Länge 1959	5 1000											

Tabelle 9. Pegelstände (cm) Deformationsviereck Jarl-Joset 1959/60  
nach F. BRANDENBERGER

Datum .....	1959		1960												
	14.7.	15.9.	6.1.	11.2.	23.2.	11.3.	15.3.	1.4.	16.4.	1.5.	15.5.	2.6.	15.6.	1.7.	15.7.
Bezeich.															
TA 53 .....	304	347	389	395	395	397	396	395	400	397	398	392	393	395	394
DN .....	309	332	378	382	389	391	395	400	400	400	—	397	398	401	399
DE.....	322	333	370	381	382	387	394	393	397	397	398	388	393	397	396
DS .....	301	316	358	349	361	369	375	380	377	387	386	385	383	384	384
DW.....	330	329	388	—	—	—	—	—	—	—	—	408	420	419	419

Anmerkungen: Die gesamte Länge beträgt für alle 10 m.  
Während des Winters waren die oberen 3 Elemente (6 m) abmontiert, weshalb z. B. DW vom Januar–Juni 1960 unter der Schneeoberfläche lag und somit nicht gemessen werden konnte. Anfangs Juni 1960 wurden die Balisen fertig montiert.

Tabelle 10. *Schneehöhen am Akkumulationspegel AP 1 (Jarl-Joset)*  
(von F. BRANDENBERGER)

Jahr	Monat	Tag															
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	
1959	November.....	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	-
	Dezember.....	0.65	0.66	0.66	0.68	0.71	0.72	0.73	0.76	0.81	0.80	0.78	0.78	0.78	0.78	0.78	-
1960	Januar.....	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.80	0.81	0.81	0.82	0.81	0.82	0.82	0.84	0.83	0.83	-
	Februar.....	0.92	0.92	0.93	0.93	0.93	0.93	0.93	-	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	-
	März.....	0.89	0.89	0.90	0.90	0.92	0.92	0.93	0.97	0.97	0.99	0.98	0.98	0.98	0.98	0.98	-
	April.....	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.04	1.05	1.05	1.05	1.06	1.06	1.07	1.07	1.07	-
	Mai.....	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	1.13	-
	Juni.....	1.14	1.17	1.15	1.15	1.13	1.13	1.14	1.14	1.13	1.14	1.11	1.11	1.11	1.11	1.12	-
	Juli.....	1.11	1.10	1.11	1.10	1.10	1.09	1.09	1.09	1.09	1.08	1.08	1.07	1.08	1.08	1.08	-
		16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.
1959	November.....	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
	Dezember.....	0.78	0.78	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79	0.79
1960	Januar.....	0.82	0.82	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.86	0.89	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91
	Februar.....	0.89	0.89	0.89	0.89	0.94	0.90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	-	-
	März.....	1.00	0.98	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01	1.04	1.04	1.04	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05	1.05
	April.....	1.07	1.07	1.07	1.07	1.06	1.06	1.14	1.14	1.14	1.15	1.14	1.14	1.14	1.14	1.14	-
	Mai.....	1.12	1.12	1.11	1.12	1.11	1.11	1.11	1.11	1.11	1.12	1.13	1.14	1.15	1.15	1.15	1.14
	Juni.....	1.13	1.12	1.12	1.12	1.12	1.12	1.13	1.12	1.11	1.11	1.10	1.10	1.11	1.11	1.10	-
	Juli.....	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

*Anmerkung:* Die obigen Werte sind Mittel aus je einer Ablesung auf der N-, E-, S- und W- Seite der Pegel.  
Der Ausgangswert vom 17.11.59 ist willkürlich.

Tabelle 11. *Schneehöhen am Akkumulationspegel AP 2 (Jarl-Joset)*  
(VON F. BRANDENBERGER)

Jahr	Monat	Tag															
		1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	
1959	November.....	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	
	Dezember.....	0.60	0.61	0.61	0.61	0.65	0.67	0.68	0.71	0.75	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	
1960	Januar .....	0.75	0.75	0.75	0.79	0.79	0.79	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	
	Februar.....	0.83	0.83	0.84	0.84	0.84	0.84	0.89	—	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.83	
	März .....	0.82	0.81	0.82	0.82	0.82	0.82	0.83	0.83	0.83	0.84	0.85	0.84	0.85	0.84	0.84	
	April .....	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.90	0.89	0.89	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.91	0.91	
	Mai .....	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.91	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.91	0.92	0.91	0.91	
	Juni .....	0.91	0.94	0.91	0.90	0.90	0.89	0.91	0.91	0.90	0.96	0.95	0.96	0.95	0.95	0.96	
	Juli .....	0.99	0.99	0.99	0.98	0.98	0.98	0.97	0.97	0.96	0.96	0.95	0.95	0.96	0.96	0.97	
		16.	17.	18.	19.	20.	21.	22.	23.	24.	25.	26.	27.	28.	29.	30.	31.
1959	November.....	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
	Dezember.....	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.74	0.75	0.75	0.75
1960	Januar .....	0.80	0.80	0.80	0.80	0.79	0.80	0.79	0.80	0.80	0.80	0.84	0.82	0.83	0.83	0.83	0.83
	Februar.....	0.83	0.83	0.83	0.83	0.84	0.82	0.82	0.83	0.83	0.83	0.83	0.83	0.82	0.82	—	—
	März .....	0.85	0.85	0.88	0.87	0.88	0.88	0.88	0.90	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89	0.89
	April .....	0.92	0.94	0.93	0.93	0.92	0.92	0.91	0.91	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.91	—
	Mai .....	0.91	0.90	0.90	0.93	0.92	0.92	0.92	0.92	0.91	0.91	0.91	0.92	0.92	0.91	0.91	0.90
	Juni .....	0.97	0.97	0.98	0.97	0.98	0.98	0.99	1.01	1.01	1.00	1.00	0.99	0.99	0.99	0.99	—
	Juli .....	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Anmerkung: Die obigen Werte sind Mittel aus je einer Ablesung auf der N-, E-, S- und Westseite der Pegel.  
Der Ausgangswert vom 17.11.59 ist willkürlich.

Tabelle 12. *Abstiche Klinometerrohre Deformationskreis (Jarl-Joset)*  
(von F. BRANDENBERGER)

Jahr	Datum	Rohr No.																
		R 201	R 202	R 203	R 204	R 205	R 206	R 207	R 208	R 209	R 212	R 213	R 214	R 215	R 216	R 217	R 218	R 219
1959		m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m	m
	15. 7. ....	1.16	1.27	1.30	1.04	0.89	0.93	1.12	1.27	1.34	1.11	1.49	0.88	1.23	0.93	1.57	1.08	1.63
	2. 9. ....	1.06	1.22	1.05	0.82	0.83	0.82	0.95	1.19	1.20	0.90	1.42	0.76	1.17	0.81	1.47	0.96	1.60
	1.10. ....	0.93	1.06	0.98	0.76	0.66	0.65	0.78	1.12	1.15	0.67	1.26	0.65	1.09	0.62	1.32	0.82	1.42
	15.10. ....	0.76	0.98	0.85	0.57	0.50	0.55	0.65	0.87	0.98	0.63	1.10	0.44	1.00	0.49	1.16	0.68	1.25
	30.10. ....	0.73	0.92	0.75	0.50	0.42	0.42	0.60	0.78	0.94	0.57	1.03	0.40	0.93	0.42	1.05	0.54	1.11
	15.11. ....	0.56	0.94	0.64	0.56	0.31	0.39	0.47	0.73	0.89	0.53	1.01	0.32	0.94	0.46	1.01	0.58	1.11
	1.12. ....	0.56	0.84	0.65	0.47	0.31	0.37	0.47	0.66	0.87	0.47	0.96	0.28	0.88	0.38	0.95	0.54	1.05
	16.12. ....	0.48	0.78	0.64	0.42	0.29	0.24	0.48	0.66	0.81	0.37	0.87	0.19	0.75	0.19	0.91	0.40	0.96
	1. 1. ....	0.48	0.75	0.62	0.42	0.28	0.23	0.47	0.66	0.80	0.37	0.88	0.19	0.73	0.18	0.91	0.39	0.96
	15. 1. ....	0.42	0.69	0.51	0.39	0.27	0.21	0.41	0.55	0.75	0.33	0.78	0.17	0.61	0.13	0.82	0.35	0.92
	1.2. ....	0.38	0.66	0.44	0.34	0.26	0.20	0.33	0.54	0.58	0.32	0.75	0.13	0.56	0.12	0.76	0.33	0.90
	15. 2. ....	0.39	0.56	0.51	0.34	0.22	0.12	0.34	0.55	0.62	0.30	0.74	0.16	0.62	0.11	0.76	0.26	0.91
	1. 3. ....	0.39	0.57	0.51	0.34	0.21	0.10	0.34	0.53	0.62	0.30	0.74	0.17	0.62	0.11	0.75	0.26	0.90
	6. ....	0.31	0.56	0.50	0.32	0.19	0.10	0.32	0.54	0.61	0.30	0.73	0.13	0.59	0.11	0.66	0.26	0.87
1960	10. 3. ....	0.32	0.95	0.88	0.73	0.55	0.45	0.73	0.93	1.02	0.33	0.74	0.17	0.60	0.15	0.66	0.29	0.49
	15. 3. ....	0.23	0.91	0.81	0.64	0.49	0.42	0.63	0.85	0.95	0.28	0.69	0.05	0.59	0.05	0.65	0.23	0.46
													0.45		0.45		0.63	
	1. 4. ....	0.27	0.87	0.84	0.57	0.45	0.42	0.66	0.88	0.97	0.22	0.66	0.50	0.58	0.43	0.61	0.54	0.43
	15. 4. ....	0.24	0.88	0.83	0.58	0.42	0.42	0.64	0.86	0.94	0.23	0.67	0.49	0.59	0.45	0.63	0.56	0.40
	1. 5. ....	0.17	0.86	0.72	0.61	0.44	0.40	0.61	0.83	0.95	0.22	0.68	0.50	0.53	0.46	0.66	0.58	0.40
	15. 5. ....	0.17	0.85	0.70	0.60	0.44	0.40	0.62	0.82	0.95	0.22	0.67	0.49	0.53	0.46	0.64	0.57	0.38
	1. 6. ....	0.14	0.86	0.68	0.60	0.44	0.41	0.62	0.77	0.93	0.16	0.64	0.50	0.53	0.44	0.60	0.57	0.36
	15. 6. ....	0.14	0.87	0.73	0.53	0.30	0.38	0.64	0.85	0.96	0.21	0.68	0.46	0.56	0.37	0.63	0.55	0.42
	25./ .....	—	0.85	0.71	0.50	0.32	0.35	0.63	0.82	0.94	0.17	0.67	0.45	0.58	0.38	0.64	0.56	0.39
	26. 6. ....	—	0.49	0.40	0.55	0.38	0.40	0.29	0.44	0.19	0.56	1.11	0.50	1.02	0.42	1.08	0.59	1.21
	1. 7. ....	—	0.49	0.39	0.56	0.37	0.42	0.30	0.39	0.19	0.55	1.08	0.45	0.98	0.38	1.04	0.52	1.18
		0.20																
	15. 7. ....	0.18	0.5	0.40	0.57	0.39	0.44	0.33	0.41	0.20	0.56	1.08	0.45	0.97	0.39	1.05	0.54	1.20

*Anmerkung:* Die Rohre wurden verschiedentlich erhöht. Der Bezugspunkt für die Abstiche ist deshalb nicht einheitlich. Für die Berechnung der Schneehöhenzunahme können deshalb nur die Differenzen verwendet werden.

### 6.2.2. Von früheren Expeditionen (EPF 1950/51, SIPRE 1955) stammende Pegel

Von den durch die Expéditions Polaires Françaises gesetzten Pegeln sind im Sommer 1955 durch die Expedition „Jello“ (BENSON, SIPRE) 14 gefunden und auf Längen von 4–5,5 m über die Schneeoberfläche verlängert worden (C. S. BENSON, 1962). Davon sind 1959 vier gesichtet worden, 1960 fand W. PFROMMER 2 weitere, verlor aber einen von den bisherigen, sodass aus der EPF-Serie noch 5 bis 1960 verfolgt werden konnten. Von BENSON sind zwei weitere sicher identifizierte Elemente vorhanden: Der Turm der Station Centrale und ein Pegel bei Milcent. In der Ablationszone – weder von BENSON noch von PFROMMER aufgesucht – war 1959 ein EPF-Pegel bei K 3 sichtbar, und an der Station Centrale wurden im selben Jahr drei Pegel festgestellt, von denen zwei vermutlich über BENSON auf die EPF zurückgehen und einer wahrscheinlich durch die amerikanische „Hiran“ Gruppe (1957) gesetzt wurde.

Bei Camp VI EGIG wurden im Mai 1959 eine Anzahl herausragender Rohre festgestellt, die sich als Markierungsstangen für die von der Expedition Jello (SIPRE) im August 1955 zurückgelassenen Weasel herausstellten. Sie sind im Abschnitt (Stratigraphie) näher vermerkt.

Die Ablesungen der „Fremdpegel“ durch Gruppen der EGIG 1959, 60 und 64 sind in Tabelle 13 angeführt.

### 6.2.3. Akkumulationswerte auf Grund von Pegelablesungen

In Tabelle 14 sind auf eine Jahresspanne von 5 vollen Jahren extrapolierte bzw. reduzierte Differenzen von Pegelständen der Jahre 1959 und 64 aufgezeichnet. Das Messjahr beginnt mit dem angegebenen Stichdatum. Die korrespondierende Abschlussmessung ist maximal 1,5 Monate gegen den Jahresabschluss verschoben. Die Zuwachswerte sind nach dem im Abschnitt 6.5.2.e behandelten Verfahren auf Setzung korrigiert. Der Pegelfusspunkt wurde dabei als schichttreu angenommen. Mit den für die betreffende Region gemessenen oder geschätzten Dichten sind die Differenzen in Wasserwerte umgerechnet worden. (Vergleich mit Akkumulationen aus Firnprofilen siehe Abb. 32 Abschn. 6.5.1).

Interessanterweise ergeben die alten, tiefen Pegel nicht wesentlich andere Akkumulationsraten als die sicher korrekteren jungen Pegel.

Eine Zusammenstellung laufender Schneezuwachswerte für die Station Jarl-Joset vom 15. Juli 1959 bis 15. Juli 1960 auf Grund aller verfügbaren Pegelablesungen der Station Jarl-Joset hat F. BRANDENBERGER gemacht. Sie ist in den Tabellen 15 und 16 wiedergegeben.



*Tabelle 15* enthält für Jarl-Joset die gewogenen Mittel für verschiedene Daten, an denen die Schneehöhen an verschiedenen Pegeln abgelesen wurden. Als Gewicht der einzelnen Mittelwerte wurde die Anzahl der Pegel einer gegebenen Art eingeführt.

In *Tabelle 16* sind Zwischenablesungen an den Akkumulationspegeln von DUMONT (1. und 15.8.1959) bzw. an den Akkumulationspegeln AP 1 und AP 2 der EGIG (ab Mitte November 1959) in die gerechneten Mittel der *Tabelle 15* eingepasst worden.

Abb. 8 zeigt das Schneehöhendiagramm ab 15.7.1959 (gemäss *Tabelle 15*). Die in Abschn. 6.3. beschriebenen unabhängig durchgeführten Akkumulationsmessungen fügen sich gut in dieses Diagramm ein.

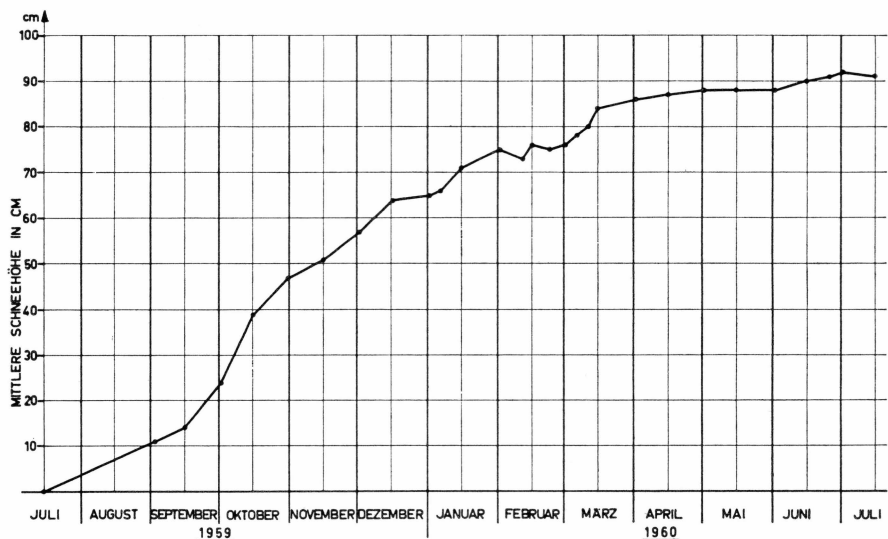


Abb. 8. Schneehöhenzuwachs an der Station Jarl-Joset 1959/60. (ab 15.7.1959)  
(F. BRANDENBERGER).

Tabelle 13. *Pegel und Anlagen früherer Expeditionen* [EPF, SIPRE]  
(soweit noch aufgefunden 1959/60).

(G) Beobachtungen Gr. Glaziologie.

(L) – Gr. Lagemessung.

(N) – Gr. Nivellement.

(P) – und Angaben von W. PFROMMER.

Ablesungen h: Vertikale Höhen der Pegelspitzen über Schneeoberfläche in cm.

$\delta$ : Neigung (°). Oberste Zahl jeder Gruppe: Datum.

Bezeichnung		M 100	–	M 149	M 151	M 154	M 160	
EPF 1950.....		5–140 N	5–140 S	5–91	5–89	5–86	5–80	
SIPRE 1955 .....		T 15/1	T 15/2	T 22/1	T 22/2	T 23/1	T 24/1	
EGIG 1959/60 .....								
Standort .....	K 3	Milcent	Milcent					
Position (Jahr) .....		1959 (L)	1960 (P)	1960 (P)	1960 (P)	1960 (P)	1959 (L)	
Breite .....		70 18,1	70 18,0	70 35,6	70 36,4	70 37,5	70 39,5	
Länge .....		44 34,5	44 34,5	42 41,1	42 36,8	42 29,7	40 37,3	
h SIPRE 1955.....		August	August	August	August	August	August	
nach Verlängerung ..		411 (P)	616 (P)	534 (P)	531 (P)	506 (P)	554 (P)	
h EGIG 1959 .....	13.5.	4.6.	4.6.				7.6.	
vor Verlängerung ...	70 (N)	29 (G)	201				208 (G)	
nach Verlängerung ..	433 (G)	–	–				408	
	$\delta 18,9^\circ W$	$\delta 15,6^\circ$	$\delta 2,7^\circ$					
		10.8.	10.8.					
		12	177 (G)					
		–	–					
h EGIG 1960 .....		5.7.	5.7.	7.7.	7.7.	7.7.		
vor Verlängerung ...	– 60	96	90	81	81	75		
nach Verlängerung ..		540 (P)	696 (P)	490 (P)	481 (P)	475 (P)		
h EGIG 1964 .....		13.6.	13.6.	13.6.	13.6.	13.6.	13.6.	
vor Verlängerung ...	72	287	135	120	120	119	383	
nach Verlängerung ..		472 (P)	687 (P)	535 (P)	520 (P)	519 (P)	583 (P)	

Bezeichnung	Turm Benson (Stahlrahmen) Gesamthöhe ab Fusspunkt: 907 cm	Pegel (Elemente 366 m) vermutlich Hiran	Pegel (ev. 5–40 <sub>1</sub> SIPRE) ca. 300 m E Turm	Pegel (ev. 5–40 <sub>2</sub> SIPRE) Abstand 196 cm von 5–40 <sub>1</sub>
Standort	Station Centrale	Station Centrale	Station Centrale	Station Centrale
h SIPRE 1955	August 608		August 376	August 371
h EGIG 1959	12.5. 324 (GUILLARD) Verlängerung durch Pegel an einer Ecke um 848 cm h 12.6. total: 1148	11.5. 783,5 (GUILLARD)	18.6. 60 (BRANDENBERGER)	18.6. 36 (BRANDENBERGER)

Tabelle 14. Zuwachswerte nach Ablesungen der EGIG-Pegel  
1959 und 1964.

- $D_1$  Basisdatum (1959).  
 $D_2$  Ablesedatum (1964).  
 $\Delta Z_5$  Zuwachs in cm Firn interpoliert auf 5 volle Jahre ab Basisdatum, ohne Setzungskorrektur.  
 $\delta$  Setzungskorrektur in ‰ der zur Zeit  $D_1$  bestehenden Tiefe des Pegelfusspunktes und in cm. (Siehe Ziff. 6.5.2 e).  
 $\Delta H_5$  Zuwachswerte  $\Delta Z_5$  mit Setzungskorrektur.  
 $\Delta H_w$  Zuwachserte in cm Wasser, berechnet aus  $\Delta H_5$  nach Dichtekurven von Milcent, Sta. Centrale und Jarl-Joset.  
 $\Delta \bar{h}_w$  Mittlerer jährlicher Zuwachs an Wasserwert (1959–64) in cm.  
(Die Werte  $\delta$ ,  $\Delta H_5$ ,  $\Delta H_w$  und  $\Delta \bar{h}_w$  können nur ab Milcent nach Osten gegeben werden).

Pegel	$D_1$ 1959	$D_2$ 1964	$\Delta Z_5$ cm	Pegel	$D_1$ 1959	$D_2$ 1964	$\Delta Z_5$ cm
T 301	31.5.	24.6.	220	T 5	5.6.	22.6.	491
R 2	26.5.		284	T 6	7.8. <sup>1)</sup>	22.6.	433 <sup>1)</sup>
R 7	28.5.		274	T 7	7.6.	22.6.	483
TA 0	1.6.	23.6.	250	T 8	8.6.	22.6.	534
DE	13.8.		331	T 9	9.6.	22.6.	480
DS	14.8.		332	T 10	10.6.	22.6.	530
Mittel Camp VI EGIG			292	T 11	11.6.	22.6.	517
T 1	2.6.	23.6.	292	T 11a	12.6.	22.6.	541
T 2	3.6.		473	T 12	13.6.	22.6.	519
T 3	4.6.		404	T 13	16.6.	21.6.	530
T 4	4.6.		524	T 14	16.6.	21.6.	500

<sup>1)</sup>  $D_1$ : 7.8.1960:  $\Delta Z$  Zuwachs von 4 Jahren.

Pegel	$D_1$ 1959	$D_2$ 1964	$\Delta Z_5$ cm	$+\delta$ ‰ cm		$\Delta H_5$	$\Delta H_w$	$\Delta \bar{h}_w$
TA 15	17.6.	21.6.	532	23	76	608	266	53,2
DN	11.8.		525	23	76	591	258	51,5
DE	17.7.		525	23	69	594	260	52,0
DW	17.6.		561	23	70	631	278	55,5
R 8	5.6.		550	23	46	596	261	52,1
(R 8	10.8.		541	23	53	594	258	51,5)
Mittel Milcent								52,8
T 16	18.6.	21.6.	517	23	73	590	257	51,4
T 17	19.6.		533	22	66	599	262	52,4
T 18	20.6.	20.6.	525	22	68	593	259	51,7
T 19	20.6.		509	22	68	577	251	50,1
T 20	21.6.	17.6.	474	21	65	539	231	46,2
T 21	23.6.		485	21	64	549	236	47,2

(Fortsetzung)

Tabelle 14 (fortgesetzt).

[illegible]

Tabelle 15. (Station Jarl-Joset). *Mittelbildung aus verschiedenen Schneehöhenablesungen* (F. BRANDENBERGER)

1 = Mittel Deformationskreis.

2 = Mittel Deformationsviereck.

3 = Mittel Akkumulationsbalisen Dumont.

4 = Mittel Akkumulationspegel EGIG AP 1 und 2 bei der Station.

z = Ablesung (reduziert auf 15.7.1959 unter Berücksichtigung der Pegelsetzung) in cm.

p = Gewicht für Mittelbildung = Anzahl Messungen.

Datum	1		2		3		4		Mittel	
	z	p	z	p	z	p	z	p	z	p
15. 7.59....	0	17	0	5	0	5			0	
2. 9.59....	12	17			7	4			11	21
15. 9.59....			19	5	9	4			14	9
1.10.59....	26	17			7	2			24	19
15.10.59....	40	17			24	1			39	18
30.10.59....	48	17								
31.10.59....					36	1			} 47	18
15.11.59....	52	17			35	1	(51)			18
1.12.59....	57	17					53		57	19
16.12.59....	64	17					66	2	64	19
1. 1.60....	65	17					67	2	65	19
6. 1.60....			65	5			69	2	66	7
15. 1.60....	71	17					71	2	71	19
1. 2.60....	75	17					77	2	75	19
11. 2.60....			72	4			75	2	73	6
15. 2.60....	76	17					76	2	76	19
23. 2.60....			74	4			76	2	75	6
1. 3.60....	76	17					75	2	76	19
6. 3.60....	78	17					77	2	78	19
11. 3.60....			79	4			81	2	80	6
15. 3.60....	85	17	83	4			81	2	84	23
1. 4.60....	86	17	85	4			87	2	86	23
15. 4.60....	86	17					89	2		
16. 4.60....			87	4			89	2	} 87	25
1. 5.60....	88	17	88	4			92	2		23
15. 5.60....	88	17	87	3			92	2	88	22
1. 6.60....	90	17					93	2		
2. 6.60....			83	5			95	2	} 88	26
15. 6.60....	90	17	87	5			94	2		24
25. 6.60....	90	17					95	2	91	19
1. 7.60....	93	17	89	5			95	2	92	24
15. 7.60....	91	17	88	5			93	2	91	24

Tabelle 16. (Station Jarl-Joset). *Mittlere Schneehöhen (cm)*  
 15.7.1959–15.7.1960. (F. BRANDENBERGER)

Tag	Juli	Aug.	Sept.	Okt.	Nov.	Dez.	Jan.	Febr.	März	April	Mai	Juni	Juli
1.		5		<b>24</b>		<b>57</b>	<b>65</b>	<b>75</b>	<b>76</b>	<b>86</b>	<b>88</b>	} <b>88</b>	<b>92</b>
2.			<b>11</b>			57	65	75	76	86	88		92
3.						56	65	77	77	86	88	87	92
4.						58	66	77	77	86	88	87	91
5.						60	66	77	78	86	88	85	91
6.						61	<b>66</b>	77	<b>78</b>	86	88	86	90
7.						63	68	79	79	86	87	88	90
8.						64	69	–	80	86	87	88	90
9.						69	69	73	80	85	87	86	91
10.						67	69	73	80	85	87	90	90
11.						66	70	<b>73</b>	<b>80</b>	86	87	88	89
12.						66	70	74	81	86	88	89	89
13.						65	71	75	82	87	89	89	90
14.						65	71	76	83	87	88	89	90
15.	<b>0</b>	5	<b>14</b>	<b>39</b>	<b>51</b>	64	<b>71</b>	<b>76</b>	<b>84</b>	} <b>87</b>	<b>88</b>	<b>90</b>	<b>91</b>
16.					51	<b>64</b>	71	76	86		87	91	
17.					51	64	71	76	84	89	87	91	
18.					52	65	71	76	87	88	87	91	
19.					52	65	71	76	86	88	87	91	
20.					52	65	70	78	87	86	86	91	
21.					53	65	70	75	87	86	86	91	
22.					53	65	70	74	86	90	86	92	
23.					53	65	70	<b>75</b>	88	90	86	93	
24.					53	65	70	75	88	90	86	92	
25.					53	65	72	76	88	90	86	<b>91</b>	
26.					54	65	76	76	87	90	87	91	
27.					54	65	75	76	87	90	88	91	
28.					54	65	75	75	87	89	87	91	
29.					56	65	75	76	87	89	87	92	
30.				} <b>47</b>	56	65	75		86	89	87	92	
31.						65	75		86		86		

### 6.3. Niederschlagsfelder

Niederschlagsfelder mit markierten Schichthorizonten wurden bei den Stationen Camp VI, Milcent, Centrale und Jarl-Joset angelegt. Sie befinden sich ausserhalb des Verkehrsbereiches der betr. Stationen (Lage siehe Kapitel 5) und waren gekennzeichnet durch R-Pegel von 4 m Länge (heute überdeckt).

Die Markierung der Horizonte erfolgte durch Drahtnetze von 1 cm Maschenweite und 30 × 100 cm Abmessung (galvanisierter Eisendraht 1 mm stark). Sie gestatteten – im Gegensatz zu vollen Brettern – eine ungestörte Luftzirkulation im Schnee, und es wurde angenommen, dass

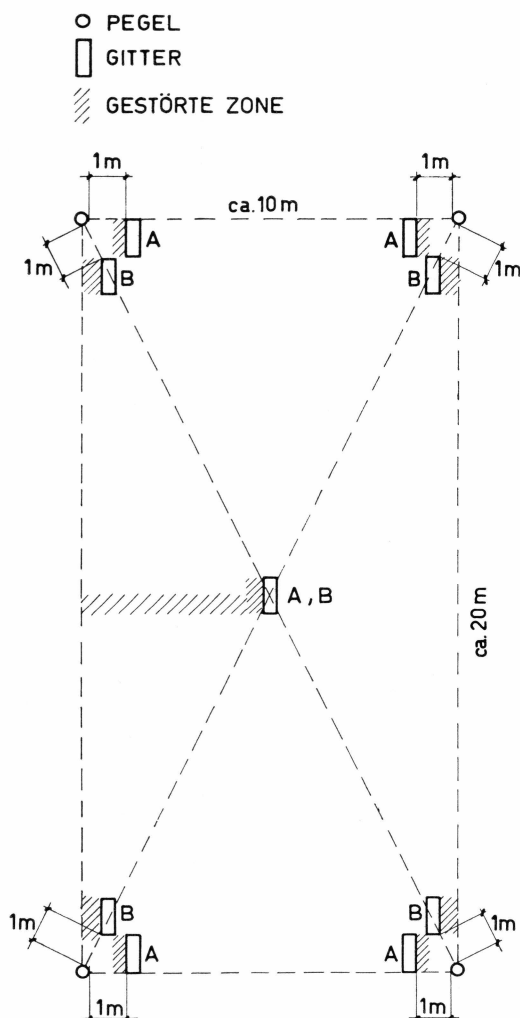


Abb. 9. Anlage der Niederschlagsfelder bei Camp VI, Milcent und Station Centrale.

sie keinen Einfluss auf denselben ausübten. Leider traf dies, wie sich später herausstellte, an einem Standort nicht zu.

Der Einbau erfolgte in der Regel durch Ausstechen einer Hilfsgrube und seitliches Einschieben der Netze in einen mit einer Handsäge angebrachten horizontalen Schlitz bis zur gewünschten Position in 15–60 cm Tiefe unter der Schneeoberfläche. Nach dem Schliessen des Hilfsschachtes, wenn möglich durch ungestörte Schneeböcke und Auebnen der Oberfläche, wurde die Tiefe der Netze durch je 3 Abstiche festgestellt.

Zur Ermittlung des Wasserwertes wurden entweder lotrechte Sondenproben in unmittelbarer Nähe oder Wasserwerte der obersten Schichten aus den normalen Profilschächten beigegeben.

Bei Camp VI, Milcent und Station Centrale wurden je 5 Netze gemäss Abb. 9 in den Ecken und in der Diagonalen eines durch 4 Pegel markierten Feldes eingesetzt, entweder in Position A oder B. Bei Jarl-Joset bestand die Anordnung in drei Linien à je 5 Netzen (Abb. 11).

Die Markierungspegel sind topographisch an das Pegelsystem der genannten Stationen angeschlossen worden (siehe Kapitel 5).

### 6. 3.1. Camp VI

Lage des Feldes gemäss Abb. 3 Markierungspegel: R 3, R 4, R 5, R 6 Position der Gitter bezüglich der Pegel: Abb. 9 Pos. A.

Abmessungen des Feldes:   Seiten R 3–R 4   1740 cm  
                                       R 4–R 5   1000 cm  
                                       R 6–R 3   840 cm  
                   Diagonalen R 3–R 5   1850 cm  
                                       R 4–R 6   1940 cm

#### *Abstiche der Gitter*

Datum	G 3		G 4		G 5		G 6		GM	
	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>
28.5.1959 <sup>1)</sup> .....	15	6,1	15	6,1	15	6,1	15	6,1	66	24,6
15.8.1959 .....	45	21,9	46	22,4	45	21,9	45	21,9	48	22,5
8.8.1960 <sup>2)</sup> .....	85	(43,0)	85	(40,0)	83	(40,4)	80	(39,8)	89	(42,4)

*G 3–G 6*   Gitter bei Pegeln  $R_3$ – $R_6$

*GM*       Gitter in der Mitte

*Z*         Abstichtiefe (cm)

*H<sub>w</sub>*       Wasserwert über Gitter (cm H<sub>2</sub>O)

<sup>1)</sup>         Bestimmung von  $H_w$  aufgrund Dichteprofil im Profilschacht

<sup>2)</sup>         Messungen R. SCHNEIDER

#### *Diskussion*

Die im August 1959 angetroffene Situation liess erkennen, dass die Temperaturverhältnisse von Camp VI eine genaue Auswertung der Beobachtungen nicht gestatten. Wegen starker Eisbildung war ein Abstich von oben auf die Gitter nicht möglich. Die Gitter G 5 und GM wurden also ausgegraben (seitlich angeschnitten, aber im Eis belassen).

Gitter G 5, im Frühling 15 cm tief gesetzt, lag 45 cm unter der Oberfläche auf einer neugebildeten Eisbank von 18 cm. Darüber war der Firn durch das Gitter auf eine Tiefe von 22 cm wie "Pommes-frites" in Stengel geschnitten (Photo 6). Mindestens um diese Strecke war das Gitter also





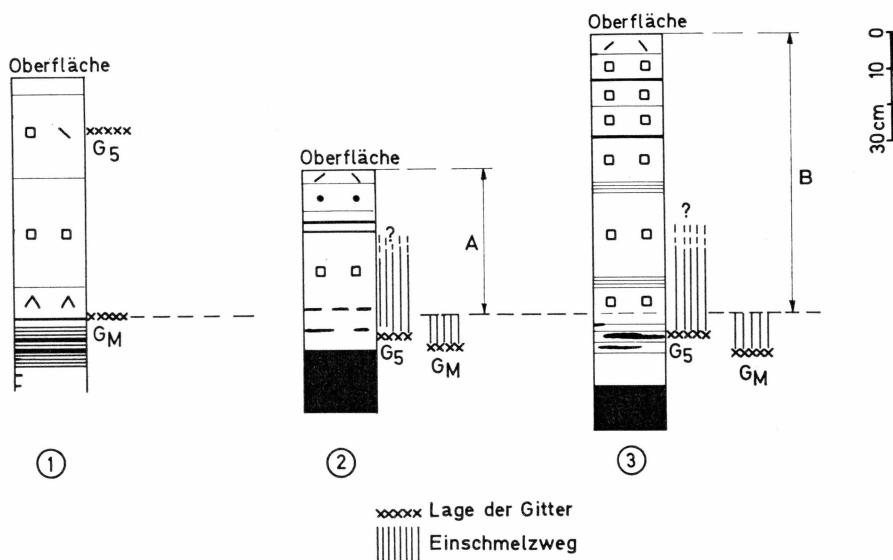
Photo 6. Abgesunkenes Akkumulationsgitter bei R 5 im Niederschlagsfeld von Camp VI EGIG (15.8.1959). Eis durch das Gitter in Stengel geschnitten (GFELLER 530/6).

unter Strahlungswirkung eingesunken. Einiges Schmelzwasser hatte aber den Gitterhorizont passiert und die darunter liegende schon im Mai bei 66 cm vorhandene Eislage verstärkt. Auch das zentrale Gitter war eingesunken (Stengelbildung) und zwar mindestens 9 cm und lag auf der 18 cm Eisbank.

Im August 1960 fand SCHNEIDER alle Gitter zwischen 80 und 90 cm tief, diesmal in 5–19 cm Eis eingebettet. Vermutlich sind die Gitter im Sommer 1960 noch etwas weiter eingeschmolzen, vor allem wird aber Schmelzwasser in dieses Niveau abgesickert sein und die Eisüberdeckung verstärkt haben.

Der Versuch einer Rekonstruktion der Entwicklung ist in Abb. 10 dargestellt.

Mit den Gittern  $G_3$ – $G_6$  kann lediglich bestätigt werden, dass der Gitterhorizont von ca. 45 cm Tiefe (August 1959) im August 1960 einigermaßen erhalten blieb.



- ① Nach Einbau 30.5.1959 Bezugsniveau: Soll-Lage des Gitters  $G_M$ .  
 ② 1. Kontrollmessung 15.8.1959  
 ③ 2. Kontrollmessung 9.8.1960

Abb. 10. Lage der Akkumulationsgitter von Camp VI Juni 1959, August 1959, Juli 1960.

Gitter  $G_M$  lässt sich für alle 3 Messdaten einstufen. Für eine Abschätzung der Akkumulation fällt aber die Frühlingsmessung ausser Betracht, da Schmelzwasser unter das Gitterniveau abgesunken ist. Lässt man für den vollen Jahreszyklus das Sorge-Gesetz gelten (identisches Dichteprofil zu gleichen Jahreszeiten) kann der Zuwachs August 1959–August 1960 als Differenz  $B-A$  angegeben werden. Die Abschätzung ergibt als Wasserwert  $B = 34,1$  cm (gemessen von R. SCHNEIDER)  $A = 19,2$  cm (Wasserwertmessung durch den Autor).  $B-A = 14,9$  cm. Diese Zahl wäre noch um allfällig unter den Gitterhorizont abgesickertes Schmelzwasser zu erhöhen.

### 6.3.2. Milcent

Lage des Feldes gemäss Abb. 4.

Markierungspegel  $R_9, R_{10}, R_{11}, R_{12}$

Position der Gitter bezüglich Markierungspegel: Abb. 9 Poss. B.

Abmessungen des Feldes:

Seiten	$R_9 - R_{10}$	1000 cm
	$R_{10} - R_{11}$	2000 cm
	$R_{11} - R_{12}$	1000 cm
	$R_{12} - R_9$	2000 cm
Diagonalen	$R_9 - R_{11}$	2240 cm
	$R_{10} - R_{12}$	

*Abstiche der Gitter*

	G <sub>9</sub>		G <sub>10</sub>		G <sub>11</sub>		G <sub>12</sub>		G <sub>M</sub>	
	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>
3.6.1959 ...	19,6	6,1	17,7	5,5	18,2	5,6	20,2	6,3	25,5	7,9
10.8.1959 <sup>1)</sup> ..	49,1	15,0	47,5	14,5	50,0	15,3	46,8	14,3	58	17,7
5.8.1960 <sup>2)</sup> ..	139	53,0	138,5	52,8	137,5	52,5	138,5	52,8	148	56,4

<sup>1)</sup> H<sub>w</sub> nach Dichteprofil A. ROCH.

<sup>2)</sup> Messungen R. SCHNEIDER.

*Diskussion*

Für das Jahr August 1959–August 1960 ergeben sich folgende Akkumulationswerte:

$\Delta Z$  89,9 91,0 87,5 91,7 90,0 Mittel **90,0 cm**

$\Delta H_w$  38,0 38,3 37,2 38,5 38,7 Mittel **38,1 cm H<sub>2</sub>O**

Da die Genauigkeit der Höhenbestimmungen ca.  $\pm 0,5$  cm beträgt, ist die Genauigkeit von  $\Delta Z$  ca.  $\pm 1$  cm, diejenige des Wasserwertes  $\Delta H_w$  dagegen wegen der Streuung in den Dichtemessungen ca.  $\pm 2$  cm H<sub>2</sub>O.

**6.3.3. Station Centrale**

Lage des Feldes gemäss Abb. 5.

Markierungspegel  $R_{14}$   $R_{15}$   $R_{16}$   $R_{17}$ . Anstelle von Gittern sind *Bretter* von gleicher Grösse eingesetzt.

Position der Bretter bezüglich Markierungspegel: Abb. 9 Pos. B.

Abmessungen des Feldes:

Seiten $R_{14}$ – $R_{15}$	1000 cm
$R_{15}$ – $R_{16}$	2150 cm
$R_{16}$ – $R_{17}$	1000 cm
$R_{17}$ – $R_{14}$	1970 cm
Diagonalen $R_{14}$ – $R_{16}$	2350 cm
$R_{15}$ – $R_{17}$	2200 cm

*Abstiche der Gitter*

	G <sub>14</sub>		G <sub>15</sub>		G <sub>16</sub>		G <sub>17</sub>		G <sub>M</sub>	
	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>
17.6.59 <sup>1)</sup> ) ...	30	10,0	30	10,0	30	10,0	30	10,0	30	10,0
7.8.59 <sup>2)</sup> ) ....	38	11,8	37,3	11,6	35	10,8	30,3	9,1	38,3	12,0
2.8.60 <sup>3)</sup> ) ....	126,5	46,3	123,0	44,9	119	43,3	123,5	45,1	125,0	45,7

<sup>1)</sup> Angabe von A. RENAUD, keine Abstiche.

<sup>2)</sup> Wasserwert nach Profil A. ROCH.

<sup>3)</sup> Messungen R. SCHNEIDER.

*Diskussion*

Da die Ausgangslage nicht genau festgestellt wurde, ist nur eine Beurteilung der späteren Ablesungen möglich.

Der Zuwachs August 1959–August 1960 beträgt:

$\Delta Z$  88,5 85,7 84,0 93,2 86,7 Mittel 87,6 cm

$\Delta H_w$  34,5 33,3 32,5 36,0 33,7 Mittel 34,0 cm  $H_2O$

Man beachte, dass die Differenz von unkorrigierten Pegelablesungen durchwegs kleinere Werte ergibt. Für einen ca. 3 m tief gesetzten Pegel errechnet sich aus der Dichtekurve (siehe Abschn. 6.5.2) für Station Centrale ein Setzungszuschlag von ca. 15 cm. Damit schliessen die Pegelablesungen zur direkt bestimmten Akkumulation auf.

**6.3.4. Jarl — Joset**

Das gemäss Abb. 7 und 11 angelegte Niederschlagsfeld wurde am 1.7.1959 durch den Verfasser ausgelegt, am 3.7. durch A. RENAUD erstmals abgestochen und während der Ueberwinterung durch R. SCHNEIDER unter Kontrolle gehalten.

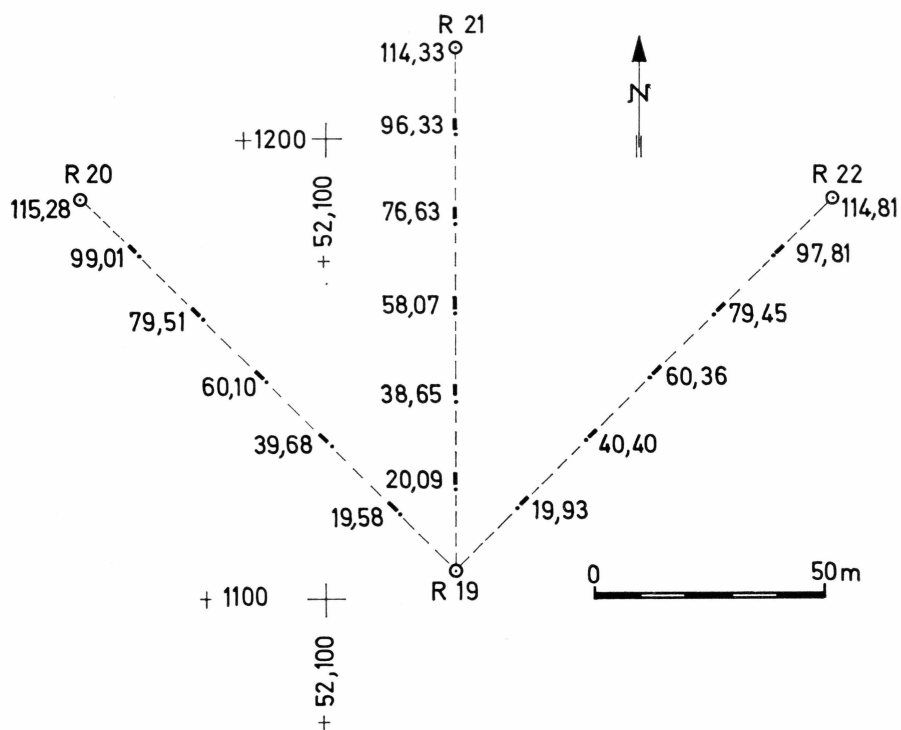
Der Einbau der 15 Gitter auf den drei Linien erfolgte in der beschriebenen Art (seitliches Einschieben aus einer Hilfsgrube) in 15 cm Tiefe. Die Endpunkte sind durch die Pegel  $R$  19– $R$  21 markiert, die Lage jedes Gitters durch einen Bambus mit Wimpel.

Ueber die umfangreichen Beobachtungen während der Ueberwinterung lassen wir R. SCHNEIDER berichten ohne Wiederholung bereits gegebener Hinweise.

„*Mesures d'accumulation à Jarl-Joset* (1959–60)

(par RENÉ SCHNEIDER, Rapport 15 juillet 1962)

Le but essentiel de ces grillages était de nous permettre de déterminer avec une bonne précision l'accumulation de juillet 1959 à juillet 1960. Les observations intermédiaires nous fournissent les accumulations pour d'autres intervalles de temps, mais qui sont moins intéressants, les dates des relevés ne correspondant pas nécessairement à des saisons bien définies. Les grillages n'avaient été relevés que 7 fois, car les travaux de détermination de valeur d'eau sont assez longs puisqu'il fallait faire 6 profils pour avoir une bonne moyenne. A partir d'une hauteur de neige de 70 cm, ce travail ne pouvait plus être effectué en une seule journée par un seul homme; il fallait donc avoir un aide, de sorte que le nombre des observations avait été réduit à un minimum de 5 pour les profils de valeur d'eau. Les profondeurs des grillages voir tableau 16.



+ : Koordinatenpunkte .

○ : Pegel R 19, 20, 21, 22 .

- : Gitter (nicht maßstäblich) .

. : Bambus 1m von Gitter entfernt .

Zahlen bei Gitter : Distanz Gitterrand von Pegel R 19 in m.

Abb. 11. Niederschlagsfeld bei Station Jarl-Joset. (Lage siehe Abb. 7).

Tableau 16. Profondeurs des grillages

Date	No. Grill	Ligne Nord-Ouest cm			Moy.	Ligne Nord cm			Moy.	Ligne Nord-Est cm			Moy.
03.07.59	1	16,0	16,2	18,0	16,7	16,0	17,2	15,3	16,2	14,0	16,4	18,2	16,2
	2	14,5	14,4	14,0	14,3	17,0	18,0	18,5	17,8	14,2	15,5	15,0	14,9
	3	15,5	15,0	16,0	15,5	15,5	15,9	15,2	15,5	14,7	14,7	15,0	14,8
	4	15,7	16,5	16,1	16,1	20,0	21,9	19,0	20,3	14,1	13,2	13,4	13,5
	5	15,2	15,0	14,4	14,9	15,0	14,1	13,2	14,1	15,0	15,6	14,2	14,9
15.07.59	1	16,3	16,5	18,3	17,0	17,3	18,0	16,2	17,2	15,5	18,2	17,1	16,9
	2	16,6	16,3	$\left\{ \begin{smallmatrix} 16,7 \\ 17,6 \end{smallmatrix} \right.$	16,8	17,1	20,0	$\left\{ \begin{smallmatrix} 19,0 \\ 19,1 \end{smallmatrix} \right.$	18,8	17,2	17,9	19,2	18,1
	3	16,2	17,0	16,6	16,6	15,7	15,9	15,5	15,7	16,6	17,5	18,5	17,5
	4	16,7	17,0	$\left\{ \begin{smallmatrix} 16,7 \\ 16,4 \end{smallmatrix} \right.$	16,7	20,0	20,0	$\left\{ \begin{smallmatrix} 17,5 \\ 18,5 \end{smallmatrix} \right.$	18,8	14,9	14,6	$\left\{ \begin{smallmatrix} 15,8 \\ 14,7 \end{smallmatrix} \right.$	15,0
	5	16,0	15,5	15,9	15,8	16,0	15,8	15,4	15,7	17,7	19,0	18,5	18,4
01.08.59	1	20,7	21,0	21,1	20,9	20,3	22,7	22,9	22,0	24,6	25,1	24,4	24,7
	2	18,0	18,0	18,0	18,0	20,1	19,9	19,4	19,8	19,6	20,6	21,5	20,6
	3	18,8	18,5	19,6	18,9	22,5	21,3	21,3	21,7	23,4	23,4	22,8	23,2
	4	16,0	14,2	15,0	15,1	29,2	28,0	31,0	29,4	21,5	22,4	22,0	22,0
	5	23,2	23,0	23,8	23,3	20,6	20,5	22,0	21,0	20,5	20,9	20,1	20,5
03.10.59	1	42,0	42,8	41,5	42,1	43,1	42,5	43,0	42,9	46,0	46,0	46,8	46,3
	2	45,0	44,5	43,7	44,4	41,0	43,2	42,7	42,3	65,8	66,2	68,8	66,9
	3	41,4	44,0	42,3	42,5	51,2	50,3	50,2	50,6	50,5	50,0	49,8	50,1
	4	42,3	44,6	44,1	43,7	44,1	45,8	45,6	45,2	45,9	45,5	45,7	45,7
	5	44,0	44,3	42,8	43,7	47,3	47,5	48,7	47,8	47,3	46,6	47,3	47,1
16.10.59	1	63,5	61,0	64,5	63,0	57,0	56,0	56,5	56,5	63,0	62,5	62,0	62,5
	2	63,7	62,5	59,0	61,7	46,0	56,2	56,5	52,9	73,3	74,2	75,2	74,2
	3	60,5	63,0	62,0	61,8	63,5	64,0	64,3	63,9	64,3	69,1	63,5	65,6
	4	57,5	56,5	57,5	57,2	65,5	67,0	68,0	66,8	62,3	61,5	61,7	61,8
	5	58,2	60,2	63,0	60,5	60,0	60,2	60,0	60,1	56,5	56,3	57,0	56,6
26.03.26	1	86,5	86,0	84,5	85,7	101,5	105,0	104,0	103,5	106,0	107,0	104,5	105,8
	2	107,5	108,5	107,5	107,7	81,0	79,5	80,5	80,3	105,5	106,5	109,0	107,0
	3	109,5	110,5	110,0	110,0	110,5	110,5	111,0	110,7	101,0	101,5	102,5	101,7
	4	101,0	101,5	101,0	101,2	110,0	110,5	106,5	109,0	109,5	109,0	109,0	109,2
	5	93,0	92,5	90,0	91,8	102,5	104,5	104,5	103,8	104,0	105,0	104,0	104,3
14.07.60	1	107,2	107,0	106,7	107,0	109,6	110,9	111,5	110,7	112,0	112,1	112,1	112,1
	2	107,0	107,0	108,0	107,3	97,8	96,6	96,7	97,0	110,9	111,2	112,1	111,4
	3	107,5	108,0	107,8	107,8	109,7	108,2	107,8	108,6	101,7	103,5	103,8	103,0
	4	97,5	99,0	98,0	98,2	111,9	113,6	114,0	113,2	106,1	107,6	108,1	107,3
	5	102,0	102,4	101,3	101,9	106,0	106,1	106,4	106,2	109,1	108,0	107,5	108,2

*Les profils de valeurs d'eau*

Lors de chaque mesure de hauteur de neige au cours de l'hivernage nous avons déterminé le profil des valeurs d'eau pour la totalité de la hauteur de neige sur les grillages à la date du relevé. Par suite du micro-relief, nous avons creusé chaque fois 6 profils répartis sur l'aire du champ de précipitation. Les mesures de valeurs d'eau ont été effectuées au moyen de sondes de densité de 57 mm de diamètre intérieur, par prélèvement de carottes verticales et consécutives. Chaque profil a été contrôlé par le prélèvement d'une seule carotte, au moyen du carotteur SIPRE ou d'une balise, et ayant comme longueur la longueur totale du profil. En faisant la moyenne des valeurs d'eau des différents profils effectués à une même date, nous obtenons les résultats du tableau 17.

Tableau 17. *Valeurs d'eau du névé*

22.24.07.59	Profond. cm	0-5	5-10	10-15	15-20						
	Val.d'eau cm	1,4	1,7	1,9	1,9						
	Val.d'eau cumulée	1,4	3,1	5,0	6,9						
03.10.10.59	Profond. cm	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70			
	Val.d'eau cm	2,5	2,8	2,8	3,4	3,6	4,1	3,9			
	Val.d'eau cumulée	2,5	5,3	8,1	11,5	15,1	19,2	23,1			
16.10.59	Profond. cm	0-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	60-70	70-80		
	Val.d'eau cm	2,1	2,8	3,2	2,9	3,1	3,6	3,8	3,9		
	Val.d'eau cumulée	2,1	4,9	8,1	11,0	14,1	17,7	21,5	25,4		
26.03.60	Profond. cm	0-5	5-10	10-15	15-20	20-35	35-50	50-65	65-80	80-95	95-115
	Val.d'eau cm	1,5	1,8	1,6	1,5	4,7	4,8	4,7	4,7	5,2	7,4
	Val.d'eau cumulée	1,5	3,3	4,9	6,4	11,1	15,9	20,6	25,3	30,5	37,9
14.07.60	Profond. cm	0-15	15-30	30-45	45-60	60-75	75-90	90-105	105-120		
	Val.d'eau cm	3,9	5,4	5,7	5,5	5,3	5,1	5,3	5,7		
	Val.d'eau cumulée	3,9	9,3	15,0	20,5	25,8	30,9	36,2	41,9		

Les premières mesures avaient été faites par ANDRÉ RENAUD, notamment les relevés de profondeurs des grillages des 03.07.59, 15.07.59 et 01.08.59 ainsi que du profil de valeur d'eau des 22.-24.07.59. Dans la nuit du 31.07.59 au 01.08.59 il y a eu une chute de neige de 5 à 10 cm environ. Or la moyenne des différences de profondeurs des grillages des 15.07.09 et 01.08.59 est de 4,5 cm. Par conséquent nous pouvons admettre que du 15 juillet au 24 juillet il n'y a pas de chute de neige sensible et nous pouvons donc assimiler le profil de valeur d'eau du 22.-24.07.59 aux mesures de profondeurs du 15.07.59 sans commettre d'erreur pouvant influencer l'accumulation.

Les profils de valeurs d'eau ont été reportés sur des graphiques d'où nous déduisons, en fonction des profondeurs de grillages, les valeurs d'eau qui correspondent à ces profondeurs. D'où le tableau suivant (18):

Tableau 18. Accumulation au dessus des grillages

Grillage	No 1		No 2		No 3		No 4		No 5	
Date	Valeur d'eau cm	Accumulation part.	Valeur d'eau cm	Accumulation part.	Valeur d'eau cm	Accumulation part.	Valeur d'eau cm	Accumulation part.	Valeur d'eau cm	Accumulation part.
Ligne Nord-Ouest										
15.07.59 ....	5,7		5,6		5,5		5,6		5,3	
03.10.59 ....	12,2	6,5	13,1	7,5	12,4	6,9	12,8	7,2	12,8	7,5
16.10.59 ....	18,8	6,6	18,3	5,2	18,3	5,9	16,6	3,8	17,8	5,0
26.03.60 ....	27,2	8,4	35,3	17,0	36,0	17,7	32,7	16,1	29,4	11,6
14.07.60 ....	36,9	9,7	37,0	1,7	37,2	1,2	33,8	1,1	35,0	5,6
Total .....		31,2		31,4		31,7		28,2		29,7
Ligne Nord										
15.07.59 ....	5,8		6,4		5,3		6,4		5,3	
03.10.59 ....	12,5	6,7	12,3	5,9	15,3	10,0	13,3	6,9	14,2	8,9
16.10.59 ....	16,4	3,9	15,1	2,8	19,2	3,9	20,3	7,0	17,7	3,5
26.03.60 ....	35,6	19,2	25,5	10,4	36,2	17,0	35,6	15,3	33,8	16,1
14.07.60 ....	38,3	2,7	33,3	7,8	37,5	1,3	39,2	3,6	36,6	2,8
Total .....		32,5		26,9		32,3		32,8		31,3
Ligne Nord-Est										
15.07.59 ....	5,7		6,1		5,9		5,0		6,3	
03.10.59 ....	13,8	8,1	21,8	15,7	15,1	9,2	13,5	8,5	14,0	7,7
16.10.59 ....	18,6	4,8	23,1	1,3	19,8	4,7	18,4	4,9	16,4	2,4
26.03.60 ....	34,6	16,0	34,9	11,8	32,9	13,1	35,6	17,2	34,0	17,6
14.07.60 ....	38,8	4,2	38,6	3,7	35,4	2,5	37,0	1,4	37,4	3,4
Total .....		33,1		32,5		29,5		32,0		31,1



Le tableau 18 montre une dispersion de l'accumulation partielle très importante. Cette dispersion est sans doute due aux conditions climatiques assez variables au cours des mois d'hiver, où la surface est davantage perturbée par les congères qu'en été où elle redevient beaucoup plus uniforme. Cet état semble se retrouver dans les chiffres de l'accumulation qui sont également très variables sauf ceux donnant l'accumulation annuelle du 15.07.59 au 14.07.60. La moyenne de ces derniers donne une accumulation annuelle de 31,4 cm d'eau. Les accumulations partielles par rapport au 15.07.59 sont respectivement: 8,2 cm le 03.10.59; 12,6 cm le 16.10.59; 27,6 cm le 26.03.60.

### *Conclusion*

Les mesures d'accumulation faites du 15.07.59 au 14.07.60 nous donnent une accumulation annuelle de 31 cm d'eau pour l'année considérée. D'après nos relevés il semble que 15 grillages soient suffisants pour obtenir un résultat honnête pour des mesures faites pendant la période d'été, mais que les mois d'hiver ce nombre est très insuffisant parce que les grillages ne couvrent pas une surface assez grande. En effet, au cours de ces mois, les chutes de neige et le vent sont très variables et donnent naissance à de nombreuses congères à grande étendue et à relief souvent très peu accentué de sorte qu'elles sont assez difficilement discernables. Elles peuvent donc recouvrir une partie des grillages pour lesquels la profondeur augmente en conséquence de façon anormale.

## **6.4. Stratigraphische Untersuchungen**

### **6.4.1. Methodik**

Entsprechend der Aufenthaltsdauer an den einzelnen Stationen und den dort verfügbaren Gerätschaften sind in den Untersuchungsmethoden gewisse Unterschiede festzustellen. Im Standardfall bestand die Arbeit in

- Aufnahme eines leichten und eines schweren Rammprofils.
- Grabung eines Profilschachtes von 2-4 m Tiefe.
- Aufnahme des Schichtprofils (Schichtung, Korngrößen, Kornform, Härte)
- Aufstellen eines durchscheinenden Profils.
- Messung der Firndichten und Wasserwerte.
- Temperaturmessungen in der Profilwand (siehe Kapitel 7).
- Kernbohrung (s. Bericht A. RENAUD u. OESCHGER 1969).

Dazu kamen von Fall zu Fall besondere Arbeiten wie Versuche mit einem Härtebohrer, Probenentnahmen für kristallographische Untersuchungen etc.

### Rammprofile

Zum Einsatz kamen:

- die *leichte Normalrammsonde* mit Stahlkegelspitze von 4 cm Basisdurchmesser und 60° Scheitelwinkel und einem Rammhämmer von 3 kg, verwendet bei Fehlen von Eislagen von über 1 cm Stärke bis zu Tiefen von ca. 4 m.
- eine *schwere Rammsonde* nach R. HAEFELI von 3,6 cm Durchmesser (Spezifikation siehe R. HAEFELI und F. BRANDENBERGER 1968, Abschnitt 3.1., Ramm- und Drehwiderstände), verwendet normalerweise bis zu 10 m Tiefe, in Einzelfällen bis 24 m. Die Messungen mit diesem Gerät sind im vorliegenden Berichte eingebaut, da hier eine Interpretierung in Verbindung mit allen anderen Messungen versucht wird. Die Methodik der Rammsondierung und ihre Auswertung werden als bekannt vorausgesetzt.

Da das leichte Rammprofil die Lage des Schachtes bestimmte, wurde es als erste Arbeit bei einer Station ausgeführt.

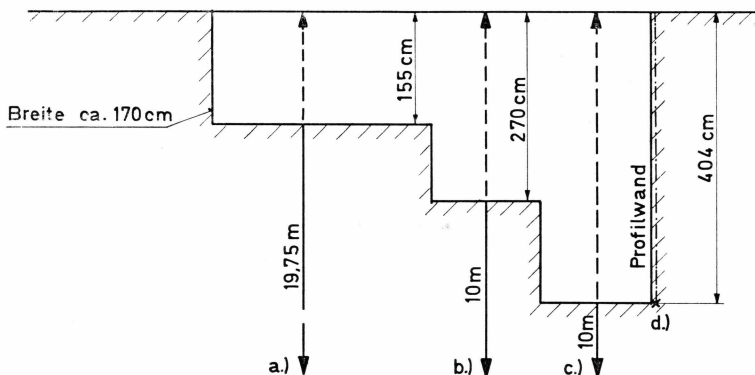


Abb. 12. Anlage des Profilschachtes Milcent (Standardtyp) Juni 1959.

- a) Tritiumbohrung (Sipre Bohrer) und Widerstandsthermometer.
- b) Schwere Rammsondierung und Widerstandsthermometer.
- c) Leichte Rammsondierung.

In der Profildicke: Schichtprofil, Dichtemessung, durchscheinende Proben, Härteprüfung, Temperaturmessung.

### Profilschächte

Die Normalschächte wurden mit Kurzstielschaufeln (Kohlenschaufeln) und Spaten unter Zuhilfenahme einer elektrischen Kettensäge (Homelite) nach dem Muster von Abb. 12 gegraben. Bei Präsenz von Eislagen waren Eisäxte Typ Steuri (Grindelwald) nützlich.

Die den Messungen dienende Wand befand sich auf der Südseite des Schachtes, war also schattig (Rücksicht auf unerwünschte Strahlungseinflüsse) und wurde bis zur Freilegung der leichten Rammsonde zu-

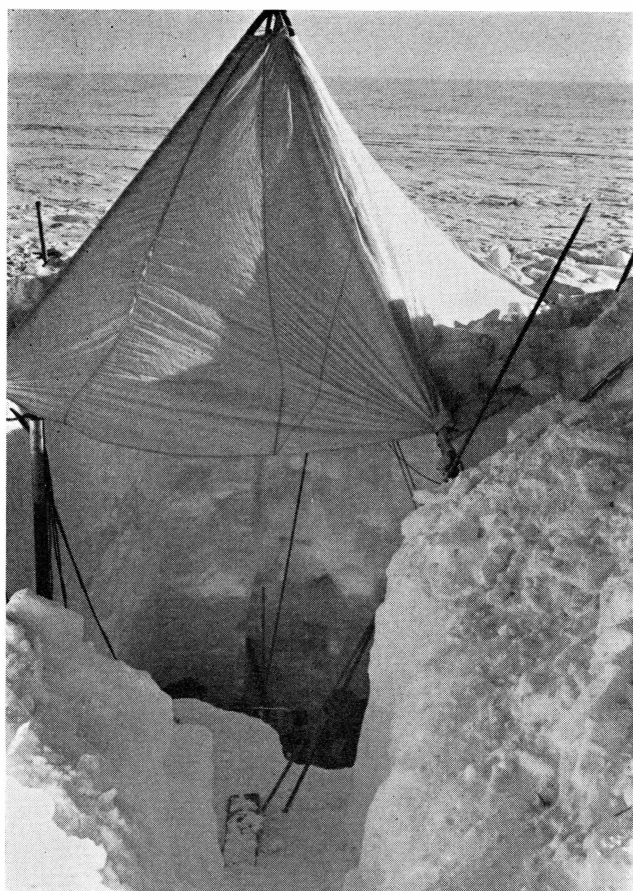


Photo 7. Profilschacht Milcent mit Fallschirmzelt (Juni 1959) (Roch 611/25).

rückgeschnitten. In der Regel wurden die Messungen der oberen 2 Meter ausgeführt, nachdem der Schacht diese Tiefe erreicht hatte. Zum Schutz des Schachtes gegen Treibschnee erwies sich die Errichtung eines improvisierten Zelt (Dreibein + Fallschirm) als äusserst nützlich. (Photo 7). Nach Abschluss der Arbeiten im Profil wurden die Schächte zugeschüttet und eingeebnet.

Bei der Station Jarl-Joset bildete der im Jahr 1956/57 durch JEAN DUMONT und MICHEL DE LANNURIEN gegrabene *Schrägschacht* (bezeichnet als *Schacht Dumont*) von 40 m Tiefe (Neigung ca. 40°) das interessanteste Untersuchungsobjekt der Expedition. Es sei verwiesen auf die Berichte von R. SCHNEIDER und F. BRANDENBERGER. Kapitel 12.

### Schichtprofil

Die aus der alpinen Schneeforschung bekannte Aufnahmetechnik wurde soweit als möglich angewandt. Sie findet ihre Begrenzung einer-

seits in der Dichte tieferer Schichten, die keine individuelle Kornablösung mehr gestattet und damit auch eine Kornformanalyse in situ erschwert, und anderseits in Eisformationen wechselnder Mächtigkeit, die zwar durch Farbe, Faserung und Blasenbildungen differenzierbar sind, für die aber keine Klassierungsnormen bestehen.

In den graphischen Profildarstellungen sind folgende Signaturen verwendet:

*Kornformen:* allg. Symbol F






	Neuschnee (alle Formen)
	Filziger Schnee (Abbauform).
	rundkörniger Schnee (Trockenabbau)
	rundkörniger Schnee (Schmelzformen)
	} längliche Rundformen*)
	
	kantige Formen (isometrisch)
	kantige Formen (länglich)
	Tiefenreif (Schwimmschnee)

\*) Diese Form, die das Skelett älterer Winterablagerungen charakterisiert, wird in der alpinen Skala nicht verzeichnet.

*Härte:* Allg. Symbol  $R$ , i. bes.  $R_r$  Rammwiderstand  
 $R_p$  Pfeilhärte

Die Härtestufen werden bezogen auf

- Handtest (Faust, Hand, Finger, Bleistift, Messer)
- Rammwiderstand
- Pfeilhärte

	Handtest	$R_r$ (kg)	$R_p$ (kg/cm <sup>2</sup> )
	sehr weich Faust	0– 5	0 –0,4
	weich Hand	5– 15	0,4–1,2
	mittelhart Finger	15– 50	1,2–4
	hart Bleistift	50–100	4 –8
	sehr hart Messer	> 100	> 8

Zwischen den verschiedenen Skalen besteht keine strenge quantitative Beziehung.

### Eisformationen

- Eishorizont (E) oder kompakte Schicht (K) (Eishaut) von nicht  
 —E 2 masstäblich wiederzugebender Dicke (hier 2 mm).  
 — Kompaktes Klareis von dunkler Färbung (ev. mit unterscheid-  
 — baren Blasen).  
 // Opakes (milchiges) Eis oder körniges Eis von heller Erscheinung.  
 // Enge Wechsellagerungen von Eiskrusten mit Lagen von heraus-  
 // lösbaren Kristallen.

*Korngrößen:* allg. Symbol D

in mm angegeben (ev. als Stufenkurve).

Es ist darauf hinzuweisen, dass die Profile nicht durch alle Mitarbeiter in genau übereinstimmender Weise aufgenommen wurden. Die Pfeilhärte  $R_p$  beruht – wie jede Härtemessung – auf einem spezifischen Instrument, dem Härteprüfer H 45 (SLF Weissfluhjoch, M. DE QUERVAIN 1950), dessen Spezifikationen anzugeben sind. Ein Pfeil mit einer Kegelspitze von 6 mm Basisdurchmesser (Winkel  $60^\circ$ ) wird durch eine Federkraft in den Schnee geschossen. Die Eindringtiefe  $X$  ist ein Mass für die pro  $\text{cm}^2$  Kegelbasis auftretende mittlere Bremskraft, die hier als Pfeilhärte definiert wird

$$R_p = \frac{E - \mu (X + X_0)}{D^2 \frac{\pi}{4} \left( X - \frac{D}{3} \sqrt{3} \right)}$$

$$\begin{aligned} E &= 0,775\text{--}4,950 \text{ kp. cm (Federenergie,} \\ &\quad \text{variierbar)} \\ \mu &= 0,03 \text{ kp (Reibung)} \\ X_0 &= 3,18 \text{ cm (Nullweg)} \\ D &= 0,6 \text{ cm (Durchmesser Kegelbasis)} \\ X &\text{ gemessene Eindringung (cm)} \\ &\quad \text{(Bedingung } X \geq D/3 \cdot \sqrt{3}) \end{aligned}$$

Die Messungen wurden nach Eichkurven, basierend auf obiger Gl. ausgewertet. Gegenüber dem Rammwiderstand gestattet der Härteprüfer die gezielte Abtastung einzelner Schichten.

### Durchscheinendes Profil

Im durchscheinenden parallelen Licht lassen sich Feinheiten der Strukturen einer Firntafel ausgezeichnet erkennen. Eine einfache Anwendung, beruhend auf dem niederen Sonnenstand im Polarsommer, wurde im Arktikkurs des amerikanischen „Snow Ice and Permafrost

Research Establishment“ (Thule 1958) instruiert. Ausgeschnittene Tafeln von ca. 1–2 cm Dicke werden im Freien aufgestellt und gegen die Sonne photographiert. Solche Aufnahmen (von A. ROCH und A. RENAUD) wurden verschiedentlich in unsere Profile maßstäblich eingepasst. Grobkristalline Schichten, die normalerweise dem Sommer zuzuordnen sind, erscheinen gegenüber den andern deutlich aufgehellt.

### Dichtemessung

In den obersten 2–4 m kann die Dichte durch horizontale oder vertikale Abstiche mit Rohrsonden erhalten werden, sofern nicht Eislagen eingebaut sind. Diese sind zu messen und separat zu berücksichtigen. Abmessung der Sonde: Stahlrohr, einseitig geschärft, Durchmesser aussen 60 mm, innen 57 mm, Länge 19,65 cm (Inhalt 500 cm<sup>3</sup>).

Im Arbeitsbereich des SIPRE-Kernbohrers (Kerndurchmesser 7,5 cm) gibt dieser abschnittsweise gute Dichtewerte und vor allem direkte Wasserwerte. Eine mit Sägezähnen versehene Bohrsonde zur seitlichen Probeentnahme lieferte zu wenig präzise Querschnitte für genauere Dichtenmessungen. Im Schacht Dumont sind daher Quaderblöcke von 7–10 cm Kantenlänge mittels einer Schieblehre gemessen und gewogen worden, bei einer Serie jede Kante einmal, bei einer genaueren Messreihe jede Kante je vier mal. Die Wägung aller Dichteproben erfolgte mittels einer Hebelwaage (Küchenwaage) auf 1 g genau.

Abschätzung der Genauigkeit für beide Methoden (maximaler Fehler): Volumen der Proben:  $\pm 2,5\%$ , Wägung:  $\pm 0,5\%$ , total  $\pm 3\%$ .

### Kernbohrung

Primär diene die Kernbohrung mit dem SIPRE-Bohrer der Entnahme von Proben für die Bestimmung des Tritiumgehaltes (A. RENAUD), sekundär der Dichtebestimmung oder gar der Schichtanalyse. Diese ist leider dadurch beeinträchtigt, dass die Kerne oft in den vor allem interessierenden grobkristallinen, mechanisch schwachen Schichten abgeschert werden. Eine weitere Anwendung des Bohrloches bestand – abgesehen von der Temperaturmessung – in der Absenkung eines neuartigen Härtebohrers, der zusätzliche seitliche Kerben in das Loch fräst und dessen Vortrieb ein sehr empfindliches Mass für eine besondere Art der Härte ist.

Ueber die Technik der SIPRE-Bohrung erübrigen sich weitere Erläuterungen.

### Kristallographische Untersuchungen an Firnproben

Nach den in Kapitel 10 zu findenden präparativen Methoden wurden Firnproben aus den Profilschächten von Station Centrale und Jarl-Joset

zu Dünnschnitten verarbeitet, teils durch R. SCHNEIDER während der Ueberwinterung, teils durch den Verfasser und seine Mitarbeiter am Eidg. Institut für Schnee- und Lawinenforschung. Eine Analyse dieser Schnitte (bzw. von photographischen Aufnahmen) hinsichtlich gewisser Korngrößen- und Kornform-Merkmale, wurde beigezogen für den Versuch, die Jahresschichten in grösseren Tiefen abzugrenzen. Von den total über 680 Dünnschnitten von denen 484 primär dem stratigraphischen Problem dienten, können leider nur vereinzelte als Beispiele publiziert werden.

#### 6.4.2. Schicht- und Rammprofile

Die aufgenommenen Schicht- und Rammprofile werden nur in graphischer Form vorgelegt. Eingetragen sind auch einzelne Dichteprofile nach den im Abschnitt 6.4.3 zahlenmässig wiedergegebenen Messungen.

Die Serie der durch R. SCHNEIDER während der Ueberwinterung aufgenommenen Profile ist im Kapitel 11 zu finden.

Eine Interpretation der Profile hinsichtlich der Akkumulation folgt im Abschnitt 6.5. (Synthese).

Folgende Profile werden gegeben:

- Abb. 13. Schichtprofil Parasitengletscher bei Camp III (16.5. und 18.8. 1959)
- Abb. 14. Station K 3 (13.–19.5.1959)
- Abb. 15. Camp VI (21.–24.5.1959)
- Abb. 16. Camp VI Profil bei ausgegrabenen Weasel (20.5.1959)
- Abb. 17. Camp VI (9.8.1960) R. SCHNEIDER
- Abb. 18. Milcent (2.–3.6.1959). Schweres Rammprofil, siehe Bericht Rheologie [5]
- Abb. 19. Milcent (6.8.1960) R. SCHNEIDER
- Abb. 20. Station Centrale (9.–12.6.1959).
- Abb. 21. Station Centrale. Schweres Rammprofil und Dichteprofil bis 10,5 m. Dazu gestrichelt eingezeichnet Rammprofil der Expedition SIPRE vom 24.7.1955. Höhenmasstab willkürlich verschoben, sodass bei ca. 700 cm Uebereinstimmung besteht. (Frappante Aehnlichkeit von 450–850 cm)
- Abb. 22. Station Centrale (2.8.1960), R. SCHNEIDER
- Abb. 23. Dépôt 275 (Crête) (22.6.1959). Vergleichsweise oberflächliches Rammprofil vom 5.8.1959
- Abb. 24. Dépôt 275 (Crête). Schweres Rammprofil und Dichteprofil mit versuchsweiser Datierung.

Abb. 25. Station Jarl-Joset (2.7.-9.7.1959) Feldprofil.

Abb. 26. Station Jarl-Joset (13.7.1959). Drei schwere Rammprofile bis 9 m.

Nr. I und II beim Feldprofil, Nr. III beim Schacht Dumont aufgenommen. (Höhenverschiebung von ca. 30 cm bei Nr. III bringt weitgehende Uebereinstimmung der inneren Schichtfolge).

Abb. 27. Dépôt 420. sch. Rammprofil und Dichteprofil (nach Kernbohrung) vom 2.-4.7.1959 mit versuchsweiser Datierung.

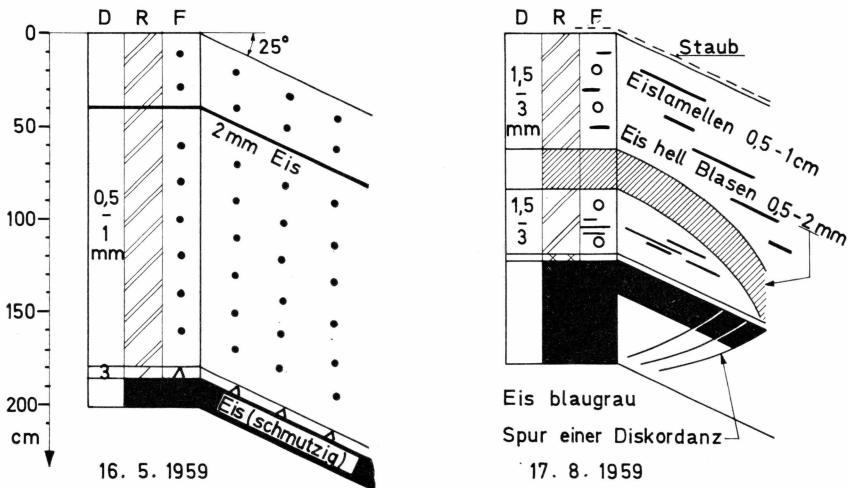


Abb. 13. Profile im „Parasitengletscher“, Steilabfall westlich Camp III vor und nach der Sommerablation a) 16.5.1959, b. 17.8.1959.



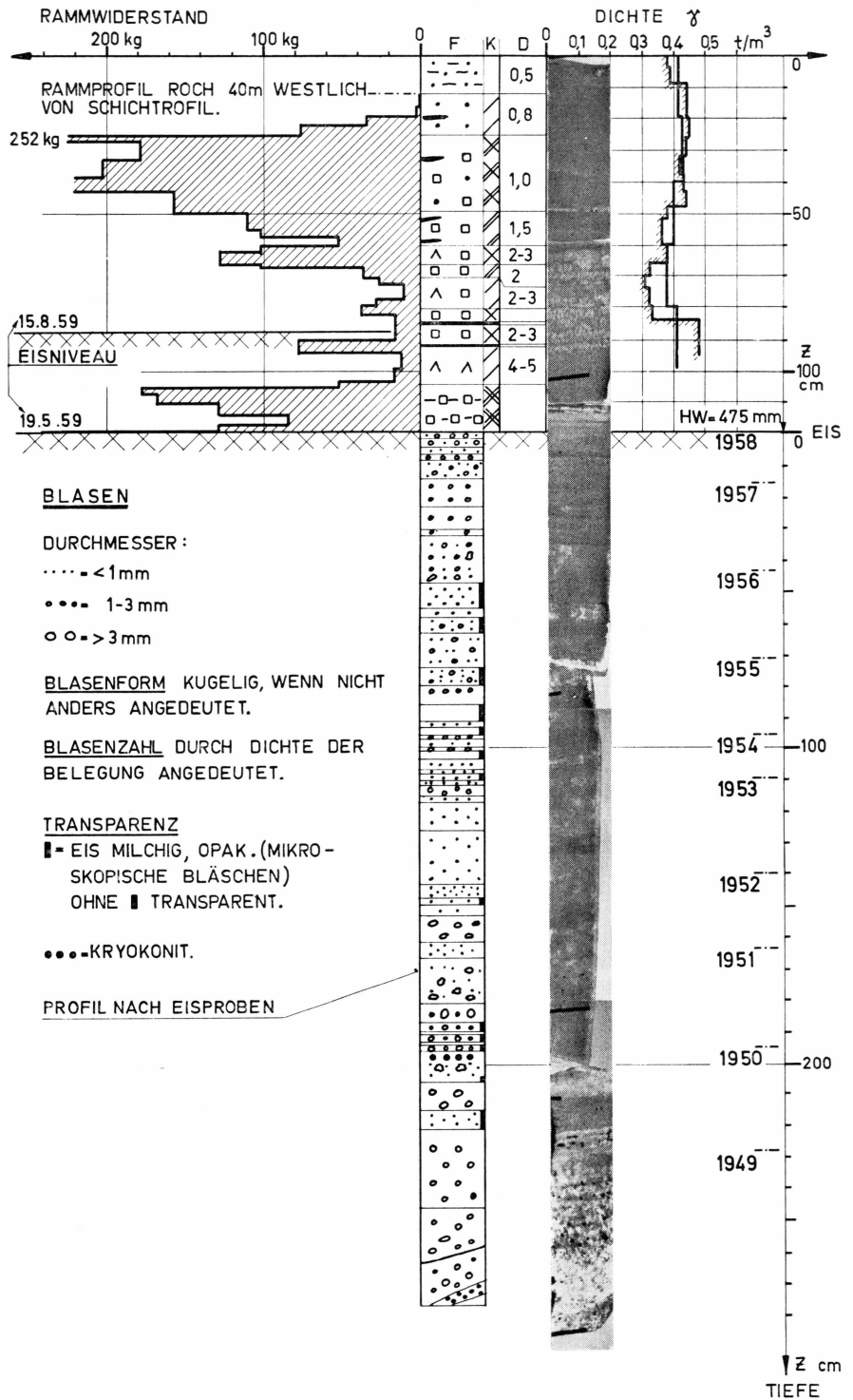


Abb. 14. Schnee- und Eisprofil bei K 3 (13.-19.5.1959). Photographisches druchscheinendes Profil masstäblich eingepasst auf Bezugshöhe der Eisoberfläche. Versuch einer Datierung. (Getrennte Tiefenmasstäbe für Schnee und Eis!).

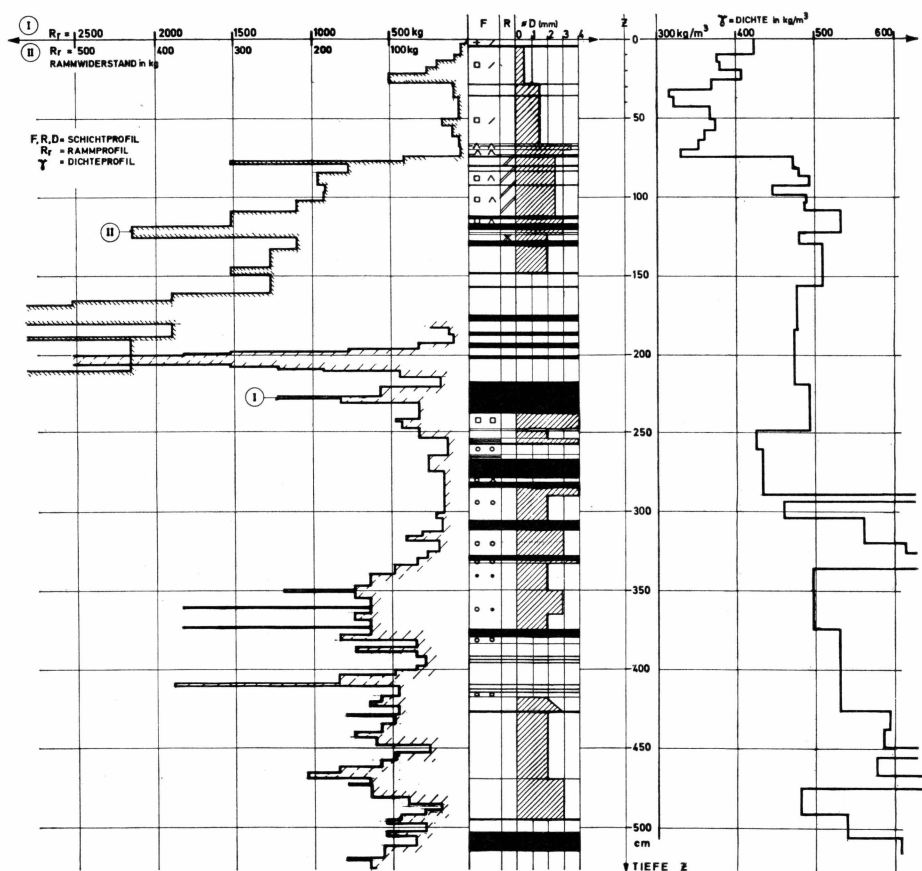


Abb. 15. Profilaufnahme Camp VI, 21.–24.3.1959, Schichtprofil, leichtes (II) und schweres (I) Rammprofil, Dichteprofil. Bis 215 cm: Schacht, bis 516 cm: Kernbohrung.

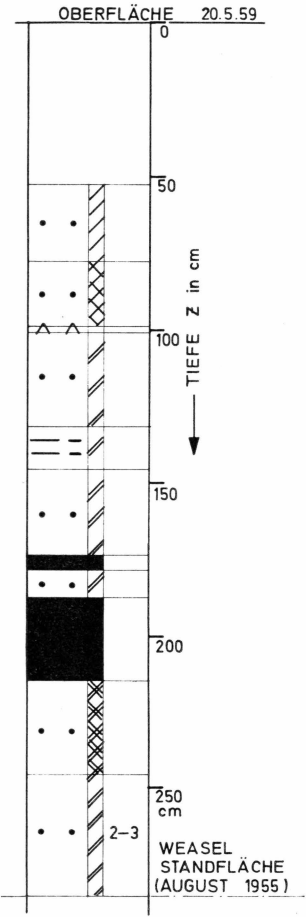


Abb. 16. Schichtprofil bei einem ausgegrabenen Weasel der Expedition SIPRE 1955 (C. BENSON). Aufn. 20.5.1959.

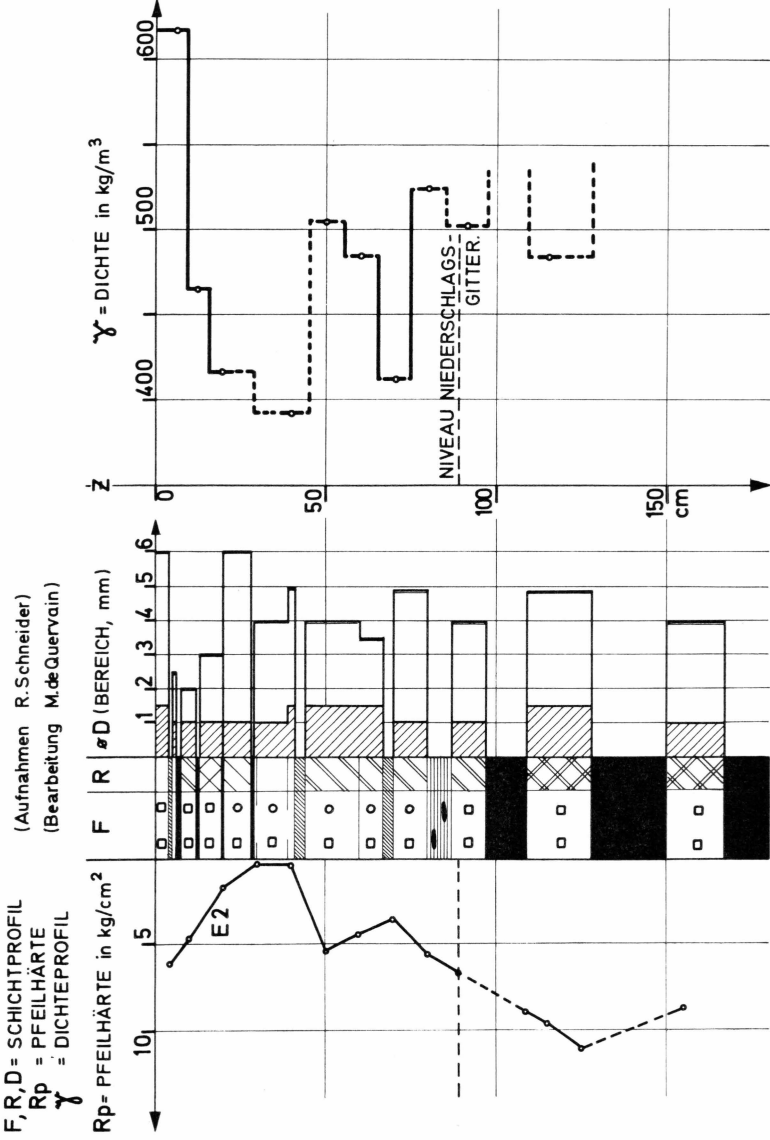


Abb. 17. Profilaufnahme Camp VI im Zentrum des Niederschlagsfeldes. 9.8.1960 (Nach R. SCHNEIDER).



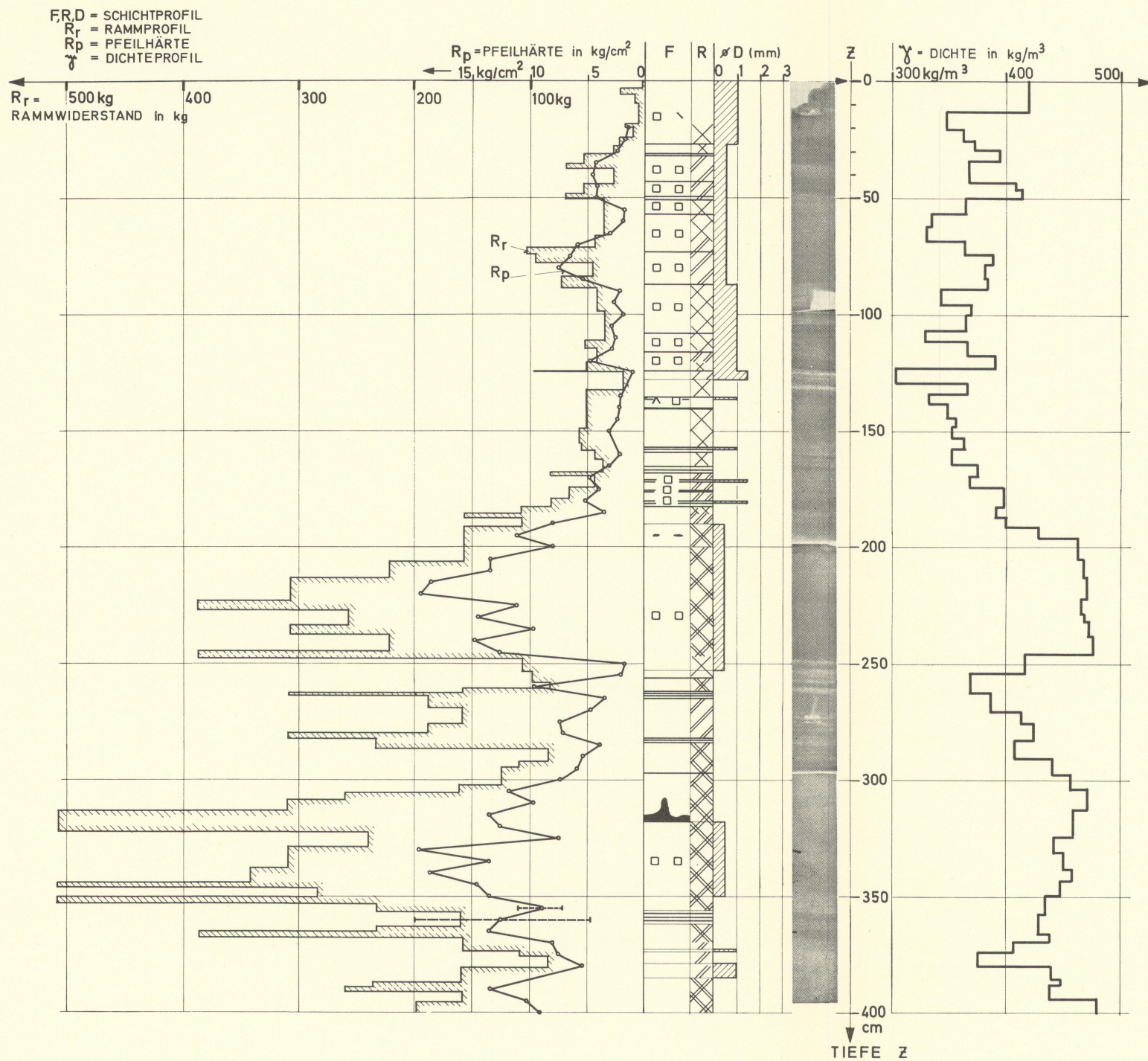


Abb. 18. Profilaufnahme Milcent. 2.-3.6.1959. Schichtprofil, Photoprofil, leichtes Rammprofil, Pfeilhärte, Dichteprofil, Schacht 4 m.



F, R, D = SCHICHTPROFIL

R<sub>r</sub> = RAMMPROFIL

R<sub>p</sub> = PFEILHÄRTE

γ = DICHTENPROFIL

(Aufnahme: R. Schneider)

(Bearbeitung: M. de Quervain)

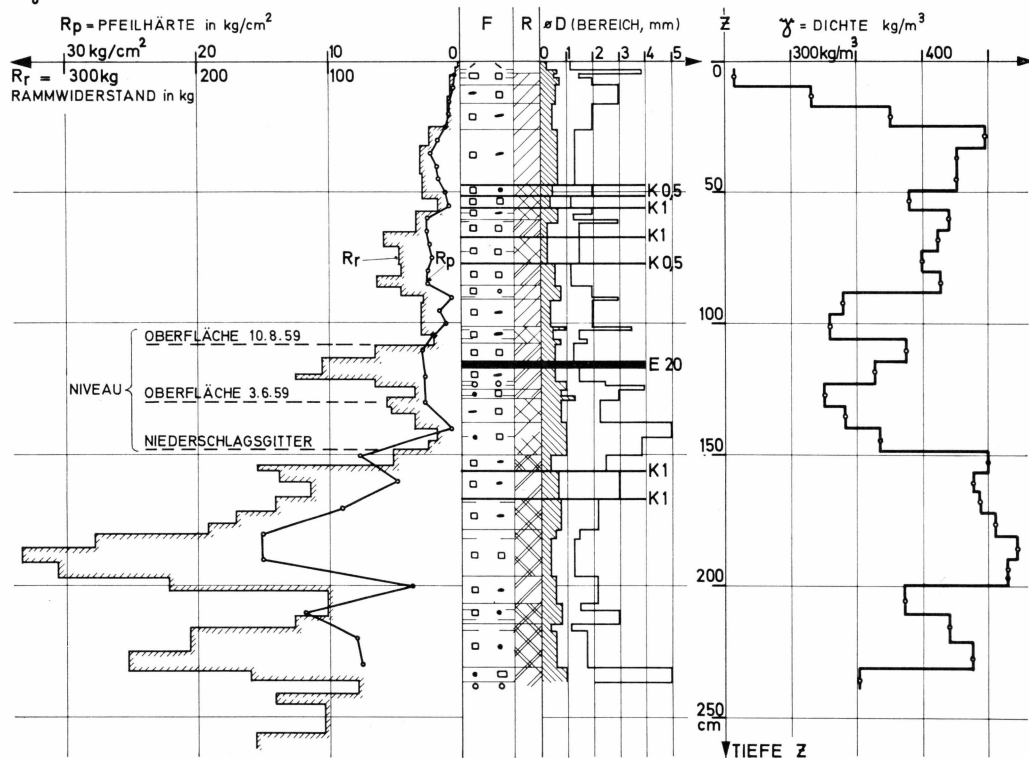


Abb. 19. Profilaufnahme Milcent (Zentrum Niederschlagsfeld) 6.8.1960 (nach R. SCHNEIDER).



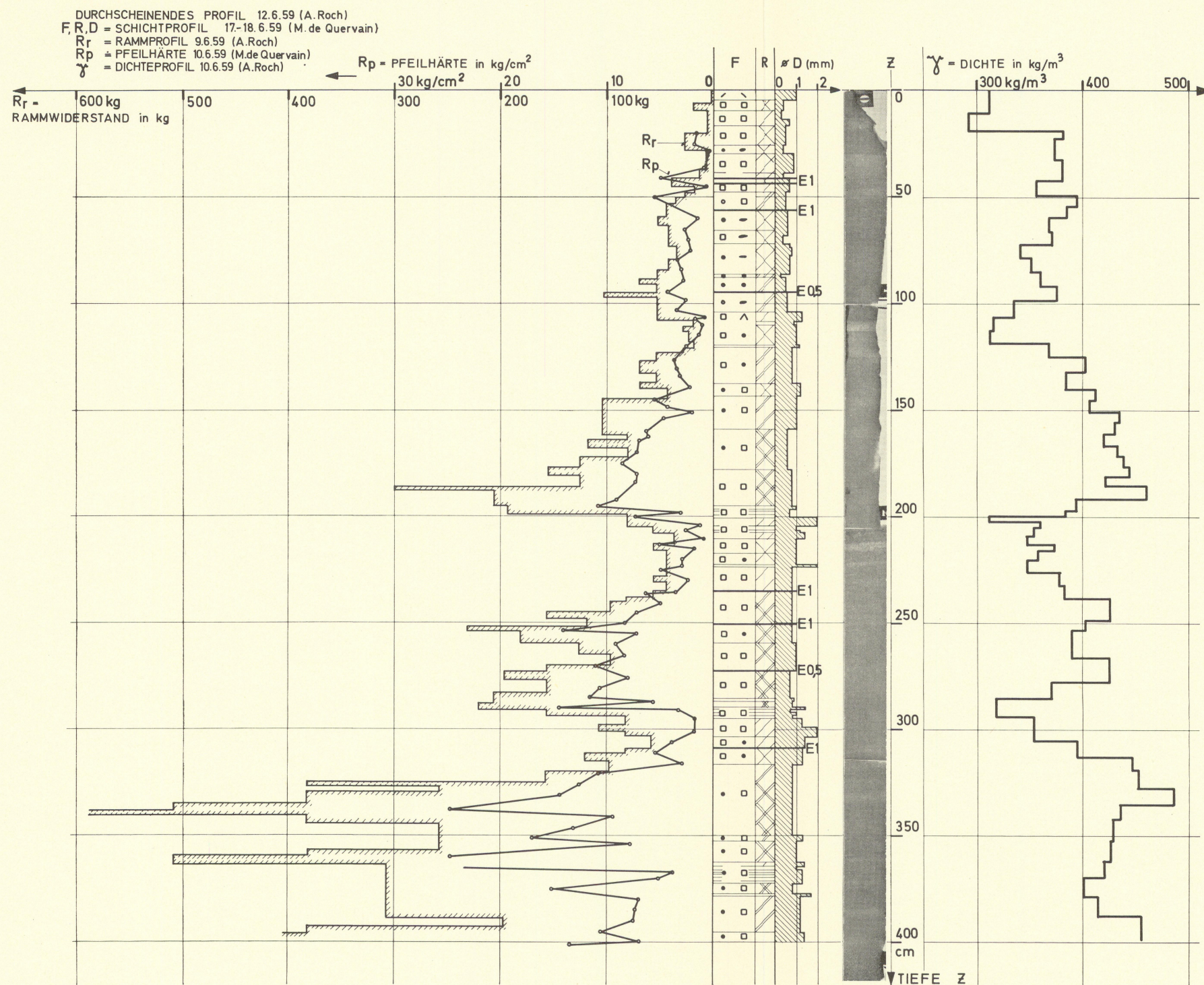


Abb. 20. Profilaufnahme Station Centrale. 9.-18.6.1959, Schichtprofil, Photoprofil, 1. Rammprofil, Pfeilhärte, Dichteprofil.



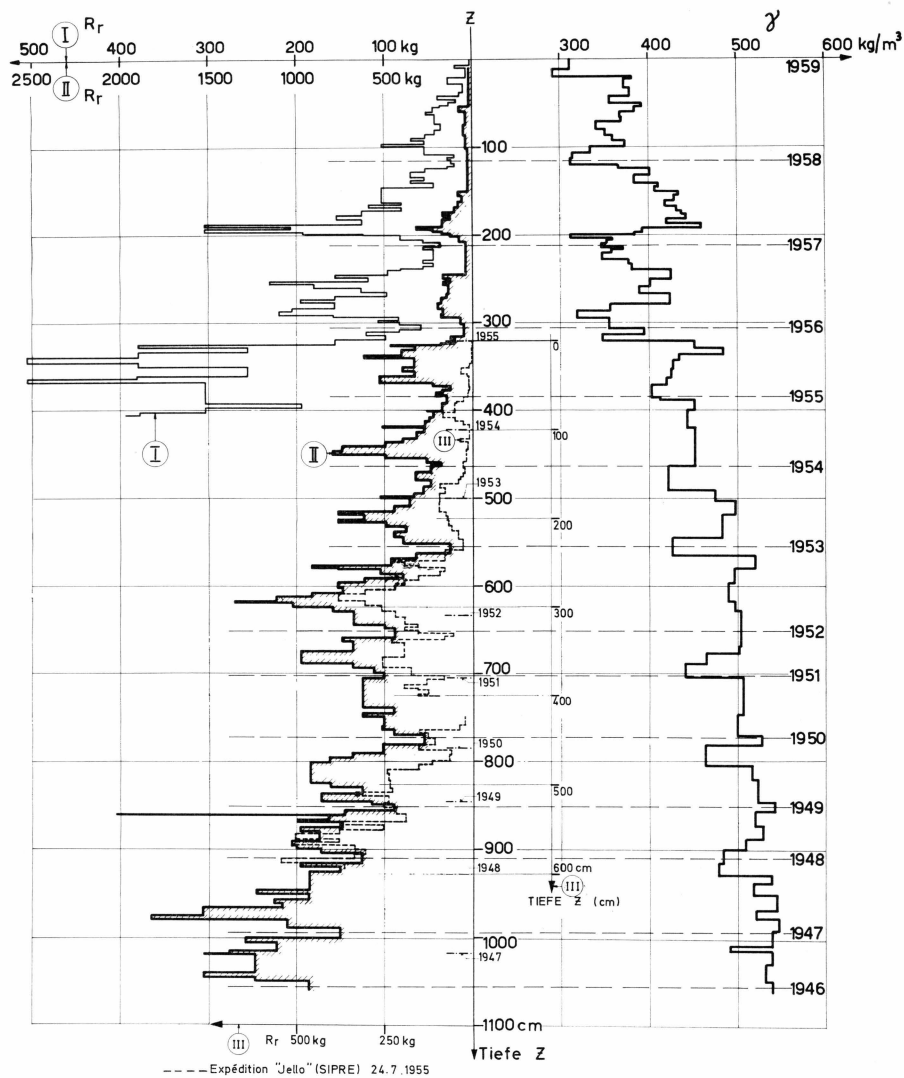


Abb. 21. Station Centrale.

- Leichtes und schweres Ramm- und Dichteprofil 9.-18.6.1959 mit Versuch einer Schichtdatierung.
- Rammprofil der Expedition SIPRE 1955 Eingepasst auf Uebereinstimmung bei ca. 700 cm (1959).

F, R, D = SCHICHTPROFIL

$R_r$  = RAMMPROFIL

$R_p$  = PFEILHÄRTE

$\gamma$  = DICHTEPROFIL

(Aufnahme R. Schneider)

(Bearbeitung M.de Quervain)

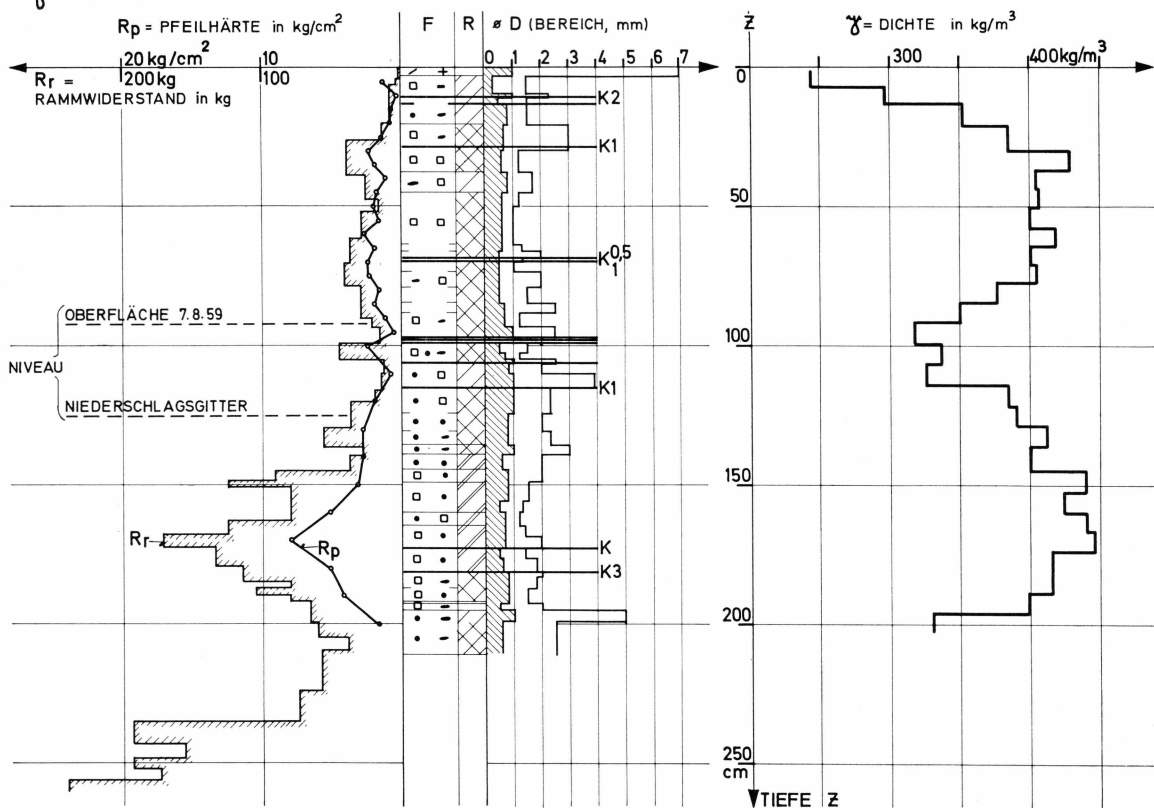


Abb. 22. Profilaufnahme Station Centrale (im Zentrum Niederschlagsfeld) 2.8.1960  
(nach R. SCHNEIDER).



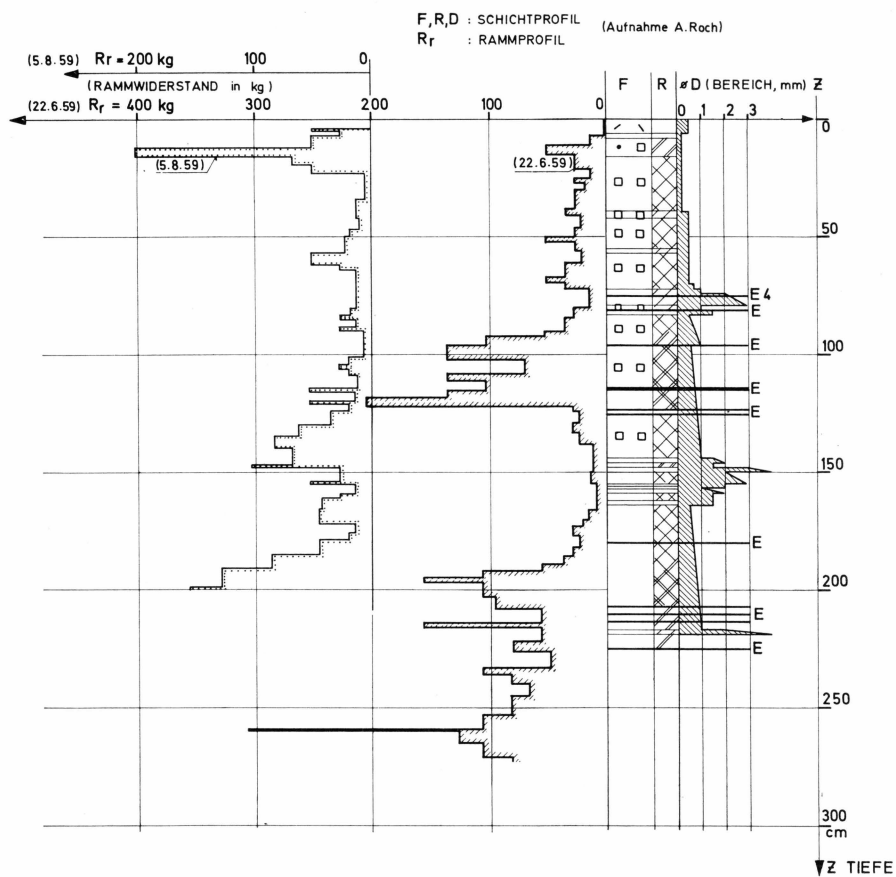


Abb. 23. Profilaufnahme Dépôt 275 (Crête), 22.6.1959. Schichtprofil, I. Rammpprofil, Vergleichsweise Rammpprofil vom 5.8.1959.

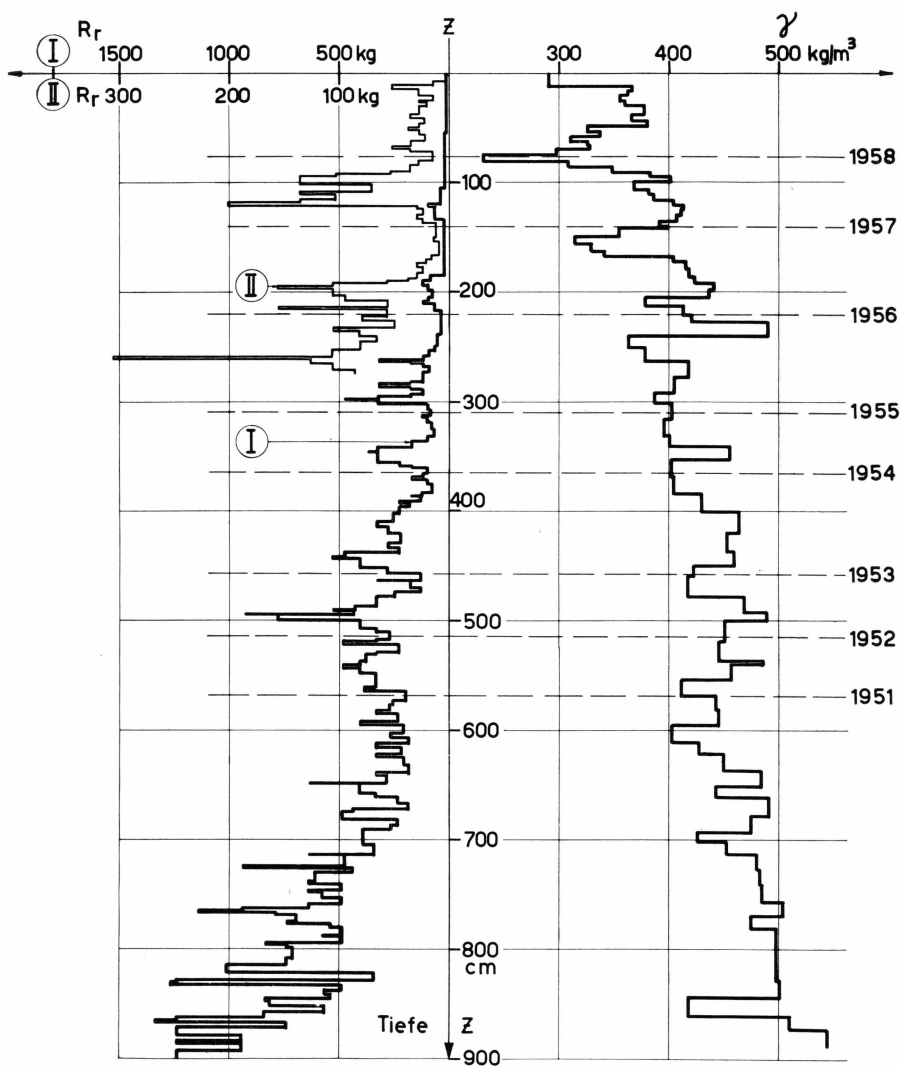


Abb. 24. Dépôt 275 (Crête). Leichtes (II) und schweres (I) Rammprofil, Dichteprofil.  
22.6.1959 mit versuchsweiser Datierung.



DURCHSCHEINENDES PROFIL (A. Roch)  
 F, R, D = SCHICHTPROFIL (M. de Quervain)  
 R<sub>r</sub> = RAMMPROFIL (A. Roch)  
 R<sub>p</sub> = PFEILHÄRTE (M. de Quervain)  
 γ = DICHTEPROFIL (A. Roch)

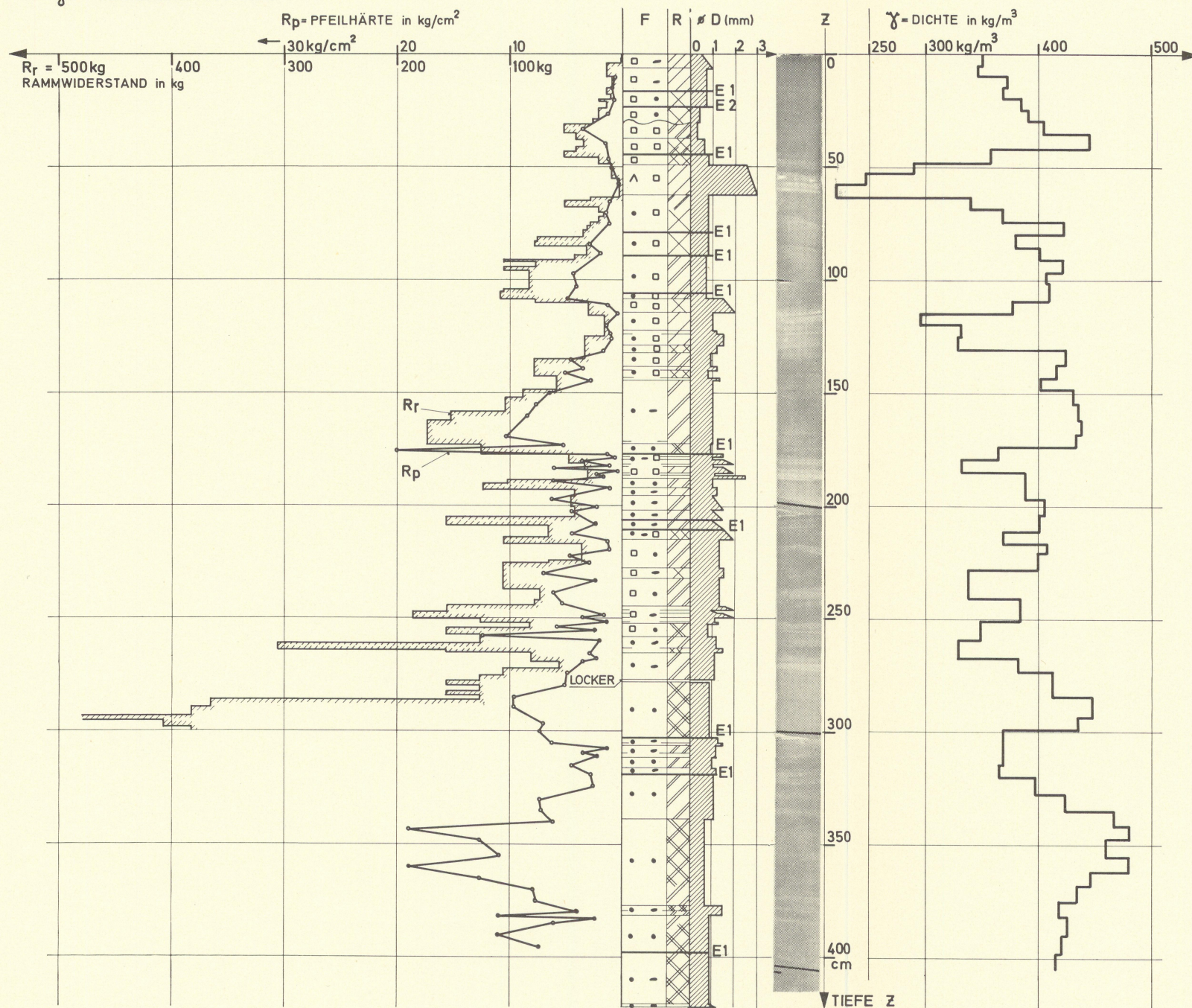


Abb. 25. Station Jarl-Joset. Feldprofil vom 2.-9.7.1959.



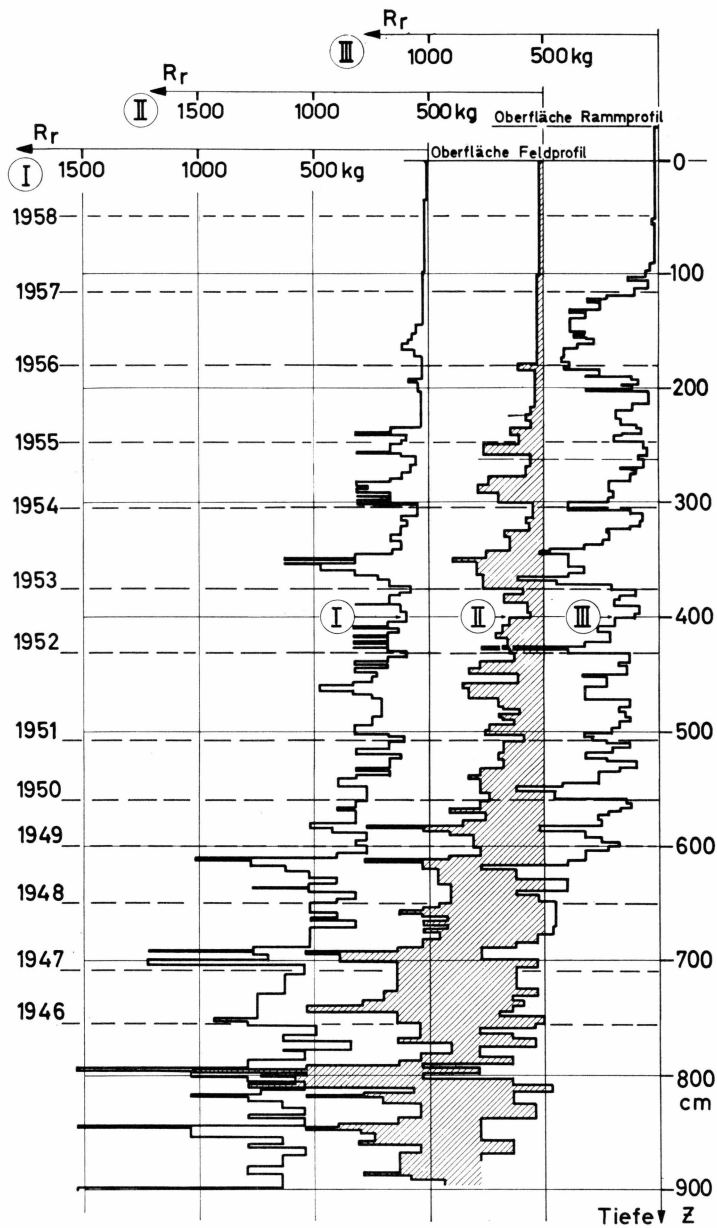


Abb. 26. Station Jarl-Joset. Vergleich dreier schwerer Rammprofile. (2.-9.7.1959)  
 Nr. I und II beim Feldprofil, Nr. III beim Schacht Dumont aufgenommen. Profil III  
 30 cm nach oben verschoben.



Abb. 27. Profilaufnahme Dépôt 420. 3./4.7.1959. Leichtes und schweres Rammprofil, Dichteprofil (nach Kernbohrung). Versuch einer Schichtdatierung.

6.4.3. Dichte- und Wasserwertmessungen

Für alle folgenden Tabellen gilt:

- $Z$  (cm)      Tiefe ab aktueller Oberfläche. Laufende Koordinate. Niveau einer Probeentnahme.
- $Z_u$  (cm)      Tiefe einer Schichtuntergrenze für den zugehörigen Dichtewert (Obergrenze: vorangehende Zahl)
- $h$  (cm)      Schichtdicke. (Bei den Horizontalproben sind die Schichtgrenzen halbwegs zwischen die Niveaux der Proben gelegt.)
- $\gamma$  (kg m<sup>-3</sup>)      Firndichte der Schicht  $h$
- $h_w$  (cm H<sub>2</sub>O)      Wasserwert der Schicht  $h$

$$h_w = h \cdot \frac{\gamma}{\gamma_w}; \gamma_w \text{ Dichte von Wasser} = 1000 \text{ kg m}^{-3}$$

$H_w$  (cm H<sub>2</sub>O) Wasserwert aufsummiert ab Oberfläche bis zum Niveau  $Z_u$ .

*Eingerahmte Werte:* Dichten und Wasserwerte interpoliert für volle Meter. Sie sind unabhängig von den übrigen laufenden Werten der betr. Tabellen.

1. Camp VI EGIG

Messungen wurden vorgenommen

- a) anlässlich der Sommercampagne 1959 bis zu einer Tiefe von 220 cm in einem Profilschacht und bis auf 520 cm mittels einer Kernbohrung ab Schachtboden. (A. ROCH, Tabelle 19),
- b) durch die zurückkehrende Ueberwinterungsgruppe im August 1960 bis auf eine Tiefe von 115 cm (R. SCHNEIDER, Tabelle 20).

Tabelle 19. *Dichten und Wasserwerte, Camp VI 1959*

$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	$h$ (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	$h$ (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
Horizontalproben 500 cm <sup>3</sup> .					87	480	5	2,40	33,39
10	424	10	4,24	4,24	93	493	6	2,96	36,35
15	377	5	1,88	6,12	99	447	6	2,68	39,03
20	380	5	1,90	8,02	100	395	100	39,52	39,52
26	407	6	2,44	10,46	104	489	5	2,44	41,47
32	370	6	2,22	12,68	109	487	5	2,43	43,90
37	316	5	1,57	14,25	113	533	4	2,13	46,03
43	321	6	1,93	16,18	130	480	17	8,16	54,19
51	367	8	2,94	19,12	157	510	27	13,75	67,94
58	374	7	2,64	21,76	185	477	28	13,35	81,29
64	360	6	2,16	23,92	200	489	100	48,87	88,39
70	353	6	2,12	26,04	220	474	35	16,57	97,86
75	330	5	1,65	27,69					
82	473	7	3,30	30,99					

(Fortsetzung)

Tabelle 19 (fortgesetzt).

$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg $m^{-3}$ )	$h$ (cm)	$h_w$ (cm $H_2O$ )	$H_w$ (cm $H_2O$ )	$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg $m^{-3}$ )	$h$ (cm)	$h_w$ (cm $H_2O$ )	$H_w$ (cm $H_2O$ )
Kernbohrung vertikal									
249	494	29	14,30	112,16	425	529	53	28,00	202,62
261	425	12	5,10	117,26	439	494	14	6,90	209,5
290	433	29	12,53	129,79	451	487	12	5,84	215,35
294	650	4	2,60	132,39	460	805	9	7,25	222,60
300	466	100	46,58	134,97	470	578	10	5,78	228,38
308	430	14	6,02	138,41	479	537	9	4,83	233,21
324	562	16	9,00	147,41	493	480	14	6,71	239,82
330	615	6	3,69	151,10	500	536	100	53,63	243,05
340	754	10	7,54	158,64	505	538	12	6,46	240,38
372	498	32	15,95	174,62	520	607	15	9,10	255,48
400	544	100	54,45	189,42					

Tabelle 20. *Dichten und Wasserwerte, Camp VI 1960*

9.8.1960 Ort: Zentrum des Niederschlagsfeldes.

Messungen R. SCHNEIDER

500  $cm^{-3}$ -Sonden, horizontal und vertikal.

$Z$ (cm)	$\gamma$ (kg $m^{-3}$ )	$Z_u$ (cm)	$h_w$	$H_w$
6	616	15	7,69	7,69
12	464	30	5,37	13,06
19	416	45	5,10	18,16
40	392	60	8,05	26,21
50	504	75	6,98	33,19
60	484			
70	412			
80	524			
91	502			
115	484			

## 2. Milcent

Die Messungen datieren von

- Juni 1959 entnommen aus dem 4 m Profilschacht und einer vertikalen Kernbohrung von 5,7 m (A. ROCH, Tabelle 21)
- August 1959 aus einem Profil 2 m (A. ROCH, Tabelle 22)
- August 1960 aus einem Profil 2,40 m der Ueberwinterungsgruppe (A. ROCH, Tabelle 23)

Tabelle 21. *Dichten und Wasserwerte (2.6.1959), Milcent*

Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)
0-13	421	13	5,47	5,47	238	462	5	2,31	92,46
20	349	7	2,44	7,91	247	466	9	4,20	96,66
25	365	5	1,82	9,73	255	418	8	3,34	100,00
29	375	4	1,50	11,23	263	371	8	2,97	102,97
38	396	9	3,56	14,79	271	387	8	3,10	106,07
43	370	5	1,85	16,64	276	414	5	2,07	108,14
46	390	3	1,17	17,81	284	425	8	3,40	111,54
50	395	4	1,58	19,39	291	407	7	2,85	114,39
57	367	7	2,57	21,96	298	442	7	3,09	117,48
63	336	6	2,01	23,97					
68	332	5	1,66	25,63	300	437	100	43,68	118,39
74	366	6	2,19	27,82	304	456	6	2,14	120,22
79	391	5	1,95	29,77	314	471	10	4,71	124,93
85	384	6	2,30	32,07	326	459	12	5,50	130,43
90	386	5	1,93	34,00	332	443	6	2,66	133,09
96	345	6	2,07	36,07	339	451	7	3,16	136,25
100	377	100	37,56	37,56	345	458	6	2,75	139,00
102	372	6	2,23	38,30	351	448	6	2,69	141,69
108	367	6	2,20	40,50	359	435	8	3,48	145,17
112	331	4	1,32	41,82	367	429	8	3,43	148,60
118	368	6	2,20	44,02	371	440	4	1,76	150,36
124	393	6	2,35	46,37	376	408	5	2,04	152,40
135	368	5	1,84	50,04	382	377	6	2,26	154,66
139	335	4	1,34	51,38	387	440	5	2,20	156,86
145	352	6	2,11	53,49	390	447	3	1,34	158,20
149	359	4	1,43	54,92	395	439	5	2,19	160,39
154	357	5	1,78	56,70	400	444	100	44,40	162,79
159	363	5	1,82	58,52	404	480	9	4,32	164,71
165	355	6	2,13	60,65	436	501	22	11,00	180,71
171	378	6	2,26	62,91	446	479	10	4,79	185,50
175	370	4	1,48	64,39	458	513	12	6,17	191,67
179	401	4	1,60	65,99	469	456	11	5,01	196,68
184	401	5	2,00	67,99	480	465	11	5,11	201,79
188	392	4	1,57	69,56	491	460	11	5,06	206,85
192	402	4	1,61	71,17	500	483	100	48,28	211,07
197	430	5	2,15	73,32	502	469	11	5,15	212,00
200	372	100	37,15	74,71	520	492	18	8,86	220,86
206	464	9	4,17	77,49	537	512	17	8,71	229,57
213	468	7	3,28	80,77	554	509	17	8,67	238,24
223	471	10	4,71	85,48	565	534	11	5,87	244,11
228	467	5	2,33	87,81	600	517	100	51,73	262,80
233	468	5	2,34	90,15					



Tabelle 22. *Dichten, Milcent*

10.8.1959 Messungen: A. ROCH

$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kgm <sup>-3</sup> )	$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )
7	232	64	389	20	252
12	357	69	409	40	306
19	417	76	374		
25	331	79	396		
30	267	88	404		
36	285	93	418		
41	282	100	438		
47	309	107	365		
54	289	110	390		
60	356	116	332		

Tabelle 23. *Dichten und Wasserwerte, Milcent*

6.8.1960 (Zentrum des Niederschlagsfeldes)

Messungen R. SCHNEIDER

Sonden 500 cm<sup>3</sup> horizontal und vertikal

$Z$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	$Z_u$ (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$Z$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	$Z_u$ (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
6	258				118	364	116	4,24	44,77
13	316	15	4,55	4,55	127	326			
21	376				135	342	130	4,90	49,67
28	448	30	6,15	10,70	144	368			
37	426				152	450	148 <sup>1)</sup>	6,71	56,38
45	426	45	6,35	17,05	160	438			
53	390				167	444	165	7,36	63,74
60	420	60	5,96	23,01	176	456			
68	412				185	472	180	6,75	70,49
76	400	75	6,31	29,32	193	464	195	7,02	77,51
84	414				205	386			
92	340	90	5,96	35,28	215	420	210	6,55	84,06
101	330				227	438	225	6,43	90,49
110	388	105	5,25	40,53	235	352	240	6,12	96,61

<sup>1)</sup> Horizont des Niederschlagsgitters.

3. Station Centrale

Es liegen Messungen vor

- a) vom 9.6.1959 – bis in eine Tiefe von 231 cm durch Horizontalausstich mit 500 cm<sup>3</sup>-Sonden (A. ROCH)

- bis in 400 cm Tiefe durch horizontale Kernbohrung (SIPRE-Bohrer) (A. ROCH)
- von 190 cm bis 3073 cm durch vertikale Kernbohrung (A. RENAUD)

Diese Messungen sind zusammengestellt in Tabelle 24 und 25

- b) vom 7.8.1959 bis in 200 cm Tiefe (A. ROCH) siehe Tabelle 26
- c) vom 2.8.1960, gemessen im Zentrum des Niederschlagsfeldes (R. SCHNEIDER) siehe Tabelle 27

Tabelle 24. *Dichten und Wasserwerte (9.6.1959), Station Centrale*

Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)
0-11	312	11,0	3,44	3,44	198	394	5,5	2,16	74,60
18,5	292	7,5	2,19	5,63	200	396	100	39,64	75,37
23	381	4,5	1,71	7,34	200,5	384	2,5	0,96	75,56
32,5	373	9,5	3,54	10,88	203	312	2,5	0,78	76,34
43	380	10,5	4,00	14,88	206	360	3,0	1,08	77,42
49	356	6,0	2,13	17,01	210	353	4,0	1,41	78,83
55	394	6,0	2,36	19,37	214	347	4,0	1,39	80,22
60,5	385	5,5	2,12	21,49	217,5	372	3,5	1,30	81,52
66	369	5,5	2,03	23,52	221,5	358	4,0	1,43	82,95
73	370	7,0	2,59	26,11	227,5	348	6,0	2,08	85,03
79,5	341	6,5	2,21	28,32	233,5	378	6,0	2,27	87,30
85,5	351	6,0	2,10	30,42	239,5	381	6,0	2,28	89,58
92	360	6,5	2,34	32,76	250,5	426	11,0	4,68	94,26
99,5	374	7,5	2,80	35,56	259	402	8,5	3,41	98,37
100	357	100	35,73	35,73	267	390	8,0	3,12	100,79
107	335	7,5	2,52	38,08	279	425	12,0	5,10	105,89
113,5	315	6,5	2,04	40,12	287	371	8,0	2,97	108,86
119,5	313	6,0	1,88	42,00	294,5	319	7,5	2,39	111,25
125,5	367	6,0	2,20	44,20	300	378	100	37,83	113,20
132,5	402	7,0	2,81	47,01	306	355	11,5	4,09	115,34
140,5	384	8,0	3,07	50,08	314	395	8,0	3,15	118,49
146	412	5,5	2,26	52,34	320,5	447	6,5	2,90	121,39
151	407	5,0	2,03	54,37	329,5	452	9,0	4,06	125,45
156,5	435	5,5	2,39	56,76	337	485	7,5	3,64	129,09
162	430	5,5	2,36	59,12	344	435	7,0	3,04	132,13
167	420	5,0	2,10	61,22	354	427	10,0	4,27	136,40
172	432	5,0	2,16	63,38	364	426	10,0	4,26	140,66
177	438	5,0	2,19	65,57	371,5	421	7,5	3,15	143,81
182	443	5,0	2,21	67,78	380	403	8,5	3,42	147,23
186	421	4,0	1,68	69,46	388,5	413	8,5	3,50	150,73
192,5	460	6,5	2,98	72,44	400	452	11,5	5,21	155,94
					400	427	100	42,74	155,94

Tabelle 25. *Dichten und Wasserwerte* (9.–13.6.1959), *Station Centrale*  
Kernbohrung vertikal.

Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)
0–190				71,14	858	543	11	5,96	381,01
200	377	200	75,44	75,44	873	520	15	7,80	388,81
203	430	13	5,60	76,74	889	529	16	8,46	397,27
215	421	12	5,06	81,80	900	520	100	51,95	402,87
235	429	20	8,59	90,39	901	509	12	6,10	403,37
250	395	15	5,92	96,31	916	484	15	7,25	410,62
280	408	30	12,24	108,55	930	479	14	6,70	417,32
300	403	100	40,26	115,70	939	539	9	4,85	422,17
310	357	30	10,70	119,25	952	518	13	6,75	428,92
335	457	25	11,42	130,67	970	545	18	9,80	438,72
355	461	20	9,22	139,89	979	520	9	4,68	443,40
400	441	100	44,12	159,82	993	547	14	7,66	451,06
420	443	65	28,80	168,69	1000	520	100	51,97	454,84
465	453	45	20,30	188,99	1010	539	17	9,15	460,21
491	422	26	10,93	199,92	1015	491	5	2,45	462,66
500	444	100	44,37	204,19	1031	539	16	8,61	471,27
504	475	13	6,16	206,08	1050	532	19	10,10	481,37
520	498	16	7,99	214,07	1062	539	12	6,46	487,83
545	484	25	12,10	226,17	1081	550	19	10,43	498,26
565	427	20	8,55	234,72	1090	593	9	5,34	503,60
580	520	15	7,80	242,52	1100	547	100	54,66	509,50
597	497	17	8,45	250,97	1101,5	590	11,5	6,78	510,38
600	482	100	48,25	252,44	1122	543	20,5	11,12	521,50
618	490	21	10,27	261,24	1130	475	8	3,80	525,30
629	497	11	5,45	266,69	1139	555	9	5,00	530,30
668	504	39	19,60	286,29	1157	555	18	9,99	540,29
677	503	9	4,51	290,80	1170	555	13	7,21	547,50
690	465	13	6,05	296,85	1184	547	14	7,66	555,16
700	491	100	49,06	301,50	1196	541	12	6,49	561,65
704	441	14	6,19	303,04	1200	544	100	54,36	563,86
747	507	43	21,75	324,79	1210	552	14	7,73	569,38
770	500	23	11,47	336,26	1220	547	10	5,47	574,85
782	527	12	6,32	342,58	1232	559	12	6,71	581,56
800	494	100	49,42	350,92	1248	573	16	9,17	590,73
805	463	23	10,60	353,18	1272	555	24	13,32	604,05
821	517	16	8,27	361,45	1279	539	7	3,77	607,82
847	523	26	13,60	375,05	1290	552	11	6,07	613,89
					1298	629	8	5,03	618,92
					1300	562	100	56,18	620,04

(Fortsetzung)

Tabelle 25 (fortgesetzt).

Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)
1310	561	12	6,73	625,65	1777	603	7	4,22	897,53
1320	562	10	5,62	631,27	1793	593	16	9,49	907,02
1333	563	13	7,32	638,59	1800	595	100	59,52	911,18
1347	568	14	7,95	646,54	1806	595	13	7,73	914,75
1360	589	13	7,66	654,20	1813	529	7	3,70	918,45
1377	601	17	10,22	664,42	1827	667	14	9,34	927,79
1391	568	14	7,95	672,37	1843	601	16	9,62	937,41
1400	511	9	4,60	676,97	1856	609	13	7,92	945,33
1400	569	100	56,93	676,97	1879	600	23	13,80	959,13
1404	559	4	2,24	679,21	1891	593	12	7,17	966,30
1416	552	12	6,62	685,83	1900	606	100	60,58	971,76
1425	518	9	4,66	690,49	1903	607	12	7,28	973,58
1441	575	16	9,20	699,69	1915	588	12	7,06	980,64
1461	565	20	11,30	710,99	1929	615	14	8,61	989,25
1475	607	14	8,50	719,49	1956	599	27	16,17	1005,42
1492	568	17	9,66	729,15	1966	613	10	6,13	1011,55
1500	565	100	56,52	733,49	1976	601	10	6,01	1017,56
1506	543	14	7,60	736,75	1993	613	17	10,42	1027,98
1517	563	11	6,19	742,94	2000	604	100	60,37	1032,13
1526	555	9	4,99	747,93	2010	593	17	10,08	1038,06
1535	611	9	5,50	753,43	2042	600	32	19,20	1057,26
1551	629	16	10,06	763,49	2057	615	15	9,22	1066,48
1570	583	19	11,08	774,57	2076	615	19	11,68	1078,16
1578	585	8	4,68	779,25	2092	620	16	9,92	1088,08
1596	588	18	10,58	789,83	2100	608	100	60,80	1092,93
1600	597	4	2,39	792,22	2107,5	607	15,5	9,41	1097,49
1600	587	100	58,73	792,22	2120	593	12,5	7,41	1104,90
1615	601	15	9,02	801,24	2133,5	623	13,5	8,41	1113,31
1633	583	18	10,49	811,73	2148,5	627	15	9,40	1122,71
1651	590	18	10,62	822,35	2160	627	11,5	7,21	1129,92
1657,5	588	6,5	2,82	826,17	2173	620	13	8,06	1137,98
1674	611	16,5	10,08	836,25	2191	620	18	11,16	1149,14
1680	605	6	3,63	839,88	2200	617	100	61,74	1154,67
1690	601	10	6,01	845,89	2203	615	12	7,38	1156,52
1700	594	100	59,44	851,66	2215	631	12	7,57	1164,09
1709	577	19	10,96	856,85	2228,5	625	13,5	8,44	1172,52
1726	593	17	10,08	866,93	2242	615	13,5	8,30	1180,83
1741	633	15	9,49	876,42	2264	620	22,0	13,64	1194,47
1755,5	595	14,5	8,63	885,05					
1770	570	14,5	8,26	893,31					

(Fortsetzung)

Tabelle 25 (fortgesetzt).

$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg $m^{-3}$ )	$h$ (cm)	$h_w$ (cm $H_2O$ )	$H_w$ (cm $H_2O$ )	$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg $m^{-3}$ )	$h$ (cm)	$h_w$ (cm $H_2O$ )	$H_w$ (cm $H_2O$ )
2272	620	8	4,96	1199,43	2678	638	18	11,48	1459,78
2287	636	15	9,54	1208,97	2689	649	11	7,14	1466,92
2300	624	100	62,40	1217,07	2700	647	11	7,12	1474,04
2302	623	15	9,34	1218,31	2700	649	100	64,87	1474,04
2312	623	10	6,23	1224,54	2720	659	20	13,18	1487,22
2328,5	636	16,5	10,49	1235,03	2736	659	16	10,54	1497,76
2343	638	14,5	9,25	1244,28	2758	633	22	13,93	1511,69
2357	640	14	8,96	1253,24	2770	665	12	7,98	1519,67
2375	629	18	11,32	1264,56	2784	652	14	9,13	1528,80
2388	661	13	8,59	1273,15	2799	647	15	9,70	1538,50
2400	639	100	63,87	1280,94	2800	651	100	65,11	1539,15
2405	647	17	10,10	1283,25	2815,5	654	16,5	10,79	1549,29
2420	643	15	9,64	1292,89	2828	647	12,5	8,09	1557,38
2435	643	15	9,64	1302,53	2843	659	15	9,88	1567,26
2447	638	12	7,66	1310,19	2870,5	649	27,5	17,85	1585,11
2462	627	15	9,43	1319,62	2885	647	14,5	9,38	1594,49
2485	633	23	14,56	1334,18	2897	661	12	7,93	1602,42
2499	647	14	9,06	1343,24	2900	653	100	65,26	1604,41
2500	629	100	62,95	1343,89	2915	665	18	11,97	1614,39
2510	647	11	7,12	1350,36	2930	649	15	9,73	1624,12
2520	633	10	6,33	1356,69	2945	645	15	9,67	1633,79
2534	647	14	9,06	1365,75	2955	649	10	6,49	1640,28
2549,5	651	15,5	10,09	1375,84	2970	651	15	9,76	1650,04
2572	654	22,5	14,71	1390,55	3000	652	100	65,16	1669,57
2589	661	17	11,24	1401,79	3004	651	34	22,13	1672,17
2600	653	100	65,28	1409,17	3018	651	14	9,11	1681,28
2603	670	14	9,38	1411,17	3047	659	29	19,11	1700,39
2620	643	17	10,93	1422,10	3058	663	11	7,29	1707,68
2640	663	20	13,26	1435,36	3073	661	15	9,91	1717,59
2660	647	20	12,94	1448,30					

Tabelle 26. *Dichten (7.8.1959), Station Centrale*

Messungen A. ROCH

Sonden 500 cm<sup>3</sup>, Ø 57 mm

Z (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	Z	$\gamma$
6	298	56	386
11	236	60	377
16,5	329	66,5	359
22	323	72,5	406
28	312	79	410
33,5	348	85	391
37,5	382	89	379
43	410	96	383
47,5	405	101	387
51	383	109	376

Tabelle 27. *Dichten und Wasserwerte (2.8.1960), Station Centrale*

Messungen R. SCHNEIDER

Sonden 500 cm<sup>3</sup>, Ø 57. Horizontalproben für Dichtemessungen, Vertikalabstiche für Wasserwerte

Z (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	Z <sub>u</sub> (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	Z (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	Z <sub>u</sub> (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)
4	244				103	336	105	5,25	37,91
10	296	15	3,41	3,41	110	316			
16	352				118	384			
26	384				125	390	125 <sup>1)</sup>	7,85	45,76
34	428	30	6,04	9,45	132	412			
40	404				141	400	140	5,88	51,64
47	406	45	5,96	15,41	148	440			
54	400				158	424	155	6,28	57,92
61	418	60	5,96	21,37	163	440			
68	400				170	446	170	6,75	64,67
74	404	75	5,73	27,10	178	416			
81	376				186	416	185	5,88	70,55
88	350				193	398			
95	318	90	5,56	32,66	200	330	200	5,56	76,11

<sup>1)</sup> Niveau des Gitters.

## 4. Dépôt 275 (Crête)

Hier sind nur Messungen der Sommercampagne 1959 verfügbar, und zwar vom 22. Juni Horizontalproben aus einem 2-m Schacht (A. ROCH) und aus einer 16 m – Kernbohrung (A. RENAUD) und vom 5. August aus einem 2 m-Profil (A. ROCH). (Tabellen 28 und 29).

Tabelle 28. *Dichten und Wasserwerte (22.6.1959), Dépôt 275 (Crête)*  
Horizontalproben 500 cm<sup>3</sup> bis 200 cm, dann Kernbohrung vertikal

Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)
11	292	11	3,21	3,21	220	414	8	3,30	80,91
17	368	6	2,90	5,41	226	421	6	2,52	83,43
21	363	4	1,45	6,86	239	491	13,5	6,63	90,06
25	355	4	1,42	8,28	250	363	10,5	3,81	93,87
30	360	5	1,80	10,08	262	378	12	4,54	98,41
34	378	4	1,52	11,60	278,5	418	16,5	6,90	105,31
39	378	5	1,89	13,49	293	405	14,5	5,87	111,18
44	366	5	1,83	15,32	300	387	7	2,7	113,88
49	381	5	1,90	17,22	300	410	100	41,00	113,88
53	326	4	1,30	18,52	316	403	16	6,45	120,33
58	338	5	1,69	20,21	331	396	15	5,94	126,27
62	311	4	1,24	21,45	340	401	9	3,61	129,88
66	327	4	1,30	22,75	353	456	13	5,93	135,81
70	328	4	1,31	24,06	368	403	15	6,05	141,86
75	298	5	1,49	25,55	383	405	15	6,08	147,94
80	231	5	1,15	26,70	399,5	430	16,5	7,10	155,04
85	309	5	1,55	28,25	400	414	100	41,39	155,27
90	349	5	1,75	30,00	420	464	20,5	9,5	164,54
94	383	4	1,53	31,53	436	453	16	7,25	171,79
100	402	6	2,40	33,93	450	459	14	6,43	178,22
100	339	100	33,93	33,93	460	423	10	4,23	182,45
106	368	6	2,20	36,13	477	418	17	7,11	189,56
110	382	4	1,53	37,66	491,5	469	14,5	6,80	196,36
115	387	5	1,93	39,59	500	489	8,5	4,15	200,51
120	405	5	2,02	41,61	500	452	100	45,24	200,51
125	414	5	2,07	43,68	514	451	14	6,32	206,83
130	412	5	2,06	45,74	519	451	19	8,60	209,11
136	408	6	2,45	48,19	535	446	16	7,14	216,25
142	392	6	2,35	50,54	540	486	5	2,43	218,68
150	355	8	2,84	53,38	554,5	457	14,5	6,62	225,30
155	315	5	1,57	54,95	568	412	13,5	5,56	230,86
162	330	7	2,31	57,26	580	443	12	5,32	236,18
167	341	5	1,71	58,97	595,5	446	14,5	6,48	242,66
171	405	4	1,62	60,59	600	440	100	3,96	244,47
178	416	7	2,91	63,50	610	403	14,5	5,85	248,51
185	418	7	2,92	66,42	620	428	10	4,28	252,79
191	423	6	2,54	68,96	636	450	16	7,20	259,99
198	441	7	3,08	72,04	651	484	15	7,26	267,25
200	390	100	38,95	72,88	660	443	9	3,98	271,23
205	417	7	2,92	74,96					
212	379	7	2,65	77,61					

(Fortsetzung)

Tabelle 28 (fortgesetzt).

$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg $m^{-3}$ )	$h$ (cm)	$h_w$ (cm $H_2O$ )	$H_w$ (cm $H_2O$ )	$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg $m^{-3}$ )	$h$ (cm)	$h_w$ (cm $H_2O$ )	$H_w$ (cm $H_2O$ )
678	491	18,5	9,10	280,33	1128,5	557	14	7,80	508,22
693	475	14,5	6,89	287,22	1140	529	11,5	6,08	514,30
700	426	7	2,98	290,20	1159	543	19	10,30	524,60
700	457	100	45,73	290,20	1172	540	13	7,0	531,60
712,5	453	12,5	5,66	295,86	1178,5	543	6,5	3,53	534,13
727,5	480	15	7,20	303,06	1190	536	11,5	6,17	541,30
740	483	12,5	6,04	309,10	1200	541	100	54,06	546,73
755	484	15	7,26	316,36	1205,5	543	15,5	8,42	549,72
770	504	15	7,57	323,93	1220	551	14,5	8,0	557,72
780	475	10	4,75	328,68	1231,5	559	11,5	6,42	564,14
796	498	16	7,99	336,67	1248	538	16,5	8,89	573,03
800	485	100	48,46	338,66	1260	538	12	6,46	579,49
812	498	16	7,99	344,66	1274	550	14	7,70	587,19
826	498	14	6,98	351,64	1289	545	15	8,18	595,37
844,5	500	18,5	9,25	360,89	1300	559	11	6,15	601,52
860	418	15,5	6,50	367,39	1300	548	100	54,79	601,52
872	510	12	6,12	373,51	1314,5	570	14,5	8,27	609,79
886,5	543	14,5	7,88	381,39	1328,5	574	14	8,04	617,83
900	518	13,5	7,00	388,39	1340	566	11,5	6,52	624,35
900	497	100	49,73	388,39	1355	568	15	8,55	632,90
914	514	14	7,19	395,58	1369	568	14	7,96	640,86
929	507	15	7,60	403,18	1383	572	14	8,01	648,87
941	514	12	6,16	409,34	1398	550	15	8,26	657,13
960	500	19	9,50	418,84	1400	568	100	56,75	658,27
974	507	14	7,09	425,93	1412,5	571	14,5	8,28	665,41
980	520	6	3,12	429,05	1420	564	7,5	4,22	669,63
992,5	520	12,5	6,50	435,55	1437,5	561	17,5	9,82	679,45
1000	513	100	51,26	439,65	1452	559	14,5	8,10	687,55
1007	543	14,5	7,88	443,43	1461	532	9	4,79	692,34
1021	520	14	7,29	450,72	1472	564	11	6,20	698,54
1036	525	15	7,88	458,60	1486	564	14	7,90	706,44
1050	531	14	7,45	466,05	1500	570	14	7,99	714,43
1060	523	10	5,23	471,28	1500	562	100	56,16	714,43
1072,5	536	12,5	6,70	477,98	1516	575	16	9,21	723,64
1087,5	527	15	7,90	485,88	1531	575	15	8,62	732,26
1100	543	12,5	6,79	492,67	1540	559	9	5,02	737,28
1100	530	100	53,02	492,67	1551	581	11	6,39	743,67
1114,5	534	14,5	7,75	500,42	1565	590	14	8,27	751,94
					1580	572	15	8,58	760,52



Tabelle 29. *Dichten (5.8.1959), Dépôt 275 (Crête)*  
Messungen A. ROCH

Z (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	Z (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )
9	390	66	372
13	438	73	354
19	417	77	361
25	297	82	361
30	296	89	308
35	380	94	264
41	362	98	322
46	386	103	334
51	383	110	351
58	421	117	373

### 5. Jarl-Joset

An der während mehr als einem Jahr besetzten Hauptstation Jarl-Joset wurden Dichtemessungen ausgeführt

- in den monatlichen Feldprofilen (A. ROCH, R. SCHNEIDER)
- mittels einer vertikalen Kernbohrung (A. RENAUD)
- im Schacht Dumont (R. SCHNEIDER, F. BRANDENBERGER)

Von den Messungen der Feldprofile werden hier nur diejenigen vom 2.7.59 wiedergegeben. Die anderen sind in dem geschlossenen Beitrag über die Entwicklung der Oberflächenschicht während der Ueberwinterung (R. SCHNEIDER) enthalten.

Die Kernbohrung ist mit dem primären Zweck der Entnahme von Tritiumproben in unmittelbarer Nähe (ca. 25 m) des Schachtes Dumont vorgenommen worden, um eine möglichst enge Beziehung zur Stratigraphie des Schachtes herzustellen. Ausnahmsweise sind die Tiefenkoten nicht auf die effektive Oberfläche bezogen, sondern auf das Bezugsniveau für die Tiefenskala des Schachtes (Pegel Dumont O). Wegen der oberflächlichen Störung durch die Expedition Dumont werden die Dichtewerte – wie auch im Schacht – erst ab 400 cm Tiefe verwendet.

Die Messungen im Schacht Dumont stammen aus einer längeren Periode aus dem Jahr 1960. Bei der von R. SCHNEIDER bearbeiteten Serie handelt es sich um die S. 71 beschriebenen Quaderproben.

Aus diesen Messungen haben wir in folgender Weise mittlere Dichten bzw. Meterwerte des Wasserwertes bestimmt:

$$\gamma = \frac{\gamma_{ro} + \sum^n 2\gamma_i + \gamma_{ru}}{2n + 2}$$

Bedeutung der Indexe: *ro* obere Randwert eines Meterabschnittes  
*ru* unterer Randwert eines Meterabschnittes  
*i* Werte im Innern  
*n* Zahl der Innenwerte

Daraus ist eine Vergleichsmöglichkeit mit den Kernbohrungen und vor allem eine Bestimmung des gesamten Wasserwertes bis zum Niveau des Schachtbodens (39 m) gewonnen worden (Tabelle 32 u. Abb. 28).

Während sich die Messungen von R. SCHNEIDER gleichmässig auf die ganze Tiefe des Schachtes erstreckten, hat F. BRANDENBERGER an einzelnen Stellen in einem engen Bereich seitliche Bohrproben entnommen und deren Dichte bestimmt. (Tabelle 33).

Die *Tiefenangaben* beziehen sich, wenn nicht anders erwähnt, auf die Oberfläche im August 1959 (O-Marke am Pegel Dumont in Bezug auf den Schacht Dumont). Zwischen den Oberflächen an den Stellen des Feldprofils, der Kernbohrungen und des Schachtes Dumont bestehen absolute Niveauunterschiede, die hier nicht berücksichtigt sind. Der Skalennullpunkt (Oberfläche) des Feldprofils vom 2.7.59 befand sich z.B. nach F. BRANDENBERGER 66,3 cm unter dem Niveau des Oberflächenbezugspunktes für den Schacht Dumont.

Tabelle 30. *Dichten und Wasserwerte, Station Jarl-Joset*  
Profilschacht (Feldprofil) 2.7.1959

Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)
5	350	5,0	1,75	1,75	96,5	421	5,5	2,32	35,02
9,5	346	4,5	1,56	3,31	100	364	100	36,44	36,44
14,5	371	5,0	1,85	5,16	101	407	4,5	1,83	36,85
19	369	4,5	1,66	6,82	104,5	408	3,5	1,43	38,28
24,5	384	5,5	2,11	8,93	109	408	4,5	1,84	40,12
29,5	390	5,0	1,95	10,88	114,5	377	5,5	2,07	42,19
35	404	5,5	2,22	13,10	119,5	295	5,0	1,47	43,66
41,5	444	6,5	2,88	15,98	125	331	5,5	1,82	45,48
48	357	6,5	2,32	18 30	131	329	6,0	1,97	47,45
52,5	289	4,5	1,30	19,60	137	424	6,0	2,54	49,99
57	246	4,5	1,10	20,70	143	416	6,0	2,50	52,49
63	219	6,0	1,31	22,01	148,5	401	5,5	2,20	54,69
68,5	339	5,5	1,86	23,87	154,5	430	6,0	2,58	57,27
74	368	5,5	2,02	25,89	161,5	435	7,0	3,04	60,31
80	422	6,0	2,53	28,42	168	437	6,5	2,84	63,15
85,5	379	5,5	2,08	30,50	173,5	433	5,5	2,38	65,53
91	401	5,5	2,20	32,70					

(Fortsetzung)

Tabelle 30 (fortgesetzt).

$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
179	364	5,5	2,00	67,53	299	435	5,5	2,39	113,66
180	332	1,0	0,33	67,88	300	387	100	38,67	114,03
185	332	6,5	2,16	69,69	307,5	369	8,5	3,14	116,80
191,5	388	6,0	2,32	72,01	314,5	358	7,0	2,50	119,30
197	388	5,5	2,13	74,14	320	365	5,5	2,01	121,31
200	389	100	38,92	75,36	327,5	400	7,5	3,00	124,31
204	405	7,0	2,84	76,98	335	420	7,5	3,14	127,45
211	401	7,0	2,80	79,78	341,5	467	6,5	3,03	130,48
216,5	368	5,5	2,02	81,80	347,5	480	6,0	2,88	133,36
220,5	408	4,0	1,63	83,43	355,5	460	8,0	3,68	137,04
228	400	7,5	3,00	86,43	362	480	6,5	3,12	140,16
241	338	13,0	4,40	90,83	368	446	6,0	2,67	142,83
250,5	384	9,5	3,64	94,47	375	434	7,0	3,04	145,87
259	366	8,5	3,10	97,57	382	418	7,0	2,93	148,80
267	329	8,0	2,63	100,20	390	426	8,5	3,62	152,42
273	382	6,0	2,29	102,49	398,5	421	8,0	3,36	155,78
284	412	11,0	4,53	107,02	400	424	100	42,37	156,40
293,5	448	9,5	4,25	111,27					

Tabelle 31. *Dichten und Wasserwerte, Station Jarl-Joset*

Vertikale Kernbohrung 26.–29.6.1959 – Messung A. RENAUD  
*Tiefen  $Z'_u$  bezogen auf Oberfläche am Pegel Dumont (0-Marke Schacht Dumont). Effektive Tiefen ab Oberfläche 56 cm kleiner. \* interpolierte Werte.*

$Z'_u$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$Z'_u$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
400–					511	432	11	4,75	49,13
408	475	8	3,80	3,80	527	466	16	7,45	56,58
422	448	14	6,27	10,07	542	489	15	7,34	63,92
431	493	9	4,43	14,50	556	401	14	5,62	69,54
436	470*	5	2,35	16,85	571	441	15	6,62	76,16
447	448	11	4,92	21,77	584	434	13	5,65	81,81
462	412	15	6,16	27,93	600	426	16	6,81	88,62
476	430	14	6,02	33,95	600	442	100	44,24	88,62
492	437	16	7,15	41,10	616	438	16	7,01	95,63
497	396	5	1,98	43,08	631	507	15	7,60	103,23
500	432	3	1,30	44,38	640	493	9	4,44	107,67
500	444	100	44,38	44,41	656	457	16	7,32	114,99

(Fortsetzung)

Tabelle 31 (fortgesetzt).

$Z_u'$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$Z_u'$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
664	498	8	3,98	118,97	1100	548	8	4,38	340,70
676	469	12	5,63	124,60	1100	526	100	52,61	340,70
687	434	11	4,77	129,37	1106	548	6	3,29	343,99
696	466	9	4,19	133,56	1119	520	13	6,75	350,74
700	469	4	1,87	135,43	1134	552	15	8,29	359,03
700	468	100	46,81	135,43	1148	566	14	7,91	366,94
711	469	11	5,15	140,58	1156	616	8	4,94	371,88
726	489	15	7,34	147,92	1172	550	16	8,80	380,68
740	493	14	6,90	154,82	1186	543	14	7,60	388,28
756	482	16	7,39	162,21	1196	568	10	5,68	393,96
770	527	14	7,38	169,59	1200	557	4	2,23	396,19
785	507	15	7,60	177,19	1200	555	100	55,49	396,19
796	498	11	5,48	182,67	1208	557	8	4,45	400,64
800	500	4	2,00	184,67	1222	550	14	7,70	408,34
800	492	100	49,24	184,67	1236	555	14	7,76	416,10
812	500	12	6,00	190,67	1251	568	15	8,51	424,61
826	509	14	7,11	197,78	1266	566	15	8,49	433,10
836	509	10	5,09	202,87	1276	557	10	5,57	438,67
852	516	16	8,26	211,13	1292	558	16	8,94	447,61
856	514	4	2,06	213,19	1300	559	8	4,46	452,07
861	516	5	2,59	215,78	1300	559	100	55,88	452,07
876	509	15	7,63	223,41	1306	559	6	3,35	455,42
889	514	13	6,66	230,07	1316	540	10	5,40	460,82
900	529	11	5,81	235,88	1332	561	16	8,97	469,79
900	512	100	51,21	235,88	1347	555	15	8,31	478,10
906	529	6	3,17	239,05	1356	577	9	5,18	483,28
916	491	10	4,91	243,96	1367	566	11	6,23	489,51
935	531	19	10,10	254,06	1381	618	14	8,65	498,16
956	493	21	10,36	264,42	1396	566	15	8,49	506,65
967	498	11	5,48	269,90	1400	555	4	2,22	508,87
982	568	15	8,48	278,38	1400	568	100	56,80	508,87
1000	540	18	9,71	288,09	1410	555	10	5,55	514,42
1000	522	100	52,21	288,09	1424	575	14	8,05	522,47
1010	540	10	5,40	293,49	1436	579	12	6,94	529,41
1026	527	16	8,44	301,93	1451	568	15	8,51	537,92
1036	527	10	5,27	307,20	1466	570	15	8,54	546,46
1049	529	13	6,88	314,08	1481	566	15	8,49	554,95
1064	507	15	7,60	321,68	1496	547	15	8,20	563,15
1076	529	12	6,34	328,02	1500	584	4	2,34	565,49
1092	518	16	8,30	336,32	1500	566	100	56,62	565,49

(Fortsetzung)

Tabelle 31 (fortgesetzt).

$Z'_u$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$Z'_u$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
1510	584	10	5,84	571,33	1939	590	15	8,84	821,49
1516	547	6	3,28	574,61	1956	595	17	10,10	831,59
1531	568	15	8,51	583,12	1970	593	14	8,30	839,89
1547	575	16	9,20	592,32	1985	606	15	9,10	848,99
1556	579	9	5,21	597,53	1996	608	11	6,69	855,68
1571	555	15	8,31	605,84	2000	606	4	2,43	858,11
1586	579	15	8,68	614,52	2000	601	100	60,12	858,11
1596	545	10	5,45	619,97	2009	606	9	5,45	863,56
1600	559	4	2,24	622,21	2023	595	14	8,33	871,89
1600	567	100	56,72	622,21	2036	616	13	8,00	879,89
1611	559	11	6,14	628,35	2052	608	16	9,74	889,63
1626	575	15	8,62	636,97	2067	616	15	9,25	898,88
1636	526	10	5,26	642,23	2076	608	9	5,47	904,35
1648	561	12	6,74	648,97	2091	616	15	9,25	913,60
1663	520	15	7,80	656,77	2100	615	9	5,54	919,14
1676	561	13	7,30	664,07	2100	610	100	61,03	919,14
1687	595	11	6,54	670,61	2106	615	6	3,68	922,82
1700	581	13	7,55	678,16	2116	625	10	6,25	929,07
1700	560	100	55,95	678,16	2122	629	6	3,76	932,83
1704	581	4	2,32	680,48	2135	616	13	8,01	940,84
1724	584	20	11,68	692,16	2146	640	11	7,04	947,88
1739	613	15	9,20	701,36	2156	633	10	6,33	954,21
1749	586	10	5,86	707,22	2170	693	14	9,70	963,91
1756	611	7	4,28	711,50	2185	700	15	10,50	974,41
1769	586	13	7,62	719,12	2196	625	11	6,87	981,28
1784	593	15	8,90	728,02	2200	622	4	2,49	983,77
1796	584	12	7,00	735,02	2200	646	100	64,63	983,77
1800	593	4	2,37	737,39	2210	623	10	6,22	989,99
1800	592	100	59,23	737,39	2226	627	16	10,03	1000,02
1809	593	9	5,33	742,72	2240	616	14	8,63	1008,65
1826	597	17	10,15	752,87	2257	654	17	11,10	1019,75
1836	616	10	6,16	759,03	2272	627	15	9,40	1029,15
1847	610*	11	6,70	765,73	2283	630*	11	6,93	1036,08
1864	604	17	10,25	775,98	2298	633	15	9,48	1045,56
1876	608	12	7,30	783,28	2300	620	2	1,24	1046,80
1884	629	8	5,03	788,31	2300	630	100	63,03	1046,80
1900	605	16	9,68	797,99	2316	620	16	9,91	1056,71
1900	606	100	60,60	797,99	2324	631	8	5,05	1061,76
1901	605	1	0,60	798,59	2335	632	11	6,95	1068,71
1916	611	15	9,17	807,76	2346	624*	11	6,86	1075,57
1924	611	8	4,89	812,65	2356	616	10	6,16	1081,73

(Fortsetzung)

Tabelle 31 (fortgesetzt).

$Z_u'$ cm	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$Z_u'$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
2371	643	15	9,64	1091,37	2516	624*	10	6,24	1181,88
2387	627	16	10,02	1101,39	2530	616	14	8,63	1190,51
2399	645	12	7,75	1109,14	2545	627	15	9,41	1199,92
2400	635	1	0,64	1109,78	2556	620	11	6,81	1206,73
2400	630	100	62,98	1109,78	2571	640	15	9,60	1216,33
2413	635	13	8,25	1118,03	2586	631	15	9,46	1225,79
2420	622	7	4,36	1122,39	2596	595	10	5,95	1231,74
2430	629	10	6,29	1128,68	2600	640	4	2,56	1234,30
2436	622	6	3,73	1132,41	2600	625	100	62,46	1234,30
2451	581	15	8,70	1141,11	2611	640	11	7,04	1241,34
2466	625	15	9,37	1150,48	2621	611	10	6,11	1247,45
2481	629	15	9,43	1159,91	2628	647	7	4,54	1251,99
2496	627	15	9,40	1169,31	2646	622	18	11,20	1263,19
2500	633	4	2,53	1171,84	2658	616	12	7,40	1270,59
2500	621	100	62,06	1171,84	2666	630*	8	5,04	1275,63
2506	633	6	3,80	1175,64	2681	643	15	9,64	1285,27
					2681	629	81	50,97	1285,27

Tabelle 32. *Dichtemessungen, Jarl-Joset (Schacht Dumont) ab 400 cm Tiefe nach R. SCHNEIDER (Sommer 1960)*

\* Quaderproben mit 1 Messung pro Kante: 14.6.–30.6.1960  
Quaderproben mit 4 Messungen pro Kante: ab 14.7.1960 (ohne Index)  
+ Mittelwert aus zwei Messungen.  
Mittelwert der Dichte für den vorgängigen Meter und Gesamtwasserwert ab 400 cm. Mittelbildung siehe Text.

Z (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	Z (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
400	440			625	469		
450	480			650	478		
475	445			700	492		
500	452			700	475	47,5	138,2
500	457	45,7	45,7	724	488		
520	439			725	507		
550	454			800	499		
575	457			800	497	49,7	187,9
600	466	interpoliert		850	512		
600	450	45,0	90,7				

(Fortsetzung)

Tabelle 32 (fortgesetzt).

Z (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	Z (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
900	483			2000	586*		
900	502	50,2	238,1	2000	590	59,0	849,1
950	508			2050	585*		
1000	531			2100	597*		
1000	508	50,8	288,9	2100	588	58,8	907,9
1050	504			2150	594*		
1100	536			2200	606*		
1100	519	51,9	340,8	2200	598	59,8	967,7
1150	540			2225	608		
1200	552			2250	619*		
1200	542	54,2	395,0	2275	617		
1250	556			2300	610		
1300	545			2300	613	61,3	1029,0
1300	552	55,2	450,2	2350	607*		
1350	554			2400	609		
1400	548*			2400	608+	60,8	1089,8
1400	550	55,0	505,2	2450	614*		
1450	559*			2500	618*		
1500	555*			2500	614	61,4	1151,2
1500	555	55,5	560,7	2550	621*		
1525	573			2600	633+		
1575	567			2600	623	62,3	1213,5
1600	565*			2650	624+		
1600	567	56,7	617,4	2700	650+		
1650	571*			2700	633	63,3	1276,8
1675	572			2750	645+		
1700	562*			2800	640+		
1700	569	56,9	674,3	2800	645	64,5	1341,3
1750	575*			2850	681+		
1800	578*			2870	641		
1800	572	57,2	731,5	2900	639+		
1850	586*			2900	654	65,4	1406,7
1900	592			2950	670+		
1900	586	58,6	790,1	3000	665		
1925	598			3000	661	66,1	1472,8
1950	582*			3050	634+		

(Fortsetzung)

Tabelle 32 (fortgesetzt).

Z (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	Z (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
3100	655			3500			
3100	647	64,7	1537,5	3550	669		
3150	655			3600	674		
3200	677			3650	673		
3200	660	66,0	1603,5	3700	672		
3250	666			3700	673	67,3	1936,5
3300	648			3750	679		
3300	664	66,4	1669,9	3800	684		
3350				3800	678	67,8	2004,3
3400				3850	693		
3400	656	65,6	1735,5	3900	701		
3450				3900	693	69,3	2073,6

von 26 bis 39 cm: 860,10 cm H<sub>2</sub>O

Tabelle 33. Mittelwerte der Dichten, Station Jarl-Joset 1959/60  
Meterwerte von 4–26 m, Messungen A. RENAUD (Re), R. SCHNEIDER (Sn)

Z <sub>u</sub> (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )			Z <sub>u</sub> cm	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )		
	Re	Sn	Mittel		Re	Sn	Mittel
400–				1600	567	567	567
500	444	457	448	1700	560	569	563
600	442	450	445	1800	592	572	585
700	468	475	470	1900	606	586	599
800	492	497	495	2000	601	590	597
900	512	502	509	2100	610	588	603
1000	522	508	517	2200	646	598	630
1100	526	519	524	2300	630	613	625
1200	555	542	551	2400	630	608	622
1300	559	552	557	2500	621	614	619
1400	568	550	562	2600	625	623	625
1500	566	555	562				

Mittlerer Wasserwert für Z = 400–2600 cm: 1/3 (2 × Re + 1 × Sn)  
H<sub>w</sub> = 1227.3 cm H<sub>2</sub>O



Tabelle 34. *Dichten, Jarl-Joset, Kernbohrungen im Schacht Dumont*  
von F. BRANDENBERGER (1959/60)

Die Tiefen  $Z$  und  $\bar{Z}$  (mittlere Tiefe einer Probe) beziehen sich auf die Oberfläche August 1959, die mittleren Tiefen einer Probengruppe  $Z_m$  sind korrigiert auf den Schneezuwachs zur Zeit der Probenentnahme (74–85 cm).

$Z$ (cm)	$\bar{Z}$ (cm)	$\gamma$ kg/m <sup>3</sup>	$\bar{\gamma}$ kg/m <sup>3</sup>	$Z_m$ (cm)	$Z$ (cm)	$\bar{Z}$ (cm)	$\gamma$ kg/m <sup>3</sup>	$\bar{\gamma}$ kg/m <sup>3</sup>	$Z_m$ (cm)
880– 895	888	483			2408–2422	2415	602		2415
890– 904	897	488			2412–2425	2418	604	615	+ 85
895– 909	902	481			2419–2433	2426	626		2500
895– 911	903	477			2421–2435	2428	612		
896– 910	903	484			2425–2440	2432	616		
904– 923	914	506		913	2420–2434	2427	629		
909– 923	916	524	499	+ 74					
910– 924	917	523		987	2977–2989	2983	671		
911– 925	918	514			2986–2998	2992	673		
922– 940	931	502			2998–3011	3004	640		
923– 940	932	496			3003–3016	3010	640		3012
923– 940	932	514			3010–3023	3016	647	654	+ 85
					3013–3027	3020	656		3097
1372–1387	1380	556			3016–3030	3023	655		
1376–1391	1384	576			3027–3039	3033	646		
1386–1402	1394	545			3023–3036	3030	660		
1387–1402	1394	553							
1392–1415	1404	552		1407	3482–3495	3488	669		
1398–1413	1406	559		+ 75	3491–3505	3498	663		
1402–1417	1410	550	562	1482	3495–3508	3502	682		
1402–1420	1411	552			3502–3515	3508	674		
1412–1433	1422	574			3505–3522	3514	681	676	+ 85
1415–1432	1424	578			3508–3522	3515	667		3598
1419–1436	1428	570			3515–3527	3521	678		
1420–1440	1430	574			3517–3532	3524	686		
					3522–3536	3529	681		
1870–1885	1878	575			3522–3540	3531	674		
1878–1893	1886	576							
1887–1903	1895	583			3980–3993	3986	683		
1887–1903	1895	589			3981–3993	3987	688		
1897–1913	1905	600		1910	3985–3997	3991	683		
1904–1919	1912	596		+ 77	3993–4011	4002	711		
1912–1933	1922	596	589	1987	3994–4006	4000	706		
1914–1930	1922	589			3997–4023	4010	675		
1915–1933	1924	592			4008–4020	4014	689		4012
1919–1934	1926	588			4008–4024	4016	695	694	+ 85
1920–1935	1928	594			4011–4028	4020	686		4097
1923–1940	1932	588			4011–4023	4017	695		
					4011–4030	4020	695		
2387–2400	2394	606			4021–4035	4028	684		
2393–2408	2400	626			4022–4036	4029	695		
2396–2409	2402	601			4024–4040	4032	711		
2403–2415	2409	629			4028–4040	4034	725		
2406–2419	2412	617							

Die Dichtewerte aus dem Schacht Dumont fallen in der Regel etwas kleiner aus als diejenigen der vertikalen Kernbohrungen. Neben systematischen Abweichungen, die durch die Messmethode bedingt sind, kann möglicherweise auch die seit dem Aushub des Schachtes wirksame Spannungsreduktion zu diesem Effekt beigetragen haben.

Aus allen verfügbaren Daten, ohne Berücksichtigung der Kernproben von BRANDENBERGER, erhält man folgenden Wasserwert des Firns über dem Niveau 39 m (alter Schachtboden):

0– 4 m	gemäss Feldprofil A. ROCH	156,4 cm H <sub>2</sub> O
4–26 m	Mittel der Messungen A. RENAUD (2 ×) und R. SCHNEIDER (1 ×)	1227,3 cm H <sub>2</sub> O
26–39 m	Messungen R. SCHNEIDER	860,1 cm H <sub>2</sub> O
	Zuschlag für Eisschichten 0– 4 m	0,8 cm H <sub>2</sub> O
	- - - 26–39 m	1,4 cm H <sub>2</sub> O
Totaler Wasserwert bis 39 m Tiefe		2246,0 cm H <sub>2</sub> O

Setzt man den Fehler für die gemittelten Wasserwerte zu  $\pm 3\%$ , wird bei einer Normalverteilung der mittlere Fehler des Gesamtwasserwertes  $3/\sqrt{26} \approx 0,5\%$  oder  $\pm 11$  cm H<sub>2</sub>O.

Die Einzelwerte der Dichten sind in den Profildarstellungen (Abb. 16–25) graphisch aufgezeichnet.

Die Meterwerte von ROCH, RENAUD und SCHNEIDER, sowie die Mittelwerte der Messungen von BRANDENBERGER sind in Abb. 28 eingetragen.

6. Dépôt 420

Diese Station wurde nur einmal aufgesucht. Das Dichteprofil, aufgenommen am 3.7.1959 durch A. ROCH auf eine Tiefe von 14,7 m (bis 1,6 m durch Horizontalausstich, anschliessend vertikal mit dem SIPRE-Bohrer) ist in Tabelle 35 wiedergegeben.

Tabelle 35. *Dichten und Wasserwerte, Dépôt 420*  
Vertikale Kernbohrung 3.7.1959

Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)
0–20	395	20	7,90	7,90	140	346	20	6,92	51,82
40	391	20	7,82	15,72	160	417	20	8,34	60,16
60	383	20	7,66	23,38	170	467	10	4,67	64,83
80	312	20	6,24	29,62	180	435	10	4,35	69,18
100	383	20	7,66	37,28	190	435	10	4,35	73,53
100	373	100	37,28	37,28	200	410	100	41,00	78,28

(Fortsetzung)

Tabelle 35 (fortgesetzt).

Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	Z <sub>u</sub> (cm)	γ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	h <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)	H <sub>w</sub> (cm H <sub>2</sub> O)
201	475	11	5,22	78,75	724,5	493	15,5	7,64	309,36
211	454	10	4,54	83,29	740	502	15,5	7,78	317,14
225,5	394	14,5	5,71	89,00	760	469	20,0	9,40	326,54
239,5	406	14	5,68	94,68	773,5	526	13,5	7,11	333,65
249,5	410	10	4,10	98,78	782,5	434	9,0	3,90	337,55
266,5	405	17	6,89	105,67	787	453	4,5	2,04	339,59
294,5	422	28	11,80	117,47	800	483	100	48,27	345,64
300	413	100	41,31	119,59	802	465	15,0	7,89	347,57
308,5	385	14	5,39	122,86	816,5	482	14,5	7,00	354,57
325,5	428	17	7,28	130,14	820	477	3,5	1,67	356,24
340	421	14,5	6,10	136,24	826	458	6,0	2,75	358,99
362	476	22	10,47	146,71	841,5	485	15,5	7,52	366,51
368	425	6	2,55	149,26	855,5	525	14,0	7,35	373,86
386,5	427	18,5	7,90	157,16	867	507	11,5	5,83	379,69
400	435	100	43,51	163,10	882,5	502	15,5	7,78	387,47
410	440	23,5	10,34	167,50	896	518	13,5	7,00	394,47
420	486	10	4,86	172,36	900	400	4,0	1,60	396,07
438,5	427	18,5	7,90	180,26	900	504	100	50,43	396,07
452,5	425	14	5,95	186,21	905	532	5,0	2,66	398,73
463,5	393	11	4,32	190,53	920,5	512	15,5	7,94	406,67
485,5	418	22,0	9,20	199,73	935	504	14,5	7,31	413,98
500	413	14,5	6,00	205,73	949,5	489	14,5	7,10	421,08
500	426	100	42,63	205,73	964	525	14,5	7,62	428,70
507	415	7,0	2,90	208,63	980	520	16,0	8,31	437,01
522	430	15,0	6,45	215,08	980,5	412	0,5	0,21	437,22
541	456	19,0	8,66	223,74	996	514	15,5	7,96	445,18
559,5	446	18,5	8,26	232,00	1000	512	100	51,19	447,26
573,5	450	14,0	6,30	238,20	1011	520	15,0	7,80	452,98
580	445	6,5	2,89	241,19	1025,5	529	14,5	7,67	460,65
595	450	15,0	6,75	247,94	1040	532	14,5	7,72	468,37
600	445	100	44,51	250,24	1055,5	539	15,5	8,35	476,72
609	460	14,0	6,44	254,38	1060	472	4,5	2,12	478,84
624	456	15,0	6,84	261,22	1070	522	10,0	5,22	484,06
637,5	470	13,5	6,35	267,57	1085	544	15,0	8,15	492,21
652	448	14,5	6,50	274,07	1099,5	535	14,5	7,76	499,97
660	472	8,0	3,78	277,85	1100	530	100	52,97	500,23
680	494	20,0	9,88	287,73	1114	530	14,5	7,70	507,67
693	481	13,0	6,26	293,99	1128,5	536	14,5	7,78	515,45
700	471	100	47,13	297,37	1143	546	14,5	7,92	523,37
709	483	16,0	7,73	301,72	1158,5	522	15,5	8,09	531,46
					1173	518	14,5	7,52	538,98

(Fortsetzung)

Tabelle 35 (fortgesetzt).

$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$Z_u$ (cm)	$\gamma$ (kg m <sup>-3</sup> )	h (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	$H_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
1186	547	13,0	7,10	546,08	1330	545	14,0	7,64	624,37
1200	532	100	53,20	553,43	1345	543	15,0	8,15	632,52
1201	525	15,0	7,86	553,94	1348	702	3,0	2,10	634,62
1215,5	529	14,5	7,67	561,81	1363	518	15,0	7,78	642,40
1220	479	4,5	2,16	563,77	1378	547	15,0	8,20	650,60
1232,5	555	12,5	6,94	570,91	1380	515	2,0	1,03	651,63
1246,5	555	14,0	7,78	578,49	1394	562	14,0	7,88	659,51
1260	553	13,5	7,46	585,95	1400	549	100	54,89	662,82
1275	544	15,0	8,16	594,11	1408,5	553	14,5	8,02	667,53
1290	546	15,0	8,19	602,30	1423,5	552	15,0	8,28	675,81
1300	563	10,0	5,63	607,93	1438,5	552	15,0	8,28	684,09
1300	545	100	54,50	607,93	1453	545	14,5	7,90	691,99
1316	550	16,0	8,80	616,73	1467,5	560	14,5	8,12	700,11

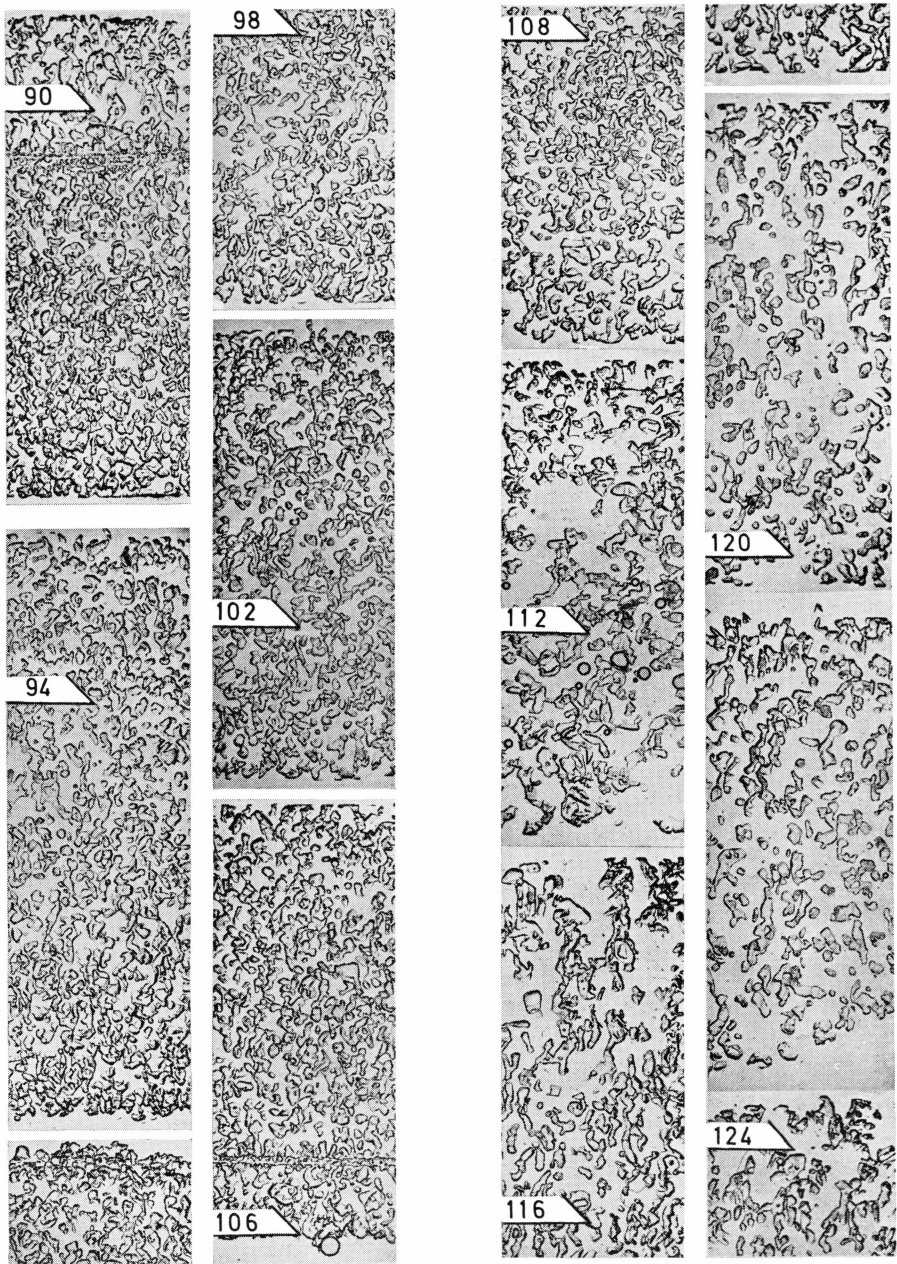
#### 6.4.4. Spezielle granulometrische Untersuchungen an Profilen von Jarl-Joset

##### 1. Vertikale Dünnschnittserie (0-7 m) Jarl-Joset

Aus dem Feldprofil vom 2.7.1959 wurden Firnproben in Abschnitten von 30 cm Länge (vertikale Erstreckung) und  $3 \times 3$  cm Querschnitt in kontinuierlicher Folge bis auf die Schachttiefe von 4 m herausgeschnitten und, konserviert durch Phtalsäurediäthylester, am Schluss der Sommercampagne in einer Isolierkiste nach der Schweiz verfrachtet. Eine weitere Serie von 4 bis 7,5 m, Ende Juli 1959 dem Schacht Dumont entnommen, wurde in gleicher Weise behandelt. Das ganze Profil bildete also ein Paket von nur ca. 7 l Inhalt (ohne Verpackung). Der Transport der Proben bietet keine Probleme, solange die Aussentemperatur im Mittel unter  $-6^\circ\text{C}$  liegt, und direkter Strahlungseinfluss vermieden wird. Wenn feste Kohlensäure bzw. komprimiertes Gas von mindestens 30 Atü zur Verfügung steht, können mit einer Ladung von ca. 5 kg mitteleuropäische Sommertemperaturen auf die Dauer von ca. 5 Tagen überbrückt werden. Die konservierten Proben sind auch mechanisch sehr strapazierfähig.

Für die EGIG bestand die kritische Phase in der Traversierung der Ablationzone von Carrefour bis zum Kühlhaus von Søndre Strømfjord. Sicherheitshalber waren bei Jonction (Hinterland von Søndre Strømfjord) Flaschen mit  $\text{CO}_2$  deponiert.

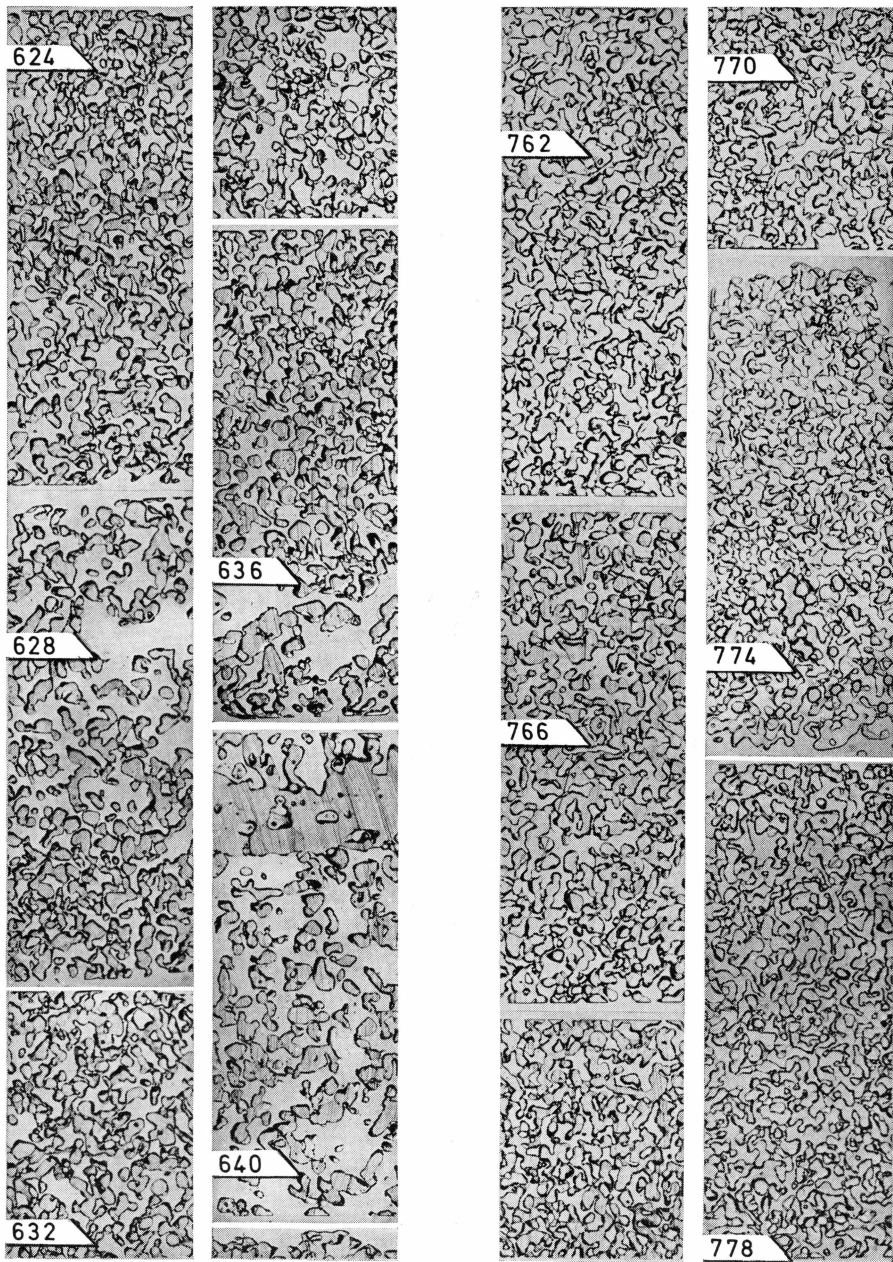
Im Kältelaboratorium des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung auf Weissfluhjoch ist unter Mitarbeit des Physikers M. KOPP



WINTERSCHICHT 1957/58  
MIT ZWEI EISLAMELLEN

SOMMERSCHICHT 1957

Photo 8. Ausschnitt aus vertikalem Dünnschnittprofil. Feldprofil (Station Jarl-Joset).



ÜBERGANG SOMMERSCHICHT 1950  
(EIS BEI 637cm) – WINTERSCHICHT 1950/51

WINTERSCHICHT 1947/48

Photo 9. Ausschnitt aus vertikalem Dünnschnittprofil. Schacht Dumont (Station Jarl-Joset).

eine *kontinuierliche Dünnschnittserie* hergestellt und photographiert worden, aus der die Variation in der Kornform und Korngrösse von Schicht zu Schicht, soweit sie in ebenen Schnitten zur Geltung kommt, erkannt werden kann.

Als Beispiele seien 4 Abschnitte aus verschiedenen Tiefen wiedergegeben, je in 2 Kolonnen unterteilt.

Photo 8	Tiefe Z	vermutliche Zuordnung
links	90–98 cm	Winterschicht 1957/58
	98–106 cm	engerahmt von zwei Eislamellen (90 cm, 106 cm)
rechts	108–116 cm	Sommerschicht 1957
	116–124 cm	
Photo 9		
links	624–632 cm	Winterschicht 1950/51 darunter
	632–640 cm	Sommerschicht (mit Eis) 1950
rechts	762–770 cm	Winterschicht 1947/48
	770–778 cm	

In den oberen beiden Serien (bis 124 cm) sind die Unterschiede augenfällig und die Zuordnung über alle Zweifel erhaben. In den tieferen Serien ist eine Annäherung der Kornformen und Grössen festzustellen, und die visuelle Deutung wird unsicherer.

## 2. Visuelle Korngrössenbestimmung im Schacht Dumont

(Station Jarl-Joset)

R. SCHNEIDER hat vom Februar bis Juli 1960 eine Aufnahme aller direkt sichtbaren stratigraphischen Merkmale des Schachtes ab 4 m bis zum Grund (39,7 cm) vorgenommen. Neben der Notierung aller Eislagen und kompakten Horizonte (siehe Abb. 28) hat er eine Korngrössenschätzung versucht und dabei die Bezeichnungen „fin“, „moyen“, „gros“ etc. verwendet. Wir haben diese Tabelle in graphische Form umgestaltet (Abb. 29 a–d) und dabei folgenden Schlüssel verwendet.

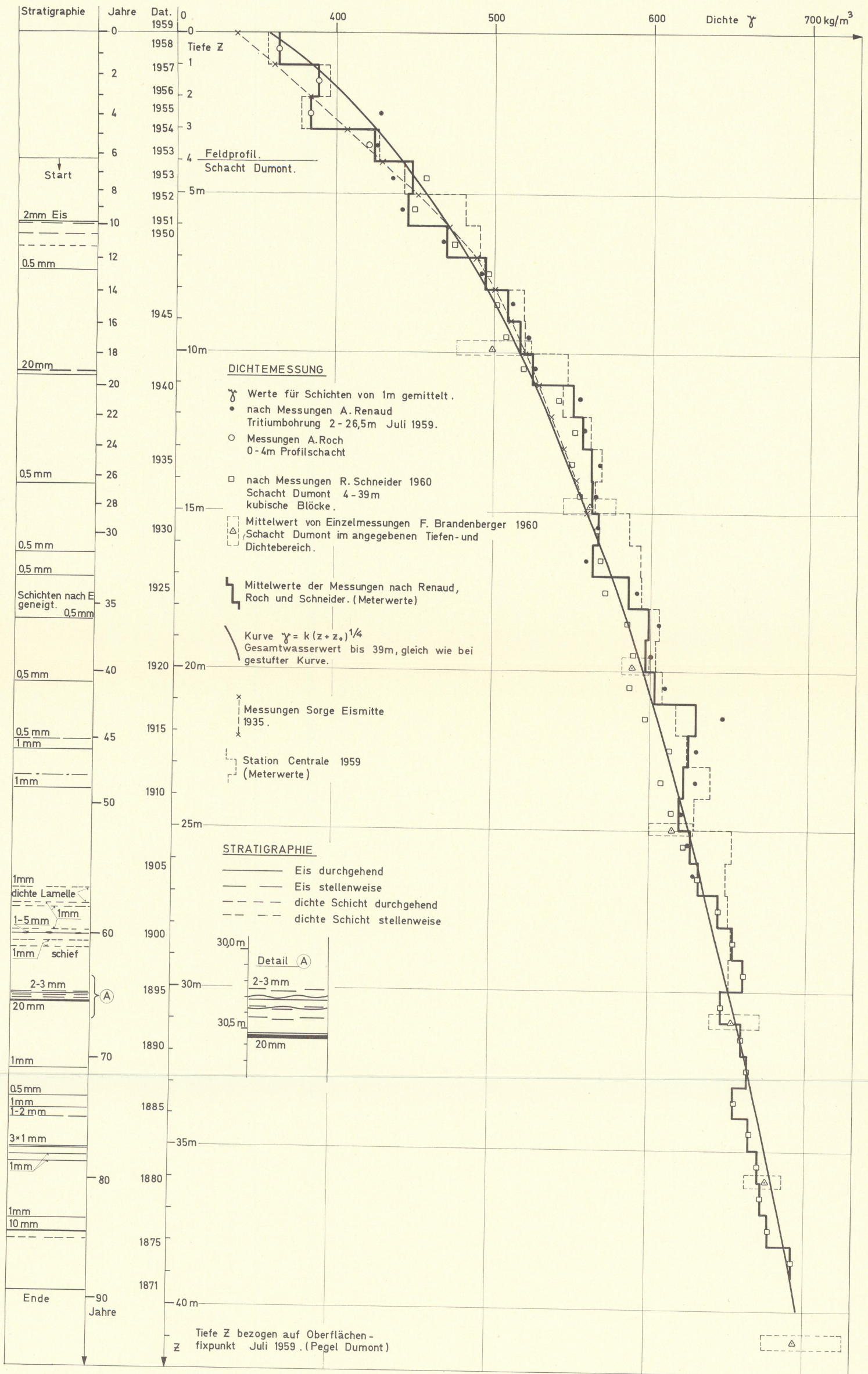
très fin	0,5 Einheiten
fin	1
entre moyen et fin (1/2 fin)	1,5
moyen	2
semi gros (1/2 gros)	2,5
gros	3
très gros	3,5



Abb. 28. Messung aus dem Schacht Dumont. Station Jarl-Joset.

– Stratigraphie von 4–39,6 m Tiefe.  
– Gemittelte Meterwerte der Dichten.  
– Empirische Dichtekurve [Formel (3) Abschn. 6.5.2].

– Jahreszahlen: Datierungversuch nach granulometrischen Parametern.  
– Jahreskala (ber.): Berechnetes Schichtalter nach empirischer Formel (5) Abschn. 6.5.2.  
– Vergleichsweise Dichtewerte von Station Centrale. 1935 (Sorge) und 1959.





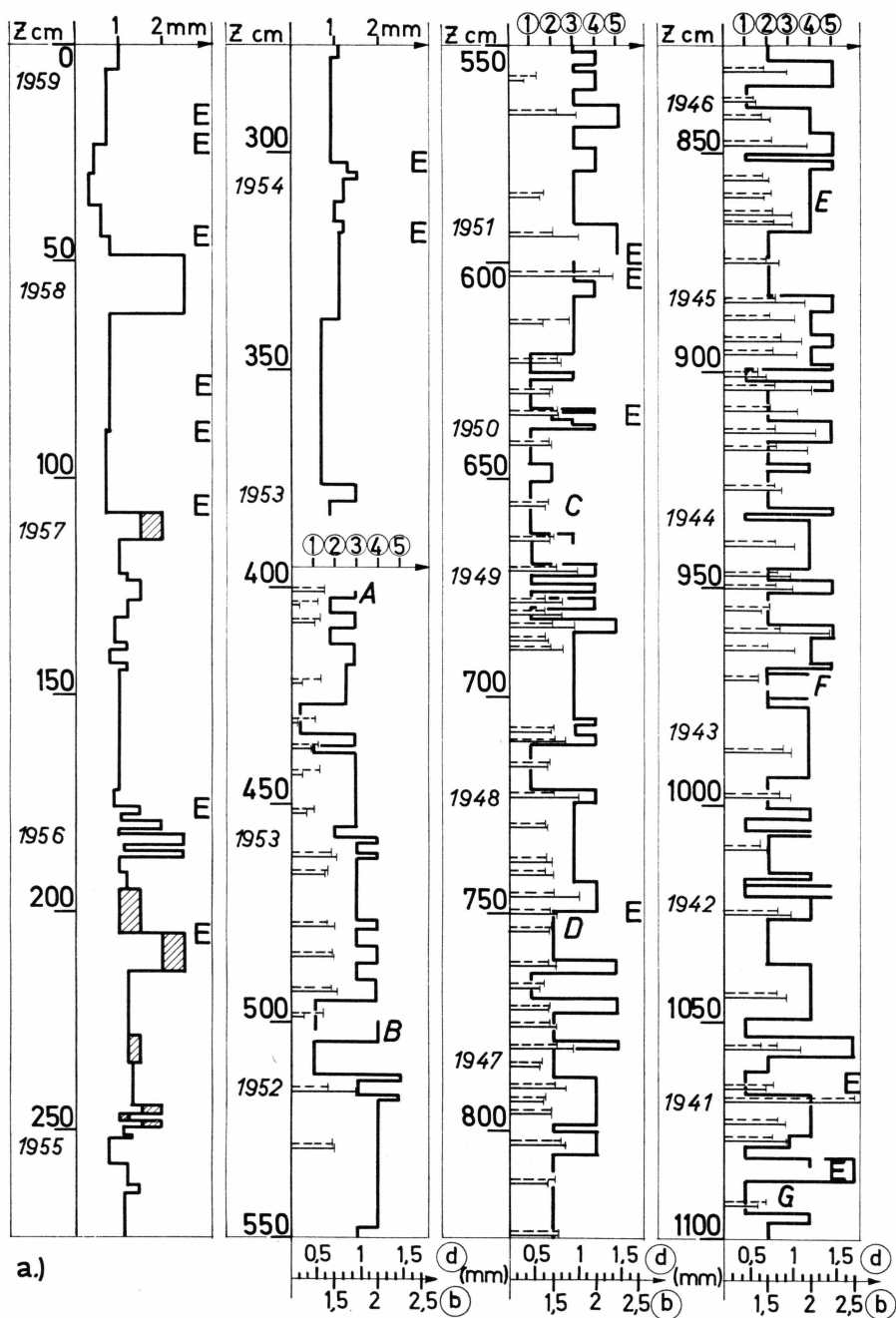


Abb. 29 a.

Abb. 29. a-d. Granulometrische Messungen im Schacht Dumont.

Gestufte Kurve: Visuelle Korngrössenschätzung in relativen Einheiten (R. SCHNEIDER). Abschnitte A-B, B-C etc.: Lotrecht angeordnete Probenserien.

Horizontale Strecken: Korngrößenparameter aus Dünnschnitten. Ausgezogen (b): mittlere Entfernung zwischen Eisabschnitten. Gestrichelt (d): mittlere Weglänge in Eis.

E Eishorizonte. Jahreszahlen: Datierungsversuch.

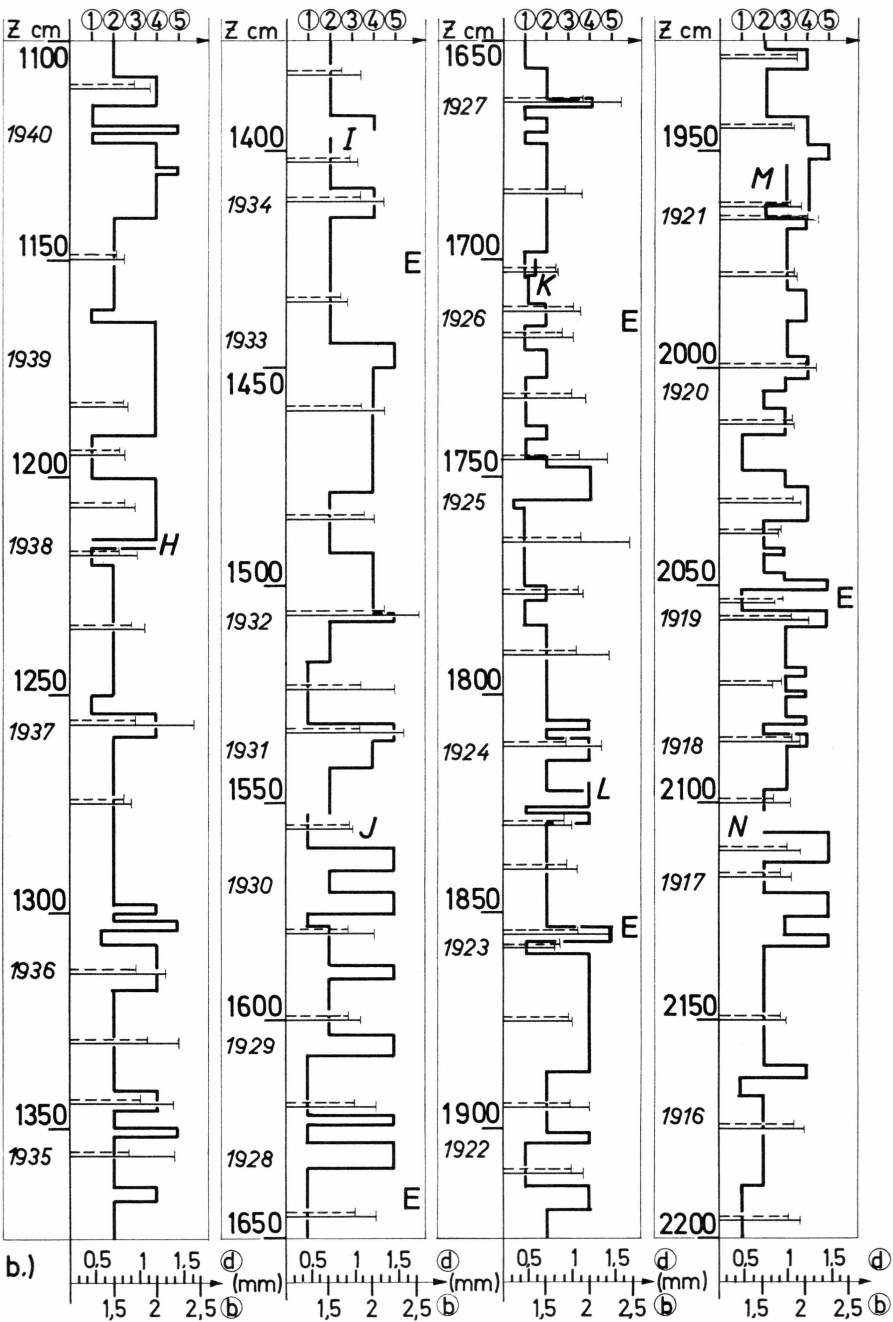


Abb. 29 b.

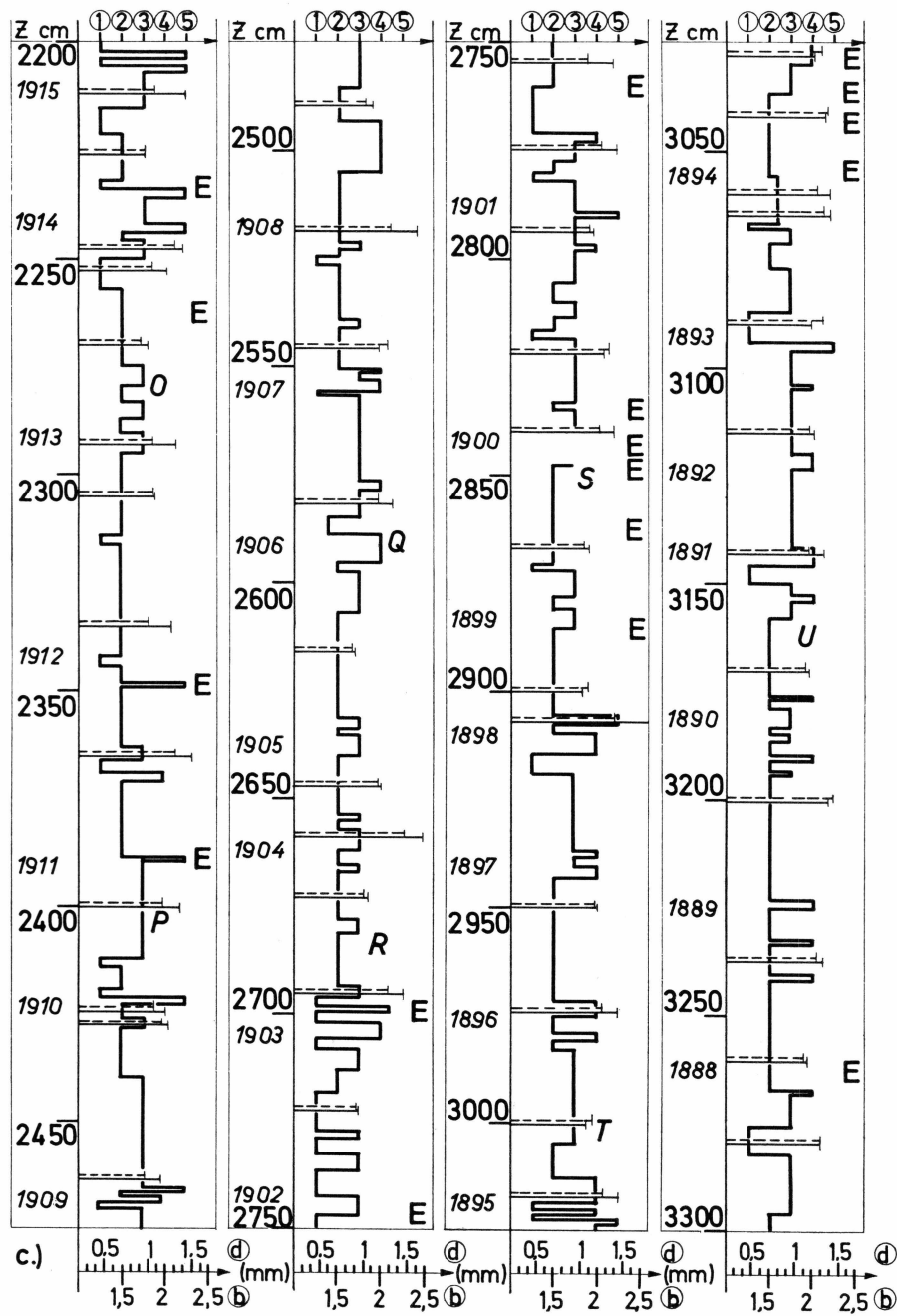


Abb. 29 c.

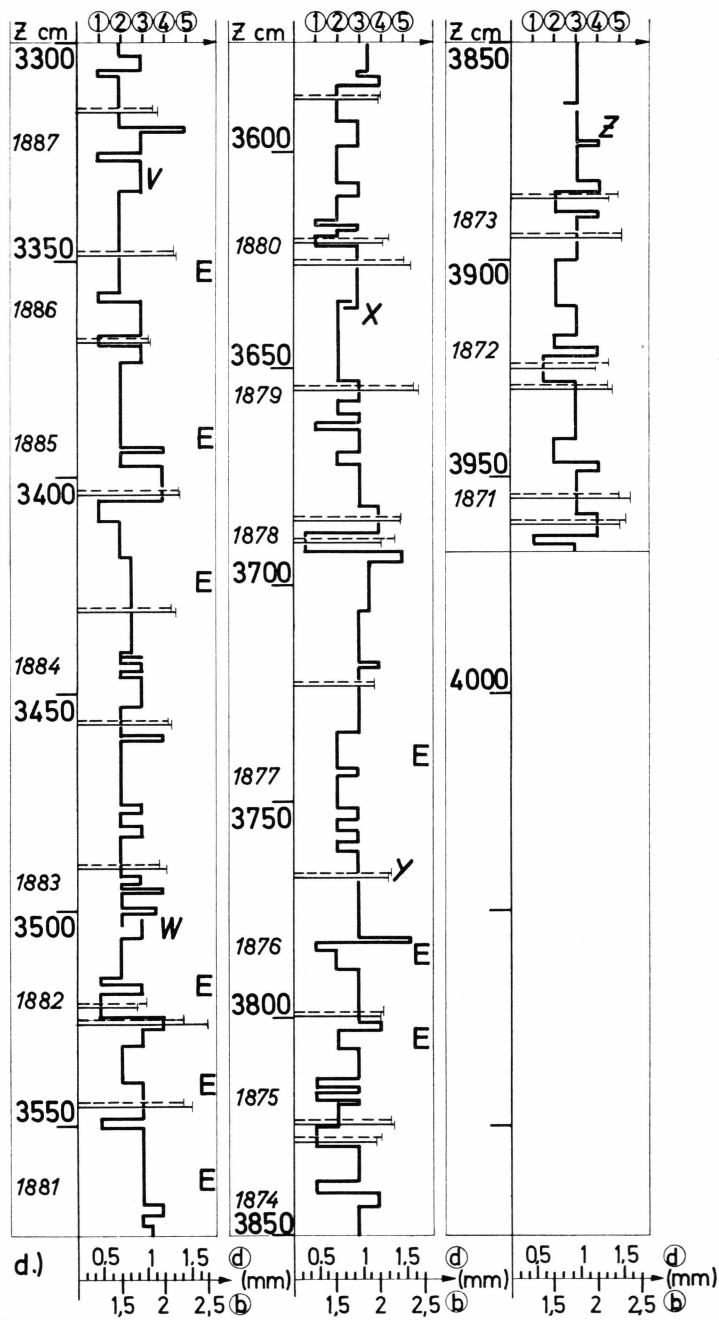


Abb. 29 d.

(SCHNEIDER vermerkt noch fin: 0,5–1 mm, moyen: 1,0–1,5 mm, gros: 1,5–2,5 mm). Trotzdem diese Analyse wegen der Schwierigkeit, Körner als solche von Auge richtig zu erkennen, geschweige denn ungestört herauszulösen, fraglich erscheint, gibt sie das erstaunliche Resultat, dass eine mehr oder wenig regelmässige Folge von Wechseln in diesen Grössenziffern herausgelesen werden kann, die nahezu zwanglos eine Datierung bis zum Schachtfuss erlaubt. Das Kriterium für die Abzählung nach diesem Verfahren liegt weniger in der absoluten Höhe der Korngrössenziffern als in der Gegenüberstellung von Schichten mit monotoner Ziffer und solchen mit deutlichem Wechsel.

### 3. Horizontale Dünnschnittserie 4 m–39,6 m Schacht Dumont

Vom Februar bis Juli 1960 hat R. SCHNEIDER aus dem Schacht Dumont in regelmässigen Intervallen 234 Firnproben herauspräpariert und zu Dünnschnitten von horizontaler Orientierung verarbeitet. Die Schnitte wurden photographiert und in dieser Form durch den Verfasser nebst einigen eigenen Präparaten am Institut SLF in der Schweiz nach folgendem Verfahren einer vorläufigen Analyse unterzogen: Auf die Vergrösserungen ( $5\times$ ) wird ein transparenter Raster von senkrecht zueinander verlaufenden Linien in zufälliger Orientierung aufgelegt. Sodann werden mit Hilfe eines Stechzirkels längs je 5–6 der Linien in jeder Richtung über festgelegte Messtrecken von 6–7,5 cm die Abschnitte gemessen und gezählt, die über Eis führen. Um die Randeinflüsse an den Enden der Messtrecken zu eliminieren, dürfen nur diejenigen Eisabschnitte gezählt werden, die mehr als zur Hälfte in den Messtrecken liegen.

Die Messung ergibt folgende Grössen

$L$	Aufsummierte Länge der Messtrecken (Im Naturmasstab meist 120–180 mm)
$S$	Aufsummierte Eisabschnitte (mm)
$N$	Anzahl der Eisabschnitte (Körner)

Daraus lassen sich folgende für die Struktur charakteristischen Werte gewinnen:

$$b = \frac{L}{N} \quad \text{Mittlere Korndistanz, d.h. mittlerer Abstand der Zentren der Eisabschnitte.}$$

( $1/b = n$  Zahl der Eisabschnitte pro Längeneinheit)

$$d = \frac{S}{N} \quad \text{Mittlere Weglänge einer horizontalen Geraden in Eis}$$

$$\gamma = \gamma_E \cdot \frac{S}{L} \quad \text{Dichte des Schnees } (\gamma_E \text{ Dichte von Eis})$$

Die drei Grössen sind miteinander verknüpft gemäss  $\gamma = \gamma_E \cdot \frac{d}{b}$

Die Grösse  $d$ , die mittlere Weglänge eines Strahls in Eis, hat eine Beziehung zur Korngrösse<sup>1)</sup>, ist aber bei vorwiegend isolierten Körnern kleiner als der mittlere Korndurchmesser. Bei stark gebundenem Material wird die Korngrösse gegenstandslos, wogegen die Definition von  $d$ , solange die statistische Signifikanz gewahrt ist, gültig bleibt.

Die Grösse  $b$  steigt mit zunehmender Korngrösse und abnehmender Dichte. Sie wird vor allem ein Indikator sein für grobes Korn und kleine Dichte, also für die Merkmale der *Sommerfacies*.

Um eine tragbare Streuung zu erhalten, ist eine genügende Zahl von Körnern pro Schnitt auszumessen. In unseren Analysen wurde eine Zahl von ca. 100 Körner (bzw. Eisabschnitte) pro Schnitt angestrebt.

Bei dieser Zahl ist mit einer Streuung der Werte, von  $b$ ,  $d$  und  $\gamma$  im Bereich von ca.  $\pm 10\%$  zu rechnen. Die Dichtebestimmung ist also recht grob, verglichen mit der direkten Messung. Zudem hat sich herausgestellt, dass mit dem angewandten Messverfahren Oberfläche und Unterfläche eines Kornschnittes nicht unterschieden werden kann. Da immer die kleinere Fläche von beiden zur Ausmessung gelangt, werden die Eisabschnitte und damit auch die Dichten allgemein um 5–10 % zu klein. Dies ist hier ohne grosse Bedeutung, da die Zahlen nur untereinander verglichen werden.

Die Zahl  $d$  wird trotzdem zuverlässiger sein als jede visuelle Korngrössenschätzung. Sie wäre bei isolierten Körnern grundsätzlich unabhängig von der Dichte (eine Kugelpackung kleiner und grosser Kugeln hat die gleiche Dichte!), zeigt aber de facto einen allgemeinen Anstieg mit der Dichte wegen der mit höherer Dichte zunehmenden Kornverwachsung.

Mit der beliebig angesetzten Orientierung der Messraster wird vorausgesetzt, dass die Schnitte bezüglich des Azimuts isotrop sind. Bei Vertikalschnitten (eine entsprechende Analyse steht noch aus) würde man das Raster parallel bzw. senkrecht zur Vertikalen ansetzen und die beiden Messreihen getrennt behandeln. Dabei wäre eine Auskunft über die geometrische Anisotropie zu gewinnen.

Tabelle 36 enthält die gemessenen granulometrischen Parameter und die daraus abgeleiteten Grössen.

<sup>1)</sup> Von der *Korngrösse*, die sich auf isolierbare Teilchen bezieht, ist die *Kristallgrösse* zu unterscheiden, die hier nicht in Betracht gezogen wird.

Tabelle 36. *Analyse der horizontalen Dünnschnitte (Serie R. SCHNEIDER)  
aus dem Schrägschacht Dumont, Station Jarl-Joset.*

Dünnschnitte und Aufnahmen: 1960 (R. SCHNEIDER)

Analyse: 1965/66 (DE QUERVAIN u. BECK)

Alle Abmessungen im Naturmasstab:

$z$  Tiefe ab Oberfläche (cm)

$L$  Messtrecke (mm)

$N$  Anzahl Körner auf der Messtrecke  $L$

$S$  Summer der Eisabschnitte (mm)

$b$  Mittlere Entfernung zwischen Eisabschnitten (mm)

$d$  Mittlere Weglänge in Eis (mm)

$\gamma$  Dichte ( $\text{kg/m}^3$ ) =  $917 \cdot \frac{S}{L}$

Nr.	$z$	$L$	$N$	$S$	$b$	$d$	$\gamma$
1 a.....	401	120	88	50,7	1,36	0,575	387
1 b.....		120	87	51,2	1,38	0,580	391
1 c.....		120	88	49,4	1,36	0,561	377
1 a-c <sup>1)</sup> .....		360	263	151,3	1,37	0,575	385
2.....	404	120	122	61,8	0,98	0,517	472
3.....	408	129	101	55,5	1,28	0,550	395
4.....	422	120	106	58,1	1,13	0,547	444
5.....	431	240	232	112,8	1,03	0,485	430
6.....	437	252	204	106,4	1,23	0,521	388
7.....	443	120	107	55,9	1,12	0,523	427
8.....	452	120	102	49,7	1,18	0,487	380
9.....	462	120	78	51,0	1,54	0,654	390
10.....	466	120	87	55,1	1,38	0,634	421
11.....	478	114	76	48,8	1,50	0,643	393
12.....	485	120	82	54,8	1,47	0,669	419
13.....	493	120	79	52,8	1,52	0,668	404
14.....	499	120	106	59,1	1,13	0,558	452
15.....	516	120	69	46,4	1,74	0,671	354
16.....	529	120	80	55,0	1,50	0,688	420
17.....	558	120	100	54,4	1,20	0,544	415
18.....	566	120	67	50,9	1,79	0,760	389
19.....	585	120	88	55,4	1,36	0,629	423
20.....	594	267	147	107,2	1,81	0,729	368
21 <sup>2)</sup> .....	603	120	54	69,2	2,22	1,280	529
22.....	614	120	86	60,6	1,40	0,705	463
23.....	623	120	74	57,8	1,62	0,780	441
24.....	630	120	81	57,8	1,48	0,714	441
25 <sup>2)</sup> .....	635	120	77	59,8	1,56	0,776	456
26.....	642	120	80	55,5	1,50	0,694	424

(Fortsetzung)

<sup>1)</sup> Dreifache Auszählung des gleichen Schnittes und Zusammenzug der Resultate.

<sup>2)</sup> Schnitt in einem Eishorizont (oder tangierend).

Tabelle 36 (fortgesetzt).

Nr.	z	L	N	S	b	d	$\gamma'$
27.....	656	120	84	55,4	1,43	0,659	423
28.....	664	120	81	58,6	1,48	0,724	448
29.....	671	360	200	153,6	1,80	0,768	391
30.....	673	180	131	79,4	1,37	0,606	405
31 <sup>3)</sup> .....	676	180	105	71,2	1,71	0,678	363
32.....	678	147	90	54,7	1,63	0,608	342
33.....	681	180	112	71,3	1,61	0,636	363
34.....	684	267	152	110,0	1,76	0,720	376
35.....	687	147	102	62,9	1,44	0,618	393
36.....	689	327	202	136,4	1,62	0,675	382
37.....	708	147	98	69,7	1,50	0,712	434
38.....	710	147	89	71,1	1,65	0,725	444
39.....	716	147	101	69,9	1,45	0,692	436
40.....	723	147	81	59,4	1,81	0,733	370
41.....	730	147	102	62,7	1,44	0,615	392
42.....	738	147	98	62,6	1,50	0,640	391
43.....	741	147	97	61,0	1,51	0,630	381
44.....	746	327	180	134,8	1,82	0,748	378
45.....	750	147	95	65,3	1,55	0,687	407
46 <sup>3)</sup> .....	750	147	91	69,4	1,61	0,763	433
47.....	754	147	100	69,2	1,47	0,692	432
48.....	762	180	117	77,5	1,54	0,663	395
49.....	767	180	132	78,2	1,36	0,592	398
50.....	772	180	122	81,8	1,47	0,671	417
51.....	776	180	116	80,2	1,55	0,692	408
52.....	781	180	104	77,9	1,73	0,750	397
53.....	785	120	88	52,2	1,36	0,593	403
54.....	790	147	89	64,7	1,65	0,727	404
55.....	793	180	129	78,5	1,40	0,608	400
56.....	796	147	99	69,8	1,49	0,705	436
57.....	803	180	109	87,0	1,65	0,798	443
58.....	812	180	125	90,0	1,44	0,720	460
59.....	824	180	115	87,7	1,56	0,763	447
60.....	831	180	103	70,3	1,75	0,683	359
61.....	838	360	262	150,0	1,37	0,573	382
62.....	842	180	117	76,0	1,54	0,650	387
63.....	848	180	91	69,2	1,98	0,760	352
64 <sup>3)</sup> .....	850						
65.....	856	180	118	79,1	1,53	0,671	403
66.....	860	180	121	93,7	1,49	0,775	477
67.....	864	360	200	154,0	1,80	0,780	392
68.....	866	180	99	79,8	1,82	0,806	406
69.....	875	180	109	77,2	1,65	0,706	393
70.....	884	180	93	76,7	1,94	0,825	391
71.....	888	180	98	73,8	1,84	0,753	376
72.....	893	180	94	82,5	1,91	0,879	420

(Fortsetzung)

<sup>3)</sup> Vertikalschnitt (nur teilweise ausgewertet).



Tabelle 36 (fortgesetzt).

Nr.	z	L	N	S	b	d	$\gamma$
73.....	896	180	97	77,7	1,86	0,797	394
74.....	901	180	119	73,8	1,51	0,621	376
75.....	904	180	88	71,8	2,04	0,815	365
76.....	909	180	97	73,2	1,86	0,755	373
77.....	914	147	71	58,6	2,07	0,825	366
78.....	918	147	74	61,1	1,99	0,826	382
79.....	927	180	107	86,2	1,68	0,805	439
80.....	940	147	80	65,3	1,84	0,816	408
81.....	947	180	101	85,2	1,78	0,844	434
82.....	950	180	99	82,0	1,82	0,829	418
83.....	955	180	124	94,6	1,45	0,763	472
84.....	960	180	80	71,1	2,25	0,889	362
85.....	964	180	98	72,6	1,84	0,740	370
86.....	971	180	128	79,5	1,41	0,621	405
87.....	988	180	104	89,8	1,73	0,863	457
88.....	1010	180	118	76,7	1,53	0,650	391
89.....	1025	180	100	86,9	1,80	0,689	442
90.....	1044	180	103	86,6	1,75	0,840	441
91.....	1056	147	77	65,5	1,91	0,850	409
92.....	1065	180	118	94,9	1,53	0,804	483
93.....	1073	180	103	88,1	1,75	0,855	449
94 <sup>2</sup> ).....	1068	180	24	174,6	7,5	7,27	885
95.....	1077	180	103	82,1	1,75	0,796	418
96.....	1092	180	126	90,0	1,43	0,714	459
97.....	1111	180	94	89,1	1,92	0,948	454
98.....	1150	180	110	83,4	1,63	0,757	425
99.....	1184	180	108	87,6	1,67	0,811	447
100.....	1195	180	112	88,1	1,61	0,786	449
101.....	1207	180	103	85,2	1,75	0,827	434
102.....	1218	180	102	79,6	1,76	0,781	406
103.....	1235	180	96	90,2	1,87	0,940	460
104.....	1257	180	74	70,5	2,43	0,952	359
105.....	1275	180	105	88,7	1,71	0,845	452
106.....	1314	180	85	84,8	2,12	0,996	432
107.....	1330	147	68	75,3	2,16	1,109	470
108.....	1344	180	90	92,2	2,00	1,023	470
109.....	1356	180	90	82,0	2,00	0,911	418
110.....	1383	180	98	81,2	1,84	0,829	414
111.....	1403	180	100	93,3	1,80	0,933	475
112.....	1412	180	85	90,6	2,12	1,067	462
113.....	1435	180	106	89,6	1,70	0,845	456
114.....	1460	147	69	73,4	2,13	1,063	458
115.....	1485	180	89	98,4	2,02	1,105	496
116.....	1507	180	71	93,6	2,54	1,320	477
117.....	1524	180	88	94,1	2,04	1,070	479
118.....	1534	327	138	145,0	2,37	1,046	405
119.....	1556	180	102	93,2	1,77	0,914	475

(Fortsetzung)

Tabelle 36 (fortgesetzt).

Nr.	z	L	N	S	b	d	$\gamma$
120.....	1580	180	90	81,2	2,00	0,902	414
121.....	1600	180	97	89,2	1,86	0,920	455
122.....	1620	180	88	89,0	2,04	0,989	454
123 <sup>a</sup> ).....	1641	180					
124.....	1645		89	88,4	2,02	0,991	450
125.....	1664	180	76	85,6	2,36	1,127	436
126.....	1685	180	94	89,1	1,92	0,948	455
127.....	1703	180	110	87,6	1,63	0,796	446
128.....	1712	180	95	96,0	1,89	1,010	489
129.....	1718	180	101	90,2	1,78	0,892	460
130.....	1732	180	93	91,4	1,93	0,984	466
131.....	1746	180	83	88,4	2,19	1,065	450
132.....	1765	180	73	79,9	2,46	1,095	407
133.....	1777	180	95	100,3	1,89	1,057	512
134.....	1791	180	89	94,1	2,02	1,045	474
135.....	1812	180	85	79,7	2,12	0,937	406
136.....	1830	180	102	92,4	1,78	0,905	470
137.....	1840	180	98	92,1	1,84	0,940	470
138.....	1855	180	81	86,7	2,22	1,070	442
139.....	1858	180	114	97,7	1,58	0,856	498
140.....	1875	180	100	95,1	1,80	0,951	485
141.....	1895	180	91	88,2	1,98	0,970	450
142.....	1910	180	94	90,6	1,91	0,965	462
143.....	1929	360	191	193,6	1,88	1,011	492
144.....	1945	180	97	101,8	1,85	1,045	517
145.....	1963	180	93	94,9	1,94	1,020	484
146.....	1966	180	84	103,0	2,14	1,226	525
147.....	1979	180	95	102,6	1,89	1,080	522
148.....	2000	294	139	166,6	2,12	1,199	520
149.....	2013	180	97	102,1	1,85	1,052	520
150.....	2031	180	92	99,4	1,95	1,080	506
151.....	2038	180	106	98,0	1,69	0,925	500
152.....	2054	180	110	103,7	1,63	0,940	527
153.....	2058	180	88	106,3	2,04	1,210	542
154.....	2073	180	111	104,3	1,62	0,940	532
155.....	2086	180	93	97,0	1,94	1,042	495
156.....	2100	180	98	81,2	1,83	0,829	414
157.....	2111	180	93	101,0	1,94	1,087	515
158.....	2117	180	99	90,5	1,82	0,914	460
159.....	2150	180	102	92,9	1,76	0,910	473
160.....	2175	180	90	95,6	2,00	1,063	488
161.....	2196	180	93	92,7	1,94	0,996	473
162.....	2212	360	178	189,5	2,02	1,065	483
163.....	2226	360	203	196,2	1,77	0,966	500
164.....	2248	180	82	107,4	2,20	1,310	547
165.....	2253	180	89	93,3	2,02	1,049	475
166.....	2270	180	99	92,1	1,82	0,930	470

(Fortsetzung)

Tabelle 36 (fortgesetzt).

Nr.	z	L	N	S	b	d	$\gamma$
167.....	2293	180	84	88,9	2,14	1,058	453
168.....	2305	180	95	100,4	1,89	1,058	512
169.....	2335	180	87	89,5	2,07	1,030	456
170.....	2365	180	78	104,2	2,31	1,337	531
171.....	2400	180	83	98,8	2,17	1,190	503
172.....	2424	180	89	97,5	2,02	1,097	497
173.....	2427	180	88	103,6	2,04	1,178	527
174.....	2463	180	91	90,4	1,98	0,992	460
175.....	2490	180	95	107,6	1,90	1,132	548
176.....	2519	180	78	101,8	2,41	1,303	519
177.....	2546	180	92	115,8	1,96	1,258	590
178.....	2582	180	85	99,1	2,12	1,169	505
179.....	2616	180	107	91,2	1,68	0,852	465
180.....	2647	180	91	106,4	1,98	1,170	542
181.....	2673	180	98	98,0	1,84	1,000	500
182.....	2695	180	80	102,1	2,25	1,279	520
183.....	2722	360	209	188,7	1,72	0,901	480
184.....	2755	180	83	97,0	2,17	1,169	494
185.....	2775	180	81	101,3	2,22	1,251	516
186.....	2794	180	93	101,5	1,94	1,092	517
187.....	2822	180	88	115,4	2,04	1,311	588
188.....	2840	180	83	99,9	2,17	1,202	508
189.....	2867	180	96	99,0	1,88	1,030	503
190.....	2900	180	99	106,7	1,82	1,077	541
191.....	2907	180	70	96,2	2,57	1,375	490
192.....	2950	180	92	107,4	1,96	1,169	547
193.....	2974	180	81	101,3	2,22	1,250	516
194.....	3000	180	98	112,4	1,84	1,146	571
195.....	3017	180	80	99,6	2,25	1,245	507
196.....	3028	180	82	109,2	2,20	1,331	556
197.....	3042	180	84	115,7	2,14	1,376	589
198.....	3060	180	82	105,1	2,20	1,280	535
199.....	3065	180	82	109,2	2,20	1,332	557
200.....	3090	180	91	120,4	1,98	1,324	610
201.....	3115	180	89	105,2	2,02	1,181	536
202.....	3143	180	85	98,9	2,12	1,163	503
203.....	3170	180	92	103,4	1,96	1,121	525
204.....	3200	180	83	117,4	2,17	1,415	598
205.....	3237	360	170	213,0	2,12	1,252	543
206.....	3260	180	94	103,7	1,92	1,102	528
207.....	3279	180	86	113,0	2,09	1,313	576
208.....	3316	180	94	100,7	1,91	1,069	512
209.....	3349	180	85	111,2	2,12	1,310	563
210.....	3369	180	99	101,0	1,82	1,020	514
211.....	3404	180	83	112,9	2,17	1,360	574
212.....	3431	180	85	110,2	2,12	1,298	566
213.....	3457	180	86	107,7	2,09	1,250	546

(Fortsetzung)

Tabelle 36 (fortgesetzt).

Nr.	z	L	N	S	b	d	$\gamma$
214.....	3490	180	89	103,6	2,02	1,162	527
215.....	3522	180	97	97,0	1,86	1,000	494
216.....	3526	180	72	103,1	2,50	1,432	525
217.....	3545	180	78	113,5	2,30	1,453	578
218.....	3588	180	92	110,2	1,96	1,199	562
219.....	3621	180	89	117,4	2,02	1,319	598
220.....	3626	180	77	112,4	2,34	1,460	573
221.....	3655	180	74	116,0	2,43	1,568	591
222.....	3685	180	81	115,2	2,22	1,423	584
223.....	3690	180	91	124,4	1,98	1,365	634
224.....	3723	180	93	105,4	1,94	1,135	537
225.....	3767	180	87	114,5	2,07	1,313	582
226.....	3799	147	74	91,5	1,99	1,238	571
227.....	3828	180	93	111,8	1,93	1,200	569
228.....	3824	180	85	112,4	2,12	1,320	573
229.....	3868	180	84	120,0	2,14	1,430	611
230.....	3895	180	79	117,4	2,28	1,486	598
231.....	3925	180	91	122,4	1,98	1,345	624
232.....	3930	180	83	108,5	2,17	1,308	549
233.....	3955	180	76	112,0	2,37	1,472	570
234.....	3961	180	80	123,2	2,25	1,540	678
4							
(Serie Q).....	998	223	124	108,2	1,80	0,874	445
16							
(Serie Q).....	2659	223	91	133,7	2,48	1,470	549

### Diskussion

Die Werte  $b$  und  $d$  sind in Abb. 29 in Funktion der Tiefe eingetragen. Photo 10 und 11 zeigen Beispiele von Schnitten mit den berechneten Kennziffern.

In den überwiegenden Fällen besteht eine qualitative Uebereinstimmung zwischen den visuellen Korngrössenschätzungen und den Messungen, d.h. grobes Korn wird durch beide Verfahren als solches dargestellt. Gelegentlich sind aber auch Widersprüche festzustellen. In solchen Fällen hat die Messung natürlich den Vorrang. Der Vorteil der visuellen Werte liegt in der lückenlosen Aufzeichnung. Die Dünnschnitte würden allein nicht genügen, eine Datierung zu versuchen. Sie ergeben aber höchst wertvolle Stützwerte vor allem, wo sie in bezug auf die Nachbarschaft grobes Korn und damit Sommerschichten anzeigen.

Feinkörnige Lagen hoher Dichte sind dagegen nicht eindeutig in den Winter zu datieren, da solche Schichten auch im Sommer auftreten können.

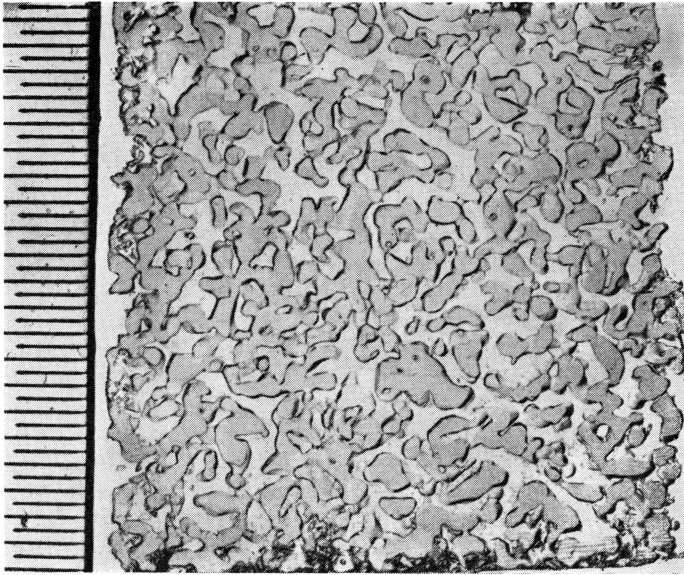


Photo 10. Horizontaler Dünnschnitt aus dem Schacht Dumont Nr. 42; Tiefe: 738 cm,  $b = 1,50$  mm;  $d = 0,640$  mm;  $\gamma = 391$  kg/m<sup>3</sup>, Masstab mit 1/2 mm Teilung. (Präparation und Photo R. SCHNEIDER).

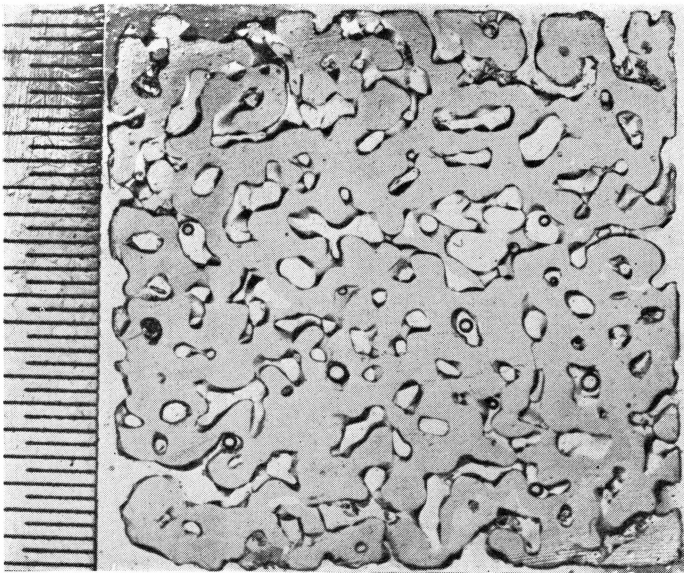


Photo 11. Horizontaler Dünnschnitt aus dem Schacht Dumont. Nr. 216; Tiefe: 3526 cm;  $b = 2,50$  mm;  $d = 1,43$  mm;  $\gamma = 525$  kg/m<sup>3</sup>; Masstab mit 1/2 mm Teilung (Präparation und Photo R. SCHNEIDER).

Die Aussagekraft der Messungen scheint allerdings mit zunehmender Tiefe zu erlahmen. Bemerkenswert ist die geringe Zunahme von  $b$  (Abnahme der Kornzahl pro Weg- oder Volumeinheit) mit der Tiefe. Was schon von Anderen festgestellt wurde (H. BADER, A. FUCHS u.a.): Die Natur hat es den Kristallographen nicht leicht gemacht, polare Firnablagerungen abzuzählen. Selbst die Eislagen sind trügerisch und dürfen nicht unbesehen als Sommerindikatoren benützt werden.

Die in Abb. 29 versuchte Datierung beruht zusammengefasst auf einer Anzahl von sicheren Positionen, auf einigen nur andeutungsweisen Anzeichen und verschiedenen freien Interpolationen.

## 6.5. Synthese

### 6.5.1. Datierungsversuche und Akkumulationsbestimmungen

Zur Abzählung und Datierung von Jahresschichten kann man sich – von radioaktiven und isotopenchemischen Methoden abgesehen – auf folgende Kriterien stützen:

- a) **Identifizierbare Horizonte** früherer Ereignisse bekannten Datums (markierte Schichten, Schmutzlagen etc.). An Stellen früherer Begehung ist mit gestörten Schichten und ev. verfälschten Akkumulationen zu rechnen.
- b) Lage von **Pegelfusspunkten** vorbehaltlich der erwähnten Unsicherheit über ihr Eindringen in tiefere Schichten.
- c) Granulometrische Eigenschaften der Schichten. **Winterschichten** zeichnen sich aus durch feines, gerundetes Korn, Fehlen von Anzeichen einer wesentlichen aufbauenden Umwandlung, Fehlen von lebhaften Wechsellagen und von stärkeren Eisbildungen (sehr starke Eisformationen können aber durch Versickern von einer Sommeroberfläche in eine Winterschicht verlagert sein; anderseits sind feine Eishäute als äolische Bildungen nicht auf den Sommer beschränkt).

**Sommerschichten** sind mindestens lageweise grobkörniger, ev. mit Schwimmschneespuren und je nach der geographischen Lage des Standortes von stärkeren oder schwächeren Eishorizonten durchsetzt. Feinkörnige Bänke können aber auch eingebaut sein. Im durchscheinenden Profil ist die Sommerfacies transparenter. Mit zunehmender Tiefe werden die granulometrischen Kriterien weniger augenfällig.

- d) **Variation der Härte** (Rammwiderstand, Pfeilhärte) Allgemein sind die metamorphen Sommerschichten lockerer und weisen deutlich geringere Härtezahlen auf. Indessen kann sommerliche Verharschung

und Vereisung auch ausgesprochen harte Schichten hervorbringen, besonders in der Perkulationszone.

Als Sommerkriterium bleibt, neben eindeutigen Lockerschichten, ein starker Wechsel der Härte auf kurze Strecken. Im Bereich der Arbeitsmöglichkeit mit der schweren Rammsonde bleiben zwar deutliche Härteunterschiede mit zunehmender Tiefe bestehen. Die bis ca. 6 m meist glaubwürdig zuzuordnenden Lockerschichten sind weiter unten meist schwieriger zu deuten. (Bei den Rammsonden ist eine Höhenverschiebung der Anzeige in der Grössenordnung von ca. 5 cm zu berücksichtigen).

e) **Dichtewerte**

Die Dichtewerte zeigen eine ähnliche, wenn auch geringere Variation wie die Härtezahlen. Umgewandelte und nur leicht aufgeschmolzene Sommerschichten bleiben in der Dichteentwicklung gegenüber den Winterschichten zurück. Schmelzprozesse können das Bild bis zur Unkenntlichkeit entstellen.

Von Fall zu Fall sind alle verfügbaren Kriterien beizuziehen und gegeneinander abzuwägen. Die getroffenen Entscheide bleiben in vielen Fällen unsicher.

In den nachfolgend vorgelegten Versuchen zur Datierung sind die Jahreszahlen auf den Sommer bezogen, und zwar, wo eine solche Unterscheidung möglich war, auf den *Spätsommer*, d.h. es wurde versucht, den spätesten feststellbaren Sommereinfluss und den Uebergang zur Winterfacies herauszulesen. Da die Erhebungen teilweise im Früh- und Hochsommer 1959 vorgenommen wurden, waren für das betreffende Jahr entsprechende Korrekturen anzubringen.

Ein Teil des Materials ist durch A. ROCH einer ersten Analyse unterzogen worden (interner Bericht SLF 397, 1961). Die Ueberprüfung auf Grund von weiteren Messungen und Auswertungen bestätigt über weitere Strecken die Datierungsvorschläge von ROCH. Gelegentlich haben sich kleinere Verschiebungen ergeben. Eine deutlicher abweichende Auffassung wird bezüglich der Akkumulation bei Camp VI vertreten.

### **Camp III und BK 1**

Grundlagen:

Profile vom 16.5.1959 und 17.8.1959 (Abb. 13)

Diese Profile wurden im westlich von Camp III an die Moräne anschliessenden Firnhang gegraben, der von MERCANTON als Parasitengletscher beschrieben wird (A. DE QUERVAIN u. P. L. MERCANTON 1925) Photo 12. Die häufigen katabatischen Winde verfrachten überschüssigen Schnee aus dem Inlandeis in diese Windschattenzone und verleihen damit dem Westrand einen deutlichen Ablationsschutz.



Photo 12. Steilabfall W von Camp III (Parasitengletscher) mit Treibschneeablagerung. Profilstelle markiert durch Kreuz. Blick von Westen (Zeltplatz) 16.5.1959 (Q 513/14).

Da keine Dichtemessungen vorgenommen werden konnten, muss die lokale Winterakkumulation geschätzt werden. Sie dürfte in der Grössenordnung von 80 cm  $H_2O$  liegen und hat als Treibschneedepot keine unmittelbare Beziehung zum Schneeniederschlag. (Das Inlandeis bei BK 1 war zur Zeit des Mai-Profiles nur in den Mulden schneebedeckt, auf den Buckeln hingegen aper.) Das Augustprofil lässt eine starke Sinterung der Schneelage ohne völlige Umwandlung in Eis erkennen. Der Parasitengletscher, der durch die Moräne hindurch mit dem Inlandeis verbunden ist, dürfte auf diese Weise einem lokalen Gleichgewichtszustand entsprechen, gesteuert durch den Treibschneeanfall und die Ablation.

### Station K 3

Grundlagen:

- Schichtprofil vom 13.5.1959 (Abb. 14)
- Eisprobenserie vom 17.5.1959 (bei Camp VI EGIG durch Schmelzung beeinträchtigt)
- Pegelablesungen 19.5. und 15.8.1959.

Von der 110 bis 117 cm messenden Schneelage des Vorwinters (1958/59), die zum Zeitpunkt des Profils noch intakt war und einen



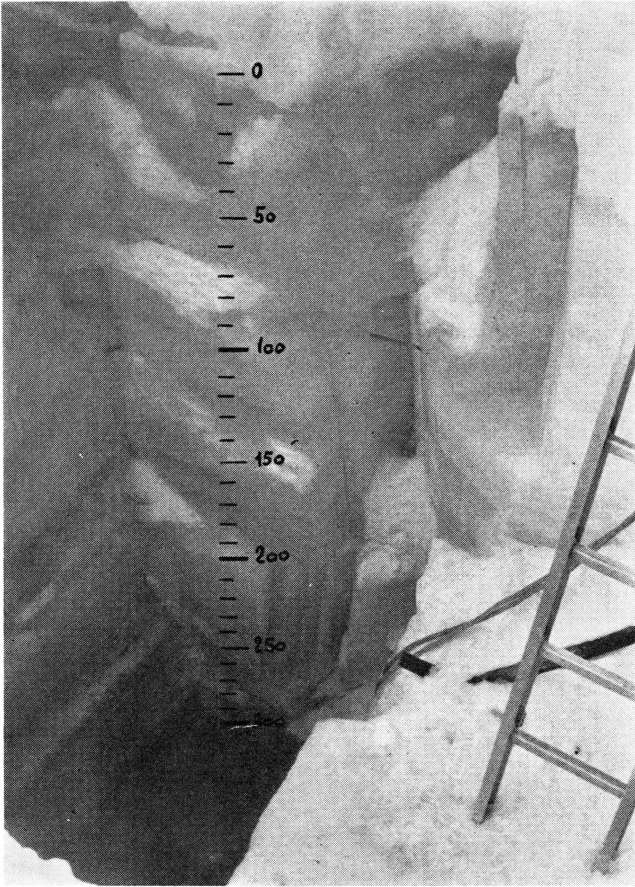


Photo 13. Profilschacht 3 m bei K 3 mit Tiefenskala ab Eisoberfläche 18.5.1959  
(Q 513/21).

Wasserwert von ca. 47,5 cm  $H_2O$  repräsentierte, verblieben bis im August noch 32 cm aufgefrorenes Eis oder ca. 28 cm  $H_2O$  (Pegelablesung). Der Rest war der Ablation verfallen (siehe auch Kapitel 7.3). Der 3 m tiefe Schacht im kompakten Eis erschloss eine unregelmässige Wechsellagerung von dichterem (dunkleren) und stärker blasigem (hellerem) Eis (Photo 13). Leider sind die zur kristallographischen Analyse ausgeschnittenen Proben während der Einlagerung bei Camp VI auf Schmelztemperatur erwärmt worden und geben keine sicheren Anhaltspunkte für eine Datierung.

Pro Meter lassen sich 3 bis 4 durch hellere Lagen getrennte Pakete von dunkleren Bändern unterscheiden. Wenn im Frühling – wie gerade am 18. Mai der Fall – das Schmelzwasser erstmals durch den Schnee auf das kalte Eis durchbricht, wird vermutlich ein ziemlich abrupter Schicht-

wechsel erzeugt. Wir sind also geneigt, verhältnismässig scharfe Uebergänge vom blasigen in blasenarmes Eis (von unten nach oben betrachtet) als Frühlingshorizonte zu deuten, sofern sie nicht näher als ca. 20 cm aufeinander sitzen.

Da eine gänzliche Ablation einzelner Winterschichten nicht ausgeschlossen ist, wird eine Datierung auf Grund einer Schichtanalyse allerdings von vornherein fragwürdig. Unter der Voraussetzung, dass alle Jahresschichten vertreten sind – es handelt sich vorwiegend um aufgefrorenes Eis – gelangen wir zu der in Tabelle 36 verzeichneten versuchsweisen Datierung und Akkumulationsbestimmung. Die Wasserwerte der Akkumulation sind dabei mit einer Dichte von  $870 \text{ kg/m}^3$  gerechnet.

Wegen der erwähnten Unsicherheit sind die gewonnenen Zahlen als Höchstwerte zu betrachten.

Eine in 195 cm angetroffene Schicht mit verschleppten Schmutzspuren (Rost?) kann möglicherweise von einer der EPF-Expeditionen 1949–51 stammen. Die starke Kryokonitanreicherung in 230–270 cm Tiefe deutet auf eine stationäre Phase der Oberfläche, es sei denn dass eine ungewöhnliche Einwehung von Staub stattfand.

Tabelle 36. *Schichtdatierung und Akkumulation bei K 3*

Jahr	Tiefe z (cm)	Akkumulation / Jahr	
		$\Delta z$ (cm)	$h_w$ (cm $\text{H}_2\text{O}$ )
1959 (15.8.) .....	+ 32	32	28
1959 (13.5.) .....	(+ 117)	(117) <sup>1)</sup>	(47,5) <sup>1)</sup>
1958 .....	0	16	14
1957 .....	16	28	24
1956 .....	44	28	24
1955 .....	72	24	21
1954 .....	96	14	12
1953 .....	110	30	26
1952 .....	140	24	21
1951 .....	164	31	27
1950 .....	195	33	
1949 .....	228		
Mittel 1950–59:			22 cm $\text{H}_2\text{O}$

<sup>1)</sup> Bezugsniveau: Eisoberfläche Herbst 1958 nur Winterakkumulation.

Camp VI EGIG

Grundlagen

- Schicht-Dichte und Rammprofil bis 2,2 bzw. 5 m vom 21.5.59 (Abb. 15)
- Schweres Rammprofil bis 9,8 m (s. HAEFELI u. BRANDENBERGER 1967)
- Profil bei den ausgegrabenen Weaseln SIPRE (BENSON) vom 20.5. 1959. (Abb. 16)
- Schichtprofil vom 9.8.1960 (Abb. 17)
- Akkumulationsgitter (Niederschlagsfelder)
- Pegelablesungen 1959, 60.

Wegen der starken Eislagen wurde die Profilgrabung nur bis 218 cm Tiefe vorgetrieben und für die weitere stratigraphische Arbeit bis 520 cm der SIPRE-Kernbohrer eingesetzt.

Tabelle 37 gibt die aus den Profilen herausgelesenen Datierungen und Akkumulationen. Bei der Abzählung der Schichten ist zu beachten, dass der Winterschnee von 1958/59 während des Sommers 1959 zusammengeintert wurde, und das Schmelzwasser bis zu den im Vorsommer vorgebildeten Eislagen in ca. 70 cm Tiefe absickerte. Mit den angesetzten Daten wird nicht das Alter des im betreffenden Horizont liegenden Eises charakterisiert, sondern der im Vorjahr dort befindlichen Schicht.

Tabelle 37. Schichtdatierung und Akkumulation, Camp VI EGIG

Jahr	Tiefe z (cm)	Akkumulation/Jahr	
		(cm) $\Delta z$	(cm H <sub>2</sub> O) $h_w$
1959 (Mai).....	± 0		
1958 (August).....	67	67	(25,0) <sup>1)</sup>
1957 .....	120	53	24,4
1956 .....	180	60	29,5
1955 .....	245	65	31,3
1954 .....	280	35	15,3
1953 .....	330	50	25,6
1952 .....	380	50	27,7
Mittel 1952–59 für 6¾ Jahre:			26,6 cm H <sub>2</sub> O
Mittel 1955–59 für 3¾ Jahre:			29,6 cm H <sub>2</sub> O

<sup>1)</sup> Die Akkumulation 1959 ist noch nicht vollständig. Für die Mittelbildung wird auf 33 cm extrapoliert (bis August).

Die Zahlen für die Akkumulation liegen wesentlich unter früheren Schätzungen (z.B. BENSON 1962). Als Stütze für die neuen Werte kann die Akkumulation im Bereich der im Jahr 1955 abgestellten und 1959 ausgegrabenen Weasel von BENSON angeführt werden. Diese Fahrzeuge befanden sich mit ihrer Auflagefläche 2,5 bis bis 2,9 m unter der Oberfläche vom Mai 1959. Das unmittelbar bei einem solchen Fahrzeug aufgenommene Profil (Abb. 16) zeigte überraschenderweise nur zwei starke Eislagen. Es darf indessen nicht als normales Profil gewertet werden, da die Fahrzeuge, solange sie über die Schneeoberfläche hinausragten, eine überdurchschnittliche Akkumulation auf sich zogen. Später blieb der Zuwachs zurück, und es können sich zwei Sommerzonen vereinigt haben. Die Ablagerung im Bereich der Weasel dürfte eher höher gewesen sein als im freien Feld, dies umsomehr, wenn man der Weaselgruppe noch eine gewisse erhöhte Setzungsbewegung zugesteht (wenigstens in den ersten beiden Jahren). Die Tiefe des betrachteten Weasels von 285 cm steht in vernünftiger Relation zu der in Tabelle 37 angegebenen Tiefe der Spätsommeroberfläche 1955 von 245 cm. Dass der Zuwachs August 1959/60 am Niederschlagsgitter nur in der Höhe von ca. 15 cm  $H_2O$  gefunden wurde, darf nicht direkt als Beleg für die geringere Akkumulation ins Feld geführt werden, denn es besteht keine Gewähr, dass nicht noch Schmelzwasser des Sommers 1960 unter das Gitterniveau (88 cm) abgesunken ist. Vielmehr lässt das Profil vom 9.8.1960 (Abb. 17) erkennen, wie die im Frühling 1959 noch dünnen Eislagen bei 80 und 120 cm zu Eisbänken ausgebaut wurden (nun bei 100 bzw. 130 cm liegend).

Obschon Anzeichen von Akkumulationswerten um 25 cm  $H_2O$  vorliegen, verwenden wir die zuverlässigere Zahl von ca. 30 cm (1955–1959).

#### Milcent

Grundlagen:

- Schicht-, leichtes Ramm- und Dichteprofil bis 400 cm vom 2.–3.6. 1959 (Abb. 18) und bis 250 cm vom 6.8.1960 (Abb. 19)
- Schweres Rammprofil bis 10 m vom 4.6.1959 (s. HAEFELI u. BRANDENBERGER 1968)
- Akkumulationsgitter (Niederschlagsfeld)
- Pegel inkl. alte Pegel Benson und EPF.

Die Datierung erscheint verhältnismässig einfach, bietet aber dennoch gewisse Probleme. Ist z.B. die unregelmässige Eislinse in 320 cm Tiefe (2.6.59 Abb. 18) autochthon oder stammt sie als Intrusion aus dem Sommer 1957? Einfacher ist die schon im Herbst 1959 feststellbare Eislage bei 115 cm im Profil vom 6.8.1960 (Abb. 19) dem warmen Sommer 1959 zuzuordnen.

Nach den Profilunterlagen ist Tabelle 38 abgeleitet.

Tabelle 38. Schichtdatierung und Akkumulation bei Milcent

Jahr	Tiefe z (cm)	Akkumulation/Jahr	
		$\Delta z$ (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
1960 .....	+ 128 <sup>1)</sup>	128	47,2 <sup>1)</sup>
1959 (3.6.) .....	0	125 <sup>1)</sup>	46,8 <sup>1)</sup>
1958 .....	125	125	51,1
1957 .....	250	110	47,7
1956 .....	360	95	44,5
1955 .....	455		
Mittel 1955–1960:		46.2 cm H <sub>2</sub> O/Jahr	

1) Bezogen auf Juni 1959, übrige auf Spätsommer (ca. August).

An den Pegeln SIPRE (BENSON) 5–140 N und 5–140 S ist von August 1955 bis Juni 1959 ein Zuwachs von 382, bzw. 415 cm ausgewiesen. Der zweitgenannte Pegel wurde 1955 frisch gesetzt, und dürfte eine Setzung des 1955 Niveaus von ca. 15 cm aufweisen. (Einbautiefe vermutlich ca. 120 cm). Damit resultiert ein Zuwachs von maximal 430 cm, falls der Pegelfusspunkt eingesunken ist, entsprechend weniger. Man kann sich fragen, ob bei unserer Datierung eine Schicht übergangen wurde, ev. bei 320 cm, wo eine starke Eislage anzutreffen ist. Dies würde den mittleren Zuwachs auf ca. 40 cm H<sub>2</sub>O hinunterdrücken. Wir halten hier den höheren Wert von ca. 46 cm für zuverlässiger. Die Fortsetzung des schweren Rammprofils nach der Tiefe spricht auch dafür.

Station Centrale

Grundlagen:

- Schicht-, leichtes Ramm- und Dichteprofil bis 4 m vom 19.–18.6. 1959 (Abb. 20) und bis 2 m vom 2.8.1960 (Abb. 22)
- Schweres Rammprofil bis 10,5 m Juni 1959 (Abb. 21)
- Dichteprofil 4 m – 30,7 m nach Kernbohrung Juni 1959 (Abb. 21)
- Ramm- und Dichteprofil der Expedition SIPRE (C. BENSON) vom 24.7.1959 (Abb. 21)
- Akkumulationsgitter (Niederschlagsfeld)
- Situation der Station Centrale EPF (Abb. 30)
- Pegelablesungen inkl. alte Pegel BENSON und EPF (verlängert) 1955, 1959, 1960

Mit ihrer reichen Vorgeschichte bietet die Station Centrale trotz des bedauerlichen Ausfalls des Benoto-Schachtes die besten Voraussetzungen

für die Bestimmung der Akkumulation. Wir legen dem Datierungsversuch wieder zunächst die eigenen Profilaufnahmen zu Grunde und verwenden andere Informationen als Stützwerte oder Diskussionsbeiträge. (Tabelle 39).

Tabelle 39. *Schichtdatierung und Akkumulation, Station Centrale*

Jahr	Tiefe $z$ (cm)	Akkumulation/Jahr	
		$\Delta z$ (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
1960 .....	+ 100	100 <sup>1)</sup>	36 <sup>1)</sup>
1959 (9.6.) .....	$\pm$ 0	105	37,4
1958 .....	105	96 <sup>1)</sup>	38,3 <sup>1)</sup>
1957 .....	201	92	35,3
1956 .....	293	61	25,4
1955 .....	354	101	44,0
1954 .....	455	95	44,8
1953 .....	550	96	46,9
1952 .....	646	56	27,2
1951 .....	702	68	33,8
1950 .....	770	80	40,3
1949 .....	850	55	28,70
1948 .....	905	85	44,10
1947 .....	990		
Mittel 1947–1960:			37,1 cm H <sub>2</sub> O/Jahr

<sup>1)</sup> Bezogen auf Juni 1959.

Vergleicht man diese Daten mit anderen Beobachtungen, ergibt sich allgemein eine gute Uebereinstimmung.

Nach Abb. 30 wurde im Juni 1959 die Station Centrale BENSON und EPF in folgender Tiefenstaffelung angetroffen:

– Niveau BENSON 1955 bei Eingang Station Centrale:  $z = 362$  cm (nach Profil: 354 cm)

Turm BENSON 1955. Differenz der herausragenden Höhe 1955–1959 (Mai): 284 cm. Die Setzung längs des Turmfusses von 3 m Einbautiefe bringt einen Zuschlag von überschlagsmässig 60 cm, was die effektive Akkumulation in die Gegend des Profilwertes bringt.

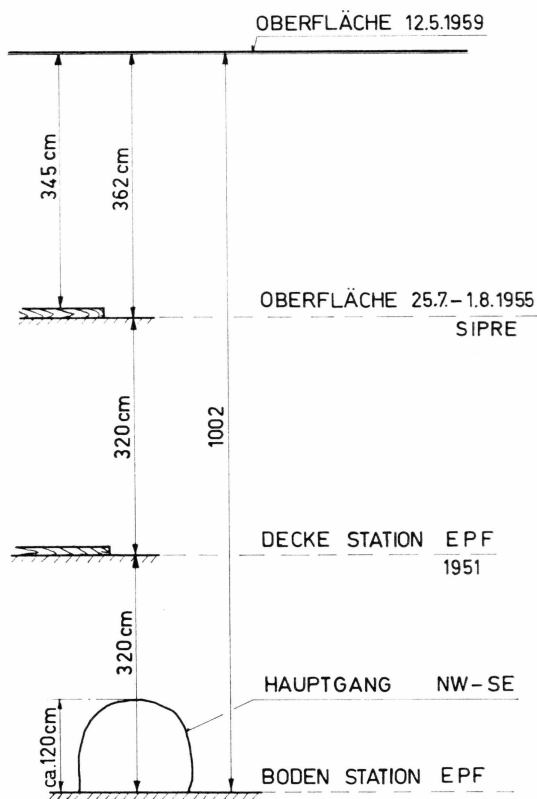


Abb. 30. Akkumulation beim Eingang der Station Centrale EPF im Juni 1959 (nach Messungen von R. GUILLARD und A. RENAUD).

- Niveau Abschluss Station Centrale EPF 1951  $z = 682$  cm, (nach Profil 702 cm). Da normalerweise im Bereich von Stationen erhöhte Akkumulation festzustellen ist, könnte man sich fragen, ob nicht im Profil noch ein Jahr mehr zu zählen wäre. Ein schwacher Ansatz dazu findet sich im Ramm- und Dichteprofil bei ca. 590 cm Tiefe. Dies würde allerdings für 1952/53 einen ausserordentlich niedrigen Zuwachswert von nur ca. 19 cm  $H_2O$  bedeuten.

Die beiden alten Pegel 5-40 (1) und 5-40 (2) weisen folgende Differenzen gegen die Ablesungen BENSON auf:

- Pegel 5-40 (1) SIPRE: Zuwachs 1955-1959: 316 cm.
- Pegel 5-40 (2) SIPRE: Zuwachs 1955-1959: 335 cm, dazu unbekannten Setzungszuschlag. Die Pegelwerte sind also überraschend nahe am Profilwert.

**Dépôt 275 (Crête)**

Grundlagen:

- Schicht-, 1. Ramm- und Dichteprofil 2,3 m vom 22.6.1959 (Abb. 23)
- Schweres Rammprofil 9 m vom 22.6.1959 (Abb. 24)
- Dichteprofil nach Kernbohrung 15 m vom 22.–23.6.1959 (Abb. 24)
- Pegelablesungen 1959, 1960.

Tabelle 40 gibt den Datierungsversuch.

Tabelle 40. *Schichtdatierung und Akkumulation, Dépôt 275 (Crête)*

Jahr	Tiefe z (cm)	Akkumulation/Jahr	
		$\Delta z$ (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
1960 .....	+ 91 <sup>1)</sup>	91	30,4 <sup>2)</sup>
1959 (22.6.) .....	0	74	25,3
1958 .....	74	66	24,5
1957 .....	140	77	29,9
1956 .....	217	88	36,2
1955 .....	305	55	22,7
1954 .....	360	96	42,1
1953 .....	456	49	22,0
1952 .....	505	60	26,9
1951 .....	565		
Mittel 1951–60:		28,9 cm H <sub>2</sub> O/Jahr	

<sup>1)</sup> Pegeldifferenz 77 cm + 14 cm Setzungszuschlag.<sup>2)</sup> Berechnet nach Dichteprofil 1959.

Es ist nicht ganz ausgeschlossen, dass sich im Zuwachs 1953–54 zwei Jahre verbergen. Dies würde die mittlere Jahresakkumulation auf 26,0 cm H<sub>2</sub>O reduzieren. Von 5 bis 9 m Tiefe lassen sich im schweren Rammprofil noch einige vermutliche Jahresfugen unterscheiden. Die Unsicherheit ist aber zu gross, um eine Datierung zu wagen.

**Station Jarl-Joset**

Grundlagen:

Das Material kann in drei Gruppen aufgeteilt werden:

1. Erhebungen im Bereich des Feldprofils vom 2.–9.7.1959:
  - L. Ramm-, Schicht- und Dichteprofil bis 4 m (Abb. 25)
  - 2 schw. Rammprofile (Abb. 26)



- Dünnschnittprofil vertikal SLF (Ausschnitte Photo 8)
  - Dichten und Wasserwerte Tabelle 30
2. Beobachtungen im Schacht Dumont und in dessen unmittelbarer Nähe:
- sch. Rammprofil in Schachtnähe (Abb. 26)
  - sch. Rammprofile im mechan. Labor (HAEFELI u. BRANDENBERGER 1968)
  - Stratigraphie Schacht Dumont (Abb. 28)
  - Korngrössenschätzung Schacht Dumont (n. SCHNEIDER, Abb. 29)
  - Dünnschnittprofil vertikal SLF (Ausschnitte Photo 9)
  - Dünnschnitte horizontal Präparation R. SCHNEIDER, Auswertung SLF. (Beispiele Photo 10, 11, Auswertung Abb. 29)
3. Akkumulationsmessungen und Oberflächenprofile während der Ueberwinterung. (Pegel, Niederschlagsfeld, Profile Kapitel 11)

Zwischen dem Feldprofil und dem Schacht Dumont besteht eine Niveaudifferenz, die sich nicht ohne weiteres eliminieren lässt. Der Bezugspunkt für alle Höhenangaben im Schacht, die Nullmarke am Pegel Dumont (= Oberfläche Juni 1959), befindet sich 66,3 cm über der Oberfläche beim Feldprofil, und zwar vermutlich wegen erhöhter Akkumulation im Bereich des Schachtes (Aushub, Störung durch die Station). An der Stelle der Kernbohrung war die Oberfläche 56 cm tiefer als O-Dumont, und die schwere Rammsondierung beim Schacht stimmt mit den anderen beiden Aufnahmen beim Feldprofil in tieferen Schichten überein, wenn ihr Oberflächenpunkt um ca. 30 cm gehoben wird (s. Abb. 26).

Wir nehmen also die Datierung im *Feldprofil* bis auf 4 m Tiefe vor, suchen eine markante Schicht dieser Tiefenlagen (aus der Zeit vor der Expedition Dumont 1956/57) im *Schacht* und setzen dort die Datierung fort. Dabei entsteht eine Sprungstelle von der Grössenordnung von 60 cm (s. Abb. 28 und 29).

Datierung und Akkumulation sind bis in 8,8 m Tiefe in Tabelle 41 vermerkt. Der Versuch einer Datierung bis zum Schachtboden (39 m) ist in Tabelle 42 enthalten. Eine weitere Behandlung der Akkumulationsraten der Station Jarl-Joset ist im Abschnitt 6.5.2. zu finden.

Der während der Ueberwinterung am 3. Juni 1960 beobachtete *Firnstoss* (HAEFELI & BRANDENBERGER 1968) kann auf Grund des Profils von Jarl-Joset vom Juli 1959 mit einiger Sicherheit lokalisiert werden. Der von BRANDENBERGER angegebene Tiefenbereich von 225–256 cm ab

Oberfläche Juli 1959 liegt nach Anbringen einer Setzungskorrektur von 7 cm im genannten Profil (Abb. 25) bei 232–263 cm. In erster Linie ist die Lockerschicht 262–264 cm in Betracht zu ziehen. Weitere Lockerhorizonte finden sich bei 238 und 250 cm; alle datieren aus dem Sommer 1955.

Tabelle 41. *Schichtdatierung und Akkumulation bis 8,8 m, Station Jarl-Joset*

Jahr	Tiefe z cm 1) Oberfl.Feldprofil 2) bez. O-Dumont	Akkumulation/Jahr		Grundlage
		z (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)	
1960.....	(+ 91) <sup>3)</sup>	91	31,1 <sup>4)</sup>	Pegel und Nieder- schlagsfeld Feldprofil
1959 (2.7.) ....	0 <sup>4)</sup>	48	18,3	
1958.....	48	66	23,7	
1957.....	114	66	25,8	
1956.....	180	64	24,1	
1955.....	244	61	24,0	
1954.....	305	71	30,3	
1953.....	376			
1953.....	450 <sup>2)</sup>	60	25,7	Sch. Ramm- profile und Schacht Dumont
1952.....	510	85	37,8	
1951.....	595	42	19,7	
1950.....	637	41	19,3	
1949.....	678	46	21,5	
1948.....	724	66	32,8	
1947.....	790	40	20,1	
1946.....	830	50	25,7	
1945.....	880			
Mittel 1945–1960 (ohne 1959):			25,8 cm H <sub>2</sub> O/Jahr	

<sup>3)</sup> Nach BRANDENBERGER.

<sup>4)</sup> Volle Jahresakkumulation Juli 1959–Juli 1960 (n. SCHNEIDER).

Das Jahr 1959 wird nicht mitgezählt, da die Akkumulation bezogen auf den von uns gesetzten Spätsommertermin nicht ganz vollständig ist.

Tabelle 42. *Versuch einer Datierung der Firnschichtung von 8,8–39,5 m, Station Jarl-Joset (S. Abb. 28 u. 29)*

1945–1912: Schacht Dumont und schweres Rammprofil Labor

1912–1871: Schacht Dumont

Jahr	Tiefe z (cm)	Jahr	Tiefe z (cm)	Jahr	Tiefe z (cm)
1944	985	1919	2055	1894	3055
1943	980 ?	1918	2085	1893	3090
1942	1020	1917	2120	1892	3125
1941	1065	1916	2165	1891	3145
1940	1120	1915	2210	1890	3180
1939	1170 ?	1914	2240	1889	3225
1938	1210	1913	2290	1888	3260
1937	1255	1912	2345	1887	3325
1936	1315	1911	2390	1886	3360
1935	1350	1910	2425	1885	3390
1934	1410	1909	2465	1884	3440
1933	1450	1908	2520	1883	3495
1932	1505	1907	2550	1882	3520
1931	1535	1906	2590	1881	3570
1930	1570	1905	2635	1880	3620
1929	1605	1904	2660	1879	3655
1928	1630	1903	2700	1878	3695
1927	1665	1902	2740	1877	3740 ?
1926	1715	1901	2790	1876	3785
1925	1755	1900	2840	1875	3815
1924	1810	1899	2880	1874	3840
1923	1855	1898	2910	1873	3885
1922	1905	1897	2940	1872	3920
1921	1965	1896	2975	1871	3950
1920	2000	1895	3020	1870	

### Dépôt 420

Grundlagen:

- leichtes und schweres Rammprofil vom 3.–4.7.1959
  - Kernbohrung (Dichteprofil) vom 3.–4.7.1959
- } (Abb. 27)

Die Datierung ist mit einigen Unsicherheiten behaftet. Für die Bestimmung der Jahresakkumulation haben wir lediglich Jahre ausgewählt, die durch deutliche Schichtgrenzen gekennzeichnet sind. (Tabelle 43).

Tabelle 43. *Schichtdatierung und Akkumulation, Dépôt 420*

Jahr	Tiefe z	Akkumulation/Jahr	
		$\Delta z$ (cm)	$h_w$ (cm H <sub>2</sub> O)
1959 (3.7.) . . . . .	0		
1958. . . . .	58	58	22,6
1957. . . . .	120	62	22,3
1956. . . . .	200	80	33,4
1955. . . . .	282	82	33,9
1954. . . . .	360	78	33,5
1953. . . . .	452	92	(40,2)
1952. . . . .	516	64	(26,5)
1951. . . . .	572	56	(25,1)
1950. . . . .	620	48	21,8
1949. . . . .	688	68	32,2
1948. . . . .	740	52	25,6
1947. . . . .	788	48	22,9
1946. . . . .	836	48	23,8
1945. . . . .	866	30	(15,3)
1944. . . . .	928	62	(31,3)
1943. . . . .	983	55	(28,0)
Mittel 1954–1959:			29,1 cm H <sub>2</sub> O/Jahr
1946–1951:			25,2 -
Mittel beider Perioden:			27,2 -
Mittel aller Jahre:			27,4 -

### Zusammenfassung

Die Akkumulationsverteilung über die West-Ost Route der EGIG ist in den Abb. 31 und 32 dargestellt.

In Abb. 31 wird geprüft, ob eine parallellaufende Tendenz zwischen den Ablagerungen benachbarter Stationen besteht, um allfällige Datierungsfehler zu erkennen. Es sind Anzeichen von ähnlichem Verhalten feststellbar, aber auch gegenläufige Tendenzen sind vorhanden. Letztere könnten möglicherweise einer weiträumigen Schneedrift zugewiesen werden. Angesichts der beträchtlichen Variation einzelner Jahresschich-

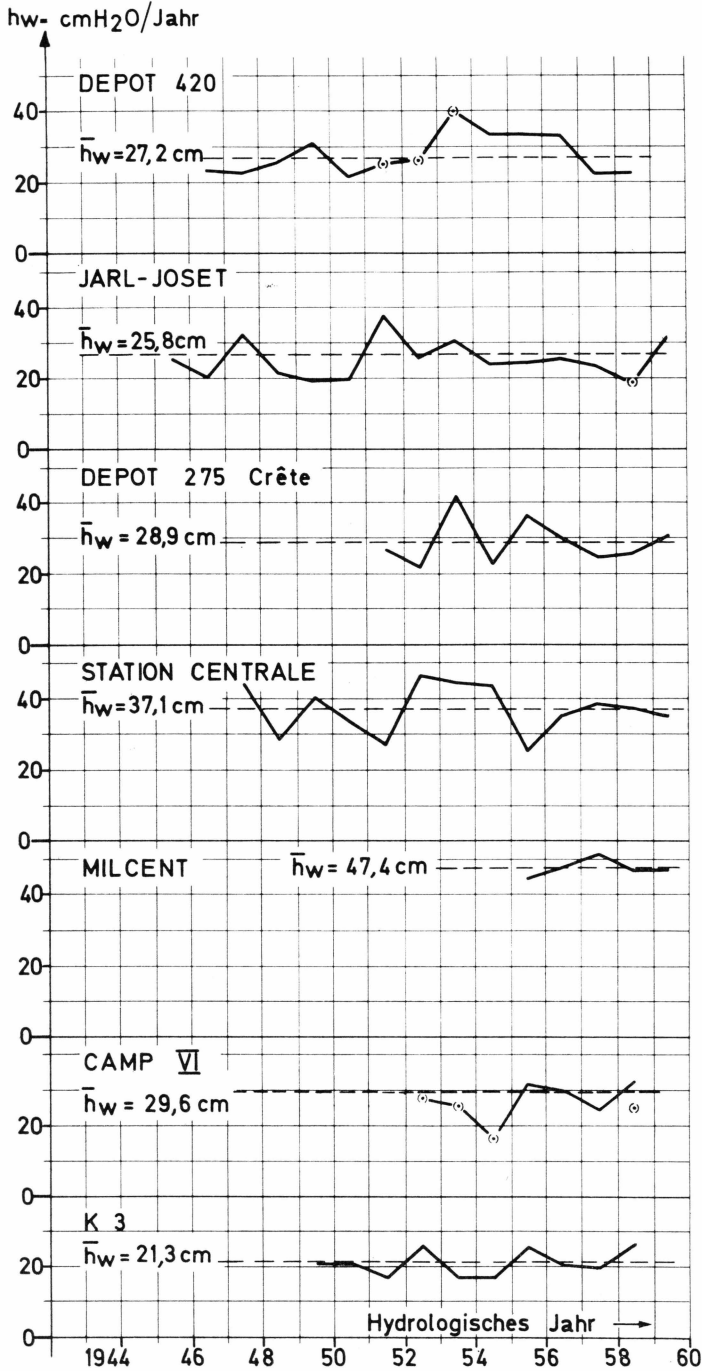


Abb. 31. Jährliche und mittlere Akkumulation an den Hauptstationen der EGIG.

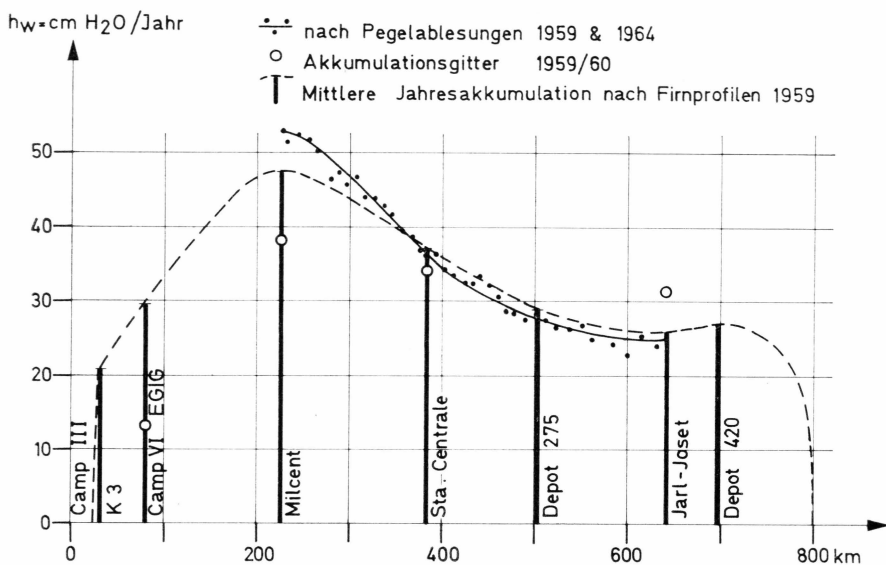


Abb. 32. „Verteilung der Jahresakkumulation im Querprofil der EGIG.

- Säulen u. gestrichelte Kurve: Mittelwerte aus Firnprofilen 1959 an den Hauptstationen (Periodenlängen gemäss Tabellen 37–44).
- Punkte u. ausgezogene Kurve: Werte nach Pegelablesungen 1959 u. 64 (Tabelle 14).
- Kreise: Zuwachswerte 1959/60 nach Akkumulationsgitter.“

ten auf engem Raum (Sastrugi!) empfiehlt es sich, auf eine Interpretation in dieser Richtung zu verzichten.

Abb. 32 enthält einerseits die aus der Firnschichtung ermittelten Mittelwerte der jährlichen Akkumulation für die verschiedenen Hauptstationen der EGIG (senkrechte Säulen, verbunden durch gestrichelte Kurve), anderseits die für die Spanne 1959–64 aus allen EGIG-Pegeln ermittelten Akkumulationen. Die Differenzen von Pegelablesungen sind wie folgt korrigiert worden:

1. Extrapolation auf ein volles Jahr, wenn das Datum der Ablesung von 1959 und 1964 nicht übereinstimmte.
2. Setzungszuschlag entsprechend der Lage des Pegelfusspunktes beim Einbau, berechnet nach den im Bereich von Milcent bis Dépôt 420 aus den Firnprofilen ermittelten und interpolierten Setzungsraten.
3. Wasserwerte berechnet aus den Dichteprofilen von 1959.

An den Hauptstationen sind alle verfügbaren Pegelwerte gemittelt worden, auf den Zwischenstrecken handelt es sich um Einzelstandorte. Trotz der etwas brutal anmutenden aber konsequenten Behandlung gliedern sich die Akkumulationswerte der Jahre 59/64 überraschend gut in das allgemeine Bild der Profilwerte ein. Die Pegelresultate erscheinen besser als ihr Ruf.

Der Abszissenmasstab der Ab. 32 folgt nicht der durch die Pegel markierten Piste, sondern einer auf dem Routenplan der Gruppe Lagemessung gezogenen Geraden von Pegel T 305 über T 25, T 36 und ca. T 54. Die einzelnen Stationen sind auf diese Gerade (in Wirklichkeit eine durch das Profil, die Erdkrümmung und die Kartenprojektion bestimmte Kurve) normal projiziert. Dabei musste Depot 420 weit aus dem Norden heruntergeholt werden.

Aus dem Akkumulationsprofil lässt sich durch Planimetrierung längs der gestrichelten Kurve die mittlere jährlich akkumulierte Eis-  
masse auf einem Streifen von 1 m Breite der genannten Geraden (bzw.  
Kurve) quer durch Grönland abschätzen.

Sie beträgt, ausgedrückt in  $\text{m}^3$  Wasser      total ca.  $257000 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{Jahr}$   
davon westlich der Kumulation (Depot 275, Crête) ca.  $179000 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{Jahr}$   
östlich der Kumulation                      ca.  $78000 \text{ m}^3 \text{ H}_2\text{O}/\text{Jahr}$

Diese Mengen haben also im Fall eines stationären Zustandes zu beiden Seiten des Inlandeises in *Form der Eisbewegung* über die Firnlinie ins Gebiet der Ablation auszutreten (Firnlinie hier = mittlere Gleichgewichtslinie zwischen Akkumulation und Ablation unter Berücksichtigung des aufgefrorenen Eises).

### 6.5.2. Beziehung zwischen Firntiefe und Schichtalter

#### a) Allgemeines

Die primäre Aufgabe der Schichtanalyse besteht darin, aus der Schichtstruktur die Jahresdatierung herauszulesen und daraus die jährliche und mittlere Akkumulation zu bestimmen. Es kann aber auch die inverse Aufgabe, nämlich die Tiefenbestimmung für ein gewisses Schichtalter bei bekannter mittlerer Akkumulation von Interesse sein, z.B. um die Einsinktiefe eines Objektes nach einer bestimmten Zeitdauer zu ermitteln.

Zur Lösung dieser Aufgabe setzen wir die Gültigkeit des Sorge-Gesetzes voraus (zeitlich konstantes Dichteprofil, konstanter Jahreszuwachs).

Bei gegebener Dichteverteilung  $\gamma(z)$  über die Tiefe  $z$  ist der über dem Horizont  $z$  akkumulierte Wasserwert

$$(1) H_w(z) = \bar{w}t = \int_0^z \gamma(z) dz \quad H_w \text{ Wasserwert über } z (t/\text{m}^2 = \text{m H}_2\text{O})$$

$\bar{w}$  Mittlere Jahresakkumulation  
( $t/\text{m}^2 \text{ Jahr} = \text{m H}_2\text{O}/\text{Jahr}$ )

$t$  Zeit (Jahre)

$\gamma$  Dichte ( $t/\text{m}^3$ ) (=  $\text{g}/\text{cm}^3$ )

$z$  Tiefe ab Oberfläche (m)

Die Auflösung von Gl. (1) nach  $z$  liefert die gewünschte Beziehung

$$(2) \quad z = F(t)$$

mit  $\bar{w}$  als wesentlichem Parameter.

#### b) Station Jarl-Joset

Die vorhandenen Dichtemessungen in den Feldprofilen, den Vertikalbohrungen und im Schacht Dumont, gemittelt für Tiefenstufen von 1 m lassen sich bis zu einer Tiefe von 40 m darstellen durch eine Kurve von der Gestalt

$$(3) \quad \boxed{\gamma(z) = k(z + z_0)^{\frac{1}{4}}} \quad k, z_0 \text{ freie Parameter (Abb. 28)}$$

Diese Funktion in (1) eingesetzt liefert

$$H_w(z) = \bar{w}t = \frac{4}{5}k \left[ (z + z_0)^{\frac{5}{4}} - z_0^{\frac{5}{4}} \right]$$

$$(4) \quad \text{bzw.} \quad \boxed{z(t) = \left( \frac{5}{4} \cdot \frac{\bar{w}t}{k} + z_0^{\frac{5}{4}} \right)^{\frac{4}{5}} - z_0}$$

Die freien Parameter sind bestimmt worden durch Anschluss der Kurve an die experimentelle Dichte bei 39 m und mit dem experimentellen Wasserwert  $H_w$  bei 39.0 m von  $H_w = 22,46 \text{ m H}_2\text{O} = 22460 \text{ kg/m}^2$  (Integral der gestuften Kurve + Korrektur für Eislinsen):

$$k = 273 \left( \text{kg} \cdot \text{m}^{-\frac{13}{4}} \right)$$

$$z_0 = 3,0 \text{ (m)}$$

Als Akkumulationsrate setzen wir auf Grund einer Schichtanalyse der Rammprofile, der Schichtprofile und der kristallographischen Merkmale den Wert  $\bar{w} = 256 \text{ kg m}^2/\text{Jahr}$  ein.

Damit lautet Gl (4) numerisch

$$(5) \quad z = (1,173 \cdot t + 3,95)^{\frac{4}{5}} - 3 \text{ m}$$

Die errechnete Kurve Gl. (3), Abb. 28 liegt überall im Bereich der gemessenen Einzelwerte. Ohne dass ihr physikalische Bedeutung zukommt, lässt sie doch eine gewisse Unregelmässigkeit – man ist versucht zu sagen Periodizität – in der experimentellen Kurve erkennen. So finden sich Schichten mit besonders hoher Dichte in Tiefen von 11–14 m, 21–23 m, und 28–30 m. Es kann dies der Ausdruck mehrjähriger schneefallinten-



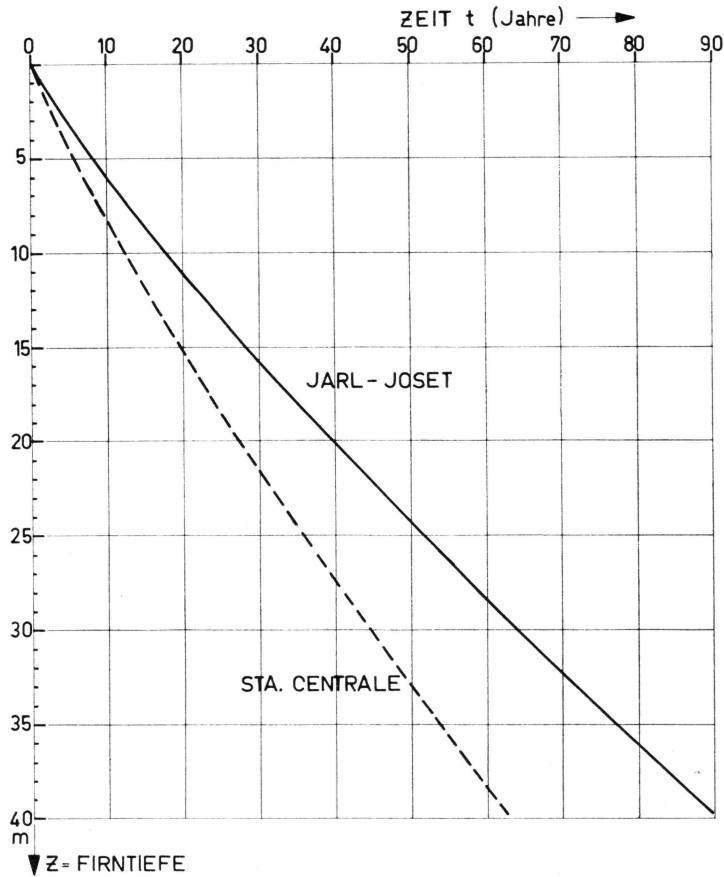


Abb. 33. Beziehung zwischen Schichttiefe und -alter für Stationen Jarl-Joset und Centrale (nach empirischer Dichteformel und mittlerer Akkumulation).

siver Perioden sein, aber auch von veränderten Setzungsbedingungen (veränderte Mitteltemperatur) zur Zeit der Ablagerung. Tabelle 44 und Abb. 33 u. 34 veranschaulichen die Relation (5)

Tabelle 44. *Beziehung zwischen Schichtalter und Tiefe für Station Jarl-Joset (gerechnet)*

t (Jahre)	Tiefe Z (m)	t	Z
1	0,69	22	12,09
2	1,35	24	13,05
3	2,00	26	13,98
4	2,62	28	14,89
5	3,22	30	15,80
6	3,82	35	18,02
7	4,38	40	20,19

(Fortsetzung)

Tabelle 44 (fortgesetzt).

t (Jahre)	Tiefe Z (m)	t	Z
8	4,95	45	22,30
9	5,50	50	24,37
10	6,04	60	28,42
12	7,12	70	32,30
14	8,15	80	36,12
16	9,17	90	39,82
18	10,14	100	43,66
20	11,14		

Die rechnerische Datierung nach Tabelle 44 ist in Abb. 28 als Jahresskala aufgezeichnet.

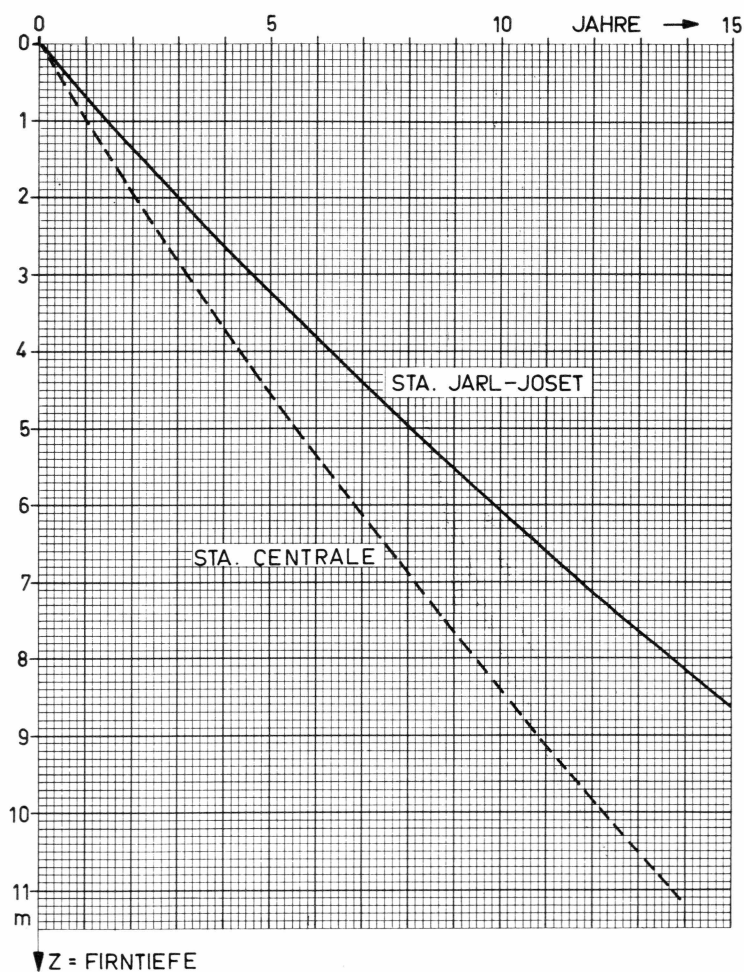


Abb. 34. Beziehung zwischen Schichttiefe und Alter für Stationen Jarl-Joset und Centrale (Ausschnitt aus Abb. 33).

c) Station Centrale

Die vergleichshalber in Abb. 28 eingetragenen Meterwerte der Dichte für Station Centrale, sowie die Messungen von SORGE für Eismitte (BADER 1954) zeigen, dass trotz unterschiedlicher Akkumulationsrate der Dichteverlauf  $\gamma$  (Z) der beiden Stationen sehr ähnlich ist. Man kann also – mindestens für eine gröbere Betrachtungsweise die Gleichungen (3) und (4) mit den für Jarl-Joset berechneten Konstanten auch für Station Centrale anwenden. In Gl. (4) ist lediglich die Akkumulationsrate  $\bar{w}$  der letztgenannten Station einzusetzen.

Mit dem aus den Dichtemessungen und der Schichtanalyse gewonnenen Wert von  $\bar{w} = 0,37$  m/Jahr wird die Zeit-Tiefenbeziehung numerisch

(6)  $Z = (1,696 \cdot t + 3,95)^{\frac{4}{3}} - 3 \text{ m}$

(Tabelle 45, Abb. 33 u. 34).

Tabelle 45. *Beziehung zwischen Schichtalter und Tiefe für Station Centrale (gerechnet)*

t (Jahre)	Tiefe Z (m)	t	Z
1	0,97	12	9,82
2	1,94	14	11,20
3	2,83	16	12,5
4	3,69	20	15,25
5	4,51	25	18,5
6	5,33	30	21,6
7	6,10	35	24,6
9	6,86	40	27,5
9	7,68	45	30,4
10	8,37	50	33,2

Bei Station Centrale treffen wir also in gleicher Tiefe wie bei Jarl-Joset und bei gleicher Dichte Schichten geringeren Alters.

Für die *Station Milcent* trifft die Formel (3) nicht mehr zu. Es wäre jedenfalls eine andere Potenz als 1/4 einzusetzen. In Ermangelung eines genügend tiefen Dichteprofiles ist das Problem nicht verfolgt worden.

d) 4. Verdichtungsraten

Im Rahmen der Gültigkeit der Gleichungen (3) und (4) liefert die Gleichheit der Dichteprofile von Jarl-Joset und von Station Centrale eine Aussage über die Verdichtungsrate  $\frac{d\gamma}{dt}$ .

Es ist  $\frac{d\gamma}{dt} = \frac{\partial \gamma}{\partial z} \cdot \frac{\partial z}{\partial t}$ .

Aus (3) folgt:  $\frac{\partial \gamma}{\partial z} = \frac{k}{4} \cdot (z + z_0)^{-\frac{3}{4}}$

aus (4) folgt:  $\frac{\partial z}{\partial t} = \frac{\bar{w}}{k} \cdot (z + z_0)^{-\frac{1}{4}}$

somit

$$(7) \quad \frac{d\gamma}{dt} = \frac{\bar{w}}{4(z + z_0)} = \frac{\bar{w} k^4}{4\gamma^4}.$$

Die Verdichtungsrate ist demnach nur eine Funktion der Tiefe bzw. Der Dichte und der Akkumulationsrate. Die begrenzte Gültigkeit der für einen Tiefenbereich von  $0 \leq z \leq 40$  m bzw.  $350 \leq \gamma \leq 700$  kg m<sup>-3</sup> gefundener Beziehung ist evident. Gl. (7) sollte für  $\gamma = 917$  null werden. (siehe Abb. 35).

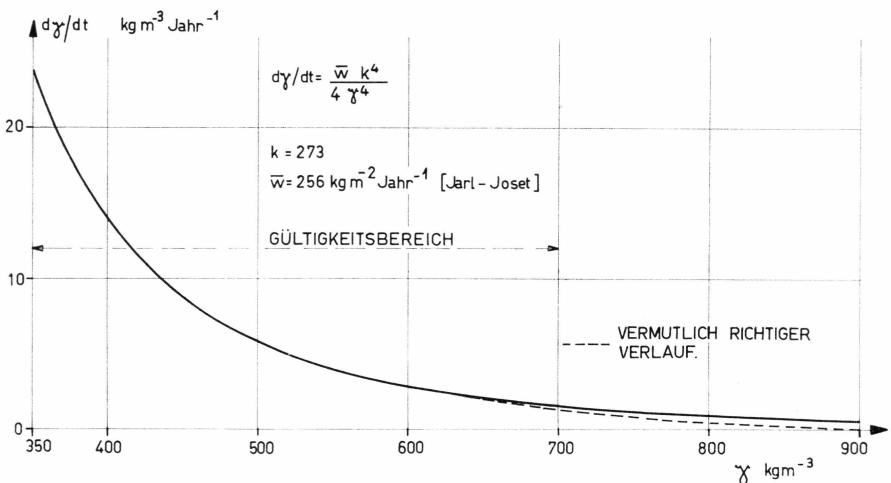


Abb. 35. Verdichtungsrate als Funktion der Dichte.

#### e) Korrektur von Pegelmessungen an Hand der Alter-Tiefenbeziehung

Die vorgängig nachgewiesenen Beziehungen gestatten, es auch bei variablen Niederschlagsverhältnissen Ablesungen an tief sitzenden Pegeln grob zu korrigieren, sofern die mittlere Akkumulation des Standortes für frühere Jahre einigermassen bekannt ist.

Es sei  $Z_1$  die Tiefe eines Pegelfusspunktes (z.B. 600 cm bei Jarl-Joset),  $Z_{02}$  die Ablesung der neuen Oberfläche nach zwei Jahren (z.B. 740 cm). Gesucht der effektive Schneehöhenzuwachs. Nach Abb. 34

befindet sich der Pegelfusspunkt nach 2 Jahren in der rechnerischen Tiefe  $Z'_2$  (707 cm), die Oberfläche der 1. Ablesung in der rechnerischen Tiefe  $Z'_0$  (134 cm). Die Setzung der ursprünglichen Schneelage am Pegel beträgt also,

$$\Delta Z = Z_1 - (Z'_2 - Z'_0) = 600 - (707 - 134) = 27 \text{ cm}$$

Der korrigierte Zuwachs somit

$$Z_{02} - Z_1 + \Delta Z = 140 + 27 = 167 \text{ cm.}$$

Vorausgesetzt bleibt natürlich Schichttreue des Pegelfusspunktes.

## 7. FIRNTEMPERATURMESSUNGEN

### 7.1. Einleitung

Mit der Messung von Firntemperaturen werden verschiedene Zwecke verfolgt, nämlich

- Vergleich der Temperaturprofile von früher schon besetzten Stationen mit solchen der EGIG zur Feststellung langsamer Veränderungen in den thermischen Randbedingungen in den letzten zwei Jahrzehnten.
- Studium der Temperaturvariation mit grösserer Tiefe und Vergleich mit dem theoretischen Temperaturverlauf unter stationären Bedingungen zur Abschätzung eventuell vorangegangener Unregelmässigkeiten von säkularer Grössenordnung.
- Ermittlung der Temperaturverhältnisse zu bestimmten Terminen zur Charakterisierung der Ablationsbedingungen einer Station (küsten-nahe Gebiete).
- Beobachtung täglicher und saisonmässiger oberflächlicher Temperaturschwankungen, zur Ermittlung der daraus resultierenden Temperaturgradienten und ihrer Rückwirkung auf die Firnumwandlung (Bildung der Sommer- und Winterfacies).

Eine Möglichkeit, langsame Temperaturverschiebungen in Schichten zu messen, die unterhalb der Eindringungstiefe der Tagesschwankungen liegen, kann mit dem Einbau elektrischer Thermometer und ihrer Ablesung in grösseren Intervallen gewonnen werden. Voraussetzung dazu ist einerseits eine ausreichende Genauigkeit der Instrumente und anderseits die Möglichkeit, die Lage der Thermometer mit zunehmender Ueberdeckung verfolgen zu können. Die zweite Bedingung lässt sich nur unter Verwendung von Zuwachs- und Dichtewerten unter Einbezug des Sorge-Gesetzes realisieren, es sei denn man benütze geophysikalische Methoden zur Messung der Tiefe der Elemente.

Die in diesem Bericht vorgelegten Messungen umfassen:

- Temperaturmessungen in der obersten Firnlage (2–4 m), meist mit Quecksilber- oder Metallthermometern aufgenommen während des

Vormarsches der Gruppe Glaziologie von West nach Ost im Frühsommer 1959.

- Elektrische Temperaturmessungen mit fest eingebauten Elementen, (Dauermesstellen) während des Vormarsches (Mai/Juni 1959) und während des Rückmarsches (August 1959). Zusätzliche Ablesungen derselben Elemente wurden im August 1960 durch R. SCHNEIDER anlässlich des Rückmarsches der Ueberwinterungsgruppe und im Juni/Juli 1964 durch W. PFROMMER anlässlich der Pegelverlängerung vorgenommen. Sie sind ebenfalls einbezogen.
- Temperaturmessungen in den Profilen bei Jarl-Joset und im Schacht Dumont im Juli 1959, sowie im Jahr 1960.

Messungen über die Temperaturschwankungen in der obersten Schneelage werden zusammen mit Beobachtungen über die Oberflächenmetamorphose publiziert. (S. Abschn. 9).

Die nachfolgend wiedergegebenen Messungen sind im Sinne der geographischen Länge der Stationen von West nach Ost angeordnet, also nicht dem Datum der Messung nach.

## 7.2. Experimentelles

Als Messgeräte standen zur Verfügung

- Quecksilberthermometer.
- Metallthermometer mit Zeigerablesung.
- Elektrische Widerstandsthermometer.
- Thermoelemente.

### 7.2.1. Quecksilberthermometer

Fabrikate Büchi und Gerber. Totale Skalenlänge ca. 24 cm. Bereich  $-30^{\circ}$  bis  $+30^{\circ}$ . Teilung  $1/2^{\circ}$  und  $1/10^{\circ}$ . Eichscheine des Eidg. Amtes für Mass und Gewicht vom 23.10.1958, Nachprüfung des Basisthermometers 13.12.1960 und 25.3.1961. Eichgenauigkeit  $\pm 0,05^{\circ}$ .

Die Quecksilberthermometer dienten zur Messung von Firntemperaturen in seitlichen von vertikalen oder geneigten Schächten ausgehenden Bohrlöchern (vor allem im Schacht Dumont), ferner als Kontrollinstrumente für die Metallthermometer und die elektrischen Geräte.

### 7.2.2. Metallthermometer

Ein Satz von 6 Bimetallthermometern Fabrikation Rüeger, Lausanne, mit Zeigerablesung wurde bei der Aufnahme der 4 m Profile

verwendet. Die Länge des Fühlers betrug 25 cm. Unter Verwendung von Eichdaten kann die Genauigkeit der Messwerte auf  $\pm 0,2^\circ$  veranschlagt werden.

### 7.2.3. Elektrische Widerstandsthermometer

#### Uebersicht über elektr. Dauer-Temperaturmessstellen

An einer Anzahl von Stationen wurden Dauermessstellen in Bohrlöcher eingebaut, wobei die Zuleitungskabel in sogenannten „Glaziologischen Pegeln“<sup>1)</sup> seitlich zwischen dem untersten und zweituntersten Rohrelement eingeführt und im Innern bis zum oberen Ende hochgezogen wurden. Unter dem Deckel sind die mit Bananensteckern versehenen Kabelenden greifbar und direkt oder über geeignete Verlängerungen an das Messinstrument anzuschliessen. Die glaziologischen Pegel sind in der Mitte eines jeden 2 m messenden Elementes gemäss folgendem Beispiel bezeichnet:

R 13 bedeutet zweitunterstes Element des Pegels R 13.

2

Folgendes sind die Standorte und Spezifikationen der Dauermessstellen:

- (1) Station
- (2) Anzahl Messelemente
- (3) Tiefe der Elemente ab Oberfläche Sommer 1959 (cm)
- (4) Nummer der Pegel mit Anschlussleitungen
- (5) Totale Pegellänge einschliesslich Spalt für Kabeleinführung (cm)
- (6) Herausragende Pegellänge August 1959 (cm)
- (7) Pegelstand August 1959 [(5)-(6)] (cm)

	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
K 3		2	431, 1140	R <sub>1</sub>	804	672	132
Camp VI		3	147, 444, 865	R <sub>2</sub>	805	605	200
		1	2475	R <sub>7</sub>	804	598	206
Milcent		3	307, 1000, 1975	R <sub>8</sub>	805	576	229
Sta. Centrale		4	520, 1051, 1496, 3044	R <sub>13</sub>	1007	755	252
Dépôt 275 (Crête)		1	847	R <sub>18</sub>	803	618	185
Jarl-Joset							
Krist. Labor		2	776, 1232	—	—	—	—
Schrägschacht		3	3044, 2055 <sup>2)</sup> , 4004	—	—	—	—

<sup>1)</sup> Pegel, bestehend aus den Normelementen der EGIG, aber ausserhalb der durch die Lagemess-Grupper errichteten Pegelreihe aufgestellt.

<sup>2)</sup> in Kugelhaverne.



### Messelmente

Als Messelemente standen 24 Platinelemente Degussa Hanau Typ T 6/0985 TK 3,85 zur Verfügung. Sie wurden im Bereich 99,91 bis 100,07  $\Omega$  ausgelesen und mit folgenden Eichdaten geliefert (Widerstandswerte in  $\Omega$  bei 0° C).

Nr. 01	99,94	13	99,93
02	99,93	14	99,94
03	99,98	15	99,90
04	99,97	16	99,92
05	99,92	17	99,90
06	99,98	18	99,95
07	100,07	19	99,94
08	99,96	20	99,98
09	100,01	21	100,05
10	100,01	22	99,96
11	99,93	23	99,93
12	99,91	24	100,00

Mit der Empfindlichkeit von 0,385  $\Omega/^\circ\text{C}$  und der Eichgenauigkeit von  $\pm 0,005 \Omega$  ist die Genauigkeit der absoluten Temperaturmessung seitens der Elemente auf  $\pm 0,013^\circ$  begrenzt. Für Messungen von Temperaturunterschieden mit ein und demselben Element fällt diese Begrenzung weg, und es kommen nur noch die anderen später angeführten Fehlerquellen in Betracht.

Da die Elemente Messungen über die Dauer einiger Jahre ermöglichen sollten, wurden sie in Messinghülsen vom Aussendurchmesser 22 mm eingegossen. Damit ergab sich eine für kurzfristige Messungen etwas unangenehme Trägheit, indem in einem Bohrloch eine Zeit von der Grössenordnung von mindestens einer Stunde erforderlich war, um den Ausgleich innerhalb  $\pm 0,02^\circ$  zu erreichen.

Zum Anschluss an die Messbrücke wurde mit Gummi und Butanox isoliertes Dreileiterkabel von je 0,8 mm<sup>2</sup> Cu-Querschnitt verwendet. Diese Kabel bewahren ihre Flexibilität bis auf  $-40^\circ$  und sind aufgrund der häufigen Verwendung auf Weissfluhjoch als äusserst verwitterungsbeständig bekannt. Die Dreileiterschaltung bewirkt die Elimination des Einflusses von Kabellänge und Kabeltemperatur.

### Messbrücke

Als Messinstrument diente eine Wheastone'sche Brücke mit Trockenbatteriespeisung 4,5 V der Firma Tettex, Zürich. (Mitgeführt auf der Expedition in den Exemplaren Nr. 5958 und 5959). Sie ist versehen mit einem Nullpunktsgalvanometer von  $5,2 \cdot 10^{-7}$  A/Skt Empfindlichkeit und

gestattet an drei Dekadenschaltern eine Ablesung auf  $0,1^\circ\text{C}$  im Bereich von  $\pm 60^\circ\text{C}$ . Die Basiswiderstände der Messelemente für  $0^\circ\text{C}$  lassen sich im Bereich von 99,88 bis 100,12  $\Omega$  in Stufen von 0,02  $\Omega$  abgleichen.

Die Empfindlichkeit des Galvanometers gestattet – ohne Rücksicht auf anderweitige Einflüsse – eine Interpolation der Ablesung auf ca.  $\pm 0,01^\circ\text{C}$ .

### Korrekturen und Messgenauigkeit

Die Messungen sind auf folgende systematische Fehler zu korrigieren:

- Unterschied zwischen effektivem Basiswiderstand (Fabrikeichung) der Messelemente und eingestelltem Basiswiderstand.
- Allgemeiner Eichfehler der Basiswiderstände.
- Allgemeiner Eichfehler der Messbrücke.
- Abweichung der Anzeige aufgrund der variablen Eigentemperatur des Instrumentes.

Die empirisch ermittelte Korrekturgleichung lautet:

$$T = T_a - k_r (R_0 - R_a) - k_\vartheta (\vartheta_0 - \vartheta_a) + T_m$$

$T$  = korrigierte Messung ( $^\circ\text{C}$ )

$T_a$  = Ablesung ( $^\circ\text{C}$ )

$k_r$  = Korrekturfaktor für Basiswiderstand 2,6 ( $^\circ\text{C}/\Omega$ )

$R_0$  = Effektiver Basiswiderstand des Messelementes ( $\Omega$ ) bei  $0^\circ\text{C}$  [Eichung Degussa Hanau].

$R_a$  = an Tettexbrücke eingestellter Basiswiderstand ( $\Omega$ )

$k_\vartheta$  = Temperaturfaktor der Brücke 0,00978

$\vartheta_0$  = Sollwert der Instrumenttemperatur:  $+23^\circ\text{C}$

$\vartheta_a$  = Instrumenttemperatur bei Ablesung ( $^\circ\text{C}$ )

$T_m$  = Mittlere Grundkorrektur der Tettexbrücke, bezogen auf Eichungen im Eiswasserbad  $+0,09^\circ\text{C}$ .

Der Korrekturterm  $T_m$  enthält neben dem Brückenfehler eine allfällige nicht nachkontrollierte Abweichung der Messelement-Eichung von der durch den Eispunkt definierten Celsiusskala.

Die einzelnen maximalen Fehler in Temperaturwerten ausgedrückt sind wie folgt zu veranschlagen:

- Individuelle relative Eichgenauigkeit der Messelemente:  $\pm 0,015^\circ\text{C}$
- Ablesegenauigkeit der Brücke:  $\pm 0,015^\circ\text{C}$
- Fehler, bedingt durch Unsicherheit in der Brückeneigentemperatur und deren Einfluss:  $\pm 0,02\text{--}0,05^\circ\text{C}$
- Fehler der Grundkorrektur  $T_m$ :  $\pm 0,05$

Damit folgt als maximaler Absolutfehler einer Messung  $\pm 0,13^\circ$ .

Fehler in der Differenz zweier mit demselben Messelement gemessener Temperaturen enthalten lediglich den Ablesefehler und den Instrumenttemperaturfehler, beide Grössen indessen zweimal gerechnet. Der maximale Fehler einer Differenz beträgt also ebenfalls  $\pm 0,13^\circ$ .

Dazu ist zu bemerken, dass der Eigentemperaturfehler wesentlich von den äusseren Umständen der Messung abhängt. Wenn das Instrument vor der Messung an die Umgebungstemperatur angeglichen wird und während der Messung in einem Temperaturbereich von ca.  $2^\circ$  gehalten werden kann, darf der kleinere Fehlerwert eingesetzt werden. Andernfalls ist mit dem grösseren Wert zu rechnen. In einzelnen Fällen war auf der Expedition die Unsicherheit noch grösser.

Ein Einfluss der Kabellängen konnte – abgesehen von einer gewissen Empfindlichkeitseinbusse – im verwendeten Bereich von 20 bis 40 m nicht festgestellt werden. Auch örtliche Temperaturunterschiede in den Kabeln erwiesen sich als ausreichend kompensiert durch die Dreileiterschaltung. Ob hingegen mechanische Einflüsse (Pressung, Biegung) ungleiche Widerstandsänderungen von unzulässigem Ausmass hervorrufen können, muss dahingestellt bleiben. Eine Streckung ist nicht zu befürchten, da sich die durchsetzten Firnschichten laufend verdünnen.

### Bohren der Messlöcher

Zum Bohren der Messlöcher standen verschiedene Verfahren und Geräte zur Verfügung.

- a) *Schlangenbohrer 25 cm Ø.* 50–90 cm lang, mit Handantrieb (Windel) über Verlängerungsstangen von je 100 cm Länge, zum Bohren von vertikalen oder horizontalen Löchern (von Schächten aus), angefertigt nach einem Modell von SIPRE oder handelsübliche Modelle. Es wurden einschneidige wie auch zweischneidige Bohrer mit und ohne Zentrierung ausprobiert. Die Erfahrungen waren nicht in jeder Hinsicht überzeugend, vor allem nicht in kompaktem Eis. Voraussetzung war durchwegs kaltes oder vollständig temperiertes Eis bei entsprechender Luft- bzw. Bohrer temperatur. Bis auf die Bohrerlänge von 90 cm bot der Vortrieb keine Schwierigkeit. Bei weiterer Absenkung stellte sich das Problem der Beseitigung des Bohrmehls. Wurde dieses nicht alle ca. 30 cm entfernt, begann der Bohrer gefährlich zu klemmen infolge Festfrierens von Bohrgut an der Lochwand und Verengung des Querschnittes. Es konnte zu einer fast hoffnungslosen Blockierung der Drehbarkeit wie auch des Zurückziehens kommen. Das Herausziehen des Bohrers genügte nicht zum Entfernen des Bohrmehls. Bei grösserer Bohrtiefe fiel dieses gänzlich ins Loch zurück. Die einzige brauchbare Lösung des Problems bestand im Auswechseln des Bohrers durch ein Messingrohr von 22–24 mm

Aussendurchmesser nach je ca. 30 cm Vortrieb und Aufpicken des Bohrgutes. Auf diese Weise konnten Vertikallöcher im Firn des Zentralgebietes bis zu 15 m Tiefe in mühelosem Einmannbetrieb gebohrt werden. Horizontalbohrungen boten keine Schwierigkeiten, da das Bohrmehl leicht zu entfernen war. Immerhin war auch da der Vortrieb alle 30 cm zu unterbrechen. Die ein- und zweiseitigen Bohrer wiesen fast gleiche Bohrleistungen auf (ca. 10–80 cm pro Minute je nach Dichte des Materials, ohne Bohrmehlentfernung gerechnet).

- b) *SIPRE-Kernbohrer*. An den Orten, wo für die Tritiumbestimmung Kernbohrungen ausgeführt wurden, ist das betreffende Loch gewöhnlich auch für Temperaturmessungen verwendet worden. Die abgesenkten Elemente wurden zur Vermeidung der Luftzirkulation etwas mit Schnee oder Bohrmehl zugedeckt (Tiefe 15–30 m).
- c) *Schwere Rammsonde*. Auch die bei der Rammsondierung entstehenden Löcher boten gute Möglichkeit zum Einbau von Temperaturelementen (Tiefe bis ca. 10 m).
- d) *Thermische Sonde Kasser*. In einem Fall (Station K<sub>3</sub>) leistete die von A. BAUER bediente thermische Sonde gute Dienste (Bohrloch von 11 m in kompakten kaltem Eis bei Schmelztemperatur an der Oberfläche).

### 7.3. Messungen

Allgemeine Bezeichnungen:

*D* Datum

*t* Tageszeit

*Z* Tiefe ab Oberfläche (cm)

*Nr* Nummer des elektrischen Messelementes (E 1–24), des Metallthermometers (*M*<sub>1</sub>–*M*<sub>6</sub>) oder des Hg-Eichthermometers (5stellige Zahl)

*R*<sub>0</sub> Basiswiderstand des Widerstandsthermometers

*R*<sub>a</sub> An Tettexbrücke eingestellter Basiswiderstand

*θ* Temperatur der Messbrücke (in Klammer Schätzung aufgrund der Lufttemperatur).

*T*<sub>a</sub> Abgelesene Firn-Temperatur

*T* korrigierte Firntemperatur.

#### 7.3.1. Westrand Inlandeis

##### a) „Parasitengletscher“ westlich Camp III

Position: 69°43,2' N, 50°07' W. Höhe 550 m.

In diesem bereits von MERCANTON und JOST untersuchten, westlich der aufsteigenden Grundmoräne gelegenen und ungefähr mit 25° zum

effektiven Westrand abfallenden Eis- bzw. Firnhang, wurden am 16.5. 1959 und am 17.8.1959 Profile von je ca. 180 cm Tiefe gegraben (siehe Abschnitt 6.4.2.).

Gemessene Temperaturen (Hg-Thermometer)

Tiefe ab momentaner Oberfläche	16.5.1959	17.8.1959
0 cm (Oberfläche)	$\pm 0^{\circ}$	$\pm 0^{\circ}$
95 cm	$-8,2^{\circ}$	$\pm 0^{\circ}$
180 cm		$\pm 0^{\circ}$

Zwischen den beiden Daten fand Ablation statt, sodass sich die Angaben nicht auf identische Horizonte beziehen.

b) Ablationsstation BK1

(allg. östlich Camp III, ca. 200 m von Moräne entfernt).

An dieser äussersten Randstation wurden einige oberflächliche Temperaturen im Randeis gemessen, um den Zustand vor der Ablationssaison festzuhalten. Das Eis war durchschnittlich von ca. 3 cm verkrustetem Schnee überdeckt, wobei die konvexen Formationen schneefrei waren, während in den Mulden entsprechend höhere Ansammlungen anzutreffen waren.

Tabelle 45. Eistemperaturen bei BK<sub>1</sub>

D	t	Nr. (E)	R <sub>o</sub>	R <sub>a</sub>	$\vartheta$	Z	T <sub>a</sub>	T
13.5.59 ..	2107	10	100,01	100,12	(- 5°)	50	- 4,79	- 4,80 <sup>1)</sup>
	2130	10			(- 7°)	95	- 6,02	- 5,95 <sup>1)</sup>
14.5. ....	1248	10			- 3,0	92	- 5,31	- 5,35 <sup>1)</sup>
	1355	10			- 3,0	128	- 6,60	- 6,65 <sup>1)</sup>
	1551	10			- 1,2	169	- 7,47	- 7,6 <sup>1)</sup>
15.5. ....	1040	10			+ 3,5	171	- 7,37	- 7,31
16.6. ....	0750	10			+ 2,0	171	- 7,20	- 7,16
	0900	10			(+ 3)	250	- 8,10	- 8,05 <sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> Die korrigierten Werte enthalten eine zusätzliche Korrektur mit Rücksicht auf den noch nicht vollständig erreichten Temperatúrausgleich. Die Extrapolation beruht auf gemessenen Zwischenwerten.

<sup>2)</sup> Festfrieren des Elementes nach Wassereinbruch von der Oberfläche her (Kabel abgeschnitten).

Die Oberflächentemperaturen entsprechen den jeweiligen negativen Lufttemperaturen  $\vartheta$ , bzw. bei positiven Lufttemperaturen der Schmelztemperatur von Eis (0°C).

**Diskussion:** In den Beobachtungstagen wird unter teils starkem und warmem katabatischem Wind vermutlich erstmals oberflächlich die Schmelztemperatur erreicht. In 171 cm Tiefe wird eine Erwärmung von  $0,15^\circ$  in einem Tag festgestellt.

### 7.3.2. Station K3. Region der Firnlinie

(Zone des „Superimposed Ice“).

Allg. Situation Abb. 2

Beim Frühlingsbesuch vom 16. Mai 1959 war das Eis durch ca. 117 cm Schnee bedeckt. Die Temperaturmessungen wurden ca. 40 m östlich des EPF-Pegels und des Eisprobenschachtes in einem für die Aufnahme des Schneeprofiles geöffneten Schacht ausgeführt, und zwar in der Schneelage mittels Quecksilber- und Metallthermometer und vom Schachtboden aus nach der Tiefe mittels Widerstandsthermometer. Zwei Elemente wurden in den Bohrlöchern belassen und für spätere Nachmessung in den Glaziologischen *Pegel* R1 eingeführt.

Während der Messperiode vom 16.–19. Mai 1959 ereignete sich die erste völlige Durchnässung der Schneedecke, sodass sich die Bildung des aufgefrorenen Eises direkt verfolgen liess.

Tabelle 46. *Temperaturprofil in der Schneedecke K<sub>3</sub>*

D 16.5.1959 t 1620		D 18.5.1959 t 1600		D 18.5.1959 t 1810			
Z	T (Hg)	Z	T (Hg)	Z	Nr.	T <sub>a</sub>	T
0	– 0,5	0	± 0	0	–		± 0
24	– 5,8	12	– 0,1	19	M 5	+ 0,5	– 0,4
49	– 9,3	16	– 0,2	39	M 2	– 0,5	– 1,6
67	– 10,7	33	– 1,0	49	M 3	– 2,0	– 2,9
83	– 11,4	39	– 4,5	79	M 4	– 1,5	– 2,4
94	– 11,5	44	– 5,9	99	M 5	– 2,4	– 3,2
100	– 11,8	59	– 7,3	109	M 1	– 2,5	– 3,5
		69	– 8,0				
		79	– 8,8				
		89	– 8,8				
		99	– 9,5				
		109	– 7,2				

Temperaturkurven siehe Abb. 36.

**Kommentar:** Während die Kurve vom 16.5. (a) eine normale Erwärmung auf dem Weg der Wärmeleitung widerspiegelt, lassen die Kurven vom 18.5. (b und c), aufgenommen nach Abstecken von 1 m des Schachtrandes, die Wirkung der Versickerung und Ausbreitung des

Schmelzwassers erkennen. In der Grenzzone zwischen Schnee und Eis erschien das Wasser bevor der Schnee durchgehend nass war. Das Eis, dessen Temperatur in der obersten Schicht bei ca.  $-12^{\circ}$  lag, war imstande, dieses Schmelzwasser grösstenteils sogleich festzufrieren. An der südöstlichen Ecke des Schachtes zog sich eine ca. 2 cm weite vertikale Spalte von unbekannter Tiefe durch das Eis. In diese floss ein Teil des Schmelzwassers ab, um in grösserer Tiefe festzufrieren.

Tabelle 47. *Temperaturverlauf im Eis K 3*

Messung mit Widerstandsthermometern und Tettex-Messbrücke Nr. 5959 (Graph. Darstellung Abb. 36)

D	t	Nr.(E)	R <sub>o</sub>	R <sub>a</sub>	$\vartheta$	Z <sup>1)</sup>	T <sub>a</sub>	T
17.5.59 ..	2134	2	99,93	100,00	(0°)	373	– 10,98	– 11,03 <sup>2)</sup>
18.5.59 ..	0023	24	100,00	100,06	(0°)	373	– 11,10	– 11,18
17.5.59 ..	2133	24	100,00	100,06	(0°)	431	– 10,58	– 10,66 <sup>2)</sup>
18.5.59 ..	2100	2	99,93	100,00	(0°)	431	– 10,66	– 10,72
19.5.59 ..	1050	2	99,93	100,00	(+ 5°)	431	– 10,63	– 10,64 <sup>3)</sup>
19.5.59 ..	1050	12	99,91	99,90	(+ 5°)	1137	– 7,13	– 7,28
15.8.59 ..	1630	2	99,93	100,00	0°	431	– 5,77	– 5,83
			99,93	99,94	0°	431	– 5,60	– 5,80 <sub>5</sub>
15.8.59 ..	1630	12	99,91	99,96	0°	1137	– 7,88	– 7,98
			99,91	99,92	0°	1137	– 7,79	– 7,99

Kommentar:

1) Die Tiefenangaben beziehen sich auf die *Schneeoberfläche vom 17. Mai 1959*. Die Schneelage über dem kompakten Eis betrug damals 117 cm. Bei der Wiederholungsmessung vom *15. August 1959* mass die Tiefe der beiden fest eingebauten Elemente, bezogen auf das am Pegel R<sub>1</sub> abgelesene Niveau der Oberfläche:

- Nr. 2: 346 cm (am 17.5.: 431 cm)
- Nr. 12: 1052 cm (am 17.5.: 1137 cm).

Die 117 cm Schnee waren verschwunden und ersetzt durch eine Lage von 32 cm aufgefrorenem Eis (siehe Abb. 36). Diese Zahlen berücksichtigen nicht die rheologische Verdünnung der Eislage durch die Streckung der Schichten, ein Effekt, der eine Verminderung der Zahlen vom August 1959 bewirkt. Unsicher – wie bei allen Pegeln – ist auch die Konstanz des Pegelfusspunktes in bezug auf die benachbarte Schicht. Ein Absinken des Pegels, das nicht sehr wahrscheinlich erscheint, da die Pegelbasis vermutlich stets unter dem Gefrierpunkt





S. 152 dieser Arbeit zitierten Messwerte von M. DE QUERVAIN enthalten noch nicht alle Korrekturen, weshalb sie von den hier gegebenen definitiven Zahlen etwas abweichen.

Auffallend ist das scharfe Umbiegen der Ambachschen Kurve vom 20.5.1959 oberhalb ca. 350 cm Tiefe (ab Oberfläche Schnee 17.5.1959) gegen die Schmelztemperatur hin. Am 16. Mai befand sich die Basis der Schneedecke noch bei  $-11,8^{\circ}$ . Wir fragen uns, ob mit der thermischen Bohrung von AMBACH nicht eine Störung in das Temperaturfeld gebracht wurde, die unter der gleichzeitig heftig einsetzenden oberflächlichen Ablation nicht mehr ausgeglichen werden konnte. Jedenfalls ist es ausgeschlossen, dass sich die Eismasse im Verlauf von 4 Tagen durch Wärmeleitung von der hypothetischen Kurve d auf die Kurve f erwärmen konnte. Hierzu hätten ca.  $670 \text{ cal/cm}^2$  abgeführt werden müssen, während die Kalkulation auf Grund der Wärmeleitung in den betreffenden 4 Tagen nur ca.  $350 \text{ cal/cm}^2$  zulässt (siehe Theoretische Betrachtungen S. 175). AMBACH selbst findet die Resultate der Station verglichen mit anderen Stationen aus dem Rahmen fallend. Es sei darauf aufmerksam gemacht, dass die bereits erwähnte in ca. 1 bis 2 m neben den Messstellen sich durchziehende schmale Spalte, deren weiteren Verlauf und Abmessung wir nicht kennen, möglicherweise für das schwer deutbare Verhalten verantwortlich gemacht werden muss.

7.3.3. Camp VI EGIG

Allg. Situation: Abb. 3. Detail: Abb. 37.

Die elektrischen Temperaturmessungen wurden am Standort der Pegel R 2 und R 7 durchgeführt. Ferner wurde 20 m W des Pegels R 2 in Verbindung mit dem stratigraphischen Profil ein oberflächliches Temperaturprofil aufgenommen.

Tabelle 48. *Oberflächliches Temperaturprofil vom 22.5.1959 (Metallthermometer) (Aufnahme A. ROCH)*

Nr.	Z	T <sub>a</sub>	T
M 9 .....	0	– 4,0	– 4,4
M 8 .....	20	– 8,5	– 9,4
M 7 .....	40	– 10,0	– 11,5
M 6 .....	60	– 11,0	– 12,3
M 9 .....	80	– 12,5	– 12,6
M 8 .....	100	– 13,0	– 13,6
M 7 .....	120	– 13,0	– 14,5
M 6 .....	140	– 13,0	– 14,3
M 9 .....	160	– 15,0	– 15,0

### Elektrische Firntemperaturmessungen, Camp VI (Messbrücke Tettex Nr. 5959).

#### Situation beim Pegel R 2 (Abb. 37)

Die Elemente Nr. 14 und 5 wurden am 26.5.1959 vom Fuss eines 72 cm tiefen Schachtes in mit dem Schlangenbohrer gebohrte Löcher versenkt, und Element Nr. 7 in das Loch einer schweren Rammsondierung eingelassen. Die Einführung der Kabel in den Pegel befindet sich zwischen dem 1. und 2. Element.

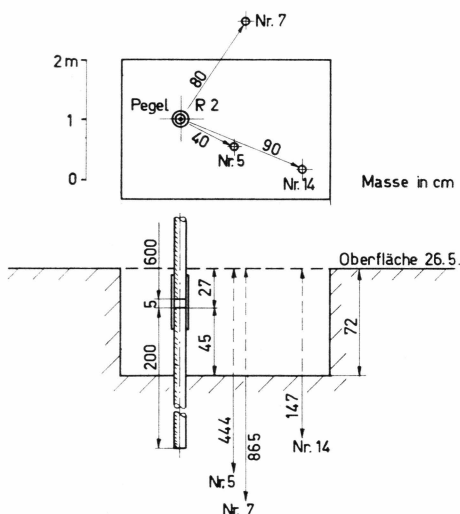


Abb. 37. Anordnung der Widerstandsthermometer bei Camp VI EGIG, Pegel R 2 (Mai 1959).

#### Situation beim Pegel R 7

Das Temperaturelement Nr. 20 wurde am Vormittag des 27.5. in das Loch der Tritium-Kernbohrung (SIPRE-Kernbohrer) von total 25,75 m Tiefe abgesenkt. Am Grund des Loches befand sich eine Lage von ca. 1 m Bohrmehl auf die das Element zu liegen kam. Das Loch wurde anschliessend mit grobkörnigem Schnee ausgefüllt. Die Situation in bezug auf den Pegel entspricht im Prinzip der in Abb. 37 für Pegel R 2 wiedergegebenen, mit folgenden Abmessungen:

Tiefe des Schachtes 75 cm

Tiefe des Elementes ab Oberfläche 2475 cm

Tiefe des Pegelfusses ab Oberfläche 214 cm

(1 Pegелеlement + 4 cm Kabeleinführungsspalt + 10 cm vom 2. Element)

Tabelle 49. Elektrische Firntemperaturmessungen, Camp VI 1959/60  
Messbrücke Tettex Nr. 5959 für Messungen 1959,  
Nr. 5958 für Messungen 1960.

D	t	Nr.	R <sub>o</sub>	R <sub>a</sub>	ϑ	Z	T <sub>a</sub>	T
26.5.59	1815	E 14	99,94	99,98	(− 3)	147	− 13,90	− 14,05
27.5.59	1050				(0)		− 14,00	− 14,12
	1450				(0)		− 13,99	− 14,11
13.8.59	1730	E 14	99,94	99,94	+ 6	120	− 2,97	− 3,14
	1730			99,98	+ 6		− 3,02	− 3,09
8.8.60		E 14	99,94	99,94	+ 18,5	145	− 3,60	− 3,64
26.5.59	1815	E 5	99,92	99,96	(− 3)	444	− 14,78	− 14,93
27.5.59	1050				(0)		− 14,99	− 15,11
	1450				(0)		− 15,02	− 15,14
13.8.59	1730	E 5	99,92	99,92	+ 6	417	− 8,98	− 9,15
	1730			99,96	+ 6		− 9,06	− 9,13
8.8.60	−	E 5	99,92	99,92	+ 18,5	442	− 11,60	− 11,65
26.5.59	1815	E 7	100,07	100,12	− 3	865	− 12,62	− 12,75
27.5.59	1050				0		− 12,60	− 12,70
	1450				0		− 12,63	− 12,73
13.8.59	1730	E 7	100,07	100,08	+ 6	838	− 11,88	− 12,03
				100,12	+ 6		− 11,98	− 12,03
8.8.60		E 7	100,07	100,06	+ 18,5	863	− 13,00	− 13,07
27.5.59	1440	E 20	99,98	100,06	0	2475	− 1483,	− 14,86
	1842				0		− 14,88	− 14,95
13.8.59	1615	E 20	99,98	99,98	+ 4	2467	− 14,70	− 14,89
				100,06	+ 4		− 14,91 <sup>5</sup>	− 14,91
8.8.60		E 20	99,98	99,98	+ 10	2498	− 14,46	− 14,59

**Diskussion:** Auf den ersten Blick fällt auf, dass die 25 m tief gelegene Messtelle im August 1960 ca. 0,3° wärmer war als zu beiden Terminen des Vorjahres. Im 8 m und 4 m-Niveau lagen die Verhältnisse umgekehrt. Es bleibt einer besonderen Analyse vorbehalten, abzuklären, ob dieses Ergebnis durch Unregelmässigkeiten der Oberflächentemperatur erklärt werden kann.

7.3.4. Milcent

Allg. Situation: Abb. 4. Abb. 38 zeigt die Situation des Glaziologischen Pegels R 8 mit den drei Messelementen Nr. E 1, E 17 und E 19. Die Messtellen befinden sich in dem für die Profilaufnahmen gegrabenen und wieder zugeschütteten Schacht mit den Tiefenstufen 140, 260, 400

cm. Element Nr. E 1 wurde am 5.6.59 morgens mit Hilfe des Schlangenbohrers abgesenkt; Element Nr. E 19 befindet sich seit dem 3.6.1959 abends im Loch der Rammsondierung und Element Nr. E 17 seit dem 4.6.59 nachmittags in der Tritiumbohrung (SIPRE-Kernbohrer). Neben den Messungen mit fest eingebauten Elementen wurden in verschiedenen Tiefen noch temporäre Messungen durchgeführt.

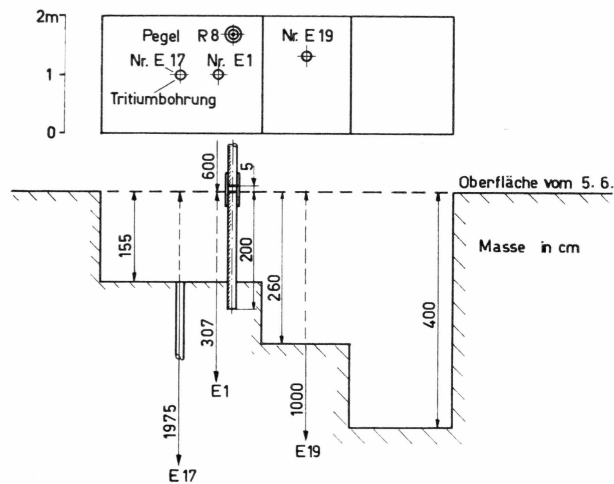


Abb. 38. Anordnung der Widerstandsthermometer bei Milcent, Pegel R 8 (Juni 1959).

Tabelle 50. *Oberflächliches Temperaturprofil vom 2.6.1959* (Metallthermometer) (Aufnahme A. Roch)

Nr.	Z	T <sub>a</sub>	T	Nr.	Z	T <sub>a</sub>	T
M 3	10	– 7,0	– 7,7	1	220	– 22,5	– 22,9
M 4	20	– 11,0	– 11,8	2	240	– 20,0	– 23,2
M 5	40	– 12,5	– 13,2	3	260	– 23,0	– 23,4
M 1	60	– 14,0	– 14,7	4	280	– 24,0	– 24,2
M 2	80	– 15,0	– 15,7	5	300	– 23,5	– 23,9
3	100	– 17,5	– 18,2	1	320	– 23,0	– 23,9
4	120	– 19,5	– 19,8	5	340	– 24,0	– 24,3
5	140	– 20,5	– 21,2	2	360	– 21,0	– 25,0
1	160	– 20,5	– 21,0	4	380	– 24,5	– 24,7
2	180	– 21,0	– 22,8	3	400	– 23,5	– 23,9
3	200	– 22,5	– 22,9				

**Diskussion von Tabelle 51:** Auch hier bestehen schwache Andeutungen, dass der Sommer 1959 eine wärmere Welle nach der Tiefe geschickt hat. In 20 m Tiefe ist indessen kein gesicherter zeitlicher Temperaturgang festzustellen.

Tabelle 51. *Elektrische Firntemperaturmessungen, Milcent*  
(Messbrücke Tettex Nr. 5959 für Messungen 1959, Nr. 5958 für Messungen 1960).

D	t	Nr.	R <sub>o</sub>	R <sub>a</sub>	θ	Z	T <sub>a</sub>	T
5.6.59	2210	E 1	99,94	100,02	(− 15)	307	− 22,62	− 22,80
10.8.59	1800	E 1	99,94	100,02	− 5	336	− 19,00	− 19,08
	2130			99,94	+ 2	336	− 18,80 <sub>s</sub>	− 19,01
5.8.60	−	E 1	99,94	99,94	+ 7,5	456	− 21,31	− 21,46
5.6.59	1000	E 19	99,94	99,98	(− 10)	1000	− 22,02	− 22,24
	2210				(− 15)	1000	− 21,99	− 22,26
10.8.59	1800	E 19	99,94	99,98	− 5	1029	− 22,3	− 22,47
	2130			99,94	+ 2	1029	− 22,21	− 22,42
5.8.60	−	E 19	99,94	99,94	+ 7,5	1149	− 22,20	− 22,35 <sup>1)</sup> (22,38)
5.6.59	1000	E 17	99,90	99,96	(− 10)	1975	− 22,21	− 22,39
	2210				(− 15)	1975	− 22,19	− 22,42
10.8.59	1800	E 17	99,90	99,90	− 5	2004	− 22,23	− 22,50
	2130			99,90	+ 2	2004	− 22,20	− 22,41
5.8.60	−	E 17	99,90	99,90	+ 7,5	2124	− 22,22	− 22,37 <sup>1)</sup> (22,43)

<sup>1)</sup> R. SCHNEIDER stellt fest, dass sich bei Vertauschung der beiden zum selben Punkt der Dreileiterschaltung führenden Drähte nicht ganz identische Ablesungen ergeben. Die oben angeführten Werte folgen bei Anschluss rot an Klemme links des Instrumentes (in Klammern bei vertauschten Kabeln).

7.3.5. Station Centrale

Allg. Situation: Abb. 5. Abb. 39 zeigt die Lage des glaziologischen Pegels R 13 mit den Messelementen E 8, E 13, E 15 und E 21. Auch hier befinden sich die elektrischen Messtellen im Profilschacht. Der Einbau erfolgte:

Nr	D	t	Z
E 8	15.6.1959	nachmittags	520 cm (Schlangenbohrer)
E 13	12.6.1959	2240	1051 cm (schwere Rammsonde)
E 15	12.6.1959	2000	1496 cm (Schlangenbohrer)
E 21	13.6.1959	1900	3044 cm (SIPRE Kernbohrer).

Tabelle 52. *Temperaturen im Firnprofil 4 m vom 9.6.1959*  
Metallthermometer (Aufnahme A. ROCH).

Nr.	Z	T <sub>a</sub>	T	Nr.	Z	T <sub>a</sub>	T
M 1	10	− 16,5	− 17,4	M 3	220	− 26,0	− 26,2
M 2	20	− 17,0	− 18,0	M 4	240	− 27,0	− 27,2
M 3	40	− 18,0	− 18,7	M 5	260	− 27,0	− 27,0
M 4	60	− 20,0	− 20,3	M 1	280	− 27,5	− 27,4
M 5	80	− 21,5	− 22,1	M 2	300	− 24,5	− 27,5
M 1	100	− 22,5	− 22,9	M 3	320	− 27,5	− 27,6
M 2	120	− 22,0	− 24,0	M 4	340	− 28,0	− 28,1
M 3	140	− 24,5	− 24,8	M 5	360	− 28,0	− 27,9
M 4	160	− 25,0	− 25,2	M 1	380	− 29,0	− 28,8
M 1	180	− 25,0	− 25,1	M 2	400	− 26,0	− 30,2
M 2	200	− 22,0	− 24,0				

Tabelle 53. *Elektrische Firntemperaturmessungen, Station Centrale 1959. Mobile Elemente*  
(Messbrücke Tettex Nr. 5959)

D	t	Nr.	R <sub>o</sub>	R <sub>a</sub>	ϑ	Z	T <sub>a</sub>	T
10.6.59	(1228) <sup>1)</sup>							
	1511	E 15	99,90	99,88	(− 10)	95 <sup>2)</sup>	− 21,80	− 22,08
	(1600)							
	2145	E 16	99,92	99,98	(− 20)	200 <sup>3)</sup>	− 25,97	− 26,15
	(1200)							
	1520	E 13	99,93	99,94	(− 10)	253 <sup>2)</sup>	− 27,08	− 27,29
	(1200)							
	1535	E 16	99,92	99,98	(− 10)	300 <sup>3)</sup>	− 27,78	− 27,78
	(1555)							
	1730	E 16	99,92	99,98	(− 10)	380 <sup>3)</sup>	− 28,10	− 28,19
	( ? )							
	1540	E 8	99,96	99,98	(− 10)	540 <sup>2)</sup>	− 27,74	− 27,65
	(1730)							
	2145	E 8	99,96	99,98	(− 20)	792 <sup>2)</sup>	− 26,80	− 27,08

1) Zeit des Thermometereinsatzes (in Klammern).  
2) Bohrung vertikal.  
3) Bohrung horizontal vom Profilschacht aus (ca. 2 m).

**Diskussion von Tabelle 54:** Im Niveau 520–608 cm fällt auf, dass der Augustwert 1959 um ca. 0,9° höher ist als der Augustwert 1960. Dies dürfte auf die Variation in den Jahresamplituden der mittleren Lufttemperatur zurückzustellen. Sie liegen jedoch am Rande der Messgenauigkeit. Bemerkenswerte Temperaturkonstanz herrscht in 30 m Tiefe.

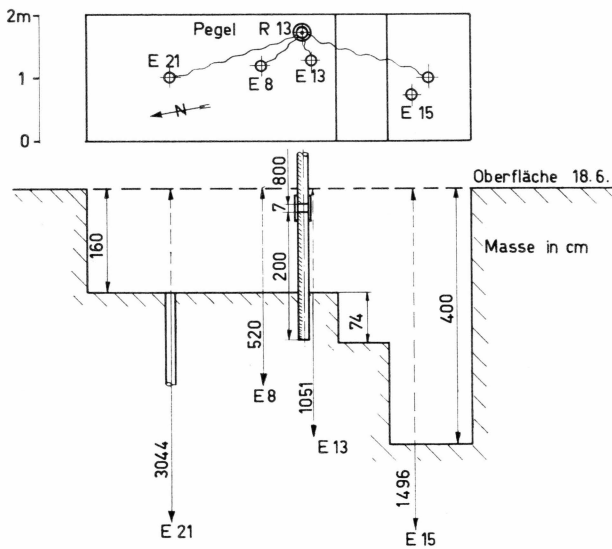


Abb. 39. Anordnung der Widerstandsthermometer bei Station Centrale, Pegel R 13 (Juni 1959).

Tabelle 54. Elektrische Firntemperaturmessungen, Station Centrale 1959/60 und 1964. Fest eingebaute Elemente.

(1959: u. 64 Messbrücke Tettex Nr. 5959, 1960: Nr. 5958)

D	t	Nr.	R <sub>o</sub>	R <sub>a</sub>	ϑ	Z	T <sub>a</sub>	T
18.6.59	1115	E 8	99,96	99,98	(- 5)	520	- 27,68	- 27,81
19.6.59	1500				0	520	- 27,82	- 27,90
20.6.59	1145				- 3	520	- 27,78	- 27,89
7.8.59	1720	E 8	99,96	99,96	+ 3	538	- 26,19	- 26,30
2.8.60	-	E 8	99,96	99,96	- 1,5	608	- 27,03	- 27,18
14.6.64	1945	E 8	99,96	99,96	+ 6,0	901 <sup>1)</sup>	- 27,12	- 27,20
18.6.59	1115	E 13	99,93	99,94	(- 5)	1051	- 26,78	- 26,87
19.6.59	1500				0	1051	- 26,97	- 27,08
20.6.59	1145				- 3	1051	- 26,92	- 27,06
7.8.59	1720	E 13	99,93	99,94	+ 1	1069	- 27,02	- 27,12
2.8.60		E 13	99,93	99,92	- 1,5	1139	- 26,90	- 27,07
14.6.64	1945	E 13	99,93	99,94	+ 6,5	1393 <sup>1)</sup>	- 27,01	- 27,06

(Fortsetzung)

Tabelle 54 (fortgesetzt).

D	t	Nr.	R <sub>o</sub>	R <sub>a</sub>	ϑ	Z	T <sub>a</sub>	T
18.6.59	1115	E 15	99,90	99,88	(− 5)	1496	− 26,99	− 27,22
19.6.59	1500				0	1496	− 27,12	− 27,30
20.6.59	1145				− 3	1496	− 27,08	− 27,29
7.8.59	1720	E 15	99,90	99,90	− 1	1514	− 27,10	− 27,25
2.8.60	−	E 15	99,90	99,90	− 1,5	1584	− 27,01	− 27,16
14.6.64	1945	E 15	99,90	99,90	+ 7,0	1820 <sup>1)</sup>	− 27,12	− 27,19
18.6.59	1115	E 21	100,05	100,12	(− 5)	3044	− 27,43	− 27,43
19.6.59	1500				0		− 27,60	− 27,55
20.6.59	1145				− 3		− 27,58	− 27,56
7.8.59	1720	E 21	100,05	100,06	− 3	3062	− 27,39	− 27,53
				100,12	− 3		− 27,58	− 27,56
2.8.60	−	E 21	100,05	100,04	− 1,5	3132	− 27,35	− 27,53
				100,06	− 1,5		− 27,40	− 27,52
14.6.64	1945	E 21	100,05	100,06	+ 8,5	3324 <sup>1)</sup>	− 27,34	− 27,37

<sup>1)</sup> Ablesung W. PFROMMER. Die Elementtiefen sind berechnet aus dem Setzungsbetrag zwischen Pegelfusspunkt und T-Element gemäss Dichtekurve und dem gemessenen Zuwachs am Pegel (Pegelstand 6.47 m).

7.3.6. Dépôt 275 Crête

Allgemeine Situation siehe Abb. 6. Abb. 40 zeigt die Situation des glaziologischen Pegels R 18 und der Messtellen bei Crête. Eingebaut wurde lediglich ein Element (E 16).

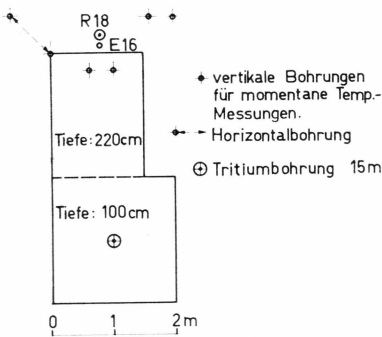


Abb. 40. Anordnung des Widerstandsthermometers bei Dépôt 275, Pegel R 18 (Crête) (Juli 1959).



Tabelle 55. *Temperaturen im Firnprofil 2 m 22.6.1959*

(Aufnahme A. ROCH) Bimetallthermometer.

Nr.	Z	T <sub>a</sub>	T
1 .....	20	– 19,5	– 20,1
2 .....	40	– 19,0	– 20,4
3 .....	60	– 21,5	– 22,0
4 .....	80	– 22,5	– 22,7
5 .....	100	– 24,5	– 24,8
5 .....	120	– 24,2	– 24,6
4 .....	140	– 26,0	– 26,2
3 .....	160	– 26,3	– 26,5
5 .....	180	– 27,1	– 27,1
1 .....	200	– 27,9	– 27,9
4 .....	220	– 28,3	– 28,2

Tabelle 56. *Elektrische Firntemperaturmessungen, Crête 22./23.6.59.*  
*Mobile Elemente.* (Messbrücke Tettex Nr. 5959)

D	t	Nr.	R <sub>o</sub>	R <sub>a</sub>	θ	Z	T <sub>a</sub> <sup>2)</sup>	T
22.6.59	1120	E 24	100,00	100,06	(– 8)	54	– 21,35	– 21,41
	1240	E 24			(– 8)	89	– 23,50	– 23,56
	1659	E 18	99,95	100,02	(– 6)	102 <sup>1)</sup>	– 25,00	– 25,02
	1459	E 18			(– 8)	153 <sup>1)</sup>	– 26,90	– 26,93
	1524	E 16	99,92	99,96	(– 6)	201 <sup>1)</sup>	– 28,00	– 28,02
	1654	E 24	100,00	100,06	(– 6)	210	– 28,20	– 28,24
	1448	E 24			(– 8)	221	– 28,40	– 28,46
	1912	E 18	99,95	100,02	(– 6)	305	– 29,45	– 29,46
	2132	E 18			(– 8)	415	– 30,45	– 30,48
	2304	E 18			– 8,6	560	– 30,45	– 30,49 <sup>3)</sup>
23.6.59	0045	E 18	99,95	100,02	– 8,6	720	– 30,20	– 30,24
	0830	E 18			+ 5,0	1540	– 30,03	– 29,93

<sup>1)</sup> Element in horizontalem Bohrloch von Profilschacht aus.

<sup>2)</sup> Die Temperaturen T<sub>a</sub> sind für unendliche Angleichdauer extrapoliert aufgrund von Ablesungsreihen während ca. 1 bis 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> Stunden (Messung für Z = 1540 cm ist voll angeglichen).

<sup>3)</sup> Tiefste in der Sommercampagne 1959 festgestellte Firntemperatur.

Tabelle 57. *Elektrische Firntemperaturmessungen, Crête 1959/60 u. 64. Fest eingebautes Element* (Messbrücke Nr. 5959 für 1959 u. 64, Nr. 5958 für 1960)

D	t	Nr.	R <sub>o</sub>	R <sub>a</sub>	$\theta$	Z	T <sub>a</sub>	T
22.6.59	2248	E 16	99,92	99,92	– 5)	847	– 29,69	– 29,72
23.6.59	0830				+ 5	847	– 29,86	– 29,79
5.8.59	0830	E 16	99,92	99,92	– 4	862 <sup>1)</sup>	– 29,78	– 29,95
	1415				+ 3	862	– 29,79	– 29,90
30.7.60	2200	E 16	99,92	99,92	– 12,5	922	– 29,63	– 29,89 <sup>2)</sup>
			99,92	100,12	– 12,5	922	– 29,58	– 29,84 <sup>3)</sup>
							– 30,01	– 29,75 <sup>3,4)</sup>
13.6.64	0745	E 16	99,92	99,92	– 7,5	1120 <sup>5)</sup>	– 29,45	– 29,66

<sup>1)</sup> Pegel R 18 erst am 5.8.59 definitiv aufgestellt. Der Zuwachs entspricht den Ablesungen am Pegel T 43 (Crête); 24 cm abzüglich 9 cm Setzung = 15 cm.

<sup>2)</sup> Rotes Kabel an rechte Klemme der Messbrücke.

<sup>3)</sup> Rotes Kabel an linke Klemme der Messbrücke.

<sup>4)</sup> Da R<sub>a</sub> stark abweichend von R<sub>o</sub> gewählt wurde, verdient diese Messung weniger Gewicht als die anderen beiden.

<sup>5)</sup> Ablesung durch W. PFROMMER. Tiefe berechnet aufgrund der Setzungskurve gültig für Sta. Jarl-Joset und Pegelstand nach W. PFROMMER (5,1 m).

**Diskussion:** Der Unterschied zwischen den ein Jahr auseinanderliegenden Ablesungen vom 5.8.59 und vom 30.7.60 in der Höhe von 0,06° liegt gerade etwa an der Grenze der Signifikanz. Die Tendenz nach einer leicht erhöhten Temperatur in 1960 stimmt indessen mit den anderen Stationen überein.

### 7.3.7. Station Jarl-Joset

Allg. Situation: Abb. 7.

Uebersicht über die Messungen der Firntemperaturen bei der Station Jarl-Joset.

- Temperaturmessungen anlässlich der *Standardprofilgrabungen* (Metallthermometer und Hg-Thermometer). Hier ist nur das Monats-temperaturprofil vom Juli 1959 wiedergegeben. Die während der Ueberwinterung gemessenen Werte sind zu finden im Bericht „Etude de la couche superficielle de névé à Jarl-Joset“ von RENÉ SCHNEIDER (Kapitel 11).
- Temperaturmessungen im *Schacht Dumont* (Hg-Thermometer, Widerstandsthermometer). Diese Messungen, anlässlich der Sommercam-  
pagne 1959 durchgeführt von M. DE QUERVAIN und R. SCHNEIDER

und während der Ueberwinterung durch R. SCHNEIDER, F. BRANDENBERGER und O. REINWARTH, sind hier wiedergegeben.

- Temperaturmessungen in zwei Vertikalbohrungen (Widerstandsthermometer, fest eingebaut). Da die Zuleitungen in das kristallographische Labor münden, ist kein Pegel errichtet worden.
- Spezielle Messungen über das Temperaturregime in den obersten 30 cm (M. DE QUERVAIN). Diese werden zusammen mit den Oberflächenmetamorphosen behandelt. (Kapitel 9).
- Ferner: Elektrische Firntemperaturmessungen während der Ueberwinterung in Tiefen von 0,15-0,40-0,75-1,5-3,0-5,2 m (O. REINWARTH).

Alle Angaben über die Firntiefe Z beziehen sich auf die Firnoberfläche vom Juli (1959) oder Z\* auf die Nullmarke im Schacht Dumont (Juli 1959).

Tabelle 58 a-c. *Temperaturen im Standardprofil vom 2.7.59 (Jarl-Joset)*

a) *Metallthermometer.* (Lufttemperatur -7°). Zeit: ca. 1100.

Nr.	Z	T <sub>a</sub>	T	Nr.	Z	T <sub>a</sub>	T
M 3	3	- 6,4	- 7,2	M 2	20	- 10,8	- 11,8
M 4	6	-7,0	- 7,9	M 6	25	- 11,0	- 12,3
M 5	10	- 9,0	- 9,75	M 7	30	- 11,6	- 13,1
M 1	15	- 11,0	- 11,7				

b) *Quecksilberthermometer* (Lufttemperatur -6°). Zeit: 1400-1800.

Nr.	Z	T <sub>a</sub>	T	Nr.	Z	T <sub>a</sub>	T
14005	6	- 9,0	- 8,8	5	105	- 20,5	- 20,3
14006	10	- 10,45	- 10,25	6	110	- 20,75	- 20,55
5	20	- 12,25	- 12,0	5	117,5	- 21,2	- 21,0
5	35	- 12,8	- 12,55	6	122	- 21,45	- 21,2
6	40	- 13,0	- 12,8	5	125	- 21,95	- 21,7
5	45	- 14,3	- 14,05	6	130	- 22,25	- 22,0
6	50	- 15,1	- 14,9	5	135	- 22,4	- 22,15
5	55	- 16,7	- 16,45	6	140	- 22,75	- 22,5
6	60	- 17,15	- 16,95	5	145	- 23,0	- 27,75
5	65	- 17,7	- 17,45	6	150	- 23,2	- 22,95
6	70	- 18,1	- 17,9	5	160	- 23,6	- 23,35
5	75	- 18,5	- 18,3	6	170	- 23,9	- 23,6
6	80	- 19,0	- 18,8	5	180	- 24,5	- 24,2
5	85	- 19,15	- 18,95	6	190	- 24,9	- 24,6
6	90	- 19,15	- 19,3	5	200	- 25,4	- 25,1
5	95	- 19,9	- 19,7	6	210	- 25,65	- 25,35
6	100	- 20,1	- 19,9				

c) *Widerstandsthermometer.*

Seitlich 300 cm in Profilwand eingelassen (Bohrung mit Schlangenbohrer)  
Elemente eingesetzt am 9.7.59 1700. Tettexbrücke Nr. 5958.

D	t	Nr.	R <sub>o</sub>	R <sub>a</sub>	$\vartheta$	Z	T <sub>a</sub>	T
9.7.59	2145	E 24	100,00	100,10	- 12,5	249,5	- 25,67	- 25,67
11.7.59	1600				- 3		- 25,52	- 25,42
12.7.59	1815				- 5		- 25,38	- 25,30
19.7.59	2145	E 18	99,95	100,02	- 12,5	300,5	- 27,04	- 27,22
11.7.59	1600				- 3		- 26,92	- 26,90
12.7.59	1815				- 5		- 26,89	- 26,89
9.7.59	2145	E 3	99,98	100,06	- 12,5	400,5	- 28,06	- 28,11
11.7.59	1600				- 3		- 28,11	- 28,06
12.7.59	1815				- 5		- 28,10	- 28,07
23.7.59 <sup>1)</sup>	2330	E 18	99,95	100,02	(- 5)	1039	- 27,88	- 27,88

<sup>1)</sup> Element Nr. 18 am 14.7. in Kernbohrungsloch vom Boden des Profilschachtes (428 cm) aus um 611 cm vertikal abgesenkt.

Tabelle 59. *Temperaturen in Vertikalbohrungen. Fest eingebaute Widerstandsthermometer* (Kristallographisches Labor Station Jarl-Joset).  
Brücke Tettex Nr. 5958. Elemente eingesetzt 30.7. ca. 1400.

D	t	Nr.	R <sub>o</sub>	R <sub>a</sub>	$\vartheta$	Z	T <sub>a</sub>	T
30.7.59	1815	E 11	99,93	99,98	- 5	1111 <sup>1)</sup>	- 27,90	- 27,95
31.7.59				99,92	- 8	1111 <sup>1)</sup>	- 27,76	- 28,00
			99,93	99,92	+ 14	1111 <sup>1)</sup>	- 27,72	- 27,96 <sup>2)</sup>
							- 27,90	- 27,92
							- 27,90	- 27,92 <sup>2)</sup>
18.2.60	2000	E 11	99,93	99,92	+ 20	1111 <sup>4)</sup>	- 27,70	- 27,67
23.2.60	2300			99,92	+ 19		- 27,70	- 27,68
7.4.60	1300			99,92	+ 18		- 27,58	- 27,56
4.5.60	0800			99,92	+ 16		- 27,50	- 27,51
23.5.60	0800			99,92	+ 17		- 27,57	- 27,57
21.7.60	1400			99,92	(+ 20)		- 27,82	- 27,79
19.6.64	0830	E 11	99,93	99,94	- 23,5	1111 <sup>4)</sup>	- 27,29	- 27,63 <sup>3)</sup>
10.6.64	0730			99,94	+ 6,0		- 27,53	- 27,58 <sup>3)</sup>

(Fortsetzung)

<sup>1)</sup> Tiefe ab Oberkant Laborboden + 335 cm zum Anschluss an FO Marke Dumont via Marke an Meteo-Mast (Mitteilung von F. BRANDENBERGER vom 19.12.1961).

<sup>2)</sup> Ablesung mit Messbrücke Nr. 5959. Messungen von A. RENAUD.

<sup>3)</sup> Ablesung W. PFROMMER, Campagne 1964.

<sup>4)</sup> Tiefen nicht korrigiert. Zuschlag für 1959/60: 30 cm, für 1960/64: 4 × 49 cm = 196 cm. nach Pegelablesungen Jarl-Joset. Abzug für Setzung 1959-64 gemäss Auswertung der Verformung im Schacht Dumont.

Tabelle 59 (fortgesetzt).

D	t	Nr.	R <sub>o</sub>	R <sub>a</sub>	θ	Z	T <sub>a</sub>	T
30.7.59	1815	E 9	100,01	100,08	− 5	1567	− 27,98	− 27,98
18.2.60	2000	E 9	100,01	100,02	+ 20	1567 <sup>4)</sup>	− 28,20	− 28,10
23.2.60	2300			100,02	+ 19		− 28,20	− 28,10
7.4.60	1300			100,02	+ 18		− 28,07	− 28,00
4.5.60	0800			100,02	+ 16		− 27,97	− 27,92
23.5.60	0800			100,02	+ 17		− 28,00	− 27,94
21.7.60	1400			100,02	(+ 20)		− 28,08	− 27,99
9.6.64	0830	E 9	100,01	100,02	− 23,5	1567 <sup>4)</sup>	− 27,31	− 27,65 <sup>3)</sup>
10.6.64	0730			100,02	+ 4,0		− 27,65	− 27,75 <sup>3)</sup>

Temperaturen im Schrägschacht Dumont

Alle Höhenangaben beziehen sich auf die Nullmarke am Pegel Dumont (= Schneeoberfläche 15.7.1959).

a) *Messungen mit Quecksilberthermometern* (ausgeführt durch R. SCHNEIDER) 7.7.59. Tabelle 60

Die Thermometer wurden in die von DUMONT 1957 angelegten etwas erweiterten seitlichen Bohrungen 60–80 cm tief in die Schachtwand eingelassen. Mit dem Index D sind die Messwerte von J. DUMONT (*Sommer 1957*) beigelegt. Die Unterschiede zwischen den Tiefen Z und Z<sub>D</sub> entsprechen der kombinierten Wirkung von Setzung und Akkumulation.

b) *Messungen mit Widerstandsthermometern*. Tabelle 61

Die Elemente wurden mittels Schlangenbohrern wie folgt in die Schachtwand eingesetzt:

Nr.	Z (cm)	Ort	horizontaler Vortrieb X (cm)
E 4	2057	Kugelhaverne (vis-à-vis Eingang)	bis 800 cm
E 3	3047	Nörtl. Schachtwand	bis 375 (Azimut 50° gegen Wandebene 500 cm Vortrieb)
E 24	4005	Nörtl. Schachtwand	300 cm (bis August 1959)
E 24	3900	Kugelhaverne	140 cm (ab Mai 1960)

In einigen speziellen Versuchen wurde durch horizontales Verschieben der Elemente die Frage eines *horizontalen Temperaturgradienten* gegen die Schachtwand hin geprüft [horizontale Eintauchtiefe X] Messbrücke Nr. 5958.

Tabelle 60. *Temperaturmessungen Hg – Thermometer Schacht Dumont.*

Nr. (Hg)	Z	T <sub>a</sub>	T <sup>1)</sup>	Z <sub>D</sub>	T <sub>D</sub>	D <sub>D</sub>
13750.....	594	– 27,8	– 27,6	500		
53.....	640	27,8	27,6	550		
48.....	689	28,0	27,8	600		
46.....	740	28,0	27,7	650		
47.....	786	28,0	27,7	700	– 28,9	18.6.57
45.....	831	28,0	27,7	750	28,8	18.6.57
51.....	880	28,0	27,7	800	28,6	18.6.57
52.....	929	27,9	27,7	850	28,8	18.6.57
44.....	980	28,0	27,7	900	28,7	16.6.57
49.....	1032	27,9	27,6	950	28,3	–
43.....	1082	27,9	27,6	1000	28,4	–
49.....	1128	27,9	27,6	1050	28,3	–
50.....	1174	27,9	27,7	1100	28,3	–
44.....	1222	27,8	27,5	1150	28,3	–
46.....	1271	27,8	27,5	1200	28,3	–
48.....	1320	27,8	27,6	1250	28,3	22.6.57
51.....	1372	27,9	27,6	1300	28,0	–
47.....	1420	28,0	27,7	1350	28,2	–
53.....	1467	27,8	27,6	1400	28,1	–
43.....	1517	27,9	27,6	1450	28,1	–
52.....	1565	27,9	27,7	1500	28,1	–
45.....	1615	28,0	27,7	1550	28,1	–
47.....	1668	28,0	27,7	1600	–	–
49.....	1716	27,9	27,6	1650	28,0	23.6.57
53.....	1764	27,9	27,7	1700	28,0	–
45.....	1812	28,0	27,7	1750	28,0	–
43.....	1860	28,0	27,7	1800	27,9	–
52.....	1910	27,9	27,7	1850	28,0	–
44.....	1959	28,0	27,7	1900	27,8	–
48.....	2008	28,0	27,8	1950	28,0	–
50.....	2057	28,0	27,8	2000		
46.....	2153	28,0	27,7	2100		
51.....	2252	28,0	27,7	2200	28,1	–
51.....	2373	28,0	27,7	2300	27,8	–
50.....	2453	28,0	27,8	2400	28,0	–
44.....	2550	28,1	27,8	2500	27,8	–
46.....	2648	28,0	27,7	2600	27,9	–
45.....	2748	28,1	27,8	2700		
52.....	2855	28,0	27,8	2800	27,9	–
48.....	2949	28,1	27,9	2900		
49.....	3047	28,1	27,8	3000	27,9	–

<sup>1)</sup> Die in T einbezogenen Korrekturen setzen sich zusammen aus den Korrekturen gemäss den Eidg. Eichscheinen vom 23.10.58 für Eintauchtiefe 200 mm und einer berechneten Fadenkorrektur von + 0,2° mit Rücksicht auf das völlige Eintauchen bei den Messungen im Schacht. Wie die Messungen von DUMONT korrigiert sind, ist dem Verfasser unbekannt.

Tabelle 61. *Temperaturmessungen mit Widerstandsthermometern, Schacht Dumont*

D	t	Nr.	R <sub>o</sub>	R <sub>a</sub>	ϑ	Z	X	T <sub>a</sub>	T
31.7.59	0830	E 4	99,97	99,98	– 8,0	2057	800	– 27,90	– 28,08
	1430				– 8,5		594	– 27,92	– 28,11
1.8.59	1220				– 10,0		400	– 27,90	– 28,10
2.8.59	0125				– 13,5		200	– 27,87	– 28,11
	0817				– 12,0		10	– 27,69	– 27,91
3.8.59	0045				– 13,5		200	– 27,87 <sub>5</sub>	– 27,11
	0930				– 14,0		400	– 27,89	– 28,13
	1415				– 12,0		600	– 27,90	– 28,12
4.5.60	–	E 4	99,97	99,98	– 28,5	2057	600	– 27,65	– 28,07 <sup>1)</sup>
10.6.64	0730	E 4	99,97	99,98	– 6,0	2057 <sup>4)</sup>	600	– 27,25	– 27,42 <sup>2)</sup>
31.7.59	0830	E 3	99,98	99,98	– 8,0	3074	376	– 28,14	– 28,35
	1430				– 8,5		300	– 28,15	– 28,37
1.8.59	1220				– 10,0		229	– 28,12	– 28,35
2.8.59	0125				– 13,5		229	– 28,09	– 28,36
	0817				– 12,0		153	– 28,03	– 28,28
3.8.59	0045				– 13,5		76	– 27,98	– 28,25
	0930				– 14,0		8	– 27,80	– 28,07
	1415				– 12,0		76	– 27,96	– 28,21
1.8.59	1220	E 24	100,00	100,00	– 10,0	4005	180	– 28,23	– 28,46
2.8.59	0125				– 13,5		180	– 28,28	– 28,55
	0817				– 12,0		180	– 28,29 <sub>5</sub>	– 28,54 <sub>5</sub>
4.5.60	–	E 24	100,00	100,00	– 28,0	3900	140	– 28,1	– 28,5 <sup>1)</sup> <sup>2)</sup>
10.6.64	0730	E 24	100,00	100,00	– 11,5	3900 <sup>4)</sup>	140	– 28,25	– 28,52 <sup>2)</sup>

1) Ablesung F. BRANDENBREGER (Ueberwinterungsgruppe). Instrument Nr. 5958 in 5 Stunden auf Schachttemperatur abgekühlt.  
2) Element in halber Höhe der neuen Hohlkugel eingebaut.  
3) Ablesungen W. PFROMMER Campagne 1964.  
4) Dazu Zuschläge. Siehe Bemerkung bei Messtellen E 9 und E 11 (Vertikalbohrung).

Seitens der Ueberwinterungsgruppe liegen ferner folgende Bestimmungen von Firntemperaturen in den Kugelhöhlen mittels Hg-Thermometer vor (F. BRANDENBERGER).

D	Z	Nr.	T <sub>a</sub>	T
15.8.59	20 m	13748	– 27,7	– 27,5
19.1.60		5055/58	– 27,6	?
23.1.60				
14.3.60		5055/58	– 27,6	?
22.4.60	40 m	5055/58	– 27,9	?

Diese Messungen beziehen sich auf eine oberflächliche Schicht der Wand (ca. 20 cm) und sind daher nicht repräsentativ für den ungestörten Firn.

**Diskussion:** Eine Gegenüberstellung der Messungen im Schacht Dumont bietet folgendes Bild:

Z	T	T	T	
	DUMONT 1957 (Hg)	SCHNEIDER 1959 (Hg)	DE Q.1959 (Elektr.) X < 100 cm	X > 300 cm
2000	28,0	27,8	27,9	28,1
3000	27,9	27,8	28,1–28,2	28,3–28,4
4000	–	–		28,5

Die elektrischen Messungen mit verschiedener Einschiebtiefe X zeigen – vor allem im 30 m-Niveau – eine deutliche Temperaturerhöhung gegen die Schachtwand hin. Offenbar bewirkt der Schacht einen gewissen oberflächlichen Temperatenausgleich. In den Kugelhöhlen (20 m) ist dieser Einfluss naturgemäss stark vermindert.

Der zwischen 20 und 40 m festgestellte *negative Temperaturgradient* von ca.  $-0,02^\circ/\text{m}$  dürfte reell sein und deutet auf ein Kälterelikt hin, das mindestens 80–100 Jahre zurückzudatieren wäre. (Siehe Abschnitt 3.2.).

Die Messungen von 1964 lassen im 20 m-Niveau und darüber eine Erwärmung von  $0,3\text{--}0,6^\circ$  erkennen. Der Schachtgrund ist unverändert geblieben.

***Gang der Firntemperaturen an  
der Station Jarl-Joset in Tiefen von 15 bis 520 cm in der Zeit  
vom 10. Januar bis 21. Juli 1960***

Vorläufige Mitteilung nach Angaben von O. REINWARTH (Meteorologe der Ueberwinterungsgruppe).

**Allgemeines**

An der Station Jarl-Joset sind durch O. REINWARTH im Januar in 6 Firntiefen weitere Widerstandsthermometer eingesetzt worden zur Bestimmung des jahreszeitlichen Temperatur- und Wärmeregimes einer oberen Schichtlage. Die Ablesungen erfolgten täglich, und wurden nach Korrektur einer harmonischen Analyse unterzogen zur Ermittlung der Fourier-Koeffizienten.

**Messmethode**

Als Messelmente wurden Degussa Hartglas-Widerstandsthermometer Platin 100 Ohm in Dreileiterschaltung verwendet. Da keine Werk-



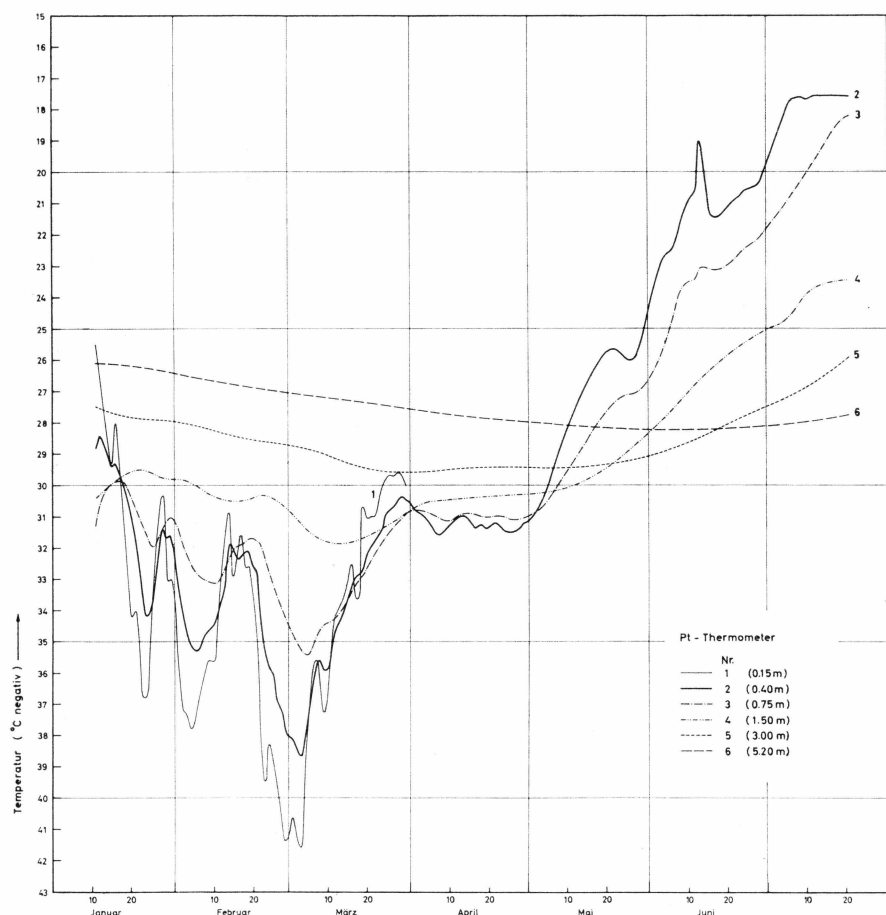


Abb. 41. Temperaturverlauf 1960 in Firntiefen 0,15–5,20 m (Ausgangstiefen). Station Jarl-Joset. (O. REINWARTH).

eichungen vorlagen, wurde eine Eichung bei zwei Temperaturen (Eisbad  $0^{\circ}$  und Petrolbad  $-25^{\circ}$ ) vorgenommen. Die für jedes Element ermittelte Korrektur bezog sich auf eine Basiseinstellung der Messbrücke (Tettex Nr. 5958) von  $100,00^{\circ}$ . Sie wurde als für den ganzen Bereich konstant angenommen, was mit Rücksicht auf die Unsicherheit der Eichtemperaturen zulässig erscheint.

Die Elemente erhielten teilweise eine Umhüllung, z.T. wurden sie ungeschützt eingebaut. Nachfolgende Zusammenstellung (Tabelle 62) gibt Auskunft über die Ausführung des Messfühlers, die Einbautiefe, die verwendete Temperaturkorrektur  $T_h$  und die Richtung des Einbaues.

Tabelle 62. *Charakterisierung der Widerstandsthermometer Pt 100 Ohm*

Nr.	Ausführung	Z (cm)	T <sub>k</sub> (C°)	Richtung
1	ungeschützter Glaskörper	15	+ 0,4	horizontal
2	— —	40	+ 0,1	—
3	staniolumwickelt in Alurohr gepresst	75	— 0,1	vertikal
4	— —	150	— 0,2	—
5	— —	300	0,0	—
6	bleiumpresst (Originalausführung)	520	+ 0,7	—

## Messungen

Tabelle 63 gibt die korrigierten Messungen. Abb. 41 zeigt den zeitlichen Verlauf der Temperatur.

Tabelle 63. *Korrigierte Temperaturwerte des Schneetemperaturprofils Jarl-Joset (— °C)*

Tiefe am 11. Januar 1960: Nr. 1 0,15 m Nr. 4 1,5 m.  
 2 0,40 m 5 3,0 m  
 3 0,75 m 6 5,2 m

Januar 1960							Februar 1960						
Tag	1	2	3	4	5	6	Tag	1	2	3	4	5	6
11.	25.5	28.8	31.3	30.4	27.5	26.1	1.	36.1	33.2	30.4	29.8	28.0	26.45
12.	26.6	28.4	30.6	30.2	27.5	26.1	2.	37.2	34.0	31.7	29.8	28.0	26.5
13.	27.3	28.7	30.2	30.2	27.6	26.1	3.	37.3	34.7	32.15	29.85	28.05	26.5
14.	28.3	28.9	30.1	30.2	27.65	26.1	4.	37.8	35.1	32.5	29.9	28.1	26.55
15.	29.3	29.4	30.0	30.0	27.7	26.1	5.	37.6	35.3	32.1	30.0	28.1	26.6
16.	28.0	29.3	29.9	29.8	27.7	26.1	6.	36.8	35.3	32.9	30.1	28.1	26.6
17.	29.9	29.7	29.85	29.8	27.8	26.1		—	—	—	—	—	—
18.	—	—	—	—	—	—	9.	35.6	34.6	33.1	30.25	28.2	26.7
19.	32.5	30.7	29.9	29.6	27.8	26.15	10.	35.6	34.5	33.1	30.3	28.2	26.7
20.	34.2	31.8	30.4	29.5	27.8	26.2	11.	34.2	34.2	33.2	30.4	28.25	26.7
21.	34.0	32.5	30.1	29.5	27.85	26.25	12.	32.6	33.6	33.8	30.4	28.3	26.75
22.	35.0	32.6	31.0	29.5	27.9	26.35	13.	31.5	32.7	32.7	30.5	28.3	26.75
23.	36.3	33.6	31.3	29.5	27.9	26.35	14.	30.9	31.9	32.3	30.5	28.3	26.75
24.	36.7	34.2	31.6	29.5	27.9	26.8	15.	32.9	32.1	32.0	30.5	28.35	26.75
25.	34.4	34.0	31.95	29.6	27.9	26.3	16.	32.4	32.4	31.95	30.5	28.4	26.8
26.	32.3	33.1	31.95	29.65	27.9	26.3	17.	31.6	32.3	31.9	30.5	28.45	26.8
27.	31.05	32.1	31.7	29.7	27.9	26.35	18.	32.6	32.2	31.8	30.5	28.5	26.8
28.	30.3	31.4	31.4	29.8	27.9	26.35	19.	32.6	32.1	31.7	30.5	28.5	26.8
29.	32.9	31.7	31.2	29.8	27.95	26.4	20.	33.6	32.6	31.7	30.4	28.55	26.85
30.	33.0	31.6	31.0	29.8	27.95	26.4	21.	34.4	32.8	31.8	30.4	28.6	26.9
31.	33.5	32.3	31.1	29.8	28.0	26.4	22.	38.5	34.2	31.95	30.3	28.6	26.9

(Fortsetzung)

Tabelle 63 (fortgesetzt).

Februar 1960 (Fortsetzung)							April 1960 (Fortsetzung)						
Tag	1	2	3	4	5	6	Tag	1	2	3	4	5	6
23.	39.5	35.4	32.8	30.35	28.6	26.9	3.	30.8	30.9	30.9	—	29.65	27.6
24.	38.3	35.8	32.7	30.4	28.6	26.9	4.	31.0	31.0	30.9	30.6	29.6	27.65
25.	38.7	36.0	33.1	30.4	28.6	26.9	5.	31.2	31.1	30.9	30.55	29.55	27.65
26.	39.5	36.4	33.4	30.5	28.65	26.95	6.	31.9	31.4	30.95	30.5	29.55	27.7
27.	40.5	37.1	33.8	30.6	28.7	27.0	7.	32.0	31.6	31.0	30.5	29.55	27.7
28.	41.4	37.7	34.2	30.7	28.7	27.0	8.	31.7	31.6	31.1	30.5	29.5	27.7
29.	41.2	38.1	34.5	30.8	28.7	27.0	9.	31.2	31.5	31.1	30.5	29.5	27.7
März 1960							10.	30.8	31.3	31.2	30.45	29.5	27.75
1.	40.6	38.1	34.8	30.95	28.75	27.05	11.	—	—	—	—	—	—
2.	41.3	38.3	35.0	31.05	28.75	27.05	12.	30.8	31.1	31.0	30.45	29.5	27.8
3.	41.6	38.7	35.2	31.2	28.8	27.05	13.	30.8	31.0	31.0	30.45	29.5	27.8
4.	39.6	38.3	35.4	31.35	28.8	27.1	14.	30.9	31.0	30.9	30.4	29.5	27.8
5.	37.9	37.6	35.4	31.45	28.85	27.15	15.	—	—	—	—	—	—
6.	36.2	36.6	35.2	31.6	28.9	27.15	17.	31.3	31.4	31.0	30.35	29.45	27.8
7.	35.6	35.8	34.85	31.7	28.9	27.15	18.	31.4	31.2	31.0	30.35	29.45	27.85
8.	36.5	35.6	34.6	31.7	28.95	27.15	19.	31.6	31.4	31.0	30.35	29.45	27.9
9.	37.3	35.9	34.4	31.8	29.0	27.15	20.	31.3	31.4	31.0	30.35	29.45	27.9
10.	36.5	35.9	34.4	31.8	29.05	27.2	21.	—	—	—	—	—	—
11.	35.0	35.3	34.35	31.8	29.1	27.2	22.	31.4	31.2	31.0	30.3	29.4	27.9
12.	34.2	(34.6)	34.2	31.85	29.15	27.2	23.	31.6	31.3	31.0	30.3	29.4	27.9
13.	34.0	34.4	34.0	31.85	29.2	27.25	24.	31.8	31.5	31.0	30.3	29.4	27.9
14.	33.7	34.1	34.0	31.85	29.2	27.3	25.	31.5	31.5	31.1	30.3	29.4	27.9
15.	33.2	33.8	33.65	31.85	29.3	27.35	26.	31.5	31.5	31.1	30.3	29.4	27.95
16.	32.5	33.4	33.5	31.8	29.3	27.35	27.	—	—	—	—	—	—
17.	33.1	33.0	33.1	31.8	29.35	27.3	28.	31.4	31.4	31.1	30.3	29.4	28.0
18.	—	—	—	—	—	—	29.	31.0	31.2	31.1	30.3	29.4	28.0
19.	30.7	32.8	32.9	31.7	29.4	27.35	30.	30.8	31.2	31.0	30.3	29.4	28.0
20.	31.1	32.2	32.7	31.65	29.45	27.35	Mai 1960						
21.	31.0	32.0	32.4	31.6	29.5	27.4	1.	30.4	31.0	30.9	30.3	29.4	28.0
22.	31.0	31.8	32.2	31.5	29.5	27.4	2.	30.4	30.1	30.9	30.3	29.4 <sub>5</sub>	28.0
23.	30.6	31.6	32.0	31.45	29.55	27.45	3.	—	—	—	—	—	—
24.	30.0	31.3	31.8	31.35	29.55	27.45	4.	29.9	30.4	30.7	30.3	29.4 <sub>5</sub>	28.0
25.	29.8	30.9	31.6	31.3	29.6	27.5	5.	—	—	—	—	—	—
26.	29.7	30.8	31.45	31.25	29.6	27.5	Messung unterbrochen						
27.	29.7	30.7	31.3	31.2	29.6	27.5	23.	24.2	25.1	21.3	29.2	29.3	28.2
28.	29.6	30.5	31.2	31.15	29.6	27.5	24.	24.4	25.8	27.2	29.1	29.3	28.2
29.	29.7	30.4	31.1	31.0	29.6	27.5	25.	24.9	25.9	27.2	29.0	29.3	28.2
30.	29.9	30.5	30.9	30.9	29.6	27.55	26.	24.9	26.0	27.1	28.8	29.2	28.2
31.	30.6	30.5	30.7	30.8	29.6	27.55	27.	—	—	—	—	—	—
April 1960							28.	24.2	25.8	27.1	28.7	29.2	28.2
1.	30.6	30.8	30.8	30.75	29.6	27.55	29.	—	—	—	—	—	—
2.	30.8	30.9	30.85	30.65	29.6	27.6	30.	23.0	25.0	26.8	28.5	29.4	28.2
							31.	21.9	24.3	26.4	28.3	29.0	28.2

(Fortsetzung)

Tabelle 63 (fortgesetzt).

Juni 1960							Juni 1960 (Fortsetzung)						
Tag	1	2	3	4	5	6	Tag	1	2	3	4	5	6
1.	—	—	—	—	—	—	23.	18.9	20.8	22.6	25.6	27.9	28.2
4.	20.3	22.7	25.6	27.9	28.9	28.2	24.	18.7	20.6	22.5	25.5	27.8	28.2
5.	—	—	—	—	—	—	25.	—	—	—	—	—	—
6.	20.2	22.5	24.8	27.7	28.8	28.2	27.	18.8	20.5	22.2	25.2	27.6	28.15
7.	—	—	—	—	—	—	28.	—	—	—	—	—	—
10.	18.0	21.0	23.5	27.0 <sub>5</sub>	28.6	28.2	Juli 1960						
11.	—	—	—	—	—	—	1.	—	—	—	—	—	—
12.	18.1	20.6	23.4	26.9	28.5 <sub>5</sub>	28.2	6.	15.8	18.2	20.8	24.6	27.1	28.0
13.	20.4	19.0	23.1	26.7	28.5	28.2	7.	—	—	—	—	—	—
14.	—	—	—	—	—	—	10.	15.5	17.7	20.1	23.9	26.9	28.0
16.	19.9	21.4	23.1	26.8	28.3	28.2	11.	—	—	—	—	—	—
17.	—	—	—	—	—	—	12.	15.1	17.6	19.8	23.7	26.8	28.0
18.	20.0	21.4	23.1	26.0	28.2	28.2	13.	—	—	—	—	—	—
19.	—	—	—	—	—	—	21.	15.0	17.6	18.5	23.5	26.1	27.8
21.	19.0	21.0	22.9	25.8	28.0	28.2	22.	—	—	—	—	—	—
22.	—	—	—	—	—	—							

### *Vorläufige Bearbeitung der Messungen*

Um eine gewisse Glättung der Temperaturkurven zu erreichen, wurden laufende 5-Tagemittel gebildet und in einer Tautochronendarstellung aufgetragen (Temperaturprofile). Die Tiefe der Messstellen wurde mit den täglichen Schneehöhenzuwachswerten von F. BRANDENBERGER korrigiert, wobei diese Werte auch in 5-Tagesmittel zusammengefasst waren. Eine Tiefenkorrektur aufgrund der Setzung der in der Ausgangslage vorhandenen Schichten wurde nicht vorgenommen. Der grösste Korrekturwert für die Tiefenzunahme aus der Schneeüberdeckung betrug 22 cm. (Für die Ausgangstiefe von 520 cm und den Endtermin der Messungen im Juli 1960 findet man aus der rechnerischen Setzungsfunktion, Abschn. 6.5.2. einen Setzungsbetrag von ca. 7 cm. Um diesen Wert und entsprechend weniger für die höheren Messstellen und die früheren Termine wären also die Tiefen bei einer verfeinerten Behandlung zu korrigieren). Aus den Schnittpunkten der Tautochronen mit ganzzahligen Temperaturwerten wurde unter Interpolation fehlender Messdaten ein Isothermenbild konstruiert (Abb. 42). Wegen der nicht erfassten Tagesschwankungen und der 5-Tagemittelung sind die Isothermen in den obersten 50 cm nicht realistisch und daher nicht bis zur Oberfläche durchgezogen. Diese ist nicht durch eine Linie, sondern durch ein schraffiertes Band wiedergegeben, um ihre nicht scharf definierte Lage anzudeuten.

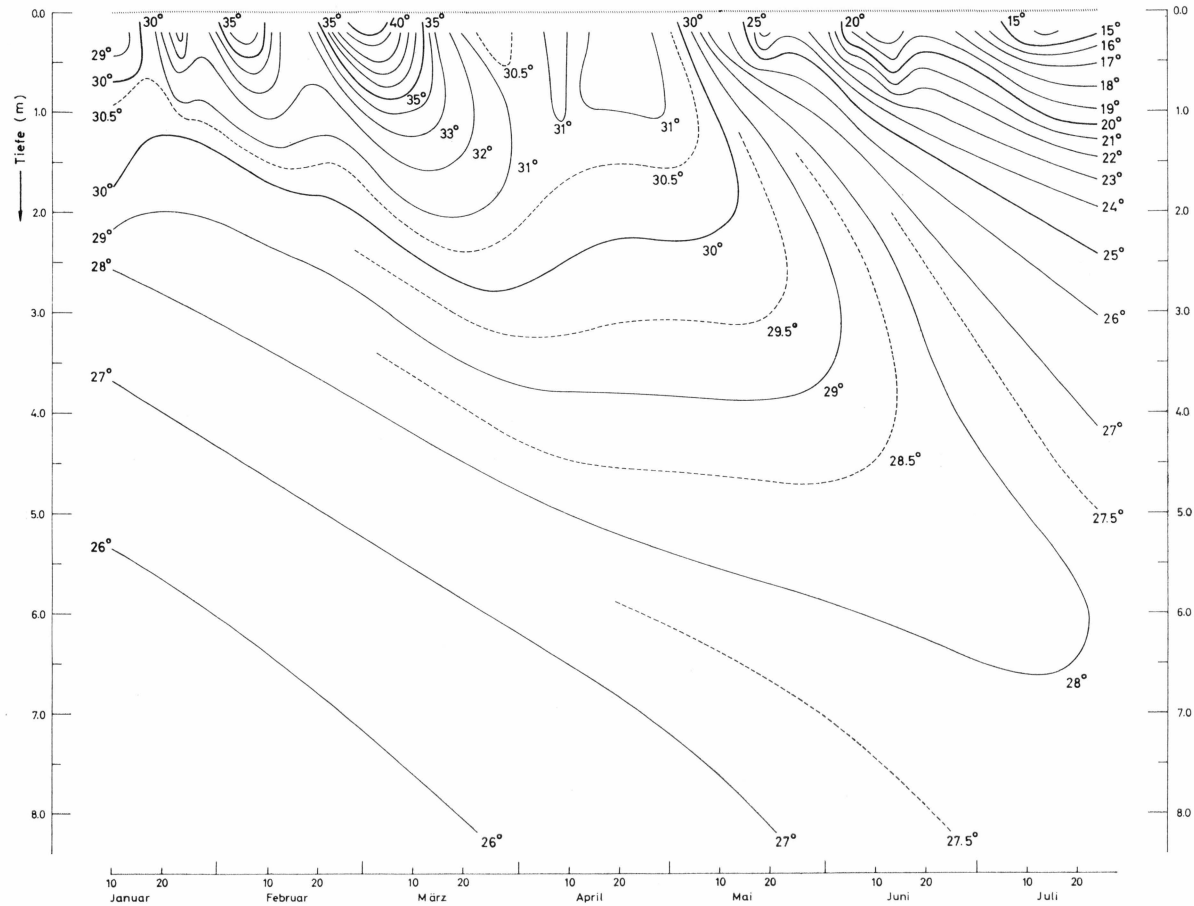


Abb. 42. Isothermen im Firn (negative C°-Temperaturen). 1960 Station Jarl-Joset (O. REINWARTH).

Aus der Isothermendarstellung wurde der zeitliche Temperaturverlauf für Tiefenstufen von je 1 m bis 6 m Tiefe herausgelesen und aufgezeichnet. Durch Spiegelung und entsprechende Ordinatenverschiebung liess sich aus den Halbjahreswerten eine Jahresreihe konstruieren. Daraus wurden mit Hilfe der harmonischen Analyse die Fourier-Koeffizienten der Grundschiwingung bestimmt. Wegen der durch die Spiegelung erzwungenen Symmetrie werden die Koeffizienten der geradzahlgigen Vielfachen der Grundschiwingung gleich Null. Die 1/3-jährige Periode bleibt noch in Tiefen von 1 und 2 m feststellbar.

Die Grundschiwingungen lassen sich folgendermassen darstellen:

Z	T (t)	Grundschiwingung
m	— C°	
1	24,8 + 4,90 cos t' + 6,47 sin t' (t' = 2πt/365; t Tage)	
2	26,7 + 1,68 cos t' + 3,79 sin t'	
3	26,9 + 0,31 cos t' + 2,88 sin t'	
4	26,9 - 0,36 cos t' + 2,03 sin t'	
5	27,0 - 0,73 cos t' + 1,19 sin t'	
6	26,9 - 0,98 cos t' + 0,44 sin t'	

Mit diesen Koeffizienten wurden die Amplituden  $T_A$  für die einzelnen Tiefen berechnet und in logarithmischem Masstab als Funktion der Tiefe aufgetragen. Mit Ausnahme des 1 m - Wertes passen sich die Punkte gut einer Geraden an von der Lage:

$$\ln T_A = \ln 8,5 - 0,364 Z$$

Einige Werte dieser Funktion sind:

Z	5	10	15	20	(m)
$T_A$ °C	1,38	0,22	0,036	0,0059	

Diese Extrapolation nach grösseren Tiefen liefert etwas zu kleine Schwankungen der Amplitude, da sie die Zunahme der Wärmeleitfähigkeit mit der Tiefe vernachlässigt. (Siehe Abschnitt 7.3.2.). Auch die Phasenbeziehungen lassen sich in einer linearen Darstellung einer Geraden zuordnen. Die Punkte streuen jedoch stärker als bei den Amplituden, und diesmal fällt der 6 m-Wert aus der Reihe. Er wurde bei der Regression nicht berücksichtigt. Die Gerade entspricht der Beziehung:

$$\varphi(Z) = 56,5^\circ - 17,1 Z$$

(Die Periode für die harmonische Analyse  $-\pi \div +\pi$  beginnt am 18.1.)

Eine erste Phasenumkehr ist also in  $\frac{180}{17,1} = 10,5$  m festzustellen.

Aus der Amplituden- und Phasenbeziehung errechnet sich nach

$$T_A(Z) = T_{Ao} \cdot \exp[-Z(\omega/2a)^{1/2}] \quad \omega \text{ Schwingungsfrequenz} = 7,2 \cdot 10^{-4} h^{-1}$$

und

$$\varphi = \varphi_0 - \frac{360}{2\pi} Z(\omega/2a)^{1/2}$$

eine mittlere Temperaturleitfähigkeit  $a$  von

$$a = 0,0027 \text{ m}^2 h^{-1}$$

bzw.

$$a = 0,004 \quad ,,$$

(Wert nach der Formel von Abels/Kondrat'eva für  $\gamma = 450 \text{ kg/m}^3$ :  $a = 0,0028 \text{ m}^2 h^{-1}$ ). Etwas überraschend ist die verhältnismässig geringe Oberflächenamplitude von  $\pm 8,5^\circ$  für die Grundschiwungung.

## 7.4. Theoretische Betrachtungen

### 7.4.1. Energieumsatz und Bildung von Superimposed Ice bei der Station K3

Zwei überschlagsmässige Betrachtungen, basierend auf den getätigten Messungen, sollen dazu dienen, die Bildung von "Superimposed Ice" in Verbindung zu bringen mit den Temperaturverhältnissen bei K3. (Eingehende Studien über dieses Problem finden sich bei W. AMBACH (1963).

#### a) Energieübertragung aufgrund der Wärmeleitung des Eises

Unter der Annahme einer homogenen isothermen Eismasse von unendlicher Tiefe und einheitlicher Temperaturen  $T_E$  im Anfangszustand berechnet sich die ins Eis im Verlauf der Zeit  $t$  einströmende Wärmemenge nach plötzlicher erzwungener Veränderung und Konstanthaltung der Oberflächentemperatur auf  $T_o$  zu

$$Q = \frac{2}{\sqrt{\pi}} (\lambda \cdot \gamma_E \cdot c \cdot t)^{1/2} (T_o - T_E) \quad \text{cal cm}^{-2}$$

mit  $\gamma_E$  Dichte  $0,85 \text{ g/cm}^3$  angenommen

$\lambda$  Wärmeleitfähigkeit  $5 \cdot 10^{-3} \text{ cal cm}^{-1} \text{ s}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$  angenommen

$c$  spezifische Wärme  $0,5 \text{ cal g}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$

$t$  Zeit  $7,8 \cdot 10^6 \text{ s}$  (3 Monate)\*

Setzt man die Oberflächentemperatur  $T_o$  auf diejenige des sich bildenden „Superimposed ice“, d.h. auf  $0^\circ \text{ C}$  und die Anfangstemperatur,

\*) Die über die Zeit  $t$  getroffene Annahme entspricht dem Zeitintervall zwischen dem erstmaligen oberflächlichen Aufschmelzen der Eisoberfläche (unter dem Schnee) am 15. Mai 59 und dem Datum der Messung des aufgefrorenen Eises (15. August).

den am Winterende vorhandenen Temperaturgradienten vernachlässigend, auf  $T_E = -10^\circ\text{C}$ , folgt  $Q = 1450 \text{ cal cm}^{-2}$ . Dieser Energieentzug kann zur Bildung von  $S = Q/p \text{ g}$  Superimposed ice der Temperatur  $0^\circ\text{C}$  verwendet werden ( $p$  Schmelzwärme  $= 80 \text{ cal g}^{-1}$ ).  $S$  beträgt also  $18 \text{ g/cm}^2$ . In Abwesenheit von Schnee und Luft würde die Schicht des aufgefrorenen Eises ca.  $20 \text{ cm}$  betragen. Da aber die vorhandene Schneekruste miteingebaut wird, erhöht sich die Schicht um den Betrag  $1/n$  ( $n$  Porosität, wasserfrei gedacht). Die Porosität der Basisschicht der Schneedecke dürfte um  $0,6$  liegen. Damit ergibt sich für die Schicht des superimposed ice eine Mächtigkeit von  $33 \text{ cm}$ .

Die Messung vom 15. August 1959 belief sich auf  $32 \text{ cm}$  Zuwachs am Pegel. Die Übereinstimmung der Zahlen ist im Hinblick auf die Einfachheit der Annahme und auf die örtliche Variabilität der Schichtdicke wohl zufällig. Sie legt aber doch nahe, dass der ganze verfügbare Kältevorrat des Winters ins „Superimposed Ice“ gesteckt wird. Da vom gesamten Wasserwert der Winterschneedecke, nämlich  $47 \text{ cm H}_2\text{O}$ , nur  $28 \text{ cm H}_2\text{O}$  als Eiszuwachs verblieben, müssen  $19 \text{ cm}$  der Ablation verfallen sein (Abfluss und Verdunstung). Bei dieser Betrachtung dient der Energieaustausch zwischen Oberfläche und der als isotherm angenommenen Eisoberfläche also lediglich der Schmelzwasserproduktion und Verdunstung. Im besonderen wird eine überschüssige und nachträglich wieder teilweise ablatierte Bildung von Eis als nicht wahrscheinlich hingestellt.

Eine weitere Konsequenz dieser Betrachtung lautet dahin, dass die Akkumulation von K 3 – jedenfalls für das Jahr 1959 – gänzlich aus „Superimposed Ice“ besteht. Damit soll nicht gesagt sein, dass bei K 3 bis in alle Tiefen nur solches sekundäres Eis anzutreffen ist. Mit der allgemeinen Westdrift des Inlandeises wird ein oberflächlich festgehaltener Punkt in grösserer Tiefe von Material unterlaufen, das aus weiter östlich liegenden Regionen stammt. Nach Osten hin stirbt aber die Bildung von aufgefrorenem Eis aus. Auch gegen den Westrand hin verschwindet das gebildete sekundäre Eis, da einerseits seine Menge wegen des geringeren Kältevorrates des Eises (höhere Temperatur) geringer und andererseits die Ablationsfähigkeit des Klimas grösser ist, sodass alles dem überwiegenden Abtrag verfällt. Irgendwo liegt also ein Maximum der Bildung von „Superimposed Ice“ – möglicherweise in der Gegend von K 3, vermutlich aber eher weiter landeinwärts.

#### b) Effektiver Energieverlust auf Grund der Temperaturkurven

Mit den spärlich verfügbaren Temperaturpunkten lässt sich ebenfalls eine grobe Energiebilanz aufstellen. Die Energieaufnahme durch das Eis seitens der Oberfläche in der durch die beiden Temperaturkurven



vom 18. Mai und 15. August 1959 charakterisierten Periode ist gegeben durch

$$Q = c\gamma_E (F_1 - F_2) = c\gamma_E \cdot \left[ \int_{F_1} \Delta T dz - \int_{F_2} \Delta T dz \right]$$

$F_1$  und  $F_2$  sind die in Abb. 36 S. 152 bezeichneten Flächen. ( $F_2$  ist die schmale von  $e$  und  $d$  umschlossene Fläche unterhalb ca. 850 cm Tiefe).

Die Fläche  $F_2$  kann nur abgeschätzt werden aufgrund der 2 Messpunkte und unter Berücksichtigung der Jahresamplitude der Temperatur, die in 12 m Tiefe theoretisch noch ca.  $\pm 0,5^\circ$  betragen dürfte. (Nachträglich sind auch die Messungen von Ambach zu Hilfe gekommen).

Mit den unter a) genannten Annahmen für  $c$  und den planimetrierten bzw. geschätzten Werten

$$F_1 = 3700 \text{ } ^\circ\text{C cm}$$

$$F_2 = 400 \text{ } ^\circ\text{C cm}$$

folgt für die an die Oberfläche abgegebene Kälte.

$$Q = 1400 \text{ cal cm}^{-2}$$

also etwas weniger als bei der Kalkulation nach a). Die entsprechende oberflächlich gebildete Eisenmenge wird  $17,5 \text{ g cm}^{-2}$  betragen, was unter Einschluss der Schneekruste ca. 29 cm „Superimposed Ice“ ergibt. Auch diese Zahl liegt nicht weit vom gemessenen Wert, sodass die beiden weitgehend unabhängigen überschlagsmässigen Rechnungen und die einzige zufallsbehaftete Messung sich gegenseitig in befriedigender Weise zu stützen scheinen.

#### 7.4.2. Temperaturschwankungen im Schacht Dumont

Zur Beurteilung des im Schacht angetroffenen schwachen Temperaturgradienten ist es nützlich, das Eindringen von jahreszeitlichen und säkularen oberflächlichen Temperaturschwankungen in die Tiefe des Firns abzuschätzen.

Die Rechnung soll für 2 Grundannahmen durchgeführt werden:

- a) Eindringen einer periodischen (sinusförmigen) oberflächlichen Temperaturschwankung in eine unveränderliche Firnmasse von überall gleichbleibender Mitteltemperatur aber mit der Tiefe zunehmender Dichte.
- b) Eindringen einer periodischen (sinusförmigen) oberflächlichen Temperaturschwankung in eine durch einen stetigen Niederschlag zuwachsende Firnmasse. Dichte und Mitteltemperatur überall gleich angenommen.

*Bezeichnungen:*

$z$	Tiefe ab Oberfläche [ $m$ ]
$z_o$	empirische Konstante (betr. Dichteverteilung) [ $m$ ]
$T, T_o$	Firntemperatur (Oberflächentemperatur)
$T_A, T_{Ao}$	Temperaturamplitude (Oberflächenamplitude)
$\gamma$	Firndichte [ $kg\ m^{-3}$ ]
$c$	spez. Wärme von Eis $^{\circ}C$ [ $kcal.\ kg^{-1}\ ^{\circ}C^{-1}$ ]
$\lambda$	Wärmeleitfähigkeit des Firms [ $kcal\ m^{-1}h^{-1}\ ^{\circ}C^{-1}$ ]
$a$	Temperaturleitfähigkeit $\frac{\lambda}{c \cdot \gamma}$ [ $m^2\ h^{-1}$ ]
$\omega = \frac{2\pi}{P}$	Frequenz der Temperaturschwankung [ $h^{-1}$ ] ( $P$ Periodendauer)
$k$	empir. Konstante (betr. Dichteverteilung)
$b$	empir. Konstante (betr. Dichteabhängigkeit der Wärmeleitung)
$m$	Mengenzuwachsrate des Firms [ $kg\ h^{-1}\ m^{-2}$ ]
$s$	Höhenzuwachsrate des Firms $\left(s = \frac{m}{\gamma}\right)$ [ $m\ h^{-1}$ ]
$w$	$= s/2\ a$ [ $m^{-1}$ ]
$t$	Zeit [ $h$ ]

**a) Eindringen einer sinusförmigen Temperaturschwankung in unveränderliche Firmmasse von variabler Dichte**

*Annahmen:*

– Verlauf der Oberflächentemperatur

$$(1) \quad T_o = \bar{T}_o + T_{Ao} \cos \omega t$$

Mitteltemperatur im Firn zeitlich und örtlich konstant.

– Verlauf der Firndichte

$$(2) \quad \gamma = k (z + z_o)^{1/4}$$

abgeleitet nach Messungen von F. BRANDENBERGER, A. ROCH, R. SCHNEIDER und A. RENAUD. Gültig im Bereich  $0 \leq Z \leq 40\ m$  (s. Abschn. 6.5.2.)

– Beziehung zwischen Wärmeleitfähigkeit und Firndichte

$$(3) \quad \lambda = b \gamma^2 \quad (\text{Formel von Abels mit Konstante } b \text{ nach Kondrat'eva}).$$

*Rechnung*

Für ein homogenes Medium ist das Temperaturfeld nach GRÖBER-ERK (1955)

$$(4) \quad T = \bar{T}_o + T_{Ao} \exp [-z (\omega/2a)^{1/2}] \cdot \cos [z (\omega/2a)^{1/2} - \omega t]$$

Bei örtlich veränderlicher Temperaturleitfähigkeit  $a(z)$  wird die uns vor allem interessierende Amplitude

(5) 
$$T_A(z) = T_{Ao} \cdot \exp \left[ -(\omega/2)^{1/2} \int_0^z a^{-1/2} dz \right]$$

Unter Verwendung von Gl. (2) und (3) wird

$$a = \frac{\lambda}{c \cdot \gamma} = (bk/c) \cdot (z + z_o)^{1/4}$$
$$T_A(z) = T_{Ao} \exp. \left[ - (\omega \cdot c/2 \, bk)^{1/2} \int_0^z (z + z_o)^{1/8} \, dz \right]$$

(6)  $T_A(z) = T_{Ao} \exp. [ - (8/7) (\omega c/2 \, bk)^{1/2} \langle (z + z_o)^{7/8} - z_o^{7/8} \rangle ]$

*Zahlenbeispiele*

Konstanten  $\left\{ \begin{array}{l} c = 0,5 \text{ kcal/kg} \\ b = 3,06 \cdot 10^{-6} \text{ kcal. m}^5 \cdot \text{kg}^{-2} \text{h}^{-1} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1} \text{ (n. Kondrat'eva)} \\ k = 270 \text{ kg} \cdot \text{m}^{13/4} \text{ (empirisch)} \\ z_o = 2,5 \text{ m} \end{array} \right.$

aa) Annahme einer Jahresperiode  
 $2 \, T_{Ao} = 24^\circ$  (Mitteltemp.  $-28^\circ$ , Mittleres Sommermaximum  $-16^\circ$   
Mittleres Winterminimum  $-40^\circ$ )  
 $P = 8760 \text{ h}$   $\omega = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{-1}$

Die doppelte Jahresamplitude beträgt für die Tiefen

z	0	5	10	15	20	25	30	35	40 m
$2 \, T_A(z)$	24	3,52	0,62	0,12	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$4,9 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$6 \cdot 10^{-5} ^\circ\text{C}$

ab) Annahme einer 100 – Jahresperiode  
 $2 \, T_{Ao} = 10^\circ$  (willkürliche Annahme);  $P = 8,76 \cdot 10^5 \text{ h}$

Die doppelte Hundertjahresamplitude der Temperatur beträgt für die Tiefen z:

z	0	5	10	15	20	25	30	35	40 m
$2 \, T_A(z)$	10	8,25	6,95	5,88	5,00	4,27	3,65	3,18	$2,77 \text{ } ^\circ\text{C}$

**b) Eindringen einer sinusförmigen Temperaturschwankung unter  
Begleitung eines stetigen Firnzuwachses**

*Annahmen*

- Verlauf der Oberflächentemperatur wie Gl. (1). Mitteltemperatur zeitlich und örtlich konstant.
- Firndichte überall konstant  
(Von der Wirklichkeit stark abweichende Vereinfachung)
- Firnzuwachs konstant.

*Rechnung*

Der Nullpunkt der  $z$ -Koordinate bleibt immer an der Oberfläche. In bezug auf diesen Punkt herrscht also ein wegen der unveränderlichen Dichte divergenzfreier Schneestrom nach unten. Dieser bringt in die Differenzialgleichung des Temperaturfeldes ein konvektives Glied. Sie lautet demnach

$$(7) \quad \frac{\partial T}{\partial t} + s \frac{\partial T}{\partial z} - a \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} = 0$$

Der Lösungsansatz:

$$(8) \quad T(z, t) = \bar{T}_o + T_{Ao} \cdot e^{i\omega t} \cdot e^{-rz}$$

führt zur charakteristischen Gleichung

$$r^2 + \frac{s}{a}r - \frac{i\omega}{a} = 0 \quad r = -\frac{s}{2a} \left[ 1 \pm \left( 1 - \frac{4ia}{s^2} \right)^{1/2} \right]$$

Umformung der komplexen Wurzel mit Hilfe der Beziehungen

$$\frac{4a\omega}{s^2} = p; (1 + ip)^{1/2} = q^{1/2} \cdot e^{i\varphi/2}; q = (1 + p^2)^{1/2}; \varphi = \arctg p$$

gestattet die Aufspaltung von  $r$  in Real- und Imaginärteil

$$(9) \quad r = -\frac{s}{2a} \left[ 1 \pm \left( q^{1/2} \cdot \cos \frac{\varphi}{2} + i \cdot q^{1/2} \cdot \sin \frac{\varphi}{2} \right) \right]$$

Durch Einsetzen von (9) in (8) gewinnt man unter Elimination der Winkelfunktionen von  $\varphi/2$  mit Hilfe von

$$\begin{aligned} \cos(\varphi/2) &= [1/2 (1 + \cos \varphi)]^{1/2}, \\ \sin(\varphi/2) &= [1/2 (1 - \cos \varphi)]^{1/2} \end{aligned}$$

sowie unter Ausscheidung der Hilfsgrösse  $q$  und Uebergang zur realen Schreibweise das Resultat:

$$(10) \quad \boxed{\begin{aligned} T(z, t) &= \bar{T}_o + T_{Ao} \exp(-z[(B + w^2)^{1/2} - w]) \cdot \cos[z(B \cdot w^2)^{1/2} - \omega t] \\ \text{mit } B &= 1/2 (\omega^2/a^2 + w^4)^{1/2} \\ \text{und } w &= s/2a \end{aligned}}$$

Diese Gleichung, die wieder eine nach der Tiefe gehende exponentiell gedämpfte Welle darstellt, geht für  $w = 0$  (d.h. kein Firnzuwachs, bzw. unendlich hohe Temperaturleitfähigkeit) in Gl. (4) über.

### Zahlenbeispiele

Annahmen für ca. 20 m Firntiefe:

$$\gamma = 600 \text{ kg/m}^3$$

$$m = 255 \text{ kg m}^{-2}/\text{Jahr} = 29 \cdot 10^{-3} \text{ kg m}^{-2} \text{ h}^{-1} \quad (\text{Zuwachsrate Jarl-Joset gemäss Abschn. 6.5.1.})$$

$$s = m/\gamma = 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ m h}^{-1} (\sim 0,05 \text{ mmh}^{-1})$$

$$a = \frac{\lambda}{c\gamma} = \frac{b \cdot \gamma^2}{c \cdot \gamma} = \frac{b\gamma}{c} = \frac{3,06 \cdot 10^{-6} \cdot 600}{0,5} \\ = 0,0037 \text{ m}^2 \text{ h}^{-1} (= 8,9 \cdot 10^3 \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1})$$

$$b = \text{siehe Abschnitt a)}$$

$$w = s/2a = \frac{4,8 \cdot 10^{-5}}{2 \cdot 3,7 \cdot 10^{-3}} = 0,66 \cdot 10^{-2} \text{ m}^{-1}$$

ba) Annahme einer Jahresperiode

$$2 T_{Ao} = 24^\circ$$

$$P = 8760 \text{ h}$$

$$\omega = 7,2 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{-1}$$

Mit diesen Werten wird Gl. (10) ohne cos-Glied:

$$T_A(z) = T_{Ao} \exp.(-0,305 z)$$

Der Einfluss des Firnzuwachses fällt hier fast nicht ins Gewicht. (Ohne Zuwachs, d.h. mit  $w = 0$ , wird der Exponent  $(-0,31_2)$ . Die doppelte Jahresamplitude der Temperatur beträgt für die Tiefen  $z$ :

$z$	0	5	10	15	20	25	30	35	40 m
$2T_A(z)$	24	5,20	1,04	0,25	0,055	$11 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$5,4 \cdot 10^{-4}$	$1,1 \cdot 10^{-4}^\circ\text{C}$

bb) Annahme einer Jahrhundertperiode

$$2 T_{Ao} = 10^\circ \text{ (willkürliche Annahme)}$$

$$P = 8,76 \cdot 10^5 \text{ h}$$

$$\omega = 7,2 \cdot 10^{-6} \text{ h}^{-1}$$

Gl (10) ohne cos-Glied wird

$$T_A(z) = T_{Ao} \exp. (-0,025 z)$$

(ohne Niederschlag wird der Exponent  $(-0,031 z)$ )

Die doppelte Jahrhundertamplitude der Firntemperatur beträgt für die Tiefen  $z$ . (in Klammern Zahlen ohne Firnzuwachs):

$z$	0	5	10	15	20	25	30	35	40 m
$2T_A(z)$	10,0	8,8	7,8	6,9	6,05	5,35	4,7	4,15	3,7
$2T_A(z)$	(10,0)	(8,6)	(7,3)	(6,3)	(5,4)	(4,6)	(3,9)	(3,4)	(2,9)
Differenz		0,2	0,5	0,6	0,65	0,75	0,8	0,75	0,8

### c) Schlussfolgerungen

Ein Vergleich der vier Tabellen zeigt, dass für die *Jahresschwingung* der Firnzuwachs belanglos ist, nicht aber die Variation der Dichte mit der Tiefe. Somit gibt Tabelle unter aa) die richtigen unter den gegebenen Voraussetzungen zu erwartenden Jahresamplituden an.

Für die *Jahrhundertschwingung* bringt die Berücksichtigung des Niederschlages eine merkliche Differenz im Sinn einer Vergrößerung der Amplitude durch den Zuwachs (Tabelle bb). Die Rechnung ohne Niederschlag aber mit korrekter Dichte (Tabelle ab) zeigt durchwegs etwas kleinere Amplituden. In erster Näherung erscheint es zulässig, diese Tabelle mit den Differenzen der Tabelle bb) zu korrigieren, womit sich für den Fall variabler wirklichkeitsnaher Dichte und Einbezug des Firnzuwachses für die *Jahrhundertschwingung* folgende Amplitudenverteilung ergibt, ausgedrückt im Verhältnis zu einer hypothetischen Oberflächenamplitude.

$z$	0	5	10	15	20	25	30	35	40 m
$\frac{T_A(z)}{T_{Ao}}$	1	0,84	0,74	0,65	0,57	0,50	0,44	0,39	0,35

Die zwischen 20 und 40 m gemessene örtliche Variation der Temperatur im Umfang von ca.  $0,5^\circ$  kann also nicht durch die Jahresschwingung erzeugt worden sein, hingegen kann sie grundsätzlich auf eine säkulare Schwingung der Oberflächentemperatur im Bereich von einem bis einigen Graden zurückgeführt werden.

Es ist also naheliegend, den leichten Temperaturfall ab 20 m als Kälterelikt einer säkularen Schwingung (oder auch einer aperiodischen Variation) zu deuten.

## 8. VERDUNSTUNGSMESSUNGEN AN DER STATION JARL-JOSET

M. DE QUERVAIN, unter Mitarbeit von A. RENAUD  
und R. SCHNEIDER

### 8.1. Sommercampagne 1959

#### 8.1.1. Einleitung

Für die Bestimmung der Massenbilanz ist der direkte Wasserdampfaustausch zwischen der Inlandeisoberfläche und der darüber liegenden Atmosphäre nicht von unmittelbarer Bedeutung, da die Zuwachswerte nicht aus laufenden Niederschlagsmessungen ermittelt werden, sondern aus dem bleibenden Abtrag, d.h. aus dem Wasserwert von identifizierten Jahresschichten. Gleichwohl dürfte es von atmosphärenphysikalischen Gesichtspunkten aus interessieren, welche Austauschmengen zu veranschlagen sind, indem diese Grössen in die Energiebilanz eingehen. Zudem ist noch ein anderes, rein nivologisches Moment zu berücksichtigen: Der oberflächliche Massenaustausch zeichnet sich in der strukturellen Entwicklung der obersten Schneeschicht ab. In den Alpen, wo die Umsätze verhältnismässig gross (wenn auch nicht hydrologisch unbedingt bedeutungsvoll) sind, führt die direkte Kondensation des Wasserdampfes auf der Schneeoberfläche zu den kristallographisch stabilen Oberflächenreifschichten, die in den Schneeprofilen als charakteristische Lockerhorizonte hervortreten. Bei den Verdunstungsmessungen in Grönland wurde daher auch dieser Erscheinung Aufmerksamkeit geschenkt.

Während des Aufenthaltes der Sommergruppe an der Station Jarl-Joset vom 24.6. bis 3.8.1959 bot sich die überraschend hohe Zahl von 27 für Verdunstungsmessung geeigneten Tagen.

Da gewöhnlich Schneetreiben – auch in Form des oft kaum wahrnehmbaren schleichenden Schneetriebes – und Niederschlag die Messungen verunmöglichen, war nur mit sporadischen Beobachtungen gerechnet worden.

Die Messungen der Sommercampagne wurden teils durch den Autor, teils durch A. RENAUD ausgeführt. Die verwendeten meteorologischen Daten hat der Meteorologe O. REINWARTH gemessen und zur Verfügung gestellt.



### 8.1.2. Messmethode

Die Messungen wurden nach der auf Weissfluhjoch angewandten bewährten Methode (M. DE QUERVAIN 1951) angesetzt. Als Probenträger dienten zylindrische Plexiglasgefässe von 14,4–14,9 cm Innendurchmesser und 7 cm Tiefe, mit flachem Boden. Die Wandstärke betrug 3 mm. Seitlich waren zwei kleine Plexiglasnocken angebracht, die der Herausnahme des Gefässes mittels einer speziellen Gabel dienten. Abb. 43. Plexiglas ist gegenüber Metallgefässen vorteilhaft wegen der verhält-

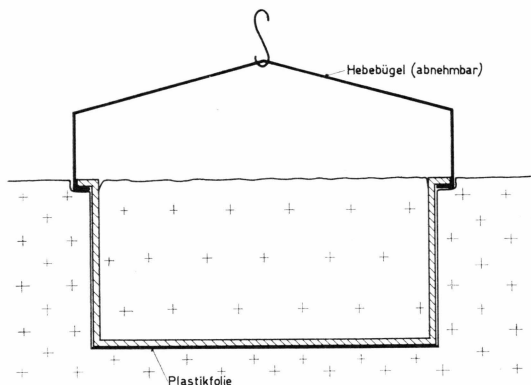


Abb. 43. Verdunstungsschale mit Hehebügel.

nismässig geringen Strahlungsabsorption. Es wären an sich noch günstigere Materialien wie Lupolen denkbar, doch genügte das Plexiglas den gestellten Anforderungen.

Die Schalen wurden mit einem aus der ungestörten Oberfläche herauspräparierten Schneekuchen gefüllt und abseits des Lagerverkehrs derart in den Schnee eingelassen, dass die Oberfläche der Probe genau bündig mit der natürlichen Oberfläche war (Photo 14). Um ein Bereifen des Schalenbodens von unten her zu vermeiden, erwies es sich als zweckmässig, unter der Schale noch eine dünne Plastikfolie anzubringen. Im Lauf einiger Tage bildete sich jeweils am zylindrischen Schalenrand ein Luftspalt und wenn er ca. 2 mm erreichte, wurden die Proben ersetzt.

Für eine Messerie wurden in der Regel 3 Schalen parallel ausgesetzt. Zur Bestimmung der Verdunstung diente eine Balkenwaage, die sich in einem Raum der alten Station Dumont befand. (Temperatur ca.  $-15^{\circ}\text{C}$ ). Bei einem Gesamtgewicht einer gefüllten Schale von ca. 500 g erfolgte die Wägung auf  $\pm 0,01$  g genau. Die Zeitintervalle zwischen den Wägungen betrugen 6 bis 15 Stunden, d.h. es wurde gewöhnlich morgens nach 8 Uhr, mittags nach 14 Uhr und abends um 20 Uhr je eine Messung vorgenommen. Die gemessenen Gewichts differenzen beliefen sich auf

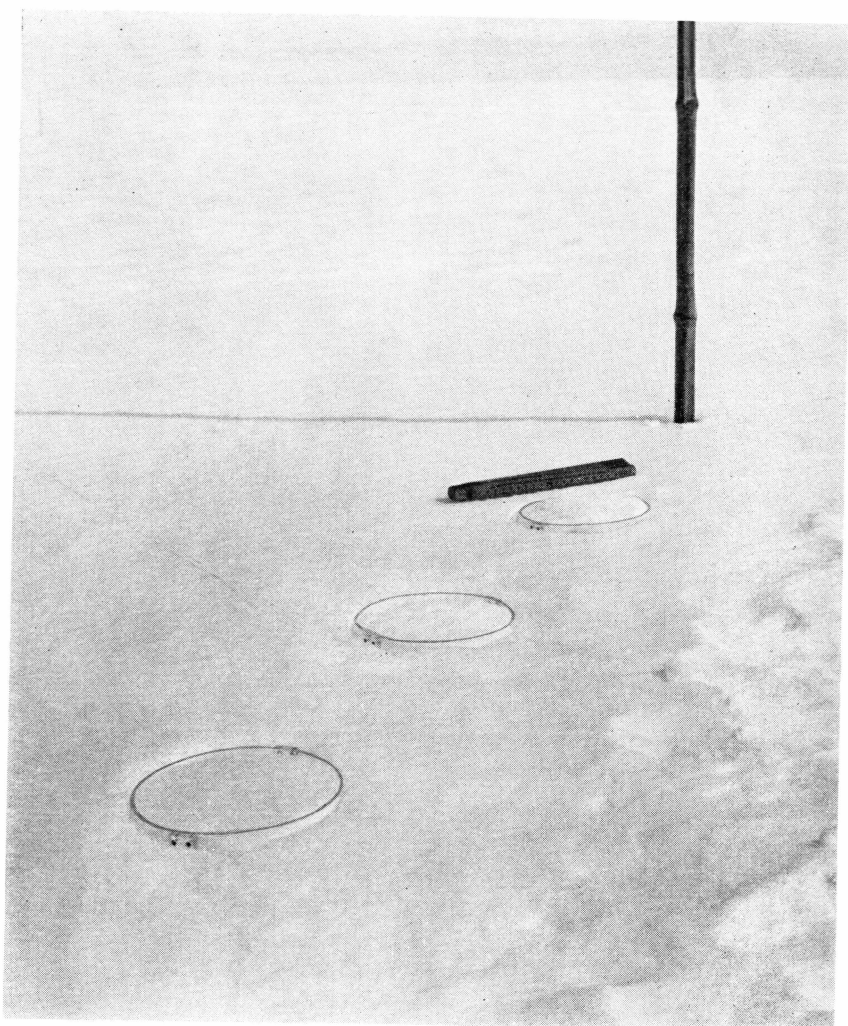


Photo 14. Verdunstungsschalen eingebaut (Jarl-Joset, Juli 1959).

0,1 bis 3 g. Sie wurden als *Verdunstungsbeträge*  $V$  (in  $\text{gm}^{-2}$ ) und als *Verdunstungsraten*  $\nu$  (in  $\text{gm}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) ausgedrückt. (Abtrag mit negativem und Zuwachs mit positivem Vorzeichen).

### 8.1.3. Fehlerabschätzung

Stundenwert der Verdunstung (oder Kondensation)

$$(1) \quad \nu = \frac{\Delta G}{\Delta t \cdot F} \quad \begin{array}{l} \nu \quad \text{Verdunstungs-oder Kondensationsrate } [\text{g cm}^{-2} \text{h}^{-1}] \\ \Delta G \quad \text{Gewichtsänderung der Probe } [\text{g}] \\ \Delta t \quad \text{Zeitintervall } [\text{h}] \\ F \quad \text{Schalenoberfläche } [\text{cm}^2] \end{array}$$

Geschätzte maximale Fehler bzw. Unbestimmtheit der Messgrößen

$$\delta(\Delta G) = \pm 0,03 \text{ g} \quad (\text{Haften von Schneekörnchen etc.})$$

$$\delta(\Delta t) = \pm 0,05 \text{ h} \quad (\text{Dauer der Wägung, Störung durch Transport})$$

$$\delta F = \pm 7 \text{ cm}^2 \quad (\text{Infolge Randablösung der Probe})$$

$$(2) \quad \left\{ \begin{aligned} |\delta \nu| &= \frac{\partial \nu}{\partial(\Delta G)} \cdot \delta(\Delta G) + \frac{\partial \nu}{\partial(\Delta t)} \cdot \delta(\Delta t) + \frac{\partial \nu}{\partial F} \cdot \delta F \\ &= \frac{1}{\Delta t \cdot F} \cdot \delta(\Delta G) + \frac{\Delta G}{F(\Delta t)^2} \cdot \delta(\Delta t) + \frac{\Delta G}{\Delta t F^2} \delta F \end{aligned} \right.$$

Gl. (2) kann auch ausgedrückt werden als

$$(3) \quad |\delta \nu| = \frac{1}{\Delta t F} \cdot \delta(\Delta G) + \nu \left( \frac{\delta(\Delta t)}{\Delta t} + \frac{\delta F}{F} \right)$$

Der erste Term ist vom Verdunstungsbetrag  $\nu$  unabhängig.  $F$  ist als konstant anzunehmen, und für das Zeitintervall  $\Delta t$  sind zwei Fälle zu unterscheiden: Tagesmessung ( $\Delta t_T \approx 6 \text{ h}$ ) und Nachtmessung ( $\Delta t_N \approx 12 \text{ h}$ ).

Mit den Werten

$$\Delta t_T = 6 \text{ h}, \quad \Delta t_N = 12 \text{ h}, \quad F = 174 \text{ cm}^2 = 174 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2$$

und den oben geschätzten Werten für die Messfehler wird bei Mittelung für 3 Proben (Mittlerer Fehler):

$$|\bar{\delta \nu}|_T = \frac{\sqrt{2}}{2} |\delta \nu|_T \approx 0,2 + \nu_T \cdot 0,036 \text{ gm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$$|\bar{\delta \nu}|_N = \frac{\sqrt{2}}{2} |\delta \nu|_N \approx 0,1 + \nu_N \cdot 0,033 \text{ gm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Für einen Tageswert von  $10 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$

bzw. einen Nachtwert von  $20 \text{ g m}^{-2} \text{ h}^{-1}$

würde die Messung also lauten:

$$\nu_T = 10 \pm 0,56 \text{ gm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

$$\nu_N = 20 \pm 0,76 \text{ gm}^{-2} \text{ h}^{-1}$$

Offenbar fällt der Fehler in der Oberfläche bei dem ca. 5% betragenden Gesamtfehler am meisten ins Gewicht. Bei den Messungen sind zwischen den einzelnen Schalen gelegentlich noch grössere Differenzen festzustellen. Sie sind – wie z.T. schon die veranschlagten – nicht als zufällige Messfehler zu werten, sondern beruhen vermutlich auf sicht-

baren Differenzierungen in der Oberflächenstruktur bei den einzelnen Schalen. Wenn sich an einer Stelle die Oberflächenkruste etwas ablöst, entsteht eine zusätzliche Rauigkeit, die andere Grenzschichtbedingungen schafft und für den turbulenten Austausch schon bedeutsam ist. Ein weiterer in das Messresultat eingehender systematischer Fehler kann in der Abweichung der Schneeoberflächentemperatur in der Schale von derjenigen im freien Feld liegen. Sie wäre einerseits eine Folge der Rückstrahlung bzw. Rückheizung des Gefäßes und anderseits der Unterbindung des Dampfaustausches mit der Unterlage durch den Gefäßboden. Einige Testmessungen haben keine messbare Differenz zwischen den gesamten Oberflächentemperaturen ergeben, sodass dieser Fehler als von untergeordneter Bedeutung betrachtet wird.

#### 8.1.4. Messungen der Sommercampagne 1959

In der *Tabelle 63* sind einerseits die gemessenen Massenaustauschbeträge, bezeichnet als „Verdunstung“, enthalten und anderseits meteorologische Beobachtungen, getätigt durch die Gruppe Meteorologie (O. REINWARTH). Die Schneeoberflächentemperaturen, die nur an gewissen Tagen gemessen wurden, entstammen den Untersuchungen über die Schneeoberflächengradienten und die oberflächliche Schneenumwandlung.

*Legende zu Tabelle 64 u. 68.* [Expeditionszeit = Mittlere Zeit der Beobachtung GMT – 3 h]. Die Serie der Wägungen nahm ca. 15 Minuten in Anspruch. Da die Wägungen der drei Proben immer in gleicher Reihenfolge vorgenommen wurden, bleiben sich die Zeitdifferenzen zwischen den Wägungen für alle Proben im Rahmen der erforderlichen Genauigkeit gleich. Eingetragen ist die Wägungszeit für die 2. Probe.

$V_{1-3}$  *Gemessene Verdunstungsbeträge* in  $\text{gm}^{-2}$  der Proben 1–3

$V$  : Verdunstung, ev. Erosion

+  $V$  : Kondensation, ev. Niederschlag

$v_{1-3}$  *Gemessene Verdunstungsraten* in  $\text{gm}^{-2}\text{h}^{-1}$  ( $= V/\Delta t$ ) (Vorzeichen wie bei  $V_{1-3}$ )

$\bar{v}$  *Gemessene mittlere Verdunstungsrate* in  $\text{gm}^{-2} \cdot \text{h}^{-1}$ . Bei Vorliegen einer sichtbaren Abnormität bei einer Probe, wurde deren Resultat bei der Mittelbildung eliminiert.

$T_s$  *Schneeoberflächentemperatur* in  $^{\circ}\text{C}$  (negativ). Gemessen mittels Hg-Thermometern oder Widerstandselementen innerhalb ca. 20 Min. des Termins für die Verdunstungsmessung. In der Regel extrapoliert aus Messungen in 0,5 bis 1 cm Tiefe.

- $T_L$  *Mittlere Lufttemperatur* in 2 m Höhe, bestimmt aus den registrierten Stundenwerten, die in die Messperiode fielen oder daran angrenzten (alle Werte sind *negativ*, wenn nicht anders vermerkt).
- $f$  *Rel. Feuchte* (Terminwerte 0900, 1500, 2100 Expeditionszeit) mit Schleuderpsychrometer.
- $\bar{f}$  *Mittlere rel. Feuchtigkeit* in 2 m Höhe, bestimmt aus registrierten Stundenwerten für die Messperiode. (Instrument Fuess).
- $\bar{u}$  *Mittlere Windgeschwindigkeit* ( $\text{m s}^{-1}$ ) gemessen in 2 m Höhe
- |   |   |     |
|---|---|-----|
| 1. Zahl: Halbtagesmittel 0000–1200 <sup>h</sup> | } | GMT |
| 2. Zahl: - 1200–2400 <sup>h</sup>               |   |     |
- $N$  Bewölkungsmenge (in/8)
- $NS$  Sonne und Niederschlag

*Bem.:* Angaben über mm Schneefall entsprechen Neuschneehöhen nicht Wasserwerthöhen.

### Zusammenfassung der Messungen

#### *Verdunstungsbeträge*

Die Messungen der gemittelten Verdunstungsbeträge (in mm  $\text{H}_2\text{O}$ ) sind in den Abb. 44 a bis e dargestellt. Es ist zu beachten, dass positive Werte in der Mehrheit der Fälle mit spurenweisem Schneefall gekoppelt sind. Diese Spuren werden in Tabelle 66 separat abgeschätzt. Es handelte sich durchwegs um feine Lagen nahezu ideal ausgebildeter Schneesterne (siehe Photo 15 S. 210) von einer Dichte um  $0,02 \text{ g/cm}^3$ . Trotz dieser Störungen ist eine grosse Regelmässigkeit in den Verdunstungsbeträgen feststellbar.

Tabelle 64. (siehe Legende S. 188). Verdunstungsmessungen EGIG Jarl-Joset Juni/Juli

Datum Zeit t	Verdunstungsbetrag gm <sup>-2</sup>			Verdunstungsrate gm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>				Temperatur °C		rel. Feuchte %		Wind ms <sup>-1</sup>	Wolken /8 Art	Sonne	Bemerkungen
	V <sub>1</sub> 1	V <sub>2</sub> 2	V <sub>3</sub> 3	v <sub>1</sub> 4	v <sub>2</sub> 5	v <sub>3</sub> 6	$\bar{v}$ 7	T <sub>s</sub> 8	T <sub>L</sub> 9	f 10	$\bar{f}$ 11	$\bar{u}$ 12	N 13 14	NS 15	16
<b>29.6.59</b>															Anfangszustand der Proben: Nr.1: Oberfl. glatt + Reif Nr. 2: Oberfl. bombiert mit natürl. Kruste Nr. 3: Oberfl. glatt gestrichen
1228....	69,0	101,7	57,0	25,1	41,8	27,4	31,4								
1454....	+ 0,6	2,3	29,9	+ 0,3	1,0	11,4	4,0								
1718....	-	32,2	3,5	-	6,5	0,8	3,7								
2209....															
<b>30.6.59</b>															
1012....	62,0	90,0	27,0	4,8	7,4	2,2	4,8								
1908....	115,0	147,2	148,1	12,9	16,5	16,5	15,3								
<b>1.7.59</b>	+ 3,4	64,9 <sup>1)</sup>	+ 34,4	+ 0,3	4,9 <sup>1)</sup>	+ 2,6	0,7								1) Probe 2: Kruste von Wind unter- schnitten u. teilw. aufgelöst.
0824....	206,2	347,0 <sup>1)</sup>	202,0	32,7	(55,4) <sup>1)</sup>	31,9	32,3	12	7,0	76		6	5 Ci	○	
1435....	16,1	70,6 <sup>1)</sup>	10,4	2,1	(9,4) <sup>1)</sup>	1,4	1,7		10,0	71		6	7 As, Ci	○	
2216....								16		-			2 As, Ci		
<b>2.7.59</b>	+ 45,5	+ 31,0	+ 52,8	+ 4,5	+ 3,1	+ 5,4	+ 4,3		15,8						
0817....	134,6	135,0	141,8	21,6	22,0	23,4	22,4		7,7	87 80		5	7 As, Ci	○	
1430....	15,5	33,3	17,3	2,5	5,4	2,8	3,6	7	9,6	80		4,5	7 As	○	
2043....										82			7 Sc, Ac lent	-	

<b>3.7.59</b>	30,4	58,0	21,2	2,6	4,9	1,8	3,1		12,1							
0828....										84		5	6 Ac Ci	○		
1425....	147,2	154,6	147,1	25,4	26,0	24,8	25,4		8,0			3,4	Sc lent.	○		
1954....	16,7	30,0	14,9	3,0	5,5	2,7	3,7		6,6			—	6 Sc lent. Ci	○		
<b>9.7.59</b>										86			7 St. Sc	*	Sterne	
1524....										79			3 As Ci	○		
1908....	1,1	14,9	10,45	0,3	0,4	2,9	2,4		9,8		85	2,0	6 As 1. Ci	—		
<b>10.7.59</b>																
0835....	+ 5,2	25,3	+ 7,5	+ 0,4	1,9	+ 0,6	0,3		14,4		88					
1515....	159,1	184,0	149,5	23,8	27,2	22,3	24,4		10,2		76	6,3	8 So	Sp. *		
2130....	21,8	32,2	63,2	3,5	5,2	10,1	6,3		12,0		79	5,0	7 Sc	—		
<b>11.7.59</b>										83				○		
0820....	13,2	5,2	+ 21,2	+ 1,2	0,5	+ 2,0	+ 0,9				85					
1527....	166,2	96,0 <sup>1)</sup>	163,5	23,3	13,5	23,2	20,0		10,4		82	4,3	1 Sc lent	○	etw. "Wander-	
1927....	+ 5,7	2,9	13,2	+ 1,4	0,7	3,2	0,8		10,5		78		—	—	schnee" Meng.	
<b>12.7.59</b>											79	4,8	—	—	nicht zuverl.	
0834....	+ 4,0	12,1	+ 6,9	+ 0,3	0,9	+ 0,5	± 0		14,0		87					
1422....	137,0	135,0	135,0	23,6	22,8	22,9	23,1	2,5	3,8		76	4,2	3 As Ac Ci	○		
1858....	38,0	58,5	51,7	8,2	12,9	10,8	10,6	1,8	2,9		77		4 Sc	—		
<b>13.7.59</b>								4,8			83	4,6	—	—		
0832....	+ 32,2	+ 23,0	+ 33,3	+ 2,4	+ 1,7	+ 2,5	+ 2,2		8,7		94					
1412....	155,1	161,0	152,2	27,4	27,8	26,4	27,2	5,2	3,2		81	4,2	7 Ac lent		Halo	
2122....	+ 89,0	+ 17,0	+ 61,5	+ 12,4	+ 16,6	+ 8,6	+ 12,5	0,5	3,4		79		Cs	*	ab ca. 1500h	
								5,7			84	3,8	7 As		schöne Sterne	
													8 Sc			

(Fortsetzung)

Tabelle 64 (fortgesetzt)

Datum Zeit $\bar{t}$	Verdunstungsbetrag $\text{gm}^{-2}$			Verdunstungsrate $\text{gm}^{-2} \text{h}^{-1}$				Temperatur $^{\circ}\text{C}$		rel. Feuchte $\%$		Wind $\text{ms}^{-1}$	Wolken /8 Art		Sonne	Bemerkungen
	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$\bar{v}$	$T_s$	$T_L$	$f$	$\bar{f}$	$\bar{u}$	N		NS	16
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	
<b>14.7.59</b>																
0829....	+ 424,0	+ 486,0	+ 420,0	+ 38,2	+ 43,6	+ 37,9	+ 40,0 <sup>2)</sup>	2,2	7,5	87	92	1,1	8 St.		*	2) Zuwachs inkl. NS "white out"
1440....	97,1	79,4	97,1	15,7	12,9	15,6	14,8	1,7	6,0	82	82		8 St.		—	
1900....	42,5	24,1	42,0	9,8	5,6	9,8	8,4	4,8	4,9	89	85	3,4	8 St. Sc		—	
<b>15.7.59</b>																
0843....	+ 94,3	+ 103,5	+ 95,4	+ 6,9	+ 7,5	+ 7,1	+ 7,2 <sup>3)</sup>	3,3	6,7	82	90	2,1	8 St Sc		*°	3) Zuwachs 2-3 mm
1405....	77,0	50,0	65,5	14,3	9,2	11,6	11,7		6,8	82	82		1 Sc Ac Cs		—	
1902....	41,4	36,8	52,3	8,4	7,4	10,5	8,8	9,8 <sup>4)</sup>	8,4	89	83	4,1	7 Se		—	4) um 2300 h
<b>16.7.59</b>																
0839....	425,0	588,0	296,0	31,2	43,7	22,1	32,3	6,0	9,7	79	84	4,6	7 Sc		↓→	Einz. Sterne Erosion !
1457....	(31,0)	(43,2)	(489)	(7,7)	(6,7)	(76,7)	—	4,4	8,4	78	79		8 St.		*°	
1858....	31,0	30,5	65,0	7,7	7,7	15,8	10,4		8,8		80	4,8	8 St		*°	neue Basismes- sung, schöne Sterne
<b>17.7.59</b>																
0835....	+ 67,3	+ 63,8	+ 62,1	+ 4,9	+ 4,7	+ 4,6	+ 4,7 <sup>5)</sup>	7,1	10,3	84	81	2,7	6 Sc		—	5) 3-4 mm Neu
1426....	89,6	81,0	92,0	15,3	13,9	15,9	15,0	4,8	9,8	80	83		5 Ci		—	
2035....	9,8	19,0	28,7	1,6	3,1	4,6	3,1	18,0	11,6	77	80	3,2	2 Sc		*°	Einz. Sterne (Foto 15)



<b>18.7.59</b>															
0832....	+ 17,8	+13,8 <sup>1)</sup>	+ 15,5	+ 1,5	+ 1,2	+ 1,3	+ 1,3	6,3 <sup>9)</sup>	16,5	80	83	4,6	1 Sc, Acl.	—	9 <sup>1)</sup> 1030 h
1357....	143,6	137,5	153,0	26,5	25,6	28,2	26,8	8,8 <sup>7)</sup>	10,0	77	79	6,9	1 Ac, As	—	7 <sup>1)</sup> 1645 h
2242....	43,1	55,1	65,5	4,9	6,4	7,5	6,3	16,0 <sup>8)</sup>	11,7	81	79		6 Ac, Ci	—	Oberfl. Um- wandlung 8 <sup>1)</sup> 2325 h
<b>19.7.59</b>															
0845....	+ 8,0	+ 5,2	+ 4,0	+ 0,8	+ 0,5	+ 0,4	+ 0,6		15,7	74	81	6,4	1 Sc	○	
1424....	130,0	122,4	141,5	24,4	21,9	24,9	23,7	4,7	9,8	73	80		1 Sc	○	
1905....	+ 26,4	+ 9,2	+ 24,1	+ 5,6	+ 2,0	+ 5,1	+ 4,2	12,5	9,7	77	80	3,6	1 Ci	○	17 h Schw. Schauer *
<b>20.7.59</b>															
0903....	+ 1,7	8,6	2,9	+ 0,1	0,6	0,2	0,2	3,3 <sup>9)</sup>	12,4	89	86	5,7	8 St.	°*	9 <sup>1)</sup> 1040 h
1534....	102,8	110,2	111,5	15,8	17,0	14,9	15,9	3,3 <sup>10)</sup>	8,3	80	88	2,7	8 St.	—	10 <sup>1)</sup> 1630 h
<b>21.7.59</b>															
0045....	2,3	11,5	17,2	0,25	1,2	1,9	1,1	18,7	13,3	83		3,3			
0843....	+ 43,1	+ 53,5	+ 49,4	+ 5,4	+ 6,7	+ 6,2	+ 6,1	4,5	13,2	76	87 92		6 As, Ac	°*	
1418....	87,3	96,5	96,5	15,7	17,3	17,2	16,7	3,1	6,7	70	82	2,4	2 Ci	○	
2228....	09,8	19,0	26,4	1,2	2,3	3,2	2,2	13,0	9,3	91	83		6 As	—	
<b>22.7.59</b>															
0911....	+ 18,4	+ 16,7	+ 19,0	+ 1,7	+ 1,6	+ 1,8	+ 1,7		11,1	90	93	4,4	2 Ac	—	
1508....	112,6	109,2	115,7	18,9	18,4	19,6	19,0		7,8	82	93		4 Ac As	○	
2035....	6,3	9,2	22,4	1,2	1,7	3,5	2,1		8,3	86	90	4,0	6 As Ac	○	

(Fortsetzung)

Tabelle 64 (fortgesetzt)

Datum Zeit $\bar{t}$	Verdunstungsbetrag $\text{gm}^{-2}$			Verdunstungsrate $\text{gm}^{-2} \text{h}^{-1}$				Temperatur $^{\circ}\text{C}$		rel. Feuchte $\%$		Wind $\text{ms}^{-1}$	Wolken /8 Art	Sonne	Bemerkungen
	$V_1$	$V_2$	$V_3$	$v_1$	$v_2$	$v_3$	$\bar{v}$	$T_s$	$T_L$	f	$\bar{f}$	$\bar{u}$	N	NS	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13 14	15	16
<b>23.7.59</b>										84		3,8	2 As Ac	☉	Morgenmessung ausgefallen
1510....	109,8	111,5	121,9	5,9	6,0	6,5	6,1			80	86		7 Ac	—	
1900....	29,9	32,8	35,6	7,8	8,8	9,0	8,5		6,6		85	3,8	7 Sc	—	
<b>24.7.59</b>	+ 4,0	0,6	1,7	+ 0,3	$\pm 0$	0,1	+ 0,1		10,5		88		— —	—	
0830....										79		2,7		—	
1400....	171,9	177,2	181,8	31,2	32,2	33,1	31,7		4,7		78		7 Sc	—	
1900....	97,0	94,8	88,5	19,4	19,0	17,7	18,7		4,8		81	3,8	7 Sc	—	
<b>25.7.59</b>															
0830....	37,4	50,0	52,1	2,8	3,7	3,9	3,5		7,1		90		7 Ac	—	
1430....	142,0	148,2	145,7	23,6	24,7	24,3	24,2		3,0		78		— —	—	
1900....	11,5	6,9	21,3	2,6	1,5	4,7	2,9		3,7		77	1,8	7 Sc	—	
<b>25.7.59</b>															neue Schalen IV, V, VI ange- setzt
1500....										69					
1915....	(26,9)	(12,3)	(11,7)	6,3	2,9	2,7	4,0		3,7		77	1,8	7 Sc St.		
<b>26.7.59</b>															um 16 h
0830...	30,8	28,2	30,1	2,3	2,1	2,3	2,2		7,4		93		7 Ac As	—	
1415.....	164,0	151,0	160,8	28,5	24,3	28,0	27,6		6,8		87		8 As	—	
1915....	29,1	49,1	37,4	5,8	9,8	7,5	7,7		6,9		82	5,8	7 Ac As	*°	
										83				—	

<b>27.7.59</b>															
0830....	47,1	38,7	41,7	3,6	2,9	3,2	3,2		8,7		88				
1415....	192,0	198,8	202,0	33,4	34,6	35,1	34,4		3,9	81	87	6,9	2 As Ci	○	
1900....	114,0	95,6	99,4	24,0	20,2	20,9	21,6		+ 0,2	82	90	8,2	- -	○	
										87			1 Sc	○	
<b>28.7.59</b>															
0830....	+100,5	+108,5	+103,0	+ 7,4	+ 8,0	+ 7,6	+ 7,7		4,0		97				
1415....	104,6	109,2	108,5	18,2	19,0	18,9	18,7		+ 0,5	78	92		7 Sc	-	
1915....	65,7	47,3	64,4	13,1	9,5	12,9	11,8		0,1	80	88	3,9	3 Ci Cs	○	
										86			2 Sc	○	
<b>29.7.59</b>															
0845....	89,0	30,6	46,6	6,6	2,3	3,5	4,1		6,9		90				
1345....	207,0	224,0	209,5	41,4	44,7	41,9	42,7		5,1	87	86	4,0	- -	○	
1900....	81,4	105,0	77,9	15,5	20,0	14,8	16,8		5,0	82	83	3,3	- -	-	
										82			6 Ci	○	Luftspalt 10mm
<b>30.7.59</b>	Messungen der Nacht fehlen: starke Reifbildung!														
1133....										73		1,8	8 St. Sc	*°	Um 0130 neue Schalen ange-setzt
1430....	86,2	80,4	87,0	29,2	27,2	28,7	28,4		3,6	78	85		7 Sc, Ci	-	
1917....	44,8	35,6	38,1	9,4	7,5	8,0	8,3		6,4	72	87	2,5	1 As, Cs	○	
<b>31.7.59</b>															
0830....	+ 44,8	+ 37,4	+ 47,3	+ 3,4	+ 2,8	+ 3,6	+ 3,3		13,8		93				
1430....	116,8	103,0	89,0	19,5	17,2	14,8	17,2		8,1	88	88	2,4	7 Sc	*°	Messungen eingestellt
										88		5,4	8 St Sc	*'	

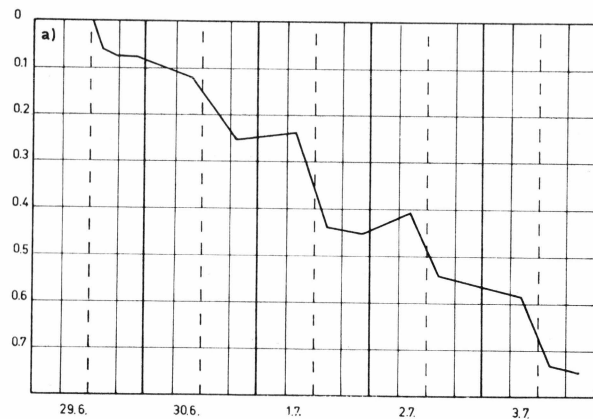


Abb. 44 a

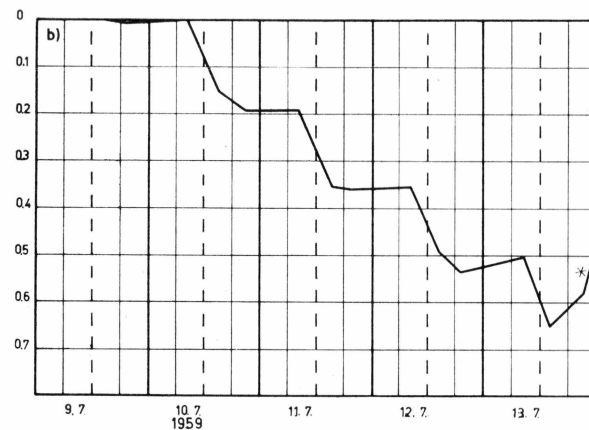


Abb. 44 b

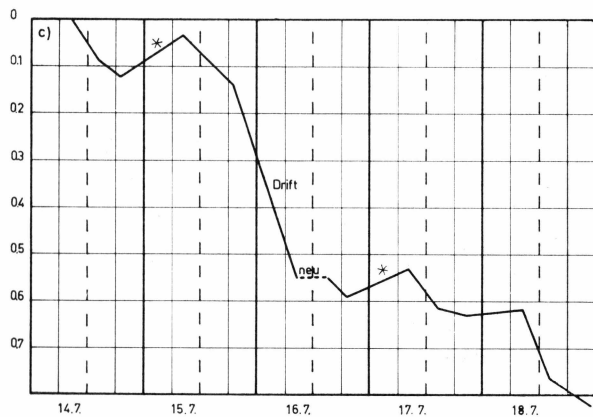


Abb. 44 c

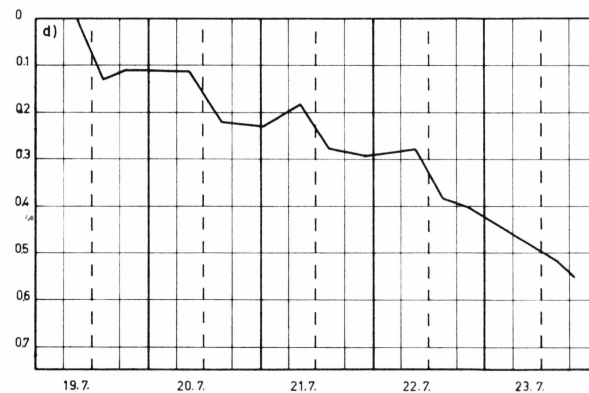


Abb. 44 d

Abb. 44 a-e. Verlauf der Oberflächenverdunstung. Juni/Juli 1959 Station Jarl-Joset (Proben 1-3). Abszisse: Datum, Ordinate: Massenaustausch in mm  $H_2O$ . (Ordinatenmasstab willkürlich).

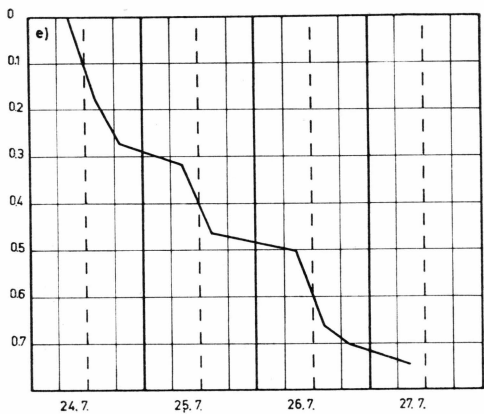


Abb. 44e

Tabelle 65. Zusammenfassung der Verdunstungsbeträge, Station Jarl-Josel, Juli/August 1959 getrennt nach Verdunstung (– V) und Zuwachs (+ V)  
Werte in  $\text{gm}^{-2} = 10^{-3} \text{ mm}$ .

Periode	Probe	– V	+ V	Bilanz
29.6.– 3.7.	1	812,7	+ 49,5	– 763,2
	2	Oberfläche gestört		
	3	820,2	+ 87,2	– 733,0
	1–3	– 1632,9	+ 136,7	– 1496,2
	Mittel 1,3	– 816,4	+ 68,3	– 748,1
4. 7.– 8.7.	Unterbrochen wegen Wind und Niederschlag			
9.7.–15.7.	1	1374	654,4	– 720,1
	2	1505,4	729,5	– 775,9
	3	1291,6	645,8	– 645,8
	1–3	– 4171,5	+ 2029,7	– 2141,8
	Mittel	– 1390,5	+ 676,6	– 713,9
16.7.–22.7.	1	768,2	182,7	585,5
	2	809,7	162,2	647,5
	3	938,3	174,1	764,2
	1–3	2516,2	+ 519,0	– 1997,2
	Mittel	– 838,2	+ 173,0	– 665,7
23.7.–31.7.	1	1844,2	149,3	1694,9
	2	1918,5	145,9	1772,6
	3	1941,0	150,3	1790,7
	1–3	– 5703,7	+ 445,5	– 5258,2
	Mittel	– 1901,2	+ 148,5	– 1752,7
ganze Periode	Mittel	– 4946,8	+ 1066,4	– 3880,4

In der ganzen Periode lautet die Bilanz nach Tabelle 65

Substanzverlust:	− 4,95 mm H <sub>2</sub> O
Substanzgewinn:	+ 1,07 mm H <sub>2</sub> O
Bilanz	− 3,88 mm H <sub>2</sub> O

Zur Gewinnung des wahren Dampfaustausches sind noch die in Tabelle 66 angeführten Korrekturen für Niederschlag und Erosion anzubringen.

Tabelle 66. *Geschätzte Niederschlags- und Erosionswerte*

Datum	Art	Menge (mmH <sub>2</sub> O)
29.6. ....	Schnee	0,05
4.–8.7. ....	Schnee	1,5 <sup>1)</sup>
10.7. ....	Schnee (Sterne)	0,05
11.7. ....	Schnee (Sterne)	0,05
13.7. ....	Schnee (Sterne)	0,05
14.7. ....	Schnee	0,1
15.7. ....	Schnee	0,2
	Erosion	− 0,4
16.7. ....	Schnee	0,1
17.7. ....	Schnee	0,05
19.7. ....	Schnee	0,05
20.7. ....	Schnee	0,05
21.7. ....	Graupel	0,05
26.7. ....	Schnee	0,05

<sup>1)</sup> nicht enthalten in Zahlen der Tabelle 65.

Die Korrekturen betragen also:

In Verdunstung mitgemessener Niederschlag:	0,85 mm H <sub>2</sub> O
- nichtgemessener Niederschlag:	1,5 mm H <sub>2</sub> O
- mitgemessener Abtrag (Erosion)	0,4 mm H <sub>2</sub> O

Damit folgt

für *Dampfbilanz*:

Verlust (Verdunstung) − (4,95 − 0,4) =	− 4,55 mm H <sub>2</sub> O
Gewinn (Kondensation) + (1,07 − 0,85)	+ 0,22 mm H <sub>2</sub> O
Bilanz	− 4,33 mm H <sub>2</sub> O

für *Schneebilanz*:

Gewinn (Schneefall)	+ 2,35 mm H <sub>2</sub> O
Verlust (Erosion)	− 0,4 mm H <sub>2</sub> O
Bilanz	+ 1,95 mm H <sub>2</sub> O

Totale Stoffbilanz 29.6.–31.7.1959:

Dampfbilanz (eff. Verdunstung)	− 4,33 mm H <sub>2</sub> O
Schneebilanz (Schneezuwachs)	+ 1,95 mm H <sub>2</sub> O
	<u>− 2,38 mm H<sub>2</sub>O</u>

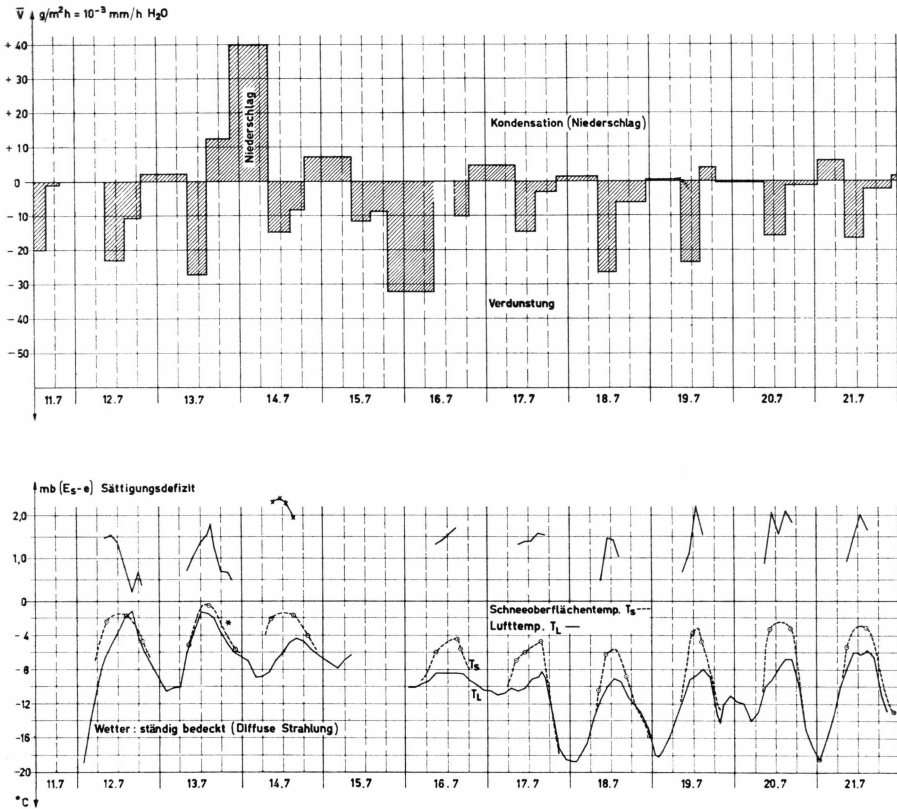


Abb. 45. Gemessene mittlere Stundenwerte der Verdunstung. Station Jarl-Joset. Juli 1959.  $v$  Verdunstungsrate. Untere Hälfte: Luft- und Schneeoberflächentemperatur und Sättigungsdefizit.

Der Monatsverlust von  $-2,4 \text{ mm}$  Wasserwert ist in der Gesamtwasserbilanz des Inlandeises praktisch bedeutungslos; immerhin erwies sich im betrachteten Monat der Verlust grösser als der Niederschlagsgewinn. Auffallend ist, dass verhältnismässig wenig Kondensation stattfindet. Der in den Alpen häufig beobachtete strahlungsbedingte negative Temperatursprung an der Oberfläche (oft mehrere Grad betragend) war in Grönland viel weniger ausgeprägt.

#### Verdunstungsraten

Die Verdunstungsraten interessieren vor allem im Hinblick auf eine rechnerische Erfassung der Austauschbeträge und der Energiebilanzen. In der Abb. 45 sind die Raten für zwei Perioden, in denen auch Schneeoberflächentemperaturen bestimmt wurden, aufgezeichnet. Bemerkenswert ist der starke Tagesgang des Austausches trotz ständiger Besonnung. (Sonnenuntergang erst wieder ab Anfang August).

### 8.1.5. Rechnerische Behandlung des Austausches

Ausgehend von der Gleichung für den vertikalen turbulenten Dampftransport

$$(5) \quad \rho = A_z \frac{\partial q}{\partial z} \quad \rho \text{ vertikaler Dampftransport (g cm}^{-2} \text{ s}^{-1})$$

$q$  spez. Feuchte  
 $A_z$  Austauschcoeff. (g cm<sup>-1</sup>s<sup>-1</sup>)

und unter Benützung der Beziehung

$$(6) \quad A_z = \eta' = \rho l^2 \frac{\partial \bar{u}}{\partial z} = \rho l u^*$$

$\eta'$  turbulente Viskosität  
 $\rho$  Luftdichte  
 $l$  Prandtl'scher Mischungsweg  
 $\bar{u}$  mittlere Windgeschwindigkeit  
 $u^*$  Schubspannungsgeschwindigkeit,

ferner bei Verwendung des Ansatzes für den Mischungsweg (nach ROSSBY und MONTGOMERY)

$$(7) \quad l = k (z_0 + z) \quad k \text{ v. Karmansche Konst.} = 0,38$$

$z_0$  Rauigkeitsparameter,

sowie unter Annahme eines logarithmischen Geschwindigkeitsprofils, resultiert eine Verdunstungsformel

$$(8) \quad \rho = \frac{E_s - e}{A_w \cdot T} \cdot \left[ \frac{k^2 \bar{u}_a}{\ln \frac{z_a + z_0}{z_0} \cdot \ln \frac{z_e + z_0}{z_e}} \right]$$

wobei  $E_s$  Sättigungsdampfdruck über Eis bei der Temperatur der Schneeoberfläche

$e$  Dampfdruck der Luft

$A_w$  Gaskonstante für Wasserdampf (4,615.10<sup>6</sup> erg. g<sup>-1</sup> grad<sup>-1</sup>)

$T$  abs. Temperatur (Mittelwert zwischen Schneeoberflächen- und Lufttemperatur)

$\bar{u}_a$  Mittl. Windgeschwindigkeit in der Höhe  $z_a$  über Boden

$z_a$  Höhe des Anemometers über Boden (200 cm)

$z_e$  Höhe des Psychrometers über Boden (150–200 cm)

$k, z_0$  siehe Formel (7)





Von wesentlicher Bedeutung ist der anzusetzende Rauigkeitsparameter  $z_0$ . Im allgemeinen wird für Schneeflächen ein Wert von 0,2 bis 0,5 empfohlen. [Siehe z.B. S. L. HESS introduction to theoretical Meteorology 1959] Wir haben  $z_0 = 0,1$  gesetzt. Unter Benutzung der angegebenen Zahlen und der nachstehend erwähnten Einheiten wird Gl. (8).

$$(9) \quad \rho = \frac{(E_s - e)}{T} [2,0 \cdot 10^3 \cdot \bar{u}_a] \quad \text{gm}^{-2}\text{h}^{-1}$$

mit  $E_s, e$  in mb  
 $\bar{u}_a$  in  $\text{ms}^{-1}$

(Die Werte sind, um den Tabellen und Figuren zu entsprechen, mit den negativen Vorzeichen zu versehen).

Die verfügbaren Messdaten lassen von vornherein nur für ausgesuchte Perioden annehmbare Werte erwarten. In der Tabelle 66 sind einige Berechnungen angestellt und zwar für eine Anzahl von Mittagswerten (allg. von ca. 0830 bis 1430). Für diese Zeitabschnitte liegen einige Messungen der Schneeoberflächentemperaturen vor. Sie sind in Anlehnung an die Stundenwerte der Lufttemperaturen (siehe Abb. 45) für die betreffende Zeitspanne extrapoliert worden. Das Berechnungsverfahren bestand in folgenden Schritten:

- Bestimmung der Dampfdruckwerte  $e$  der Luft für 2-Stundenintervalle (aus den Temperatur- und Feuchteregistrierungen der Meteo-Gruppe).
- Bestimmung des Sättigungsdruckes  $E_s$  an der Schneeoberfläche für die gleichen Termine wie  $e$ .
- Bildung der Sättigungsdefizite  $E_s - e$  für die gewählten Termine (Siehe Abb. 45) und der Mittelwerte über die Berechnungsperiode
- Bestimmung der Windgeschwindigkeit aus den Terminmessungen und den Halbtagesmitteln.

### 8.1.6. Diskussion

Die berechneten Werte stimmen schlecht mit den gemessenen überein. Sie sind fast durchwegs zu hoch, und zwar im Mittel um einen Faktor 1,8. Es können hierfür verschiedene Gründe ins Feld geführt werden. Zunächst sei festgehalten, dass auf alle Fälle die *Messungen* des Massenaustausches zuverlässiger erscheinen als die Berechnungen, nicht zuletzt weil die wesentlichen systematischen Fehlerquellen (Aufheizung der Schalen, Spalteffekte, induzierte Turbulenz) im Sinn einer erhöhten Verdunstung wirken würden. Hingegen sind die in die Berechnung eingehenden meteorologischen Daten für diese Art der Verwendung offensichtlich zu wenig genau.

Den *Feuchtemessungen* haftet (nach Angaben von O. REINWARTH) eine Unsicherheit von  $\pm 5\%$  (rel. Feuchte) an, wobei dieser Fehler allerdings nicht statistisch streuen wird. Um bessere rechnerische Resultate zu liefern, müssten die Feuchtwerte fast durchwegs *höher* veranschlagt werden. Die *Lufttemperaturen* dürften genügend genau verfügbar sein. Den *Schneeoberflächentemperaturen* gegenüber sind hingegen einige Bedenken am Platz. Abgesehen davon, dass zu wenig Messwerte vorliegen, hält es bekanntlich schwer, die wahre Oberflächentemperatur zu ermitteln. Wir haben aus Temperaturprofilen im Schnee, die bis 0,3 cm an die Oberfläche reichten (teils Thermoelement-, teils Quecksilberthermometermessungen) auf die Oberflächentemperaturen geschlossen. Ein gelegentlich angewandtes Verfahren bestand darin, ein abgeschattetes Thermometer durch die frische Oberfläche zu ziehen, sodass immer gerade sonnenexponierter Schnee mit dem Instrument in Berührung stand. Um bessere Resultate zu erzielen, müssten *tiefer* Oberflächentemperaturen eingesetzt werden. Bei den besonders sorgfältigen Messungen vom 17.7., die innerhalb von ca.  $\pm 0,4^\circ$  reproduzierbare Schneetemperaturen ergeben, wäre eine Korrektur von ca.  $-2,5^\circ$  anzubringen, um die Rechnung zu befriedigen, was uns doch wieder reichlich erscheint, besonders über die Mittagsstunde bei fast ausgeglichener Strahlungsbilanz.

Die verfügbaren Windwerte sind ziemlich grob (eine Ueberprüfung der Stundenwerte kann noch Korrekturen bringen), doch werden sie nicht 50 % daneben liegen. Ein Fragezeichen fällt schliesslich auf die Theorie, die gewisse Voraussetzungen hinsichtlich des Windprofils stellt. Der gewählte Rauigkeitsparameter von  $z_0 = 0,1$  ist schon niedrig gegenüber den Zahlen, die sonst für Schnee angegeben werden (0,2 bis 0,5). Nach O. G. SUTTON wären allerdings für glatte Flächen auch noch kleinere Zahlen denkbar. Für „ebenes Land (Indien)“ wird  $z_0 = 3 \cdot 10^{-2}$  genannt. Diese Annahme würde alle berechneten Werte um den Faktor 1,3 reduzieren. Diese in einem einzigen und vermutlich aussergewöhnlichen Sommermonat getätigten Beobachtungen lassen sich nur mit Vorsicht auf den Gesamthaushalt von Grönland anwenden. Zunächst sei festgestellt, dass die mittlere Tagesbilanz des behandelten Monats (Juli 1959) von 0,13 mm  $H_2O$  Verdunstung von ähnlicher Grössenordnung ist wie die Januarverdunstung in den Alpen (ca. 0,2 mm/Tag) entsprechend den ähnlichen Klimabedingungen. Im Frühling werden die alpinen Verdunstungsbeträge mit ca. 0,8 mm/Tag erheblich höher. Als vorläufige Jahresschätzung für das Gebiet der Station Jarl-Joset erscheint eine Grössenordnung von ca. 10 mm/Jahr Verdunstung annehmbar.

An der Durchführung der Messungen hat sich in verdankenswerter Weise A. RENAUD beteiligt.

## 8.2. Ueberwinterung 1959/60

(Messungen ausgeführt von R. SCHNEIDER)

### 8.2.1. Vorbemerkung

Die Verdunstungsmessungen wurden durch die Ueberwinterungsgruppe nach Erscheinen des Tageslichtes wieder aufgenommen. Der Frühling 1960 brachte nur wenige zusammenhängende Perioden ohne störendes Schneetreiben. Daher sind nur wenige und verhältnismässig kurze Messreihen verfügbar.

Messmethode und Fehlerabschätzung entsprechen der in den Abschnitten 8.1.2. und 8.1.3 gegebenen Beschreibung.

### 8.2.2. Resultate des Frühlings 1960

Tabelle 68 zeigt analog Tabelle 64 in den Kolonnen 1–3 die effektiven Massenaustauschbeträge (Verdunstung negativ bzw. Kondensation positiv) der drei Proben in  $\text{g/m}^2$  für die angegebenen Zeitintervalle. Die Austauschbeträge sind eingerahmt von den effektiven Messzeiten.

Kolonnen 4–6 enthalten die stündlichen Verdunstungsraten ( $\text{gm}^{-2} \text{h}^{-1}$ ) für die einzelnen Proben und Kol. 7 den Mittelwert.

### 8.2.3. Diskussion

Leider sind die meteorologischen Daten für die Beobachtungsperiode noch nicht verfügbar, somit ist ein Vergleich der gemessenen Werte mit berechneten nicht möglich.

Ein grober Vergleich der Frühlingsmessungen des Jahres 1960 mit den Sommermessungen des Vorjahres zeigt zunächst, dass im Frühling nicht nur vereinzelte Reiftage mit positivem Austausch (Kondensation) zu verzeichnen waren, sondern eine ganze Serie von Tagen. Die Zuwachsraten erreichten, sofern kein Schneefall beteiligt war, rund  $4 \text{ gm}^{-2} \text{h}^{-1}$ , oder  $4 \cdot 10^{-3} \text{ mm (H}_2\text{O) h}^{-1}$  wie im Jahr 1959. Die beobachteten Verdunstungsraten blieben indessen fast durchwegs unter  $10 \text{ gm}^{-2} \text{h}^{-1}$ , während im Sommer 1959 tagsüber Werte in der Grössenordnung von  $30 \text{ gm}^{-2} \text{h}^{-1}$  häufig gemessen wurden.

Die Zahlen reichen natürlich nicht aus, um eine Gesamtbilanz des Austausches für den Frühling 1960 aufzustellen, analog wie wir dies für die Augustperiode 1959 versucht haben. Wir schätzen aber den Substanzverlust auf dem Dampfweg (Verdunstung-Kondensation) für die Frühlingsmonate April/Mai im Mittel auf rund 1 mm Wasserwert/Monat.

Tabelle 68. (siehe Legende S. 196). *Verdunstungsmessungen EGIG.  
Station Jarl-Joset April-Juni 1960*

Datum	Verdunstungsbetrag gm <sup>-2</sup> (Zeit GMT-3h = ET)			Verdunstungsrate gm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>				Bemerkungen
	V <sub>1</sub> 1	V <sub>2</sub> 2	V <sub>3</sub> 3	v <sub>1</sub> 4	v <sub>2</sub> 5	v <sub>3</sub> 6	$\bar{v}$ 7	
1.4.60	(1247) + 6,1 (1646)	(1259) + 4,3 (1653)	(1303) + 4,9 (1657)	+ 1,5	+ 1,1	+ 1,3	+ 1,3	
2.4.60	+ 41,1 (0447) + 39,0 (1650)	+ 41,0 (0455) + 37,3 (1658)	+ 36,7 (0500) + 35,5 (1708)	+ 3,4  + 3,0	+ 3,4  + 3,1	+ 3,0  + 2,9	+ 3,3  + 3,0	Nebel und Reif- niederschlag wie oben
3.4.60	+ 53,3 (0451) + 135,7 (1650)	+ 51,4 (0456) + 129,1 (1654)	+ 53,9 (0502) + 135,3 (1658)	+ 4,4  + 11,4	+ 4,3  + 10,8	+ 4,5  + 11,3	+ 4,4  + 11,2	wie oben  einz.Schneeflocken gegen Abend
4.4.60	+ 198,9 (0440) + 22,6 (1646)	+ 189,5 (0445) + 23,2 (1653)	+ 191,0 (4505) + 22,6 (1700)	+ 16,8  + 1,9	+ 16,0  + 1,9	+ 16,1  + 1,9	+ 16,3  + 1,9	leichter Schnee- fall in der Nacht
5.4.60	+ 20,2 (0450) - 3,1 1647	+ 19,6 (0453) - 3,1 1650	+ 18,4 (0457) - 1,8 1655	+ 1,7  - 0,3	+ 1,6  - 0,3	+ 1,5  - 0,1	+ 1,6  - 0,2	
6.4.60	- 84,5 0456 - 52,6 1655	- 104,6 0502 - 15,9 1703	- 90,0 0506 - 11,6 1704	- 7,0  - 4,4	- 8,6  - 1,3	- 7,4  - 1,0	- 7,7  - 2,2	leichtes Schnee- treiben während der Nacht
15.4.60	0754 + 9,2 1659	0754 - 63,1 1763	0754 - 72,4 1707	+ 1,0	- 6,7	- 7,8	- 4,5	Winderosion Neue Proben
6.5.60	0725 - 104,0 1635	0725 - 63,1 1640	0725 - 43,4 1645	- 11,3	- 6,8	- 4,7	- 7,6	Schneefall und Drift Neue Proben
16.5.60	0750 - 72,8 1810	0750 - 54,5 1815	0750 - 89,4 1820	- 7,1	- 5,2	- 8,5	- 6,9	Schneefall und Drift Neue Proben

(Fortsetzung)

Tabelle 68 (fortgesetzt)

Datum	Verdunstungsbetrag gm <sup>-2</sup> (Zeit GMT-3 <sup>h</sup> = ET)			Verdunstungsrate gm <sup>-2</sup> h <sup>-1</sup>				Bemerkungen
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	v <sub>1</sub>	v <sub>2</sub>	v <sub>3</sub>	$\bar{v}$	
	1	2	3	4	5	6	7	
30.5.60	0605 – 97,9 1715	0610 – 93,6 2020	0615 – 72,8 2025	– 8,8	– 8,4	– 6,5	– 7,9	Schneefall und Drift Neue Proben
31.5.60	– 14,1 1015 – 62,4 1830	– 21,4 1020 – 57,5 1835	– 25,1 1025 – 62,5 1840	– 0,8  – 7,6	– 1,3  – 7,0	– 1,5  – 7,6	– 1,2  – 7,4	
9.6.60	0850 –139,0 1835	0900 –116,9 1840	0905 –109,6 1845	– 14,3	– 12,1	– 11,3	– 12,6	Schneefall und Drift Neue Proben

## 9. FIRN-OBERFLÄCHENTEMPERATUREN UND SCHNEEUMWANDLUNG

Station Jarl-Joset Sommer 1959

M. DE QUERVAIN, Davos

### 9.1. Allgemeines

Die Datierung einer Folge von Jahresschichten stützt sich in der Oberflächennähe, d.h. bis zu einer Tiefe von rund 10 m, meist auf direkt sichtbare Schichtmerkmale. Als solche werden Unterschiede in der Korngrösse, Konform oder Härte verwendet. Aber auch einfach die Transparenz der Schichten im durchfallenden Licht lässt eine Variation der Firnstruktur erkennen. Eine Diskriminierung ist natürlich für das gestellte Problem nur sinnvoll, wenn die genannten Eigenschaften einen deutlichen und eindeutigen Saisonzyklus aufweisen.

Es ist bekannt, dass in den Sommerschichten ein höherer Grad an konstruktiver Metamorphose (aufbauender Umwandlung) erreicht wird als in den Winterschichten, und dass sie demzufolge grobkörniger und lichtdurchlässiger erscheinen. (BENSON 1962). Bezüglich Härte werden lageweise geringere Werte festgestellt als in den Winterschichten. In gewissen Horizonten trifft man aber auch besonders harte Krusten an, oft wechselnd mit Lockerschichten.

Mit den nachfolgend wiedergegebenen Beobachtungen soll die Bildung der sog. *Sommerfacies* in situ nachgewiesen werden. Es ist anzunehmen, dass diese sich unmittelbar an der Oberfläche abspielt und damit durch die laufenden Oberflächenbedingungen – primär durch die Temperaturen – gesteuert wird.

Die Beobachtungen bestanden einerseits in einer Verfolgung der oberflächlichen Schneetemperaturen bis in eine Tiefe von 30 cm und der daraus abgeleiteten Temperaturgradienten und ihrer Variation und anderseits in der wiederholten Entnahme von Firnproben bis in die besagte Tiefe und deren strukturellen Analyse anhand von Dünnschnitten.

Die Periode allgemein schönen Wetters vom 12. bis zum 22. Juli 1959 gestattete es in ausserordentlich günstiger Weise das Problem der Oberflächenmetamorphose zu verfolgen.

## 9.2. Methoden

### 9.2.1. Temperaturmessungen

In Ermangelung von Registrierinstrumenten wurden die Temperaturen mit Quecksilberthermometern und Thermoelementen an 2–4 Terminen gemessen. Dem Nachteil der zeitlichen Messintervalle stand der grosse Vorteil der ständigen Betreuung der Messstellen gegenüber. In den obersten 50 cm einer Schneelage wird die Messung unter Umständen durch Strahlungseinflüsse erheblich gestört. Eine permanente Abschattung der Messstellen ist durchaus nicht dienlich, da man die Temperaturentwicklung in der natürlichen, d.h. besonnten Oberflächenschicht zu kennen wünscht. Es hat sich als zweckmässig erwiesen, eine Abschattung von Fall zu Fall für die Dauer der Thermometerangleichung vorzunehmen. Damit erreicht man allerdings nicht immer sauber definierte Verhältnisse, da bei Thermometern mit längerer Angleichzeit bei Strahlungswetter die Temperatur unter der Wirkung der Abschattung absinkt und dem Angleich davonläuft. Für die Messung von Oberflächentemperaturen wurde gelegentlich das Thermometer zusammen mit einem Schattenspender durch den (lockeren) Schnee gezogen.

*Hg-Thermometer*: Nr. 14005–14007, 13757. 1/10 Teilung mit Prüfchein des Eidg. Amtes für Mass und Gewicht.

*Thermoelement*: Kupfer (0,2) – Konstanten (0,5), mit Kompensationsstelle in schmelzendem Eis, angeschlossen an Lichtzeigergalvanometer. Eichung in Petrolbad mittels Hg-Thermometer Nr. 13757 am 25.7.1959.

Zu den Messterminen wurde jeweils eine 30–40 cm tiefe Kerbe in die unberührte Firnoberfläche gezogen. Die Hg-Thermometer wurden seitwärts in Horizonten von 0,5, 5, 10 und 20 cm unter der Oberfläche auf eine Distanz von ca. 30 cm eingeschoben (ca. 30 cm tief). Mit Thermoelementen sind auch Zwischenpunkte bis 30 cm Tiefe gemessen worden. Vergleichsmessungen zwischen Thermoelementen und Quecksilberthermometern zeigten im allgemeinen Uebereinstimmung im Bereich von  $\pm 0,2^\circ$  C. Die angegebenen Lufttemperaturen beziehen sich auf eine Höhe von ca. 80 cm über der Schneeoberfläche.

#### 9.2.2. Entnahme und Bearbeitung der Firnproben

An 4 Terminen (14.7, 23.7, 30.7, und 2.8.) wurden aus der ungestörten Firnoberfläche Proben in Form von Schneequadern von  $3 \times 3 \times 30$  cm mit der langen Dimension in lotrechter Richtung ausgestochen. Als Ausstechgerät diente jeweils eine der aus Aluminiumblech geformten



langgestreckten Wannen der genannten Abmessungen. Da der Ausstich von der Seite her erfolgte, gelang es auch lockere Schwimmschneestrukturen einzubringen (Abb. 46). Nach Abschluss der Oberflächentemperaturmessungen am 21.7. folgte vom 24. bis 29.7. eine sehr warme Periode mit stellenweisen Schmelzerscheinungen an der Firnoberfläche. Am 1. und 2. August fielen zusammen ca. 7 cm Schnee. Anhand der entnommenen Proben konnte die Entwicklung der vom 12. bis 21. Juli unter der Wirkung starker wechselnder Temperaturgradienten umgewandelten Oberflächenschicht bis zur Abreise von Jarl-Joset (3. August) weiterverfolgt werden.

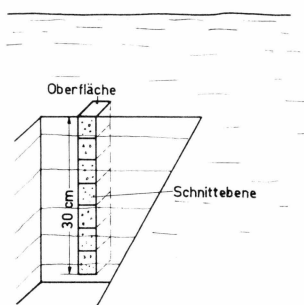


Abb. 46. Ausstich von Oberflächenproben und Lage der daraus angefertigten Dünnschnitte.

Die Proben wurden unmittelbar nach der Entnahme bei ca.  $-2^{\circ}$  mit Phtalsäure – Äthylester ausgegossen (Smp  $-6^{\circ}$ ). Da diese Flüssigkeit eine beträchtliche Unterkühlungsfähigkeit aufweist und auch bei den tiefsten Temperaturen des Schachtes Dumont ( $-28^{\circ}$ ) entgegen allen bisherigen Erfahrungen keine Neigung zeigte auszukristallisieren, erhob sich für die Rückführung der Proben nach der Schweiz ein ernsthaftes Problem. Glücklicherweise befand sich bei einem der Weasel ein  $\text{CO}_2$ -Feuerlöscher, der genügend Druck besass, um bei der Entspannung etwas feste Kohlensäure zu erzeugen. Damit liess sich die Keimbildung erzwingen, und die unerlässliche Verfestigung stellte sich bei allen heimzuschaffenden Proben ein.

Von den auf diese Weise konservierten stangenförmigen Proben wurden im Kältelaboratorium des Eidg. Institutes für Schnee- und Lawinenforschung gesamthaft 35 Dünnschnitte mit der Schnittebene senkrecht zur Schneeoberfläche angerfertigt, und zwar je 7 pro Probe. Die Schnittflächen der einzelnen Dünnschnitte grenzen fast unmittelbar aneinander, d.h. sie sind nur durch die Sägeschnittbreite von 1,5 mm getrennt, die sich beim abschneiden ergab. Die Dicke der Schnitte wurde zwischen 0,25 und 0,35 mm angesetzt. Auf diese Weise blieben die einzelnen Körner unterscheidbar.

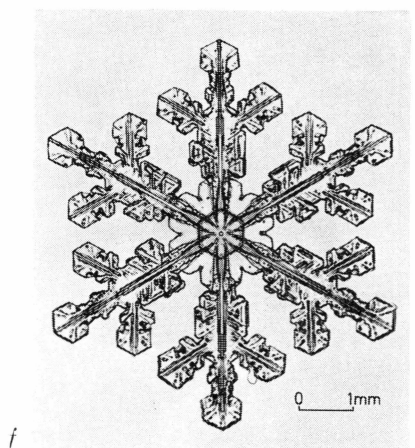
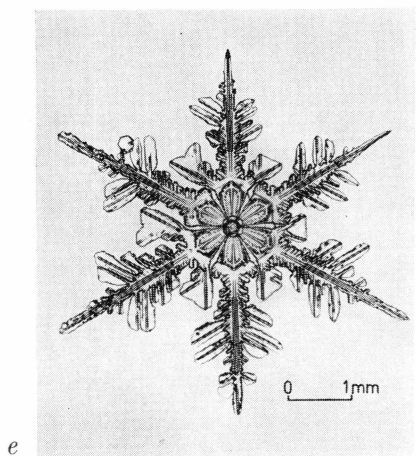
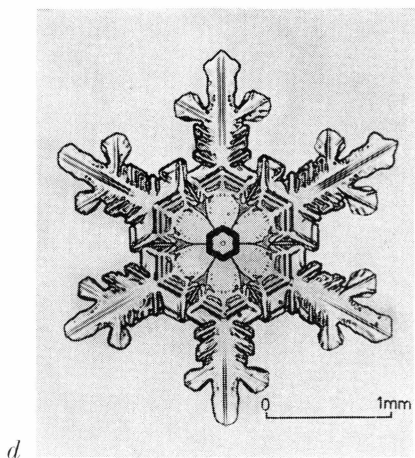
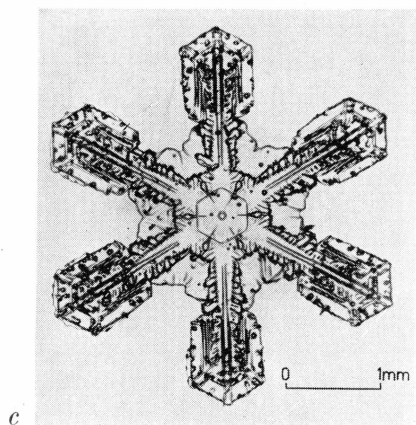
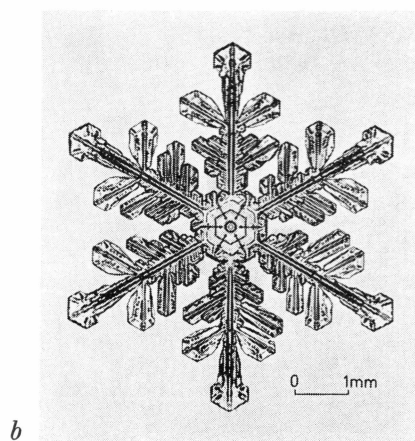
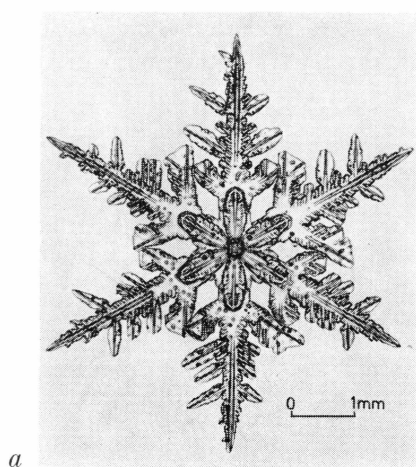


Photo 15 a-f. Neuschneekristalle, Station Jarl-Joset, aufgefangenen am 13.7.1959 im Zeitraum von 22h bis 24h in der Reihenfolge a-f. Vergrößerungsmaßstab unterschiedlich (Q. 518/14, 17, 18, 19, 23, 24)

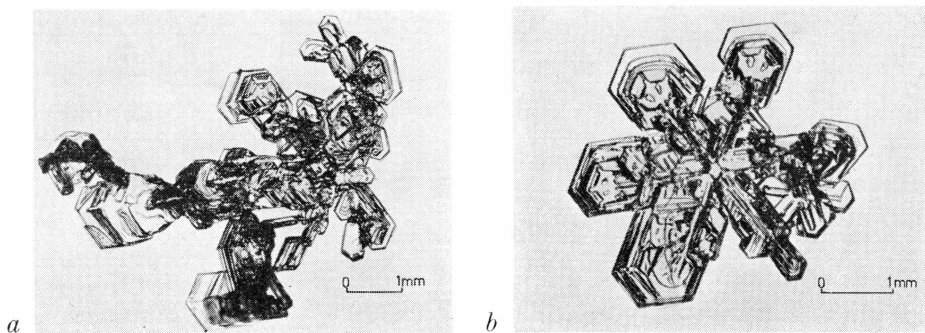


Foto 16 a-b. Neuschneekristalle als Oberflächenreif weiterentwickelt, 18.7.1959, 0845, Station Jarl-Joset (Q 518/34, 32).

### 9.2.3. Neuschnee- und Schneeoberflächenkristalle

Im Zug der Versuche fielen an verschiedenen Tagen vereinzelte Neuschneekristalle (Schneesterne) von bemerkenswerter Regelmässigkeit und Schönheit des Reliefs.

(Photo 15 a-f). Diese am 13., 15., 16., und 17. Juli beobachtete Erscheinung – meist handelte es sich um Ausscheidungen kleinerer vorbeiziehender Wolken (vom Stratus Typ) – gestattete die Beobachtung der direkten Weiterentwicklung von Neuschneekristallen zu Oberflächenreif. (Photo 16 a-c).

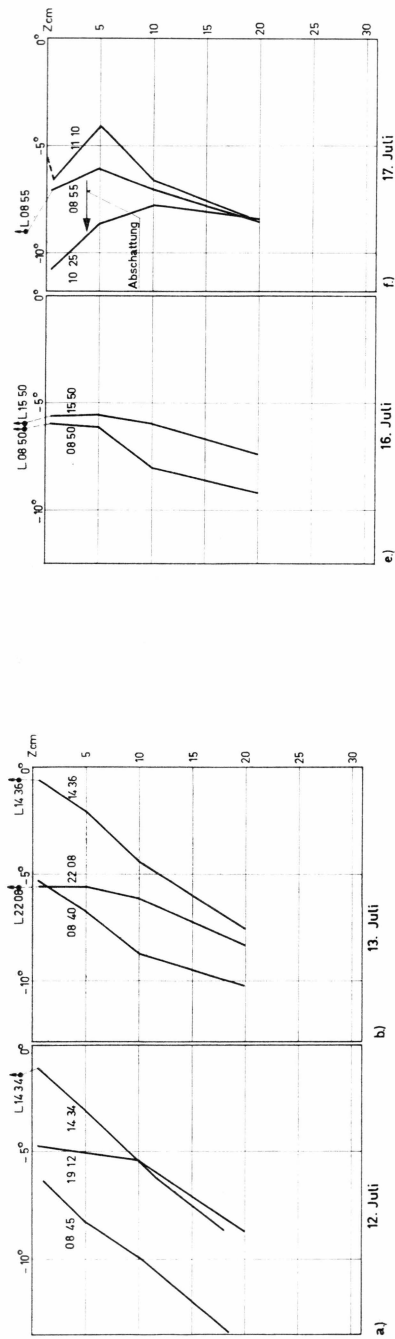
Die eingefangenen Neuschneekristalle wurden mittels eines in der Wohnbaracke der Station Dumont montierten Mikroskops (Leitz Dialux Pol.) im Durchlicht photographiert. Objektiv 3,5, Okkular 6 x. Kamera: Alpa Reflex 35 mm. Film: Kodak Panatomic X. Belichtung 2 Sek. Für die Oberflächenreifkristalle bestand die Anordnung in der Kamera Alpa Reflex mit Makrostat. Zwischenringe Nr. 2 + 3, Objektiv Luminar, Blende 8, Belichtung 4 Sek. (Stablampe).

## 9.3. Messungen und Beobachtungen

### 9.3.1. Temperaturen und Gradienten

Die gemessenen Temperaturwerte sind nebst Hinweisen auf das Wetter in Tabelle 69 und Abb. 47 a bis l dargestellt (negative Celsius-Grade). Tabelle 70 enthält örtlich gemittelte Temperaturgradienten ( $\Delta T/\Delta Z$  für jede Tiefenstufe).

Das Bild des oberflächlichen Temperaturspiels gleicht demjenigen, das wir aus den Alpen kennen mit der Ausnahme, dass hier ab ca. 20 cm mit zunehmender Tiefe abnehmende Temperaturen angetroffen werden.



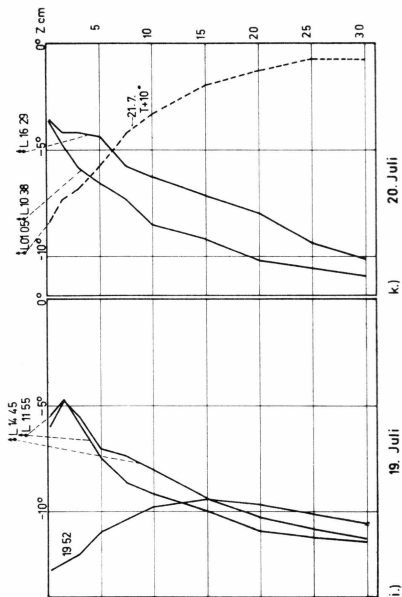
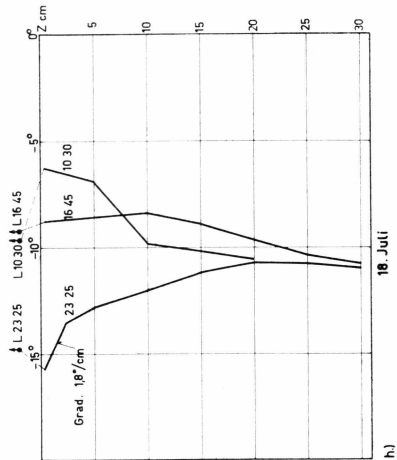
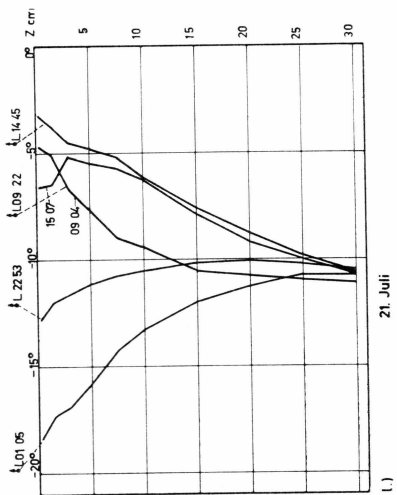


Abb. 47 a-l. Oberflächliche Temperaturprofile  
Juli 1959, Station Jarl-Joset.

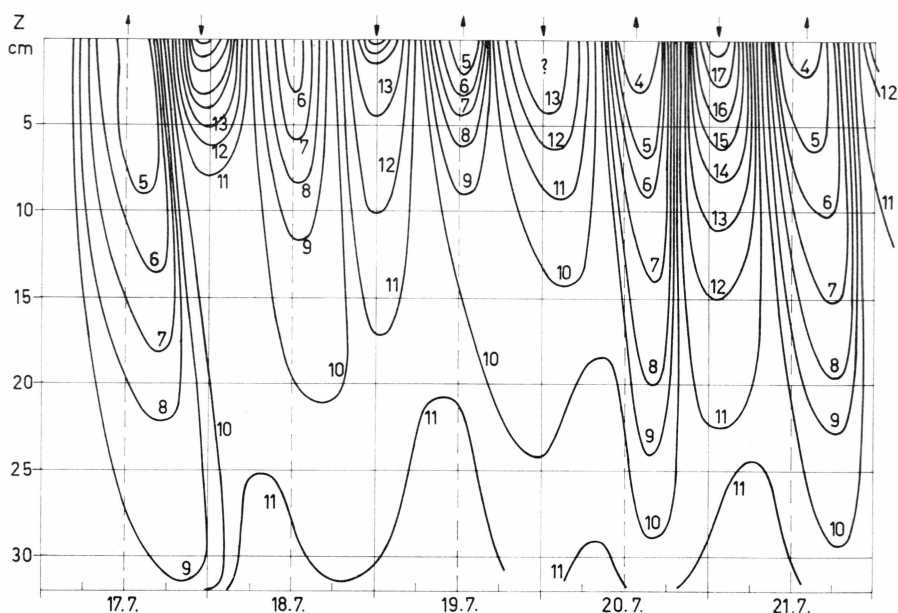


Abb. 48. Isothermendarstellung der oberflächlichen Firntemperaturen. 17.–21. Juli 1959, Station Jarl-Joset.

Dies liegt darin begründet, dass die Beobachtungsperiode in einem besonders warmen Zeitabschnitt lag.

Abb. 48 ist ein Versuch einer Isothermendarstellung über drei Tage. Zwischen den Messterminen ist die Kurvenführung natürlich recht unsicher. Da sich die betrachteten Vorgänge in den obersten 30 cm der Schneedecke abspielen, also im unmittelbaren Wirkungsbereich der Strahlung und zudem ein konvektiver Luftaustausch mit der Oberfläche möglich ist, entspricht das Kurvenbild nicht den Gesetzen der molekularen Wärmeleitung. Abb. 47 f veranschaulicht die Strahlungswirkung an einem sonnigen Vormittag (17.7.). Nach eineinhalbstündiger Abschattung einer Messstelle stellte sich eine Oberflächentemperatur von ca.  $-11^{\circ}$  ein. Die besonnte, nur zur unmittelbaren Messung abgeschattete Oberfläche zeigte  $-5,6^{\circ}$ , während unter Mitwirkung von langwelliger Ausstrahlung und Verdunstung, in 5 cm Tiefe die Höchsttemperatur von  $-4,1^{\circ}$  gemessen wurde. In den obersten paar Zentimetern werden sich also bei wechselnden Strahlungsverhältnissen (z.B. Wolken-Durchzug) örtlich und zeitlich starke Temperaturvariationen einstellen.

Die Temperaturgradienten waren über das ganze Profil vorwiegend negativ (kälter nach der Tiefe). Bei einer gleichmässigen Verteilung der Messtermine auf Tag- und Nachtstunden wären allerdings positive Gradienten häufiger vertreten als aus den Messungen ersichtlich.

Tabelle 69. *Firnoberflächentemperaturen.* Station Jarl-Joset

Instrument: Hg = Quecksilberthermometer, TE = Thermoelement  
Angegebene Messzeit: Erste Ablesung der ca. 20 Min. dauernden Reihen  
(Expeditionszeit)

Da- tum	Zeit	T (– C°), 5 cm korrigiert in Tiefen							Hinweis auf Wetter, Bemerkungen
		0.5 cm bzw. ( )	5 cm	10 cm	20 cm	Luft (80 cm)	instr.		
12.7.	0845	(1) 6.4	8.3	9.9	(18.5)13.4		Hg	sonnig, klar	
	1425	1.9	3.2	(11.5) 6.4	(18) 8.75	1.4	»	6/10 bew. Sonne durch Wolken	
	1434	1.1	3.2	(11.5) 6.2	(18) 8.65	1.4	»	Wind ca. 6 m/s	
	1912	4.8	5.1	5.5	8.75		»		
13.7.	0840	5.3	6.7	8.7	10.3		»	Ci Str. m. Halo	
	1415	(0.8) 1.0	2.2	4.4	7.8	0.6	»	9/10 A. Str.	
	1436	(0.8) 0.7	2.1	4.4	7.6	0.6	»	10/10 Einz.*	
	2208	5.6	5.6	6.2	8.4	5.6	»	10/10 Einz.*	
14.7.	0843	2.4	4.4	5.8	7.4		»	10/10 Str. Spur Neu*	
	1507	1.9	2.8	4.1	7.0	3.6	»	»	
	1515	2.1	2.9	4.1	7.0	3.6	»	»	
	1923	4.7	4.7	5.3	6.6	5.5	»	»	
	2050	5.7	5.4	5.7	6.8		»	»	
15.7.	0857	3.5	4.7	6.4	8.2	4.0	»	10/10 2–3 mm Neu*	
	2258	9.7	8.8	8.3	8.4		»	8–9/10. Einzelne*	
16.7.	0850	6.0	6.2	8.0	9.2	6.2	»	10/10 Wainderschnee	
	1550	5.6	5.5	6.0	7.4	6.0	»		
17.7.	0855	7.1	6.2	7.0	8.6	9.0	»	2/10 im W. 3–4 mm Neu*	
	1025	10.8	8.6	7.8	8.4			gleiche Kerbe wie 0855	
	1110	6.6	4.1	6.6	8.5		»	Oberfl. temp.: 5,6°	
	1548	(0.3) 4.8	(5.5) 5.0	(10.8) 5.4	7.4		TE	sonnig	
	1631	7.6	(4) 5.9	6.2	7.6		Hg	sonnig	
	2106	(0,3) 17.8	12.0	9.5	8.4		TE	3/10. Einzelne*	
								Kälteeinbruch	
18.7.	1030	6.3	6.9	9.8	10.6	9.6	»		
	1645	8.8	8.6	8.4	9.7	9.2	»	klar, Wind ca. 4 m/s	
	2325	15.8	12.8	12.0	10.7	14.7	»	3–4 10 A cu.	
19.7.	1155	5.4	7.4	9.2	11.0	6.4	»	1/10 Astr. Wind 3 m/s	
	1445	5.9	7.3	8.0	10.3	6.6	»	1/10 Str. Cu	
	1952	12.8	11.0	9.8	9.7		»	3–4/10 Ci. Str. u. Astr.	
								17h–19h 1. Schnee- schauer	
20.7.	1038	3.6	6.6	8.5	10.2	8.4		10/10 diffuse Strahlung	
	1629	3.6	4.4	6.3	8.0	5.1	»	Wind ca. 3 m/s	
21.7.	0105	18.4	15.8	13.3	11.3	19.8	»	10/10 diffuse Strahlung	
	0904	4.7	7.6	9.4	10.8	7.9	»	Wind ca. 3 m/s	
	1445	3,2–4.6	4.8	6.2	8.8	4.5	»	2/10 bew. windstill	
	2253	12.8	11.2	10.6	10.1	12.1	»	8/10 A Cu u. A str.	
								Sonne drückt durch	
								3/10 Ci. starke Strahlung	
								windstill	

Tabelle 70. *Festgestellte T-Gradienten*. Mittelwerte über Tiefenstufen (positiv: wärmer nach der Tiefe, negativ: kälter nach der Tiefe).

Datum	Zeit	Gradient in mittlerer Tiefe (grad/cm)			
		1 cm	7 cm	15 cm	25 cm
12.7. ....	0845	- 0,50	- 0,35	- 0,41	-
	1434	- 0,45	- 0,46	- 0,38	-
	1912	- 0,07	- 0,07	- 0,34	-
13.7. ....	0840	- 0,30	- 0,40	- 0,15	-
	1436	- 0,31	- 0,48	- 0,32	-
	2208	$\pm 0$	- 0,1	- 0,22	-
14.7. ....	0843	- 0,45	- 0,28	- 0,18	-
	1507	- 0,22	- 0,26	- 0,36	-
	1923	$\pm 0$	- 0,1	- 0,16	-
	2050	+ 0,07	- 0,06	- 0,11	-
15.7. ....	0857	- 0,27	- 0,34	- 0,18	-
16.7. ....	0850	- 0,04	- 0,37	- 0,14	-
	1550	+ 0,02	- 0,10	- 0,14	-
17.7. ....	0855	+ 0,20	- 0,16	- 0,16	-
	1025	+ 0,49	+ 0,16	- 0,06	-
	1110	+ 0,55	- 0,50	- 0,19	-
	1548	- 0,04	- 0,08	- 0,22	-
	2106	+ 1,24	+ 0,5	+ 0,11	- 0,06
18.7. ....	1030	- 0,12	- 0,58	- 0,08	-
	1645	+ 0,04	+ 0,04	- 0,13	- 0,10
	2325	+ 0,64 <sup>1)</sup>	+ 0,16	+ 0,13	- 0,03
19.7. ....	1155	- 0,43 <sup>2)</sup>	- 0,36	- 0,18	- 0,04
	1445	- 0,3 <sup>2)</sup>	- 0,14	- 0,23	- 0,10
	1952	+ 0,38	+ 0,24	+ 0,01	- 0,09
20.7. ....	1038	- 0,64	- 0,38	- 0,17	- 0,08
	1629	- 0,17	- 0,38	- 0,17	- 0,21
21.7. ....	0105	+ 0,55	+ 0,50	+ 0,20	+ 0,05
	0904	- 0,62	- 0,36	- 0,14	- 0,04
	1445	- 0,34	- 0,28	- 0,24	- 0,19
	2253	+ 0,34	+ 0,12	+ 0,05	- 0,05

<sup>1)</sup> 1,1 grad/cm in obersten 2 cm.

<sup>2)</sup> Die feinere Messung (Abb. 47 i) enthüllt oberflächlich einen positiven Gradienten.

Die höchsten Gradienten wurden selbstredend unmittelbar an der Oberfläche festgestellt, und zwar betrugen sie +1,24 °C pro cm bzw. -0,64°C/cm. Bis 20 cm Tiefe kamen Werte von 0,2-0,6°C/cm fast täglich vor; unterhalb 20 cm wurde dagegen der Wert 0,2 nur einmal knapp überschritten. Da die konstruktive Metamorphose im wesentlichen

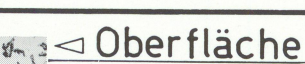


Serie a. = zusammenhängende Folge. Serie b. = Ausschnitte

## 2.+ 3. Eishaut

#### 4. Neuschnee

2.8.1959



▷ Oberfläche

1.

4.

2

4

10 cm

2

3

20 cm

30 cm

a.

b.

a.

b.



durch den Temperaturgradienten gesteuert wird, darf geschlossen werden, dass sich die Ausbildung der Sommerfacies am ausgeprägtesten in der obersten Schichtlage von ca. 20 cm Mächtigkeit vollzieht. Gradientwerte von 0,1 sind indessen auf die Dauer auch noch metamorphoseaktiv. Eine gewisse Differenzierung von Sommerschichten gegenüber Winterschichten wird also in den gegebenen klimatischen Verhältnissen (Station Jarl-Joset) mindestens 50 cm erfassen. Starke Gradienten sind nicht nur im Hochsommer (Juni/Juli) zu erwarten, sondern auch im Früh- und Spätsommer wegen der dann stärkeren Tagesschwankungen der Oberflächentemperaturen. Im Winter werden die Tagesschwankungen weitgehend wegfallen, und es stellt sich ein schwacher positiver Gradient ein mit geringer Umwandlungsaktivität.

Es kann nun vorkommen, dass einerseits mehrere deutlich getrennte Wärmeperioden im Verlauf eines Sommers zu verzeichnen sind, andererseits geringer Winterniederschlag bzw. erheblicher Sommerniederschlag auftritt. Dabei kann eine abnormale Schichtfolge vorgetäuscht werden, sei es, dass eine typische Winterlage unterschlagen wird, oder dass zwei Sommerhorizonte simuliert werden. Die genauere Datierung einer Sommerfacies (Monat) bleibt auf alle Fälle ungewiss. Man wird die Obergrenze aber mit Vorteil auf den Spätsommer ansetzen (ca. Mitte August bei Jarl-Joset).

### 9.3.2. Oberflächenmetamorphose

Von den 5 Dünnschnitt-Profilen geben wir hier aus Platzgründen nur 2 wieder, nämlich diejenigen vom 15.7. und vom 2.8. Photo 17 (S.218) zeigt diese Profile in einer Vergrößerung ca. 1,67:1 mit Ausschnitten 8,3:1.

In den Tagen des 13.–17. Juli bildete sich eine lockere Oberflächenschicht hohen Umwandlungsgrades teils durch die Metamorphose des Schnees im wechselnden Temperaturgradienten, teils durch Oberflächenreifbildung und in besonders interessanter Weise durch direkte Weiterentwicklung der einzelnen in Niederschlagsspuren abgelagerten Schneesterne zu Reifkristallen. Photo 16 a u. b zeigt solche Bildungen. Man findet also in dieser Schicht Becherkristalle, Farn-ähnliche Gebilde (Oberflächenreif) und vereinzelt plattige Formen. Allgemein wurde eine weniger ausgeprägte Tendenz zur Oberflächenreifbildung angetroffen als in den Alpen.

In der warmen Periode vom 24.–29. Juli wurde die Lockerschicht von leichten Schmelzerscheinungen erfasst. Am 2.8., nach den Schneefällen vom 1. und 2. August finden wir die Lockerschicht in 7 cm Tiefe, im unteren Teil mit Schmelzformen, oben bereits wieder mit Oberflächenreif durchwirkt. In dieser Form wird sie als typische Sommerfacies erhalten bleiben, bis sie unter grösserer Schneelast zusammensacken und

zu einem oder mehreren „Firnstößen“ Anlass geben wird. Auf der Rückfahrt konnte dieser Prozess, bezogen auf besagte Schicht, mehrmals festgestellt werden. Ein Blick in tiefere Schichten lässt in den mit Pfeil markierten Horizonten eine feine Eislage erkennen. Es handelt sich um leicht angeschmolzene ehemalige Oberflächen, ev. mit nachfolgendem Windschliff. Neben dem oben beschriebenen Lockerhorizont tragen auch die anderen Schichten die Prägung des Sommers. Die Kristalle sind mehrheitlich in einer vertikalen Kettenstruktur angeordnet und von vorwiegend kantig-körniger Gestalt. (Siehe z.B. in ca. 14 cm Tiefe am 2.8.1959).

Zusammenfassend haben die Beobachtungen den Nachweis von lebhaften Temperaturvariationen und von bedeutsamen Temperaturgradienten in Oberflächennähe erbracht und gleichzeitig die damit verbundene Oberflächenumwandlung bis zur Bildung einer Sommerfacies verfolgen lassen.

## 10. STUDIEN ZUR GEFÜGEREGELUNG

M. DE QUERVAIN.

### 10.1. Dünnschnittpräparation

Schnee-Dünnschnitte werden nach dem von H. BADER entwickelten und von M. DE QUERVAIN verbesserten Verfahren hergestellt. Die seit vielen Jahren geübte bewährte Praxis soll hier kurz beschrieben werden. (Ausstich und Konservierung der Proben siehe Abschnitt 9.2.2.).

Zur Dünnschnitttherstellung, die einer Raumtemperatur von  $-15$  bis  $-25^{\circ}$  bedarf, wird ein Probenstück mit einer feinen Handsäge (oder mechanischen Säge) vorgeschnitten (ca.  $3 \times 3 \times 2$  cm) und mittels Phtalsäureester (PE) auf den auf ca.  $-2^{\circ}\text{C}$  vorgewärmten Träger (Glas oder Metall) der Dünnschnittsäge aufgefroren. Auf der Dünnschnittsäge erfolgt der erste Schnitt unter konstant gehaltenem Schneidedruck (ca. 10–20 g/cm). Nun wird der definitive Präparatsträger (Mikroskopierglas) mit einem PE-Tropfen versehen, gekehrt und unter leichtem Druck auf die Schnittfläche aufgesetzt. Allfällige Orientierungsbedingungen sind zu beachten. Nach Versiegelung der Ränder der neuen Klebefläche mit PE wird das Präparat nach Ablösen des ersten Trägers auf ca. 2 mm Dicke, und in einem weiteren Schnitt auf das gewünschte Mass von 0,2 bis 0,4 mm geschnitten. Die Messung der Dicke erfolgt in 5 Punkten mittels einer Tastuhr. Nun wird das Deckglas mit einem hängenden Tropfen Tetralin (Lösungsmittel für PE) aufgesetzt. Den fertigen Dünnschnitt, der ganz von Tetralin umgeben sein soll, lässt man auf einer thermostierten Heizplatte auf  $-5^{\circ}$  bis  $-2^{\circ}$  aufwärmen. Dabei verflüssigt sich die Füllmasse in irreversibler Weise, und im Schnitt erscheinen nur die Eiskristalle in ihrer ursprünglichen Lage. Die Verflüssigung beseitigt das schädliche Streulicht des feinkörnigen festen PE.

Derartige Dünnschnitte sind empfindlich gegen mechanische Beanspruchung, lassen sich aber ohne weiteres mikroskopisch untersuchen. Nach Anbringen einer Randverkittung, die das Auslaufen des Tetralins verhindert, kann man sie auch neigen. Solange sie allseitig von Flüssigkeit umschlossen sind, erhalten sie sich wochenlang praktisch unverändert. Verdunstetes Tetralin kann jederzeit mit einem Pinsel nachgefüttert werden.

## 10.2. Azimutale polarimetrische Anisotropie von Dünnschnitten

### 10.2.1. Problemstellung

Die Gefügeregelung (Kristallachsenorientierung) eines kristallinen Aggregates kann Aufschluss erteilen über Richtung und Ausmass einer Verformung, vorausgesetzt dass der Anfangszustand bekannt ist. Im Fall des Grönlandfirns besteht, ähnlich wie in der alpinen Schneedecke, bereits eine deutliche Regelung der jungen Schichten im Sinne einer Anhäufung der c-Achsenrichtungen gegen die Vertikale hin. Es stellt sich die Frage, ob auch eine azimutale Regelung gefunden wird, und, wenn ja, ob eine solche mit einer horizontalen Bewegungskomponente des Eises in Zusammenhang gebracht werden kann. Will man rheologische Einflüsse, die auf alle Fälle nur schwach sein können, aus der Regelung herauslesen, hat man eine grosse Zahl von Dünnschnitten aus verschiedenen Firntiefen zu untersuchen und nach einer zunehmenden Regelung mit zunehmender Tiefe – gleichbedeutend mit zunehmendem Verformungsgrad – Ausschau zu halten.

Da die herkömmliche Methode der Bestimmung einer Kristallachsenregelung auf Grund einer Messung der einzelnen Kristallachsenlagen sehr zeitraubend ist, wurde versucht, mit einem summarischen optischen Verfahren eine Orientierung über das Bestehen einer azimutalen Regelung zu gewinnen.

### 10.2.2. Untersuchungsmethode

Wird ein im Dünnschnitt liegender einzelner Eiskristall zwischen gekreuzten Polarisatoren gedreht, wird im allgemeinen in 4 um  $90^\circ$  bzw.  $180^\circ$  gegeneinander verdrehten Richtungen eine Verdunkelung und ebensooft eine Aufhellung eintreten. Ausgenommen bleibt der Fall unveränderter Dunkelheit, der eine c-Achsenlage für alle Kristalle senkrecht zur Schnittebene anzeigt. Verdunkelungen bedeuten im allgemeinen Fall, dass die c-Achsenrichtung in einer Vertikalebene durch die (horizontal angenommene) Polarisator- oder Analysatorrichtung liegt. In  $45^\circ$ -Richtungen besteht maximale Aufhellung.

Bei einer Mehrzahl von Kristallen beliebiger Orientierung, hellt jeder je nach dem Azimut seiner Hauptschnittspur individuell auf. Die gesamte Helligkeit des Bildfeldes variiert dann entsprechend der statistischen Verteilung der Achsen und der Kristallgrössen und zeigt im besonderen Minima, wenn eine Bündelung von Hauptschnittspuren in die Polarisatorrichtung oder senkrecht dazu fällt. Ein aus vielen Kristallen bestehendes Präparat ohne jegliche Regelung wird stets eine gleichbleibende mittlere Helligkeit aufweisen.

Das Verfahren besteht nun darin, den Dünnschnitt, bzw. einen kreisförmigen Ausschnitt davon auf eine Fotozelle abzubilden und die Helligkeit in Funktion des Azimutwinkels  $\alpha$  unter Drehung des Schnittes als Fotostrom zu messen. Die Ablesungen werden von  $10$  zu  $10^\circ$  vorgenommen. Aus den Messungen kann nicht direkt entschieden werden, ob eine festgestellte Bündelung in die Schwingungsebene des Analysators oder in die des Polarisators fällt; auch Feinheiten der Achsenhäufungen kommen nicht zur Geltung. Die festgestellte azimutale Anisotropie, die sich auf Grund der Helligkeitsschwankungen definieren lässt, ist nicht ohne weiteres strukture geometrisch quantitativ auszudeuten, da, wie nachstehend gezeigt wird, verschiedene Parameter in die resultierende Helligkeitsfunktion eingehen, darunter natürlich auch Charakteristiken der Fotozelle. Immerhin kann schon die Feststellung einer Anisotropie aufschlussreich sein.

### 10.2.3. Theoretische Hinweise

#### Bezeichnungen

(auch gültig für Abschnitt 10.2.4).

$B(\alpha)$	Welligkeitsfunktion der Helligkeit abhängig vom Azimut
$B_0$	Amplitude der Welligkeitsfunktion
$e$	Azimutale polarimetrische Anisotropie (Def. Gl. 7)
$F$	Fläche des beobachteten Ausschnittes aus dem Dünnschnitt
$f$	Fläche eines Einzelkristalls
$J_p$	Gesamte Helligkeit eines Präparates, gemessen als Galvanometerausschlag
$J_k$	Helligkeit, geliefert durch Transparenz der Kristalle („Kristallhelligkeit“)
$J_u$	Helligkeit des Untergrunds ohne Präparat
$L$	Proportionalitätsfaktor für alle konstant zu haltenden optischen Bedingungen, i. bes. Lichtquelle
$n$	Porosität des Präparates
$s$	Transparenz eines Kristalles bei $45^\circ$ -Stellung der horizontalen c-Achsenkomponente zum Polarisationsystem (= Flächenhelligkeit der maximalen Aufhellung)
$\alpha$	Drehwinkel des Präparates (+ Uhrzeigersinn). $\alpha = 0$ für Orientierung der geogr. S-N-Richtung im Präparat parallel Polarisator-Schwingungsrichtung
$\varphi$	Richtung der hor. c-Achsenkomponente eines Kristalls bezüglich S-N Richtung. (Bzw. Winkel $\alpha$ für Auslöschung).

### Einkristall

Befindet sich im Präparat nur ein einziger Einkristall von der Schnittfläche  $f$ , verändert sich die Kristallhelligkeit in Funktion des Drehwinkels gemäss

$$(1) \quad J_k(\alpha) = L \cdot s \cdot f \cdot \sin^2 2(\alpha - \varphi)$$

Sie schwankt also im Bereich von 0 bis  $L \cdot s \cdot f$  mit der Periode  $\alpha = Z \cdot \frac{\pi}{2}$  ( $Z = 0, 1, 2, \dots$ ). Die Grösse  $s$ , die Transparenz in  $45^\circ$ -Stellung (d.h.  $\alpha - \varphi = 45^\circ$ ) ist noch abhängig von der hier nicht interessierenden Vertikalstellung der c-Achse (Zenitwinkel).

### Polykristallines Präparat

Mit zahlreichen Einkristallen verschiedener Transparenz und verschiedener Auslöschungsrichtung  $\varphi_i$  wird

$$(2) \quad J_k(\alpha) = L \sum_i s_i \cdot f_i \cdot \sin^2 2(\alpha - \varphi_i)$$

Eine Funktion periodisch mit  $\alpha = Z \cdot \frac{\pi}{2}$ , im allgemeinen ohne Nullstellen.

In einem *azimutal statistisch isotropen Schnitt* (sehr viele Kristalle ohne azimutale Regelung) wird für jeden Kristall von der Auslöschungsrichtung  $\varphi_i$  ein „Partnerkristall“ gleicher Grösse und Transparenz in der Position  $\varphi'_i = \varphi_i + 45^\circ$  vorhanden sein. Da

$$s'_i \cdot f'_i \cdot \sin^2 2(\alpha - \varphi_i - 45^\circ) = s'_i \cdot f'_i \cdot \cos^2 2(\alpha - \varphi_i)$$

kompensieren sich die Winkelfunktionen in der Summe paarweise, sofern für je zwei Partner  $s_i \cdot f_i = s'_i \cdot f'_i$ , und man erhält

$$(3) \quad J_k = L \cdot \frac{1}{2} \cdot \sum_i s_i \cdot f_i$$

Die Kristallhelligkeit ist unabhängig vom Drehwinkel, d.h. *azimutal polarimetrisch isotrop*. Der Faktor  $1/2$  folgt aus der Paarung der Kristalle. In einem zahlreiche Kristalle umfassenden Präparat kann die individuelle Transparenz der Kristalle ersetzt werden durch eine mittlere Transparenz  $\bar{s}$  und die Summe der Kristallflächen durch die Gesichtsfeldfläche

$$(4) \quad \sum_i s_i \cdot f_i = \bar{s} (n - 1) \cdot F$$

Die Kristallhelligkeit ist dann proportional zur Bildfeldfläche:

$$(5) \quad J_k = L/2 \cdot \bar{s}_k \cdot (n - 1) F$$

Es ist festzuhalten, dass zwar ein kristallographisch isotropes Präparat auch polarimetrische Isotropie im Sinn unserer Definition liefert, aber nicht umgekehrt. Ein Präparat, das zwei identische Achsenhäufungen mit um  $45^\circ$  verschobenen Azimuten besitzt, also deutlich anisotrop ist, kann polarimetrisch isotrop erscheinen. Deshalb ist die Methode nicht quantitativ verwendbar.

Im allgemeinen Fall liefert Gl. (2) eine mittlere Grundhelligkeit, überlagert von einer Welligkeit, deren Amplitude  $B_0$  im Bereich von 0 bis  $\pm J_k$  liegen kann. (Abb. 49)

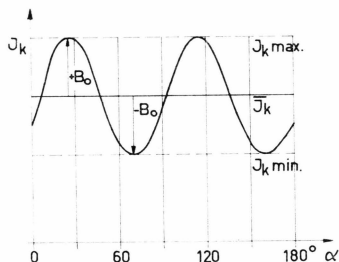


Abb. 49. Lichtintensitätsschwankung bei Drehung eines polykristallinen Dünnschnittes zwischen gekreuzten Polarisatoren um den Azimutwinkel  $\alpha$  (schematisch).

$$(6) \quad J_k = \bar{J}_k + B(\alpha)$$

$B(\alpha)$  ist im allgemeinen keine elementare Winkelfunktion.

Die azimutale polarimetrische Anisotropie definieren wir numerisch als

$$(7) \quad e = \frac{B_0}{\bar{J}_k} = \frac{J_{k \max} - J_{k \min}}{2 \bar{J}_k} = \frac{J_{k \max} - J_{k \min}}{J_{k \max} + J_{k \min}}$$

Der Wert von  $e$  bewegt sich zwischen 0 (keine Anisotropie) und 1 (alle horizontalen c-Achsenkomponenten im gleichen Azimut oder senkrecht dazu).

#### 10.2.4. Untersuchungen und Resultate

Proben aus 30 verschiedenen Horizonten des Schachtes Dumont (Station Jarl-Joset) im Bereich von 459 cm bis 3911 cm Tiefe wurden auf ihre optische Anisotropie untersucht. Es handelte sich um das Material, das durch R. SCHNEIDER am 25./26. Juli 1960 ausgestochen und nach Konservierung in Phtalsäurediaethylester im August selbigen Jahres in die Schweiz gesandt wurde. Im Kältelabor des Eidg. Schneeforschungsinstitutes auf Weissflujoch wurden von jeder Probe 2–3 horizontale Dünnschnitte von 0,3–0,4 mm Dicke hergestellt.

Die bekannte geographische Orientierung der Proben bezüglich der N-S-Richtung wurde auf die Schnitte übertragen. Das mittels einer Photo-Optik auf die Fotozelle abgebildete kreisförmige Gesichtsfeld  $F$



mass auf dem Schnitt  $2,55 \text{ cm}^2$  und enthielt ca. 200 Kristalle. Da die gekreuzten Polarisatoren (Polaroidgläser) eine gewisse Lichtdurchlässigkeit besitzen, musste vor jeder Messung die Untergrundhelligkeit  $J_u$  ohne Dünnschnitt bestimmt werden. Die gesuchte Kristallhelligkeit  $J_k$  folgt aus der gemessenen Präparathelligkeit gemäss

$$J_k = J_p - n J_u \quad (n \text{ Porosität})$$

Für jeden Schnitt wurde  $J_k$  in Azimutintervallen von  $10^\circ$  bestimmt und auf einen Mittelwert  $J_k$  von 10,0 Einheiten normiert. Auf diese Weise liessen sich die Messungen verschiedener Schnitte vergleichen und kombinieren.

Abb. 50 zeigt drei Kurven  $J_k(\alpha)$  und zwar a) die theoretische Kurve  $\sin^2 2\alpha$  mit gemessenen Punkten eines Einkristalls (Gipsplättchen rot) als Beispiel für die Anisotropie  $e = 1$ , Kurve b) eines Schnittes senkrecht zur Oberfläche (Probe vom 15.7.1959, Station Jarl-Joset aus 30 cm Tiefe) Beispiel einer starken vertikalen Regelung (Anisotropie  $e = 0,15$ , Minima bei  $85^\circ$  und  $175^\circ$ , Vertikal) und Kurve c) Probe Nr. 24 aus der Serie des Schachtes Dumont mit mässiger horizontaler Regelung. (Anisotropie 0,05. Minima  $\alpha = 20^\circ$  u.  $95^\circ$ ).

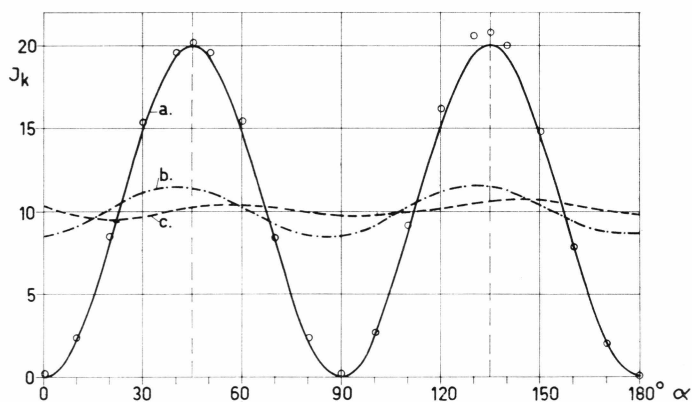


Abb. 50. Lichtintensitätsschwankung bei Drehung von Dünnschnittpräparaten zwischen gekreuzten Polarisatoren ( $J_k$  relative Einheiten).

- a) Theoretische Kurve für Monokristall. Punkte: Messung an Gipsplättchen.
- b) Vertikaler Dünnschnitt mit Achsenregelung in der Vertikalen.
- c) Horizontaler Dünnschnitt aus Schacht Dumont.

In den Messungen verschiedener Schnitte traten Verzerrungen und Asymmetrien in Erscheinung, sodass die Kurven oft nicht streng auswertbar waren. Die beobachteten Asymmetrien sind in den Tabellen 71 a und b für eine obere und eine untere Schichtserie getrennt wiedergegeben.

Tabelle 71 a und b. *Anisotropie der Einzelschnitte*  
a (obere Serie)                      b (untere Serie)

Schnitt Nr.	Tiefe <sup>1)</sup> Z (cm)	Aniso- tropie e	Azimut 1. Mini- mum <sup>2)</sup> $\alpha_m^\circ$	Schnitt Nr.	Tiefe <sup>1)</sup> Z (cm)	Aniso- tropie e	Azimut 1. Mini- mum <sup>2)</sup> $\alpha_m^\circ$
25	459	0,05 0,07	60 30	10	1798	0,12 —	35 —
26	501	0,04 0,04	65 25	11	1935	— 0,06	— 0
1	562	0,04 0,10	20 0	12	2021	0,07 0,08	20 40
27	662	0,06 0,08	70 30	13	2206	0,10 0,10	0 25
2	729	0,09 0,08	50 50	14	2358	0,06 0,11	20 80
28	793	0,08 0,04	40 50	15	2511	0,16 0,14	60 55
3	850	0,08 0,07	10 0	16	2659	0,09 0,05	55 50
29	910	0,14 0,11	10 30	17	2759	0,02 0,09	70 80
4	998	0,04 0,06	70 40	18	2911	0,04 0,09	50 0
30	1049	0,10 0,23	0 0	19	3069	0,12 0,09	20 10
5	1110	0,04 0,04	0 20	20	3213	0,05 0,07	30 0
6	1252	0,08 0,10	50 0	21	3413	0,17 0,09	60 30
7	1410	0,09 0,07	60 70	22	3543	0,08 0,13	60 0
8	1550	0,10 0,06	0 30	23	3738	0,08 0,05	15 —
9	1723	0,08 0,06	40 60	24	3911	0,04 0,10	50 30

<sup>1)</sup> Tiefe bezogen auf O-Dumont 1957.

<sup>2)</sup> Azimut N  $\rightarrow$   $\alpha$   $\rightarrow$  W (gegen Uhrzeiger).

Die Anisotropien der Einzelschnitte sind zum Teil recht beträchtlich. Doch zeigen oft zwei Schnitte aus dem gleichen Niveau verschiedene Werte und auch verschiedene Azimute für die Minima. Es ist fast anzu-

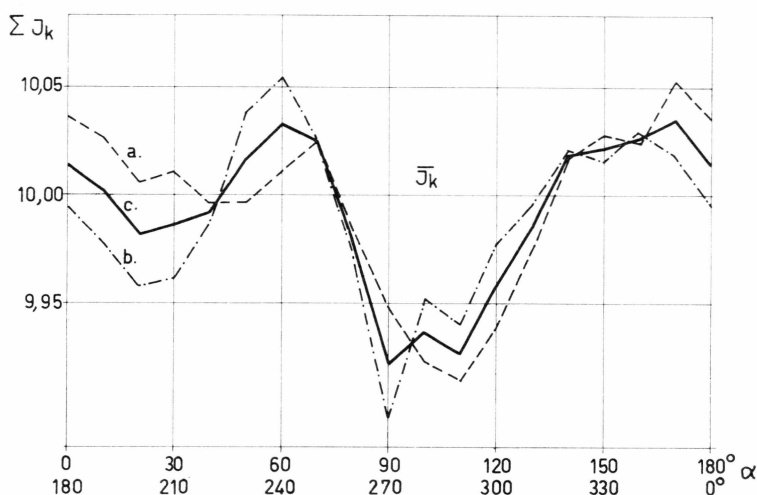


Abb. 51. Aufsummierte Intensitäten, normiert auf mittlere Intensität  $J_k = 10$  aller Dünnschnitte.

a obere Serie ( $z = 429-1723$  cm)  
 b untere Serie ( $z = 1798-3911$  cm)  
 c gesamte Menge.

Azimut  $\alpha = 0$ : Geographisches N-S Richtung parallel Schwingungsrichtung des Polarisators.

nehmen, dass sie statistisch nicht durchwegs signifikant sind (z.B. infolge von Komplexbildungen).

Wir haben daher die Anisotropien der Gesamtheit aller Schnitte je der oberen und unteren Serien berechnet und einander gegenübergestellt und auch mit der Anisotropie aller Beobachtungen verglichen.

Dies geschah in der Weise, dass die Helligkeiten jeweils für jeden Azimutwert von  $10^\circ$  zu  $10^\circ$  aufsummiert wurden.

Dabei stellte sich nur noch eine schwache unregelmässige Welligkeit heraus, aus der sich folgende Anisotropien herauslesen lassen: (siehe Abb. 51).

Obere Serie (429–1723 cm)	$e \approx 5,8 \cdot 10^{-3}$	$\alpha_{\min} \approx 110^\circ$
Untere Serie (1798–3911 cm)	$e \approx 7,5 \cdot 10^{-3}$	$\alpha_{\min} \approx 100^\circ$
Gesamte Menge	$e \approx 5,4 \cdot 10^{-3}$	$\alpha_{\min} \approx 100^\circ$

### Schlussfolgerungen

Die Gesamtergebnisse zeigen die theoretisch geforderte Periodizität nur sehr schwach. (Verzerrungen waren schon in den Einzelmessungen festzustellen). Dennoch scheint sich eine wenn auch äusserst schwache Anisotropie der Achsenazimute anzudeuten. Sie hat die Richtung  $\alpha$  ca. N- $10^\circ$ -W bzw. W- $10^\circ$ -S, verläuft also von NNW nach SSE (oder senkrecht dazu). Der etwas höhere Wert in grösserer Tiefe ist noch

fraglicher als der Effekt als solcher. Wir sind daher eher geneigt, diese äusserst schwache azimutale Regelung eher einer leicht vorherrschenden Treibschneerichtung zuzuordnen als einem rheologischen Prozess.

### 10.3. Räumliche Gefügeregelung

Einzelne der im Abschnitt 10.2.4 beschriebenen horizontalen Dünnschnitte von Proben aus dem Schacht Dumont (Station Jarl-Joset) wurden im Schneeforschungsinstitut Weissfluhjoch noch auf ihre dreidimensionale Gefügeregelung untersucht. (Azimutwinkel  $\alpha$  der c-Achsen bezogen auf die Nordrichtung am Ort der Probenentnahme und Winkel  $\beta$  bezogen auf die Vertikale). Dies geschah mittels eines Leitz-U-Tisches in Verbindung mit einem Polarisationsmikroskop Dialux-Pol (Leitz). Zenitwinkel über ca.  $20^\circ$  wurden ausserdem mit Hilfe der Doppelberechnung (Quarzkeil) bestimmt. Mit Rücksicht auf die mechanische Empfindlichkeit der zur Verflüssigung der Porenfüllung (Phtalsäureester) mit Tetralin versetzten Dünnschnitte sind bei der U-Tisch-Methode keine Glas-Halbkugeln verwendet worden. Es musste also auf Strahlenbrechung korrigiert werden. Hierzu sind die von B.W. Kamb angegebenen Korrekturformeln für „horizontal and vertical setting“ benützt worden. (American Mineralogist 47, 1962, 227–245).

#### 10.3.1. Kristallachsenlagen

Als Beispiel wird die Probe Nr. 30 aus einer Tiefe von 1049 cm behandelt, von der zwei Dünnschnitte, bezeichnet als DS 30 und DS 30'', ausgewertet wurden. Photo 18 zeigt DS 30 in halbpolarisiertem Licht (Analysator schief zum Polarisator).

Die Messwerte  $\alpha$  und  $\beta$  werden in ein Wulff'sches (winkeltreues) und ein Schmid'sches (flächentreues) Netz eingetragen.

Bildet man 8 azimutale Sektoren a bis h mit Azimutbereichen  $\Delta\alpha$  von je  $45^\circ$  und 4 flächengleiche Zonen bezüglich der Zenitwinkel  $\beta$ , nämlich

$$\begin{aligned} \text{Zone 1: } \beta &= 0 - 41,2^\circ \\ - \quad 2: &= 41,2 - 60^\circ \\ - \quad 3: &= 60 - 75,5^\circ \\ - \quad 4: &= 75,5 - 90^\circ, \end{aligned}$$

ergeben sich 32 Felder mit gleicher Punktwahrscheinlichkeit bei unregelter Achsenlage. Beide Dünnschnitte zählen zusammen 549 Kristalle. Die Verteilung der Achsenlagen auf die einzelnen Felder, Zonen und Sektoren lautet:

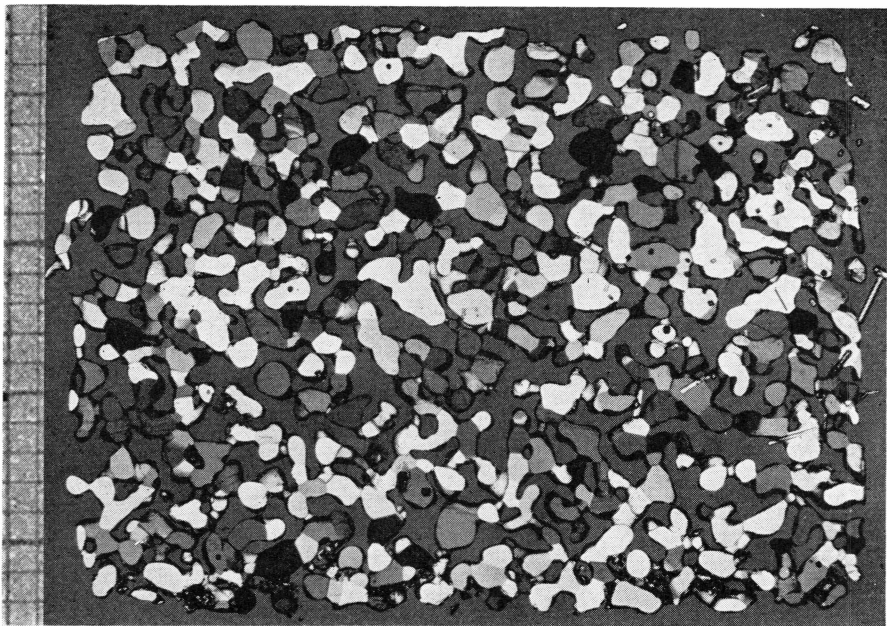


Foto 18. Dünnschnitt DS 30 in halbpolarisiertem Licht (Analysator schief zu Polarisator) Schacht Dumont, Tiefe 1049 cm. Am Rand Millimeterraster.

	Sektoren (von Nord über Ost)								
	a	b	c	d	e	f	g	h	$\sum \frac{h}{a}$
Zone 1. ....	32	27	34	42	50	56	33	33	287
2. ....	14	12	11	13	16	16	18	11	113
3. ....	14	12	19	14	11	15	10	16	111
4. ....	4	4	1	8	6	7	2	6	38
$\sum_{i=1}^4$	64	57	65	77	83	74	63	66	549

*Interpretation*

Für das Einzelfeld, die Zone und den Sektor lauten die Erwartungswerte bei unregelter Achsenlage:

Einzelfeld: 17,2  
Zone (u. Doppelsektor): 137  
Sektor: 68,5

Darauf basierend können folgende statistische Klassierungen eingeführt werden:

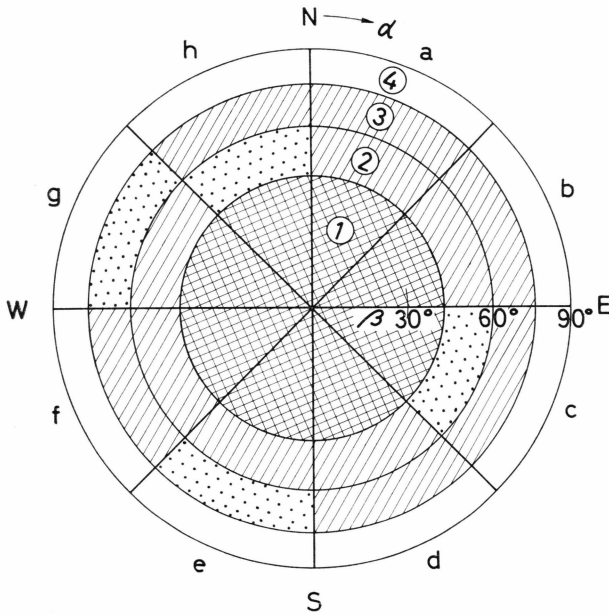


Abb. 52. Regeldiagramm der horizontalen Dünnschnitte DS 30 und 30''' (Jarl-Joset, Tiefe 1049 cm).

Schlüssel zum Raster: siehe unten.

	Einzelfeld	Zone Doppelsektor	Sektor	Symbol (Abb. 52)
Fehlbetrag sicher:	0– 8	0–112	0–51	weiss
Fehlbetrag möglich:	9–12	113–124	52–59	punktiert
Normalbetrag:	13–21	125–149	60–77	einfach schraffiert
Ueberschuss möglich:	22–26	150–162	78–86	
Ueberschuss sicher:	26	162	86	doppelt schraffiert

Abb. 52 veranschaulicht die gemessene Verteilung in flächentreuer Projektion unter Verwendung der oben vermerkten Symbole.

#### Vertikale Regelung

Man findet in allen Einzelfektoren und gesamthaft *eine sehr starke Regelung*. Der Ueberschuss in Zone 1 geht zur Hauptsache zu Lasten der Zone 3.

#### Azimutale Regelung

Betrachtet man diametrale Doppelsektoren, ergeben sich folgende Zahlen:

Sektor	a + e	147	normal
-	b + f	131	-
-	c + g	128	-
-	d + h	143	-

Die Belegung ist durchwegs normal mit schwacher (möglicher) Bevorzugung der Nord-Süd Quadranten.

In Quadrantwerten ausgedrückt lautet dies

NS-Quadrant	290	} Normalbereich 257–291
EW-Quadrant	259	

Man findet also eine höchstens andeutungsweise mögliche azimutale Regelung in allgemeiner Richtung Nord-Süd.

Wenn sie überhaupt reell ist, könnte sie vielleicht mit einer bei der betreffenden Schneeablagerung vorherrschenden Windrichtung in Verbindung gebracht werden.

### 10.3.2. Relative Achsenwinkel

Mehr von allgemein kristallographischem als von glaziologischem Interesse ist die Fragestellung, ob sich im Verlauf der Firnumwandlung gewisse Winkelbeziehungen im Sinn rationaler Zwillingsgesetze zwischen sich berührenden benachbarten Kristallen ausbilden.

Um Hinweise in dieser Richtung zu erhalten, wurden nach Eintragung der c-Achsen von Dünnschnittpräparaten ins Wulff'sche Netz die relativen Achsenwinkel zwischen sich berührenden Kristallen gemessen. Ergaben sich Winkel von über  $90^\circ$  wurde der Supplementärwinkel (Ergänzung zu  $180^\circ$ ) berücksichtigt.

Der in dieser Weise ausgewertete Dünnschnitt DS 30''' bestehend aus 216 auswertbaren Körnern mit 218 Kornkontakten ergab die in Abb. 53 dargestellt Verteilung der relativen Achsenwinkel in 10 Winkelklassen gleicher Grundwahrscheinlichkeit. Die Ordinatenwerte in % sind bezogen auf die Gesamtzahl der 218 Kontakte.

Bei gleichmässiger Verteilung entfallen auf eine Winkelklasse im Mittel 10 % der gemessenen Winkel mit einer erwarteten Streuung im Bereich von ca. 7,7 bis 12,3 %.

Signifikant erscheint nur die Tatsache, dass relative Achsenwinkel von weniger als  $40^\circ$  dominieren als Ausdruck der allgemeinen Gefüge-  
regelung.

Die Streuung der Verteilung über den ganzen restlichen Winkelbereich überschreitet nur an einer Stelle die Zone der sicher rein zufälligen Variation. (Man vergegenwärtige sich, dass die Zenitwinkel mit einem

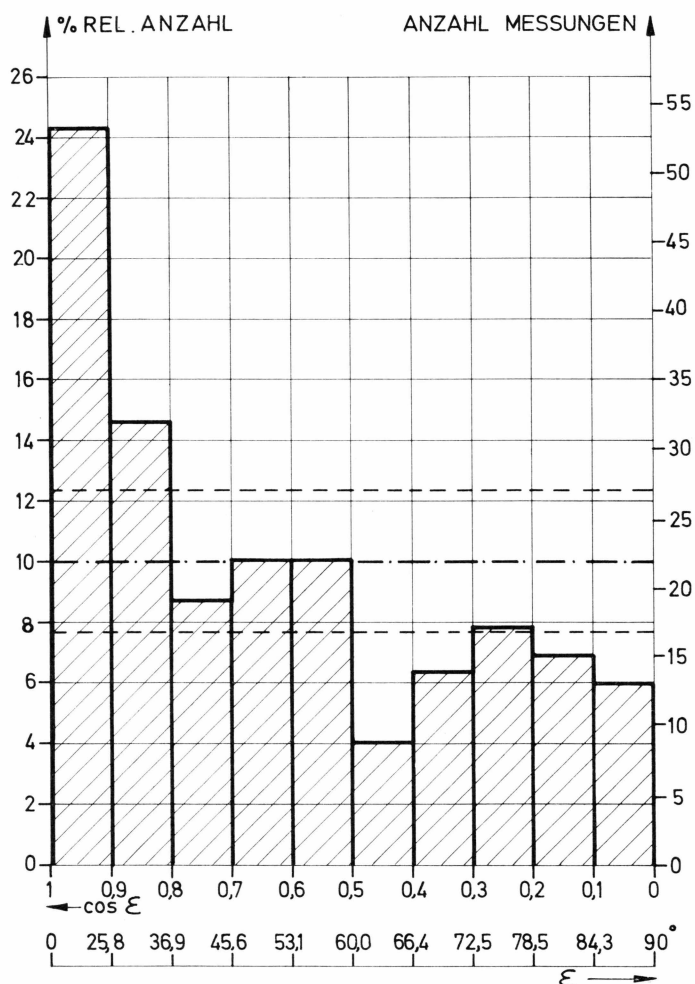


Abb. 53. Verteilung der relativen C-Achsenwinkel im Dünnschnitt DS 30''', Tiefe 1049 cm Schacht Dumont (100 % entsprechen 218 Kornkontaktstellen; strichpunktete Linie: Mittelwert 5,5 %; punktierte Linie: zu erwartende Streuung).

Fehler von ca.  $\pm 5^\circ$  und die Azimutwinkel mit einem solchen von  $\pm 1^\circ$  behaftet sind). Es ist daher nicht zulässig, die Schwankungen mit kristallographischen Parametern des Eises in Verbindung zu bringen.

Wenn man aus der bekannten Einheitszelle des Eises mit den Identitätsabständen  $c = 7.306 \text{ \AA}$  und  $a = 4.476 \text{ \AA}$  relative C-Achsenwinkel  $\epsilon$  für einfache Zwillingbeziehungen berechnet, stösst man auf folgende Werte.

Zwilling nach  $(10\bar{1}1)$ :  $\epsilon = 56^\circ$

Zwilling nach  $(20\bar{2}1)$ :  $\epsilon = 29,6^\circ$



Sie liegen gerade in der Gegend scheinbar etwas bevorzugter relativer Achsenwinkel.

Ein aus dem Schacht Dumont stammender aus zwei Komponenten zusammengesetzter blattförmiger Reifkristall von ca.  $1,5 \times 2,5$  cm Abmessung wies anderseits einen relativen Achsenwinkel zwischen den aneinandergrenzenden Teilen von  $64^\circ \pm 2^\circ$  auf, also ausgerechnet einen in das Minimum von Abb. 53 fallender Wert.

Diese Hinweise mögen lediglich als Anregung zu einer eingehenderen Ueberprüfung der relativen Achsenlagen dienen.

## 11. ETUDE DE LA COUCHE SUPERFICIELLE DE NEVE A JARL-JOSET

Texte abrégé d'après le rapport original de RENÉ SCHNEIDER

### 11.1. Investigation de la couche de névé

#### 11.1.1. Généralités

A la station Jarl-Joset nous avons étudié périodiquement l'état de la couche superficielle de névé jusqu'à la profondeur de 2 mètres sous la surface et deux fois jusqu'à la profondeur de 4 mètres. Ces profondeurs ne correspondent pas chaque fois à la même couche de névé, vu l'accumulation plus ou moins progressive. La limite de profondeur de chaque profil correspond donc à une couche de névé qui n'est généralement plus visible dans le profil suivant, suivant l'importance de l'accumulation.

De Octobre 1959 à juillet 1960, nous avons effectué 9 profils complets, notamment aux dates suivantes:

<i>No</i>	<i>Date</i>	<i>No</i>	<i>Date</i>	<i>No</i>	<i>Date</i>
1	06.10.59	4	11.01.60	7	15.05.60
2	30.10.59	5	09.03.60	8	12.06.60
3	11.12.59	6	13.04.60	9	12.07.60

Le profil effectué entre le 02 et le 09 juillet 1959, nommé No 0, appartient à la même série. Il a été pris par le groupe de la campagne d'été (voir Abb. 32).

Le profil No 2 a été effectué plus tôt que prévu pour éviter d'être pris de court par le mauvais temps qui était susceptible de survenir au mois de novembre.

Quant au profil du mois de février, il n'a pas pu être fait à la date prévue pour cause de tempête prolongée.

#### But de l'étude

Du fait d'avoir relevé régulièrement les observations des profils de neige, nous pouvons essayer de suivre tout au long de la période considérée l'évolution des différentes couches de neige et de les situer dans le temps. D'autre part, cette évolution une fois déterminée, nous permet d'extra-

poler les strates des couches inférieures et de les situer dans le temps à quelques mois près. Ceci est capital pour résoudre notre problème principal qui est la détermination de l'accumulation moyenne annuelle et de suivre éventuellement son évolution au cours d'un certain nombre d'années que nous retrouvons dans chaque profil.

Nous nous proposons donc dans cette étude de dater les différentes couches visibles dans les profils relevés et tout particulièrement les couches d'été et les couches d'hiver. Une fois identifiées, ces couches nous donneront, dans chacun des profils étudiés, la valeur de l'accumulation de l'année considérée et sur l'ensemble des profils nous pourrions obtenir une moyenne relativement précise et expressive.

Pour le datage, on pourrait croire que la couche superficielle de chaque profil fournit un élément précis et irréfutable. Il faut s'en méfier, car cette couche n'est pas obligatoirement recouverte par une nouvelle immédiatement après le relevé, mais au contraire est très souvent l'objet de transformations par le vent et la température. Ainsi cette couche peut présenter des particularités toutes différentes dans deux profils successifs de sorte qu'elle n'est pas toujours identifiable *a priori*.

Par contre, dans l'ensemble des profils il existe une strate dont nous connaissons avec précision la date de formation, strate qui n'a plus subi de transformation susceptible à la rendre inidentifiable. Il s'agit de la couche de glace d'une épaisseur de l'ordre de 1 cm qui s'est formée lors de la période de fonte des 27 et 28 juillet 1959. Cette couche est visible dans 8 profils sur 10. Dans le profil No 0, elle ne peut pas encore l'être, vu que la période de fonte a eu lieu après le relevé. Néanmoins, elle correspond à la strate superficielle car entre le relevé et la période de fonte, il n'y a eu ni précipitation ni vent appréciable. Par contre, dans le profil no 2, nous n'avons pas trouvé trace de cette glace mais malgré cela, nous pouvons situer la couche de neige correspondante.

En conclusion, nous baserons tout le datage sur la couche de glace formée à la fin du mois de juillet 1959.

#### Situation de la zone des profils

L'ensemble des puits a été creusé dans la zone des profils située à environ 300 m au Nord-Ouest de la station, sur deux alignements parallèles (voir Abb. 7, p. 34). Chaque profil a été creusé à environ 20 m du précédent, en partant du cercle de déformation. Seul le profil No 0 a été effectué à environ 150 m à l'W-NW de la station. Cet endroit, prévu initialement pour la zone des profils, a dû être abandonné par la suite à cause des perturbations survenues dans cette zone.

La ligne des profils était balisée par un bambou que nous déplaçons de 20 m environ après chaque relevé et sur l'alignement des balises R 19-R 22. Au printemps 1960, les profils s'approchaient de trop près du champ

des grillages, ce qui nous a obligé de creuser les derniers profils sur une ligne parallèle à la précédente et distante de 30 m environ vers le NW.

### Méthode de travail

Pendant l'hivernage, les profils avaient été effectués d'après deux méthodes différentes dictées chacune par la saison et les possibilités de travail à l'extérieur. En effet, en automne et en hiver, les conditions météorologiques ainsi que la nuit polaire ne permettaient pas d'effectuer tous les travaux du profil à l'extérieur. Aussi les profils des mois d'octobre 1959 à mars 1960 inclu, ont-ils été effectués en partie seulement sur le terrain et en partie au laboratoire. Pour chacun de ces 5 profils nous avons effectué les travaux suivants sur le terrain:

- le profil de battage,
- le profil de température,
- le prélèvement de blocs de névé pour l'étude en laboratoire.

Nous avons prélevé les blocs de névé de façon à permettre l'étude complète de la stratigraphie, du poids spécifique, de la valeur d'eau, de la dureté des couches et à permettre de faire les photographies en transparence des échantillons de névé consécutifs depuis la surface jusqu'au fond du puits d'un profil.

A partir du mois d'avril, tous les travaux, à l'exception de la stratigraphie photographique, ont à nouveau été effectués intégralement sur le terrain.

### 11.1.2. Investigations d'un profil

#### 11.1.2.1. Profil de battage

Pour le battage, nous avons utilisé la sonde normale de l'Institut Fédéral pour l'Etude de la Neige et des Avalanches de Davos.

Pour les profils courants de 2 m nous avons effectué le battage jusqu'à une profondeur de 2,5 m. Pour les profils No 0 et 9, il a été arrêté au voisinage des 3 m de profondeur, car en-dessous il y a une perte très importante du travail par le frottement sur les parois et surtout par l'élasticité des tubes d'aluminium, dès que l'on a à faire à 4 éléments.

#### Précision de battage

Les éléments mesurés, nécessaires pour le calcul de la résistance au battage (R), sont les suivants:

- P*: poids du mouton qui est toujours de 3 kg
- n*: nombre de coups de mouton
- h*: hauteur de chute du mouton
- q*: nombre d'éléments de la sonde

$Q$ : poids d'un élément de la sonde qui est toujours de 1 kg

$\Delta$ : enfoncement de la sonde en centimètres, entre deux lectures.

Ces éléments nous donnent la résistance  $R$  par:

$$R = \frac{P \cdot n \cdot h}{\Delta} + q \cdot Q + P \text{ (kg)}$$

Dans cette formule il n'y a pratiquement que  $\Delta$  qui soit une variable sur laquelle il puisse y avoir une erreur pouvant influencer  $R$ . Les autres grandeurs comme  $n$  et  $q$  sont des nombres entiers sur lesquels aucune erreur n'est possible. Sur la hauteur de chute  $h$  il n'y a pratiquement pas d'erreur possible.

L'erreur sur  $R$  provient essentiellement de celle sur  $\Delta$ . Nous avons effectué les lectures de la sonde à 0,5 cm près. L'erreur sur  $\Delta$ , différence de lectures, est donc de  $\pm 3$  mm. Selon le calcul des erreurs l'erreur sur la résistance au battage est de l'ordre de 5 % en moyenne, pour des lectures de  $\Delta$  de l'ordre de 5 cm, mais elle diminue nettement lorsque les couches de neige sont plus épaisses que 5 cm. Pour l'ensemble de nos 10 profils, les relevés du battage ont été faits en moyenne tous les 5 à 10 cm. L'erreur sur  $R$  est donc de 2 à 5 %.

Néanmoins, il y a d'autres erreurs qui entachent la précision des mesures et plus particulièrement la situation des couches en profondeur. Ainsi, suivant le nombre de coups de mouton effectués, la pointe de la sonde pouvait déjà se trouver dans une couche de neige différente que celle à laquelle se rapportent les mesures ou ne pas encore avoir atteint la séparation des deux couches consécutives. De ce fait, la résistance au battage mesurée se rapporte à une couche fictive d'épaisseur égale à l'enfoncement. En outre la formule ne tient pas compte aux pertes d'énergie par vibration et échauffement de la sonde (erreur systématique).

En conclusion, nous pouvons dire que le battage délimite de façon assez précise l'ensemble des couches de nature bien différente et que la précision sur la stratification varie de  $\pm 2$  cm à  $\pm 5$  cm.

#### 11.1.2.2. Profil de température

Nous avons mesuré les températures de la neige au moyen de thermomètres à Hg gradués de 0,5 en 0,5 degrés. Les thermomètres ont été étalonnés en Suisse avant le départ en expédition.

Comme température de l'air au moment de l'observation nous avons pris la température moyenne, au degré près, qu'indiquait le thermographe de l'abri météorologique pour la durée du relevé des températures du profil.

### 11.1.2.3. Stratigraphie et cristallographie macroscopique

Nous avons étudié la stratigraphie et la cristallographie macroscopique sur des lames minces de névé taillées verticalement dans la paroi du puits. Les strates ont été relevées en transparence et leur profondeur par rapport à la surface mesurée à 0,5 cm près. Toutes les strates visibles ont été relevées, y comprises celles de très faible épaisseur comme par exemple les lamelles de glace de 1 mm ou des strates de neige très dense.

Simultanément au relevé de la stratification nous avons déterminé la nature de la neige: formes et dimensions des grains.

### Dimensions des grains

Dans chaque strate nous avons prélevé des grains de neige que nous avons examinés à la loupe simple ou au binoculaire. A l'aide d'une grille quadrillée nous avons déterminé le diamètre maximum des grains et pour les strates un intervalle, car dans une même strate, il y a des grains non pas de dimensions uniformes mais un ensemble de grains plus ou ou moins fins.

### Formes des grains

Quant à la forme, les grains ont été classés en plusieurs catégories, mais celles-ci sont généralement différentes des catégories de la classification internationale. Nous avons donc fait une classification propre à la neige du Groenland. (La neige fraîche est classifiée selon la classification internationale). La forme des symboles est indiquée sur la figure No 54 (p. 247).

**Les grains arrondis:** Grains isométriques plus ou moins sphériques, arrêtes arrondies.

Les grains d'un diamètre de quelques dixièmes de millimètre ont en général été classés dans cette catégorie parce que leur forme est assez sphérique et les aspérités de leur surface peu appréciables. Sur certains de ces grains nous avons encore pu distinguer des faces planes plus ou moins marquées, mais malgré tout rares. Symbole: un *point noir*.

### Les grains anguleux:

Les grains anguleux présentent des arrêtes vives bien discernables ainsi que des facettes. Leur diamètre varie en général entre 0,5 et 1,5 mm. Symbole: *un carré*.

### Les grains irréguliers:

Les grains de neige dits „irréguliers“ n'ont pas de forme bien précise. Souvent il s'agit d'une espèce *d'éclats de grains* plus ou moins broyés de provenance éolienne probable. Ces grains ont en général des arrêtes vives

et présentent des pointes aigues. Cette espèce de grains irréguliers a en général un diamètre de 0,1 à 0,5 mm.

Une autre espèce de grains irréguliers se présente sous forme d'un agglomérat de plusieurs grains très fins, mais associés de façon absolument arbitraire, du moins à l'examen à la loupe. Leur diamètre est de l'ordre de quelques dixièmes de millimètre. Symbole: *une croix*.

#### Les grains allongés:

Ces grains ont une longueur nettement supérieure (3 à 6 fois) à leur diamètre sans rapport constant entre ces deux dimensions. Ils sont en général assez cylindriques et présentent aux deux extrémités une surface relativement sphérique. Sur toute la longueur le diamètre n'est pas rigoureusement constant; ces grains présentent la plupart du temps des rétrécissements ou des renflements; quelquefois aussi, ils sont plus ou moins incurvés. Généralement leur diamètre est de quelques dixièmes de millimètre et leur longueur de quelques millimètres. Symbole: *un ovale à grand axe horizontale*.

#### Les gobelets, les prismes, les plaques:

Ces trois espèces de cristaux ne se rencontrent que dans les couches à gros grains ou dans les couches de givre. Ce sont les seules espèces où la structure hexagonale est visible. Symboles: respectivement le *V renversé*, le *rectangle*, l'*hexagone*.

#### Le givre:

Son symbole est celui du givre de surface, soit *un rectangle ouvert vers le haut*. Par suite de la métamorphose en profondeur, il apparaît des formes de cristaux semblables à des gobelets. Dans ce cas nous les représentons par des *V* vides ou pleins suivant leur nature.

#### Les couches de glace:

Horizons d'une série de lentilles de glace d'extension variable et pouvant atteindre l'ordre de 1 à 2 m de diamètre. Symbole de la glace: *couche pleine*.

#### La neige imprégnée:

Horizons de forme semblable aux lentilles de glace, mais d'une structure moins compacte. Symbole: *couche hachurée*.

#### Les lamelles denses:

Il arrive fréquemment de trouver dans les couches de neige des lamelles très marquantes d'une densité bien supérieure à la neige en-

vironnante. Ces lamelles ont une épaisseur variant de quelques dixièmes de millimètre à 2 mm. A la loupe il n'était pas possible de discerner leur nature, mais par l'examen de coupes-minces, il semble que ces lamelles sont d'origine éolienne. En effet, il y en a de deux espèces :

- celles qui ressemblent à de la neige simplement plus dense
- celles qui ressemblent à des lamelles de glace.

Les coupes-minces montrent que les deux espèces sont formées de grains de neige, mais de diamètre différent.

Celles qui ressemblent à des lamelles de glace sont formées de grains allongés dont le grand axe est parallèle à la stratification générale des couches. Ces grains ont probablement pris la position horizontale sous l'effet d'un vent d'une force juste suffisante à provoquer un léger chasse-neige de surface.

Celles qui ressemblent à de la neige simplement plus dense sont formées de grains très fins remplissant les pores de la neige environnante. Ces lamelles peuvent aussi avoir une origine éolienne, notamment par vent assez fort provoquant le bris des grains de neige. Mais elles peuvent aussi être produites par la chute des „cristaux de glace“ se formant dans l'atmosphère par temps calme, clair et froid. Symbole: *petite flèche horizontale indiquant la strate*.

Nous n'avons jamais déterminé les proportions des grains constituant les couches. Mais lors du relevé nous avons toujours noté en premier lieu l'espèce de grains dont le nombre était prépondérant dans la couche, en second et troisième lieu, ceux dont le nombre allait en diminuant. Lorsque dans une couche ne figuraient que quelques grains d'une certaine espèce, nous avons fait précéder le nom de „qq“.

### Stratigraphie photographique

Les lames minces de neige (1 à 2 cm d'épaisseur), sur lesquelles nous avons effectué le relevé stratigraphique, ont également été photographiées en lumière transparente artificielle en même temps que les repères de profondeur avec les cotes correspondantes. Sur les documents photographiques nous ne pouvons pas distinguer la nature de la neige, mais en général les différentes couches qui apparaissent avec des teintes plus ou moins claires, suivant leur perméabilité pour la lumière. Les couches sombres sont en général des couches compactes et inversement. Cette méthode n'est pas équivalente à l'observation dans la lumière parallèle du soleil (voir 6.4.1.), néanmoins ces photographies facilitent beaucoup l'identification des couches dans les différents profils. Le profil No 9 n'a pas été photographié.

Pour photographier les lames de neige, nous les avons posées sur une plaque en plexiglass illuminée par en-dessous au moyen d'un tube



au néon. Les photos avaient été prises avec l'Alpa 24 × 36 sur film Kodak Panatomic X, à l'échelle du 1/10. (A trouver dans les archives EFENA Weissfluhjoch/Davos).

#### 11.1.2.4. Poids spécifiques

(Instruments, méthodes et précision voir section 6.4.1.).

Les sondes ont été enfoncées horizontalement dans le névé pour le prélèvement des 500 cm<sup>3</sup> de neige. Nous avons procédé à ces prélèvements environ tous les 5 à 7 cm en profondeur. Les profondeurs relevées correspondent au centre de la sonde, donc au centre de la carotte prélevée. Les sondes n'ont pas été enfoncées suivant la même verticale, mais suivant deux ou trois verticales parallèles. Ceci afin de pouvoir déterminer les poids spécifiques avec une plus grande densité, vu que le diamètre extérieur des sondes est de 6 cm environ.

Pour le calcul et le report des poids spécifiques, nous admettons que ces derniers sont constants dans l'intervalle défini par les mi-profondeurs de deux prélèvements successifs.

#### 11.1.2.5. Valeurs d'eau

Les valeurs d'eau ont été prélevées avec les mêmes instruments que les poids spécifiques. Mais la méthode de prélèvement des carottes est différente.

Nous avons enfoncé les sondes verticalement dans le névé et ceci généralement en procédant de préférence par couches de nature semblable. Pour faciliter ce travail, nous avons enfoncé des plaques d'aluminium parallèlement aux couches et les prélèvements ont été faits ainsi de plaque en plaque dont les profondeurs ont été relevées au préalable. Nous disposons donc des valeurs d'eau par couches successives.

La précision des mesures n'est entachée que de l'erreur sur le poids qui est également de 0,5 gr. Or, la valeur d'eau vaut:

$$\varphi = \frac{P}{S} \text{ où } P \text{ est le poids de neige donc le volume d'eau correspondant et } S \text{ la section de la sonde, soit } 25,5 \text{ cm}^2$$

Nous avons donc:

$$d\varphi = \frac{1}{S} \times dP$$

d'où  $d\varphi = \pm 0,2 \text{ mm d'eau}$ , erreur sur une mesure partielle.

Or, la valeur d'eau pour une certaine profondeur est la somme des valeurs d'eau partielles mesurées depuis la surface jusqu'à cette profondeur. Nous avons donc:

$$V = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_n$$

$$\text{d'où } dV = \pm 0,2 \sqrt{n}$$

Ainsi pour une profondeur de 2 m où il faut en moyenne 12 a 13 mesures, nous avons une erreur moyenne de  $\pm 0,7$  mm. Ceci est vraiment négligeable.

11.1.2.6. Dureté

Les duretés ont été mesurées horizontalement avec le pénétromètre H 45 (voir section 6.4.1. „Pfeilhärte“) et en général à raison de 3 ou 4 mesures par couche. A partir du profil No 6 nous n'avons plus procédé par couche mais de 10 en 10 ou de 20 en 20 cm. Pour les mesures faites dans une certaine couche, nous admettons qu'elles sont valables sur toute l'épaisseur de cette couche.

Pour chaque couche, nous avons mesuré l'enfoncement 3 ou 4 fois suivant la dispersion des mesures. La précision des mesures est fonction de l'enfoncement. En résumé on trouve:

- en dessous de 6 kg/cm<sup>2</sup>, erreur moyenne de  $\pm 0,3$  kg/cm<sup>2</sup>
- de 6 à 15 kg/cm<sup>2</sup>, erreur moyenne de  $\pm 2$  à  $\pm 5$  kg/cm<sup>2</sup>.

11.1.3. Les observations réduites

11.1.3.1. Profils de battage

(représentation graphique: Fig. 54 à 62 valeurs chiffrées voir rapport original)

11.1.3.2. Profils de température

Tableau No 72. *Températures des profils No 1 à 9, Station Jarl-Joset*  
(Profil No 0 voir Tabelle 58, p. 163)

Représentation graphiques: Fig. 54 à 62

*Z* = profondeur à partir de la surface en centimètres  
*T* = température négative de la neige en (°C)  
AIR = température négative de l'air au moment de l'observation mesurée dans l'abri météo.

Profil No 1		Profil No 2		Profil No 3		Profil No 4	
Z	T	Z	T	Z	T	Z	T
4	23,8	10	29,3	10	29,6	surface	29,1
10	23,1	20	27,5	20	28,0	12	24,4
20	23,0	30	26,6	30	28,7	20	25,2
28	22,5	40	26,0	40	26,5	30	26,1
40	22,5	50	25,6	50	26,5	40	28,0
50	22,6	60	25,0	60	27,2	50	29,4
60	22,5	70	24,8	70	29,7	60	30,1
70	22,5	80	24,6	80	27,7	70	30,5
80	22,4	90	24,4	90	27,6	80	30,8

(continuation)



## 11.1.3.3. Profile stratigraphiques

(tableaux récapitulatifs voir rapport original; représentation graphique: Fig. 54 à 62, pp. 247–255 et Abb. 25 entre pp. 76 et 77).

## 11.1.3.4. Poids spécifiques

Tableau No 73. *Poids spécifiques des profils No 1 à 9, Station Jarl-Joset*  
(Profil No 0 voir Tabelle 30, p. 91)

$Z$  = profondeur à partir de la surface en centimètres

$\gamma$  = poids spécifique en kg/cm<sup>3</sup>

$H_w$  = valeur d'eau cumulée à partir de la surface en centimètres (calculée par  $\gamma$  et  $Z$ )

Profil No 1			Profil No 2			Profil No 3		
$Z$	$\gamma$	$H_w$	$Z$	$\gamma$	$H_w$	$Z$	$\gamma$	$H_w$
4,0	87	0,4	5,5	241	1,3	6,0	316	1,9
8,0	106	0,8	9,2	236	2,2	12,2	304	3,8
12,0	296	2,0	14,2	237	3,4	19,2	360	6,3
15,5	296	3,0	18,8	232	4,4	26,5	310	8,6
19,5	316	4,2	22,2	254	5,3	34,5	266	10,7
23,5	316	5,5	26,5	289	6,5	42,5	254	12,7
27,5	265	6,6	31,7	326	8,2	49,5	344	15,1
33,5	312	8,4	37,2	326	10,0	56,5	356	17,6
39,0	388	10,6	41,8	338	11,6	63,8	310	19,9
43,5	354	12,2	46,5	310	13,0	71,2	366	22,6
+ 48,0	364	13,8	52,5	244	14,5	78,5	366	25,3
52,5	387	15,5	58,0	312	16,2	85,0	380	27,7
56,5	465	17,4	64,0	370	18,4	91,5	410	30,4
60,0	423	18,9	71,0	375	21,1	96,2	400	32,3
64,0	396	20,5	78,0	379	23,7	101,5	392	34,4
69,0	452	22,7	84,8	369	26,2	109,2	392	37,4
75,0	430	25,3	90,8	376	28,4	116,5	341	39,9
81,0	408	27,8	97,5	383	31,0	122,5	402	42,3
87,5	415	30,4	105,2	406	34,2	128,0	336	44,1
94,5	371	33,1	111,5	303	36,1	135,5	306	46,4
101,0	282	34,9	117,0	265	37,5	144,0	356	49,5
107,0	308	36,7	124,2	405	40,5	152,0	386	52,6
113,0	350	38,8	131,5	354	43,0	158,5	392	55,1
120,5	374	41,6	137,8	360	45,3	164,0	432	57,5
129,5	410	45,3	144,5	376	47,8	169,5	398	59,7
136,0	412	48,0	151,2	395	50,5	176,0	312	61,7
141,5	395	50,2	154,8	400	51,9	183,5	348	64,3
150,0	356	53,2	158,2	418	53,4	190,2	328	66,5
159,5	282	55,9	166,2	316	55,9	196,8	414	69,2
168,0	368	59,0	173,2	288	57,9	200,0	429	70,6
176,0	396	62,2	178,8	358	59,9			
180,0	364	63,6	185,2	394	62,4			
			191,8	406	65,1			
			198,2	412	67,8			
			201,5	422	69,1			

(continuation)

Tableau 73 (cont.)

Profil No 4			Profil No 5			Profil No 6		
Z	$\gamma$	$H_w$	Z	$\gamma$	$H_w$	Z	$\gamma$	$H_w$
8,5	312	2,6	6,2	256	1,6	7,5	292	2,2
16,0	350	5,3	12,0	274	3,2	13,5	368	4,4
23,2	352	7,8	18,0	334	5,2	20,5	392	7,1
31,0	364	10,6	24,0	342	7,2	27,0	384	9,6
35,2	299	11,9	30,0	330	9,2	34,0	332	12,0
39,0	288	13,0	36,0	308	11,0	41,5	332	14,4
45,2	294	14,8	41,0	328	12,7	47,5	316	16,4
51,0	286	16,5	46,5	300	14,3	54,5	320	18,6
56,5	306	18,2	53,0	276	16,1	62,0	288	20,8
62,5	354	20,3	59,0	284	17,8	68,5	260	22,4
67,2	360	22,0	65,0	324	19,8	76,0	344	25,0
72,0	352	23,6	70,0	338	21,5	84,0	332	27,7
79,0	228	25,3	77,5	228	23,2	90,5	306	29,7
80,0	493	25,7	86,0	432	26,8	96,5	200	30,9
86,8	338	28,0	92,0	352	28,9	103,0	316	32,9
93,5	360	30,5	98,0	372	31,2	110,0	370	35,5
100,5	376	33,1	104,0	380	33,5	117,0	370	38,1
107,8	408	36,0	110,0	388	35,8	123,5	388	40,6
114,8	400	38,8	117,0	404	38,6	130,0	400	43,2
122,5	340	41,5	124,0	400	41,4	137,0	380	45,9
130,5	410	44,8	130,0	360	43,6	144,5	368	48,6
137,8	266	46,7	136,5	336	45,8	152,0	312	51,0
144,8	284	48,7	143,0	316	47,8	159,0	248	52,7
151,2	320	50,8	149,0	350	49,9	166,0	280	54,7
157,2	400	53,2	154,5	360	51,9	173,5	364	57,4
163,5	374	55,5	161,5	384	54,6	180,5	400	60,2
168,0	384	57,2	169,0	382	57,4	188,0	420	63,4
172,2	434	59,1	174,5	414	59,7	194,0	410	65,8
178,8	413	61,8	180,0	436	62,1	198,0	406	67,5
186,0	296	63,9	186,0	444	64,7	200,0	328	68,1
193,5	364	66,6	192,0	300	66,6			
201,0	376	69,5	198,0	332	68,6			
208,5	410	72,5	201,0	372	69,7			
212,0	388	73,9						

Profil No 7			Profil No 8			Profil No 9					
7,5	308	2,3	9,5	310	3,0	8,5	278	2,4	197,0	324	71,6
12,5	326	3,9	17,5	382	6,0	15,5	340	4,7	203,5	338	73,8
17,5	364	5,8	25,5	418	9,4	22,5	416	7,6	210,5	392	76,6
22,5	350	7,5	33,0	356	12,0	30,0	388	10,6	218,0	400	79,6
28,5	386	9,8	41,0	356	14,9	38,0	376	13,6	226,5	392	82,9
36,0	376	12,6	49,5	344	17,8	45,5	388	16,5	234,0	450	86,3
43,5	362	15,4	57,5	338	20,5	52,5	336	18,8	241,0	444	89,4
51,5	364	18,3	65,0	340	23,0	59,0	314	20,9	248,5	406	92,4
59,5	320	20,8	71,5	362	25,4	64,0	344	22,6	255,5	428	95,4

(continuation)

Tableau 73 (cont.)

Profil No 7			Profil No 8			Profil No 9					
66,5	306	23,0	78,5	276	27,3	71,0	398	25,4	262,0	358	97,7
73,5	354	25,5	87,0	360	30,4	77,5	364	27,8	267,5	348	99,6
83,5	368	29,1	95,0	362	33,3	83,5	284	29,4	273,5	470	102,5
95,0	420	34,0	103,0	400	36,5	91,5	452	33,1	281,0	372	105,3
103,5	390	37,3	111,5	412	40,0	99,0	382	35,9	290,0	414	109,0
111,5	400	40,5	121,0	436	44,1	106,5	368	38,7	298,0	386	112,1
122,0	406	44,8	130,5	402	48,0	113,5	356	41,2	301,0	428	113,4
132,0	422	49,0	139,0	376	51,2	122,0	386	44,5			
140,0	424	52,4	147,0	260	53,2	130,5	344	47,4			
148,5	368	55,5	155,5	372	56,4	137,5	340	49,8			
157,0	292	58,0	164,5	376	59,8	145,5	268	51,9			
165,0	360	60,8	173,5	392	63,3	153,5	324	54,5			
173,0	394	64,0	182,0	392	66,6	161,0	384	57,4			
181,0	380	67,0	190,5	414	70,2	169,0	402	60,6			
189,0	404	70,3	200,0	296	73,0	177,0	414	63,9			
197,5	440	74,0	205,0	376	74,9	184,0	412	66,8			
202,0	308	75,4				190,5	420	69,5			

11.1.3.5. Valeurs d'eau

Tableau No 74. Valeurs d'eau mesurées des profils No 2 à 9, Station Jarl-Joset (détermination directe)

Z = profondeur à partir de la surface, en centimètres

H<sub>w</sub> = valeur d'eau cumulée à partir de la surface, en centimètres

Il n'y a pas eu de détermination directe des valeurs d'eau pour les profils no 0 et No 1.

Profil No 2		Profil No 3		Profil No 4		Profil No 5	
Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
13,5	3,2	15,5	4,1	14,5	4,4	12,0	2,8
23,0	5,6	36,0	10,0	34,0	11,2	24,0	7,0
44,0	12,6	45,5	12,7	42,0	13,4	38,0	11,4
52,5	14,9	63,0	16,9	55,0	18,2	47,0	14,1
53,5	15,1	65,0	17,4	72,0	24,1	59,0	18,0
57,0	16,4	80,0	22,9	79,0	25,8	74,0	22,8
71,0	21,3	100,0	30,8	80,0	26,4	79,0	24,4
84,0	25,0	120,0	38,0	95,0	31,8	90,0	29,3
95,5	30,4	135,0	43,0	110,0	37,8	105,0	35,1
105,5	34,2	136,0	43,3	123,0	42,9	118,0	40,6
120,0	38,2	155,0	50,0	141,0	48,2	130,0	44,7
141,0	45,9	172,0	56,0	155,0	52,8	142,0	48,6
157,0	52,3	190,0	62,1	172,0	59,9	154,0	52,7
176,0	58,2	208,0	69,1	179,0	62,8	162,0	56,7
190,0	63,9			195,0	67,7	170,0	60,4
205,0	70,2			210,0	73,3	187,0	67,4
						201,0	71,7
						211,0	75,4

(continuation)

Tableau 74 (cont.)

Profil No 6		Profil No 7		Profil No 8		Profil No 9	
Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>	Z	H <sub>w</sub>
0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
15,0	4,6	15,0	4,7	15,0	4,2	15,0	4,0
34,0	11,5	33,0	11,4	30,0	9,9	30,0	9,8
45,5	16,3	50,0	17,5	45,0	15,6	45,0	15,6
64,5	21,9	65,0	22,4	60,0	20,7	65,0	22,5
79,5	26,7	85,0	29,0	78,0	26,4	83,0	28,7
95,0	31,5	100,0	35,0	95,0	32,2	100,0	35,9
106,0	34,9	115,0	40,8	110,0	38,2	115,0	41,7
116,0	38,6	130,0	47,2	125,0	44,7	130,0	47,0
135,5	45,7	145,0	53,1	140,0	50,1	151,0	53,6
154,0	52,2	160,0	57,7	155,0	54,7	165,0	59,5
163,0	54,6	175,0	63,3	170,0	60,6	180,0	65,4
180,0	60,8	190,0	69,3	185,0	66,5	200,0	72,3
202,0	69,0	208,0	75,9	200,0	71,8	215,0	78,2
						230,0	84,2
						245,0	90,8
						265,0	98,2
						280,0	103,7
						300,0	111,7

11.1.3.6. Profils de dureté:

(Représentation graphique voir Fig. 54 à 62; chiffres voir rapport original).

11.1.3.7. Remarques sur la représentation graphique des relevés

(Fig. 54 à 62).

Les graphiques des 5 éléments battage, température, dureté et poids spécifique.

Les résistances au battage n'ont été représentées que jusqu'à une valeur maximale de 300 kg. Pour les valeurs supérieures, le diagramme est amorcé en tireté.

Sur les diagrammes de températures, nous avons représenté les quelques températures mesurées au thermomètre à alcool avec deux cercles concentriques. Il ressort nettement des profils No 3 à 5 que ces températures sont entachées d'une erreur systématique. Nous avons reporté en pointillé les températures probables en augmentant les températures mesurées de 2,3° C.

Les poids spécifiques n'ont pas été reportés en fonction des profondeurs des centres des sondes. Par exemple pour trois mesures consécutives à 10–20 et 30 cm de profondeur, nous avons admis que le poids

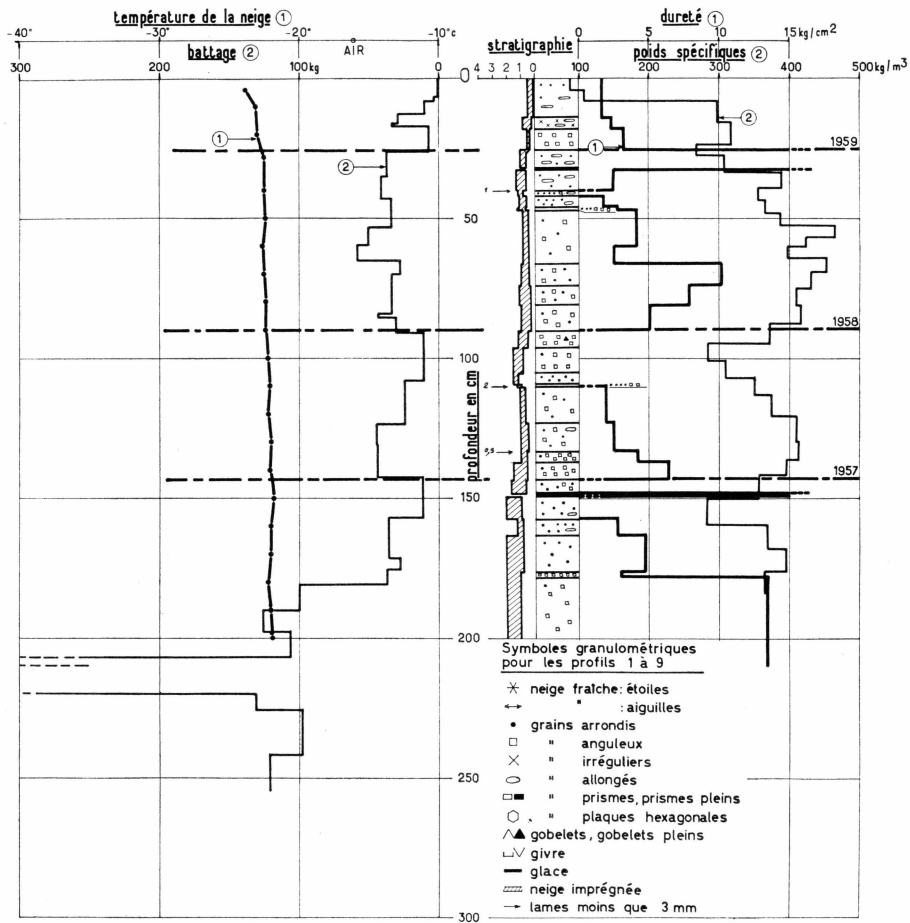


Fig. 54. Profil de neige No 1 du 6.10.1959 Station Jarl-Joset.



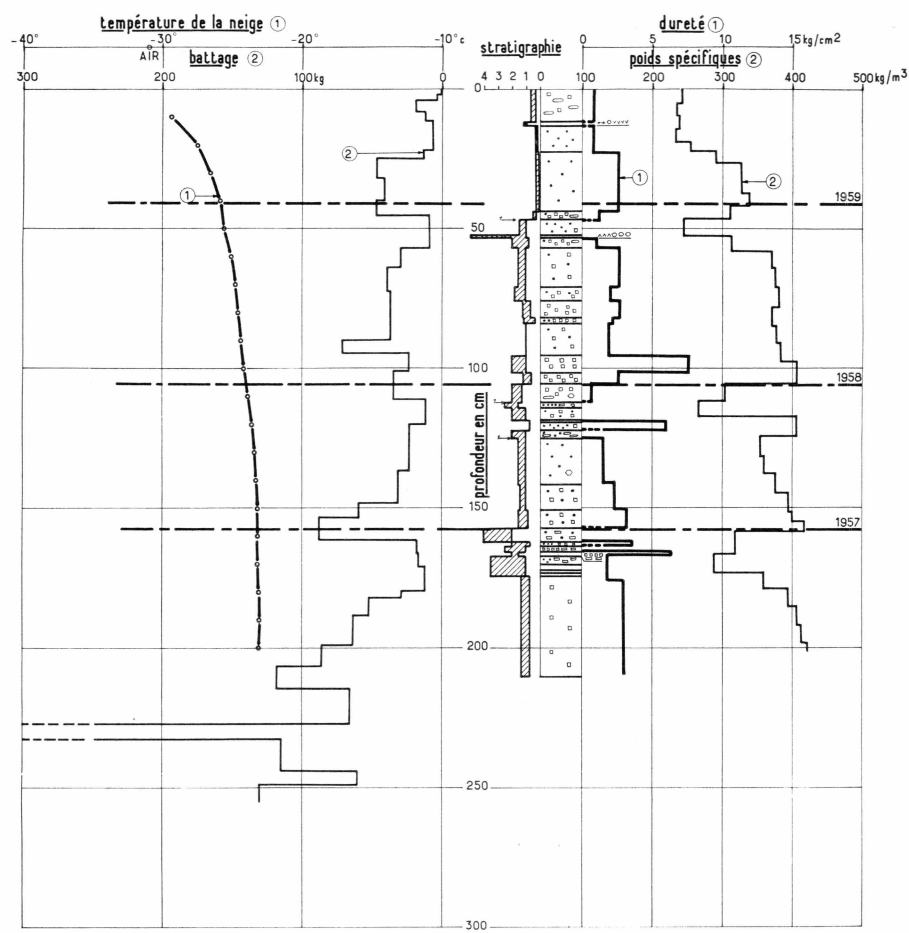


Fig. 55. Profil de neige No 2 du 30.10.1959 Station Jarl-Joset.

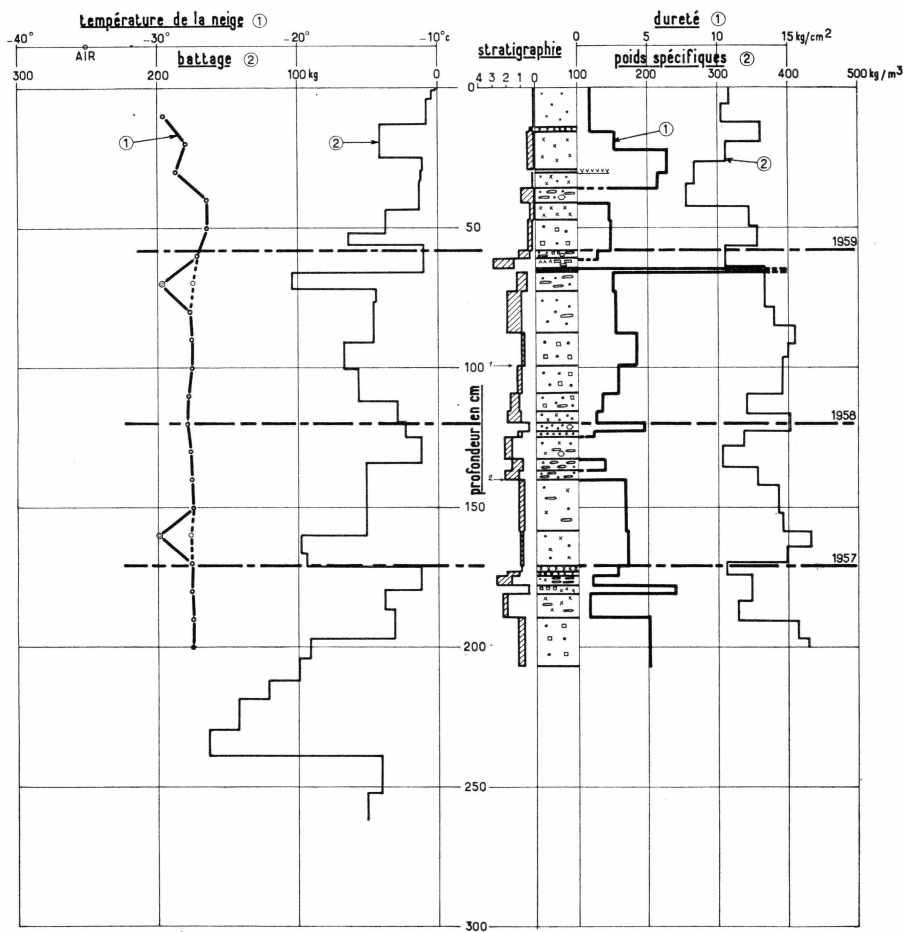


Fig. 56. Profil de neige No 3 du 11.12.1959 Station Jarl-Joset.

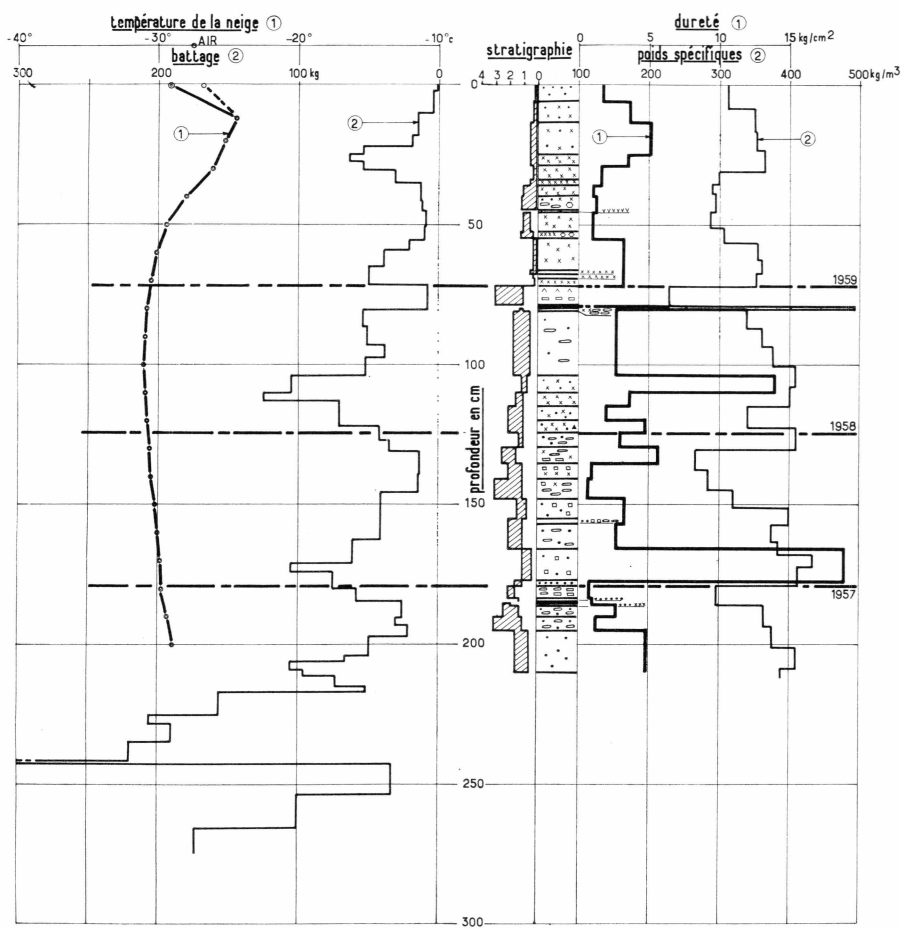


Fig. 57. Profil de neige No 4 du 11.1.1960 Station Jarl-Joset.

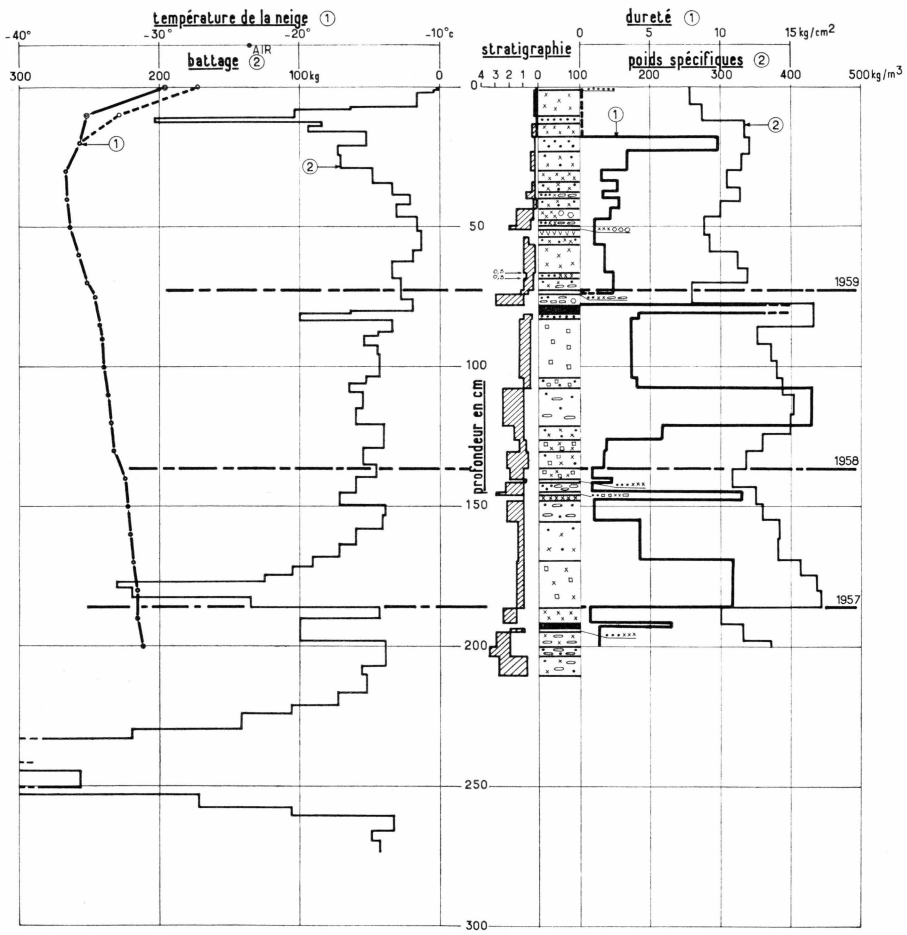


Fig. 58. Profil de neige No 5 du 9.3.1960 Station Jarl-Joset.

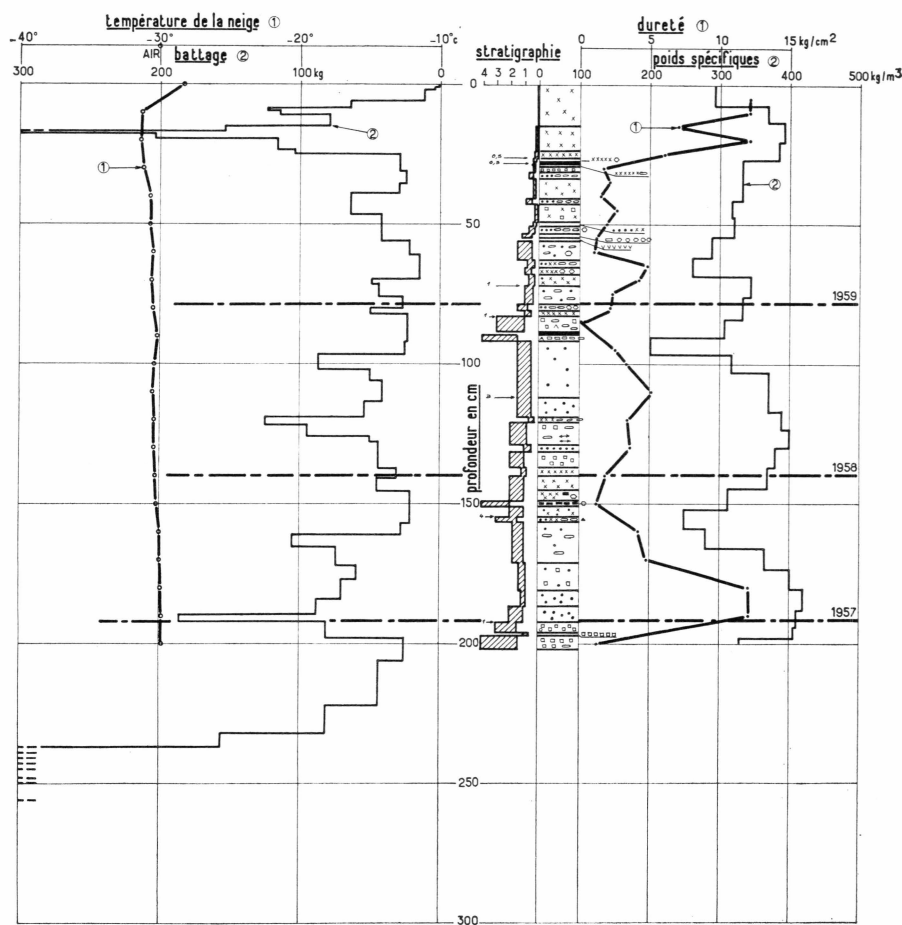


Fig. 59. Profil de neige No 6 du 13.4.1960 Station Jarl-Joset.

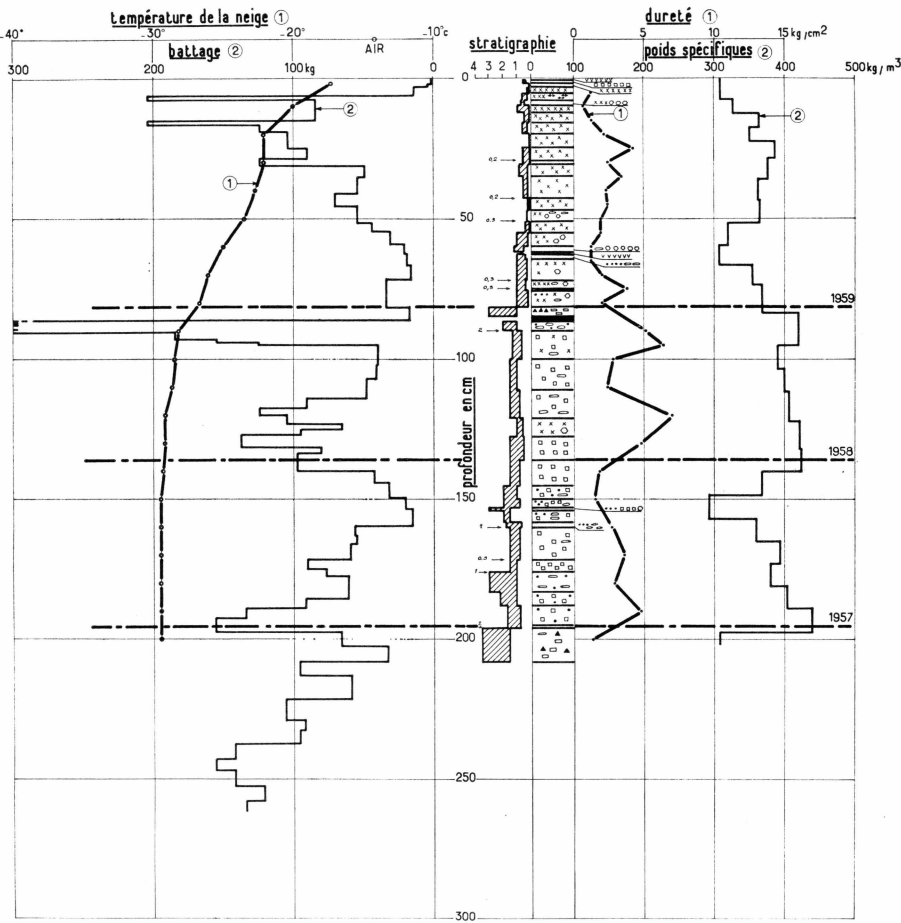


Fig. 60. Profil de neige No 7 du 15.5.1960 Station Jarl-Joset.

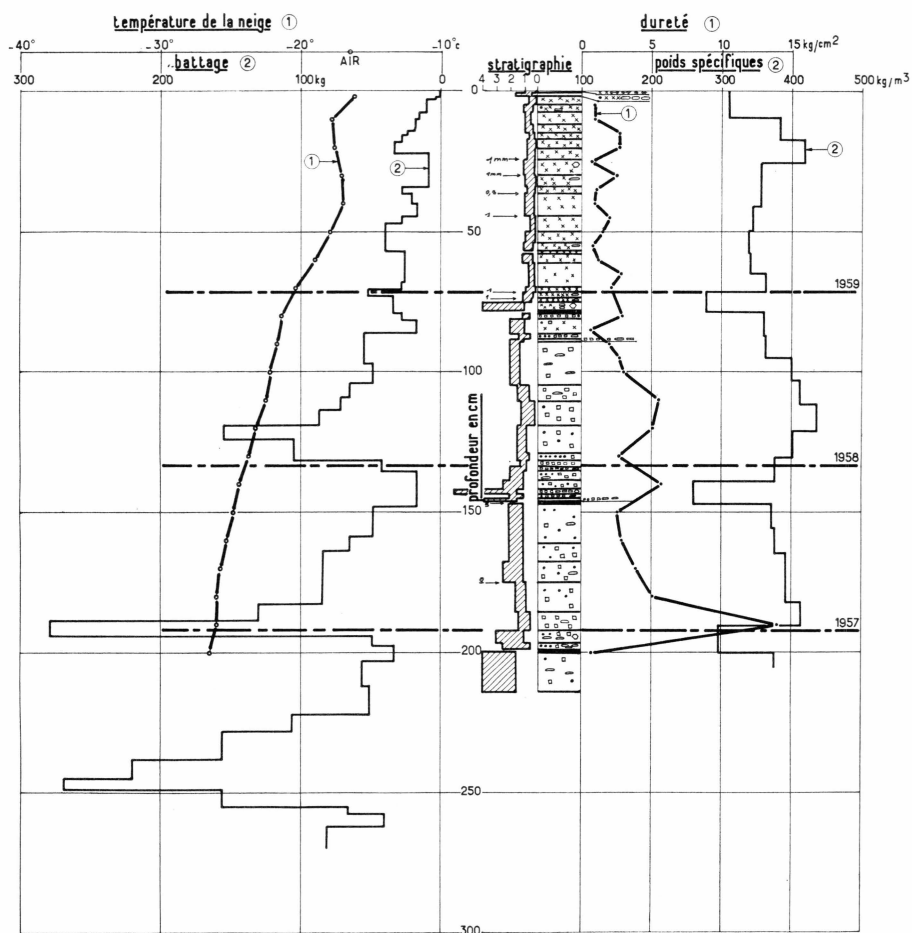


Fig. 61. Profil de neige No 8 du 12.6.1960 Station Jarl-Joset.

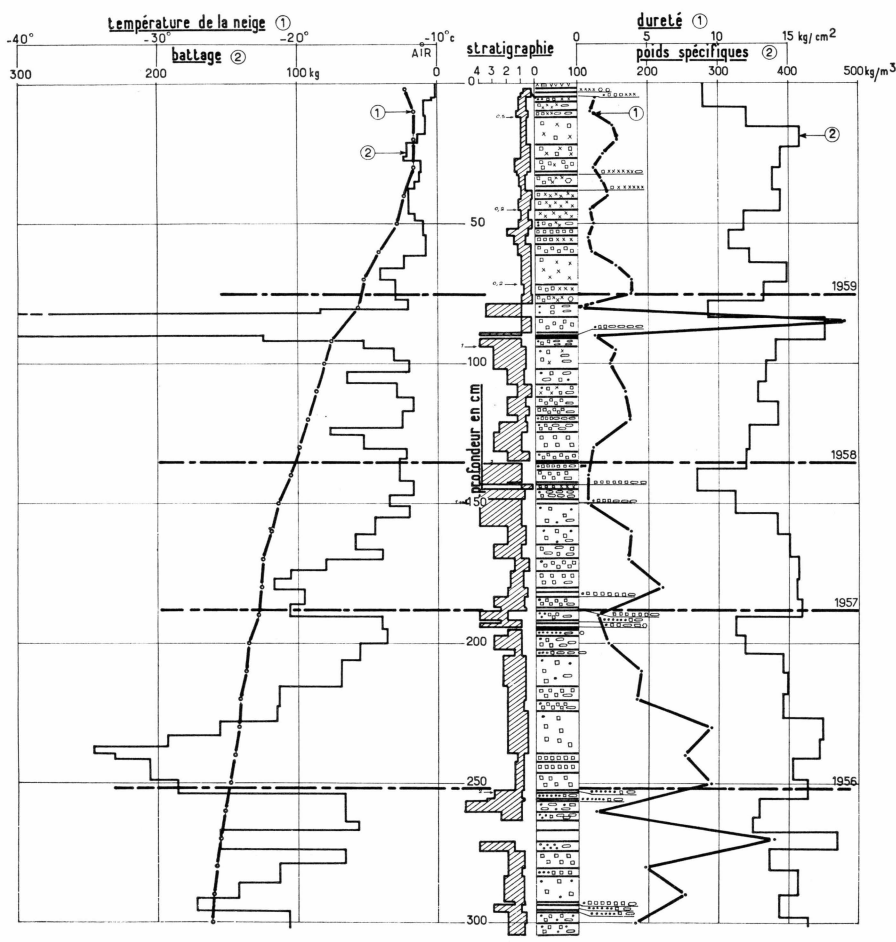


Fig. 62. Profil de neige No 9 du 12.7.1960 Station Jarl-Joset.



spécifique mesuré à 20 cm de profondeur est constant dans tout l'intervalle allant de 15 à 25 cm.

Nous avons procédé de même pour le report des **duretés** tant que le relevé a été effectué par strates. A partir du profil No 6 nous les avons relevées et reportées comme les températures.

Pour la **stratigraphie**, nous avons reporté les symboles comme suit: 6 par couche dont 3 et 3 lorsqu'il n'y a que deux espèces de grains en présence et en proportion égale. Les autres variantes se déduisent d'elles-mêmes. Il peut arriver qu'il y ait 8 symboles dans le cas ou, en outre de la composition normale de la couche, figurent quelques grains d'une autre espèce.

## **11.2. Profil dans le temps de la couche de névé superficielle**

### **11.2.1. Introduction**

Le problème principal que nous essayons de résoudre dans le présent chapitre consiste à déterminer, dans les 10 profils relevés, les couches annuelles et à en déduire les valeurs d'eau correspondantes, c'est-à-dire l'accumulation annuelle correspondante. Nous ferons une étude détaillée de la stratigraphie de la couche de neige 1959/1960, pour laquelle nous avons un certain nombre de références. Nous utiliserons les résultats de cette étude pour les appliquer aux couches de neige sous-jacentes. Nous espérons ainsi pouvoir déduire des particularités concernant les strates séparant deux couches annuelles et délimitant les années hydrologiques consécutives. Cette identification une fois établie, nous pouvons en déduire les valeurs d'eau des couches annuelles dans les différents profils, étudier les variations de l'accumulation 1959/1960 et les comparer aux résultats obtenus par les grillages ou les relevés de hauteur de neige de F. BRANDENBERGER pour la même période.

### **11.2.2. Datage sommaire des couches annuelles**

#### **Quelques considérations préliminaires**

Dans les relevés des 10 profils de neige, il y a une série de couches semblables généralement à poids spécifique plus faible que les autres couches et également à résistance au battage et dureté faibles. Ces couches sont toujours constituées de grains nettement plus gros que les autres couches et renferment souvent des lentilles de glace. Il est évident que ces lentilles de glace ne se forment qu'au courant d'une période chaude et à rayonnement intense. Ce phénomène a pu être observé directement les 27 et 28 juillet 1959 où il y a eu une légère

fonte en surface pendant deux heures environ autour de midi vrai. Cette période de fonte a donné naissance à un horizon de glace, constitué essentiellement de plaques ou de lentilles de glace d'une épaisseur de 1 cm environ, mais de diamètres très variables allant de quelques dizaines de centimètres à plus d'un mètre parfois (voir chapitre 9.3. page 211).

Cet horizon est visible dans 8 profils sur 9 effectués après la période de fonte. Sur le profil no 2 du 30.10.1959 nous avons pas pu distinguer de glace dans les parois du puits de 2 m, mais la couche à gros grains est nettement visible et correspond en profondeur à l'emplacement de la glace. Cette absence est difficilement explicable vu l'ouverture de 2 m  $\times$  1,5 m du puits, alors que l'espacement des plaques de glace est en général compris entre quelques dizaines de centimètres et un mètre environ.

Après la période chaude qui a donné naissance à cette couche à gros grains, évidemment une formation estivale, arrivent progressivement la baisse de température et les chutes de neige de la fin de l'été et du début de l'automne. Il semble que la chaleur emmagasinée dans les couches superficielles de l'été produise avec cette chute de température une circulation d'air chaud et de vapeur d'eau vers l'extérieur en traversant ces couches de neige fraîche. Dans ces couches se produit alors une métamorphose dit „constructive“, transformant les grains généralement fins en une espèce de „gros sel“. Ces strates sont très apparents, surtout si elles se trouvent au-dessus d'une couche de glace ou d'une couche de neige imprégnée. Lorsque la couche de glace ou de neige imprégnée n'existe pas, la séparation avec les couches supérieures ou inférieures est généralement moins nette et souvent très progressive. Ce phénomène est normal si l'on considère l'absence de frein à la circulation d'air chaud que constitue soit la glace, soit la neige imprégnée.

Dans le cas où l'une ou l'autre de ces couches existe, la délimitation est nette et assez facile à faire pour la couche annuelle. La strate supérieure de la couche à gros grains *correspond alors à la séparation de deux années hydrologiques consécutives*. Dans le cas où la couche de neige métamorphosée passe progressivement à la couche d'hiver, il faut tenir compte de la dureté, du battage, du poids spécifique pour déterminer la strate séparative.

Ces couches à gros grains et à lentilles de glace sont donc une caractéristique des couches de neige des étés. Nous pouvons donc en faire un datage sommaire.

#### Datage sommaire des couches d'été

En fonction des considérations précédentes et à l'appui des graphiques des 9 profils de neige, nous pouvons établir les tableaux No 75 et No 76.

Tableau No 75. *Dimensions et profondeur des couches estivales. (Station Jarl-Joset). Profondeur en cm*

Profil No	Profondeurs Probables des couches en fonction de:				
	Stratigraphie	Battage	Dureté	Pds spécif.	Eté
1	25,5	17,0	25,5	23,5	1959
	à 42,0	à 26,0	à 32,5	à 33,5	
	90,0	91,0	90,0	87,5	1958
	à 105,0	à 108,0	à 110,0	à 113,0	
	143,0	142,5	143,0	141,5	1957
	à 157,0	à 157,0	à 157,0	à 159,5	
2	44,0	45,5	44,0	42,0	1959
	à 57,0	à 57,0	à 57,0	à 58,0	
	105,5	94,5	101,5	105,5	1958
	à 125,0	à 120,0	à 119,0	à 117,5	
	157,0	161,5	157,0	158,5	1957
	à 176,0	à 182,0	à 165,5	à 173,5	
3	58,5	56,0	58,5	56,5	1959
	à 66,0	à 66,0	à 65,0	à 64,0	
	120,0	112,0	123,0	122,5	1958
	à 133,0	à 134,0	à 140,5	à 135,5	
	171,0	170,0	171,0	169,5	1957
	à 189,5	à 197,0	à 189,5	à 190,5	
4	72,0	71,5	72,0	72,0	1959
	à 81,0	à 80,5	à 79,0	à 87,0	
	129,5	128,0	135,5	130,5	1958
	à 148,0	à 145,5	à 148,0	à 151,0	
	179,0	180,0	177,5	179,0	1957
	à 195,0	à 204,0	à 195,0	à 201,0	
5	72,5	68,5	74,0	70,0	1959
	à 81,0	à 80,0	à 78,0	à 78,5	
	130,0	120,5	136,0	130,0	1958
	à 145,5	à 139,5	à 144,5	à 143,0	
	186,0	186,0	186,0	186,0	1957
	à 203,0	à 207,0	à 205,0	à 198,0	
6	78,5	76,0	80,0	84,0	1959
	à 92,0	à 96,5	à 95,0	à 103,0	
	140,0	137,5	140,0	145,0	1958
	à 156,5	à 161,0	à 150,0	à 166,0	
	192,0	192,0	190,0	194,0	1957
	à 202,0	à 206,0	à 200,0	à 200,0	

(continuation)

Tableau No 75 (cont.)

Profil No	Profondeurs probables des couches en fonction de:				
	Stratigraphie	Battage	Dureté	Pds spécif.	Eté
7	81,5	59,0	75,0	51,5	1959
	à 90,0	à 86,0	à 90,0	à 83,5	
	136,0	140,0	140,0	140,0	
	à 158,0	à 159,5	à 160,0	à 165,0	1958
	195,0	197,5	190,0	197,5	1957
	à 208,0	à 208,0	à + 200,0	à + 200,0	
8	71,5	57,0	60,0	71,5	1959
	à 86,5	à 86,0	à 85,0	à 79,5	
	133,5	131,5	120,0	130,5	
	à 146,5	à 148,5	à 140,0	à 164,5	1958
	192,0	194,0	190,0	190,5	1957
	à 214,0	à 222,0	à + 200,0	à 200,0	
	75,5	94,5	75,0	71,0	1959
	à 94,5	à 103,0	à 85,0	à 83,5	
	135,5	130,5	130,0	122,0	
	à 148,5	à 147,0	à 150,0	à 153,5	1958
	188,0	190,5	180,0	190,5	1957
	à 202,0	à 206,0	à 210,0	à 203,5	
	252,0	254,0	240,0	255,5	
	à 263,0	à 267,0	à 260,0	à 267,5	1956

Tableau No 76. *Horizons de glace et les étés correspondants:*

Profil No	Profondeur cm	Eté	Profil No	Profondeur cm	Eté
1	32,0– 32,5	1959	6	88,5– 89,5	1959
	148,0–149,0	1957	7	85,0– 86,5	1959
2	néant		8	78,0– 79,0	1959
3	65,0– 66,0	1959	9	90,0– 91,0	1959
4	79,0– 80,0	1959	194,0–194,5		1957
	185,0–186,0	1957			
5	78,0– 81,0	1959			
	191,5–193,0	1957			

Ces deux tableaux montrent une assez bonne concordance entre les différentes mesures, mais il y a obligatoirement un décalage du aux erreurs de levers. Pour cette raison, nous ne concluerons qu’après avoir fait l’étude détaillée de la stratigraphie.

### 11.2.3. Etude de la couche de neige 1959/1960

Pour pouvoir identifier les strates qui se correspondent dans les 10 profils (y compris le profil No 0 du 2.-9.7.1959, Abb. 25 entre pp. 76 et 77), nous baserons toutes les comparaisons sur la couche d'été 1959 et plus particulièrement sur l'horizon de glace constitué les 27 et 28 juillet 1959. Par ailleurs, il y a une couche de givre qui s'est déposée le 10.10.1959 et qui est visible jusque dans le huitième profil. Nous possédons donc deux repères irréfutables pour le datage.

Nous suivrons sur les 9 profils effectués entre le 06.10.59 et le 12.07.60, l'évolution des strates situées audessus de la glace des 27 et 28 juillet 1959. Cette étude doit nous permettre de dater avec une assez bonne précision les strates de la couche annuelle 1959/1960. (L'analyse détaillée se trouve dans le rapport original de l'auteur).

### Conclusion

La couche de neige de juillet 1959 à juillet 1960 est en perpétuelle évolution et elle renferme des strates qui évoluent différemment de l'ensemble des strates. Ces strates s'étalent sur une faible épaisseur et se situent de part et d'autre de la glace. Elles correspondent donc à la période chaude de 1959, c'est-à-dire aux mois de juillet et d'août. Les strates situées au-dessus de la glace correspondent à la fin de l'été et sans doute en partie au début de l'automne. Nous avons choisi la limite supérieure de ces strates comme étant la séparation de deux années hydrologiques consécutives. Cette limite varie évidemment dans le temps avec la diagénèse de la neige et il n'est pas possible de la fixer de façon absolue. Mais ces variations sont néanmoins faibles et la dernière limite fixée en juillet 1960 à 75,5 cm de profondeur ne variera certainement plus de beaucoup dans les années à venir. Ces profondeurs limites sont récapitulées dans le tableau No 77. D'autre part, la diagénèse est représentée par le profil dans le temps (Fig. 63), de même que la correspondance et le datage des strates.

### 11.2.4. Etude des couches sous-jacentes a la couche 1959/1960

L'analyse détaillée des profils 0 à 9 se trouve dans le rapport original de l'auteur. Les conclusions sont présentées dans le tableau suivant (No 77). Il démontre comme résultat essentiel la valeur d'eau de l'accumulation des années hydrologiques précédentes.

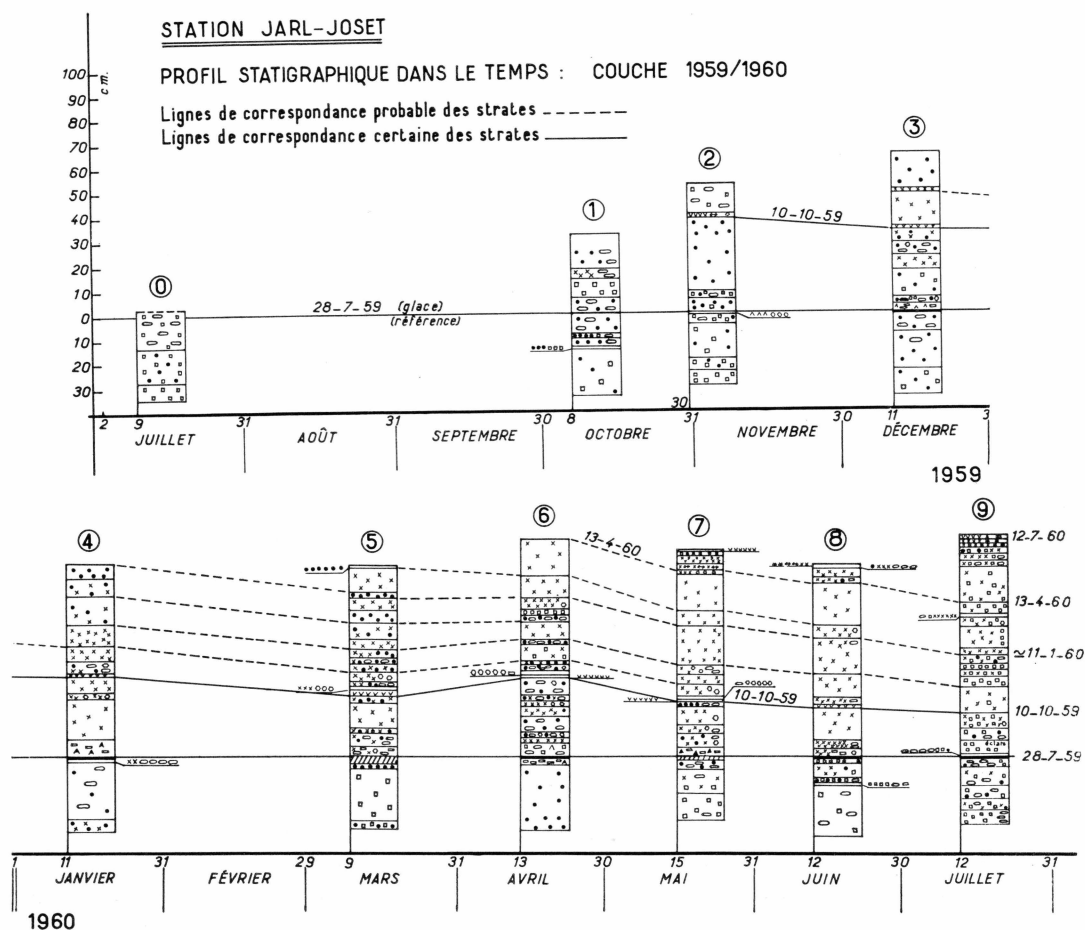


Fig. 63. Profil dans le temps 1959/60 Station Jarl-Joset.

A l'aide des valeurs d'eau des couches annuelles hydrologiques du tableau 77, nous avons établi les valeurs moyennes de l'accumulation annuelle et déterminé les erreurs moyennes correspondantes, soit :

- année 1958/1959: 22,8 cm  $\pm$  0,5 cm en valeur d'eau. Erreur sur la détermination par un seul profil:  $\pm$  1,6 cm
- année 1957/1958: 19,6 cm  $\pm$  0,5 cm en valeur d'eau. Erreur sur la détermination par un seul profil:  $\pm$  1,6 cm
- année 1956/1957: 26,1 cm  $\pm$  0,7 cm en valeur d'eau. Erreur sur la détermination par un seul profil:  $\pm$  1,0 cm.

En ce qui concerne l'accumulation annuelle 1959/1960 nous ne pouvons pas donner de nombre définitif puisque le dernier profil a été

Tableau No 77. *Profondeurs delimitant les couches Annuelles Hydrologiques*

Profil No	Fin de l'an Hydro.	Profondeur Corres. cm	Valeur d'eau Corres. cm	Valeur d'eau del'an Hyd.cm
0	1959	—	—	—
	1958	48,5	18,5	21,3
	1957	108,0	39,8	26,8
	1956	176,5	66,6	
1	1959	25,5	6,0	25,3
	1958	90,0	31,3	19,4
	1957	143,0	50,7	
2	1959	44,0	12,2	22,0
	1958	105,5	34,2	18,6
	1957	157,0	52,8	
3	1959	58,5	18,2	23,1
	1958	120,0	41,3	18,7
	1957	171,0	60,0	
4	1959	72,0	23,6	20,7
	1958	129,5	44,3	17,5
	1957	179,0	61,8	
5	1959	72,5	22,0	23,6
	1958	136,0	45,6	19,2
	1957	186,0	64,8	
6	1959	78,5	25,8	21,2
	1958	140,0	47,0	17,9
	1957	192,0	64,9	
7	1959	81,5	28,3	22,4
	1958	136,0	50,7	22,4
	1957	195,5	73,1	
8	1959	71,5	24,7	24,9
	1958	133,5	49,6	21,1
	1957	192,0	70,7	
9	1960	—	—	—
	1959	75,5	27,0	22,0
	1958	135,5	49,0	19,5
	1957	188,0	68,5	25,4
	1956	252,0	93,9	

effectué le 12.07.60, donc certainement avant la fin de l'année hydrologique. La période qui nous manque correspond à environ 10 % du temps total. En accumulation cela ne correspond certainement pas à plus de 10 % car il est probable qu'en été il neige moins que le reste de l'année. Donc:

– année 1959/1960: environ 30 cm de valeur d'eau.

Ces valeurs nous montrent qu'il y a une assez grande dispersion d'une année à l'autre. Cette dispersion peut atteindre environ 30 % et elle est fonction des conditions météorologiques. (On remarque un écart vis à vis des valeurs présentées dans le tableau No 41, p. 130, leur somme restant pratiquement identique. Q).

### 11.2.5. Variations de l'accumulation au cours de l'année 1959/1960

Pour déterminer la valeur d'eau de la couche de neige située au-dessus de la glace des 27 et 28.07.59, lors de chaque relevé nous nous référons aux valeurs d'eau du chapitre 11.1.3. Nous donnerons dans le tableau No 78 les hauteurs de neige et les valeurs d'eau correspondantes, ainsi que les quelques valeurs relevées sur les grillages (*cf.* mesures d'Accumulation à Jarl-Joset – 1959/1960) et les hauteurs de neige relevées par F. BRANDENBERGER.

Tableau No 78. *Accumulation Jarl-Joset 1959/60*

Dates	Par les profils		Par les grillages		Mes. BRANDEN- BERGER Hauteur de neige cm
	Haut. neige cm	Val. eau cm	Haut. neige cm	Val. eau cm	
03.10.59 .....	–	–	30,5	8,2	+ 26,0
06.10.59 .....	32,0	7,9			+ 29,5
16.10.59 .....	+ 40,5	+ 10,6	45,5	12,6	+ 39,5
30.10.59 .....	52,5	14,4			+ 47,0
11.12.59 .....	65,0	20,3			+ 61,5
11.01.60 .....	79,0	25,1			+ 68,5
09.03.60 .....	78,0	23,4			+ 79,0
26.03.60 .....	+ 83,0	+ 26,1	87,0	27,6	+ 85,5
13.04.60 .....	88,5	29,0			+ 87,0
15.05.60 .....	85,0	29,6			+ 88,0
12.06.60 .....	78,0	27,1			+ 89,5
12.07.60 .....	90,0	32,4			+ 91,0
14.07.60 .....	–	–	90,5	31,1	+ 91,0



Les nombres marqués du signe (+) ont été interpolés. Il est évident qu'ils diffèrent avec les mesures directes puisque les chutes de neige ne sont pas réparties proportionnellement en fonction du temps. Mais pour d'aussi courts intervalles de temps, les chutes de neige sont en général assez faibles de sorte que la concordance des chiffres du tableau est malgré tout bonne. Pour l'ensemble du tableau, il n'y a que deux séries de mesures qui diffèrent plus que la normale: ce sont les mesures des 11.01. et 12.06. 60, qui s'écartent d'environ 10 cm en hauteur de neige. Il est possible que l'une ou l'autre de ces observations ait été faite dans une petite congère. Pour ces deux dates, nous n'avons malheureusement que deux observations, de sorte qu'il nous est impossible de nous prononcer en faveur de l'une ou de l'autre.

#### 11.2.6. Conclusion générale

L'étude précédente nous montre que les accumulations annuelles des années hydrologiques 1956 à 1960 varient entre 20 cm et 30 cm en valeur d'eau. Cette variation représente pratiquement 1/3 de l'accumulation. Nous ne pouvons donc pas donner de valeur plus précise pour une accumulation moyenne générale sur plusieurs années mais uniquement un ordre de grandeur.

D'autre part, les profils mensuels nous fournissent de bons résultats pour les accumulations des années passées, mais pour l'année en cours, les variations de l'accumulation doivent être contrôlées par d'autres mesures (hauteurs de neige lues à des jalons ou sur des grillages), pour éviter les erreurs pouvant provenir de congères pratiquement impossibles à discerner sur le terrain.

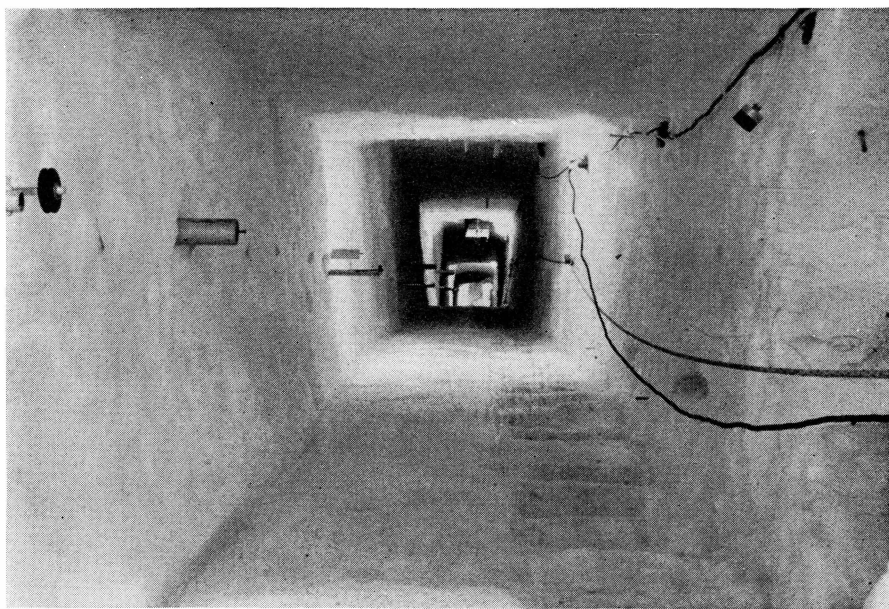


Photo 19. Puits Dumont. Vue générale d'ent haut 1959 (Phot. R. SCHNEIDER).

## 12. Puits GLACIOLOGIQUE DE LA STATION JARL-JOSET

RESULTATS DES OBSERVATIONS DES REPERES  
DE DEFORMATION IMPLANTES PAR L'EXPEDITION  
"CENTRE GROENLAND" 1956-1957

par R. SCHNEIDER et F. BRANDENBERGER

### 12.1. Historique et situation du puits

Le puits glaciologique de Jarl-Joset a été creusé au cours de l'hivernage de l'expédition „Centre Groenland“, 1956-1957, par JEAN DUMONT, MICHEL DE LANNURIEN, PIERRE GENNESSEUX, JEAN DIRAISON. JEAN DUMONT a implanté les premiers repères de déformation et effectué les mesures de base en fin de campagne 1957 (*cf.* rapport J. DUMONT). Photo 19.

Le puits de 1,2 m de large et de 2 m de haut en moyenne, descend d'Ouest vers l'Est depuis la surface de juillet 1960 à 41 m de profondeur environ et sous une inclinaison variant de 42 à 47 grades par rapport à l'horizontale. A 20 m de profondeur et au fond du puits, dans la voûte, ont été creusées deux sphères de 3 m de diamètre environ. Le long de la

paroi sud sont taillées les marches sur une largeur de 50 à 60 cm, tandis que dans la paroi nord, côté de la rampe lisse, ont été implantés les repères pour les mesures de déformation. L'entrée du puits se trouve près de la sortie nord de Jarl-Joset et à 20 m au nord de l'Igloo.

## 12.2. Observations de Jean Dumont

### 12.2.1. Généralités

Dans le présent rapport, nous nous reportons aux repères implantés par JEAN DUMONT et son équipe; en particulier aux repères de déformation longitudinale et aux repères de profondeur. Les deux séries de repères se trouvent dans la paroi Nord du puits, entre l'entrée du puits et l'entrée de la sphère des 20 mètres. Sur la paroi Sud, la voûte et le bord de la rampe lisse (côté des marches) se trouvent les repères de déformation des sections verticales. Ces repères constitués par des vis scellées dans le névé ont été supprimées au cours de l'hivernage de l'E.G.I.G. par suite des travaux de creusement et de prélèvement d'échantillons. Ces repères se trouvent à peu de choses près dans le plan vertical et perpendiculaire à l'axe du puits passant par les repères de déformation longitudinale.

Les observations de 1957 indiquées ci-dessous sont tirées du rapport de JEAN DUMONT:

« Expédition Française Centre Groenland »  
Hivernage 1956-1957  
Résultats et Travaux de Glaciologie

### 12.2.2. Ligne de repères des profondeurs

« Les repères de profondeur ont été alignés au cordeau. Ils sont constitués par le centre de la tête des clous enfoncés à travers un carton portant indication de la profondeur par rapport au niveau moyen de la surface le 20 avril 1957 ».

« L'angle du puits sur l'horizontale était de  $40^{\circ} 33' 33''$  le 20 avril 1957. Cet angle relevé au théodolite a été mesuré sur la ligne des repères de profondeur ».

« La base de cette ligne qui a servi au rattachement à la surface est le centre d'une tête de clou, marqué B 1 323 cm.

Les niveaux sont repérés de 50 cm en 50 cm à partir de 5 m.

Le 20 avril 1957 la distance suivant la pente entre B 1 et le repère 5 m était de 2722 m/m.

L'espacement suivant la pente entre les repères était de 769 m/m ».

### 12.2.3. Repères de déformations longitudinales

« Ces repères sont constitués par des balises en aluminium enfoncées horizontalement dans la paroi. A l'extrémité de ces repères, un bouchon

de contreplaque a été enfoncé, au centre du bouchon, une vis qui sert de repère proprement dit. Ces repères sont numérotés de R 0 à R 6. Ils donnent également leur désignation aux sections verticales.

Les distances suivant la pente ont été relevées avec un mètre ruban portant sur les vis ».

Tableau No 79. *Relevés du 24 juin 1957:*

Profondeur approximative des repères		Ecartement des repères suivant la ligne de pente	
R <sub>0</sub> .....	286 cm	R <sub>0</sub> R <sub>1</sub> .....	545,5 cm
R <sub>1</sub> .....	641 cm	R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> .....	503,0 cm
R <sub>2</sub> .....	965 cm	R <sub>2</sub> R <sub>3</sub> .....	529,0 cm
R <sub>3</sub> .....	1 314 cm	R <sub>3</sub> R <sub>4</sub> .....	468,5 cm
R <sub>4</sub> .....	1 616 cm	R <sub>4</sub> R <sub>5</sub> .....	532,5 cm
R <sub>5</sub> .....	1 974 cm	R <sub>5</sub> R <sub>6</sub> .....	527,8 cm
R <sub>6</sub> .....	2 316 cm		

12.3. Observations de FRITZ BRANDENBERGER  
et RENE SCHNEIDER

La répétition complète des mesures a été faite du 6 au 8 juillet 1959, tandis que le 26 juillet 1960, seules les balises (R) ont été redéterminées. Au cours de l'hivernage la vis du repère R 5 a disparu, et le repère n'a donc pas été observé le 26.07.1960.

12.3.1. Repères de déformations longitudinales

.3.1.1. Distances obliques entre repères

Tableau No 80

	06.07.1959			26.07.1960		
	1 <sup>er</sup> mesure	2 <sup>e</sup> mesure	Moyenne	1 <sup>er</sup> mesure	2 <sup>e</sup> mesure	Moyenne
R <sub>0</sub> R <sub>1</sub> .....	5,314 m	5,314 m	5,314 m	5,246 m	5,245 m	5,245 m
R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> .....	4,978	4,978	4,978	4,943	4,943	4,943
R <sub>2</sub> R <sub>3</sub> .....	5,265	5,265	5,265	5,245	5,245	5,245
R <sub>3</sub> R <sub>4</sub> .....	4,675	4,675	4,675	4,660	4,660	4,660
R <sub>4</sub> R <sub>5</sub> .....	5,325	5,325	5,325	R <sub>4</sub> R <sub>6</sub> :		
R <sub>5</sub> R <sub>6</sub> .....	5,280	5,280	5,280	10,582	10,581	10,581

**.3.1.2. Distances obliques entre théodolite et repères**  
Tableau No 81

	06.07.1959			26.07.1960		
	<i>1<sup>er</sup> mesure</i>	<i>2<sup>e</sup> mesure</i>	<i>Moyenne</i>	<i>1<sup>er</sup> mesure</i>	<i>2<sup>e</sup> mesure</i>	<i>Moyenne</i>
R <sub>0</sub> .....	1 757 m	1,754 m	1,756 m	1,620 m	1,620 m	1,620 m
R <sub>1</sub> .....	3,726	3,723	3,724	3,819	3,819	3,819
R <sub>2</sub> .....	8,690	8,689	8,690	8,737	8,738	8,737
R <sub>3</sub> .....	13,936	13,930	13,933	13,954	13,955	13,954
R <sub>4</sub> .....	18,610	18,601	18,606	18,614	18,612	18,613
R <sub>5</sub> .....	23,920	23,920	23,920	—	—	—
R <sub>6</sub> .....	29,202	29,200	29,201	29,185	29,185	29,185

Ces distances ne sont pas comparables entre elles, vu que les stationnements du théodolite aux deux dates n'étaient pas au même endroit exactement. Le 26.07.1960, le théodolite était stationné sous S 1 dans les mêmes conditions que pour les observations des repères (L), c'est-à-dire  $h_i = -70,1$  cm (cf. Etude du puits glaciologique de Jarl-Joset - 1<sup>ère</sup> partie).

**.3.1.3. Angles verticaux: théodolite-repères**  
Tableau No 82

	06.07.1959			26.07.1960		
	<i>CG</i>	<i>CD</i>	<i>Angles verts</i>	<i>CG</i>	<i>CD</i>	<i>Angles verts</i>
R <sub>0</sub> .....	132,57 47	267,14 22	+32,71 62	137,18 50	—	+37,18 50
R <sub>1</sub> .....	54,03 94	345,68 23	−45,82 14	58,56 41	341,44 40	−41,44 00
R <sub>2</sub> .....	54,83 26	344,87 16	−45,01 95	57,11 66	342,89 40	−42,88 87
R <sub>3</sub> .....	55,03 20	344,69 40	−44,83 10	56,62 50	343,39 10	−43,38 30
R <sub>4</sub> .....	55,09 60	344,61 90	−44,76 15	56,40 20	343,61 00	−43,60 40
R <sub>5</sub> .....	55,07 76	344,64 42	−44,78 33	—	—	—
R <sub>6</sub> .....	55,11 40	344,62 48	−44,75 54	56,04 60	343,96 10	−43,95 75

La même remarque que sous 2.1.2. est valable ici.

**.3.1.4. Dénivellées des repères**  
Tableau No 83

Entre théodolite et repères			Entre les repères		
	<i>06.07.1959</i>	<i>26.07.1960</i>		<i>06.07.1959</i>	<i>26.07.1960</i>
R <sub>0</sub> .....	+ 0,863 m	+ 0,893 m	R <sub>0</sub> R <sub>1</sub> .....	− 3,318 m	− 3,207 m
R <sub>1</sub> .....	− 2,455	− 2,314	R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> .....	− 3,190	− 3,137
R <sub>2</sub> .....	− 5,646	− 5,451	R <sub>2</sub> R <sub>3</sub> .....	− 3,375	− 3,339
R <sub>3</sub> .....	− 9,021	− 8,790	R <sub>3</sub> R <sub>4</sub> .....	− 3,009	− 2,985
R <sub>4</sub> .....	− 12,031	− 11,775	R <sub>4</sub> R <sub>5</sub> .....	− 3,443	—
R <sub>5</sub> .....	− 15,474	—	R <sub>5</sub> R <sub>6</sub> .....	− 3,407	—
R <sub>6</sub> .....	− 18,879	− 18,588	R <sub>4</sub> R <sub>6</sub> .....	− 6,850	− 6,813

### .3.1.5. Rattachement en altitude

Par l'intermédiaire de la balise implantée par JEAN DUMONT à l'entrée du puits et traversant la voûte, les repères ont été rattachés à la balise référence de DUMONT située à 300 m au sud de la station et au boulon du mât météorologique. Le 15.07.1959, la balise référence de DUMONT avait l'arête supérieure au ras de la surface de la neige. Par nivellement au théodolite DKM 2, il a été mesuré:

Le 30.06.1959:  $-0,644$  m et  $-0,647$  m entre la balise référence et la balise traversant la voûte du puits (entre les arêtes supérieures).

Le 08.07.1959:  $-0,592$  m entre les mêmes points.  
 $-3,71$  m entre la balise traversant la voûte et le point B 1 de DUMONT.

Le 24.07.1960:  $+4,468$  m entre S 1 et le boulon du mât météorologique (nivellement géométrique et trigonométrique combiné fait au DKM 2).

Le 25.07.1960:  $-0,974$  m entre L 1 et B 1.

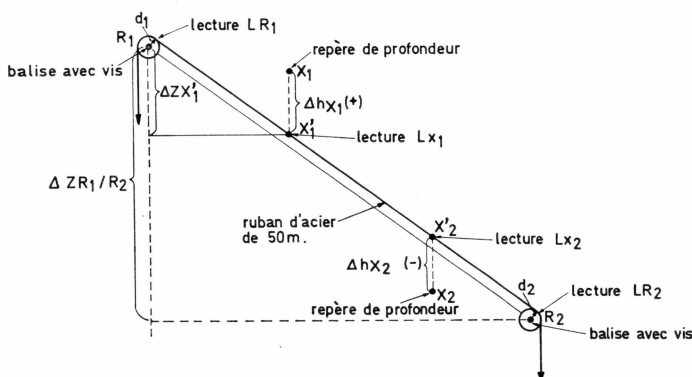


Fig. 64. Détermination des repères de profondeur.

## 12.3.2. Ligne de repères des profondeurs

### .3.2.1. Principe du relevé

Le principe du relevé est schématisé sur la figure 64.

$L$  = lecture au ruban ( $L$  = distance oblique)

$h$  = écart entre repère et ruban (mesuré suivant la *verticale*)

signe: + si le repère *au-dessus du ruban*

– si le repère *au-dessous du ruban*

$d$  = écart entre le ruban et le milieu de la tête de vis du repère (mesuré *perpendiculairement* au ruban).

Formules employées pour le calcul:

$$\Delta z_{x1} = \Delta z'_{x1} \cdot h_{x1} = \frac{\Delta z_R}{\Delta L_R} \Delta L_{x1} + d_n \cdot \cos a - \frac{\Delta d}{\Delta L_R} \cos a \cdot \Delta L_{x1} + \Delta h$$
$$\Delta z_R = \Delta z_{R_1 R_2}; \Delta L_R = L_{R_2} - L_{R_1}; \Delta L_{x1} = L_{x1} - L_{R_1}; \Delta d = d_1 - d_2$$
$$\cos a = \sqrt{1 - \frac{(\Delta z_R)^2}{\Delta L_R^2}}$$

.3.2.2. Relevé du 08.07.1959

Tableau No 84

Repères des profon- deurs	L	h	d	Repères des profon- deurs	L	h	d
R <sub>0</sub>	0,145 m	—	d <sub>0</sub> =0,031	R <sub>3</sub>	0,115 m		d <sub>3</sub> =0,032
R <sub>1</sub> (3,23)	0,661	−0,052m		13,5	0,561	−0,065	
5,0	3,308	0		14,0	1,330	−0,045	
5,5	4,057	0		14,5	2,107	−0,043	
6,0	4,793	−0,025		15,0	2,865	−0,037	
R <sub>1</sub>	5,460		d <sub>1</sub> =0,030	15,5	3,630	−0,055	
R <sub>1</sub>	0,010		d <sub>1</sub> =0,030	16,0	4,370	−0,092	
6,5	0,099	−0,055		R <sub>4</sub>	4,810		d <sub>4</sub> =0,032
7,0	0,878	−0,018		R <sub>4</sub>	0,120		d <sub>4</sub> =0,033
7,5	1,642	+0,011		16,5	0,455	−0,092	
8,0	2,400	+0,009		17,0	1,235	−0,061	
8,5	3,158	+0,006		17,5	2,010	−0,041	
9,0	3,901	−0,028		18,0	2,789	−0,024	
9,5	4,645	−0,070		18,5	3,548	−0,039	
R <sub>2</sub>	5,000		d <sub>2</sub> =0,031	19,0	4,287	−0,045	
R <sub>2</sub>	−0,010		d <sub>2</sub> =0,031	19,5	5,043	−0,049	
10,0	0,420	−0,075		R <sub>5</sub>	5,465		d <sub>5</sub> =0,033
10,5	1,163	−0,055		R <sub>5</sub>	0,125		d <sub>5</sub> =0,033
11,0	1,935	−0,021		20,0	0,483	−0,041	
11,5	2,698	−0,016		21,0	2,030	0	
12,0	3,452	−0,023		22,0	3,539	−0,025	
12,5	4,200	−0,036		23,0	5,051	−0,057	
13,0	4,935	−0,084		R <sub>6</sub>	5,420		d <sub>6</sub> =0,033
R <sub>3</sub>	5,270		d <sub>3</sub> =0,031	R <sub>6</sub>	4,110		d <sub>6</sub> =0,034
				24,0	5,297	−0,052	
				25,0	6,811	−0,048	
				26,0	8,350	−0,028	
				27,0	9,845	−0,065	
				28,0	11,478	−0,077	
				29,0	12,865	−0,118	
				30,0	14,390	−0,110	
				(R <sub>7</sub> )	13,600		d <sub>7</sub> =0,012

*Remarque:* (R 7) est un clou que nous avons implanté nous-mêmes et aligné sur le prolongement de R 5 R 6.

### 3.2.3. Exploitation des observations

Tableau No 85

a) *Données de base*

Repère	$\Delta z_R$	$\Delta L_R$	$\frac{\sin a}{= \frac{\Delta z_R}{\Delta L_R}}$	$\frac{\cos a}{= \sqrt{1 - \sin^2}}$	$d_n$	$d_{n+1}$	$\Delta d$
R <sub>0</sub> R <sub>1</sub> . . . .	- 3,318	5,314	- 0,6244	+ 0,78	0,031	0,030	0,001
R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> . . . .	- 3,190	4,978	- 0,6408	+ 0,77	0,030	0,031	- 0,001
R <sub>2</sub> R <sub>3</sub> . . . .	- 3,377	5,265	- 0,6414	+ 0,77	0,031	0,031	0
R <sub>3</sub> R <sub>4</sub> . . . .	- 3,009	4,675	- 0,6436	+ 0,77	0,032	0,032	0
R <sub>4</sub> R <sub>5</sub> . . . .	- 3,443	5,325	- 0,6466	+ 0,76	0,033	0,033	0
R <sub>5</sub> R <sub>6</sub> . . . .	- 3,407	5,280	- 0,6453	+ 0,76	0,033	0,033	0
R <sub>6</sub> (R <sub>7</sub> ) . . .			(- 0,6453)	(+ 0,76)	0,034	0,012	+ 0,022

b) *Calcul proprement dit*

Repère	$\Delta L'_x$	$\Delta L_x$	$\Delta L_x \sin a$	$d_n \cos a$	$\frac{\Delta d \cdot \cos a}{\frac{\Delta L_x}{\Delta L_R}}$	$\Delta h$	$\Delta z$
R <sub>0</sub> . . . . .	0	0					0
B 1 . . . . .	0,516	0,516	- 0,322	+ 0,024	0	- 0,052	- 0,350
5,0 . . . . .	3,163	3,162	- 1,974	+ 0,024	0	0	- 1,950
5,5 . . . . .	3,912	3,911	- 2,442	+ 0,024	- 0,001	0	- 2,419
6,0 . . . . .	4,648	4,647	- 2,902	+ 0,024	- 0,001	- 0,025	- 2,904
R <sub>1</sub> . . . . .	5,315	5,314	- 3,318				- 3,318
R <sub>1</sub> . . . . .	0	0					0
6,5 . . . . .	0,089	0,089	- 0,057	+ 0,023	0	- 0,055	- 0,089
7,0 . . . . .	0,868	0,866	- 0,555	+ 0,023	0	- 0,018	- 0,550
7,5 . . . . .	1,632	1,628	- 1,043	+ 0,023	0	+ 0,011	- 1,009
8,0 . . . . .	2,390	2,384	- 1,528	+ 0,023	0	- 0,009	- 1,496
8,5 . . . . .	3,148	3,140	- 2,012	+ 0,023	0	+ 0,006	- 1,983
9,0 . . . . .	3,891	3,882	- 2,488	+ 0,023	+ 0,001	- 0,028	- 2,492
9,5 . . . . .	4,635	4,624	- 2,963	+ 0,023	+ 0,001	- 0,070	- 3,009
R <sub>2</sub> . . . . .	4,990	4,978	- 3,190				- 3,190
R <sub>2</sub> . . . . .	0	0					0
10,0 . . . . .	0,430	0,429	- 0,275	+ 0,024	0	- 0,075	- 0,326
10,5 . . . . .	1,173	1,170	- 0,750	+ 0,024	0	- 0,055	- 0,781
11,0 . . . . .	1,945	1,939	- 1,244	+ 0,024	0	- 0,021	- 1,241
11,5 . . . . .	2,708	2,700	- 1,732	+ 0,024	0	- 0,016	- 1,724
12,0 . . . . .	3,462	3,453	- 2,215	+ 0,024	0	- 0,023	- 2,214
12,5 . . . . .	4,210	4,198	- 2,693	+ 0,024	0	- 0,036	- 2,705
13,0 . . . . .	4,945	4,931	- 3,163	+ 0,024	0	- 0,084	- 3,223
R <sub>3</sub> . . . . .	5,280	5,265	- 3,377				- 3,377

(continuation)



Tableau No 85 (cont.)

Repère	$\Delta L'_x$	$\Delta L_x$	$\Delta L_x \sin a$	$\Delta d \cos a$ $\cdot \frac{\Delta L_x}{\Delta L_R}$	$\Delta L_x \cos a$	$\Delta h$	$\Delta z$
R <sub>3</sub> . . . . .	0	0					0
13,5 . . . . .	0,446	0,444	- 0,286	+ 0,025	0	- 0,065	- 0,326
14,0 . . . . .	1,215	1,210	- 0,779	+ 0,025	0	- 0,045	- 0,799
14,5 . . . . .	1,992	1,984	- 1,277	+ 0,025	0	- 0,043	- 1,295
15,0 . . . . .	2,750	2,738	- 1,762	+ 0,025	0	- 0,037	- 1,774
15,5 . . . . .	3,505	3,490	- 2,246	+ 0,025	0	- 0,055	- 2,276
16,0 . . . . .	4,255	4,237	- 2,727	+ 0,025	0	- 0,092	- 2,794
R <sub>4</sub> . . . . .	4,695	4,675	- 3,009				- 3,009
R <sub>4</sub> . . . . .	0	0					0
16,5 . . . . .	0,335	0,334	- 0,216	+ 0,025	0	- 0,092	- 0,283
17,0 . . . . .	1,115	1,111	- 0,718	+ 0,025	0	- 0,061	- 0,754
17,5 . . . . .	1,890	1,883	- 1,218	+ 0,025	0	- 0,041	- 1,234
18,0 . . . . .	2,669	2,659	- 1,719	+ 0,025	0	- 0,024	- 1,718
18,5 . . . . .	3,428	3,415	- 2,208	+ 0,025	0	- 0,039	- 2,222
19,0 . . . . .	4,167	4,151	- 2,684	+ 0,025	0	- 0,045	- 2,704
19,5 . . . . .	4,923	4,905	- 3,172	+ 0,025	0	- 0,049	- 3,196
R <sub>5</sub> . . . . .	5,345	5,325	- 3,443				- 3,443
R <sub>5</sub> . . . . .	0	0					0
20,0 . . . . .	0,358	0,357	- 0,230	+ 0,025	0	- 0,041	- 0,246
21,0 . . . . .	1,905	1,900	- 1,226	+ 0,025	0	± 0	- 1,201
22,0 . . . . .	3,414	3,404	- 2,197	+ 0,025	0	- 0,025	- 2,197
23,0 . . . . .	4,926	4,912	- 3,170	+ 0,025	0	- 0,057	- 3,202
R <sub>6</sub> . . . . .	5,295	5,280	- 3,407				- 3,407
R <sub>6</sub> . . . . .	0	0					0
24,0 . . . . .		1,187	- 0,766	+ 0,026	- 0,002	- 0,052	- 0,794
25,0 . . . . .		2,701	- 1,743	+ 0,026	- 0,005	- 0,048	- 1,770
26,0 . . . . .		4,240	- 2,736	+ 0,026	- 0,007	- 0,028	- 2,745
27,0 . . . . .		5,735	- 3,701	+ 0,026	- 0,010	- 0,065	- 3,750
28,0 . . . . .		7,368	- 4,755	+ 0,026	- 0,013	- 0,077	- 4,819
29,0 . . . . .		8,755	- 5,650	+ 0,026	- 0,015	- 0,118	- 5,757
30,0 . . . . .		10,280	- 6,634	+ 0,026	- 0,018	- 0,110	- 6,736
(R <sub>7</sub> ) . . . . .		9,490	- 6,124	(+ 0,026)	(- 0,017)	(- 0,009)	- 6,124

Les  $L$  représentent les distances corrigées, proportionnellement aux distances entre les ( $R$ ) déterminées par double mesurage. Tableau No 80.

12.4. Deformations longitudinales

12.4.1. Différences entre les écartements des repères par rapport aux mesures de base faites par Jean Dumont le 24 juin 1957

Tableau No 86

Repère	06.07.1959	26.07.1960
R <sub>0</sub> R <sub>1</sub> .....	- 141 mm	- 210 mm
R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> .....	- 052	- 087
R <sub>2</sub> R <sub>3</sub> .....	- 025	- 045
R <sub>3</sub> R <sub>4</sub> .....	- 010	- 025
R <sub>4</sub> R <sub>5</sub> .....	000	-
R <sub>5</sub> R <sub>6</sub> .....	+ 002	-
R <sub>4</sub> R <sub>6</sub> .....	+ 002	- 022

Ces différences de longueur entre les repères se composent d'une part de la déformation longitudinale proprement dite s'il y en a une et d'autre part de la variation de la longueur due au tassement. Pour déterminer la composante longitudinale, isolons d'abord la composante de tassement suivant la verticale. Afin de pouvoir déterminer si les repères se déplacent uniquement suivant la verticale par tassement, cas ou il n'y aurait pas de déformation longitudinale, calculons les distances horizontales entre les repères aux différentes dates. Si ces distances restent constantes, nous pouvons affirmer que la déformation longitudinale relative entre deux repères est nulle ou du moins de l'ordre de grandeur de la précision des mesures.

Calculons ces distances horizontales par l'intermédiaire du cosinus obtenu par:

$$\cos a = \sqrt{1 - \left(\frac{\Delta z}{\Delta L}\right)^2}$$

12.4.2. Distances horizontales entre les repères

.4.2.1. A la date du 24.06.1957

Tableau No 87

Repères	sin a	cos a	dist. horiz.
R <sub>0</sub> R <sub>1</sub> .....	0,6508	0,7593	4,142 m
R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> .....	0,6441	0,7649	3,847
R <sub>2</sub> R <sub>3</sub> .....	0,6597	0,7515	3,975
R <sub>3</sub> R <sub>4</sub> .....	0,6446	0,7645	3,582
R <sub>4</sub> R <sub>5</sub> .....	0,6480	0,7616	4,020
R <sub>4</sub> R <sub>6</sub> .....	-	-	7,962

**.4.2.2. A la date du 06.07.1959**

Tableau No 88

Repères	sin a	cos a	dist. horiz.
R <sub>0</sub> R <sub>1</sub> .....	0,6244	0,7811	4,151
R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> .....	0,6408	0,7677	3,822
R <sub>2</sub> R <sub>3</sub> .....	0,6414	0,7672	4,039
R <sub>3</sub> R <sub>4</sub> .....	0,6436	0,7654	3,578
R <sub>4</sub> R <sub>5</sub> .....	0,6466	0,7628	4,062
R <sub>5</sub> R <sub>6</sub> .....	0,6453	0,7639	4,033
R <sub>4</sub> R <sub>6</sub> .....			8,095

**.4.2.3. A la date du 26.07.1960**

Tableau No 89

Repères	sin a	cos a	dist. horiz.	dif. avec 06.07.59	dif. avec 24.06.57
R <sub>0</sub> R <sub>1</sub> .....	0,6114	0,7913	4,150	- 001 mm	+ 008 mm
R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> .....	0,6346	0,7729	3,820	- 002	- 027
R <sub>2</sub> R <sub>3</sub> .....	0,6366	0,7712	4,045	+ 006	+ 070
R <sub>3</sub> R <sub>4</sub> .....	0,6406	0,7678	3,578	± 000	- 004
R <sub>4</sub> R <sub>5</sub> .....					+ 120
R <sub>5</sub> R <sub>6</sub> .....					+ 013
R <sub>4</sub> R <sub>6</sub> .....	0,6439	0,7651	8,095	± 000	+ 133

La comparaison des distances horizontales aux trois dates nous montre qu'elles sont pratiquement restées constantes (de l'ordre de grandeur de l'erreur de mesure) entre le 06.07.59 et 26.07.60; seule la distance R<sub>2</sub> R<sub>3</sub> accuse une augmentation relativement forte ce qui semble plutôt résulter d'une imprécision sur la mesure elle-même. Le déplacement des repères au cours de cette période ne se serait fait que suivant la verticale, donc uniquement par tassement. Par contre, la comparaison aux distances du 24.06.57, montre des différences importantes mais apparemment sans loi. Cette dispersion arbitraire n'est sans doute pas due à une véritable déformation longitudinale mais plutôt à un manque de précision sur les dénivellées que JEAN DUMONT nous donne comme « approximatives ».

## 12.5. Le tassement

### 12. 5.1. Le tassement d'après les observations des repères (R)

#### .5.1.1. Tableau des tassements entre les différentes dates

Tableau No 90.

Repères	du 24.06.57 au 06.07.59			du 24.06.57 au 26.07.60			du 06.07.59 au 26.07.60		
	tas.cm	déniv. moy. m.	tas. mm/m /an	tas.cm	déniv. moy. m.	tas. mm/m /an	tas.cm	déniv. moy. m.	tas. mm/m /an
R <sub>0</sub> R <sub>1</sub> . . . .	- 23	3,43	- 33	- 34	3,38	- 33	- 11,1	3,26	- 34
R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> . . . .	- 05	3,21	- 08	- 10	3,19	- 10	- 05,3	3,16	- 17
R <sub>2</sub> R <sub>3</sub> . . . .	- 12	3,44	- 17	- 15	3,41	- 15	- 03,8	3,36	- 11
R <sub>3</sub> R <sub>4</sub> . . . .	- 01	3,01	- 02	- 04	3,00	- 04	- 02,4	3,01	- 08
R <sub>4</sub> R <sub>5</sub> . . . .	- 15	3,52	- 21						
R <sub>5</sub> R <sub>6</sub> . . . .	- 01	3,41	- 01						
R <sub>4</sub> R <sub>6</sub> . . . .	- 15	6,92	- 11	- 19	6,91	- 09	- 03,7	6,83	- 05

Les observations des 06.07.1959 et 26.07.1960 ont été faites d'après la même méthode et avec la même précision: au théodolite DKM 2 et au ruban d'acier par nivellement trigonométrique, précision d'environ  $\pm 3$  mm par dénivelées.

Les dénivelées entre les repères sont de l'ordre de 3 m et il est évident que le tassement ne se fait pas de façon identique à tous les points situés entre deux repères. Les tassements annuels moyens calculés ne peuvent donc donner qu'un ordre de grandeur mais non une valeur très précise. Néanmoins des observations de juillet 1959 et juillet 1960 il semble se dégager une diminution du tassement assez régulière avec la profondeur. Cette diminution n'est pas équivalente aux résultats obtenus par la comparaison aux observations de juin 1957. (Par ailleurs les dénivelées entre R 6 et le piton à glace, fin de la main courante, sont de 14,526 m le 08.07.1959 et 14,439 m le 26.07.1960, ce qui nous donne un tassement de 06 mm/m/an entre ces deux points). A priori les variations au cours des différentes périodes considérées ne peuvent pas être proportionnelles puisque la profondeur des repères va en augmentant dans le temps et que pour la période de juillet 1959 à juillet 1960 nous trouvons une nette diminution du tassement à partir du repère R 1 situé à environ 8 m de profondeur sous la surface du 26.07.1960. Afin de pouvoir reporter ces tassements annuels sur un graphique en fonction des profondeurs, calculons pour les différentes périodes les profondeurs moyennes des repères.

.5.1.2. Profondeur des repères

Tableau No 91

	24.06.57	08.07.59	26.07.60	1957-1959	Profondeurs moyennes	
					1957-60	1959-60
R <sub>0</sub> . . . .	- 2,86 m	- 3,99 m	- 4,82 m	- 3,42 m	- 3,84	- 4,40
R <sub>1</sub> . . . .	- 6,41	- 7,31	- 8,03	- 6,86	- 7,22	- 7,67
R <sub>2</sub> . . . .	- 9,65	- 10,50	- 11,17	- 10,07	- 10,41	- 10,83
R <sub>3</sub> . . . .	- 13,14	- 13,87	- 14,51	- 13,50	- 13,82	- 14,19
R <sub>4</sub> . . . .	- 16,16	- 16,88	- 17,49	- 16,52	- 16,82	- 17,18
R <sub>5</sub> . . . .	- 19,74	- 20,32	-	- 20,03	-	-
R <sub>6</sub> . . . .	- 23,16	- 23,73	- 24,30	- 23,44	- 23,73	- 24,01

Les tassements annuels calculés se rapportent aux dénivelées respectives des différents repères consécutifs, donc à leur profondeur moyenne.

.5.1.3. Tableau récapitulatif

Tableau No 92

	1957-1959		1957-1960		1959-1960	
	Prof. moy.	tas. ann.	Prof. moy.	tas. ann.	Prof. moy.	tas. ann.
R <sub>0</sub> R <sub>1</sub> . . .	5,14	33	5,53	33	6,03	34
R <sub>1</sub> R <sub>2</sub> . . .	8,46	08	8,81	10	9,25	17
R <sub>2</sub> R <sub>3</sub> . . .	11,78	17	12,11	15	12,51	11
R <sub>3</sub> R <sub>4</sub> . . .	15,01	02	15,32	04	15,68	08
R <sub>4</sub> R <sub>5</sub> . . .	18,27	01				
R <sub>5</sub> R <sub>6</sub> . . .	21,73	01				
R <sub>4</sub> R <sub>6</sub> . . .	19,98	11	20,27	19	20,58	05

Ces résultats sont représentés sur le graphique Fig. 65. Seule la courbe représentant le tassement de 1959-1960 montre une allure assez régulière et le tassement semble se stabiliser autour de 5 mm/m/an à partir de 20 m de profondeur. Il est trop délicat encore de vouloir interpréter la tendance des 3 courbes étant donné que les observations n'ont pas été faites avec la même précision de sorte que les courbes ne sont pas absolument comparables. Une interprétation beaucoup plus sûre pourra être faite après une quatrième série d'observations.

12.5.2. Le tassement d'après les observations des repères de profondeur

La colonne  $\Delta z$  du Tableau No 85 (p. 271) nous permet d'établir le tableau des différences de dénivelées entre le 20.04.57 et le 08.07.59.

Tableau No 93

Rep.	Déniv. 1959 m	Diff. de déniv. 1957/59, mm	Rep.	Déniv. 1959 m	Diff. de déniv. 1957/59, mm
B1 323			14,5		
	1,600	- 170		0,479	- 21
5,0			15,0		
	0,469	- 31		0,502	+ 2
5,5			15,5		
	0,485	- 15		0,518	+ 18
6,0			16,0		
	0,503	+ 3		0,498	- 2
6,5			16,5		
	0,461	- 39		0,471	- 29
7,0			17,0		
	0,459	- 41		0,480	- 20
7,5			17,5		
	0,487	- 13		0,484	- 16
8,0			18,0		
	0,487	- 13		0,504	+ 4
8,5			18,5		
	0,509	+ 9		0,482	- 18
9,0			19,0		
	0,517	+ 17		0,492	- 8
9,5			19,5		
	0,507	+ 7		0,493	- 7
10,0			20,0		
	0,455	- 45		0,955	- 45
10,5			21,0		
	0,460	- 40		0,996	- 4
11,0			22,0		
	0,483	- 17		1,005	+ 5
11,5			23,0		
	0,490	- 10		0,999	- 1
12,0			24,0		
	0,491	- 9		0,976	- 24
12,5			25,0		
	0,518	+ 18		0,975	- 25
13,0			26,0		
	0,480	- 20		1,005	+ 5
13,5			27,0		
	0,473	- 27		1,069	+ 69
14,0			28,0		
	0,496	- 4		0,938	- 62
14,5			29,0		
				0,979	- 21
			30,0		

Les différences de dénivellées du tableau No 93 sont extrêmement irrégulières et ne suivent aucune loi et en particulier le tassement enregistré sur le graphique Fig. 65. Il apparaît des différences positives ce qui est absolument contraire au tassement et semble provenir de mesurages très insuffisants du point de vue de la précision. La méthode employée pour faire les relevés n'est évidemment pas très appropriée pour obtenir la précision nécessaire, mais DUMONT ayant utilisé la méthode par alignement au cordeau, nous étions tenus d'employer la même méthode, les visées des points étant d'ailleurs impossibles, les clous disparaissant derrière les aspérités de la paroi. En tout cas nous ne donnerons que les résultats bruts sans les interpréter.

12.6. Rétrécissement du puits

Le rétrécissement du puits a été mesuré uniquement pour la période de 1957–1959. JEAN DUMONT a implanté ces «repères des déformations des sections verticales».

«Ces repères sont constitués, sur le paroi gauche de la galerie, par les repères R 0..... à R 6 ci-dessus. Sur les autres parois, voûte, sol et paroi droite, ils sont matérialisés par de grosses vis à bois enfoncées dans le névé».

12.6.1. Distances de base, relevées le 24.06.1957, entre les centres des têtes de vis

Tableau No 94

N° des sections	Distance horizontale	Distance verticale
R1 .....	122,1 cm	224,4 cm
R2 .....	139,7	191,7
R3 .....	113,0	209,5
R4 .....	108,8	198,5
R5 .....	90,5	entrée de la sphère
R6 .....	100,0	210,0

Les distance entre ces repères ont à nouveau été déterminées le 07 juillet 1959 par F. BRANDENBERGER. Par suite des travaux d'implantation et de prise d'échantillons dans le puits, les vis des sections verticales ont été supprimées pour la suite.

### 12.6.2. Relevés du 07.07.1959

Tableau No 95

N° des sections	Distance horizontale	Distance verticale
R1 .....	117,6 cm	196,6 cm
R2 .....	126,8 cm	175,2
R3 .....	110,4	199,4
R4 .....	106,9	191,3
R5 .....	86,8	—
R6 .....	97,1	205,0

### 12.6.3. Tableau récapitulatif

D'où le tableau récapitulatif des rétrécissements entre le 24.06.57 et le 07.07.59.

Tableau No 96

N° des sections	<i>prof. moyenne</i>	<i>Rét. horiz. 57/59</i>	<i>Rét. annuel</i>	<i>Rét. vert. 57/59</i>	<i>Rét. annuel</i>
R1 .....	— 6,86 m	— 45 mm	— 22 mm/an	— 278 mm	— 137 mm/an
R2 .....	— 10,07	— 29	— 14	— 165	— 81
R3 .....	— 13,50	— 26	— 13	— 101	— 50
R4 .....	— 16,52	— 19	— 9	— 72	— 35
R5 .....	— 20,03	— 37	— 18	—	—
R6 .....	— 23,44	— 29	— 14	— 50	— 25

Ces résultats sont représentés sur le graphique Fig. 65. La rétrécissement vertical se traduit par une courbe extrêmement régulière qui, comparée au tassement des repères (R), nous donne un coefficient de 5 par rapport au tassement. Par contre, le rétrécissement suivant l'horizontale semble subir une inflexion à 16 mètres de profondeur et une autre à environ 20 mètres. Les mesures ayant été faites au moyen d'une tige télescopique graduée au millimètre ce changement dans le rétrécissement ne peut être que réel, les repères eux-mêmes étant bien déterminés et ancrés dans le névé.

### 12.6.4. Etat du puits en 1965

Calculons le rétrécissement du puits jusqu'en 1965. Le graphique des rétrécissements a été obtenu au moyen des observations de 1957 et 1959. Le rétrécissement moyen correspond par conséquent à l'été de 1958 environ pour les profondeurs moyennes des repères indiqués. Or,



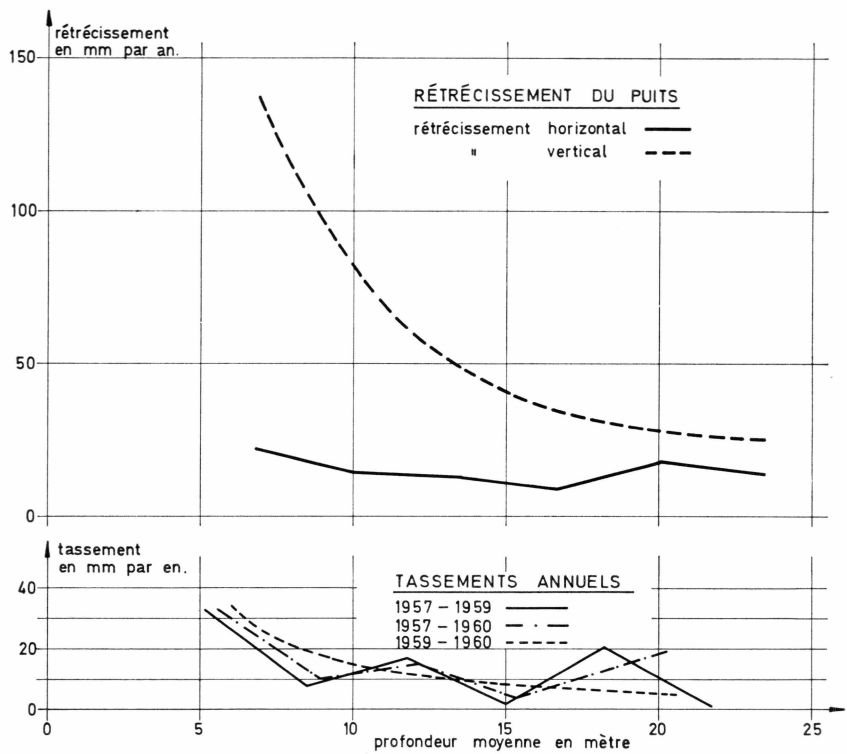


Fig. 65. Rétrécissement et tassement du puits.

d'après les mesures nivologiques, l'apport de neige constituant les couches des 10 mètres supérieurs de névé est de l'ordre de 60 cm par an, compte-tenu du tassement de ces couches. En 1965 les différents repères se trouveront donc à 4,2 mètres plus bas, en moyenne, qu'en 1958. Au fur et à mesure de l'accumulation, les repères augmentent leur profondeur et, d'après le graphique des rétrécissements, le tassement rétrécissant le puits diminue. En intégrant la partie de courbe de rétrécissement comprise entre l'axe des abscisses et les perpendiculaires à cet axe correspondant aux profondeurs des différents repères en 1958 et en 1965, nous pouvons calculer de combien le puits se sera rétréci en 1965 aux niveaux des différents repères (R).

.6.4.1. Profondeur moyenne des sections en 1958 et 1965

Tableau No 97

R1 .....	- 6,86	- 11,06	R4 .....	- 16,52	- 20,72
R2 .....	- 10,07	- 14,27	R5 .....	- 20,03	- 24,23
R3 .....	- 13,50	- 17,70	R6 .....	- 23,44	- 27,64

.6.4.2. Rétrécissement annuel moyen de chaque section pour la période 1958-1965, résultat de l'intégration

Tableau No 98

R1.....	98,8 mm/an	R3.....	39,4 mm/an	R5.....	—
R2.....	60,8 mm/an	R4.....	30,2 mm/an	R6.....	25,0 mm/an

Pour la section R 6 nous avons admis que le rétrécissement restait constant et égal à 25 mm/an au-delà de la profondeur de cette section.

.6.4.3. Rétrécissement probable du puits de 1958 à 1965 au niveaux des différentes sections

Tableau No 99

R1.....	69 cm	R3.....	28 cm	R5.....	—
R2.....	43 cm	R4.....	21 cm	R6.....	18 cm

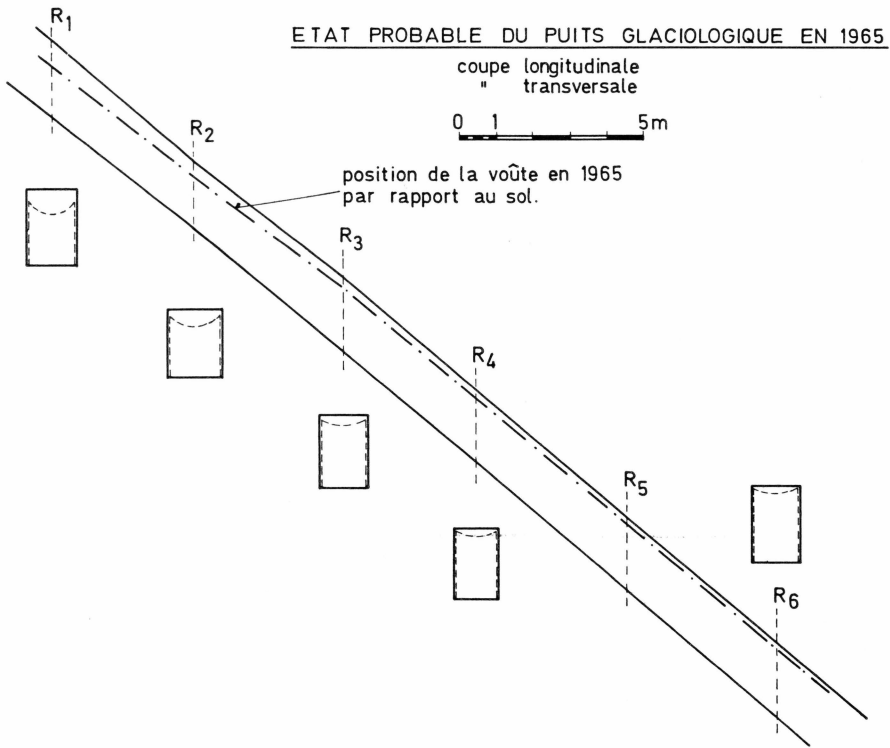


Fig. 66. Etat probable du puits 1965.

Ces résultats figurent sur le plan Fig. 66 ainsi que le rétrécissement horizontal du puits aux niveaux des différentes sections. En ce qui

concerne le tassement des parois, nous avons représenté ce dernier d'après le tableau récapitulatif des tassements No 92 de 1959/1960 calculés pour une épaisseur de 2 mètres.

### 12.7. Conclusion

Du point de vue du tassement il semble à priori que seules les mesures faites sur les repères de déformation longitudinale en 1959 et 1960 soient exploitables. En fait, les mesures de 1957 donnant les profondeurs de ces repères n'avaient pas été prévues à cette fin et par suite sont d'une précision insuffisante, pour pouvoir les interpréter sur un intervalle de temps aussi court. D'autre part, il apparaît que les observations faites sur les repères de profondeur sont également d'une précision insuffisante. En effet, ces repères ont été implantés par alignement au cordeau dans une paroi non rectiligne ni plane. Après le tassement il est par conséquent impossible d'obtenir une bonne précision du relèvement sur un alignement fictif. Il était donc nécessaire de tronçonner la ligne des repères ce qui nous donne finalement une précision de l'ordre de 1 cm par repère. Ceci est nettement insuffisant pour des repères distants de 50 cm en dénivelée, dont le tassement pour un intervalle de 2 ans est du même ordre de grandeur.

Le calcul des rétrécissements du puits montre qu'entre l'entrée du puits et la section R 2, il sera assez délicat de travailler après 1965, vu l'incurvation importante de la voûte. Mais il faudra se garder de rectifier la voûte avant d'avoir refait les observations des repères (L) à partir des stations (S), malgré le fort abaissement du repère S 1.

## HINWEISE AUF LITERATUR

- AMBACH, W. 1963. Untersuchung zum Energieumsatz in der Ablationszone des grönländischen Inlandeises. Meddelelser om Grønland Bd. 174 Nr. 4 S. 288.
- BADER, H. 1954. Sorge's Law of Densification of Snow on High Polar Glaciers. Journal of Glaciology 15.
- BENSON, C.S. 1962. Stratigraphic Studies in the Snow and Firn of the Greenland Ice Sheet. SIPRE Research Report 70, July 1962.
- HAEFELI, R. und BRANDENBERGER F. 1968. Rheologisch-Glaciologische Untersuchungen im Firngebiet des grönländischen Inlandeises. Meddelelser om Grønland Bd. 177 Nr. 1.
- HOFMANN, W. 1964. Die Geodätische Lagemessung über das grönländische Inlandeis (EGIG) 1959. Meddelelser om Grønland Bd. 173 Nr. 6.
- MÄLZER, H. 1964. Das Nivellement über das grönländische Inlandeis. Meddelelser om Grønland Bd. 173 Nr. 7.
- DE QUERVAIN, A. und MERCANTON, P.L. 1925. Résultats Scientifiques de l'Expédition Suisse au Groenland 1912-13. Meddelelser om Grønland Bd. 59 Nr. 5.
- DE QUERVAIN, M. 1950. Die Festigkeitseigenschaften der Schneedecke und ihre Messung. Geophysica Pura e Applicata Bd. 18, 3-15.
- 1951. Zur Verdunstung der Schneedecke. Archiv Met. Geophys. und Bioklimat. B. Bd. III, 47-64.
- 1956. Internationale Glaziologische Grönlandsexpedition (EGIG). Programm-vorschläge zur Schneekunde. Interner Bericht SLF Nr. 246, 30.11.1956.
- RENAUD, A. 1969. Etudes physiques et chimiques sur la glace de l'inlandsis du Groenland 1959. Meddelelser om Grønland Bd. 177 Nr. 2.