

# DEUTSCHE GRÖNLAND-EXPEDITION ALFRED WEGENER

AUSGEFÜHRT UNTER DER LEITUNG VON  
PROF. DR. ALFRED WEGENER † UND PROF. DR. KURT WEGENER  
1929 UND 1930/1951

---

## WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE

HERAUSGEGEBEN IM AUFTRAGE DER  
NOTGEMEINSCHAFT DER DEUTSCHEN WISSENSCHAFT VON

DR. KURT WEGENER

Professor an der Universität Graz

Unter Mitwirkung des Redaktions-Ausschusses  
der Grönland-Kommission

DR. DEFANT

Professor

DR. v. DRYGALSKI

Geh. Regierungsrat,  
Professor

DR. KOHLSCHÜTTER

Wirkl. Geh. Admiräritätsrat,  
Professor

BAND III



---

VERLAG VON F. A. BROCKHAUS / LEIPZIG 1955

WISSENSCHAFTLICHE ERGEBNISSE DER  
DEUTSCHEN GRÖNLAND-EXPEDITION  
ALFRED WEGENER 1929 UND 1930/1931

HERAUSGEgeben IM AUFTRAGE DER NOTGEMEINSCHAFT  
DER DEUTSCHEN WISSENSCHAFT VON  
KURT WEGENER

---

BAND III

GLAZIOLOGIE

von

DR. BERNHARD BROCKAMP,  
MITTELSCHULPROFESSOR HUGO JÜLG,  
DR. FRITZ LOEWE  
UND STUDIENRAT DR. ERNST SORGE

Mit 163 Abbildungen, Tabellen  
und Karten

II/ 6040



---

VERLAG VON F. A. BROCKHAUS / LEIPZIG 1935

Copyright 1935 by F. A. Brockhaus, Leipzig  
Printed in Germany

# I N H A L T.

|   | Seite |
|---|-------|
| <b>1. Beitrag: Fritz Loewe, Die Gletscherfronten im Umanakbezirk</b>  | 1     |
| I. Inlandeisabflüsse  | 2     |
| 1. Der Große Karajak-Gletscher  | 2     |
| 2. Der Kleine Karajak-Gletscher   | 3     |
| 3. Der Sermilik-Gletscher   | 4     |
| 4. Der Itivdliarsuk-Gletscher   | 5     |
| 5. Der Ingnerit-Gletscher   | 7     |
| 6. Der Kamarujuk-Gletscher  | 8     |
| 7. Der Kangerdluarsuk-Gletscher   | 9     |
| 8. Der Kangerdluksuak-Gletscher   | 9     |
| 9. Der Umiamako-Gletscher   | 10    |
| II. Lokalgletscher  | 10    |
| 1. Der Asakak-Gletscher   | 11    |
| 2. Der Sermiarsut-Gletscher   | 13    |
| 3. Der Kome-Gletscher   | 14    |
| III. Zusammenfassung  | 17    |
| <b>2. Beitrag: Hugo Jülg, Die glaziologischen Beobachtungen an der Weststation.</b>                                       | 18    |
| 1. Allgemeines  | 18    |
| 2. Das spaltenlose Firngebiet   | 22    |
| 3. Die Spaltenzone  | 22    |
| 4. Die Lage des Winterhauses  | 25    |
| 5. Beobachtungen am Kangerdluarsuk-Gletscher  | 26    |
| 6. Beobachtungen am Kamarujuk-Gletscher   | 26    |
| 7. Die Beobachtungen im Schacht am Winterhaus   | 28    |
| A. Der Schachtbau   | 28    |
| B. Luftdruck der eingeschlossenen Luftblasen im Eis   | 29    |
| C. Dichtebestimmungen   | 30    |
| D. Die Temperaturbeobachtungen im Schacht   | 31    |
| E. Das Temperaturgefälle  | 37    |
| <b>3. Beitrag: Bernhard Brockamp, Überlegungen zur Temperaturverteilung im Inlandeis auf Grund seismischer Ergebnisse</b> | +1    |

|  |     |
|--|-----|
| 4. Beitrag: Bernhard Brockamp, Über den jährlichen Zutrag in 120 und 62 km Randabstand . . . . .   | 52  |
| 5. Beitrag: Ernst Sorge, Glaziologische Untersuchungen in Eismitte . . . . .   | 62  |
| Einleitung . . . . .   | 62  |
| I. Allgemeine Vorbemerkungen . . . . .   | 65  |
| 1. Lage von Eismitte . . . . .   | 65  |
| 2. Die Besatzung von Eismitte . . . . .  | 64  |
| 3. Ausrüstung . . . . .  | 65  |
| A. Brenner usw. . . . .  | 65  |
| B. Brennstoff . . . . .  | 65  |
| C. Proviant . . . . .  | 66  |
| D. Zelte usw. . . . .  | 67  |
| E. Persönliche Ausrüstung . . . . .  | 67  |
| F. Wissenschaftliche Ausrüstung für Glaziologie . . . . .  | 67  |
| 4. Einrichtung der Station . . . . .   | 68  |
| 5. Der Schachtbau . . . . .  | 75  |
| 6. Temperaturen des Wohnraums und in den Firnwänden . . . . .  | 78  |
| 7. Luftbewegung im Firn . . . . .  | 82  |
| II. Die Firndichte . . . . .   | 87  |
| 1. Messungen der Firndichte . . . . .  | 87  |
| 2. Die Groß- und Feinschichtung des Firs . . . . .   | 96  |
| A. Untersuchung der Firnhärte . . . . .  | 98  |
| B. Sichtbare Schichtgrenzen . . . . .  | 100 |
| C. Beobachtung des Firs im durchscheinenden Lichte . . . . .   | 100 |
| D. Beobachtung des geringeren Zusammenhangs an den Schichtgrenzen . . . . .  | 100 |
| E. Verschiedene Wasseraufnahmefähigkeit des Firs . . . . .   | 101 |
| F. Messung der Korngröße . . . . .   | 102 |
| G. Auffinden der Schichtgrenzen durch Polieren des Firs mit der warmen Hand . . . . .  | 102 |
| H. Dichtemessung . . . . .   | 102 |
| 3. Die Dichtekurve des Firs . . . . .  | 125 |
| III. Die Firnschrumpfung . . . . .   | 138 |
| 1. Messung der Firnschrumpfung . . . . .   | 140 |
| 2. Auswertung der Messungen . . . . .  | 155 |
| 3. Zusammenhang der Firnschrumpfung mit den Firndichtemessungen und dem Firnzuwachs. Die zeitliche und räumliche Dichteänderung des Firs . . . . . | 156 |
| IV. Der Firnstoß . . . . .   | 166 |
| V. Die Firnkörner . . . . .  | 174 |
| 1. Messung der Firnkorngröße . . . . .   | 174 |
| 2. Ergebnisse der Messungen . . . . .  | 195 |
| A. Direkte Ausmessungen in Eismitte . . . . .  | 195 |
| B. Nachträgliche Messungen an den Mikrophotographien . . . . .   | 194 |
| 3. Die Kornstruktur . . . . .  | 195 |

| Inhalt  | VII        |
|---|------------|
|   | Seite      |
| <b>VI. Die Firntemperatur . . . . .</b>                                     | <b>199</b> |
| 1. Messung der Firntemperatur . . . . .                                     | 199        |
| 2. Besprechung der Firntemperaturmessungen . . . . .                        | 216        |
| A. Thermometervergleiche . . . . .  | 216        |
| B. Die Störungen der Firntemperatur im Überblick . . . . .                  | 219        |
| C. Störungen durch Schacharbeit und verwandte Einflüsse . . . . .           | 225        |
| D. Harmonische Analyse der Temperaturschwingung an der Oberfläche . . . . . | 232        |
| E. Berechnung der Firntemperaturen mit der Poissonschen Funktion . . . . .  | 236        |
| F. Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Temperaturen . . . . . | 246        |
| G. Die mittleren Jahrestemperaturen . . . . .                               | 262        |
| H. Die Nachwirkung der Temperaturen früherer Jahre . . . . .                | 263        |

---



---



# Die Gletscherfronten im Umanakbezirk.

Von Fritz Loewe.

Die Gletscher des Umanak- (Umanaq<sup>-1</sup>) Bezirks bilden das klassische Gebiet der Gletscherforschung in Grönland. Erste kurze Bemerkungen finden sich bei Giesecke, der schon um 1810 den Umanakbezirk bereiste<sup>2</sup>, doch lassen sich seine Angaben zur Feststellung der Verschiebung von Gletscherfronten nicht verwenden. Die Angabe Gieseckes, daß sich auf Ubekjendt-Eiland Gletscher befänden, beruht offenbar auf einer Verwechslung mit Upernivik-Insel. Die späteren Arbeiten von Rink<sup>3</sup>, Helland<sup>4</sup>, Steenstrup<sup>5</sup> und v. Drygalski sind von dem letzteren in seinem großen Werk<sup>6</sup> zusammenfassend behandelt worden. Hingewiesen sei darauf, daß das Mineralogische Institut in Kopenhagen nach persönlicher Mitteilung von Dr. N. Nielsen eine Reihe unveröffentlichter und unbeschrifteter photographischer Negative Steenstrups besitzt, von denen das eine oder andere vielleicht über die Gletscher des Umanakdistrikts Aufklärung geben könnte. Die vorläufigen Berichte

<sup>1</sup> Die Schreibung der Ortsnamen im vorliegenden Beitrag schließt sich der bisher in der deutschen wissenschaftlichen Literatur üblichen an, die in einigen Punkten von der augenblicklich in Dänemark und anderen Ländern gebräuchlichen abweicht. So wird z. B. darauf verzichtet, die beiden im Eskimoischen auftretenden K-Laute zu unterscheiden oder eine Unterscheidung von stimmhaftem und stimmlosem s-Laut zu treffen. Die neuere ausländische Literatur trennt vom gewöhnlichen ein gutturales k, das im Anlaut wie K mit folgendem schwachem r-Laut klingt. Die amtliche dänische Schreibweise (z. B. die Kort over Grönland 1: 250000) kennzeichnet gutturales K durch die Schreibung z oder K' bzw. z. in der wissenschaftlichen Literatur (Schultz-Lorentzen, Den Grönlandske Ordbog, Kopenhagen 1926) wird die Schreibung Q bzw. q dafür benutzt. Stimmloses s wird dort durch die Schreibung ss wiedergegeben. Die außerhalb Deutschlands übliche Schreibung ist bei der ersten Erwähnung jedes Namens der besseren Identifizierung halber in Klammern beigefügt.

<sup>2</sup> Neudruck. Medd. om Grönland XXXV. 1910.

<sup>3</sup> Grönland Bd. I. De Danske Handelsdistrikter i Nordgrönland, 1852; in deutscher Bearbeitung A. v. Etzel, Grönland, Stuttgart 1860.

<sup>4</sup> A. Helland, Archiv f. Mathematik og Naturvidenskab I. Kristiania 1876.

<sup>5</sup> Steenstrup, Medd. om Grönland IV.

<sup>6</sup> v. Drygalski, D. Grönlandexp. d. Ges. f. Erdk. z. Berlin, 1898 (im folgenden als „Grönlandwerk“ zitiert).

1 Wegener, Wissenschaftl. Ergebn. Bd. III.

Drygalskis<sup>7</sup> enthalten einige Angaben, die in das endgültige Werk nicht übernommen sind. Ebenso läßt sich aus photographischen Aufnahmen Drygalskis, die sich in den Beständen der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin finden, einiges Neue über die Gletscherfronten entnehmen. Es unterliegt keinem Zweifel, daß auch seit Drygalskis Expedition im Jahre 1893 einzelne Gletscherfronten des Umanakbezirks besucht, photographiert und vielleicht sogar vermessen worden sind, z. B. durch De Quervain. So enthält ein Bilderwerk von Th. N. Krabbe<sup>8</sup> und die große Landeskunde Grönlands<sup>9</sup> einzelnes verwertbares Material, ebenso Arbeiten von A. C. Seward<sup>10</sup> und A. Erling Porsild<sup>11</sup> und Messungen von F. Loewe im Jahre 1932<sup>12</sup>.

Im Verlauf der Alfred-Wegener-Expedition wurde eine Reihe von Gletschern einer Beobachtung ihrer Frontlage unterzogen. Da jedoch gletscherkundliche Arbeiten nur eine Nebenaufgabe der Expedition von 1929 darstellten, konnte diese Arbeit nur flüchtig sein; wo Zeitgründe eine Messung unmöglich machten, wurde wenigstens durch Georgi und Sorge der damalige Stand photographisch festgehalten.

Ein vorläufiger Bericht über die „Nachmessung der Gletscherfronten im Umanakdistrikt“ ist in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin 1930, S. 108, erschienen.

## I. Inlandeisabflüsse.

### 1. Der Große Karajak- (Qarajaq-) Gletscher.

Die Vermessung der Gletscherfront fand am 25. Juni 1929 (nicht Juli, wie im vorläufigen Bericht irrtümlich angegeben) statt, und zwar durch Bestimmung einiger Winkel mit dem Sextanten von der „Randbasis“ Drygalskis aus, dessen Steinmänner ohne Schwierigkeit aufgefunden wurden.

Der Große Karajak hat seit der Vermessung durch Steenstrup innerhalb von fünfzig Jahren seine Frontlage nicht wesentlich geändert. Die Aufnahme Steenstrups (Medd. om Gr. IV, Taf. III, Fig. 1) zeigt die gleiche

<sup>7</sup> Verhandl. d. Ges. f. Erdk. z. Berlin 1891, desgl. 1893 und 1895, Zeitschr. d. Ges. f. Erdk. z. Berlin 1892.

<sup>8</sup> Th. N. Krabbe, Greenland, its Nature, Inhabitants and History, Kopenhagen und London 1930.

<sup>9</sup> Medd. om Grönland LX. 1921.

<sup>10</sup> A. C. Seward, A Summer in Greenland, Cambridge 1922.

<sup>11</sup> Medd. om Grönland LVIII, II, 1926.

<sup>12</sup> Zeitschrift f. Gletscherkunde XXI, 1933/34, S. 358.

Frontlage, wie Drygalskis Tafel 35 des Grönlandwerks. Das Bild ist, wie ein Vergleich der im Vordergrund liegenden Steine ergibt, von Drygalskis Endpunkt B der Randbasis aufgenommen. Auch bei unserem Besuch im Juni 1929 war die Verschiebung der Gletscherfront unbedeutend. Wie meine Messungen, ebenso wie Georgis und Sorges photographische Aufnahmen zeigen, bestand die Veränderung der Frontlage gegenüber dem Oktober 1892 (Drygalski, Taf. 35) darin, daß der Vorsprung am westlichen Rand der schnellbewegten Zone jetzt 230 m weiter zurücklag, während im östlichen Teil der Gletscherfront sich keine nennenswerte Verschiebung feststellen ließ. Die Verschiebung lag also innerhalb der von Drygalski (Grönlandwerk, Karte 2) angegebenen Schwankungsweite der Gletscherfront. Die Fronthöhe des Gletschers wurde an zwei hohen Stellen des schnellbewegten Mittelteils zu 115 m und 95 m, an der höchsten Stelle der ruhigeren westlichen Randzone zu 80 m und etwa 100 m vom westlichen Gletscherrand zu 55 m über Wasser gemessen. Diese naturgemäß zeitlichen Schwankungen unterworfenen Werte stimmen mit Drygalskis Messungen<sup>13</sup> völlig überein.

Dank dem milden Winter 1928/29 war Ende Juni entgegen Drygalskis Beobachtung<sup>14</sup> der winterliche Eisstau völlig verschwunden. Während des Besuches fand an der Gletscherfront eine größere Kalbung statt, bei der ein mittelgroßer Berg aus der Tiefe emportauchte (Kalbung 2. Größe nach Drygalski) und sich mit großer Geschwindigkeit in den eisgefüllten Fjord hinausschob.

## 2. Der Kleine Karajak-Gletscher.

Die Frontvermessung fand am 26. Juni<sup>15</sup> 1929 von einer 175 m langen Basis am Westufer des Kleinen Karajak-Fjordes statt. Die Basis liegt 820 m vom westlichen Rand der Gletscherfront entfernt in einer Höhe von 50 m über dem Meeresspiegel. Die genaue Lage der durch kleine Steinmänner gekennzeichneten Basis läßt sich auf der an dieser Stelle etwas schematischen Karte Drygalskis nicht festlegen. Die von Drygalski außerhalb des nördlichen Gletscherrandes angedeutete Einbuchtung der Uferlinie ist in Wahrheit wesentlich schärfer ausgebildet; die Basis liegt mit ihrem dem Gletscher zugewandten Endpunkt von dem Felsvorsprung, an dem nach Drygalskis Karte der Gletscher ans Ufer stößt, in Richtung 308° rechtweisend und hat selbst die Richtung 257° rechtweisend. Ein Vergleich der Messungen und Photographien von dieser Basis aus mit Tafel 10 des

<sup>13</sup> Grönlandwerk, S. 276, 277.

<sup>14</sup> Grönlandwerk, S. 284.

<sup>15</sup> Nicht Juli, wie im „Vorläufigen Bericht“ angegeben (Ztschr. d. Ges. f. Erdk., 1930).

Drygalskischen Grönlandwerkes und den unveröffentlichten Photographien Drygalskis zeigt, daß die Frontlage seitdem kaum verändert ist. Der Gletscher endete 1929, wie bei Drygalski angegeben, mit seiner Nordkante gerade an einer deutlichen Umbiegung der Küstenlinie. Die von Drygalski auf seiner Karte<sup>16</sup> angegebene Form der Front, einspringende Mitte, vorspringende Randteile, waren auch 1929 vorhanden.

### 3. Der Sermilik-Gletscher.

Die Vermessung fand am 27. Juni 1929 statt, und zwar von einer 170 m langen, durch kleine Steinmänner gekennzeichneten Basis, die auf dem südlichen Fjordufer westlich des von Drygalski gezeichneten<sup>16</sup> Baches

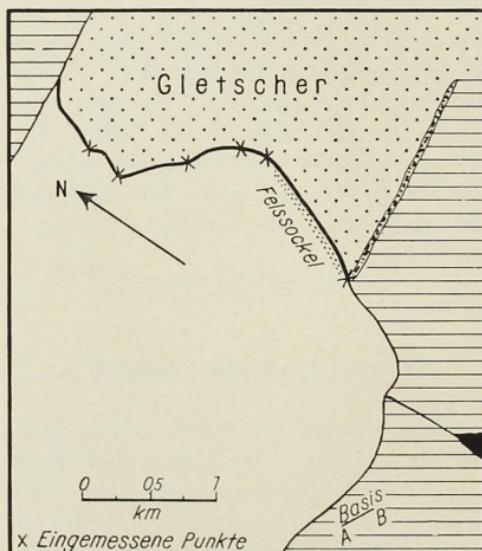


Abb. 1. Skizze des Sermilik-Gletschers 1929.

in etwa 320 m Meereshöhe lag. Die Basis peilt von der Bachmündung etwa 250° rechtweisend und ist von ihr etwa 1000 m entfernt. Da frühere Vermessungen nicht vorliegen, muß die Untersuchung auf Frontveränderungen sich auf die Betrachtung photographischer Aufnahmen aus früherer Zeit beschränken. Solche Aufnahmen liegen veröffentlicht vor aus den Jahren 1891<sup>17</sup> und 1909<sup>8</sup>; von dem Besuch des Gletschers durch

<sup>16</sup> Grönlandwerk. Karte 2.

<sup>17</sup> Grönlandwerk. Tafel 31.

De Quervain und Begleiter im gleichen Jahre sind nach freundlicher persönlicher Auskunft Dr. Stolbergs verwertbare Daten nicht erhalten. Der Sermilik-Gletscher zeigt, wie übrigens bei der Steilheit seines Gletscherbettes zu erwarten, nur geringe Änderungen seiner Frontlage. Schon 1891 erreichte der Gletscher in seinem südlichsten Frontteil nicht das Meer, sondern endete auf einer Felsstufe, über die sich Schmelzwasserbäche aus dem Gletscherinneren in den Fjord ergießen. Diese Felsstufe war 1891 und 1909 zwar ebenso breit, aber nur bis zu geringerer Höhe von dem auflagernden Eis freigegeben als im Jahre 1929, wo der Fels bis zu 30 m Höhe sichtbar war. Sie erstreckte sich über das südliche Drittel der Gletscherfront. Weiter nördlich springt die Front, wie auf den Bildern von 1891 und 1909 erkenntlich, in ziemlich spitzem Winkel in den Fjord vor. Die Skizze 1 zeigt die Frontlage von 1929 auf Grund einer Vermessung von 8 Frontpunkten. Die Front erreicht in ihrem höchsten Teil eine Höhe von 80 m über Wasser. Der über die rechte Begrenzungswand des Gletschers herabhängende Eislappen des Inlandeisrandes<sup>18</sup> hat seit 1891 merkliche Veränderungen durchgemacht. Er hat sich zwischen 1891 und 1909 zurückgezogen; zwischen 1909 und 1929 ist er stationär geblieben, ja an einzelnen Stellen scheint ein geringfügiges Vorrücken erkenntlich.

#### 4. Der Itivdliarsuk- (Itivdliarssuk-) Gletscher.

Durch Vergleich der von Drygalski 1891 und 1893 aufgenommenen Photographien mit Aufnahmen Sorges und Georgis am 28. Juni 1929 (Abb. 2) läßt sich die Veränderung der Frontlage in dieser Zeit bestimmen. Auch unveröffentlichte Aufnahmen Drygalskis sind neben veröffentlichten (Grönlandwerk, Taf. 32; Grönlandwerk, Karte 5; Zeitschr. d. Ges. f. Erdkunde zu Berlin, 1892, Taf. 5 und 8) zu diesem Vergleich herangezogen<sup>19</sup>. Schon zwischen 1891 und 1893 scheint die Gletscherfront einen kleinen Rückgang aufzuweisen. Der am weitesten vorspringende Frontteil liegt 1893 etwas weiter zurück als 1891. Auch der moränenbedeckte westliche Randstreifen des Gletschers ist zwischen 1891 und 1893 zurückgegangen. Möglicherweise liegt jedoch dieser Rückgang innerhalb der durch die zeitweiligen Kalbungen bedingten Schwankungen der Front, wie auch Drygalski<sup>20</sup> anzunehmen scheint. Dagegen scheint zwischen 1891 und 1893 der Gletscher in seinem rechten Teil ein wenig angeschwollen zu sein, denn von den beiden von genau dem gleichen Punkt

<sup>18</sup> Grönlandwerk, Tafel 31.

<sup>19</sup> Eine 1915 vom südlichen Fjordufer aus aufgenommene unveröffentlichte Photographie Dr. A. Bertelsens, der mir freundlicherweise einige Aufnahmen zur Verfügung stellte, zeigt, daß damals die Lage der Gletscherfront von der Lage 1929 nicht wesentlich abwich.

<sup>20</sup> Grönlandwerk, S. 144.

aufgenommenen Bildern 1891<sup>21</sup> und 1893<sup>22</sup> zeigt das letztere den großen Nunatak im Hintergrund des Gletschers in etwas geringerer Ausdehnung als das erstere.

Seit 1893 ist dann die Gletscherfront in ihrem westlichen (rechten) Teil wesentlich zurückgegangen. Der unmittelbare Vergleich der photographischen Aufnahmen von 1891 bzw. 1893 und 1929 ist möglich, da sich der von Drygalski errichtete Steinmann in verfallenem Zustand noch vorfand. Der auf Drygalskis Karte verzeichnete und auf Tafel 32 abgebildete Randsee stand 1929 durch den Gletscherrückgang in unmittelbarer Verbindung mit dem Meer. Nach Drygalskis Karte<sup>23</sup> würde das einen Rückgang von fast 2 km bedeuten. Nach der vorläufigen Karten-skizze in der Zeitschrift der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin, 1892, S. 23, die das Ergebnis des Besuchs von 1891 darstellt, ist dieselbe Strecke nur wenig mehr als 1 km lang. Ohne daß bei dem Besuch von 1929 genauere Messungen angestellt sind, darf aus den vorhandenen Photogra-phien geschlossen werden, daß der Rückgang seit Drygalskis Besuch 1 km kaum erreicht. Nach freundlicher Mitteilung Prof. v. Drygalskis beruht übrigens die Karte im Grönlandwerk an dieser Stelle nur auf einer Skiz-zierung, so daß diese Differenzen nicht wundernehmen können. Der mitt-lere Teil des Itivdliarsuk-Eisstroms ragte nach einem Vergleich der Auf-nahmen von 1891<sup>24</sup> und 1893<sup>25</sup> im ersten Jahre ein wenig weiter in den Fjord hinaus; doch dürfte sich der Unterschied innerhalb der normalen, durch die Kalbungen bedingten Schwankungen halten. Dagegen ist zwi-schen 1893 und 1929 ein Unterschied in der Lage des am weitesten vor-springenden Frontteils nicht festzustellen.

<sup>21</sup> Ztschr. d. Ges. f. Erdk. z. Berlin 1892, Tafel 6.

<sup>22</sup> Grönlandwerk, Tafel 3n.

<sup>23</sup> Grönlandwerk, Karte 5.

<sup>24</sup> Ztschr. d. Ges. f. Erdk. 1892, Tafel 8.

<sup>25</sup> Unveröffentlicht.

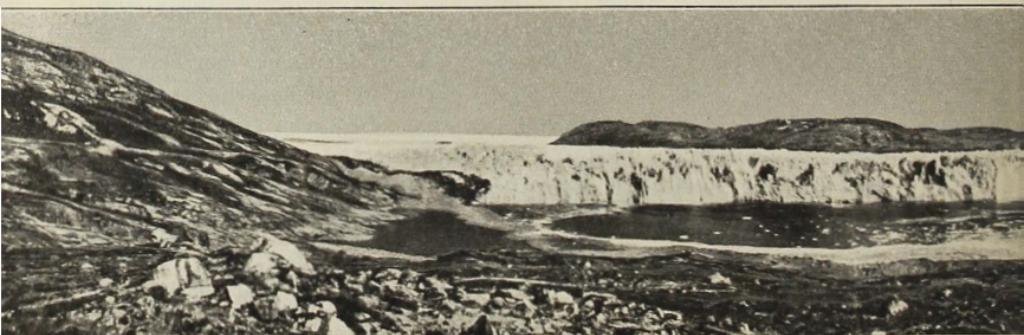


Abb. 2. Die Front des westlichen

### 5. Der Ingnerit-Gletscher.

Die beiden Ingnerit-Gletscher sind bisher einer Vermessung nicht unterzogen worden. Sowohl Rink<sup>26</sup> wie Steenstrup<sup>27</sup> geben an, daß die

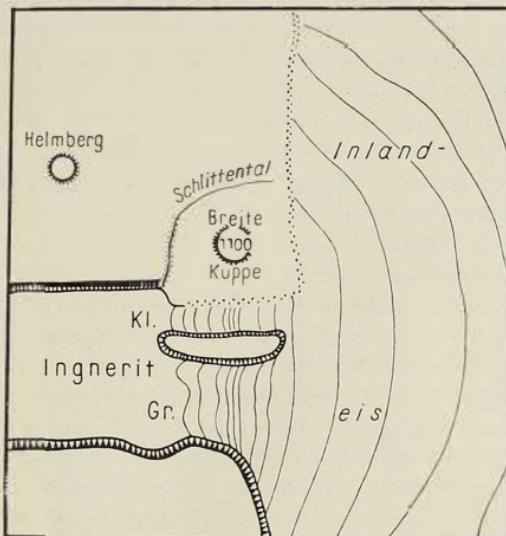


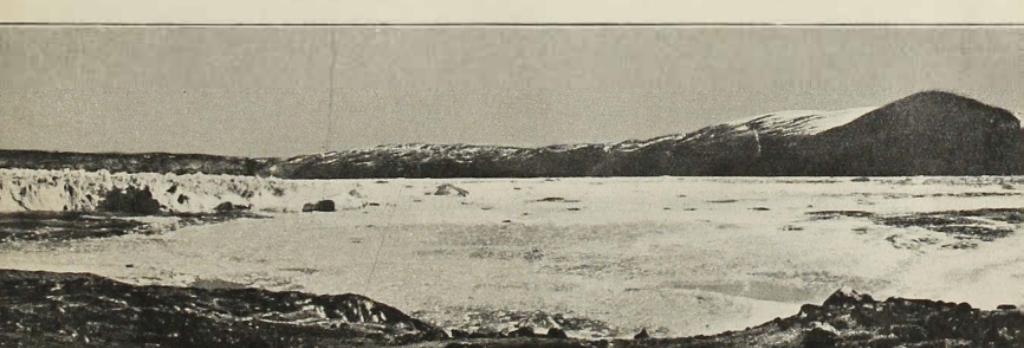
Abb. 3. Ingnerit-Gletscher 1929<sup>27a</sup>.

beiden Gletscher an ihrer Front durch einen Felskamm getrennt sind. Die Front kann also damals nicht wesentlich weiter vorwärts gelegen haben als 1929, da bei Vorrücken um einige hundert Meter die Gletscher unter-

<sup>26</sup> A. v. Etzel, Grönland, S. 467.

<sup>27</sup> Medd. om Grönland, Bd. IV, Karte.

<sup>27a</sup> Die Skizze ist nach NzW orientiert. Die „Breite Kuppe“ ist nach Osten bis an den Rand des Inlandeises zu verschieben.



Ingnerit-Gletschers (Juni 1929).

halb des Felskamms zusammenwachsen würden. Auch eine Aufnahme A. Bertelsens vom Sommer 1917<sup>28</sup> zeigt eine Frontlage, die sich nach Vergleich mit photographischen Aufnahmen Georgis<sup>29</sup> und Sorges von der im Jahre 1929 vorliegenden nicht wesentlich unterschied. Auf Grund dieser Aufnahmen ist in Skizze 3 versucht worden, eine Vorstellung von der ungefähren Frontlage der Ingnerit-Gletscher zu geben. Der südliche der beiden Gletscher ist wesentlich größer als der nördliche. Seine Front springt in zwei konvexen Bogen ins Meer vor, deren nördlicher weiter hinausreicht und einen kleineren Krümmungsradius besitzt. Zwischen dem Nordrand dieses größeren Gletschers und dem die beiden Gletscher trennenden Felskamm findet sich eine ziemlich tief eingreifende Meeresbucht. Beim nördlichen Ingnerit-Gletscher liegt das Südende unweit der Westspitze dieses Felskammes; die Lage des Nordendes zeigt die Abbildung S. 49 von A. Wegeners „Mit Motorboot und Schlitten in Grönland“<sup>30</sup>. Dem Band 1 dieses Werkes ist eine „Skizze des Randgebietes“ beigegeben, die lediglich dazu dienen soll, die Darstellung der Geschichte der Expedition zu erläutern, aber keinen Anspruch auf Genauigkeit erhebt. Dadurch wird erklärlich, daß die vorliegende Skizze 3 im Bereich des Ingnerit-Gletschers ein nicht unerheblich abweichendes Bild bietet. So fehlt auf ihr ein in der „Skizze des Randgebietes“ verzeichnet großer Gletscher, der von Norden her dem nördlichen Ingnerit-Gletscher an seinem Ende zufließt. Der auf der „Skizze des Randgebietes“ östlich davon verzeichnete Nunatak liegt in Wirklichkeit<sup>30</sup> wesentlich weiter nördlich.

## 6. Der Kamarujuk- (Qamarujuk-) Gletscher.

Der Kamarujuk-Gletscher war vor 1929 von Europäern nicht besucht worden. Steenstrup<sup>31</sup> weist ausdrücklich darauf hin, daß das Gebiet zwischen dem Ingnerit- und Kangerdluarsuk-Gletscher zu seiner Zeit unbekannt war. Über den Gletscher und seine Veränderungen in den Jahren 1930 und 1931 liegen genauere Messungen durch Weiken vor. Schon im Jahre 1929 zeigte die Form der Gletscherfront, daß der Gletscher im Rückgang begriffen war. Der vorspringendste Teil der Gletscherfront ist von Ende Juli bis Mitte September 1930 um 3 m zurückgewichen. Daß es sich nicht um einen Rückgang durch die sommerliche Abschmelzung von  $4\frac{1}{2}$  m Eis handelte, wird durch den weiteren Rückgang im Jahre 1931 gezeigt. Ende August 1931 lag die Front 15 m hinter dem Stand vom Juli 1930. Der Rückgang hielt 1932 an<sup>12</sup>.

<sup>28</sup> Medd. om Grönland LX, Tafel LXXII.

<sup>29</sup> J. Georgi, Im Eis vergraben. 1933.

<sup>30</sup> Vgl. auch Ztschr. d. Ges. f. Erdk. 1930, Tafel IV, Abb. 8; A. Wegener, Mit Motorboot und Schlitten, Abb. S. 49 und 65.

<sup>31</sup> Medd. om Grönland IV, Bidrag til Kjendskab usw., S. 15.

### 7. Der Kangerdluarsuk- (Kangerdluarssuk-) Gletscher.

Über einen Besuch der Kangerdluarsuk-Gletscherfront hat bisher nur Steenstrup<sup>32</sup> berichtet, der am 29. April 1880 im Innern des Kangerdluarsuk-Fjordes weilte. Soweit die Karte Steenstrups Schlüsse zu ziehen gestattet, hat sich die Gletscherfront seitdem nicht wesentlich verlagert. Auch 1929 sprang die Mitte der Gletscherfront wesentlich vor, während die südliche Begrenzung etwa 600 m weit zurücksprang. Ähnlich liegen die Verhältnisse auf der Nordseite, wo sich zwischen Eis und Felsbegrenzung das breite Schotterbett eines dem rechten Gletscherrand folgenden Flusses erstreckte. Der Gletscher ist auch heute, ebenso wie zu Steenstrups Zeit, trotz seiner großen Breite wenig produktiv. Die Kartenskizze des Randgebietes in Band I der Wissenschaftlichen Ergebnisse, die, wie erwähnt, lediglich den Expeditionsverlauf erläutern sollte, behandelt die Front des Kangerdluarsuk und ihre Umgebung nur in ziemlich schematischer Weise. Die Gletscherfront verläuft nach einer rohen Peilung von 1929 etwa von Südwesten nach Nordosten. Im übrigen ist das Ergebnis der flüchtigen Erkundungen von 1929, besonders über die Topographie an der Nordseite des Kangerdluarsuk, in der Karte des Umanakbezirks in Else Wegeners „Alfred Wegeners letzte Grönlandfahrt“ niedergelegt.

### 8. Der Kangerdluksuak- (Kangerdlugssuaq-) Gletscher.

Der ziemlich produktive Kangerdluksuak-Gletscher ist im Sommer 1878 von A. Helland besucht und seine Lage skizziert worden<sup>33</sup>. Die von Sorge und Georgi 1929 von der südlichen Fjordseite aus aufgenommenen photographischen Aufnahmen zeigen, daß die Gletscherfront ihre Lage und Form ungefähr beibehalten hat. Besonders tritt das von Helland betonte (S. 85) weite Vorspringen des mittleren Gletscherteils auch 1929 deutlich hervor. Wenn man der Skizze Hellands Vertrauen schenken darf, deren geringe Zuverlässigkeit dieser jedoch selbst hervorhebt, so scheint wenigstens der rechte (nördliche) Gletscherrand einen gewissen Rückgang erlitten zu haben. Der Kangerdluksuak gehört zu den Inlandeisabflüssen, die ungewölkte Eisberge abstoßen<sup>34</sup>. Solche ungewölkten Berge sind verhältnismäßig selten; ihre grönlandische Bezeichnung ist „manitsok“. Chamberlin<sup>35</sup> hat sie im Jakobshavner Eisfjord beobachtet, der Verfasser 1931 vor der Front des Umiamako-Gletschers. Die Bildung solcher Berge setzt voraus, daß der Berg sich bereits bei seiner Bildung

<sup>32</sup> Medd. om Grönland V. Beretning om Undersøgelsesrejserne, S. 34; 5. S. 83.

<sup>33</sup> 4. S. 84ff.

<sup>34</sup> Mit Motorboot und Schlitten, S. 40. Ztschr. d. Ges. f. Erdk. 1930, Tafel V, Abb. 9.

<sup>35</sup> Glacial Studies in Greenland, Journal of Geology 1894—97.

in stabiler Lagerung befindet, d. h. sich als eine verhältnismäßig flache Tafel ablöst. Dafür ist wesentlich, daß die Spalten nicht allzu tief ins Eis hineingreifen und der Fjordboden vor der Gletscherfront zunächst eine geringe Neigung aufweist. Auch ein geringer Gezeitenhub dürfte für die Bildung ungewölbter Berge günstig sein<sup>36</sup>.

### 9. Der Umiamako-Gletscher.

Die Front des Umiamako-Gletschers wurde von Steenstrup 1879 und 1880, von Drygalski 1893 in einigen Kilometern Abstand passiert. Der Verfasser hat sie im September 1931 von der dem Zeltplatz Umiamako benachbarten Höhe im Kamm zwischen Umiamako-Gletscher und Rinks Eisfjord<sup>37</sup> in Augenschein genommen. Vor der Front lagen ungewölbte Eisberge, wie sie auch Drygalski<sup>38</sup> an dieser Stelle beobachtet hatte. Ein Vergleich der Frontlage 1931 mit der von Steenstrup und besonders Drygalski skizzierten Lage könnte zu dem Schluß führen, daß der nördliche Teil der Gletscherfront jetzt beträchtlich weiter zurückliegt. Da jedoch sowohl Steenstrup wie Drygalski keine genauere Vermessung ausführen konnten und beide Reisende die Front im Winter gesehen haben, wo der Eisstau vor der eigentlichen Gletscherfront diese aus der Ferne schwer erkennbar macht, läßt sich über das Ausmaß dieses Rückganges seit 1880 bzw. 1893 nichts Näheres sagen. Auch die bei der Gesellschaft für Erdkunde zu Berlin befindlichen Aufnahmen Drygalskis geben keinen sicheren Aufschluß über die damalige Frontlage. Wahrscheinlich ist seit dem Besuch Drygalskis im nördlichen Teil der Gletscherfront ein Rückgang von knapp 1 km erfolgt, während Mitte und Südrand ihre Lage nicht verändert haben<sup>37</sup>. Welchen Anteil an der anscheinenden Veränderung der Frontlage die normalen Oszillationen der Gletscherfront haben, läßt sich nicht entscheiden. 1932 ist der Gletscher von E. Sorge genau vermessen worden<sup>39</sup>.

## II. Lokalgletscher.

Die Gletscher auf der Nordseite der Nugsuak- (Nugssuaq-) Halbinsel sind seit Gieseckes<sup>2</sup> und Rinks<sup>3</sup> Beobachtungen in längeren Abständen wiederholt besucht worden. Ein Überblick über die Veränderungen der Frontlage bis zum Jahre 1893 findet sich bei Drygalski<sup>40</sup>. Beobachtungen

<sup>36</sup> Vgl. auch Drygalski, Grönlandwerk, S. 398.

<sup>37</sup> Grönlandwerk, Karte 6.

<sup>38</sup> Grönlandwerk, S. 149.

<sup>39</sup> Mit Flugzeug, Faltboot und Filmkamera in den Eisfjorden Grönlands. 1933.

<sup>40</sup> Grönlandwerk, S. 361.

im Jahre 1932 durch F. Loewe, s. 12. Die Gletscher, einer örtlichen Vereisung der über 2000 m Meereshöhe ansteigenden Berge von Nugsuak entstammend, haben in der Zeit ihrer Beobachtung bedeutende Schwankungen ausgeführt.

### 1. Der Asakak- (Agssakaq-) Gletscher.

Der Asakak-Gletscher wurde am 14. September 1929 besucht. Zeitmangel verhinderte eine genaue Vermessung, so daß sich die Beobachtungen auf

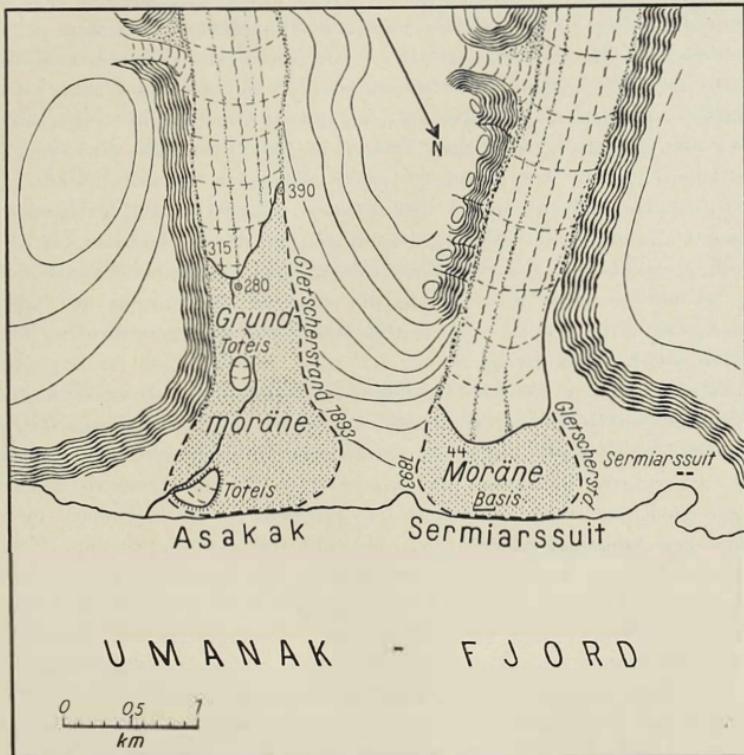


Abb. 4. Asakak- und Sermiarssut-Gletscher 1929 auf Grundlage der Karte v. Drygalskis.

eine Kontrolle der Rändlage durch Aneroidmessungen, Messungen des Gefälles bis zur Küstenlinie und Kompaßpeilungen beschränkten. Für etwaige spätere Prüfungen der Frontlage wurden zwei kleine Steinmänner errichtet. Der eine befindet sich auf einem großen Felsblock in etwa 390 m Meereshöhe dort, wo die Gletscherfront an die linke Ufermoräne herantritt. Der andere liegt, gleichfalls auf einem Felsblock, in der Ver-

längerung der rechten Mittelmoräne; er befand sich im September 1929 19 m vom äußersten Eisrand entfernt. Der Gletscher ist seit Drygalskis Besuchen in den Jahren 1892 und 1893, während deren er wenige Meter vom Strandte endete und im Vorgehen begriffen war, sehr bedeutend zurückgegangen. Die Lage 1929 gibt Fig. 4. Im Jahre 1929 lag der niedrigste Teil seiner Front nicht weniger als 1700 m vom Ufer entfernt und in 280 m Meereshöhe, und zwar auf der rechten Mittelmoräne. Etwa 100 m oberhalb kam der Gletscherbach aus einem weiten Tor hervor, durch das man, da in dieser Jahreszeit die Schmelzwassermenge gering war, etwa 100 m längs der Gletschersohle eindringen konnte. Auf dieser Strecke ließ sich die stark lehmhaltige Grundmoräne und ihr allmählicher Übergang in das geschiebegespickte Gletschereis sehr gut verfolgen. Weiter westwärts sprang die Gletscherfront weit zurück, so daß sie, statt quer zum Tal zu verlaufen, mit dem Talstrich einen ganz spitzen Winkel bildete. Ihr höchster Punkt lag an der westlichen Talseite in 390 m Seehöhe, etwa 2400 m vom Ufer entfernt. Auf geringere Eismächtigkeit an der linken Gletscherseite deuteten auch schon die Höhenlinien auf der Karte Drygalskis<sup>41</sup>. Dieser Unterschied der Eishöhen kann einmal darauf beruhen, daß die Speisung des Asakak-Gletschers im wesentlichen von seiner rechten Seite her erfolgt, daneben aber dürfte die stärkere Bestrahlung der linken Gletscherseite infolge der geringeren Höhe der sie begrenzenden Bergkämme von Einfluß darauf sein.

Vergleicht man die für die heutige Gletscherfront gemessenen Seehöhen mit den Höhen der Eisoberfläche an der gleichen Stelle nach Drygalskis Karte, so ergeben sich für 1893 Gletscherdicken von 80 bis 100 m. Setzt man einen Nachschub von Eis nicht in Rechnung, so ergäbe sich daraus ein Eisschwund von etwa  $2\frac{1}{2}$  m jährlich. Drygalski findet<sup>42</sup> in der Zunge des Asakak-Gletschers eine Ablation von 2,25 m im Jahr. Doch bezieht sich dieser Schwund nach Mitteilung Drygalskis nur auf die Meßperiode vom 31. August 1892 bis 9. August 1893. Bei Reduktion dieses Zeitraums auf ein volles Jahr würde<sup>43</sup> der Gesamtabtrag auf mindestens  $2\frac{3}{4}$  m zu erhöhen sein. Jedenfalls stimmen die Werte der Ablation in dem von Drygalski angetroffenen stationären Gletscherzustand mit dem seither eingetretenen mittleren Schwund der Gletscheroberfläche der Größenordnung nach überein; der Nachschub kann also in dem zwischen 1893 und 1929 liegenden Zeitraum nur geringe Beträge erreicht haben. Die Gletscherfront ist seit Drygalskis Besuchen an ihrem Westrand um 2300 m, an ihrem Ostrand um etwa 1650 m zurückgegangen. Das ergibt für den Jahresdurchschnitt 1893 bis 1929 ein Rückschreiten um 45 bis 65 m

<sup>41</sup> Grönlandwerk, Karte 7.

<sup>42</sup> Grönlandwerk, S. 338.

<sup>43</sup> Grönlandwerk, S. 251.

jährlich<sup>44</sup>. Doch muß der Gletscher in der Zwischenzeit zeitweilig einen weit schnelleren Rückzug gehabt haben, da er sich zu Anfang der betrachteten Periode mindestens in stationärem Zustand befand. Auch 1929 schien der Gletscher in kräftigem Rückgang begriffen zu sein, da der Rand als ganz flache Eisplatte auslief.

Quer über die untersten Gletscherteile erstreckten sich Wülste aus lehmigem Grundmoränenmaterial, die sich stellenweise auch seitlich des Gletschers auf dem kürzlich eisfrei gewordenen Boden fortsetzen. Vermutlich wird hier die Grundmoräne auf Abscherungsflächen, an denen sich der bewegte Gletscher über sich ablösende Toteismassen schiebt, mit an die Oberfläche gebracht. Toteismassen finden sich an verschiedenen Stellen des kürzlich eisfrei gewordenen Vorlandes vor dem Asakak-Gletscher. Unter den klimatischen Verhältnissen Nordgrönlands kann sich solches Toteis unter hinreichend mächtiger Moränendecke sehr lange halten<sup>45</sup>. Setzt man die Jahresmitteltemperatur im Meeresspiegel zu  $-6^{\circ}$ , die jährliche Temperaturschwung zu  $30^{\circ}$ , so ergibt sich bei einer thermometrischen Wärmeleitfähigkeit der Moräne von  $0,8 \text{ [cm}^2 \text{ min}^{-1}\text{]}$ , daß unter einer Moränenbedeckung von  $1\frac{1}{2} \text{ m}$  unter solchen Bedingungen keinerlei Schmelzung mehr eintritt. Eine größere Toteismasse liegt in einer Mächtigkeit von etwa  $15 \text{ m}$  in etwa  $110 \text{ m}$  Meereshöhe am Innenrand des rechten Drittels des verlassenen Gletscherbettes. Die größte Toteismasse findet sich in unmittelbarer Nähe des Meeres gleichfalls auf der rechten Seite des alten Gletscherbettes. Sie ist an der Seeseite völlig von Moräne verhüllt, dagegen auf der dem Meer abgewandten Seite durch einen Bach angeschnitten. Das Toteis ragte hier in fast senkrechter Wand  $20 \text{ m}$  aus dem Bachbett empor.

## 2. Der Sermiarsut- (Sermiarssuit-) Gletscher.

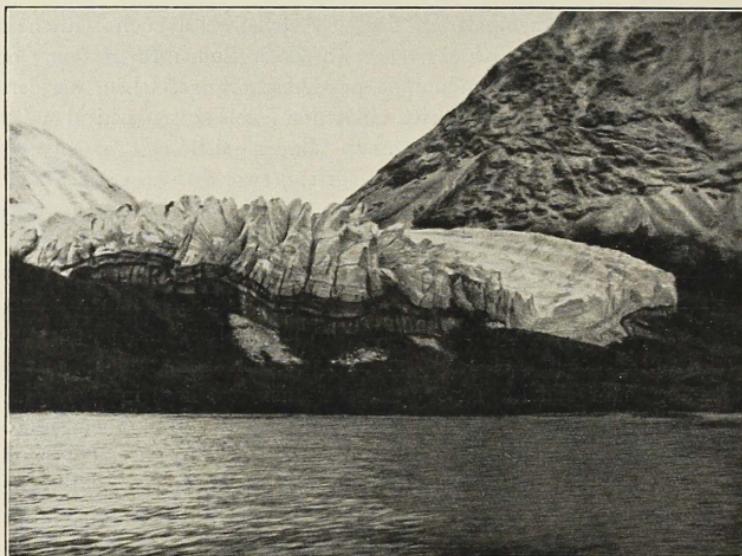
Am Sermiarsut-Gletscher konnte nur am 14. September 1929 eine durch Zeitmangel, Schneefall und Nebel behinderte flüchtige Frontvermessung von einer  $130 \text{ m}$  langen Basis nahe am Meeresufer aus stattfinden. Die Gletscherfront<sup>46</sup> lag mit dem am weitesten gegen die Küste vorspringenden Teil auf der rechten Gletscherseite  $470 \text{ m}$  vom Ufer entfernt, der linke Gletscherteil sprang demgegenüber etwas zurück. Seit Drygalskis Besuchen 1892 und 1893 ist die Gletscherfront bedeutend zurückgegangen, da damals der Gletscher an seiner rechten Hälfte mit einer  $500 \text{ m}$  breiten,  $10-15 \text{ m}$  hohen Front unmittelbar ins Meer mündete. Doch stellte auch der von Drygalski angetroffene Zustand schon einen Rückgang gegen-

<sup>44</sup> Nicht, wie irrtümlich in der Ztschr. d. Ges. f. Erdk. 1930, S. 110, angegeben, von 65 bis  $90 \text{ m}$  jährlich.

<sup>45</sup> Steenstrup, Bidrag til Kjendskab usw. Medd. om Grönland IV, S. 80.

<sup>46</sup> Vgl. Abb. 4.

über der Zeit von Rink (um 1850), Helland (1875) und Steenstrup (1878–80) dar<sup>47</sup>. Augenblicklich scheint der Gletscher in lebhaftem Vorrücken begriffen. Die etwa 60 m hohe Gletscherfront steigt fast senkrecht empor. Die Eistrümmer stürzen, besonders an der rechten Gletscherseite, in freiem Fall über die Wand hinab und bilden Kegel aus



phot. Grönld.

Abb. 5. Front des Sermiarsut-Gletschers 1929.

Eis. Schon zu Drygalskis Zeit war offenbar die rechte Gletscherseite aktiver als die linke, die auch damals mit sanfter Wölbung endete, ohne das Meer zu erreichen. Die Gletschersohle schiebt sich über junge Moränenablagerungen vorwärts. Besonders schön waren die schuttführenden Abscherungsflächen an der Gletscherfront zu beobachten (s. die Abbildung 5).

### 3. Der Kome-Gletscher.

Der Kome-Gletscher (Bezeichnung Drygalskis; die früheren [Rink, Helland, Steenstrup] nennen ihn Tuapagssuit-Gletscher) wurde am 16. September 1929<sup>48</sup> bis etwa 650 m Meereshöhe knapp unterhalb des rechten Seitengletschers<sup>49</sup> begangen. Starke Neuschneedeckung behinderte die Beobachtungen stark.

<sup>47</sup> Grönlandwerk, S. 364.

<sup>48</sup> Nicht Oktober, wie Ztschr. d. Ges. f. Erdk. 1930, S. 110.

<sup>49</sup> Grönlandwerk, Karte 8, und Abb. 6.

Seit der Frontbestimmung durch Rink ist bis zu den wiederholten Besuchen Drygalskis in den Jahren 1891, 1892 und 1893 die Frontlage unverändert geblieben. Aber schon Drygalski hebt hervor<sup>50</sup>, daß durch die dem Gletscher entströmenden oder ihm von der linken Seite zufließenden Bäche größere Teile des Gletschers tief zerschluchtet werden und sich zum Teil völlig vom eigentlichen Gletscher zu trennen begannen. Schon damals schien also der Nachschub die Massenverluste des Gletschers nicht mehr decken zu können.

Nun hat dieser Mangel an Eiszufuhr zu einer Ablösung ausgedehnter Toteismassen und einem starken Rückgang der eigentlichen Gletscherfront

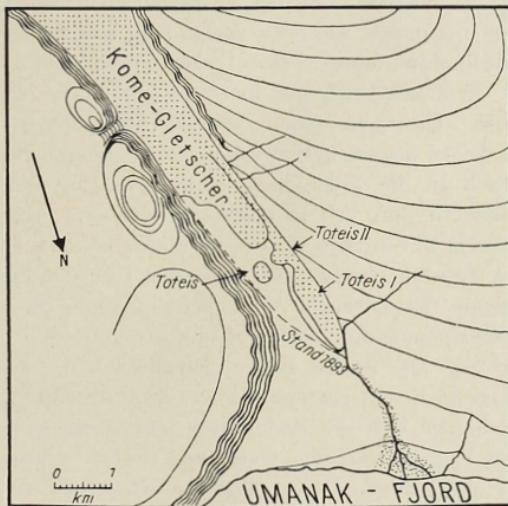


Abb. 6. Kome-Gletscher 1929 auf Grund der Karte v. Drygalskis.

geführt. Auf der rechten Gletscherseite lag 1929 der Gletscherrand etwa 3800 m hinter der ursprünglichen Frontlage, also an der Höhenlinie 550 m der Karte von Drygalski. Die ganze östliche Talseite unterhalb der neuen Gletscherfront war mit großen Moränenanhäufungen bedeckt, die vermutlich noch Toteiskerne bargen. (Vgl. zum folgenden Abb. 6.)

Näherte man sich auf der linken Talseite dem Gletscher, so schien die stark moränenbedeckte Gletscherfront noch an derselben Stelle zu liegen, an der sie seit 80 Jahren beobachtet worden ist. Tatsächlich hatte jedoch das Einschneiden der Oberflächenbäche, verbunden mit dem schwachen Eismuschschub, die Eismassen der linken Talseite bis weit hinauf vom eigentlichen Gletscher abgetrennt und in zwei kaum miteinander zusammenhängende große Toteismassen verwandelt. Die untere dieser Toteis-

<sup>50</sup> Grönlandwerk, S. 328.

massen begann, ganz von Moräne verhüllt, in knapp 200 m Meereshöhe und erstreckte sich etwa 1300 m talaufwärts. Hier hatte die Oberkante der Toteismasse eine Meereshöhe von 350 m erreicht, wobei die Eismächtigkeit etwa 50 m betrug. Diese Toteismasse war an ihrer Ostseite durch den Hauptgletscherbach in einer etwa 20 m hohen senkrechten Eiswand freigelegt. An vielen Stellen stürzte das Toteis zum Bachtal hinunter. Da der Bach bis zur Grundmoräne einschnitt, ließ sich an dieser Stelle der Übergang des Gletschereises in die Grundmoräne auf lange Strecken hin verfolgen. Diese untere Toteismasse endete an einem großen Kessel, an dessen westlicher Begrenzung eine etwa 10 m breite Eisrippe die Verbindung zu der weiter oberhalb folgenden Toteismasse herstellte.

Diese zweite Toteismasse war etwa 400 m lang und etwa 80 m mächtig. Der Gletscherbach durchtunnelt sie in einem mächtigen Gewölbe völlig und verließ sie an ihrem Unterende in einem großen, in zwei Stockwerke gegliederten Tore. Die obere Grenze dieser Toteismasse war von einem großen Einsturzkessel begrenzt. Sowohl an seiner unteren Begrenzung, wo der Gletscherbach in die Toteismasse eintrat, wie an seinem Oberende waren die Eismauern zum Teil in mächtigen Quadern zusammengestürzt.

Oberhalb dieses Einsturzkessels, dessen Boden in etwa 380 m Meereshöhe und etwa 1900 m oberhalb des untersten Eisendes lag, begann der zusammenhängende Gletscherteil. Aber auch innerhalb dieser zusammenhängenden Eismasse war die Zertalung durch die Gletscherbäche bereits weit vorgeschritten. Die beiden linken Seitenbäche, die auch die Karte Drygalskis verzeichnet, untertunneln die linken Randpartien des Gletschers und vereinigten sich mit einem Bach, der in einem tief in das Eis eingeschnittenen Tale zwischen der ersten und zweiten linken Mittelmoräne herabfloss und die westlich davon gelegenen Gletschermassen fast völlig vom Hauptteil des Gletschers trennte. Die von Drygalski<sup>51</sup> geschilderten Verhältnisse haben sich also noch stärker ausgeprägt.

Die ganze westliche Gletscherhälfte war bis an die in 900 m Meereshöhe sich öffnende Weitung des Firnbeckens vollständig von Moräne bedeckt. Dieser Umstand deutet gleichfalls darauf hin, daß die Aktivität des Gletschers seit 1893 noch abgenommen hat. Der Eisstreifen zwischen der zweiten Mittelmoräne von links und der von Drygalski als „Basaltmoräne“ bezeichneten mittelsten Moräne war etwa 15 m tief eingesenkt, wurde also von den begrenzenden Moränen bedeutend überragt. Dieser Befund steht in Widerspruch zu Drygalskis Schilderung<sup>52</sup> und würde gleichfalls darauf deuten, daß in den schuttfreien Gletscherteilen, die der ungehemmten Ablation unterliegen, die Zufuhr dem Abtrag nicht die Waage hielt.

<sup>51</sup> Grönlandwerk, S. 328.

<sup>52</sup> Grönlandwerk, S. 325, Abs. 3.

### III. Zusammenfassung.

Es scheint also keiner der besuchten Gletscher der Nordostbucht eine weiter ausgedehnte Frontlage zu besitzen, als vor einem Menschenalter. Mehrere Gletscher, darunter auch Abflüsse des Inlandeises, weisen Zeichen einer geringeren Längenerstreckung auf. An den Gletschern der Halbinsel Nugsuak ist seit 80 Jahren eine so geringe Längenerstreckung, wie sie heute besteht, nicht beobachtet worden.

Abgeschlossen März 1933.

---

---

---

## Die glaziologischen Beobachtungen an der Weststation.

Von Hugo Jülg.

### 1. Allgemeines.

Alfred Wegener war innerhalb der Expedition der einzige, der umfangreiche glaziologische Erfahrung besaß. Während der Vorexpedition hat er auf dem Kamarujuk-Gletscher eine Reihe von Beobachtungen angestellt, die hier in extenso nach seinem Tagebuch mitgeteilt seien:

„12. Juni 1929: Beim Aufstieg zum Bohrloch in 260 m Höhe sah ich, daß bei den zahlreichen, dem Rand etwa parallel laufenden Blaubändern eine systematische Verschiebung der oberen Schicht erkennbar war. Die Gletscheroberfläche war trocken und zusammenhängend, aber unter dieser scheinbar geschlossenen Decke gab es große Höhlungen, die mit Wasser teilweise gefüllt waren (Mittagslöcher). Offenbar ist die obere Zuckerkruste nur ein Werk des jüngsten Niederschlags. — Ich grub mit der Eisaxt neben der Bohrstelle eine kleine Vertiefung, zunächst nur, um verschiedene Gegenstände hineinzulegen, die der starke Wind nicht auf der glatten Fläche fortblasen sollte. Aber bald interessierte mich, was ich dabei sah. Ich hatte die Partie oberhalb und unterhalb eines Blaubandes angeschlagen. Beiderseits war das Eis normal fest. Im Blauband dagegen saßen die Körner großenteils lose, so daß man sie herauskehren konnte. Der Korndurchmesser war etwa  $1\frac{1}{2}$ —1 cm. Außerdem war aber das Blauband ganz mit Wasser gefüllt, und sobald die Grube unter das Blauband hinabreichte, füllte sie sich mit Wasser.“

25. Juni 1929: Es scheint eine Tendenz zu herrschen, den Boden der Mittagslöcher, der noch in verschiedenen Tiefen lag (am Rande des Tümpels meist flacher), überall gleichmäßig 48 cm tief werden zu lassen. Ist 48 cm die Grenze, bis zu der noch die Sonnenstrahlung merklich durch das Wasser hindurchdringt und die Schmutzschicht so erwärmt, daß sie weiter hinabschmilzt? Das Wasser darüber hatte turbulente Fließbewegung, stagnierte nicht; also offenbar von oben bis unten 0°. Es gibt also vielleicht nicht nur im Eis, sondern auch im Wasser einen ‚Kryokonit-Horizont‘, der anscheinend 48 cm unter der Wasseroberfläche liegt!

8. Juli 1929: Auf dem Kangerdluarsuk-Gletscher machten wir eine interessante Beobachtung: Der mittlere (Haupt-) Teil, der vom Inlandeise kommt, hatte sehr große Körner, etwa 3—4 cm Durchmesser. Zwischen den Oberflächenmoränen aber liegt das Eis, das von den verschiedenen linken Seitengletschern (Hochlandgletschern) kommt; hier war das Eis ganz anders: Korngröße etwa  $\frac{1}{2}$  cm oder weniger. Es sieht weißer aus und reagiert auf die Steigesen anders. Es hält oberflächlich mehr zusammen, während auf dem Hauptgletscher die Körner im obersten Dezimeter locker sind, so daß man sie bewegen kann, aber ihre gegenseitige



phot. A. Wegener.

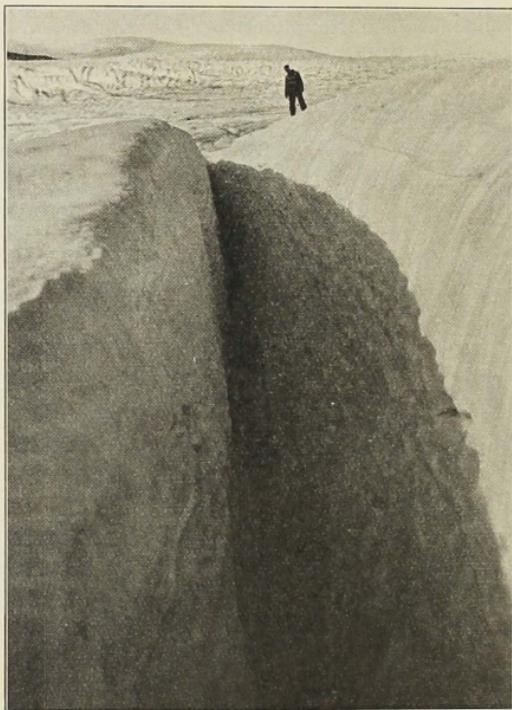
Abb. 1.

Der Gletscherbruch des Kamarujuk. Parallele, wellenartige Buckel auf dem Gletscher.

Verzahnung bewirkt doch, daß man sie meist (mit Ausnahme) nicht abheben kann. In etwa 10 cm Tiefe beginnt das feste Eis.

20. Juli 1929 morgens: Auf dem Eis des Kamarujuk-Gletschers (im oberen Teil) begegneten wir etwa zehnmal Stellen von 1—5 m<sup>2</sup> Größe, die ganz mit Zeichnungen etwa von der Art der Widmannstättischen Figuren bedeckt waren: 2 Systeme von Streifungen. Zwischenraum zwischen je 2 Streifen desselben Systems etwa 10 cm. Das zweite System senkrecht auf dem ersten, nur einmal ein wenig schräg. Es sah aus, als seien diese Striche mit einem Stock in die oberste schneeartige Eisschicht eingekratzt. Aber beim Abwischen derselben sah man, daß diese Struktur ins Eis hineingeht; die Striche sind Risse. Also eine Art Druckschieferung, beginnende Blaubandstruktur.

20. Juli 1929 abends auf dem Kamarujuk-Gletscher: Mir fiel heute auf, daß unterhalb des Bruches eine Reihe paralleler, wellenartiger Buckel auf dem Gletscher vorhanden ist. Sollte die Geschwindigkeit im Bruch etwa eine starke Jahresschwankung haben und unterhalb nicht? Dann wäre die Wellenlänge (ca. 50 m) gleich der jährlichen Bewegung, was ungefähr stimmen könnte, da der Gletscher nicht kalbt.



phot. A. Wegener.

Abb. 2. Gletscherspalte im Randgebiet.

5. August 1929 abends, nach der Reise von Scheideck nach 12 km: Wir kamen etwa 12—15 km weit. Der Weg war für Schlitten nicht schlecht, aber in geradezu abschreckender Weise mit Spalten durchsetzt, die fast die ganze Zeit parallel mit unserem Kurs (rechtsweisend Ost) verliefen und bisweilen nur Abstände von 6 bis 10 m hatten. Beim ersten Aufstieg auf den nordöstlich von uns gelegenen Sattel waren sehr viele Spalten zu passieren, deren Ränder aber ausgeapert waren, so daß man sie bemerkten und sich vorsehen konnte. Sie gingen zuerst  $\nwarrow$ , dann  $\uparrow$ , darauf  $\nearrow$  und dann — leider  $|\uparrow|$ . Dies war die Stelle, wo ich gestern zweimal eingebrochen war. Wir liefen parallel zu einer erkannten Spalte und dicht neben ihr, bis wir auf unsere gestrige Spur kamen, und folgten

zunächst der Spur, wo wir gestern zunächst keine Spalten getroffen hatten. Dann kamen wieder Spalten, die wir  $\nearrow$  so querten, und dann kam — auf ausgeapertem Gebiet, wo die Spalten alle gut zu sehen waren — unser gestern angebrachter Pfeil, von wo ab wir wieder parallel zu den Spalten fuhren, aber jetzt wegen der Sichtbarkeit derselben ohne Gefahr. So kamen wir auch durch einen Schneesumpf, der zwar jetzt leidlich gut zu passieren war, aber im Juni und Juli wahrscheinlich unpassierbar ist. Dann kam wieder eine Strecke, wo wir die Spalten im Neuschnee verdeckt fanden. Wir änderten den Kurs, so daß wir sie so  $\nwarrow$  schnitten, und als es wieder mehr aper wurde, gingen wir wieder parallel mit den Spalten. Auf dem Rückweg zählte ich folgende Zahl von passierten Spalten: a) im ersten Stück, Kurs parallel zu den Spalten, keine Spalte passiert; b) im zweiten Teil, Kurs schräg zu den Spalten  $\nwarrow$ , 36 Spalten passiert; c) im dritten Teil, Kurs wieder parallel zu den Spalten (enthält den Schneesumpf), 6 Spalten passiert; d) im vierten Teil, Kurs schräg zu den Spalten  $\nwarrow$ , 12 Spalten passiert; e) im fünften Teil, Kurs wieder parallel zu den Spalten, 1 Spalte passiert; und f) im sechsten Teil, dem ganzen Schluß, Kurs erst schräg  $\nearrow$ , dann senkrecht  $\uparrow$ , dann anders herum schräg zu den Spalten  $\nwarrow$ , insgesamt 50 Spalten passiert. Die größten Spalten waren oben etwa 1 m breit, unten breiter; doch waren auch noch viel größere dabei, die dann aber einen Schneepfropf hatten mit 2 Randspalten, so daß der Schneepfropf für Schier und Schlitten trug.

Ich bin noch nie in einem so mit Spalten gespickten Gebiet gewesen, und daß sie gerade in unserer Kursrichtung verlaufen, macht die Sache noch schlimmer. Das ist eine üble Zugabe zu den Schwierigkeiten unserer Aufstiegslinie. Ich habe den Eindruck, als ob dies alles überhaupt noch nicht eigentliches Inlandeis ist, sondern daß dies erst jenseits des nächsten Aufschwunges kommt.“

Die Glaziologie war das Spezialgebiet, das sich Alfred Wegener vorbehalten hatte. Durch sein vorzeitiges Ende wurde daher ganz naturgemäß dieser Teil des Expeditionsprogramms am empfindlichsten getroffen. Es waren Schachtbauten geplant zu dem Zweck, ein technisch einwandfreies Bohren zu erzielen. Die Schächte sollten als umgekehrte Bohrtürme dienen. Geplant waren insbesondere Bohrungen am Rande und in der Mitte des Kangerdluarsuk-Gletschers.

Das Bohrmaterial ist nicht in Tätigkeit getreten. Sowohl in Eismitte als auch an der Weststation beschränkte man sich darauf, Schächte auszuheben. An der Weststation scheiterten die Bohrungen daran, daß das Personal für die Durchführung der Aufklärungsreisen benötigt wurde, die — ohne wissenschaftliche Aufgaben — nach Eismitte ziehen mußten, um das Schicksal des Expeditionsleiters aufzuklären. In Eismitte unterblieb die Bohrung, weil das Material hierfür nicht hineingekommen war und die Schlittenreisen, die das Material nach Eismitte bringen sollten, für die Aufklärung des Unglücks der Expedition eingesetzt werden mußten.

## 2. Das spaltenlose Firngebiet.

Nach der Klassifikation Alfred Wegeners unterscheiden wir am grön-ländischen Inlandeis drei Gebiete: 1. das spaltenlose zentrale Firngebiet mit mäßigem Wind und verhältnismäßig gleichförmiger Schneeoberfläche von teilweiser ganz geringer Verharschung. Die Westgrenze dieses Gebietes liegt bei der Aufstiegsroute in etwa 200 km Randabstand.

Eine 2. Zone bildet das Gebiet, in dem die kalte Luft mit großer Geschwindigkeit abwärts fließt. Zusammenwirkung von Wind und Sonnenstrahlung führen im Frühjahr und Sommer auf dieser Strecke zu einer raschen Verharschung des Schnees unter Ausbildung harter Schneedünen von etwa 30 cm Höhe.

An dieses Gebiet schließt sich dann nach Westen von etwa 62 km Randabstand das von Spalten durchzogene Randgebiet an. Der Einfluß von Tauwetter- oder Schmelzperioden macht sich aber auch noch innerhalb der zweiten Zone bis etwa 120 km Randabstand (2200 m Seehöhe) bemerkbar. Der Schnee, der sich weiter östlich in größerer Höhe Schicht auf Schicht legt, bildet hier in der Zwischenzone Schichten, die durch dünne Eishorizonte unterbrochen sind.

Der Zusammenhang der Schneeschichtung mit der Temperatur ist unverkennbar. Während man im inneren Gebiet nur geringe Dichteunterschiede zwischen Sommer- und Winterschnee feststellt, Dichteunterschiede, aus denen sich der jährliche Niederschlag ermitteln läßt, bewirkt das häufige Tauwetter in der Zwischenzone die Ausbildung von Eisschichten im Sommer und macht die Bestimmung der Firndichte ziemlich schwierig.

Auch für die Seismik erwiesen sich die Eishorizonte als bedeutungsvoll, weil sie die Energie besser führen als locker gelagerter Schnee. Die Gewinnung der Laufzeitkurven war deshalb in diesem Gebiet mit Schwierigkeiten verbunden. Während im innersten Gebiet der Schnee infolge der Überlagerung mit jährlich neuen Schichten nur durch den Druck in Eis verwandelt wird, tritt in der Zwischenzone diese Umwandlung in dünnen und unregelmäßigen Schichten durch Tauen und Frieren bereits von der Oberfläche an in Kraft.

## 3. Die Spaltenzone.

Würde man nur im frühen Frühjahr das Inlandeis bereisen, also zu einer Zeit, zu der die Spalten mit Schneibrücken zugedeckt oder von den Schneemassen des Schneefegens ausgefüllt sind, so könnte man zu der Vorstellung kommen, daß das gesamte Inlandeis sich in Ruhe befindet, weil nirgends auch nur die leiseste Andeutung einer Spalte zu sehen ist.

Das kalte Eis an der Oberfläche eines polaren Gletschers besitzt ja unter allen Umständen größere Sprödigkeit als das Eis in größerer Tiefe,

weil letzteres unter höherem Druck steht und in jedem Fall höhere Temperatur besitzt als die Oberfläche. Man muß also erwarten, daß die Oberfläche, wenn unten Abfluß eintritt, passiv mitgenommen wird und hierbei in Spalten aufreißt, wenn dies auch nebenbei von der Profilierung des Untergrundes noch abhängig ist.

Wie Sommer und Herbst zeigten, ist dies bis zu 62 km Randabstand (1800 m Seehöhe, etwa 1400 m Eisdicke) im Randgebiet in der Tat der Fall.

Großes Erstaunen erregte bei der Expedition auch eine Erscheinung der Randzone, die als „Firnbruch“ bezeichnet wurde. Es waren dies Gebiete von mehreren Quadratkilometern Ausdehnung, die in etwa 58 km Randabstand, 60 km nördlich und 6 km südlich der Route, angetroffen wurden. Die Oberfläche bot hier das Bild wild durcheinandergeschobener Eisblöcke von sehr großen Dimensionen, an deren Spaltenrändern sich gewaltige Schneedünen angesetzt hatten. Man muß wohl vermuten, daß unter diesen Stellen der Felsboden sehr weit nach oben hinaufreicht, so daß er infolgedessen von dem plastischen tieferen Material des Eisstromes umflossen wird, das die spröde, passiv mitgehende Decke über die Buckel hinwegschiebt.

Wie die Kartenskizze im I. Band zeigt, führte die Route der Expedition — jedenfalls von der Küste bis 80 km Randabstand — auf einem Eisrücken entlang. Südlich von der Route, deren Firn- und Eisgebiet leicht anzapfend, liegt bis 80 km Randabstand erkennbar das gewaltige Einzugsgebiet des Ingnerit, etwa 30 km südlicher das weitaus größere des Itivdliarsuk, dicht nördlich der Route das Einzugsgebiet des Kangerdluarsuk und nördlich hiervon das Einzugsgebiet des Kangerdluksuak. Nördlich von Kangerdluksuak stieß eine Hundeschlittenreise von der Vorexpedition 1929 bis in das Einzugsgebiet des Rink-Eisstromes vor, und auch vom Nordsüdprofil 62 km etwa 60 km nördlich der Route konnte man auf dieses Einzugsgebiet hinabsehen. Rink-Eisstrom und Kangerdluksuak zeigen als Einzugsgebiete mächtige Kessel, in denen die Spalten etwa parallel den Höhenlinien amphitheatralisch angeordnet sind. Etwas schwächer, aber immerhin noch imposant ist das Amphitheater des Ingnerit. Bei allen drei Eisströmen treten Spalten von verschiedener Größe, auch bis zu 20 m Breite, auf. Im Firngebiet des Ingnerit wurde eine Spalte bei 62 km Randabstand bis zu 50 m Tiefe ausgelotet und von der seismischen Abteilung — Brockamp, Herdemerten und Wölcken — genauer untersucht. Sie ist in diesem Bande von Brockamp beschrieben worden. Das spaltenreiche Einzugsgebiet des Ingnerit, das unmittelbar südlich der Route begann, bereitete der Expedition viele Schwierigkeiten. Bei 20 km Randabstand lagen parallel angeordnete, dicht nebeneinander liegende Spalten von vielen hundert Metern Länge, die oben am Rande bereits über 2 m breit waren, und bei 30 km Randabstand führte das geringste Abirren

vom Wege nach Süden zwischen Spalten von 20 m Breite. Der nördlich der Route liegende Zufluß des Kangerdluarsuk dagegen war vergleichsweise harmlos. Die Route selbst bzw. der Eirücken, auf dem die Route nach Osten ging, bildete die südliche Begrenzung des Zuflusses, während das Hochlandeis nördlich des Kangerdluarsuk, der schwarze Nunatak und ebenfalls ein Eirücken, der die östliche Fortsetzung dieses Hochlandeises ist, die nördliche Grenze bildeten und im Osten in das höhere Inlandeis hinein verliefen, das die östliche Grenze für alle erwähnten Eisströme bildet. Der gewaltige Rink-Eisstrom ist einer der Schnellläufer Grönlands mit einer Geschwindigkeit von 20 m/Tag und produziert



phot. A. Wegener.

Abb. 3. Oberflächenbach im Inlandeisrandgebiet.

sehr viele große Eisberge. Der Kangerdluksuk ist dadurch ausgezeichnet, daß er nach dem antarktischen Typus Drygalskis kalbt, d. h. große Felder von Eis in den Fjord entläßt, die infolge ihrer horizontalen Größenausmaße nicht kentern, wenn sie sich ablösen. Der Kangerdluarsuk kann einen Vergleich mit diesen beiden Eisströmen in bezug auf seine Produktion an Eisbergen nicht aufnehmen. Seine Produktion ist unbedeutend. Vor der Stirnwand des Gletschers liegt eine Sandbank. Der Ingnerit endlich, der die Südgrenze des Arbeitsgebietes bildet, produziert zwar eine beträchtliche Menge Eis, aber dieses Eis besteht aus kleineren Bergen und vielen Brocken.

Alfred Wegener hatte die Aufstiegsroute so gewählt, daß man in mög-

lichst kurzem, stetigem Aufstieg auf möglichst große Höhe des Inlandeises kommen sollte. Infolgedessen entging die Expedition den Unannehmlichkeiten, die mit dem Aufstieg auf einem der großen Eisströme verbunden sind. Größere Schneesümpfe bildeten sich nur bei etwa 10 km Randabstand im Sommer auf dem obenerwähnten Grenzrücken zwischen dem Einzugsgebiet des Ingnerit und des Kangerdluarsuk, der also eine Strecke lang die Wasserscheide zwischen den beiden ist und auf dem die Route verlief. Hier war man bereits in 1000 m Höhe, und die Abschmelzung oberhalb war nur gering. Die großen Eisströme dagegen, auf denen man 1000 m Höhe erst in Entfernungen von etwa 50 km vom Rande erreicht, entwickeln nicht nur an ihrer Oberfläche gewaltige Flüsse infolge der großen Ausdehnung des Abschmelzgebietes, sondern sie weisen auch an flacheren Stellen ausgedehnte Seen auf. Von diesen Plagen blieb die Expedition infolge der glücklichen Auswahl des Aufstiegsgeländes verschont. Die Bäche auf der Eisoberfläche im Abschmelzgebiet waren zwar mit schweren Lastschlitten schwierig, doch nirgends unüberschreitbar, und der fernste Schneesumpf wurde bei 20 km Randabstand gefunden.

#### 4. Die Lage des Winterhauses.

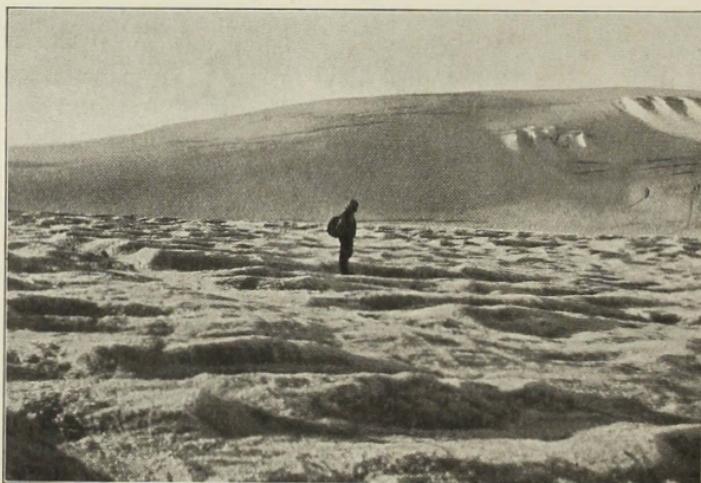
Das Hochlandeis südlich des Winterhauses schiebt einen Buckel nach Norden hinunter, über den der Hauptteil des auf dem Hochlandeis gebildeten Eises abfließt. Ein Teil des Eises wendet sich nach Osten, dreht dann nach Süden und fließt am Rande des Ingnerit nach Westen zum Ingnerit-Fjord hinaus. Zum Teil fließt das Eis nach Norden in den Kangerdluarsuk, wohin auch der obenerwähnte eine Schneesumpf sich entwässert; der Hauptteil wendet sich nach Westen, verfällt teilweise in der Gegend von Scheideck der Abschmelzung auf dem Lande und fließt zum anderen Teil im Kamarujuk-Gletscher das Tal hinab. Etwas tiefer als das Winterhaus scheint die Südgrenze des Kangerdluarsuk-Gletschers zu liegen. Dort hörten die regelmäßigen, amphitheatralisch angeordneten und äußerst zahlreichen Spalten des Kangerdluarsuk auf, während zwischen Winterhaus und Scheideck außerordentlich schmale Spalten lagen — mit einer einzigen Ausnahme. Östlich der Route vom Winterhaus nach Scheideck (s. Karte der Umgebung der Weststation von Weiken im I. Band) zog sich nämlich eine Spalte nach Nordosten, die etwa 3 km östlich des Winterhauses nach Norden lief. An ihren Enden war diese Spalte schmal, in der Mitte, etwa östlich des Winterhauses, etwa 3 m breit.

Das Eis, das sich vom südlichen Hochland nach Norden hinunterschiebt, ist auf dem nördlichsten Buckel nur etwa 100 m dick, unter dem Winterhaus wurden 140 m gemessen, und es scheint, als wenn die Eismasse, auf der das Winterhaus stand, sich durch die große Spalte von der Hauptmasse des Hochlandeises abgetrennt hat und die Südgrenze des

Kangerdluarsuk-Gletschers bildet. Das Winterhaus stand nach allem diesem nicht auf dem Kangerdluarsuk-Gletscher, sondern auf einem Toteis, das südlich des Kangerdluarsuk auf der Strecke bis Scheideck der Abschmelzung verfällt, ein von dem sich zurückziehenden Hoch- und Inlandeis preisgegebener Posten.

### 5. Beobachtungen am Kangerdluarsuk-Gletscher.

Die Eisdickenmessungen im Kangerdluarsuk sind in der Abteilung „Seismik“ wiedergegeben. Die Expedition versuchte, durch Auslegen von Steinen auf der Oberfläche des Kangerdluarsuk die Geschwindigkeit des Eisstromes und die Differenzen der Geschwindigkeit zwischen der Mitte



phot. A. Wegener.

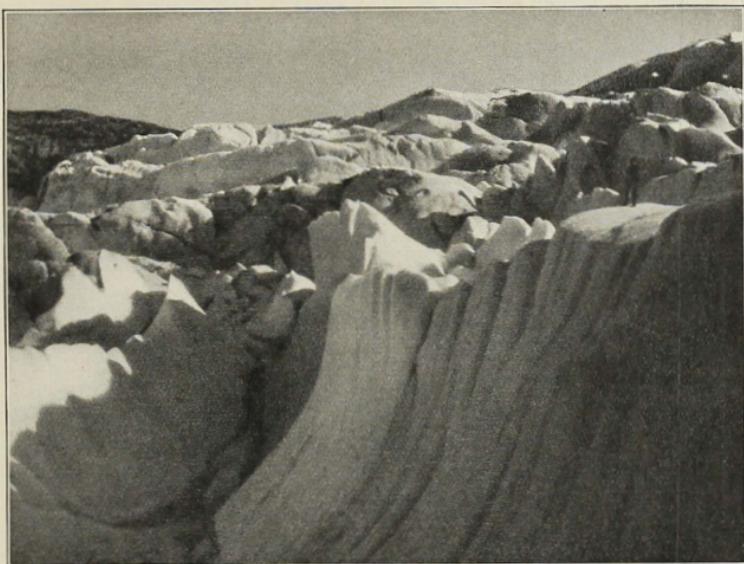
Abb. 4. Blick aufs Inlandeis. Im Oberlauf des Kamarujuk-Gletschers, 1000 m hoch, in der Abschmelzperiode. Im Hintergrund das südliche Hochlandeis.

und dem Rande des Stromes zu messen. Nach einem Monat gelang es noch, die Steine wiederzufinden. Die Geschwindigkeit des Eisstromes wurde hieraus, zugleich mit den seismischen Messungen, zu 12 m im Monat bestimmt. Später im Herbst wurde die Steinreihe durch die Schneefälle und das Schneefegen zugedeckt, und es gelang nicht, auch nur einen einzigen Stein wiederzufinden. Wahrscheinlich sind die Steine in dem sehr beweglichen Gletscher in den Spalten geendet.

### 6. Beobachtungen am Kamarujuk-Gletscher.

Der Kamarujuk-Gletscher ist in seinem allgemeinen Aussehen von einem Alpengletscher nicht wesentlich verschieden. Abschmelzung und Zuwachs sind im I. Band geschildert worden. In seinem Oberlauf, wo

sich das Eis zwischen Scheideck und dem das Tal bogenförmig abschließenden Hochlandeis zusammendrängt, wurde seine Dicke zu 300 m gemessen. In dieses flache Becken strömt das Eis vom Hochland sehr steil mit zahllosen Spalten hinab. Das Becken selbst ist verhältnismäßig frei von Spalten, die dann langsam mit dem Steilerwerden des Gefälles zunehmen, bis endlich der Gletscher in einer wilden Kaskade von 500 m Höhe auf ca. 300 m hinabstürzt. Die Zunge des Gletschers ging im Jahre 1930 während der Abschmelzperiode um 15 m zurück. Auf die Schilderung des Eistunnels, der vom Gletscherbach beim Ausfluß aus der Zunge



phot. A. Wegener.

Abb. 5. Im Gletscherbruch des Kamarujuk. (Rechts ein Mensch als Maßstab.)

gebildet wird, können wir hier ebenso verzichten wie auf die Schilderung von Gletschermühlen und dergleichen, weil sich in diesen Dingen der Gletscher von einem normalen Alpengletscher nicht unterscheidet. Der Gletscherbach des Kamarujuk-Gletschers fördert auch im Winter Wasser<sup>1</sup>. Auch in diesem Punkte ist der Kamarujuk-Gletscher von Alpengletschern nicht verschieden.

<sup>1</sup> Interessant ist hierzu meine Tagebuchaufzeichnung vom 15. 2. 31: „In 1000 m Höhe ist auf dem Gletscher eine Eiserhöhung, ca. über 50 m im Durchmesser groß, die durch aus dem Gletscher heraufgedrungenes Wasser entstanden ist. Das Wasser stößt wie bei einem Artesischen Brunnen herauf und fließt über das Eis ab, gefriert dabei, und durch fortwährende Wiederholung dieses Prozesses mitten auf dem Gletscher entsteht der Eisbuckel. Es war windstill und hatte — 25° C. An den Tagen vorher war — 28° C und ein Minimum von

## 7. Die Beobachtungen im Schacht am Winterhaus.

### A. Der Schachtbau.

Anfang Januar 1931 wurde mit dem Schachtbau unter dem Winterhause begonnen. Als Eingang zu dem vertikalen Schacht war eine Bodenklappe im Vorraum des Winterhauses vorgesehen, die nach oben aufgeklappt werden konnte. In der Außenwand war ebenfalls eine Klappe vorgesehen, durch die das aus dem Gletscher geförderte Eis des Schachtes hinausgebracht werden sollte. Es war geplant, neben dieser Außenklappe



phot. K. Herdemerten.

Abb. 6. Schacht unter dem Winterhaus.

einen Tunnel von Schnee zu bauen, durch den das Eis weggeschafft werden sollte. Aber alle diese Vorkehrungen konnten gegen das stete, alles vollfüllende Schneefegen nicht aufkommen. Das Haus und alle Eingänge waren bald tief im Schnee eingeweht, und das Schachteis mußte in mühsamer Weise durch eine neukonstruierte Dachklappe ins Freie befördert werden. Während des Baues wurde der Schacht mit einer Petroleumglühlichtlampe erleuchtet, zum Herabsteigen diente eine Strickleiter. Dicht

— 33° C. Trotzdem traten wir auf dem Eisbuckel, wenn man eine dünne Eisschicht durchtreten hatte, in Wasser, so daß wir schnell weichen mußten, da es sofort weiterfloß. Weiter unten sah ich auf dem Gletscher auch Eis, das von Wasser gebildet war. Dieses erstreckte sich auf weiterer Fläche und war, da die Eisoberfläche mehr geneigt war, talabwärts geflossen. Noch weiter unterhalb, etwa 100 m tiefer, konnte ich dieses Vorkommen nicht mehr feststellen, da vermutlich das abfließende Wasser einen Weg in eine Spalte gefunden haben dürfte.“ Vgl. Drygalski, Grönland-Expedition 1891—93, Bd. I, S. 23.

unter der Oberfläche ließ Herdemerten, unter dessen technischer Leitung der ganze Bau stand, eine glockenähnliche Erweiterung des Schachtes anbringen. Der Querschnitt des Schachtes war ein Rechteck, rund 1,20 m  $\times$  1,30 m. In 10 m Tiefe wurde ein Podest ausgearbeitet und dort zugleich die sonst sehr unangenehm hin und her schwankende Strickleiter durch eine Eisenröhre in den Schachtwänden befestigt. Zur Sicherung des Schachtes waren ursprünglich Eisengerüste vorgesehen, die den Schacht abstützen und vor Einsturz sichern sollten. Es zeigte sich aber, daß diese Versteifung nicht notwendig war, da die sorgfältig geglätteten Eiswände von selbst hielten, ohne daß Eisstücke nachstürzten, so daß auf ihre Benutzung verzichtet wurde.

Die grobe Arbeit wurde mit einer gewöhnlichen großen Spitzhacke, das Glätten der Wände mit einer kleinen Beilspicke ausgeführt. Das Eis erwies sich als sehr hart und spröde, war jedoch leicht zu zersplittern. Das geförderte Eis diente zu Studien über Struktur und Dichte, wurde in der Küche verbraucht und wanderte zum größten Teil auf eine am Ende des Winters aus ca. 5000 Eimern bestehende Eishalde. Mitte Februar wurden 20 m Tiefe erreicht, so daß bis 19,50 m die Temperaturablesungen möglich waren. Die Thermometer, die zur Messung der Eistemperatur dienten, besaßen keine großen Quecksilbergefäß (Trägheit!). Die Ablesung mußte deshalb sehr schnell nach dem Herausziehen aus den Löchern, in denen sie staken, vorgenommen werden, und gelegentliche kleine Schwankungen um  $1/10$ — $2/10$  °C sind wohl auf diesen Umstand zurückzuführen. Die Öffnungen der Löcher, die in den Wandungen des Schachtes ins Eis geschlagen waren und die Thermometer aufnahmen, wurden jedesmal nach der Ablesung, und nachdem die Thermometer neu hineingesteckt waren, mit einem wärmeisolierenden Propfen wieder verschlossen.

#### B. Luftdruck der eingeschlossenen Luftblasen im Eis.

In einer ganzen Reihe von Fällen wurde nach der Methode, die Alfred Wegener bei seiner Durchquerungsexpedition geschildert hat, der Luftdruck der eingeschlossenen Luftblasen im Eis gemessen. Es zeigte sich, daß der Luftdruck bis zu  $1/2$  Atmosphäre positiv und negativ gegenüber dem äußeren Luftdruck war. Der Unterschied gegenüber den entsprechenden Messungen Alfred Wegeners bei der Durchquerungsexpedition röhrt offenbar daher, daß er seine Beobachtungen in dem Eis eines der großen Eisströme Grönlands anstellte, während das Eis bei der Weststation vom Hochland herabströmt. Daß der Druck in den Luftblasen so stark schwankt, ist aus anderen Beobachtungen leicht erklärliech. Es wurde öfters mit angehört, wie aus einer angeschlagenen Spalte, die durch Eis geschlossen war, Luft sekundenlang mit kräftigem Pfeifen entwich, offen-

bar, weil sie durch Schmelzwässer, die in die Spalte eingedrungen waren, unter Druck gesetzt worden war. Dementsprechend muß in einer Spalte, die unten mit Wasser gefüllt war, und die sich oben durch Gefrieren geschlossen hat, bei einem Abfließen des Wassers ein Unterdruck entstehen. In den eigentlichen Eisströmen des Inlandeises dagegen fließt Eis ab, das vielleicht unter außerordentlich hohem Druck im Innern des Firnschildes gestanden hat, und in dem also auch die Luft einen Teil ihrer Kompression bewahrt haben muß.

### C. Dichtebestimmungen.

Die Dichtebestimmungen des Eises sind insofern etwas problematisch, als das Eis selbst ja wohl überall die Dichte 0,917 (Dichte des reinen Eises) haben wird, so daß also die Bestimmung nur auf eine Messung der beigemischten Luft hinausläuft. Die Dichtebestimmungen an der Weststation wurden teils nach der von Alfred Wegener im Werk der Durchquerungs-expedition geschilderten, teils nach einer anderen Methode ausgeführt, die wir „Schwimm-Methode“ nennen wollen. In ein halb mit Wasser gefülltes Meßglas wurde ein Stück Gletschereis gegeben, das auf dem Wasser schwamm; dadurch stieg der Wasserstand um  $g$  ccm. Nach dem Archimedischen Prinzip ist dann  $g$  das Gewicht dieses Eisstückchens. Mit Hilfe eines feinen Drahtes wurde das Eisstück dann unter Wasser getaucht. Dadurch stieg der Wasserstand erneut; im ganzen gegenüber dem ersten Wasserstand (ohne Eis) um  $v$  ccm, dem Volumen des Eisstückchens. Die Dichte  $s$  wird dann dargestellt durch die Formel  $s = \frac{g}{v}$ . Das Volumen des eingetauchten Drahtes brauchte nicht berücksichtigt zu werden, da der hierdurch entstehende Fehler unterhalb der Beobachtungsgenauigkeit liegt. In folgender Liste sind die Dichtebestimmungen dargestellt:

| Datum    | Beschaffenheit des untersuchten Eises  | Tiefe                | Dichte             | Methode              |
|----------|--|----------------------|--------------------|----------------------|
| 14. Jan. | Eis mit normalen Blasen  | 550 cm               | 0,903              | Weg. M.              |
| 16. Jan. | Eis mit Nadelblasen aus Blaubandspalte   | 550 cm<br>ca. 600 cm | 0,907              | Weg. M.              |
|          |  |                      | 0,907              | Schw. M.             |
| 20. Jan. | Eis mit Nadelblasen aus Blaubandspalte<br>(Die Blasen bilden eine Doppelreihe) | ca. 600 cm           | 0,888              | Schw. M.             |
| 30. Jan. | Eis mit normalen Blasen  | 550 cm               | 0,883<br>(ungenau) | Schw. M.             |
| 30. Jan. | Blasenreiches Eis (zahlreiche kleine gestreckte Blasen).                       | 1280 cm              | 0,905              | Schw. M.             |
| 30. Jan. | Eis mit normalen Blasen  | 1280 cm              | 0,911<br>0,907     | Schw. M.<br>Schw. M. |

### D. Die Temperaturbeobachtungen im Schacht.

Die Temperaturbeobachtungen sind in extenso in den folgenden Tabellen dargestellt. Zur Bestimmung der Eistemperatur können offenbar nur die Beobachtungen von 0,5 m abwärts benutzt werden. Die Temperaturbeobachtungen, die in 23 cm unter der Eisoberfläche angestellt wurden, stehen offenbar mit unter dem Einfluß der von außen herankommenden Kälte und der Hauswärme. Die Beobachtungen in 20 cm über dem Boden sind hinzugefügt, weil sie deutlich zeigen, wie wenig letzten Endes selbst bei außerordentlichen Temperaturdifferenzen zwischen Eis und dicht benachbarter Luft die Temperatur des Eises durch die Luft beeinflußt wird. Am 21. Januar z. B. ist die Lufttemperatur über dem Boden  $+10,0^{\circ}\text{C}$ , ohne daß die Temperatur in 23 cm Tiefe nennenswert gestiegen wäre.

Korrektionstabelle.

| Therm.<br>Nr. | Temp.<br>abge-<br>lesen | 3094  | Korr. | Temp.<br>abge-<br>lesen | 3094      | Korr. | Temp.<br>abge-<br>lesen | 3094  | Korr.     | mitt-<br>lere<br>Korr. | Therm.<br>Nr. |
|---------------|-------------------------|-------|-------|-------------------------|-----------|-------|-------------------------|-------|-----------|------------------------|---------------|
| W 1           | +10,7                   | +11,0 | +0,3  | +0,6                    | +0,9      | +0,3  | -5,5                    | -5,4  | +0,1      | +0,2                   | W 1           |
| W 2           | +10,5                   | +10,8 | +0,3  | +0,4                    | +0,7      | +0,3  | -5,9                    | -5,4  | +0,5      | +0,4                   | W 2           |
| W 3           | +10,5                   | +10,7 | +0,2  | -0,6                    | -0,4      | +0,2  | -5,8                    | -5,4  | +0,4      | +0,3                   | W 3           |
| W 4           | + 9,8                   | +10,1 | +0,3  | $\pm 0,0$               | +0,2      | +0,2  | -5,7                    | -5,4  | +0,3      | +0,3                   | W 4           |
| W 5           | +10,0                   | +10,2 | +0,2  | -0,2                    | -0,1      | +0,1  | -5,5                    | -5,4  | +0,1      | +0,1                   | W 5           |
| W 6           | +10,4                   | +10,6 | +0,2  | -0,4                    | $\pm 0,0$ | +0,4  | -5,7                    | -5,4  | +0,3      | +0,3                   | W 6           |
| W 7           | + 9,8                   | +10,1 | +0,3  | -0,1                    | +0,1      | +0,2  | -5,6                    | -5,4  | +0,2      | +0,2                   | W 7           |
| W 8           | + 9,5                   | +10,8 | +1,3  | +0,5                    | +0,8      | +0,3  | -5,5                    | -5,4  | +0,1      | +0,1                   | W 8           |
| W 9           | +10,7                   | +11,0 | +0,3  | -0,7                    | -0,4      | +0,3  | -5,7                    | -5,4  | +0,3      | +0,3                   | W 9           |
| W 10          | +10,6                   | +10,9 | +0,3  | -0,5                    | -0,2      | +0,3  | -5,7                    | -5,4  | +0,3      | +0,3                   | W 10          |
| W 11          | +10,5                   | +10,6 | +0,1  | $\pm 0,0$               | +0,4      | +0,4  | -5,9                    | -5,4  | +0,5      | +0,4                   | W 11          |
| W 12          | +10,4                   | +10,7 | +0,3  | -0,7                    | -0,4      | +0,3  | -5,8                    | -5,5  | +0,3      | +0,3                   | W 12          |
| W 13          | +10,0                   | +10,2 | +0,2  | +0,4                    | +0,7      | +0,3  | -5,5                    | -5,4  | +0,1      | +0,2                   | W 13          |
| W 14          | +10,4                   | +10,6 | +0,2  | +0,7                    | +1,1      | +0,4  | -5,7                    | -5,4  | +0,3      | +0,3                   | W 14          |
| W 15 A        | + 9,6                   | +10,0 | +0,4  | $\pm 0,0$               | +0,3      | +0,3  | -5,6                    | -5,3  | +0,3      | +0,3                   | W 15 A        |
| W 16 A        | + 9,5                   | +10,0 | +0,5  | -0,5                    | -0,2      | +0,3  | -5,7                    | -5,3  | +0,4      | +0,4                   | W 16 A        |
| W 17 A        | + 9,5                   | +10,1 | +0,6  | -0,5                    | +0,1      | +0,6  | -6,0                    | -5,4  | +0,6      | +0,6                   | W 17 A        |
| 9662          | +11,0                   | +11,2 | +0,2  | -1,0                    | -1,2      | +0,2  | -6,8                    | -6,8  | $\pm 0,0$ | vorher<br>0,1          | 9662          |
| 9662          |                         |       |       |                         |           |       | -5,4                    | -5,35 | +0,05     | nachh.                 |               |

In Alkohol.

Im Aufenthaltsraum der Weststation abgelesen.

11. II. 1931. 18 h.

Abgelesen im Vorraum, nachdem sie ca. 3,5 Stunden im Schacht 10 m tief gehangen haben.  
11. II. 1931. 22 h 30 m.

Außentemperatur  $-30,8^{\circ}\text{C}$ . Abgelesen im Zelt, nachdem es ca. 1 Stunde in der Aussteigöffnung des Hauses gestanden hat.  
11. II. 1931. 23 h 45 min.

Als Meßwert Abmann-Thermometer Nr. 3094 und mitgeicht Nr. 9662.

### Tabelle I.

Januar 1931.

Tabelle 2.

Februar 1931.

| Meßstelle<br>cm | 2.<br>11h | 3.<br>10h | 4.<br>22h | 6.<br>22h | 8.<br>12h | 9.<br>11h | 10.<br>23h | 11.<br>17h | 13.<br>12h | 15.<br>17h | 16.<br>23h | 17.<br>20h | 19.<br>1h | 20.<br>16h | 22.<br>21h 30 | 24.<br>19h | 26.<br>16h | 27.<br>22h | Mo-nats-mittel | Meßstelle<br>cm |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|---------------|------------|------------|------------|----------------|-----------------|
| -20             | +5,0      | +8,2      | +3,7      | +7,5      | +12,7     | -7,9      | +5,5       | +6,2       | +11,2      | -15,2      | +14,7      | +6,3       | +0,7      | +2,3       | +5,6          | +1,4       | 0,0        | +5,7       | +6,7           | +20             |
| -23             | -1,6      | -2,9      | -6,6      | -6,6      | -6,6      | -6,2      | -6,3       | -6,8       | -6,1       | -6,4       | -6,6       | -6,9       | -9,1      | -9,2       | -8,3          | -8,9       | -7,8       | -7,8       | -6,7           | -23             |
| -50             | -6,3      | -5,2      | -4,7      | -5,3      | -5,2      | -4,7      | -4,6       | -4,8       | -4,7       | -4,7       | -5,1       | -5,1       | -5,1      | -4,2       | -4,2          | -4,2       | -4,2       | -5,0       | -5,0           | -50             |
| -150            | -5,8      | -5,8      | -5,7      | -5,9      | -5,8      | -5,6      | -5,3       | -5,4       | -5,4       | -5,7       | -5,4       | -5,8       | -5,8      | -5,8       | -5,8          | -5,9       | -5,7       | -150       | -150           | -150            |
| -250            | -6,5      | -6,4      | -6,4      | -6,3      | -6,5      | -6,0      | -6,2       | -6,5       | -6,2       | -6,3       | -6,3       | -5,6       | -6,2      | -6,2       | -6,2          | -6,3       | -6,3       | -250       | -250           | -250            |
| -350            | -6,4      | -6,5      | -6,4      | -6,4      | -6,6      | -6,2      | -6,2       | -6,3       | -6,3       | -6,0       | -6,2       | -6,2       | -6,1      | -6,1       | -6,4          | -6,4       | -6,3       | -350       | -350           | -350            |
| -450            | -6,4      | -6,4      | -6,4      | -6,6      | -6,5      | -6,4      | -6,4       | -6,3       | -6,4       | -6,3       | -6,3       | -5,8       | -6,4      | -6,4       | -6,3          | -6,3       | -6,3       | -450       | -450           | -450            |
| -550            | -6,1      | -6,3      | -6,3      | -6,5      | -6,5      | -6,4      | -6,4       | -6,4       | -6,1       | -6,1       | -5,9       | -6,3       | -6,5      | -6,5       | -6,5          | -6,5       | -6,5       | -550       | -550           | -550            |
| -650            | -6,2      | -6,2      | -6,1      | -6,2      | -6,2      | -6,2      | -6,2       | -6,1       | -6,1       | -5,9       | -6,1       | -6,1       | -6,1      | -6,1       | -6,1          | -6,1       | -6,1       | -6,1       | -6,1           | -650            |
| -750            | -6,2      | -6,3      | -6,0      | -6,0      | -5,9      | -6,2      | -6,1       | -6,0       | -6,0       | -6,0       | -6,2       | -6,1       | -6,1      | -6,1       | -6,2          | -6,2       | -6,1       | -6,1       | -6,1           | -750            |
| -850            | -6,2      | -6,2      | -5,9      | -6,2      | -6,2      | -6,1      | -6,1       | -6,1       | -6,2       | -5,9       | -5,9       | -5,7       | -5,7      | -6,2       | -6,0          | -6,1       | -6,1       | -6,1       | -6,1           | -850            |
| -950            | -5,9      | -6,2      | -5,9      | -6,2      | -5,9      | -6,0      | -6,1       | -5,8       | -5,9       | -6,0       | -5,7       | -5,7       | -5,9      | -6,0       | -6,0          | -6,0       | -6,0       | -6,0       | -6,0           | -950            |
| -1050           | -5,8      | -6,4      | -5,7      | -5,9      | -5,8      | -5,8      | -5,8       | -5,8       | -5,9       | -5,9       | -5,4       | -5,5       | -5,5      | -5,8       | -6,0          | -6,0       | -5,8       | -1050      | -1050          | -1050           |
| -1150           | -5,8      | -5,7      | -5,7      | -5,9      | -5,8      | -5,7      | -5,7       | -5,8       | -5,5       | -5,8       | -5,7       | -5,7       | -5,7      | -5,9       | -5,9          | -5,7       | -5,7       | -1150      | -1150          | -1150           |
| -1250           | -5,7      | -5,7      | -5,6      | -5,7      | -5,7      | -5,7      | -5,6       | -5,7       | -5,7       | -5,4       | -5,5       | -5,5       | -5,8      | -5,8       | -5,5          | -5,5       | -5,6       | -1250      | -1250          | -1250           |
| -1350           |           | -5,6      | -5,6      | -5,6      | -5,7      |           | -5,6       | -5,7       | -5,6       | -5,3       | -5,6       | -5,6       | -5,5      | -5,5       | -5,5          | -5,6       | -5,6       | -1350      | -1350          | -1350           |
| -1450           |           | -5,6      | -5,6      | -5,6      | -5,6      | -5,6      |            |            | -5,6       | -5,3       | -5,3       | -5,6       | -5,6      | -5,4       | -5,4          | -5,2       | -5,5       | -1450      | -1450          | -1450           |
| -1550           |           |           |           |           |           |           |            | -5,2       | -5,3       | -5,3       | -5,3       | -5,3       | -5,3      | -5,2       | -5,2          | -5,3       | -1550      | -1550      | -1550          | -1550           |
| -1650           |           |           |           |           |           |           |            |            | -5,3       | -5,2       | -5,2       | -4,9       | -4,9      | -5,4       | -5,4          | -5,2       | -5,2       | -1650      | -1650          | -1650           |
| -1750           |           |           |           |           |           |           |            |            | -5,1       | -5,2       | -4,7       | -5,0       | -4,9      | -5,1       | -5,1          | -5,0       | -5,0       | -1750      | -1750          | -1750           |
| -1850           |           |           |           |           |           |           |            |            |            | -5,1       | -5,0       | -4,9       | -4,9      | -4,9       | -4,9          | -4,8       | -4,9       | -1850      | -1850          | -1850           |
| -1950           |           |           |           |           |           |           |            |            |            | -5,0       | -4,9       | -4,9       | -4,9      | -4,7       | -4,7          | -4,9       | -4,9       | -1950      | -1950          | -1950           |

Tabelle 3.

März 1931.

42

| Meß-<br>stelle<br>cm | 2.<br>19h 30 | 4.<br>18h 45 | 6.<br>0h 30 | 7.<br>19h 30 | 8.<br>22h | 9.<br>18h | 10.<br>22h | 12.<br>22h 30 | 14.<br>20h | 16.<br>22h | 18.<br>15h | 21.<br>18h 30 | 23.<br>17h | 26.<br>19h | 28.<br>17h | Monats-<br>mittel | Meß-<br>stelle<br>cm |
|----------------------|--------------|--------------|-------------|--------------|-----------|-----------|------------|---------------|------------|------------|------------|---------------|------------|------------|------------|-------------------|----------------------|
|                      |              |              |             |              |           |           |            |               |            |            |            |               |            |            |            |                   |                      |
| + 20                 | + 4,7        | + 13,3       | + 0,7       | + 3,7        | + 1,7     | + 3,2     | + 14,4     | + 0,2         | + 2,9      | + 3,7      | + 3,7      | + 1,2         | + 3,8      | + 1,9      | + 0,8      | + 4,0             | + 20                 |
| - 23                 | - 7,9        | - 8,0        | - 8,6       | - 7,8        | - 8,2     | - 7,8     | - 7,6      | - 9,4         | - 7,6      | - 7,6      | - 7,1      | - 7,1         | - 7,1      | - 6,2      | - 7,1      | - 7,7             | - 23                 |
| - 50                 | - 5,5        |              |             | - 5,6        |           | - 5,8     |            | - 5,4         |            | - 4,5      |            | - 4,7         |            | - 5,1      |            | - 5,2             | - 50                 |
| - 150                | - 6,1        |              | - 6,2       |              | - 5,9     |           | - 6,1      |               | - 5,9      |            | - 6,0      |               | - 5,4      |            | - 5,7      | - 5,9             | - 150                |
| - 250                | - 6,5        |              | - 6,5       |              | - 6,4     |           | - 6,4      |               | - 6,4      |            | - 6,5      |               | - 6,5      |            | - 6,5      | - 6,5             | - 250                |
| - 350                | - 6,5        |              | - 6,2       |              | - 6,5     |           | - 6,4      |               | - 6,6      |            | - 6,4      |               | - 6,0      |            | - 6,6      | - 6,4             | - 350                |
| - 450                | - 6,3        |              | - 6,2       |              | - 6,4     |           | - 6,4      |               | - 6,5      |            | - 6,5      |               | - 6,3      |            | - 6,4      | - 450             |                      |
| - 550                | - 6,2        |              | - 6,4       |              | - 6,2     |           | - 6,6      |               | - 6,3      |            | - 6,3      |               | - 6,2      |            | - 6,5      | - 6,3             | - 550                |
| - 650                | - 6,0        |              | - 6,2       |              | - 6,1     |           | - 6,4      |               | - 6,4      |            | - 6,3      |               | - 6,3      |            | - 6,4      | - 6,2             | - 650                |
| - 750                | - 6,2        |              | - 6,3       |              | - 6,1     |           | - 6,2      |               | - 6,3      |            | - 6,2      |               | - 5,9      |            | - 6,2      | - 6,2             | - 750                |
| - 850                | - 6,1        |              | - 6,1       |              | - 6,2     |           | - 6,0      |               | - 6,2      |            | - 6,2      |               | - 6,1      |            | - 6,1      | - 6,1             | - 850                |
| - 950                | - 6,1        |              | - 6,2       |              | - 6,1     |           | - 6,2      |               | - 5,7      |            | - 6,1      |               | - 5,5      |            | - 5,9      | - 6,0             | - 950                |
| - 1050               | - 5,7        |              | - 6,0       |              | - 6,1     |           | - 6,3      |               | - 5,9      |            | - 6,1      |               | - 5,8      |            | - 6,0      | - 1050            |                      |
| - 1150               | - 5,9        |              | - 5,7       |              | - 5,9     |           | - 5,9      |               | - 5,8      |            | - 5,8      |               | - 5,9      |            | - 5,8      | - 1150            |                      |
| - 1250               | - 5,6        |              | - 5,7       |              | - 5,8     |           | - 6,0      |               | - 5,7      |            | - 5,7      |               | - 5,8      |            | - 5,8      | - 1250            |                      |
| - 1350               | - 5,4        |              | - 5,5       |              | - 5,5     |           | - 5,3      |               | - 5,6      |            | - 5,6      |               | - 5,5      |            | - 5,7      | - 5,5             | - 1350               |
| - 1450               | - 5,4        |              | - 5,6       |              | - 5,4     |           | - 5,5      |               | - 5,6      |            | - 5,6      |               | - 5,4      |            | - 5,3      | - 5,5             | - 1450               |
| - 1550               | - 5,4        |              | - 5,5       |              | - 5,6     |           | - 5,3      |               | - 5,3      |            | - 5,0      |               | - 5,1      |            | - 5,3      | - 5,3             | - 1550               |
| - 1650               | - 5,2        |              | - 5,5       |              | - 5,0     |           | - 5,3      |               | - 5,2      |            | - 5,3      |               | - 5,3      |            | - 5,3      | - 5,3             | - 1650               |
| - 1750               | - 5,3        |              | - 5,2       |              | - 4,9     |           | - 5,2      |               | - 5,3      |            | - 5,2      |               | - 5,1      |            | - 5,2      | - 5,2             | - 1750               |
| - 1850               | - 5,1        |              | - 4,8       |              | - 4,9     |           | - 4,8      |               | - 4,9      |            | - 4,9      |               | - 5,3      |            | - 5,0      | - 5,0             | - 1850               |
| - 1950               | - 4,9        |              | - 4,8       |              | - 4,8     |           | - 4,8      |               | - 4,9      |            | - 5,2      |               | - 5,1      |            | - 5,1      | - 4,9             | - 1950               |

Hugo Jürg

Tabelle 4.

April 1931.

| Meß-stelle<br>cm | 1.<br>17h | 3.<br>17h | 5.<br>17h | 6.<br>23h | 9.<br>19h | 12.<br>11h 30 | 14.<br>14h | 16.<br>19h 30 | 19.<br>14h 30 | 21.<br>18h 30 | 22.<br>20h 30 | 25.<br>11h 30 | 28.<br>11h | 30.<br>12h 30 | Monats-mittel | Meß-stelle<br>cm |
|------------------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|---------------|------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|------------|---------------|---------------|------------------|
| + 20             | + 1,0     | - 3,5     | - 2,8     | + 1,3     | + 2,2     | - 1,5         | + 1,2      | - 0,3         | + 0,5         | + 2,2         | + 2,4         | + 4,2         | + 2,0      | + 0,7         | + 20          |                  |
| - 23             | - 7,3     | - 7,6     | - 6,6     | - 6,6     | - 6,9     | - 8,1         | - 6,9      | - 6,8         | - 7,1         | - 6,1         | - 6,6         | - 6,1         | - 6,2      | - 6,1         | - 6,8         | - 23             |
| - 50             | - 5,2     |           | - 4,7     |           | - 4,3     |               | - 4,4      |               | - 4,8         |               | - 4,5         |               | - 4,4      |               | - 4,6         | - 50             |
| - 150            |           | - 5,7     |           | - 5,2     |           | - 5,4         |            | - 5,8         |               | - 5,4         |               | - 5,2         |            | - 5,2         | - 5,4         | - 150            |
| - 250            | - 6,2     |           | - 6,3     |           | - 6,4     |               | - 6,1      |               | - 6,4         |               | - 6,5         |               | - 6,3      |               | - 6,3         | - 250            |
| - 350            |           | - 6,5     |           | - 6,6     |           | - 6,3         |            | - 6,7         |               | - 6,4         |               | - 5,8         |            | - 6,1         | - 6,4         | - 350            |
| - 450            | - 6,4     |           | - 6,6     |           | - 6,6     |               | - 6,7      |               | - 6,5         |               | - 6,7         |               | - 6,5      |               | - 6,6         | - 450            |
| - 550            |           | - 6,2     |           | - 6,7     |           | - 6,5         |            | - 6,5         |               | - 6,4         |               | - 6,6         |            | - 5,8         | - 6,4         | - 550            |
| - 650            | - 6,3     |           | - 5,9     |           | - 6,4     |               | - 6,7      |               | - 6,2         |               | - 6,3         |               | - 6,5      |               | - 6,4         | - 650            |
| - 750            |           | - 5,9     |           | - 6,4     |           | - 6,2         |            | - 6,3         |               | - 6,2         |               | - 6,2         |            | - 5,9         | - 6,1         | - 750            |
| - 850            | - 6,1     |           | - 6,2     |           | - 6,2     |               | - 6,0      |               | - 6,1         |               | - 6,3         |               | - 6,2      |               | - 6,1         | - 850            |
| - 950            |           | - 6,0     |           | - 6,1     |           | - 5,9         |            | - 6,1         |               | - 6,0         |               | - 6,0         |            | - 5,7         | - 6,0         | - 950            |
| - 1050           | - 5,7     |           | - 6,0     |           | - 6,0     |               | - 5,7      |               | - 6,0         |               | - 5,9         |               | - 6,0      |               | - 5,9         | - 1050           |
| - 1150           |           | - 5,7     |           | - 5,6     |           | - 5,7         |            | - 5,7         |               | - 5,7         |               | - 5,6         |            | - 5,7         | - 5,7         | - 1150           |
| - 1250           | - 5,9     |           | - 5,8     |           | - 5,6     |               | - 5,6      |               | - 5,8         |               | - 5,7         |               | - 6,0      |               | - 5,8         | - 1250           |
| - 1350           |           | - 5,6     |           | - 5,6     |           | - 5,4         |            | - 5,5         |               | - 5,1         |               | - 5,6         |            | - 5,6         | - 5,5         | - 1350           |
| - 1450           | - 5,7     |           | - 5,4     |           | - 5,4     |               | - 5,1      |               | - 5,5         |               | - 5,7         |               | - 5,7      |               | - 5,5         | - 1450           |
| - 1550           |           | - 5,5     |           | - 5,3     |           | - 5,3         |            | - 5,1         |               | - 5,2         |               | - 5,3         |            | - 5,2         | - 5,3         | - 1550           |
| - 1650           | - 5,3     |           | - 5,4     |           | - 5,3     |               | - 5,1      |               | - 5,3         |               | - 5,3         |               | - 5,4      |               | - 5,3         | - 1650           |
| - 1750           |           | - 5,2     |           | - 5,2     |           | - 5,4         |            | - 5,2         |               | - 4,9         |               | - 5,0         |            | - 5,2         | - 5,2         | - 1750           |
| - 1850           | - 5,2     |           | - 5,2     |           | - 5,2     |               | - 5,0      |               | - 5,0         |               | - 5,2         |               | - 5,2      |               | - 5,1         | - 1850           |
| - 1950           |           | - 5,1     |           | - 4,9     |           | - 5,1         |            | - 4,9         |               | - 4,8         |               | - 4,9         |            | - 4,9         | - 4,9         | - 1950           |

Tabelle 5.

Mai 1931.

Juni 1931.

| Meß-<br>stelle<br>cm | 2.<br>15h | 5.<br>13h 30 | 8.<br>17h 30 | 28.<br>17h | Mo-<br>nats-<br>mittel | Meß-<br>stelle<br>cm | Meß-<br>stelle<br>cm | 4.<br>18h | Mo-<br>nats-<br>mittel | Meß-<br>stelle<br>cm |
|----------------------|-----------|--------------|--------------|------------|------------------------|----------------------|----------------------|-----------|------------------------|----------------------|
| +20                  | -0,1      | +1,8         | +6,6         |            | +2,8                   | +20                  | +20                  |           |                        | +20                  |
| -23                  | -5,6      | -4,6         |              |            | -5,1                   | -23                  | -23                  |           |                        | -23                  |
| -50                  | -4,0      |              | -2,7         |            | -3,3                   | -50                  | -50                  |           |                        | -50                  |
| -150                 |           | -5,3         |              | -4,6       | -4,9                   | -150                 | -150                 | -4,2      |                        | -150                 |
| -250                 | -6,1      |              | -6,0         |            | -6,0                   | -250                 | -250                 | -5,0      |                        | -250                 |
| -350                 |           | -6,5         |              | -5,8       | -6,1                   | -350                 | -350                 |           |                        | -350                 |
| -450                 | -6,3      |              | -6,3         |            | -6,3                   | -450                 | -450                 | -6,2      |                        | -450                 |
| -550                 |           | -6,3         |              | -6,2       | -6,3                   | -550                 | -550                 |           |                        | -550                 |
| -650                 | -6,3      |              | -5,5         |            | -5,9                   | -650                 | -650                 | -6,0      |                        | -650                 |
| -750                 |           | -6,4         |              | -5,7       | -6,0                   | -750                 | -750                 |           |                        | -750                 |
| -850                 | -6,4      |              | -5,5         |            | -5,9                   | -850                 | -850                 | -5,7      |                        | -850                 |
| -950                 |           | -5,8         |              | -5,9       | -5,8                   | -950                 | -950                 |           |                        | -950                 |
| -1050                | -5,9      |              | -5,4         |            | -5,6                   | -1050                | -1050                | -5,7      |                        | -1050                |
| -1150                |           | -5,4         |              | -5,5       | -5,5                   | -1150                | -1150                |           |                        | -1150                |
| -1250                | -5,7      |              | -5,3         |            | -5,5                   | -1250                | -1250                | -5,3      |                        | -1250                |
| -1350                |           | -5,3         |              | -5,3       | -5,3                   | -1350                | -1350                |           |                        | -1350                |
| -1450                | -5,5      |              | -5,2         |            | -5,3                   | -1450                | -1450                | -4,8      |                        | -1450                |
| -1550                |           | -5,2         |              | -5,1       | -5,2                   | -1550                | -1550                |           |                        | -1550                |
| -1650                | -5,3      |              | -5,0         |            | -5,1                   | -1650                | -1650                | -5,1      |                        | -1650                |
| -1750                |           | -5,2         |              | -5,1       | -5,1                   | -1750                | -1750                |           |                        | -1750                |
| -1850                | -5,0      |              | -5,1         |            | -5,0                   | -1850                | -1850                | -4,7      |                        | -1850                |
| -1950                |           | -5,0         |              | -4,5       | -4,8                   | -1950                | -1950                |           |                        | -1950                |

Die Korrekturen der Thermometer sind in der Weise bestimmt worden, daß die Thermometer insgesamt mit einem sorgfältig geeichten Alßmann-Thermometer in Alkohol bei verschiedenen Temperaturen verglichen wurden. Die Korrektionstabelle ist als Eingang der beobachteten Zahlentabellen mitgeteilt. Die Zahlentabellen sind korrigiert. Die Zahlen zwischen 50 cm Eistiefe und dem Boden des Schachtes sind ferner in einer graphischen Darstellung Abb. 7 dargestellt. Nimmt man an, daß der Ablesungsfehler zusammen mit instrumentellen Fehlern (zu langsame Ablesung des herausgezogenen Thermometers usw.)  $\pm 0,15^\circ \text{C}$  beträgt, was schätzungsweise der Wirklichkeit entspricht, so zeigt sich aus dieser Tabelle, daß hier trotzdem Temperaturschwankungen im Eis auftreten, die sehr viel größer sind. Es läge nahe, diese Schwankungen der Temperatur im Eis aus der Luftkonvektion zu erklären, die im Schacht wegen der allgemeinen Zunahme der Temperatur nach unten unvermeidbar scheint. Indessen sind die Schwankungen so stark lokalisiert nach Höhe und Zeit, daß diese Annahme

wenig befriedigend ist, um so mehr, als im Laufe der Monate keine merkliche Änderung der Eistemperatur im Schacht festzustellen ist. Die ersten und die letzten Beobachtungen zeigen am Boden des Schachtes übereinstimmend  $-5^{\circ}\text{C}$  und als Minimum der Temperatur in etwa 5 m Tiefe  $-6,6^{\circ}\text{C}$ .

Man muß infolgedessen vermuten, daß dieses lokale Ansteigen der Temperatur mit den Wärmequellen innerhalb des Eises zusammenhängt. Das ganze Jahr hindurch waren im Winterhaus vom Eis unter und neben dem Hause heftige Knalle zu hören, die auf eine ruckweise Bewegung unter Zerreissen und Gleiten des Eises hindeuten.

#### E. Das Temperaturgefälle.

Sehen wir von der obersten Schicht bis zu etwa 5 bzw. 6 m Tiefe ab, weil bis zu dieser Tiefe die jährliche Schwankung der Temperatur reicht, so erhalten wir für die Monate Januar, Februar, März, April und Mai im Monatsmittel der Beobachtungen folgende mittlere Temperaturgradienten, wobei  $t$  die Temperatur,  $-h$  die Tiefe unter der Eisoberfläche ist:

|  | I     | II    | III  | IV   | V                          |
|--|-------|-------|------|------|----------------------------|
| $\frac{\Delta t}{\Delta h}$ im Monat . . . . . | 0,105 | 0,110 | 0,10 | 0,10 | 0,10 Grad. m <sup>-1</sup> |
| = (Zahl [Gewicht] der Beobachtungen) . . . . . | (14)  | (13)  | (8)  | (7)  | (1)                        |

In Klammern ist beigegeben die Zahl der Beobachtungen, die das Gewicht ergibt. Im Mai, für den nur eine einzige Beobachtung vorliegt, verläuft naturgemäß die Kurve sehr unregelmäßig. Der Temperaturgradient ist also ebenso stark wie derjenige, den Alfred Wegener auf dem Gletscher bei Borg vorfand. Die Kurven lassen im Gegensatz zu den Beobachtungen Alfred Wegeners in 20—24 m Tiefe nicht erkennen, daß sich das Gefälle unten verlangsamt. Würden wir aus dem Gefälle linear extrapoliieren auf die Tiefe, in der wir auf  $0^{\circ}$  kommen, so würden wir schon in 70 m Tiefe auf  $0^{\circ}$  kommen. Die Gletscherdicke unter dem Winterhaus ist zu 140 m gemessen. Wir hätten also eine 70 m dicke Eisschicht am Boden, in der die Temperatur rund  $0^{\circ}$  sein müßte. Es ist möglich, daß erst am Boden des Gletschers die Temperatur von  $0^{\circ}$  erreicht wird, aber offenbar können wir über die Strecke zwischen 20 m und 140 m Tiefe hier keine begründete Annahme machen.

Wie in der Abteilung „Seismik“ gezeigt wurde, läßt sich nicht nachweisen, daß unter dem eigentlichen Inlandeis außerhalb der Spaltenzone Schmelzwasser fließt. Für den kleinen Kamarujuk-Gletscher und ebenso auch für die unteren Teile der großen Eisströme ist es indessen wahrscheinlich, daß an ihrem Boden die Schmelztemperatur erreicht ist und

daß — mindestens in dem Gebiet, in dem Schmelzwässer durch Spalten-systeme bis an den Boden gelangen können — hier der Gletscher an seinem Boden von einer dünnen Schmelzschicht begrenzt ist (s. 6. Beobachtungen am Kamarujuk-Gletscher).

Für den obersten Teil der beobachteten, in Abb. 8 dargestellten Zustandskurven für die Mittelwerte der Temperatur im Gletschereis genügt es, auf die eingehende Diskussion Alfred Wegeners auf der Durchquerungsexpedition über das Eindringen der Jahresschwankung in die Tiefe zu verweisen. Wie die Zahlentabelle (Tabelle 1) für die alleroberste Schicht (Boden des Winterhauses) zeigt, sind die Störungen, die durch das Winterhaus entstehen, sehr unregelmäßig und reichen anscheinend nicht über 50 cm Tiefe hinab. Darunter aber bemerken wir das Vordringen einer Jahresperiode, die durch die Schneedüne des Hauses sehr abgeschwächt ist, bis zu einer Tiefe von 6 m im Laufe der Beobachtungszeit, wie bei Alfred Wegeners Beobachtungen. Das beobachtete Gefälle von rund  $0,1^{\circ}/m$  — zwischen 6 m und 20 m Tiefe — zeigt einen Vertikalstrom an, der  $55 \cdot 10^{-7} \text{ cal/cm}^2\text{sec}$  fördert oder 170 cal im Jahr/cm<sup>2</sup>. Der be-

#### Winterhaus.

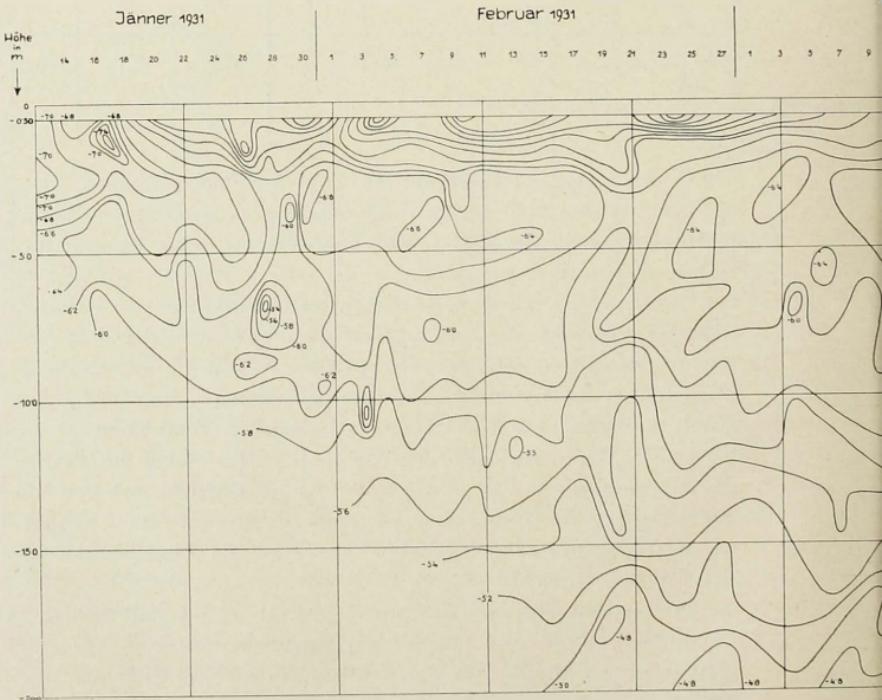
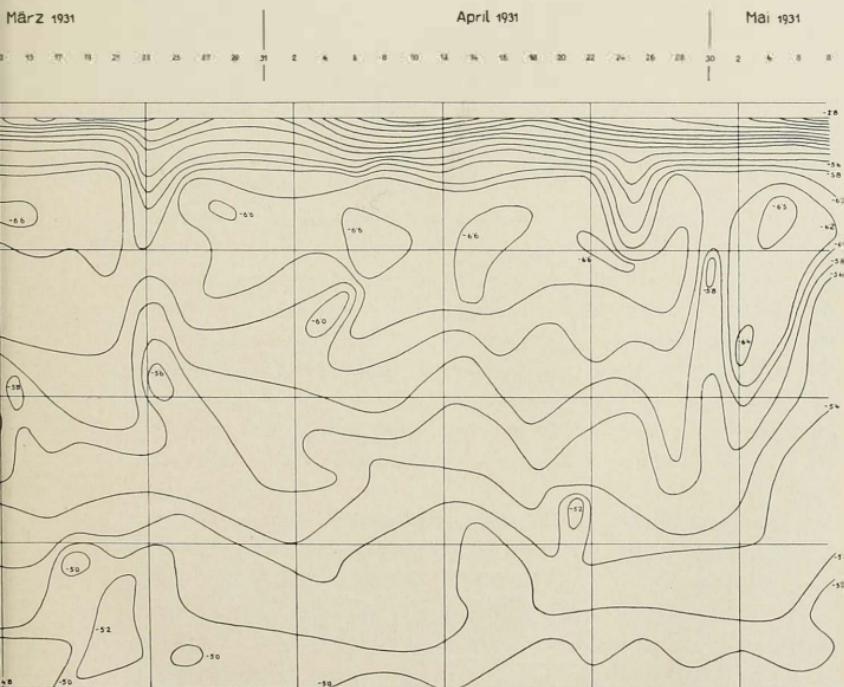


Abb. 7. Isothermen im

obachtete Wärmestrom ist demnach rund dreimal so groß wie der Erdstrom, der  $17 \cdot 10^{-7}$  cal/cm<sup>2</sup> sec fördert oder rund 53 cal/cm<sup>2</sup> im Jahr. Die Zahlen stimmen auffällig überein mit denen, die Alfred Wegener bei Borg gefunden hat, obgleich es sich dort um einen der großen Eisströme des Inlandeises und hier nur um den Abfluß eines Hochlandeises handelt.

Besonders erstaunlich ist es, wie wenig die Schmelzwässer, die den Sommer hindurch auf den Oberflächen der Gletscher entlang laufen und allenthalben in die Spalten stürzen, das Temperaturgefälle in der Nähe der Oberfläche zu ändern vermochten.

Diese Schmelzwässer waren es, die eine Fortsetzung der Beobachtungen über den Sommer 1931 unmöglich machten. Am 17. Juni ergoß sich ein Oberflächenbach in den Schacht und füllte ihn mit solcher Geschwindigkeit, daß ein großer Teil der ins Eis eingelassenen Thermometer verlorenging. Beim Verlassen des Winterhauses im Oktober 1931 wurde die Eisdecke, die sich auf dem Schacht neu gebildet hatte, durchbrochen. Es zeigte sich, daß überall in den Wandungen des Schachtes lange spitze Eiskristalle in das eingeschlossene Wasser hineinwuchsen.



Schacht am Winterhaus.

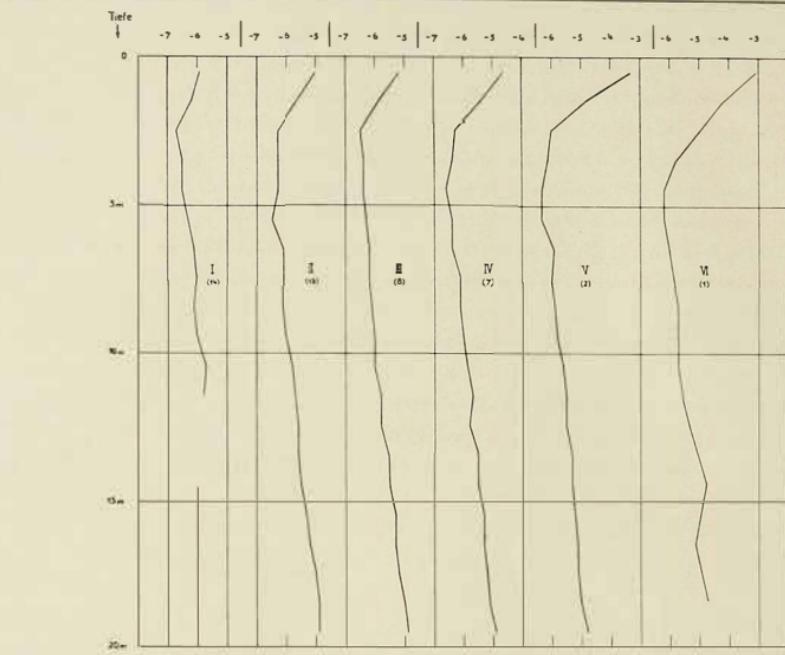


Abb. 8. Monatsmittel der Temperatur im Eisschacht. Die eingeklammerten Zahlen geben die Zahl der Beobachtungen an.

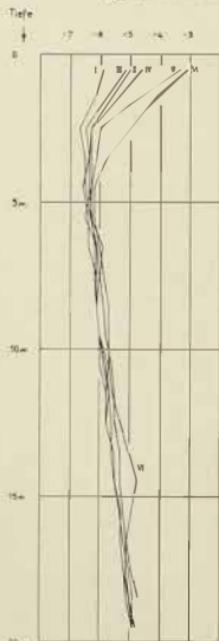


Abb. 9. Die Monatsmittel der Temperatur im Eisschacht. Das Eindringen der Jahresperiode, die theoretisch bis 10 m Tiefe gut erkennbar sein sollte, ist kaum zu erkennen, offenbar infolge der Überdeckung durch innere Prozesse des Gletschereises und der Wirkung der Spalten.

Abgeschlossen Januar 1933.

---

---

# Überlegungen zur Temperaturverteilung im Inlandeis auf Grund seismischer Ergebnisse.

Von Bernhard Brockamp.

Direkte Temperaturmessungen im Inlandeis sind bisher nur vereinzelt durchgeführt. Die erreichten Tiefen gehen nur in zwei Fällen über 20 m. So wurde von E. v. Drygalski in einem schon losgelösten Tafelberg der Antarktis eine Tiefe von 30 m erreicht. I. P. Koch und Alfred Wegener gelangten auf dem Storström bis 24 m, und auf der Hauptexpedition wurde in Eismitte der Schacht bis 15 m, auf der Weststation bis 20 m getrieben. Aus den Temperaturen der äußersten Schichten, in denen sich der Einfluß der Strahlung und der Wärmeleitung von innen und außen überlagert, ja für das Inlandeis nur der allerdünnsten Haut, noch dazu mit anderer Wärmeleitzahl als im festen Eis, werden weitgehende Schlüsse gezogen. Da Bohrungen im kompakten Eis bis zu einer erforderlichen Tiefe von mindestens 100 m sehr zeitraubend und schwierig durchzuführen sind, muß nach einer indirekten Methode gesucht werden, die gestattet, die Temperatur in großen Tiefen genau festzustellen. Eine solche indirekte Temperaturbestimmung scheint mir die seismische Methode zu erlauben, wie ich das bereits in Band II, Seite 84—85, angedeutet habe; dabei bin ich mir wohl bewußt, daß das vorliegende Material noch große Lücken besitzt.

Bei den seismischen Arbeiten auf der Hauptexpedition wurde festgestellt, daß die Geschwindigkeiten der longitudinalen und transversalen Wellen eine ausgesprochene Abhängigkeit vom Randabstand bzw. von der Seehöhe aufweisen. Größeren Seehöhen entsprechen größere Geschwindigkeiten. Es zeigt sich hierin die von vornherein zu erwartende Abhängigkeit der elastischen Konstanten von der Temperatur, eine Abhängigkeit, die bei Materialien (Metallen) tieferen Schmelzpunktes besonders stark hervortritt.

Die bisher gefundenen sicheren Werte für die longitudinalen bzw. transversalen Wellen sind:

| Ort                       | longitudinale Geschw. | transversale Geschw. | Meereshöhe  |
|---------------------------|-----------------------|----------------------|-------------|
| Alpen . . . . .           | 3600 m/sec            | 1680 m/sec           | 2400 m      |
| Grönland:                 |                       |                      |             |
| Winterhaus . . . . .      | 3720 m/sec            | 1750 m/sec           | 950 m       |
| 60 und 120 km Randabstand | 4000 m/sec            | 1850 m/sec           | 1800—2100 m |

Zu diesen Zahlenwerten ist zu bemerken, daß die Longitudinalgeschwindigkeiten in jedem Fall exakt sind, daß die Transversalgeschwindigkeit für 120 km hingegen nur einen Mittelwert darstellt, da es nicht möglich war, bei der Ablesegenauigkeit der Transversaleinsätze die Laufzeitkurve für diese Wellen in eine Anzahl von Geraden zu zerlegen, wie das für die Longitudinalwelle geschehen ist. Der Geschwindigkeitswert für die zur P-Welle 4000 m/sec gehörigen Transversalwelle dürfte bei 1,9 km/sec liegen. Für die folgenden Überlegungen ist vor allem der Rrigheitsmodul  $\mu$ , der Elastizitätsmodul E und der Kompressionsmodul  $\beta$  herangezogen worden.

### I. Righeitsmodul $\mu$ .

Für den Righeitsmodul  $\mu$  besteht die Beziehung 1)  $b = \sqrt{\frac{\mu}{\rho}}$ , wo b die Geschwindigkeit der Transversalwellen und  $\rho$  die Dichte ist. Da sich die hier diskutierten Geschwindigkeitswerte nur auf Wellen beziehen, die im festen Gletschereis gelaufen sind, können wir mit einer Dichte von 0,91 rechnen. Durch Differentiation erhalten wir aus 1)  $db = -\frac{b d \rho}{2 \rho}$ ; bei wachsender Dichte nimmt bei konstantem  $\mu$  die Geschwindigkeit der Wellen ab. Vermindert sich die Dichte um 2%, d. h. von 0,917 auf 0,900, so wächst b um 0,9%, also von 1850 auf 1867 m/sec. Ändert sich bei konstanter Geschwindigkeit die Dichte, so ändert sich  $\mu$  nach  $d\mu = b^2 d\rho$ ; wenn  $\rho$  von 0,917 auf 0,900 fällt, fällt  $\mu$  von 3,14 auf 3,08. Der Righeitsmodul ergibt sich zu:

| $\mu$   | Temperatur     | Ort        |
|---|----------------|------------|
| $2,6 \cdot 10^{10}$ c. g. s.  | 0° C           | Alpen      |
| $2,8 \cdot 10^{10}$   | —6° C          | Winterhaus |
| $3,1 \cdot 10^{10}$   | (zu bestimmen) | 120 km     |
| (hierbei ist nach Obigem $\mu = 3,1 \cdot 10^{10}$ ein Minimalwert) |                |            |

Direkte Untersuchungen über die Abhängigkeit des Righeitsmoduls und des Elastizitätsmoduls des Eises von Temperatur und Druck sind mir nicht bekannt geworden. Aus dem Verhalten der Metalle wissen wir, daß der Torsionsmodul etwas stärker als linear mit fallender Temperatur steigt.

Anderseits liegen Bestimmungen des Viskositätskoeffizienten  $\nu$  bei verschiedenen Temperaturen von B. Weinberg vor. Zwischen dem Righeitsmodul  $\mu$  und dem Viskositätskoeffizienten  $\nu$  besteht die Gleichung  $\nu = \mu t$ , wo  $t$  die Relaxationszeit ist, also die Zeit, in der die Spannung bei vorgegebener Verschiebung auf  $1/e$  ihres Wertes fällt. Weinberg fand:

| Ort             | Temperatur | $\nu$               | $\mu$                                  |
|-----------------|------------|---------------------|--|
| Neva            | 0° C       | $1,0 \cdot 10^{13}$ | $(3,1 \cdot 10^{10} \text{ c. g. s.})$ |
| Neva            | -5° C      | $1,9 \cdot 10^{13}$ |  |
| Neva            | -14° C     | $8,5 \cdot 10^{13}$ |  |
| Hintereisferner | 0° C       | $0,5 \cdot 10^{13}$ | $(3,1 \cdot 10^{10})$                  |

Nach diesen Beobachtungsergebnissen zeigt auch der Viskositätskoeffizient eine starke Temperaturabhängigkeit, die, wenn der vorletzte Wert reell ist, erheblich von einer nur linearen Abhängigkeit abweicht.

Wir nehmen zunächst einmal an, daß der Righeitsmodul des Eises bei fallender Temperatur linear wachse. Zu dem Werte für 120 km  $\mu = 3,1 \cdot 10^{10}$  gehört die Temperatur -15,5° C. Die Schicht mit der Geschwindigkeit  $a = 4000$  m/sec,  $b = 1850$  m/sec liegt, wie wir hernach sehen werden, in einer Tiefe von etwa 180 m. In dieser Tiefe herrscht ein hydrostatischer Druck von 24 Atm. Steigender Druck wird den Righeitsmodul in entgegengesetzter Richtung beeinflussen wie fallende Temperatur. Da wir aber infolge zu geringen Geschwindigkeitswertes der Transversalwellen von einem zu kleinen  $\mu$  für 120 km ausgegangen sind, wollen wir für unsere vorliegenden Überlegungen mit obigem Wert rechnen.

## 2. Der Elastizitätsmodul E.

Für den Elastizitätsmodul E gilt die Beziehung  $E = 2\mu(1+\sigma)$ ;  $\sigma$  bedeutet hierbei die Poissonsche Konstante, die mit den Geschwindigkeiten der longitudinalen und transversalen Wellen verbunden ist durch  $\sigma = [a^2 - 2b^2] : [2(a^2 - b^2)]$ . Ausgehend von den auf Seite 42 aufgeführten Geschwindigkeiten, erhalten wir so als Wert der Poissonschen Konstanten für:

|                  |                  |                      |
|------------------|------------------|----------------------|
| Ort: Alpen 0° C  | Winterhaus -6° C | 120 km (etwa -16° C) |
| $\sigma$ : 0,363 | 0,358            | 0,365                |

$\sigma$  wird für Flüssigkeiten, da Flüssigkeiten ja nur Volumenelastizität besitzen, aber keine Formelastizität, mithin für sie  $\mu = 0$  ist, nach der Gleichung  $\sigma = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{\mu + \lambda} = 0,5$ . Je mehr sich die Temperatur des Eises vom Schmelzpunkt entfernt, um so mehr nimmt das Eis Eigenschaften eines vollkommen kristallinen Körpers an, und  $\sigma$  sollte mit fallender Temperatur kleineren Werten zustreben (bis 0,25). Für das Winterhaus, bei dem

daß Eis nach Schachtmessungen bis 20 m Tiefe eine Temperatur von  $-6^{\circ}$  besitzt, zeigt  $\sigma$  auch dieses Verhalten.  $\sigma_{120 \text{ km}} \cong \sigma_{-16^{\circ} \text{ C}}$  weicht hier von ab. Sein Wert ist mit 0,365 größer als der von Eis für  $0^{\circ}$  geltende. Der Grund hierfür ist wohl nur in einem zu kleinen Wert für die transversale Geschwindigkeit zu suchen. Für  $b = 1900$  bzw. 1950 m/sec nimmt  $\sigma$  einen Wert an von 0,356 bzw. 0,345. Diese Werte für  $\sigma$  zwingen uns dazu, statt des Wertes von  $b = 1850$  m/sec, der schon mehrfach als zu niedriger Mittelwert bezeichnet ist, einen Wert anzunehmen, der zwischen 1900 und 1950 m/sec liegt, etwa bei 1920 m/sec. Der Elastizitätsmodul E ergibt sich so zu:

| Temperatur $0^{\circ} \text{ C}$ | $-6^{\circ} \text{ C}$ | $x^{\circ} \text{ C}$ |        |                        |
|----------------------------------|------------------------|-----------------------|--------|------------------------|
| E-modul      710                 | 760                    | 850                   | 845    | 835 kg/mm <sup>2</sup> |
|                                  |                        | $b = 1850$            | $1900$ | $1950 \text{ m/sec}$   |

Wie für  $\mu$ , so ist auch für E zunächst lineare Temperaturabhängigkeit angenommen; zu den Werten für E 120 km gehören die Temperaturen:

$$\begin{array}{lll} E = 850 \text{ kg/mm}^2 & b = 1850 \text{ m/sec} & t = -17^{\circ} \text{ C}, \\ E = 835 \text{ kg/mm}^2 & b = 1950 \text{ m/sec} & t = -15^{\circ} \text{ C}, \\ E = 840 \text{ kg/mm}^2 & b = 1920 \text{ m/sec} & t = -15,6^{\circ} \text{ C}. \end{array}$$

Der Elastizitätsmodul ergibt somit etwa  $-15,6^{\circ} \text{ C}$  als die in 180 m Tiefe herrschende Temperatur.

Aus statischen Messungen fand Koch als Wert des Elastizitätsmoduls  $E = 630 \text{ kg/mm}^2$ ,  $E = 860 \text{ kg/mm}^2$ ,  $E = 957 \text{ kg/mm}^2$ . Bei Untersuchungen auf dem Neckar stellte Koch entsprechend der optischen auch eine elastische Anisotropie fest. Es betrug E für Eisstäbe, deren Längserstreckung parallel zur Gefrierfläche lag,  $E_0 = 957,6 \text{ kg/mm}^2$ , für Eisstäbe, deren Längsrichtung senkrecht zur Gefrierfläche stand,  $E_{90} = 1120,3 \text{ kg/mm}^2$ . Die Abweichungen der E-Werte für elastisch isotropes Eis dürften dadurch bedingt sein, daß die Untersuchungen nicht an einem Kristall durchgeführt wurden, sondern vielmehr an einem Stab aus mehreren, regellos verteilten Kristallen; die Abweichungen in den von Koch bestimmten Werten sind aber nicht durch unterschiedliche Temperatur bedingt.

Nach der Richtungshörmethode bestimmte O. Stierstadt die Schallgeschwindigkeit im Eis (hergestellt aus destilliertem Wasser) bei einer Temperatur von  $-4^{\circ} \text{ C}$  zu 3232 m/sec und den Elastizitätsmodul zu  $960 \text{ kg/mm}^2$ .

### 3. Der Kompressibilitätsmodul $\beta$ .

Zur Temperaturbestimmung im Inlandeis wird jetzt noch der Kompressionsmodul  $\beta$  herangezogen. Der Inkompressibilitätsfaktor  $k$  ergibt sich aus den Longitudinalgeschwindigkeiten  $a$  und den Transversalgeschwindig-

keiten  $b$  nach  $k = \rho (a^2 - \frac{4}{3} b^2)$ , wo  $\rho$  wiederum die Dichte bedeutet. Für den Inkompressibilitätsfaktor  $k$  und den Kompressionsmodul  $\beta$  gilt die Beziehung  $\beta = 1/k$ . Aus unseren Werten für die Wellengeschwindigkeiten erhalten wir so für  $k$  und  $\beta$ :

| Ort        | Temperatur | Inkompressibilitätsfaktor | Kompressibilität    |
|------------|------------|---------------------------|---------------------|
|            |            | $10^{10}$ c. g. s.        | $10^{-12}$ c. g. s. |
| Alpen      | 0° C       | 8,3                       | 12,0                |
| Winterhaus | -6° C      | 8,95                      | 11,2                |
| Bei 120 km | x° C       | 10,4—9,9                  | 9,6—10,1            |
|            |            | (b = 1850—1950 m/sec)     |                     |

Wie bei  $\mu$  und  $E$  erkennen wir auch bei  $\beta$  eine Temperaturabhängigkeit. Für den Kompressionsmodul liegen statische Bestimmungen vor, und zwar von T. W. Richards und C. L. Speyers bei einer Temperatur von  $-7,03^\circ\text{C}$  und niederen Drucken zwischen 100 und 500 megabar, und von Bridgman bei hohen Drucken. Richards und Speyers geben in ihrer Arbeit auch die Werte für  $\beta$  von Bridgman in Abhängigkeit von der Temperatur.

| I          | II                          | III <sup>1</sup>     |
|------------|-----------------------------|----------------------|
| Temperatur | Kompressibilitätsmodul      |                      |
| 0° C       | $33 \cdot 10^{-6}$ c. g. s. | $16,5 \cdot 10^{-6}$ |
| -5° C      | 23                          | 11,5                 |
| -7° C      | 21                          | 10,5                 |
| -10° C     | 19                          | 9,5                  |
| -15° C     | 18                          | 9,0                  |

Der von Richards und Speyers sehr sorgfältig bestimmte Wert für  $\beta$  beträgt bei  $-7^\circ\text{C}$   $\beta = 12 \cdot 10^{-6}$ .

Zu den statisch bestimmten elastischen Konstanten von Gestein usw. ist zu bemerken, daß sie von den dynamischen, also auch aus seismischen Daten abgeleiteten Werten mehr oder minder stark abweichen. Dies gilt besonders für die älteren Arbeiten, bei denen hohe Drucke benutzt wurden. Bei der seismischen Methode wird das Material nur ganz gering und momentan beansprucht, und in dieser unterschiedlichen Belastung wird man, worauf R. Daly als erster aufmerksam gemacht hat, den Grund für die Abweichung zu suchen haben. Durch die Arbeiten Dalys veranlaßt, hat Zisman neue Bestimmungen des Kompressibilitätsmoduls bei niederen Drucken ausgeführt. Die so gewonnenen Werte stehen, besonders bei unbedeckten Gesteinsproben, wenn die Druckflüssigkeit in die Gesteinsporen eindringen

<sup>1</sup> Dividiert man die von Bridgman gegebenen Werte für  $\beta$  durch 2, so erhält man die in obiger Tabelle, Reihe III, aufgeführten Zahlen, die mit unseren Werten und dem Werte von Richards und Speyers besser vergleichbar sind.

kann, in guter Übereinstimmung mit den aus seismischen Beobachtungen abgeleiteten Werten, und die nach der Magnetostriktionsmethode bestimmten E-Werte fallen mit den seismischen zusammen. Gegenüber den aus statischen Messungen abgeleiteten Werten, besonders denen bei hohen Drucken, sind die aus seismischen Daten berechneten unbedingt die zuverlässigeren. — Neuere Messungen des Kompressibilitätsmoduls des Eises bei kleinen Drucken liegen nicht vor. Der von Richards und Speyers bestimmte Wert, der für eine Temperatur von  $-7^{\circ}\text{ C}$  gilt, stimmt mit dem nach der seismischen Methode für Eis von  $0^{\circ}\text{ C}$  berechneten überein, übertrifft aber den nach gleicher Weise für Eis von  $-6^{\circ}\text{ C}$  abgeleiteten um 7%. Da die statischen Messungen überdies nicht an Gletschereis, sondern an Kunsteis durchgeführt wurden, muß die Übereinstimmung zwischen beiden Werten als recht befriedigend bezeichnet werden. Der von denselben Autoren nach den Messungen von Bridgman angegebene Wert für  $0^{\circ}\text{ C}$  ist hingegen 2,7mal so groß wie der seismische. Daly hat, ausgehend von dem von Richards und Speyers bestimmten Wert, für  $\beta$  bei  $-7^{\circ}\text{ C}$  unter Benutzung des von Bridgman angegebenen Temperaturkoeffizienten für Eis einen Wert für  $\beta$  bei  $0^{\circ}\text{ C}$  berechnet von  $17 \cdot 10^{-6}$  gegen  $12 \cdot 10^{-6}$  aus seismischen Daten.

Entgegen der von E. Sorge (Bd. II, S. 157) ausgesprochenen Ansicht, daß Dichte und Elastizität des Eises in enge Grenzen eingeschlossen sind, müssen wir für die Elastizität feststellen, daß ihre statisch und seismisch festgestellten Werte recht beachtliche Unterschiede aufweisen.

Zum Temperaturkoeffizienten des Kompressionsmoduls bemerkt Bridgman nach Daly: "That its more reliable determination demands special experiment." Ganz eindeutig und klar ergibt sich aber, daß der Kompressionsmodul eine starke Temperaturabhängigkeit besitzt.

Wir nehmen wieder, wie bei  $\mu$  und  $E$ , lineare Temperaturabhängigkeit für  $\beta$  an. Es ergibt sich dann die zu  $\beta$  bei 120 km gehörige Temperatur  $t$  zu

| $\beta \cdot 10^{-12} \text{ c. g. s.}$ | b m/sec | $t^{\circ}\text{ C}$     |
|---|---------|--------------------------|
| 10,0                                    | 1950    | $-15^{\circ}\text{ C}$   |
| 9,9                                     | 1920    | $-15,8^{\circ}\text{ C}$ |
| 9,6                                     | 1850    | $-18^{\circ}\text{ C}$   |

Nach dem, was wir über die Poissonsche Konstante gesagt haben, ist 1920 m/sec sehr wahrscheinlich der richtige Geschwindigkeitswert für die in 180 m Tiefe laufende Transversalwelle. Der Kompressionsmodul für 120 km ist hiernach  $9,9 \cdot 10^{-12}$  und die zugehörige Temperatur  $-15^{\circ}\text{ C}$ .

Der Righeitsmodul  $\mu$  ergab eine Temperatur von  $-15,6^{\circ}\text{ C}$ , der Elastizitätsmodul  $E$  eine solche von . . .  $-15,5^{\circ}\text{ C}$ , und der Kompressibilitätsmodul  $\beta$  endlich eine von  $-15,8^{\circ}\text{ C}$ ,

so daß wir nach unseren Ergebnissen  $-16^{\circ}\text{C}$  als Temperatur in 180 m Tiefe bei 120 km Randabstand bezeichnen können.

Für 120 km liegen auch direkte Temperaturmessungen vor. Von Herdemerten und mir wurde in der letzten Nacht unserer Arbeitszeit bei 120 km ein 4,5 m tiefer Schacht gegraben und in ihm Temperaturen gemessen. Auch beim Ausheben einiger Sprenglöcher wurden bei 120 km Temperaturmessungen vorgenommen. Die bei 120 km gewonnenen Temperaturen sind nachfolgend wiedergegeben.

a) Sprengschacht.  $\Delta 1200\text{ m.}$  31. August 1931.

| Tiefe  | Temperatur              | Toluolthermometer<br>anzubringende Korrektion |
|--------|-------------------------|---|
| 0,15 m | $-5,5^{\circ}\text{C}$  | $+0,3^{\circ}\text{C}$                        |
| 1,00 m | $-9,8^{\circ}\text{C}$  | —   |
| 2,00 m | $-12,0^{\circ}\text{C}$ | —   |

b) Sprengschacht.  $\Delta 1000\text{ m.}$  26. August 1931.

| Tiefe  | Temperatur              | Toluolthermometer |
|--------|-------------------------|-------------------|
| 0,30 m | $-8,5^{\circ}\text{C}$  | —                 |
| 1,00 m | $-9,0^{\circ}\text{C}$  | —                 |
| 1,75 m | $-12,5^{\circ}\text{C}$ | —                 |
| 2,20 m | $-13,8^{\circ}\text{C}$ | —                 |

c) im Temperaturschacht.

8. September 1931.

| I      | II                                  | III                              | IV                     |
|--------|-------------------------------------|----------------------------------|------------------------|
| Tiefe  | Temperatur<br>Schwarzes Thermometer | Temperatur<br>Weißes Thermometer | II—III                 |
| 1,40 m | $-12,5^{\circ}\text{C}$             | —                                | —                      |
| 1,90 m | $-14,2^{\circ}\text{C}$             | $-13,0^{\circ}\text{C}$          | $-1,2^{\circ}\text{C}$ |
| 2,40 m | $-15,1^{\circ}\text{C}$             | $-13,7^{\circ}\text{C}$          | $-1,4^{\circ}\text{C}$ |
| 2,90 m | $-16,8^{\circ}\text{C}$             | $-15,0^{\circ}\text{C}$          | $-1,8^{\circ}\text{C}$ |
| 3,40 m | $-17,2^{\circ}\text{C}$             | $-15,6^{\circ}\text{C}$          | $-1,6^{\circ}\text{C}$ |
| 3,90 m | $-18,5^{\circ}\text{C}$             | $-17,0^{\circ}\text{C}$          | $-1,5^{\circ}\text{C}$ |
| 4,50 m | $-19,2^{\circ}\text{C}$             | $-18,0^{\circ}\text{C}$          | $-1,2^{\circ}\text{C}$ |

nach 12 Stunden:

4,50 m  $-19,2^{\circ}\text{C}$  (weißes Glas zerbrochen)  
(Schwarzes und weißes Thermometer unkorrigiert)

I. P. Koch und Alfred Wegener fanden bei Schachtgrabungen im zentralen Firngebiet die tiefste Temperatur in einem Fall bei 3 m, in einem anderen Fall bei 3,8 m Tiefe. Unterhalb dieser Tiefen nahm die Temperatur wieder zu. Bei 120 km wurde die tiefste Temperatur in 4,5 m Tiefe gefunden. Ein Temperaturanstieg wurde bis 4,5 m also nicht beobachtet.

Es soll jetzt untersucht werden, welche Abweichung die Temperatur in 4,5 m Tiefe zur Zeit der Beobachtung vom Jahresmittelwert hat. Wir

gehen dabei in gleicher Weise vor wie Alfred Wegener bei der Behandlung der Firntemperaturen. Nicht berücksichtigt ist die Strahlung<sup>1</sup>, die halbjährige Schwankung, die eine Halbamplitude von etwa  $3,5^{\circ}\text{C}$  hat, und die Tageschwankung. Nur die Jahresschwankung wird berücksichtigt.

Der Temperaturverlauf nach der Tiefe muß, wenn die Oberflächen-temperatur eine harmonische Schwingung ausführt, der Poissonschen Gleichung genügen:

$$\Delta_x = R_0 e^{-x\sqrt{\pi/T_a}} \cos \left( 2\pi \frac{t}{T} - x\sqrt{\pi/T_a} \right).$$

Hierbei bedeutet:

$\Delta_x$  die Abweichung der Temperatur vom Mittelwert in der Tiefe  $x$ ;

$R_0$  die Halbamplitude der Oberflächentemperatur;

$a$  die Temperaturleitzahl;

$t$  den Beobachtungszeitpunkt, gerechnet vom 31. Juli (Temperaturmaximum).

Die Wellenlänge  $b$  der momentanen Welle ist:  $b = 2\sqrt{\pi T_a}$

Unter Benutzung dieser Gleichung erhalten wir für:

$$\Delta_x = R_0 e^{-2\pi x/b} \cos 2\pi (t/T - x/b).$$

In dem Schacht bei 120 km wurden 2 Dichtebestimmungen vorgenommen: In 2 m Tiefe betrug die Dichte 0,37 (Gewicht des ganzen Blockes 1,425 kg); in 3 m Tiefe betrug die Dichte 0,49 (Gewicht des ganzen Blockes 1,678 kg).

Da bei 120 km noch Eishorizonte auftreten, ist es natürlich schwer, einen charakteristischen Dichtewert anzugeben. Im nachstehenden ist mit  $\rho = 0,40$  gerechnet: Nach  $a = 0,01375 \rho$  erhalten wir für die Temperaturleitzahl  $a = 0,0055$ .

Aus  $b^2 = 4\pi T_a$  folgt als Wellenlänge der Temperaturschwankung:  $b = 16$  m. Die Jahresamplitude  $R_0$  bei 120 km sei nach den entsprechenden Werten beim Winterhaus von  $13,3^{\circ}\text{C}$ , bei Danemarkshavn von  $14,7^{\circ}\text{C}$  zu  $14,0^{\circ}\text{C}$  angenommen.

Wir erhalten dann als Abweichung der Temperatur vom Mittelwert in 4,5 m Tiefe am 8. September 1931:  $\Delta_{4,5\text{ m}} = -0,38$ .

Der Beobachtungswert liegt also um  $\sim 0,4^{\circ}\text{C}$  zu tief.

Aus dem Schwächungsfaktor  $e^{-2\pi x/b}$  erhalten wir für:  $x = 4,5\text{ m} = 0,28b$ , daß die Oberflächenamplitude von  $14^{\circ}\text{C}$  in 4,5 m Tiefe nur noch  $2,8^{\circ}\text{C}$  beträgt.

Somit dürfen wir  $-19^{\circ}\text{C}$  als Jahresmitteltemperatur bei 120 km betrachten. Das Weißglas-Thermometer würde  $\sim -18^{\circ}\text{C}$  ergeben.

Für die folgenden Überlegungen ist es wesentlich, möglichst genau die Tiefe anzugeben, in der die Longitudinalwellen und Transversalwellen eine

<sup>1</sup> Nach Kallitin (Eigenschaften der Schneedecke. Gerlands Beiträge zur Geophysik. Köppenband) dringt nur 1% der in den Schnee gelangenden Strahlung tiefer als 50 cm.

Fortpflanzungsgeschwindigkeit von 4000 m/sec und 19000 m/sec besitzen. Da bei 120 km der Film mit den Schüssen von 10 bis 200 m versagt hat, besteht über die Kurvenführung bis zu 200 m eine größere Unsicherheit als bei 62 und 82 km. Während bei 62 und 82 km sich ganz eindeutig und zwangsläufig die Geraden ergeben:

$$t_1 = \Delta / 1,15; \quad t_2 = 0,012 + \Delta / 2,4; \quad t_3 = 0,025 + \Delta / 3,6; \quad t_4 = 0,03 + \Delta / 3,72; \\ t_5 = 0,05 + \Delta / 4,0,$$

ist die Darstellung für 120 km von 200 bis 700 m Abstand durch:  $t_3 = 0,030 + \Delta / 3,60$ ; von 700 bis 1200 m Abstand durch:  $t_4 = 0,044 + \Delta / 3,80$ ; darüber hinaus durch:  $t_5 = 0,058 + \Delta / 4,0$  wohl noch besser wiedergegeben, als durch die in Band II, S. 81, gegebenen Zeiten. Für die Tiefenberechnung sind die hier gegebenen Geschwindigkeitswerte benutzt. Bei der in Band II durchgeföhrten Tiefenberechnung war jeweils von den Schnittpunkten der Laufzeitkurven ausgegangen und die Mächtigkeit nach der für zwei Schichten geltenden Tiefenformel berechnet. Für die jetzt durchgeföhrte Tiefenberechnung ist, da die Laufzeitkurven sich unter spitzem Winkel schneiden, von der Laufzeit, die die Welle benötigt, um vom Sprengpunkt durch die Schicht 1,2 usw. über Schicht  $n+1$  zum Beobachtungspunkt zu gelangen, ausgegangen.

Für die Wellen, die längs der Schicht mit der Geschwindigkeit  $v_6$  gelaufen sind, ist die Laufzeit:

$$t_6 = \frac{2 h_1}{\cos \alpha_1 v_1} + \frac{2 h_2}{\cos \alpha_2 v_2} + \frac{2 h_3}{\cos \alpha_3 v_3} + \frac{2 h_4}{\cos \alpha_4 v_4} + \frac{2 h_5}{\cos i_5 v_5} \\ + \frac{\Delta - 2 h_1 \tan \alpha_1 - 2 h_2 \tan \alpha_2 - 2 h_3 \tan \alpha_3 - 2 h_4 \tan \alpha_4 - 2 h_5 \tan i_5}{v_6}$$

Hierbei bedeutet  $h_n$  die Mächtigkeit der einzelnen Schichten,  $i_5$  ist gegeben durch:  $\sin i_5 = v_5 / v_6$ ; die Winkel  $\alpha$  sind die Brechungswinkel, gegeben durch:

$$\sin \alpha_n / \sin \alpha_{n+1} = v_n / v_{n+1}.$$

Es lassen sich unter Berücksichtigung, daß

$$\sin i_1 = v_1 / v_2; \quad \sin \alpha_1 = v_1 / v_3; \quad \sin \alpha_2 = v_2 / v_4; \quad \sin \alpha_1 = v_1 / v_4 \text{ usw.}$$

des weiteren

$$\sin \alpha_1 = \sin i_1 \cdot \sin \alpha_2 = \sin \alpha_1 \sin \alpha_3 = \sin i_5 \sin \alpha_1 \text{ usw.}$$

die verschiedenen Geschwindigkeiten durch  $v_1$  ausdrücken und verschiedene Umformungen und Kürzungen durchführen.

Wir erhalten dann folgende Tiefenformeln:

$$h_1 = \Delta / 2 \sqrt{\frac{v_2 - v_1}{v_2 + v_1}}; \quad h_2 = \frac{t_3 v_1 - \Delta \sin \alpha_1 - 2 h_1 \cos \alpha_1}{2 \sin i_1 \cos i_2}$$

$$h_3 = \frac{t_4 v_1 - \Delta \sin \alpha_1 - 2 h_1 \cos \alpha_1 - 2 h_2 \sin i_1 \cos \alpha_2}{2 \sin \alpha_1 \cos i_3}$$

$$h_4 = \frac{t_5 v_1 - \Delta \sin \alpha_1^{\text{--}} - 2 h_1 \cos \alpha_1^{\text{--}} - 2 h_2 \sin i_1 \cos \alpha_2^{\text{--}} - 2 h_3 \sin \alpha_1 \cos \alpha_3}{2 \sin \alpha_1^{\text{--}} \cos i_4}$$

$$h_5 = \frac{t_6 v_1 - \Delta \sin \alpha_1^{\text{--}} - 2 h_1 \cos \alpha_1^{\text{--}} - 2 h_2 \sin i_1 \cos \alpha_2^{\text{--}} - 2 h_3 \sin \alpha_1 \cos \alpha_3 - 2 h_4 \sin \alpha_1 \cos \alpha_4}{2 \sin \alpha_1^{\text{--}} \cos i_5}$$

Als Mächtigkeit der einzelnen Schichten folgt für:

|       | 120 km      | 62–82 km    |
|-------|-------------|-------------|
| $h_1$ | (8)m        | 8 m         |
| $h_2$ | (20)m       | 20 m        |
| $h_3$ | 91 m        | 50 m        |
| $h_4$ | 65 m        | 60 m        |
|       | <hr/> 180 m | <hr/> 140 m |

Die  $v_5$ -Schicht mit der Geschwindigkeit 4000 m/sec liegt also in einer Tiefe von  $\sim 180$  m. In dieser Tiefe herrscht eine Temperatur von  $\sim -16^\circ$  C.

Für 120 km ergibt sich somit ein mittlerer Temperaturgradient für die oberen 200 m von  $0,015^\circ$  C/m. Für die Temperatur nach dem Weißglas-Thermometer wäre der Gradient  $0,010^\circ$ /m. Besteht gleiches Temperaturgefälle nach unten hin weiter, müßten wir (Ausgangstemperatur  $-19^\circ$  C) in etwa 1300 m den Schmelzpunkt bei  $-1^\circ$  C erreichen für  $0,015^\circ$  C/m.

Da die inneren Wärmequellen im Gletscher über die ganze Mächtigkeit des Gletschers verteilt sind, muß der Temperaturgradient nach unten hin kleiner werden, und ein für 1300 m geltender mittlerer Gradient muß deshalb kleiner sein, als ein nur für die oberen 200 m berechneter Gradient. Die kalte Schicht muß also tiefer reichen als 1300 m. Nach den vorstehenden Überlegungen ist der mittlere Gradient bis zur Schmelzschicht kleiner als  $0,015^\circ$  C/m resp.  $< 0,010^\circ$  C/m. Der mittlere Temperaturgradient für 120 km führt nun dazu, für das Inlandeis an dieser Stelle, an der seine Mächtigkeit zu rund 1800 m bestimmt wurde, eine Temperaturschichtung im Eis anzunehmen, derart, daß nur sein unterster Teil sich auf Schmelztemperatur befinden kann. — Wir kennen zwar den aus der Erde stammenden Wärmestrom unter dem Eise nicht genau, unter plausiblen Annahmen über die Leitfähigkeit des Gesteins und seiner geothermischen Tiefenstufe können wir seine Größe zu 40–80 cal/a angeben. Wir nehmen im folgenden mit Alfred Wegener einen Wärmestrom von 60 cal/a an; da die Eisschicht von Schmelztemperatur eine quasi isotherme Schicht darstellt, durch die kein Wärmefluß stattfindet, muß die aus der Erde stammende Wärme voll zum Schmelzen von Eis an der Basis des Inlandeises verbraucht werden, d. h. bei einer latenten Schmelzwärme von 79 cal bei einer Temperatur von  $-1,4^\circ$  C wird im Jahre etwa 0,5–1 cm Eis am Boden abschmelzen. Deshalb fällt der Erdstrom als Wärmequelle für den im oberen Inlandeis abgeleiteten Wärme-

strom von  $1,5 \cdot 10^{-6} \text{ °C/cm}^2$ ,  $5 \cdot 10^{-3}$  gleich 24 cal/a resp. 16 cal/a aus. Dieser Wärmestrom röhrt von den inneren Wärmequellen im Inlandeis (innere Reibung und Reibung auf Scherflächen) her, stammt mithin letzten Endes aus potentieller Energie.

Da bis jetzt zu wenig Werte über die Geschwindigkeit der Wellen im Eis verschiedener Temperatur vorliegen, mußten wir lineare Temperaturabhängigkeit der elastischen Konstanten annehmen. Diese Vereinfachung wird, da das untersuchte Material sich in der Nähe des Schmelzpunktes befindet, nur eine erste Näherung von dem tatsächlichen Verlauf darstellen, und weitere Messungen auf aperen arktischen Gletschern werden zeigen, wie groß der begangene Fehler ist. Es steht also ein noch kleinerer Temperaturgradient als  $0,01^\circ \text{ C/m}$  für die oberen Schichten zu erwarten.

Die vorstehenden Ausführungen, die einen ersten Versuch darstellen, auf indirektem Wege Aufschluß über die Temperaturverhältnisse in tieferen Gletscherlagen zu erhalten, lassen es als sicher erkennen, daß die seismische Methode neben der Dickenbestimmung des Inlandeises eine größere Bedeutung gewinnt für allgemeine glaziologische Fragen, insbesondere für die Untersuchung der elastischen Konstanten und der Temperaturverhältnisse im Inlandeis, besonders dann, wenn gleichzeitig Oberflächentemperaturen aus etwa 15 m Tiefe vorliegen, die nicht durch Strahlungs- und Leitungseinflüsse von außen verfälscht sind.

Abgeschlossen 16. Dezember 1933.

#### Schriftennachweis.

1. Alfred Wegener in: J. P. Koch und A. Wegener. Wissenschaftliche Ergebnisse usw.
2. E. v. Drygalski: Deutsche Südpolarexpedition 1901—03, Bd. 1.
3. Wissenschaftliche Ergebnisse der deutschen Grönlandexpedition Alfred Wegener. Bd. II, B. Brockamp und K. Wölcken; B. Brockamp; E. Sorge.
4. B. Weinberg: Indian Journal of Physik 1927.
5. Gutenberg in: Der physikalische Aufbau der Erde. Handbuch der Geophysik, Bd. II, 1.
6. R. Daly: Bulletin of the seismological Society of America 1930, Bd. 20.
7. Richards und Speyers: Journal of the American chemical Society 1914, 36.
8. Bridgman: ebendort.
9. W. A. Zisman: Comparison of statically and seismologically determined elastic constants of rocks. Pro. Nat. Acad. Sci. U.S.A. 19, 1933.
10. O. Stierstadt: Messungen der Schallgeschwindigkeit von Stoffen im festen und geschmolzenen Zustand. Göttingen 1928.

---

---

## Über den jährlichen Zutrag in 120 und 62 km Randabstand.

Von Bernhard Brockamp.

Über die auf der Hauptexpedition gewonnenen Schneepiegelbeobachtungen ist von F. Loewe in Band I, S. 153—161, berichtet und auf S. 162—171 sind diese Beobachtungen von K. Wegener diskutiert. Aus der Diskussion der Beobachtungsergebnisse folgt unter anderem, daß der jährliche Zuwachs 1930/31 unterschiedlich ausfällt, je nachdem man vom 1. August 1930 bis 1. August 1931 rechnet oder vom 1. September 1930 bis 1. Sept. 1931. Es spricht sich in diesem Unterschied das verfrühte oder verspätete Einsetzen der jahreszeitlichen Niederschlags- und Tauperioden aus. Um einen zuverlässigen Jahresmittelwert zu erhalten, muß eine mehrjährige Beobachtungsreihe von Pegelmessungen vorliegen, oder es muß nach anderer Methode eine größere Zeitspanne einbezogen werden. E. Sorge hat dies in Eismitte getan durch sorgfältige Dichtebestimmungen und Ausmessen der Korngröße des Firns. Er konnte so einen mittleren jährlichen Zuwachs von 31,4 cm (Wasserwert) für 21 Jahre ableiten. In den randnahen Gebieten, in denen Tau- und Regenperioden verschieden stark auftreten, und offenbar auch noch im Herbst auftreten — wir hatten am 2. September bei 120 km während des ganzen Tages positive Temperatur — Maximum +0,8° C —, ist die von Sorge benutzte Methode mit größeren Schwierigkeiten verbunden und sie erscheint mir bis 80 km Randabstand kaum benutzbar. In diesen Gebieten können Tau- bzw. Regenperioden von solcher Stärke auftreten, daß die Konsistenz der oberen Schneelagen vollständig geändert werden kann. Für 120 km scheint sich aber doch noch eine Einteilung in Jahresschichten zu ermöglichen. In dem von Herdemerten und mir gegrabenen Schacht bei 120 km Randabstand wurde nach meinen Tagebuchaufzeichnungen nachstehende Schichtenfolge gefunden:

20 cm Neuschnee.

101 cm Schnee (mit dünnen Tauhorizonten). In 70 cm Tiefe Schmutzhorizont (von Schlittenreise 1930?). in oberen Lagen grobkörnig.  
2 cm Eishorizont (Doppelhorizont).

103 cm

60 cm Schnee (dicht, nach oben grobkörnig werdend).  
2 cm Doppeleishorizont (mit Hohlraum, in dem ganz große Schneekörper sich befinden).  
30 cm Schnee mit 2 Trennschichten (Tau?).  
2 cm Eishorizont (unterm Eis Lufthorizont, mit einzelnen Kristallen).

94 cm

60 cm Grobkörniger Schnee (nach unten fester werdend).  
0,5 cm Trennhorizont (von Winddruck herrührend?).  
33 cm Schnee (nach unten fester werdend).  
5 cm (2 Eisschichten mit Schneemittel).

98,5 cm

7 cm Schnee (grobkörnig).  
35 cm Eis (nach oben vorherrschend Schnee und Schmelzhorizonte).  
4 cm Schnee.  
35 cm Eis mit Schneelagen.

Legen wir jeweils dort, wo ich grobkörnigen Schnee vermerkt habe, eine Jahrestgrenze, so ergibt sich für:

|                         |                  |
|-------------------------|------------------|
| 1930/31                 | 103 cm Zuwachs   |
| 1929/30                 | 94 cm Zuwachs    |
| 1928/29                 | 98,5 cm Zuwachs  |
| im Mittel aus 3 Jahren: | 98,5 cm Zuwachs. |

Für 1930/31 beträgt der Zutrag nach Pegelmessungen für Pegel 120 km:

|   |        |
|---|--------|
| 1. August 1930 bis 1. August 1931       | 105 cm |
| 1. September 1930 bis 1. September 1931 | 130 cm |

Unser Wert für 1930/31 von 103 cm stimmt recht gut mit dem aus Pegelmessungen abgeleiteten Wert für die Zeit vom 1. August 1930 bis 1. August 1931 überein. Für die Septemberwerte müssen wir offenbar 20 cm Neuschnee mit berücksichtigen, den ich aber schon zur Niederschlagsperiode 1931/32 zählen möchte. Hieraus folgt, daß der mittlere jährliche Zutrag bei 120 km Randabstand ungefähr 100 cm beträgt. Die beiden bei 120 km gewonnenen Dichtewerte,  $\rho = 0,37$  in 2 m Tiefe,  $0,49$  in 3 m Tiefe lassen auf einen Wasserwert von etwa 45 cm schließen. Bei 120 km Randabstand befinden wir uns im Gebiet des maximalen Niederschlages.

In der großen Spalte bei 62 km Randabstand ergibt sich nachstehende Schichtenfolge:

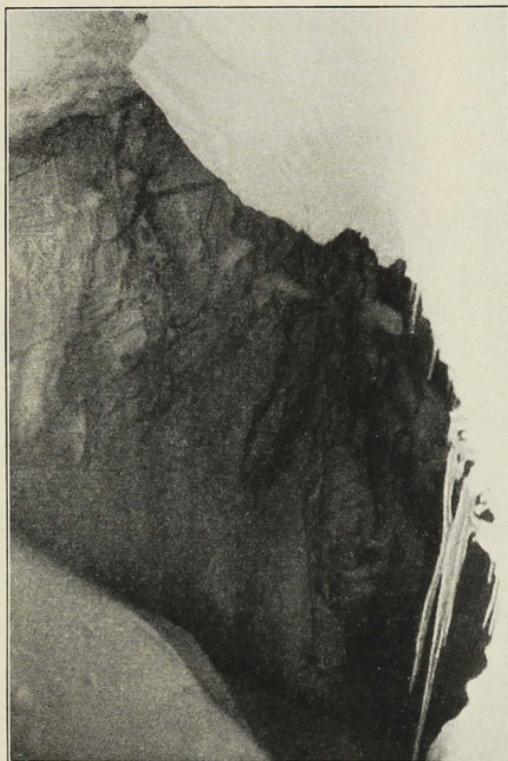
|        |   |
|--------|---|
| 60 cm  | Schnee mit 6 dünnen blasenreichen Eishorizonten       |
| 45 cm  | Schnee mit 1 Eishorizont (Blaueis)                    |
| 1—2 cm | Hohlraum mit Kristallen                               |
| 110 cm | Schnee mit 10 Eishorizonten von der Stärke 0,1—2,0 cm |
| 11 cm  | Eishorizont mit Schneiplättchen                       |
| 38 cm  | Schnee mit dünnem Eishorizont                         |
| 10 cm  | Eishorizont (blasenarm) mit Schneeschicht             |
| 30 cm  | Schnee  |
| 5 cm   | Eis mit Schneeblättern                                |
| 25 cm  | loser Schnee mit 1 Eishorizont                        |
| 5 cm   | Eis mit losem Schnee                                  |
| 8 cm   | loser Schnee  |
| 11 cm  | Eis   |
| 7 cm   | Schnee  |
| 1 cm   | Blaueis   |
| 5 cm   | Schnee  |
| 3 cm   | Eis   |
| 10 cm  | Schnee  |
| 4 cm   | Eis   |
| 7 cm   | Eis   |
| 7 cm   | Schnee  |
| 10 cm  | Eis   |
| 10 cm  | Schnee  |
| 1 cm   | Eis   |
| 12 cm  | Schnee  |
| 3 cm   | Eis   |
| 11 cm  | Schnee  |
| <hr/>  |   |
| 450 cm |   |

Aus dieser Schichtenfolge eine Jahresschichtung ableiten zu wollen, erscheint mir aussichtslos. Und doch hoffe ich, auch für 62 km Randabstand einen brauchbaren Mittelwert auf Grund anderen Beobachtungsmaterials ableiten zu können.

In der gleichen Spalte, aus der obiges Profil stammt, und deren Mindesttiefe sich aus 2 Lotungen zu 45 m ergab, wurden in 14—16 bzw. 18—20 m (geschätzte Werte) Tiefe 2 dunklere, braungelb gefärbte Horizonte gefunden. Herdemerten und ich begaben uns angeleitet auf Strickleitern in diese Spalte, um Proben von diesen Schichten zu erhalten. Leider konnten wir nicht recht an die Schicht herankommen. Nur ein kleines Stück konnte mit nach oben gebracht werden. Es zeigte sich als durchgehend gelblich gefärbt, ohne daß Fremdkörperchen zu erkennen gewesen wären. Ein merklicher Rückstand war nach dem Schmelzen nicht zu erkennen.

Es fragt sich nun, woher die Gelbfärbung kommt. Staub wird ge-

wiß von der Küste aus weit ins Innere durch den Wind verfrachtet, doch handelt es sich hierbei um so kleine Mengen, daß sie meistenteils einer direkten Beobachtung entgehen. Für das Vorhandensein von Staub scheint mir auch das Auftreten von Schneeargen zu sprechen. Längs der Moräne, wo das Eis mit Schutt und Staub bedeckt war, waren große Partien der



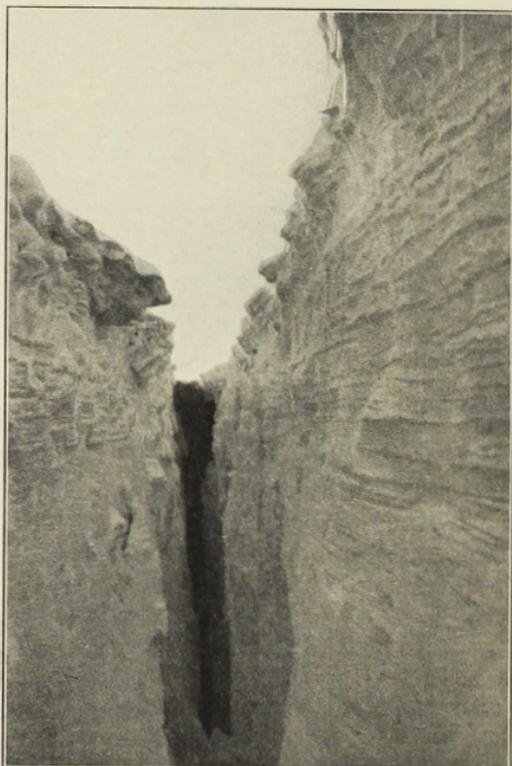
phot. K. Herdemerten.

Abb. 1. Blick von einer Schneebrücke in die Spalte.

Gletscher von Schneeargen rot gefärbt. Mit der Entfernung von der Küste werden Steine und Grus immer seltener und auch die Schneeargen treten immer mehr zurück. Bei Pegel 25 km, ebenso bei 42 km, 50 km und 60 km waren aber noch einige Quadratmeter große Kolonien von Schneeargen vorhanden. Für diese Punkte bestände die Möglichkeit, daß die durch Wind transportierten Algen längs des Schlittenweges Ansiedlungsmöglichkeiten gefunden hätten. Da sie aber auch auf dem Nordprofil in 62 km Randabstand an verschiedenen Stellen angetroffen wurden, erscheint es mir wahrscheinlich, daß sie mit Westwind von der Küste aufs Inlandeis

gebracht wurden, und daß sie sich dort entwickeln, wo Lebensbedingungen für sie vorhanden waren, d. h. wo sie bei nicht zu tiefen Temperaturen Staub vorfanden, der, wie sie selbst, mit Westwind von der Küste aufs Inlandeis gebracht wurde.

Da die beiden Horizonte eine zusammenhängende Schicht bilden,



phot. K. Herdemerten.

Abb. 2. Spalte bei 62 km. Man sieht deutlich die „Schichtung“.

können sie wohl kaum vom Staubtransport von der Küste herrühren. Sie müssen einen ganz anderen Ursprung haben und einen Transport durch wesentlich höhere Luftsichten mitgemacht haben. — Bekannt ist, daß Vulkanausbrüche auf Island die feinsten Staubprodukte der Eruption bis nach Skandinavien und Nordamerika durch die hohen Luftsichten geschickt haben bis in Entfernnungen von nahezu 2000 km. Es liegt nahe, auch unsere Staubhorizonte auf Aschenfall zurückzuführen. Auf Island haben sich in jüngerer Zeit 2 bedeutende Eruptionen ereignet, und zwar

1913 und 1918. Im Jahre 1918 war es der Ausbruch der Katla und 1913 ein Ausbruch im Hekla-Gebiet. Beide zeigten starken Aschenregen. Die Aschen der Katla sind nach S. Eggerson in einem Umkreis bis zu 1000 km gefallen. Thorroddsen nimmt an, daß der feinste Staub bedeutend weiter getragen ist. — Da das Gebiet bei 62 km etwa 1400 km von den Ausbruchsstellen entfernt liegt, kann es sich nur um feinsten Staub handeln, der zur Gelbfärbung der beiden Horizonte geführt hat und der wegen seiner Feinheit mit bloßem Auge nicht mehr zu erkennen war.

Ich möchte den unteren Horizont in 18—20 m Tiefe auf Staubfall aus der Eruption im Hekla-Gebiet 1913 zurückführen, und den oberen in 14—16 m Tiefe auf den Ausbruch der Katla im Jahre 1918. Falls diese Zuordnung zu Recht besteht, ergibt sich ein mittlerer jährlicher Zutrag:

für die letzten 13 Jahre von 108—123 cm/Jahr

für die letzten 18 Jahre von 100—111 cm/Jahr.

Leider sind die geschätzten Tiefenlagen der Horizonte höchstens auf etwa 2 m genau; deshalb soll auch der Zutrag 1913—18 nicht mit angeführt werden, da für diese Zeitspanne ein Fehler von 1 m zu große Abweichungen für den Zutrag ergibt.

Aus unseren Werten dürfte ein Mittelwert von  $110 \pm 10$  cm als bester Mittelwert angesprochen werden. Der jetzt in 15 bzw. 20 m Tiefe liegende Firn bei 62 km Randabstand dürfte zur Zeit der Staubfälle bei etwa 63—64 km Randabstand an der Oberfläche gelegen haben.

Nach den Pegelablesungen ergibt sich für 60 km Randabstand:

|                           |         |
|---------------------------|---------|
| als Augustwert 1930/31    | 90 cm   |
| als Septemberwert 1930/31 | 115 cm, |

Werte, mit denen die hier abgeleiteten der Größenordnung nach gut übereinstimmen. Bei künftigen Expeditionen sollte man auch diesen Staubhorizonten besonderes Augenmerk schenken und ihre Tiefenlage möglichst genau bestimmen.

Ein direkter Nachweis dafür, daß die Gelbfärbung der Horizonte tatsächlich auf vulkanischen Staub zurückgeht, liegt nicht vor. Es wurde auch versäumt, mit der Kohlhörsterschen Ionisationskammer, die K. Wölcken zur Messung der durchdringenden Höhenstrahlung mit auf dem Inlandeis hatte, zu untersuchen, ob diese Schichten ionisierend wirken. Vielleicht ist aber auch der Anteil an radioaktiven Stoffen in den Horizonten zu klein, um mit dem Kohlhörsterschen Apparat überhaupt eine Wirkung feststellen zu können.

Zusammenfassend ergibt sich somit für den Zutrag bei 120 km und 60 km:

bei 120 km ergibt die Pegelablesung:

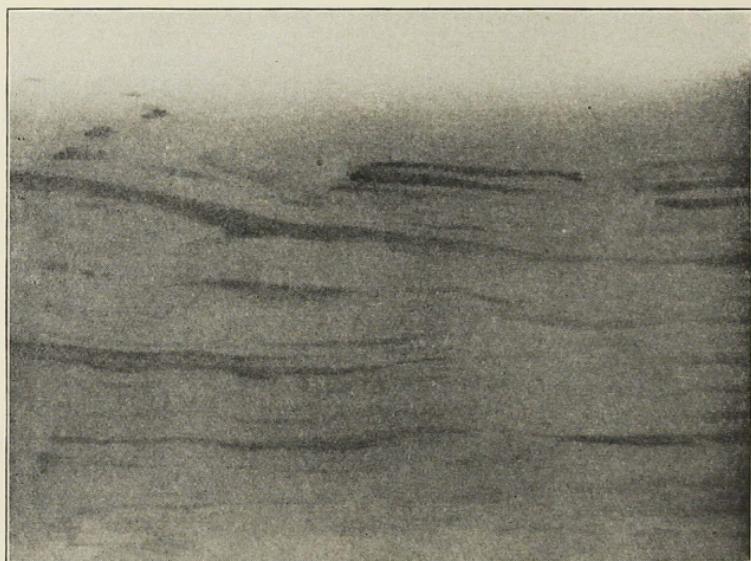
|   |        |
|---|--------|
| 1. August 1930 bis 1. August 1931       | 105 cm |
| 1. September 1930 bis 1. September 1931 | 130 cm |

aus Schichtenablesung erhalten wir:

|                                       |                          |
|---------------------------------------|--------------------------|
| für 1930/31 . . . . .                 | 103 cm                   |
| mit Neuschnee . . . . .               | 123 cm (= Septemberwert) |
| für 1929/30 . . . . .                 | 94 cm                    |
| für 1928/29 . . . . .                 | 98,5 cm                  |
| Als Mittelwert aus 3 Jahren 98—99 cm. |                          |

bei 62 km folgt aus Pegelablesungen<sup>1</sup>:

|  |            |
|--|------------|
| Augustwert . . . . .                                   | 90 cm      |
| Septemberwert . . . . .                                | 115 cm     |
| Aus Staubhorizonten                                    |            |
| als Mittel aus 13 Jahren . . . . .                     | 108—123 cm |
| als Mittel aus 18 Jahren . . . . .                     | 100—111 cm |
| oder als wahrscheinlichsten Wert + 110 cm $\pm$ 10 cm. |            |



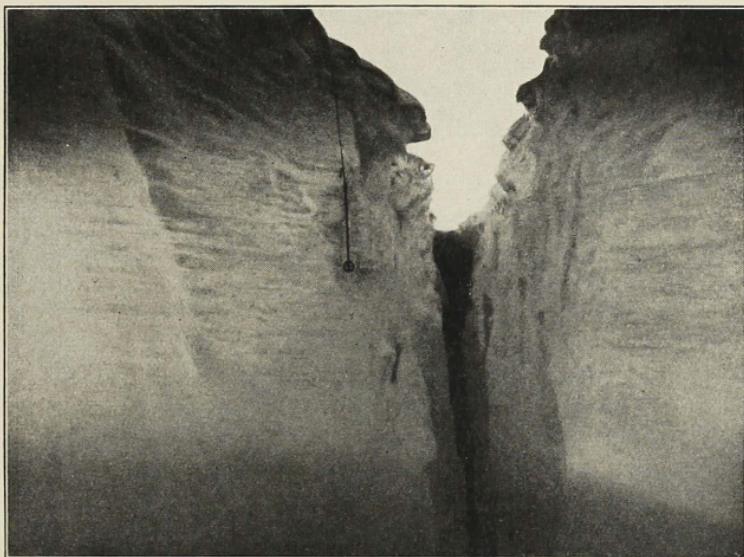
phot. K. Herdemerten.

Abb. 3. „Schichtung“ im Sprengschacht bei 62 km. Blick auf die gegenüberliegende Seite des Schachtes. Die Ungleichmäßigkeit der Schichtung (Eishorizonte) ist vielleicht Folge der unregelmäßigen Schneewehenbildung.

E. Sorge hat von den Staubhorizonten in dem Schacht in Eismitte nichts bemerkt, trotzdem seine Schichtzählung bis 1909 zurückreicht. Möglicherweise sind die Staubhorizonte bei 62 km Randabstand nur durch intensive Schnellzvorgänge zur Beobachtung gekommen und, da die Schmelzung in Eismitte nicht stattgefunden hat, blieb die Staubleage verdeckt.

<sup>1</sup> Der Zutrag bei 62 km ist im Vergleich zu den benachbarten östlich und westlich gelegenen Pegeln überraschend groß.

Über die Spalte bei 62 km seien einige ergänzende Bemerkungen gemacht. Die Spalte hat eine Erstreckung von über 2 km und eine Breite von etwa 8 m. Parallel zu dieser Spalte verlief eine ganze Reihe großer Spalten. Dieses Spaltengebiet liegt an dem Anstieg aus der in Band II, S. 97 erwähnten Mulde zur Schwelle von 65 bis 70 km. Die Tiefe der Spalte wurde von Herdemerten, Holzapfel und mir mit Hilfe eines an Gletscherseile gebundenen Eisbohrers, der als Senkblei diente, an zwei



phot. K. Herdemerten.

Abb. 4. Spalte bei 62 km. Aufnahme in der Spalte, links oben ein Skistock als Maßstab. Man sieht deutlich die „Schichtung“ im Firn.

verschiedenen Stellen zu 45 m bestimmt, d. h. tiefer vermochten wir den Bohrer nicht herabzubringen. De Quervain stellte auf seiner Durchquerung in 1660 m Seehöhe eine Spalte von etwa 40 m Breite fest. Für diese Spalte rechnet de Quervain mit großer Tiefe, da er noch in 20—30 m Tiefe Trümmer von Schneebrücken feststellte. Auch auf mehreren anderen Expeditionen wurden Spalten, die weit ins Innere reichen, festgestellt. Es handelt sich dabei um Großspalten, deren inneres Auftreten an eine verhältnismäßig eng begrenzte Höhlenlage gebunden zu sein scheint. Nach dem Innern zu scheinen jenseits dieser Grenze keine Spalten mehr aufzutreten. Jedenfalls wurden bisher jenseits von 1800 m Seehöhe keine Spalten angetroffen. Dabei sind Spalten im allgemeinen auf dem Inlandeis schon von weitem leicht kenntlich. Sind es Großspalten, so führen sie gewöhnlich auf der dem Winde abgekehrten Wand eine mehr oder weniger

hohe Wächte. Kleinere Spalten tragen recht oft auf beiden Spaltenseiten einen Reifwall. Auf der Hauptexpedition, auf der das Gebiet jenseits von 1800 m von zahlreichen Schlittenreisen zu verschiedenen Jahreszeiten befahren wurde, wurden keine Spalten angetroffen. Von der Seismikgruppe Weststation wurde, nachdem die Spalte bei 62 km gefunden war, bei unserer Fahrt nach 120 km und zurück nach Spalten gesucht, aber ohne Ergebnis.

Es folgt hier eine kleine Zusammenstellung nach den Angaben verschiedener Expeditionen über das Auftreten der inneren Spaltenzone:

| Expedition         | Breite und Länge |         | Seehöhe<br>m        | Abstand vom W.-<br>Rand des Eises<br>km | Breite der Spalte<br>m |
|--------------------|------------------|---------|---------------------|---|------------------------|
|                    | φ                | λ       |                     |   |                        |
| Fj. Nansen 1888 .  | 64° 15'          | +8° 45' | 1500—1600           | ~ 50                                    | „große Spalten“        |
| De Quervain 1909 . | 70° 50'          | +8° 10' | 1700                | ~ 80                                    | 10—20                  |
| De Quervain 1912 . | 69° 48'          | +8°     | { 1660<br>1750—1800 | { ~ 100<br>~ 120                        | { +0<br>2              |
| A. Wegener 1929 .  | 70° 10'          | +8° 30' | 1510—1710           | ~ 80                                    | 10                     |
| A. Wegener 1930/31 | 71° 8'           | +9°     | 1800                | ~ 62                                    | 8                      |

Weshalb Spalten jenseits dieser Höhenlage — wenigstens nach den bisherigen Feststellungen — nicht mehr auftreten, ist recht schwer zu sagen. Die Spalten bei 62 km sind, wie sowohl aus der Oberflächenform als auch aus den seismischen Untersuchungen hervorgeht, durch Untergrundstörungen zum mindesten mitbedingt. Untergrundstörungen treten aber, wie die Oberflächenform zeigt und wie wir bei 82 und 120 km feststellen konnten, auch jenseits dieser Zone auf. Wenn die Untergrundstörungen nach dem Innern zu schwächer werden, dann sollten Spalten, wenn auch kleinere, vorhanden und trotz des stärkeren Zutrages bemerkbar sein. Durch das Auftreten von Untergrundstörungen allein dürfte die Errscheinung, daß das innere Spaltengebiet verhältnismäßig scharf mit Großspalten abschließt, kaum zu erklären sein. Geschwindigkeitsmessungen, die wahrscheinlich eine Erklärung erlauben würden, liegen nicht vor und sind auch wohl sobald nicht durchzuführen. Abb. 1, 2, 4 zeigen einige Aufnahmen aus der Spalte bei 62 km. Die in der Photographie so auffällige Schichtung stellt keine ursprüngliche Schichtung dar. Es handelt sich um Schmelzhorizonte. Wie wir beim Graben von Sprengschächten feststellen konnten, treten zahlreiche auskeilende Schichten auf, die bei Schneetreiben gebildet sind. Die Schmelzhorizonte liegen horizontal und setzen durch die verschiedenen auskeilenden Schichten, die im Jungschnee noch zu erkennen waren, hindurch. Die Schmelz- und Tauhorizonte erwecken den Eindruck einer regelmäßigen ursprünglichen Schichtung. Auf der Vorexpedition wurde Ende Mai in 1950 m Seehöhe großtropfiger Regen bei Tauwetter festgestellt; dieser verhältnismäßig warme Regen vermag recht tief in den

Schnee, dessen obere Lagen bei Tauwetter eine Temperatur von 0° besitzen, einzudringen, aber höchstens bis zum nächsten zusammenhängenden kräftigen Eishorizont. Er vermag hierbei die ursprüngliche Struktur des Schnees so zu ändern, daß von einer ursprünglichen Jahresschichtung, wenn diese in diesen Gebieten überhaupt vorhanden ist, kaum etwas zu erkennen ist.

Für Literaturhinweise bin ich Herrn Professor Bogild, Kopenhagen, zu Dank verpflichtet.

Abgeschlossen 10. Februar 1934.

#### Schriftennachweis.

1. Th. Thorroddsen. Vulkanen Katla og dens sidste Udlbrud 1918. Geograf. Tidskrift. Bd. 25. København 1920.
2. K. Wölcken. Messungen der Ultrastrahlung. Wissenschaftl. Ergebnisse der Deutschen Grönlandexpd. Bd. I.
3. B. Brockamp und K. Wölcken. Die seismischen Ergebnisse auf der Hauptexped. zwischen Weststation und 120 km Randabstand. Ebenda. Bd. II.
4. B. Brockamp. Ergänzende Untersuchungen. Ebenda. Bd. II.
5. H. Mohn und F. Nansen. Wissenschaftl. Ergebn. von D. F. Nansens Durchquerung von Grönland. Petermanns Mittgl. Ergzgb. 105.
6. A. de Quervain et P. L. Mercanton. Résultats scientifiques de l'expedition suisse au Grænland 1912—1913. Meddelelser om Grönland. Bd. IX, København 1925.

---

---

# Glaziologische Untersuchungen in Eismitte.

Von Ernst Sorge.

## Einleitung.

In der Erforschung des grönlandischen Inlandeises haben zwei Wissenschaftler die größten Fortschritte erzielt: Der eine ist Fridtjof Nansen. Er bewies durch die erste Überschreitung des Inlandeises (1888), daß das Innere Südgrönlands vom Inlandeis lückenlos überdeckt wird. Der zweite ist Alfred Wegener. Er verwirklichte zum erstenmal den Gedanken, mitten im Inlandeise eine wissenschaftliche Station („Eismitte“) ein Jahr lang arbeiten zu lassen.

Diese Station wurde 1930 durch die Zusammenarbeit aller Expeditionsteilnehmer und unserer isländischen und grönlandischen Helfer in anstrengenden Transportreisen aufgebaut. Alfred Wegener hat den weiteren Verlauf der Expedition nicht mehr erlebt. Er hat den Plan ausgearbeitet, hat uns in die Fragen der Grönlandforschung eingeweiht und uns durch seine große Polarerfahrung ermöglicht, dort leben und wissenschaftlich arbeiten zu können.

Bei der Darstellung der Glaziologie von Eismitte stehen die Beobachtungen und gemessenen Tatsachen im Vordergrund. Schlüsse und Vergleiche mit anderen Stationen werden nur dann gezogen, wenn damit wesentlich neue Erkenntnisse verbunden sind. Abgesehen wird dagegen von einer umfassenden Darstellung des Inlandeises als Ganzheit. Denn dazu reichen die vorliegenden Ergebnisse aller Expeditionen nicht aus. Den vorhandenen Theorien wieder eine neue mehr oder weniger wahrscheinliche hinzuzufügen, kann nicht unsere Aufgabe sein. Gerade durch Alfred Wegeners Expeditionen sind nicht nur Fragen gelöst, sondern noch viel mehr neue aufgeworfen worden.

Von den ungelösten glaziologischen Fragen sollen einige wichtige wenigstens aufgezählt werden:

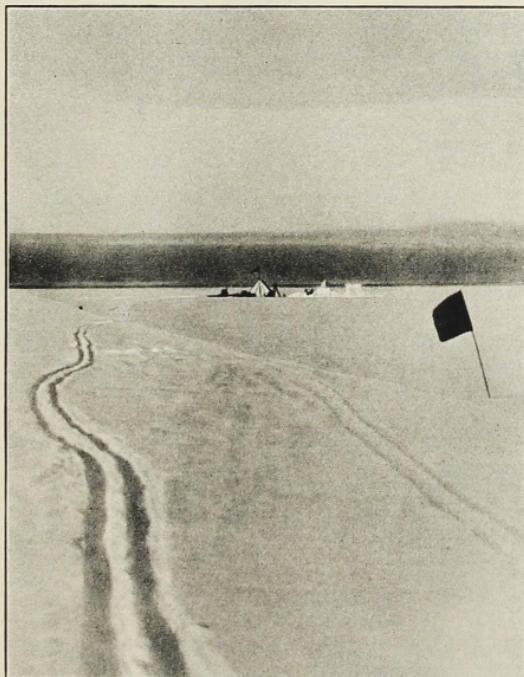
1. Unbekannt ist das Zentrum der Vereisung.
2. Unbekannt ist die Bewegung des Inlandeises im großen, sowohl die Richtung wie die Geschwindigkeit.

3. Unbekannt ist die Beschaffenheit des Inlandeises in der Tiefe.
4. Unbekannt ist die Beschaffenheit der Eisunterfläche. Auch wissen wir fast nichts über die Form dieser Fläche.
5. Unbekannt ist, ob die Masse des Inlandeises sich gegenwärtig vermindert, gleichbleibt oder vermehrt.
6. Wir kennen nicht die Wirkung des Schneefegens für den Auftrag und die Abtragung des Inlandeises, soweit nicht die Versuche der Expedition (s. I. Band) die Frage im Juli—August 1931 geklärt haben.

## I. Allgemeine Vorbemerkungen.

### 1. Lage von Eismitte.

Station Eismitte liegt in  $70^{\circ} 54'$  nördlicher Breite,  $40^{\circ} 42'$  westlicher Länge und 3000 m Meereshöhe, 500—650 km von den grönlandischen



phot. E. Sorge.

Abb. 1. Station Eismitte im Sommer 1930.

Außenküsten im Osten und Westen entfernt. Von Alfred Wegeners Weststation betrug die Entfernung 395 km, von Grönlands Nordspitze (Kap

Morris-Jesup in  $83^{\circ} 39' \text{ Nord}$ ) 1440 km, von Grönlands Südspitze (Kap Farvel in  $59^{\circ} 46' \text{ Nord}$ ) 1260 km. Die nächsten Ränder des Inlandeises im Osten und Westen sind 370 km, in der Längsrichtung der Insel rund 1100 km entfernt. Demnach trägt die Station den von Alfred Wegener vorgeschlagenen Namen Eismitte mit Recht. Der Name ist sogar überaus treffend gewählt. Die Station liegt auf einer unabsehbaren, nahezu ebenen Schneefläche, die kaum merklich nach Osten ansteigt. Das Inlandeis hat in Eismitte eine Dicke von annähernd 2000 m (s. Band II der „Wissenschaftlichen Ergebnisse“).

Das Inlandeis war auf der geographischen Breite von Eismitte vor Alfred Wegeners Expeditionen noch nicht erforscht worden. Die nächstbenachbarten Durchquerungen von J. P. Koch mit Alfred Wegener (1913) und von de Quervain (1912) führten 400 km bzw. 360 km an Eismitte vorbei. Die Durchquerung von Hoygaard und Mehren (1931) führte 165 km nördlich von Eismitte vorbei. Auf den Schlittenreisen zwischen Wegeners Weststation und Eismitte und auf den zahlreichen Abstechern nach Nord und Süd von diesem Hauptreisewege wurde stets eine lückenlose Inlandeisbedeckung wie bei allen früheren Durchquerungen angetroffen. Dies ist, abgesehen von den einzelnen wissenschaftlichen Ergebnissen, eine grundlegende geographische und glaziologische Tatsache, die mit den von Nansen entwickelten Anschauungen (Petermanns Mitteilungen, Ergänzungsheft 105) im Einklang steht.

Leider wurde es durch den unglücklichen Expeditionsverlauf unmöglich, die ursprünglich vorgesehene Westostdurchquerung auf der Breite von Eismitte auszuführen. Diese Durchquerung hätte wertvolle Aufschlüsse über die Form des Inlandeises in einem noch unbekannten und geologisch und geographisch höchst wichtigen Gebiet Grönlands bringen können und wird daher früher oder später gemacht werden müssen.

## 2. Die Besatzung von Eismitte.

Die Besatzung von Eismitte sollte ursprünglich aus drei Mann bestehen. Infolge der Transportschwierigkeiten wurde sie auf zwei (Georgi und Sorge) herabgesetzt. Im Verlauf von Alfred Wegeners letzter Hundeschlittenreise mußte Loewe wegen seiner Erfrierungen unprogrammäßig in Eismitte bleiben. Während der Überwinterung mußte er im Schlafsack liegen, konnte körperlich nichts arbeiten und kam daher auch nicht zu eigener wissenschaftlicher Tätigkeit. Im Frühjahr 1931 wurde er mit Propellerschlitten zur Weststation gebracht. Zur gleichen Zeit verließ Sorge die Station Eismitte, um Alfred Wegener zu suchen. Georgi blieb daher allein, bis die Propellerschlitten zum letztenmal nach Eismitte kamen. Die Besatzung von Eismitte war, nach der Zeit geordnet, folgende:

|       |                              |            |  |
|-------|------------------------------|------------|--|
| 1930. | 30. Juli bis 12. Sept.       | = 45 Tage: | Georgi   |
|       | 13. Sept. „ 29. Okt.         | = 47 „     | Georgi, Sorge  |
|       | 30. Okt. „ 9. Mai 1931 = 190 | „          | Georgi, Sorge, Loewe (krank)                               |
| 1931. | 10. Mai „ 23. Juli           | = 75 „     | Georgi   |
|       | 24. Juli „ 7. Aug.           | = 15 „     | Georgi, Kraus, Schif, Sorge,<br>Grönländer Jeremias Skade. |

### 3. Ausrüstung.

Die Ausrüstung der Station Eismitte war wohl das schwierigste Stück der ganzen Expedition. Alfred Wegener sagt darüber in seinem Programm: „Das schwierigste Problem in reisetechnischer Hinsicht ist die Hinschaffung der zentralen Firnstation mittels Schlitten. Es handelt sich darum, ein Gepäck von etwa 70000 kg von der Landungsstelle auf das Inlandeis hinauf bis zur Überwinterungsstelle der westlichen Randstation und weiter eine Nutzlast von etwa 10000 kg 400 km weit bis zur Mitte des Inlandeises (Seehöhe fast 3000 m) zu schaffen. Das sind Transporte, wie sie bisher in den Polargebieten noch niemals geleistet worden sind, und deren Schwierigkeiten zu unterschätzen ein verhängnisvoller Fehler wäre.“

Die Einzelheiten der Ausrüstung von Eismitte diktierte Alfred Wegener uns auf der Überfahrt im April 1930. Er hatte folgendes veranschlagt:

#### A. Brenner usw.

- |   |  |
|---|--|
| 1. Ein Primusherd für Petroleum.                    | Dazu Ersatzteile<br>und Reinigungs-<br>nadeln. |
| 2. Ein Primuskocher, zusammenlegbar, für Petroleum. |  |
| 3. Ein Primuskocher für Benzin.                     |  |
| 4. Ein Dapolofen für Petroleum.                     |  |
| 5. Ein Junkersofen für Petroleum.                   |  |

Tatsächlich ist nach Eismitte nur ein zusammenlegbarer Primuskocher, ein Benzinprimus und ein Dapolofen gekommen. Da wir während der Überwinterung in Eismitte kein Benzin hatten, wurde nur der Petroleumprimus gebraucht. Er hat sich ausgezeichnet bewährt.

#### B. Brennstoff.

Der Hauptanteil des Brennstoffs entfällt auf die Ofenheizung. Jeder der Öfen verbrauchte stündlich 0,2 kg Petroleum. Alfred Wegener machte zwei Voranschläge für die Heizung, bei denen einmal mit 15stündiger Brenndauer, das andere Mal mit 24stündiger Brenndauer eines Ofens gerechnet wurde. Dementsprechend ergab sich folgender Brennstoffverbrauch täglich:

|                 |                           |                           |
|-----------------|---------------------------|---------------------------|
| Ofen:           | 3,0kg Petroleum (15 Std.) | 4,8kg Petroleum (24 Std.) |
| Primus:         | 0,5 „ „                   | 0,5 „ „                   |
| Lampe:          | 0,8 „ „                   | 0,8 „ „                   |
| Tagesverbrauch: | 4,3kg Petroleum           |                           |
|                 | 6,1 kg Petroleum          |                           |

Da das geplante Winterhaus ein Fenster hatte, fällt im Sommer der Verbrauch für die Lampe fort. Dann bleibt ein Tagesverbrauch von 3,5 kg bzw. 5,3 kg Petroleum. Für die Dauer der Expedition ergibt sich ein Petroleumbedarf für Eismitte von 1650 kg bzw. 1900 kg netto. Das Petroleum war in Kannen von 40 Liter=32 kg netto=40 kg brutto enthalten. Daraus ergeben sich Gesamtbruttogewichte von 2060 kg bzw. 2375 kg. Tatsächlich sind nach Eismitte nur 11 Kannen Petroleum mit einem Bruttogewicht von 440 kg gekommen. Der tägliche Petroleumverbrauch mußte auf 1,3 Liter eingeschränkt werden.

### C. Proviant.

Als Einheit der Proviantberechnung diente eine Proviantkiste mit 55 kg Bruttogewicht und einem Inhalt von 45 kg Lebensmitteln netto. Pro Mann und Tag wurde mit einem Verbrauch von 1,5 kg Lebensmitteln gerechnet, so daß 1 Kiste gerade einen Monat reichte. Diese Proviantberechnung war reichlich. Notfalls konnte 1 Kiste auch einmal 1½ Monate reichen. Für die Besatzung von Eismitte lautete der Vorschlag folgendermaßen:

|       |                          |                              |
|-------|--------------------------|------------------------------|
| 1930. | 15. Juni bis 10. Sept.   | = 85 Tage: 1 Mann = 3 Kisten |
|       | 10. Sept. „ 10. Mai 1931 | = 240 „ 3 „ = 27 „           |
| 1931. | 10. Mai „ 5. Juli        | = 55 „ 3 „ = 6 „             |
|       | 5. Juli „ 1. Sept.       | = 55 „ 2 „ = 4 „             |
|       |                          | 40 Kisten,                   |

außerdem 2 Extrakisten mit je 50 kg Lebensmitteln netto für besondere Festtage als Abwechslung und 1 Kiste mit Alkohol, insgesamt also 43 Kisten Proviant. Davon waren für die eigentliche Überwinterung 33 Kisten mit einem Bruttogewicht von 1815 kg bestimmt.

Tatsächlich sind nach Eismitte für die Überwinterung 26 Proviantkisten gekommen, von denen am 1. November Alfred Wegener für die Rückreise 3 erhielt, so daß in Eismitte 23 Kisten blieben. Dazu kamen noch 15 kg Äpfel, 15 kg Apfelsinen und 30 kg Walfleisch. Alle Lebensmittel waren beständig gefroren und hielten sich dadurch vorzüglich, namentlich das frische Obst, das unser wertvollstes Antiscorbutikum darstellte. Dadurch, daß Loewe nach Eismitte kam, wurde die Ernährung zwar etwas knapp, so daß alle Mahlzeiten in Suppenform genossen wurden; sie reichte aber doch aus, um uns bei Kräften zu halten.

### D. Zelte usw.

Geplant war folgende Ausrüstung:

1. 1 Winterhaus von 5 m Länge und 3 m Breite nach Vorschlägen von Fridtjof Nansen („Arktis“ 1928, Heft 1/2) und Alfred Wegener („Im Eis vergraben“ von Johannes Georgi, München 1933; hier Alfred Wegeners Originalzeichnungen), aus 3 ineinanderhängenden Zelten bestehend, mit dem notwendigsten Stützwerk und der Einrichtung in Leichtbauweise, Gesamtgewicht 500 kg.
2. 2 Viermannszelte.
3. 1 Zweimannszelt.
4. 1 lichtdichtes Zelt für photographische Registrierungen der Eisdickenmessungen.
5. 1 Korbschlitten für Handschlittenreisen.

Das Winterhaus konnte mit Propellerschlitten leider nur 200 km weit auf das Inlandeis gebracht werden und fiel daher als Wohnung für die Besatzung von Eismitte fort. Statt dessen wohnte die Besatzung im Sommer 1930 in dem einzigen Viermannszelt, das nach Eismitte kam; im Winter im Firn unter der Schneoberfläche.

### E. Persönliche Ausrüstung (das Wichtigste).

Jeder Mann von Eismitte sollte folgendes haben:

1. 1 Renntierschlafsack mit Segeltuchbezug.
2. 1 Eiderdaunenschlafsack mit Gummibezug.
3. 1—2 Wolldecken aus Kamelhaar.
4. 1 Paar lappländische Schuhe.
5. 1 Paar grönländische Kamikker.
6. 1 Paar grönländische Überziehkamikker.
7. 1 Windjacke (Anorak) aus Hundefell.
8. 1 Hose aus Hundefell oder Seehundsfell.
9. 2 Paar doppelte Handschuhe aus Seehundsfell und Renntierfell.
10. 1 Skihose aus doppeltem dunkelblauem Kammgarn.
11. 1 europäische Windjacke.

Diese Ausrüstungsstücke waren in Eismitte vollzählig vorhanden.

### F. Wissenschaftliche Ausrüstung für Glaziologie.

Eine Ausrüstung für glaziologische Arbeiten war während der Überwinterung in Eismitte infolge der gescheiterten Schlittenreisen kaum vorhanden. Die Eisdickenmessungen konnten wegen fehlenden Sprengstoffs und anderen Zubehörs während der Überwinterung nicht ausgeführt werden. Das Bohrgerät lag auf der Strecke zwischen der Weststation und Eismitte für uns unerreichbar. Darum konnte in Eismitte keine Tiefbohrung gemacht werden. Die Grundlage für die später dar-

gestellten Messungen bildeten einige Thermometer, eine Marineuhr, Georgis photographischer Apparat, eine römische Laufwaage und ein 2-nl-Maßstab. Alles andere wurde mit dem vorhandenen Werkzeug behelfsmäßig aus Kistenbrettern, Blech, Konservenbüchsen, Draht, Bindfaden, Papier und Eis hergestellt. Bei den einzelnen Abschnitten werden die Meßvorrichtungen näher beschrieben.

Die Ausrüstungsgewichte werden bei jeder Polarexpedition eine besondere Rolle spielen. Darum sei im Zusammenhang mit den Ausrüstungsgewichten von Station Eismitte hier ein Vorschlag erwähnt, den H. U. Sverdrup in der Zeitschrift „Arktis“ 1928, Heft 1/2, für eine am Nordpol auf dem Treibeis überwinternde Station macht. Er nimmt für ein Jahr Aufenthalt für 5 Personen folgende Gewichte an:

|                                  |               |
|----------------------------------|---------------|
| Proviant . . . . .               | 3500 kg       |
| Haus . . . . .                   | 1500 ,,       |
| Brennstoff . . . . .             | 6000 ,,       |
| Wissenschaftliche Ausrüstung und |               |
| Funkstation . . . . .            | 4000 ,,       |
| Persönliche Ausrüstung . . . . . | 350 ,,        |
| Schlitten und Zelte . . . . .    | <u>400 ,,</u> |
|                                  | 15750 kg      |

ohne das Gewicht von Personen, Hunden und Hundefutter. Alfred Wegeners angenommenes Gesamtausrüstungsgewicht von 10000 kg für Eismitte mit einer Besatzung von 3 Mann stimmt mit H. U. Sverdrups Berechnungen sehr gut überein. Von diesen 10000 kg wurden dann wegen Transportschwierigkeiten im Verlauf der Expedition immer mehr abgestrichen, so daß Alfred Wegener zur Zeit, als die Propellerschlitten für die Fahrt nach Eismitte startbereit waren (29. August 1930), noch 5500 kg rechnete. Tatsächlich kamen nur 3300 kg hinein, da im Herbst 1930 weder Propellerschlitten noch Hundeschlitten in dem sandigen Schnee Last durchbringen konnten.

#### 4. Einrichtung der Station.

##### Lebensbedingungen im allgemeinen.

Die Transportreisen nach Eismitte sowie die Lebens- und Arbeitsbedingungen während der Überwinterung sind in den beiden Expeditionsberichten „Alfred Wegeners letzte Grönlandfahrt“ (herausgegeben von Else Wegener, Leipzig 1932; hierin Auszüge aus Alfred Wegeners Tagebüchern) und „Im Eis vergraben“ (von Johannes Georgi, München 1933; hierin Tagebuchauszüge der Besatzung von Station Eismitte) von den Teilnehmern selbst geschildert. Diese Darstellungen sind zum anschaulichen Verständnis der Voraussetzungen für die wissenschaftlichen Arbeiten in

Eismitte unentbehrlich. Hier kann nur kurz auf die Lebensbedingungen eingegangen werden, und zwar besonders insofern sie für die Glaziologie Bedeutung hatten.

Unsere Wohnung im Firn wurde nicht nach einem fertigen Plan gebaut, sondern entstand nach und nach, den wissenschaftlichen Zwecken entsprechend. Georgi baute während seines Alleinseins unterirdische Räume für das Quecksilberbarometer, das Füllen von Pilotballonen und das Entwickeln von Wasserstoffgas. Eine Treppe und ein unterirdischer Gang im Firn führte zu diesen Räumen hin. Sorge verlängerte den Firngang bis auf 5 m und schnitt in einem seitlichen Abzweig einen unterirdischen



phot. E. Sorge.

Abb. 2. Eismitte. Wohnraum. Dr. Georgis Schlafstelle, Stützpfeiler aus Firnböcken.

Raum zur Aufstellung der Apparate für die Eisdickenmessung aus. Dafür waren 10 halbe Tagewerke (20.—29. September) erforderlich. Da die Eisdickenmessungen wegen fehlenden Sprengstoffs auf 1931 verschoben werden mußten, wurde dieser Apparateraum als Winterwohnung ausersehen. Er war 5 m lang, 2,50 m breit und 2 m hoch. Die Firndecke war anfangs 1,65 m, am Ende der Überwinterung durch eine darauf liegende Schneewehe 3,80 m dick. Der Eingang in den Wohnraum wurde durch eine Falltür aus Rentierfellen und Kistenbrettern abgeschlossen. Für die Aufbewahrung von Instrumenten, Gepäck, Kleidung und Lebensmitteln und als Notwohnung schnitt Georgi einen rechteckigen Vorratsraum von

2,50 m Länge und 2,25 m Breite aus, den sogenannten Frachtraum (Arbeitszeit vom 13. bis 21. Oktober). Das beste Werkzeug zum Herausschneiden von Firnblöcken war eine Fuchsschwanzsäge, außerdem ein Schneemesser und ein Pionierspaten.

Die unterirdischen Räume der Station Eismitte sind auf Seite 71 im Grundriß und in zwei Schnitten dargestellt. Die Abmessungen, die mit



phot. E. Sorge.

Abb. 3. Durchblick vom „Frachtraum“ in den Wohnraum. Rechts der stillgelegte Petroleumofen. Die Tür des Wohnraums ist geöffnet.

Hilfe des Maßstabes den Zeichnungen entnommen werden können, sind von Sorge in Eismitte bestimmt worden.

Als in unserem Schlafzelt die Temperatur bis zum Gefrierpunkt des Quecksilbers gesunken war, übersiedelten wir in den Firnraum (5. Oktober) und fühlten uns hier vor Kälteinbrüchen und Schneestürmen sicher. Zur Erwärmung diente anfangs ein Dapolofen, der aber wegen Brennstoffmangel vom 29. Oktober an nur noch 6 Stunden täglich brennen durfte, im November nur während Loewes Zehenamputation brannte und am 27. November für immer stillgelegt wurde. In der ersten Zeit unseres

Aufenthalts im Wohnraum stieg die Temperatur oft über  $0^{\circ}$  C, so daß die Firnwände allmählich vereisten und die Decke sogar zu tropfen begann. Nach dem Stilllegen des Ofens wurde der Wohnraum nur durch den Primuskocher während der Bereitung der Mahlzeiten und durch zwei Petroleumlampen erwärmt, die Georgi aus Konservenbüchsen, Kistenblech und Glasplatten mit großem Geschick gebaut hatte. Diese Erwärmung genügte aber nicht, um Temperaturen zu erzeugen, bei denen für

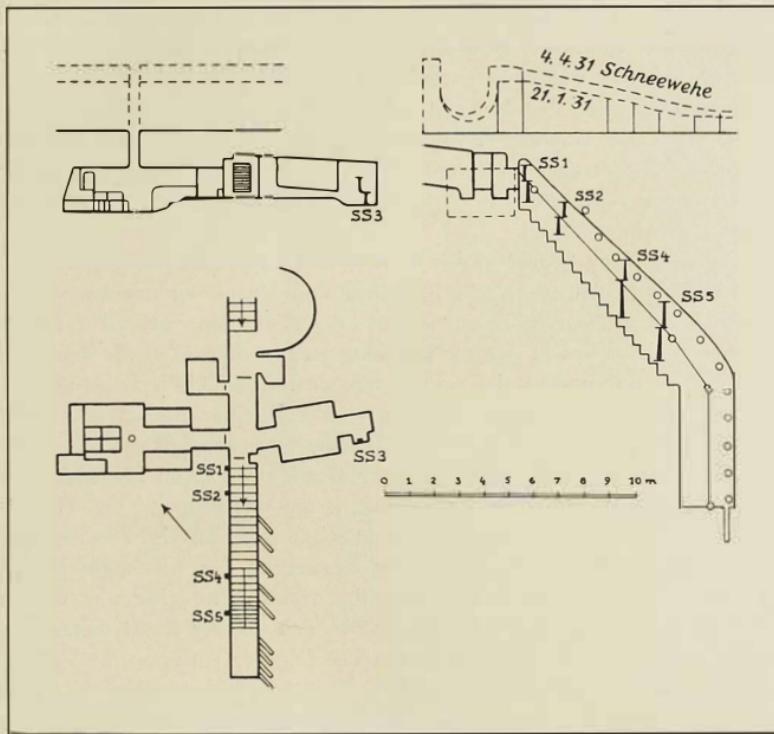


Abb. 4. Die unterirdischen Räume von Eismitte. (Siehe Bd. I, S. 40.)

gewöhnlich Menschen auf Polarexpeditionen wohnen und wissenschaftlich arbeiten. Wir schliefen auf Kojen aus Firn, die beim Herausschneiden des Wohnraums gleich stehengelassen worden waren. Auf den Firn wurde eine Lage Kistenbretter gelegt, darüber eine Lage Holzwolle, dann ein Renttierfell und darauf der Schlafsack.

Die Bekleidung für Hände und Füße und die Ausrüstung mit Schlafsäcken war unter den harten Daseinsbedingungen zu knapp, zumal Loewes Pelzschlafsack auf seiner letzten Schlittenreise gänzlich zerrissen und vereist war, so daß er im Winter nicht verwendet werden konnte.

Die Pelzsachen wurden durch starke Beanspruchung beim Graben und dauernden Wechsel von Gefrieren und Auftauen bald brüchig und faul und scheuerten sich an vielen Stellen durch, so daß wir jeden Tag 1—2 Stunden mit dem Ausbessern der Kleidung zu tun hatten. Die einzige Fußbekleidung, die die Füße im Freien wirklich warm hielt, waren die über-einandergezogenen grönlandischen Kamikker und Überziehkamikker, und auch das nur in trockenem Zustand. Durch die Feuchtigkeit des Körpers oder hineingewehnten Treibschnee vereisten sie aber im Laufe einiger Tage und dann hatten wir nichts zum Wechseln. Im Schlafsack sitzend wendeten wir die Kamikker, enteisten und trockneten sie über dem Primuskocher. Auch dies war eine zeitraubende Arbeit.

Beim Zubereiten der Mahlzeiten teilten sich Georgi und Sorge in die Arbeit. Nach der Amputation von Loewes Zehen mußten Loewes Wunden regelmäßig nachgesehen und verbunden werden, zuerst jeden Tag, später jeden zweiten Tag, zuletzt noch seltener. Diese Arbeit hielt während der ganzen Überwinterung an.

Für zwei Mann bedeutete das regelmäßige Sachenflicken, Essenkochen und Krankenpflegen eine starke Belastung und Ablenkung von den wissenschaftlichen Arbeiten. Außerdem war es unmöglich, den ganzen Tag außerhalb des Schlafsackes in unserer Kleidung zu verbringen, da die Temperaturen im Wohnraum zu tief waren, auf dem Arbeitstisch zwischen  $-5^{\circ}$  und  $-10^{\circ}$  C, am Fußboden  $-15^{\circ}$  bis  $-20^{\circ}$  C. Beim Arbeiten am Tische wurden alsbald die Füße kalt. Um Wärme zu sparen, lagen wir daher auch am Tage mehrere Stunden im Schlafsack oder saßen im Schlafsack am Tisch. Es war die einzige Möglichkeit, um uns während des Winters bei Kräften und arbeitsfähig zu erhalten, ohne dabei zu viel Proviant und Brennstoff zu verbrauchen. Bei einer Bewertung der wissenschaftlichen Arbeiten von Eismitte ist zu berücksichtigen, daß es unsicher war, ob wir den Winter überleben würden. Der größte Teil unserer Kraft diente dem Kampf ums Leben. Treffend drückt solche Lage de Quervain im Vorwort seiner „Ergebnisse der schweizerischen Grönlandexpedition 1912/13“ (1920 erschienen) aus, wo er sagt: „Nur darf für die Beurteilung der Ergebnisse, welche die folgende Darstellung enthält, vielleicht daran erinnert werden, daß unsere Gedanken und Kräfte stets geteilt werden mußten zwischen der einen Aufgabe, Beobachtungen zu machen, und der anderen schließlich ebenso wichtigen, sie zurückzubringen.“

Die wissenschaftliche Arbeitsteilung in Eismitte war sehr zweckmäßig. Die Schneeoberfläche bildete die Grenze zwischen den beiden wissenschaftlichen Gebieten von Georgi und Sorge. Alles, was darüber lag (Meteorologie, Aerologie, Strahlungsmessungen) fiel in Georgis Bereich; alles, was darunter lag, gehörte zu Sorges Aufgaben (Glaziologie). Auf diese Weise war eine scharfe natürliche Grenze gezogen und dadurch von vornherein die Möglichkeit von Gebietsstreitigkeiten ausgeschaltet. Im

Gegenteil: Bei dieser klaren Aufgabenteilung hatte jeder das angenehme Gefühl, daß die Arbeiten des einen die des anderen in schönster Weise ergänzten und dem großen gemeinsamen Ziel dienten, das Inlandeis und sein Klima zu erforschen. Dementsprechend halfen wir uns gegenseitig bei jeder Gelegenheit. Diese Kameradschaft war es, die uns in Wahrheit den festen Glauben an das Gelingen der Überwinterung gab.

### 5. Der Schachtbau.

Sorges Hauptarbeit während der Überwinterung bestand entsprechend Alfred Wegeners Programm im Bau eines Schachts und in der Messung

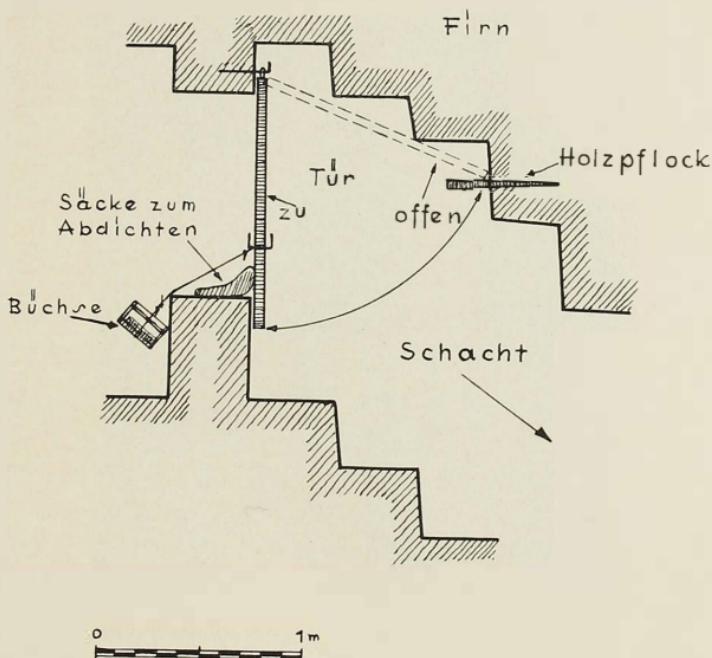


Abb. 5. Der Schachtverschluß.

der Firndichten und Firntemperaturen. Georgi hatte täglich so lange mit seinen Beobachtungen und Instrumenten zu tun, daß er unmöglich daneben noch eine Hauptarbeit machen konnte. So wurde der Schacht von Sorge allein gebaut. Die vorhandenen Hilfsmittel erlaubten es nicht, den Schacht senkrecht nach unten zu führen. Er wurde daher als Treppe mit einer Neigung von  $40^\circ$  bis  $60^\circ$  bis zu 11 m Tiefe gebaut. Nur die untersten 4 m waren senkrecht.

Der Schacht bildete die Verlängerung des unterirdischen Hauptganges und wurde von ihm durch eine hölzerne Klapptür abgeschlossen. Der Einbau dieser Tür dauerte mehrere Tage. Mit Hilfe von Firnblöcken und einem Brei aus Schnee und Wasser, der als Mörtel diente, wurde der Gang an einer Stelle verengt und durch eine  $1/2$  m hohe Schwelle unterbrochen. Mit Wasser eingeeiste Bretter bildeten den Türrahmen. Die Tür selbst



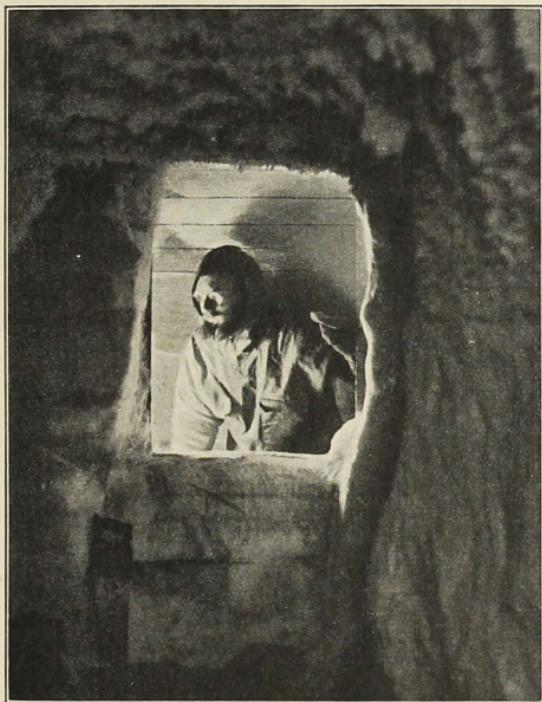
phot. E. Sorge.

Abb. 6. Der Schachteingang. Holztür, Verschlußgewicht, Säge, Spaten, Rohrstange, Schachtlampe.

wurde aus Kistenbrettern genagelt und an zwei Holzpflocken an der Firndecke angehängt. Durch das Gewicht einer Corned-beef-Büchse wurde die Tür gegen den Rahmen und die Schwelle gedrückt (s. Abb. 5). Säcke dichteten die Ritzen ab, so daß ein Luftaustausch zwischen Schacht und Gang verhindert oder doch sehr eingeschränkt wurde. Diese Tür wurde am 19. November fertiggestellt, so daß erst seit diesem Zeitpunkt der Schacht von der Außenluft abgeschlossen war. In Schneesturmzeiten allerdings wurde die Luft aus dem Schacht mit solcher Gewalt durch den

Gang zur Oberfläche gesogen, daß ein Wind durch die Türritzen wehte. Näheres wird darüber im Abschnitt über „Luftbewegung im Firn“ (S. 82) gesagt.

Als Beleuchtung während der Arbeiten und Messungen im Schacht diente eine ganz einfache, selbstgefertigte Petroleumlampe aus Kistenblech und Konservenbüchsen. Dabei konnte die Flamme dadurch größer oder



phot. E. Sarge.

Abb. 7. Schachttür geöffnet; der Schacht ist von innen beleuchtet.

kleiner gestellt werden, daß der Docht durch eine verschiebbare Blechhülse weniger oder mehr umhüllt wurde. Die Lampe war auf einem zugespitzten Brett befestigt, das an verschiedenen Stellen in passende Löcher in den Schachtwänden hineingesteckt werden konnte.

Bis 8 m Tiefe wurde der Schacht mit einer Fuchsschwanzsäge ausgeschnitten, die beim Firnschneiden dem Schneemesser bei weitem überlegen war. Das Schneemesser ist höchstens in den obersten Schichten bis 3 m Tiefe brauchbar. Die ausgesägten Firnblöcke wurden die Schacht-

treppe hinaufgeworfen, am besten gleich in einem großen Schwung durch die während der Arbeit geöffnete Schachttür bis in den Firngang. Nachdem sich dort genug angesammelt hatten, wurden sie den Gang entlang getragen und die obere Treppe hinaufgeworfen bis ins Freie, wo Georgi sie zum Bau des Beobachtungsturmes verwandte.

In größeren Tiefen ließ sich der Firn nur noch mit einem Beil in Stücke schlagen. Diese wurden mit einem Pionierspaten in einen Zeltsack



phot. E. Sorge.

Abb. 8. Schachtarbeit im senkrechten Teil des Schachts.

Aufnahme senkrecht nach unten.

geschaufelt und hochgetragen. Nach diesem Verfahren ging die Arbeit natürlich viel langsamer. Einige kurze Auszüge aus Sorges Tagebuch sollen die Arbeitsverhältnisse im Schacht erläutern:

16. 9. 30. — „Vormittags grabe ich in dem Firngang 2 m vorwärts. Die Grabarbeit ist sehr angenehm. Man arbeitet so schnell, daß man gerade angenehm warm ist. Das Herauftragen der großen Firnblöcke strengt an. Die dünne Luft ist fühlbar. Man kommt schneller außer Atem als in Meereshöhe.“

20. 11. 30. — „Ich vertiefe den Schacht bis 4 m und trage die Firnblöcke ins Freie, um zu sehen, wie sie sich am besten durch die drei Türen (hölzerne Schachttür, Gummivorhang im Gang, Sackvorhang am äußeren Eingang) bringen lassen. Alles muß bei künstlichem Licht gemacht werden, da es nur noch mittags dämmert.“

22. 11. 30. — „Ich grabe vor- und nachmittags im Schacht, im ganzen 7 Stunden, und komme damit auf 5,50 m Tiefe, so daß ich im Bohrloch zum erstenmal ein Thermometer bis 6 m hinablassen kann. Solche Arbeit macht Freude. Noch ist der Firn kaum härter als in

höheren Schichten geworden. Die Säge geht glatt hindurch. Die hölzerne Schachttür bewahrt sich sehr gut. Um mit der offenen Petroleumlampe die Luft im Schacht nicht zu sehr zu erwärmen, hänge ich über die Flamme eine leere Corned-beef-Büchse voll Firn auf. So wird die Wärme zum Schmelzen verbraucht und wir haben außerdem etwas Schmelzwasser.“

25. 11. 30. — „Die Kapuze an meiner Segeltuchwindjacke reißt entzwei. Ich habe leider nur eine solche Windjacke und brauche sie unbedingt zum Schachtgraben. Die Hundfelljacke ist bei schwerer körperlicher Arbeit zu warm. Wir flicken alles mit Beuteln von unseren Proviantkisten oder mit Leukoplast. Bald wird unsere Kleidung aus Beuteln bestehen.“

2. 12. 30. — „Nachmittags Schachtarbeit. Der Firn wird zwischen 6 und 7 m Tiefe auffallend hart. Erläßt sich mit Messer und Säge kaum noch anstechen, so daß Gefahr des Abbrechens der Säge oder des Messers besteht. Daher stoße ich mit dem Pionierspaten Scherben (muscheliger Bruch) von Firn los, fülle sie in einen Zeltsack und trage sie ins Freie (6 Sack voll = 120 kg Firn). Ich komme so bis 6,60 m Tiefe.“

18. 1. 31. — „In 8,13 m bis 8,48 m Tiefe kann man weder mit Spaten noch mit Säge die Firnschichten bearbeiten, d. h. in Scherben zertrümmern, daher geht die Schachtarbeit schwer und langsam.“

21. 1. 31. — „Schachtgraben bis 9 m Tiefe. Die sehr harte Schicht ist durchstoßen. Darunter folgt wieder eine weichere Schicht.“

7. 2. 31. — „Vormittags Firnblöcke aus dem Gang ins Freie geworfen. Nachmittags in 6ständiger schwerer Hau- und Sägearbeit von 9,40 m bis 10 m Tiefe Schacht gegraben. Aus dem Pionierspaten sind durch die starke Beanspruchung 2 Nieten herausgesprungen.“

8. 2. 31. — „Von 17<sup>00</sup> bis 20<sup>00</sup> verbreitere ich unten in 10 m Tiefe den Schacht, säge 2 Blöcke für Dichtemessungen aus und bohre das Loch für das Thermometer in 10 m Tiefe. Mit Aufbietung aller Kräfte komme ich durch viele Stöße mit dem Messingrohr der Bohrbambusstange (Skistock) nur 40 cm tief in die Wand (Schräg abwärts). Dann setze ich Thermometer 9 ins Loch und verschließe die Öffnung mit Sackleinwand und Blechbüchse.“

27. 2. 31. — „Im Laufe des Februar habe ich die Schachtstufen in der Breite halbiert, so daß die Treppe jetzt viel steiler geht.“ (Siehe Abb. 9.)

28. 2. 31. — „Nachmittags Schachtgraben bis 10,80 m und Einsetzen von Thermometer 1. Bei 11 m Tiefe der Firn so hart, daß die Messingkrone der Bohrstange verbaut wurde, als ich das Loch für das Thermometer mache. Ich nehme mir vor, noch tiefer, bis 15 m Tiefe zu graben. Es ist eine wüste Arbeit. Heute habe ich mit der Axt Scherben gehauen und 4 Sack voll hinaufgetragen. Der Firn ist ähnlich spröde wie Eis. Er springt mit muscheligem Bruch in Scherben, wenn man mit der Schneide der Axt haut, die Spitze der Axt dagegen klemmt sich beim Einhauen noch fest. Der Firn weicht also noch etwas aus. An den Schlagflächen ist der Firn blank poliert wie ein Spiegel, besser gesagt, wie eine Wagenspur im Schnee. Die Körner werden also größtenteils zu Staub zermalen und weichen nur wenig aus.“

25. 3. 31. — „Nachmittags Schachtgraben. 5 Säcke voll Firn hinausgetragen. 4 Firndichten (11,73 m bis 12,25 m Tiefe) gemessen. So schwer und anstrengend auch das Heraushauen der Firnbrocken und das Hinauftragen (nunmehr 15 m hoch wegen des Schneeauftrags und der großen Schneewehe oben am Eingang) der Säcke ist, noch viel zeitraubender ist das Heraushauen und Herausschneiden der Firnblöcke für die Dichtemessung und das genaue Zuschneiden der äußerst harten Blöcke. Heute dauerten die Dichtemessungen bis 22<sup>30</sup>.“

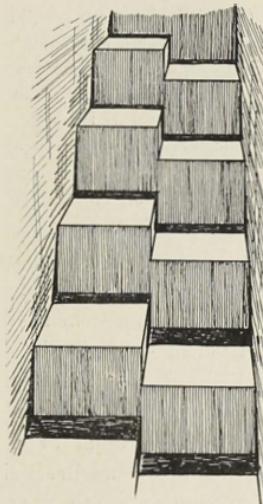


Abb. 9. Schachttrappe mit halbierten Stufen.

26. 3. 31. — „Nachmittags Schacht graben. Ich gehe von nun an (11,50 m Tiefe) senkrecht hinab, haue Stufen in die Seitenwand (zum Hinunterklettern) und schneide die Meßblöcke für die Firndichtemessungen vom Schachtboden statt wie bisher aus der schrägen Wand.“

21. 4. 31. — „Morgens Handschuhe geflickt. Den ganzen Tag Schachtgraben bis 15 m. 8 Säcke mit je 20—25 kg (gewogen!) Firn hinaufgetragen. Die Arbeit strengt außerordentlich an. Firnblock 1391—1426 cm zur Dichtemessung ausgeschnitten. Mittags den am Griff gespaltenen Pionierspaten mit Bindfaden umwickelt und mit Leukoplast geklebt. Allmählich geht alles entzwei. An den Ellenbogen ist meine Windjacke und mein „Isländer“ (eine Strickjacke aus grober Schafwolle) durch das viele Anstoßen und Scheuern an den scharfen Firnkörnern der Schachtwand zerrissen. Die Handschuhe aus Segelleinwand und auch die aus Seehundsleder sind Fetzen. Aber nun muß ja bald die erste Schlittenreise kommen.“

26. 4. 31. — „Der alte Bohrer (Skistock mit aufgesetztem Messingrohr vom Eisdickenregistrierapparat) ist durch das Bohren der Thermometerlöcher abgenutzt. 14 cm Messingrohr sind nach und nach zersplittet.“

Nach den Tagebuchaufzeichnungen mag der Fortschritt beim Schachtbau vielleicht langsam erscheinen. Wenn es sich nur darum gehandelt hätte, möglichst tief zu kommen, so wäre es einem Mann wohl möglich gewesen, in 6 Monaten bis in 30 m Tiefe vorzudringen. Zu bedenken ist aber — ganz abgesehen von den täglichen handwerklichen und häuslichen Arbeiten —, daß die eigentliche Hau- und Fördertätigkeit nur den kleinsten Teil der Arbeit und nur die Grundlage für die wissenschaftlichen Messungen darstellte. Schwierig war das fortgesetzte Auffinden der Jahreschichten, zumal es sich dabei um eine zum erstenmal beobachtete Erscheinung handelte. Zeitraubend waren die sehr wichtigen genauen Dichtemessungen durch das ganze Schachtprofil hindurch. Rund 300 Arbeitsstunden entfielen allein auf diese Tätigkeit. Dazu kamen die regelmäßigen Untersuchungen der Firnkorngrößen, das Bohren der Thermometerlöcher im Schacht, die Ablesungen der Firntemperaturen und Messungen der Firnschrumpfung, wobei Apparate für diesen Zweck erst erdacht und gebaut werden mußten (siehe die betreffenden Abschnitte).

## 6. Temperaturen des Wohnraums und in den Firnwänden.

Die Temperaturen unseres Wohnraums und des Firs in der Nähe des Wohnraums wurden längere Zeit regelmäßig gemessen, weil wir bei Zeiten wissen mußten, wie weit wir mit unserem geringen Petroleumverbrauch die Winterkälte bekämpfen konnten. 2 m unter der Schneeoberfläche, also 40 cm unter der Decke des Wohnraums, wurden mit einem Skistock horizontale Löcher verschiedener Länge in die Firnwand des Wohnraums gebohrt und Thermometer bis zu den hinteren Enden geschoben. Die Löcher wurden mit Holzwolle, Ölspapier und Sackleinwand gut verschlossen. In der Zeit zwischen den Ablesungen blieben die Thermometer in ihren Löchern und hatten daher Zeit, sich einzustellen. Die Wohnraumtemperatur wurde über Sorges Koje nahe am Tisch, 90 cm unter der Decke, gemessen. Alle Temperaturnessungen begannen am

7. Oktober 1930 und wurden bis zum 8. Januar 1931 fortgesetzt. Später wurden nur gelegentlich Temperaturen im Wohnraum gemessen. Die Ergebnisse der Temperaturmessungen sind in der Zahlenübersicht auf Seite 79 zusammengestellt. Die Berichtigungen der Thermometerstände sind bei allen Temperaturen schon angebracht.

### Temperaturen im Wohnraum und in den Firnwänden des Wohnraums.

Alle Temperaturen sind negativ.

| Zeit     |       | Firntemperatur<br>40 cm unter der<br>Zimmerdecke |       |        | Brennzeiten                           |                                       | Beobach-<br>ter kalter<br>Wind<br>aus dem<br>Firn |
|----------|-------|--|-------|--------|---------------------------------------|---------------------------------------|---|
|          |       | Wandtiefe<br>10 cm                               | 50 cm | 100 cm | des<br>Petroleum-<br>kochers          | des<br>Dapolofens                     |   |
| 7. Okt.  | 20.00 | 16,0   | —     | —      |                                       |                                       | —   |
| 13. „    | 20.15 | —  | —     | 17,4   |                                       |                                       | —   |
| 14. „    | 9.50  | —  | —     | 17,3   |                                       |                                       | —   |
| 15. „    | 11.00 | —  | —     | 17,6   |                                       |                                       | —   |
| 16. „    | 11.50 | —  | —     | 18,5   |                                       |                                       | K.W.  |
| 17. „    | 12.00 | —  | —     | 17,1   |                                       |                                       | —   |
| 18. „    | 12.00 | —  | —     | 17,1   |                                       |                                       | —   |
| 19. „    | 10.30 | —  | —     | 16,5   |                                       |                                       | —   |
| 20. „    | 10.30 | —  | —     | 16,7   | Zeiten<br>wurden<br>nicht<br>gemessen | Zeiten<br>wurden<br>nicht<br>gemessen | K.W.  |
| 21. „    | 11.00 | —  | —     | 16,8   |                                       |                                       | —   |
| 22. „    | 12.00 | —  | —     | 16,2   |                                       |                                       | —   |
| 23. „    | 12.00 | —  | —     | 16,3   |                                       |                                       | —   |
| 24. „    | 11.20 | —  | —     | 15,7   |                                       |                                       | —   |
| 25. „    | 12.00 | —  | —     | 15,8   |                                       |                                       | —   |
| 26. „    | 12.00 | —  | —     | 15,8   |                                       |                                       | —   |
| 27. „    | 12.00 | —  | —     | 15,4   |                                       |                                       | —   |
| 28. „    | 12.00 | —  | —     | 15,6   |                                       |                                       | —   |
| 29. „    | 12.00 | —  | —     | 15,4   |                                       |                                       | —   |
| 31. „    | 13.00 | —  | —     | 15,1   |                                       |                                       | —   |
| 3. Nov.  | 12.00 | —  | —     | 14,4   |                                       |                                       | —   |
| 5. „     | 13.00 | —  | —     | 14,2   |                                       |                                       | —   |
| 7. „     | 13.00 | —  | —     | 14,1   |                                       |                                       | —   |
| 9. Nov.  | 8.00  | 7,3  | —     | —      |                                       |                                       |   |
|          | 14.00 | 6,8  | —     | 14,2   | 8.00—10.00                            |                                       |   |
|          | 16.00 | 6,8  | —     | —      | 13.00—15.00                           | 17.00—21.00                           | —   |
|          | 20.00 | 5,5  | —     | —      | 17.00—20.00                           |                                       |   |
|          | 22.00 | 4,8  | —     | —      |                                       |                                       |   |
| 10. Nov. | 9.50  | 6,5  | —     | —      |                                       |                                       |   |
|          | 13.00 | 4,8  | —     | —      |                                       |                                       | 9.30—14.00  |
|          | 14.45 | 4,3  | —     | —      | 8.00—9.30                             |                                       | —   |
|          | 18.00 | 4,6  | —     | —      | 12.30—14.00                           | 20.30—21.00                           | —   |
|          | 19.00 | 4,7  | —     | —      | 19.30—20.20                           | (I. Operation<br>von Löwes<br>Zehen)  |   |
|          | 20.20 | Lufttemp.<br>am Bod. 14,3<br>a.d. Decke 0,0      | 4,6   | —      |                                       |                                       |   |
|          | 21.00 |  | 4,5   | —      |                                       |                                       |   |

Temperaturen im Wohnraum und in den Firnwänden des Wohnraums.  
(Fortsetzung.)

Alle Temperaturen sind negativ.

| Zeit     | Lufttemperatur<br>90 cm<br>unter der<br>Zimmerdecke | Firntemperatur<br>40 cm unter der<br>Zimmerdecke |       |        | Brennzeiten                  |                            | Beobachter<br>ter kalter<br>Wind<br>aus dem<br>Firn |
|----------|---|--|-------|--------|------------------------------|----------------------------|---|
|          |   | Wandtiefe<br>10 cm                               | 50 cm | 100 cm | des<br>Petroleum-<br>kochers | des<br>Dapolofens          |   |
| 11. Nov. | 8.30  | —  | 6,5   | —      | —                            |                            |   |
|          | 13.00   | —  | 6,3   | —      | 14,1                         | 8.00—9.30                  |   |
|          | 15.00   | —  | 5,2   | —      | —                            | 13.30—14.30                | 15.30—16.00<br>(Loewe verbunden)                    |
|          | 16.00   | —  | 5,8   | —      | —                            | 17.00—20.00                |   |
|          | 17.00   | —  | 5,7   | —      | —                            |                            |   |
|          | 21.30   | —  | 5,1   | —      | —                            |                            |   |
| 12. Nov. | 9.00  | —  | 6,6   | —      | —                            |                            |   |
|          | 10.00   | —  | 6,7   | —      | —                            |                            |   |
|          | 12.30   | —  | 6,6   | —      | —                            | 8.00—10.00                 |   |
|          | 14.00   | —  | 5,1   | —      | 14,5                         | 13.00—14.50                | kein Ofen<br>K.W.                                   |
|          | 14.30   | —  | 4,3   | —      | —                            | 17.30—19.30                |   |
|          | 21.00   | —  | 5,5   | —      | —                            |                            |   |
|          | 24.00   | 6,5  | 5,8   | —      | —                            |                            |   |
| 13. Nov. | 7.30  | 7,3  | 7,1   | —      | —                            | 7.45—9.45                  |   |
|          | 12.30   | —  | 5,1   | —      | 14,6                         | 12.30—15.00                | kein Ofen<br>—                                      |
|          | 17.50   | 9,5  | 7,0   | 11,3   | 14,3                         | 19.00—21.00                |   |
|          | 21.15   | 7,6  | 6,7   | 11,0   | —                            |                            |   |
| 14. Nov. | 7.30  | 9,6  | 8,6   | 11,2   | 14,2                         | 8.00—10.00                 |   |
|          | 13.00   | 7,7  | 7,7   | 11,3   | 14,2                         | 13.00—14.30                | kein Ofen<br>—                                      |
|          | 16.00   | 7,0  | 6,7   | 10,9   | —                            | 19.00—21.00                |   |
|          | 21.00   | 6,4  | 6,35  | 11,0   | —                            |                            |   |
| 15. Nov. | 7.30  | 9,2  | 8,4   | 10,0   | —                            | 7.45—9.45                  |   |
|          | 13.00   | 10,0   | 7,7   | 10,1   | 14,1                         | 13.00—15.30                | 14.30—17.00<br>(Loewes 2. Operation)                |
|          | 17.00   | 3,05   | 5,8   | 11,0   | —                            | 17.00—18.30                |   |
|          | 18.30   | 4,9  | 5,3   | —      | —                            | 20.00—21.15                |   |
|          | 22.00   | 7,0  | 5,4   | 10,8   | —                            |                            |   |
| 16. Nov. | 7.30  | 9,6  | 8,2   | 10,4   | —                            | 8.00—10.30                 |   |
|          | 10.00   | 6,9  | 7,7   | 9,8    | 14,0                         | 13.00—15.00<br>20.00—21.00 | kein Ofen<br>—                                      |
| 17. Nov. | 8.10  | —  | 8,6   | 11,1   | —                            |                            |   |
|          | 13.00   | 8,5  | 8,5   | 11,6   | 15,7                         | 8.00—9.00                  |   |
|          | 16.00   | 8,6  | 8,3   | 11,8   | —                            | 13.00—16.00                | kein Ofen<br>K.W.                                   |
|          | 19.30   | 8,35   | 8,35  | 12,1   | 15,9                         | 19.30—21.20                |   |
|          | 21.45   | 5,8  | 7,6   | 12,2   | —                            |                            |   |
| 18. Nov. | 7.30  | 9,2  | 8,9   | 11,6   | —                            | 8.00—8.45                  |   |
|          | 13.00   | 8,0  | 8,7   | 12,1   | 16,2                         | 13.00—14.30                | kein Ofen<br>—                                      |
|          | 21.00   | 4,9  | 6,9   | 12,15  | 16,1                         | 16.15—21.00                |   |

Temperaturen im Wohnraum und in den Firnwänden des Wohnraums.  
(Fortsetzung.)

Alle Temperaturen sind negativ.

| Zeit     | Lufttemperatur<br>90 cm<br>unter der<br>Zimmerdecke | Firntemperatur<br>40 cm unter der<br>Zimmerdecke |       |        | Brennzeiten          |   | Beobachter kalter Wind aus dem Firn |
|----------|---|--|-------|--------|----------------------|---|-------------------------------------|
|          |   | Wandtiefe<br>10 cm                               | 50 cm | 100 cm | des Petroleumkochers | des Dapolofens                                  |                                     |
| 19. Nov. | 7.30  | 8,2  | 8,2   | 11,4   | —                    | 8.00—10.00<br>13.00—17.30<br>(Loewe verbunden)  | —                                   |
|          | 13.00   | 8,2  | 7,6   | 11,4   | 15,85                |   |                                     |
|          | 17.30   | 2,1  | 5,8   | 11,4   | —                    |   |                                     |
|          | 19.30   | 6,6  | 6,1   | 11,0   | 15,75                |   |                                     |
|          | 22.00   | 6,6  | 5,9   | 11,2   | —                    |   |                                     |
| 20. Nov. | 7.30  | 8,0  | 7,9   | 11,5   | —                    | 8.00—13.00<br>19.30—21.00                       | kein Ofen                           |
|          | 16.30   | 6,65   | 6,4   | 11,45  | —                    |   |                                     |
|          | 21.00   | 5,05   | 6,1   | 11,6   | —                    |   |                                     |
| 21. Nov. | 7.30  | 8,2  | 7,9   | 11,6   | —                    | 8.00—10.40<br>13.00—14.30<br>20.00—21.15        | 14.00—16.00<br>(Verband)            |
|          | 13.00   | 7,0  | 7,15  | 11,7   | 14,9                 |   |                                     |
| 22. Nov. | 7.40  | 7,8  | 7,7   | 11,4   | —                    | 8.00—10.00<br>11.00—14.00<br>19.00—21.00        | —                                   |
|          | 21.15   | 6,0  | 6,5   | 11,25  | —                    |   |                                     |
| 23. Nov. | 9.00  | 8,1  | 8,0   | 11,0   | —                    | 8.15—13.15<br>17.15—18.00                       | —                                   |
|          | 12.30   | 6,3  | 7,1   | 10,35  | 15,6                 |   |                                     |
|          | 15.45   | 5,0  | —     | —      | —                    |   |                                     |
| 25. Nov. | 12.00   | 7,9  | 7,3   | 11,6   | 15,65                | 8.00—9.30<br>12.00—13.00<br>19.00—21.00         | 12.30—20.30<br>(Verband)            |
|          | 21.20   | 3,3  | 4,8   | 10,7   | —                    |   |                                     |
|          |   |  |       |        |                      |   |                                     |
| 27. Nov. | 13.30   | +4,5   | 6,6   | 12,3   | 16,1                 | 8.00—9.30<br>13.00—15.00<br>20.00—21.00         | 19.30—20.00<br>(Verband)            |
| 28. Nov. | 17.00   | 6,1  | 5,7   | 12,3   | —                    | 8.00—10.00<br>13.00—15.30<br>abends kein Primus | kein Ofen                           |
| 29. Nov. | 16.45   | 6,5  | 7,0   | 12,0   | 16,3                 | 8.00—9.30<br>13.30—15.30<br>abends kein Primus  | kein Ofen                           |
| 1. Dez.  | 13.00   | 5,7  | 6,2   | 11,2   | 15,85                | 8.00—9.30<br>12.30—14.00<br>19.00—21.00         | kein Ofen                           |
| 3. Dez.  | 22.00   | 5,0  | 4,9   | —      | 15,8                 | 8.00—9.30<br>12.30—13.30<br>19.00—21.00         | kein Ofen                           |

## Temperaturen im Wohnraum und in den Firnwänden des Wohnraums (Forts.).

Alle Temperaturen sind negativ.

| Zeit    | Lufttemperatur<br>90 cm<br>unter der<br>Zimmerdecke | Firntemperatur<br>40 cm unter der<br>Zimmerdecke |       |        | Brennzeiten                  |  | Beobachter kalter Wind<br>aus dem Firn |  |
|---------|---|--|-------|--------|------------------------------|--|--|--|
|         |   | Wandtiefe  |       |        | des<br>Petroleum-<br>kochers | des<br>Dapolofens                                |  |  |
|         |   | 10 cm  | 50 cm | 100 cm |                              |  |  |  |
| 5. Dez. | 12.00   | —  | 6,2   | —      | 15,5                         | Von nun an<br>brennt der<br>Petroleum-<br>kocher | —                                      |  |
| 7. „    | 13.00   | —  | 5,8   | —      | 15,6                         | ist still-<br>gelegt                             | —                                      |  |
| 8. „    | 17.30   | —  | 5,0   | —      | 15,7                         | K.W.   | —                                      |  |
| 9. „    | 16.00   | —  | 5,2   | —      | 15,6                         | —  | —                                      |  |
| 11. „   | 12.30   | —  | 6,05  | —      | 15,55                        | täglich  | —                                      |  |
| 14. „   | 7.30  | 8,0  | 7,6   | —      | 15,6                         | etwa von   | K.W.                                   |  |
| 15. „   | 17.30   | —  | 6,75  | —      | 15,65                        | 8.00—10.00                                       | —                                      |  |
| 17. „   | 16.30   | —  | 4,9   | —      | 15,6                         | 12.00—14.00                                      | —                                      |  |
| 19. „   | 21.00   | —  | 5,1   | —      | 15,1                         | 19.00—21.00                                      | —                                      |  |
| 21. „   | 12.00   | —  | 4,0   | —      | 14,7                         | —  | —                                      |  |
| 23. „   | 16.00   | —  | 4,5   | —      | 14,5                         | —  | —                                      |  |
| 25. „   | 11.00   | —  | 5,0   | —      | 14,2                         | —  | —                                      |  |
| 27. „   | 15.30   | —  | 4,7   | —      | 14,1                         | —  | —                                      |  |
| 28. „   | 7.30  | —  | 5,2   | —      | 14,05                        | —  | —                                      |  |
| 29. „   | 17.00   | —  | 5,4   | —      | 13,9                         | —  | —                                      |  |
| 31. „   | 18.00   | —  | 4,3   | —      | 13,6                         | —  | —                                      |  |
| 2. Jan. | 17.15   | —  | 4,6   | —      | 13,6                         | —  | —                                      |  |
| 4. „    | 14.00   | —  | —     | —      | 13,6                         | —  | —                                      |  |
| 6. „    | 18.00   | —  | —     | —      | 13,6                         | —  | —                                      |  |
| 8. „    | 18.00   | —  | —     | —      | 13,1                         | —  | —                                      |  |

Zum Vergleich mit anderen Expeditionen sei erwähnt, daß J. P. Koch und Alfred Wegener bei der Überwinterung in Borg (auf dem Storströmlatscher in Ostgrönland) 1912/13 auf dem Arbeitstisch  $+12^{\circ}$  bis  $+17^{\circ}$  C, zwischen den Füßen des Tisches  $+5^{\circ}$  C und an der Decke des Wohnraums  $+25^{\circ}$  C maßen (Koch und Wegener 1930, S. 409). Im Hauptraum des Winterhauses von Wegeners Weststation herrschten in Brusthöhe gewöhnlich Temperaturen zwischen  $+8^{\circ}$  und  $+19^{\circ}$  C („Wissenschaftliche Ergebnisse“, Band I, S. 62).

Die negativen Temperaturen auf dem Tische in Eismitte hatten außer der Erschwerung unseres Daseins ihr Gutes; auf dem Tische konnte nämlich in aller Ruhe der Firn untersucht werden, ohne daß ein Schmelzen zu befürchten war. Auf diesem Tisch wurden z. B. die Firnblöcke für die Dichtemessungen von Sorge ausgemessen und die Mikrophotographien der Firnkörner von Georgi gemacht.

## 7. Luftbewegung im Firn.

Bei den Temperaturmessungen in den Firnwänden des Wohnraums bemerkte Sorge sehr bald eine auffallende Erscheinung:

16. 10. 30. „Aus den Thermometerlöchern im Wohnraum wehte heute zum erstenmal ein kalter Wind heraus (nach Herausnahme der Holzwollpropfen). Ich ließ das eine

(1 m lange) Loch von 12<sup>00</sup> bis 15<sup>00</sup> offen; der Wind wehte dauernd in gleicher Stärke heraus. Anscheinend hat unser Wohnraum infolge des heftigen Windes draußen im Freien und infolge der nunmehr abgeschlossenen Vereisung der Wände einen Unterdruck gegenüber der Außenluft und saugt die Luft durch den Firn an. Infolgedessen war die Luft im Loch auch kälter als vorher. Aus dem Loch mit Thermometer 6 wehte weniger Wind als aus dem Loch mit Thermometer 3; daher bei Thermometer 6 ein geringer Temperaturabfall. Aus den Thermometerlöchern 9 und 4 im frischen Firn (im Frachtraum) wehte ganz schwach ein feiner kalter Wind. Die Ursache war für alle 4 Fälle offenbar der starke Wind draußen im Frcien; denn am 17. Oktober war nirgends mehr ein Wind aus den Thermometerlöchern zu spüren; und draußen hatte der Wind von 10,2, 11,3 und 8,3 m/sec an den drei Wetterterminen vom 16. Oktober auf 6,8, 3,7 und 3,5 m/sec am 17. Oktober abgenommen.“ (Tagebuch Sorge.)

Es stellte sich in der Folgezeit ein fester Zusammenhang zwischen den Zeiten mit großen Windstärken draußen im Freien und den Zeiten mit Luftströmung aus den Thermometerlöchern in der Firnwand des Wohnraums heraus. Die Tage, an denen kalter Wind aus den Thermometerlöchern im Wohnraum oder durch die Türritzen des Schachts wehte, sind in der nachfolgenden Übersicht zusammengestellt:

#### Luftbewegung aus den Thermometerlöchern des Wohnraums.

| Nummer<br>der Zyklone<br>nach Georgi | Tag         | Beobachteter<br>kalter Wind<br>aus dem Firn | Größte Windstärke<br>(m/sec) im Freien<br>und Windrichtung | Gang des Luftdrucks   |
|--------------------------------------|-------------|---|--|-----------------------|
| 12                                   | 16. 10.     | K. W.                                       | 10 E   | fallend               |
| 13                                   | 20. 10.     | K. W.                                       | 8 S  | steigend — fallend    |
| 14                                   | 1. 11.      | —   | 5 SE   | —                     |
| 15                                   | 12. 11.     | K. W.                                       | 9 E  | stark fallend         |
| 16                                   | 17. 11.     | K. W.                                       | 8 SW   | stark fallend         |
| 17                                   | 27. 11.     | K. W.                                       | 14 SzE   | steigend — fallend    |
|                                      | 29. 11.     | K. W.                                       | 11 EzS   | fallend               |
| 18                                   | 2. 12.      | —   | 8 SE   | —                     |
| 19                                   | 8. 12.      | K. W.                                       | 3 ESE  | steigend — fallend    |
| 20                                   | 14. 12.     | K. W.                                       | 14 ESE   | steigend              |
| 21                                   | 22. 12.     | —   | 5 S  | —                     |
| 22                                   | 26.—27. 12. | —   | 9 E  | —                     |
| 23                                   | 5. 1.       | —   | 10 ESE   | —                     |
| 24                                   | 8. 1.       | —   | 6 SE   | —                     |
| 25                                   | 13. 1.      | K. W.                                       | 8 SW   | stark fallend         |
| 26                                   | 18. 1.      | —   | 9 SE   | —                     |
| 27                                   | 28.—29. 1.  | K. W.                                       | 17,5 SSE   | steigend — fallend    |
| 28                                   | 5. 2.       | —   | 3 SSE  | —                     |
| 29                                   | 13. 2.      | K. W.                                       | 13 S   | steigend — fallend    |
| 30                                   | 16. 2.      | K. W.                                       | 13 S   | steigend — fallend    |
| 31                                   | 22.—23. 2.  | —   | 6 SE   | —                     |
| 32                                   | 3. 3.       | —   | 9 SSE  | —                     |
| 33                                   | 6.—7. 3.    | K. W.                                       | 18 SSE   | fallend — steigend    |
| 34                                   | 17. 3.      | —   | 7 SSE  | —                     |
| 35                                   | 25.—24. 3.  | K. W.                                       | 10 S bis NW  | steigend — fallend    |
| 36                                   | 27.—30. 3.  | K. W.                                       | 12 E   | dauernd stark fallend |
| 37                                   | 8. 4.       | K. W.                                       | 15 ESE   | stark fallend         |

Fast bei jeder vorüberziehenden Zyklone wurde kalter Wind und eine Temperaturerniedrigung in den Firnwänden beobachtet. Wenn bei einigen Zyklonen diese Erscheinung nicht festgestellt wurde, so ist daraus nicht zu schließen, daß sie fehlte; denn die Luftbewegung und Temperaturen in den Firnwänden wurden nicht immer systematisch und auch nicht immer gerade dann beobachtet, wenn draußen im Freien die größten Windstärken herrschten. Zum Beispiel fehlen solche Beobachtungen am 1. November, am 2. Dezember, am 26. bis 27. Dezember 1930 und am 5. Januar 1931 wegen Inanspruchnahme durch andere Arbeiten. Mit gutem Grund darf

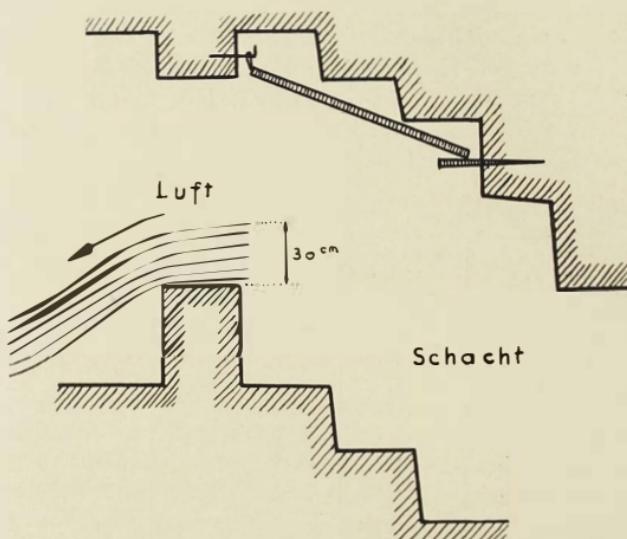


Abb. 10. Luftbewegung aus dem Schacht.

angenommen werden, daß jeder Wind im Freien mit über 8 m/sec Geschwindigkeit einen merklichen Wind aus dem Firn erzeugte.

Die Luftbewegung im Firn aus den Thermometerlöchern war meistens eine sehr auffällige Erscheinung. Manchmal war der Wind aus den Löchern nach Fortnahme der Verschlußpfropfen so stark, daß ein davor gehaltenes brennendes Streichholz oder ein Talglicht sofort ausgeblasen wurde. Eine ähnliche Erscheinung wurde auch an der Schachttür beobachtet.

13. 1. 31. „Aus dem Schacht pfeift aus den Türritzen ein sehr scharfer Luftzug, so daß die Petroleumlampe schon in 1 m Entfernung von der Tür sofort ausgelöscht wird. Aus den Thermometerlöchern im Schacht bis 5 m Tiefe (2, 3, 4 und 5 m unter der Oberfläche) weht bei herausgezogenen Stopfen kalter Wind. Aus den Löchern in 6, 7 und 8 m Tiefe wehte dagegen kein kalter Wind, durch brennendes Streichholz nachgewiesen. Das

Thermometerloch in 2 m Tiefe im Schacht, das nicht mehr benutzt wird, stand seit Tagen offen. Auch hier wehte der Wind heraus. Die Windstärke aus den Löchern nahm mit der Tiefe unter der Firnoberfläche ab. Oben ist 8 m/sec Wind von Südwest.“

„Eine Zirkulation der Luft im Firn ist also durchaus vorhanden. Auch ohne Hindernisse und die dadurch verursachte Wirbelbildung muß bei starkem Wind Luft aus dem Firn angesaugt werden (Prinzip der Wasserstrahlpumpe). Der niedrige Luftdruck wirkt natürlich auch saugend. Da die Schneeoberfläche nicht ganz eben ist, wird abwechselnd Überdruck und Unterdruck herrschen (Wogenwolken!).“

14. 1. 31. „Der Schneesturm war am Morgen schon vorbei und mit ihm der kalte Luftzug im Schacht verschwunden.“

7. 3. 31. „Schneesturm 13 m/sec aus Südsüdost. Nachmittags leuchte ich mit meiner Petroleumlampe den kalten Luftzug im Schachteingang und Frachtraum ab. Aus dem Frachtraum wehte die kalte Luft auf dem Boden bis 30 cm hoch entlang. Ebenso streicht die kalte Luft bei geöffneter Schachttür in 30 cm Mächtigkeit über die Schachtschwelle fällt am „Potsdamer Platz“ (so nannten wir die Stelle des Firngangs, wo die Wege zum Wohnraum, Frachtraum und Schacht zusammenliefen) hinunter und vereinigt sich mit der Luft aus dem Frachtraum.“ (Siehe Abb. 10.)

„Die Luft wird annähernd gleichmäßig aus der ganzen Firnoberfläche (d. h. aus den Firnwänden) im Frachtraum und Schacht gesaugt. Mit der Lampe und mit brennenden Streichhölzern kann ich feststellen, daß keine Firschichten besonders bevorzugt werden.“

24. 3. 31. „Morgens kalter Wind aus dem Schacht, nimmt mittags ab und verliert sich dann, während oben der Wind über Mittag abnimmt, dabei von Südsüdost nach West zu Nord dreht, dann wieder bis 10 m/sec zunimmt und aus Nordwest weht, mit heftigen Schneefegen. Wir haben heute zum erstenmal während der Überwinterung starken Nordwestwind. Da er gerade in unseren Eingang hineinwehte und sich im Ballonraum und auf der Treppe staute, herrschte natürlich nachmittags im Firngang kein Unterdruck gegenüber dem Schacht. Nachmittags wurde das Licht der Lampe auf der Schwelle des geöffneten Schachts leicht hineingewieht.“ (Tagebuch Sorge.)

Die Zeiten mit starken Winden draußen waren stets mit großem Temperaturanstieg verbunden, oft mehr als  $20^{\circ}$  C innerhalb von 24 Stunden. In den Firnwänden des Wohnraums hatte die starke Luftbewegung aber die entgegengesetzte Wirkung. Es wurde kalte Luft in die Nähe des Wohnraums hingesaugt und ersetzte die etwas angewärmte Luft in den Firnwänden rings um uns. Dieser Temperaturabfall ist besonders bei den Thermometern in 50 cm und 100 cm Wandtiefe zu erkennen. Jedesmal wenn draußen Schneesturm herrschte, sank die Temperatur in den Thermometerlöchern. Die große Luftdurchlässigkeit des körnigen Firns zeigte sich also in einer für unsere Wohntemperaturen nachteiligen Weise. Zum Glück konnten die starken abkühlenden Luftbewegungen im Firn nur wenig in den Wohnraum selbst eindringen, da die Wände im Laufe des Herbstes 5–6 cm dick vereist und damit luftundurchlässig geworden waren. Doch drang durch den nicht vereisten Fußboden, der aus Holzmangel nur an unseren Sitzplätzen mit Brettern belegt werden konnte, so viel kalte Luft ein, daß die Temperaturen unten um  $-25^{\circ}$  C lagen.

Die Firntemperaturen in den Thermometerlöchern des Schachts wurden durch die Wirkung der Schneestürme nicht merkbar geändert, wie auf-

der Übersicht der Firntemperaturen zu ersehen ist. Doch müssen die Temperaturänderungen im Firn infolge der Luftbewegung etwas anders verlaufen, als allein aus der Theorie der Wärmeleitung folgt. Abweichungen konnten indessen nicht gemessen werden.

J. P. Koch hat auf der Durchquerung 1913 aus der hohen Luftdurchlässigkeit des Firms auf eine Luftzirkulation geschlossen (Koch und Wegener, 1930, S. 373). Koch schreibt:

„Noch in 4 m Tiefe kann man ohne irgendwelche Anstrengung so viel Luft wie man will durch einen Firnblock hindurchblasen. Ich bin darum überzeugt, daß wirklich in den obersten Schichten des Firms eine Luftzirkulation stattfindet. Vielleicht bis 50 m Tiefe.“

Die Beobachtungen in Eismitte haben diese Vermutung bestätigt, wenngleich über die Tiefe, bis zu der eine Luftzirkulation stattfindet, keine genauen Angaben gemacht werden können.

Nach Sorges Beobachtung vom 13. Januar 1931 (s. oben) war ein Luftzug im Schacht nur bis 5 m Tiefe an der Bewegung einer Flamme merkbar; es ist anzunehmen, daß eine langsame Luftbewegung noch in weit größeren Tiefen stattfindet. Diese Luftzirkulation wird nach den Beobachtungen in Eismitte durch die starken Winde draußen im Freien erzeugt. Wie weit und in welcher Weise der wechselnde Luftdruck mitwirkt, ist schwer zu entscheiden. Unter 17 beobachteten Fällen von Firnwinden traten 7 bei fallendem und 2 bei steigendem Luftdruck ein, ferner 7 bei Übergang von steigendem zu fallendem und 1 bei Übergang von fallendem zu steigendem Luftdruck.

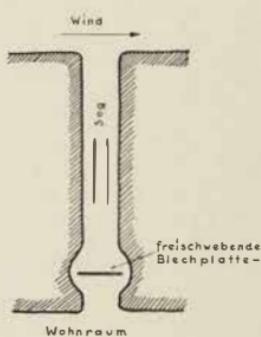


Abb. 11. Der Sog im Luftloch bei Schneestürmen.

Alle Beobachtungen über Firnwinde in Eismitte fanden unter Verhältnissen statt, die in der Natur nicht vorkommen. Durch unsere ober- und unterirdischen Bauten wurden die natürlichen Bedingungen in einer Weise gestört, daß ihre Folgen schwer abzuschätzen sind. Es liegt ja leider in der Natur der Sache — und darauf wird noch wiederholt hinzuweisen sein —, daß bei glaziologischen Untersuchungen der natürliche Zustand des Firms an einzelnen Stellen mehr oder weniger gestört werden muß. Bei den Firnwindbeobachtungen in unseren Bauten sind diese Störungen besonders stark. Der Sog im Luftloch unseres Wohnraums war bei einem Schneesturm einmal so stark, daß er eine frei bewegliche Blechplatte, die in einer Erweiterung des Luftloches als Abschluß diente, hoch hob und frei schwebend erhielt (s. Abb. 11). Ähnlich hohe Windgeschwindigkeiten können im natürlichen Firn nicht vorkommen, wenn er auch so porös ist, daß man ohne jeden Widerstand hindurchblasen kann. Bläst man durch

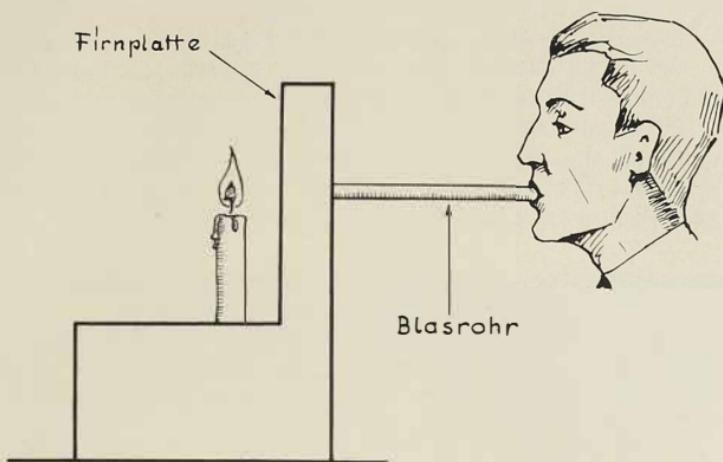


Abb. 12. Durchblasen einer Firnplatte.

eine 1 cm starke Firnplatte gegen eine dicht dahinter befindliche brennende Kerze, so zeigt die Flamme nicht die geringste Luftbewegung mehr an (s. Abb. 12). Die viel verschlungenen Luftwege im Firn bremsen also eine schnelle Luftströmung schon auf 1 cm Weglänge vollständig ab.

## II. Die Firndichte.

### 1. Messungen der Firndichte.

Die ersten Firndichtemessungen wurden mit einem Schneestecher ausgeführt. Der Schneestecher war ein eiserner Hohlzylinder von 40 cm Länge und 14 cm Durchmesser, der an beiden Enden offen war. An dem einen Ende befand sich ein Griff, an dem man den Schneestecher anpacken und in den Schnee hineinstoßen konnte. Zog man ihn vorsichtig heraus, so war er mit einem zylindrischen Schneefropfen gefüllt. Mit einer römischen Schnellwaage wurde der leere und der volle Schneestecher gewogen, und so das Gewicht der Schneefüllung erhalten. Da das Volumen des Schneestechers (6 Liter) bekannt war, so ergab sich ohne weiteres die Schneedichte. So einfach dieses Verfahren theoretisch erscheint, so unbefriedigend war in Wirklichkeit seine Durchführung. Durch das Herausstechen zerbrach nämlich der Schnee oder Firn in einzelne Stücke, so daß unbekannt blieb, wieviel Hohlräume im Schneestecher nicht ausgefüllt waren; anderseits wurde in manchen Fällen der Schnee beim Herausstechen etwas zusammengepreßt, so daß seine Dichte nicht mehr zuverlässig dieselbe war wie im Naturzustand. Bei Versuchsmessungen

wurde Firn aus 2 m Tiefe dreimal an unmittelbar nebeneinanderliegenden Stellen horizontal herausgestochen. Es ergaben sich die Firndichten 0,379, 0,330 und 0,396, während sich doch eigentlich annähernd derselbe Wert ergeben müßte. Die Abweichung war so groß, daß das Verfahren unzuverlässig und für alle feinen Messungen unbrauchbar ist. Die Fehler werden vermutlich bei Messungen in den obersten Schneeschichten (etwa 0 bis 1 m Tiefe) geringer sein als einige Meter tiefer. Im allgemeinen werden sich zu kleine Dichten ergeben.



phot. Job. Georgi.

Abb. 13. Schneiden der Firnblöcke mit der Fuchsschwanzsäge. Oben die Laufwaage zum Wiegen der Firnblöcke.

Ein zweites Verfahren zur Firndichtemessung, die Kochtopfmethode (Koch und Wegener, 1930, S. 343), wurde ebenfalls wegen unzureichender Genauigkeit verworfen. Koch und Wegener haben dieses Verfahren bei ihrer Durchquerung 1913 sicherlich so geschickt benutzt, wie es möglich ist, aber dennoch waren die Schwankungen der Schneedichten in der zweiten Dezimale recht beträchtlich (a. a. ●., S. 375), so daß die gefundenen Ergebnisse erheblich korrigiert werden mußten, um eine homogene Reihe von Dichten für die ganze Durchquerung zu erhalten. Für die von Koch und Wegener in Betracht gezogenen Zwecke wurde die Genauigkeit der Kochtopfmethode als ausreichend bezeichnet. Bei der während einer

Durchquerung verfügbaren knappen Zeit wird man schwerlich andere genauere Methoden verwenden können. Es sei denn, daß man von vornherein Ausrüstung und Proviant für längere Liegezeiten mitnimmt.

Bei der Überwinterung in Eismitte wurde für die Firndichtemessungen ein einfaches Verfahren angewandt, das mit ziemlicher Sicherheit die Dichtewerte auf drei Dezimalstellen genau lieferte. Mit der Fuchsschwanzsäge oder dem Schneemesser wurden Firnblöcke quaderförmig zurechtgeschnitten, mit einem Zentimetermaßstab ausgemessen und mit einer



phot. E. Sorge.

Abb. 14. Georgi mißt Schneedichten in Eismitte mit dem Schneestecher. Links am Gestell die Laufwaage.

Schnellwaage auf 5 g genau (etwa  $1/1600$  des Gewichts) gewogen. Die Ausmessung eines Blockes geschah in der Weise, daß der im Schacht roh behauene oder beschinnitene Block auf eine Sperrholzplatte auf unseren Tisch in der Firnhöhle gelegt und genau zurechtgeschnitten wurde. Der Maßstab wurde in der Blickrichtung unmittelbar hinter dem Firnblock senkrecht auf die Holzplatte gestellt und dann langsam an dem Firnblock entlang bewegt, so daß er stets senkrecht blieb (s. Abb. 13). Etwa zwanzigmal wurde der Maßstab während der Bewegung angehalten und die Höhe des Blockes, genauer die Flächenbreite, an dem herausragenden Maßstabe auf  $1/10$  mm genau abgelesen. Dasselbe wurde mit den drei anderen Seiten-

flächen gemacht. Nachdem die obere Fläche des Blockes mit einem Farbstift kenntlich gemacht worden war, wurde der Block vorsichtig um  $90^\circ$  gekippt und das gleiche Messungsverfahren rings um den Block wiederholt. Eine zweite Kippung gestattete, die noch fehlenden Breiten der Seitenflächen zu messen. In allen Fällen waren die Firnblöcke nach Augenmaß so genau wie möglich quaderförmig ausgeschnitten, so daß die Seitenflächen nahezu Rechtecke bildeten. Der Mittelwert der Flächenbreiten wurde dann als Kantenlänge für die Volumenberechnung benutzt. Bei einer Kantenlänge von rund 20 cm war eine Genauigkeit jeder einzelnen endgültigen Kantenlänge auf  $\frac{1}{4}$  bis  $\frac{1}{2}$  mm verbürgt. Um bei sehr großen Firnblöcken von vornherein beim Zurechtschneiden möglichst quaderförmige Gestalt zu erhalten, wurde zur Unterstützung des Augenmaßes oft ein kleines Lot an einem Zwirnsfaden benutzt, nach dem das Sägeblatt eingestellt werden konnte. Infolge der großen Höhe des Sägeblattes entstanden beim Zersägen außerordentlich schöne, genau ebene Flächen.

Die zum Abwiegen benutzte Schnellwaage hatte auf einem Hebelarm von 24 cm Länge eine Einteilung von 0 bis 10 kg. Die einzelnen Teilstriche, die Gewichtsunterschiede von 100 g angaben, waren 0,24 cm voneinander entfernt. Auf einem kleinen Schiebegewicht befand sich eine Skala von 0 bis 100 g. Eine Verschiebung um 0,35 cm bewirkte eine Gewichtsänderung von 10 g. Demgemäß konnte das Gewicht auf 5 bis 10 g mit Sicherheit abgelesen werden. Eine nachträgliche Eichung mit geeichten Gewichten ergab zwischen wahrem und abgelesenen Gewicht niemals größere Unterschiede als 5 g.

Die Waage wurde in Eismitte mit einem Ring und einem kräftigen Draht an einem Brett aufgehängt, das mit einem Ende tief in die Firnwand dicht unter der Decke hineingestoßen war und zur Hälfte in den Wohnraum hineinragte. Um die Blöcke an die Waage zu hängen, wurden zwei Drähte kreuzweise um den Block gelegt und in den Aufhängehaken der Waage eingehakt. Statt der Drähte wurde oft auch ein quadratisches Wiegebrett benutzt, das an vier Bindfäden hing und sich besonders zur Wägung größerer Blöcke eignete. Um die Gewichtsmessungen von systematischen Fehlern zu befreien, wurden öfter Firnblöcke außerdem noch auf einer geeichten Briefwaage auf 1 g genau gewogen. Da die Briefwaage nur bis 500 g anzeigte, wurden schwerere Blöcke in Teilen gewogen. Die Gewichtsangaben beider Waagen wurden stets so genau übereinstimmend gefunden, daß keine Verbesserungen der Gewichte erforderlich waren. Da die Temperaturen im Wohnraum auf dem Tische beständig unter Null lagen — sie betrugen gewöhnlich  $-5^\circ$  bis  $-10^\circ\text{C}$  —, waren die Bedingungen für diese Firnmessungen außerordentlich günstig. Es bestand keine Gefahr, daß die Firnblöcke während der Messungen abschmolzen oder sich deformierten. Gerade die Deformationen sind es ja, welche die Dichtemessungen mit dem Schneestecher oder dem Kochtopf so ungenau

machen. Demgegenüber ist die Genauigkeit des in Eismitte benutzten Verfahrens schätzungsweise zwanzigmal so groß. Wie weit die Ungenauigkeit in der Messung des Gewichts und der Kantenlängen eines Firnblockes die Dichte beeinflußt, läßt sich mathematisch leicht ableiten. Es sei:

$s$  = Dichte des Firnblockes,

$G$  = Gewicht des Firnblockes,

Firnblock von  $20 \cdot 20 \cdot 20$  cm und der Dichte  $s = 0,500$

Dann ist:

$$s = \frac{G}{a \cdot b \cdot c}$$

$$s = f(G, a, b, c)$$

$$ds = \frac{\delta f}{\delta G} \cdot dG + \frac{\delta f}{\delta a} \cdot da + \frac{\delta f}{\delta b} \cdot db + \frac{\delta f}{\delta c} \cdot dc$$

$$ds = \frac{1}{a \cdot b \cdot c} \cdot dG - \left[ \frac{G}{b c a^2} \cdot da + \frac{G}{c a b^2} \cdot db + \frac{G}{a b c^2} \cdot dc \right]$$

Nimmt man zum Beispiel als äußerste Fehlergrenzen

$$dG = \pm 10 \text{ g}$$

$$da = db = dc = \pm 0,05 \text{ cm}$$

an (dies sind ja bereits Mittelwerte aus je 40 bis 80 Einzelablesungen) und den ungünstigsten Fall, daß sich alle Fehler verstärken, so wird bei einem Firnblock von  $20 \cdot 20 \cdot 20$  cm und der Dichte  $s = 500$

$$ds = \pm 0,005.$$

Dieses Ergebnis hat aber nur bedingten Wert, da die tatsächliche Genauigkeit der Einzelmessungen sich bei den Versuchsbedingungen in Eismitte sehr schwer abschätzen läßt. Um daher den Einfluß der wechselnden Beleuchtung, Aufmerksamkeit und Willenskraft oder etwaiger Ermüdung festzustellen und um von jeder bloß theoretischen Erwägung freizukommen, wurden häufig Probemessungen folgender Art gemacht. Nachdem die Dichte eines Firnblockes in der gewohnten Weise gemessen worden war, wurde der Block zerschnitten und die Dichte der beiden Teilstücke nach demselben Verfahren bestimmt. Aus der Dichte der Teilstücke wurde die Dichte des Gesamtblöckes errechnet und mit der früheren Messung verglichen. Hier folgen einige solcher Dichtevergleichsmessungen:

| 1. Teilblock<br>gemessen | 2. Teilblock<br>gemessen | Ganzer Block |                          | Unterschied<br>Berechnete minus<br>Gemessene Dichte |
|--------------------------|--------------------------|--------------|--------------------------|---|
|                          |                          | gemessen     | berechnet aus<br>1 und 2 |   |
| 0,488                    | 0,490                    | 0,491        | 0,490                    | - 0,001   |
| 0,526                    | 0,536                    | 0,531        | 0,530                    | - 0,001   |
| 0,535                    | 0,537                    | 0,536        | 0,536                    | 0,000   |
| 0,524                    | 0,535                    | 0,527        | 0,529                    | + 0,002   |

Obwohl also beim Zerschneiden des Blockes und bei der Neuausmessung der Teilstücke neue Fehlermöglichkeiten entstehen, stimmen die Proben bis auf eine oder zwei Einheiten der dritten Dezimale. Die Genauigkeit jeder einzelnen Dichtemessung wird also sicherlich ebenso groß sein. In der Zahlenübersicht auf Seite 94 sind die Firndichten auf vier Dezimalstellen angegeben, weil sie die Grundlage für andere Berechnungen bilden. Eine vorzeitige Abrundung würde später eine Unsicherheit in der dritten Stelle hervorrufen.

Infolge des Schneeauftrages im Laufe der Überwinterung verändert sich mit der Zeit die wirkliche Tiefe eines Firnkornes unter der jeweiligen Oberfläche. Um von diesem veränderlichen Koordinatensystem unabhängig zu sein, wurden alle Tiefen von der Schneeoberfläche des 15. September 1930 aus gemessen. Um die Tiefe im Wohnraum zu bestimmen, wurde ein 2 m langer Maßstab durch die 1,80 m dicke Decke vorsichtig hindurchgestoßen und auf diese Weise der Abstand der einzelnen Meßpunkte im Wohnraum von der Oberfläche festgelegt. Ebenso wurde am Eingang zum Schacht verfahren. In die Wände wurden mehrere Holzpfölcke eingeschlagen, die dann als Ausgangspunkte für die weiteren Tiefenmessungen dienten.

Die für die Dichtemessung benutzten Firnblöcke lagen ursprünglich nicht alle senkrecht untereinander. Von 3,80 bis 10 m Tiefe sind die Blöcke aus dem treppenförmig in die Tiefe führenden Schacht herausgeschnitten, waren also entsprechend der verschiedenen Tiefe seitlich gegeneinander versetzt. Von 10 bis 15 m Tiefe, wo der Schacht senkrecht verlief, lagen auch die herausgeschnittenen Firnblöcke untereinander oder nahezu untereinander. Von 1,65 bis 3,80 m Tiefe stammten die gemessenen Firnblöcke aus der Nordwestwand unseres Wohnraums, waren also in horizontaler Richtung 6 m von der Schachttür entfernt. Die obersten Schichten von 0 bis 2,18 m Tiefe wurden in einer zu diesem Zwecke gegrabenen Grube 25 m westlich Georgis Wetterhütte herausgeschnitten, also 35 m von der Schachttür entfernt. Es ist also zu beachten, daß die Firnblöcke für die Dichtemessungen von drei verschiedenen Stellen herstammen, und es entsteht daher die Frage, wieweit es zulässig ist, bei der Konstruktion einer Dichtekurve die Dichtewerte der drei verschiedenen Stellen aneinander anzuschließen. Koch und Wegener äußern sich darüber (a. a. O., S. 343) etwas skeptisch: „In Anbetracht des Umstandes, daß die Schneedichte auch in gleicher Tiefe von Ort zu Ort innerhalb gewisser Grenzen schwankt, so daß eine übertriebene Genauigkeit zwecklos wäre...“ Versuchsmessungen in Eismitte zeigten indessen, daß die Dichten an verschiedenen Stellen in gleicher Tiefe nicht sehr voneinander abweichen, wie folgender Vergleich angibt:

| Grube<br>25 m westlich der Wetterhütte |        | Wohnraum   |        |
|--|--------|------------|--------|
| Tiefe                                  | Dichte | Tiefe      | Dichte |
| 150—181 cm                             | 0,338  | 165—180 cm | 0,339  |
| 181—218 cm                             | 0,390  | 180—197 cm | 0,372  |
|  |        | 197—238 cm | 0,433  |

Man vergleiche hierzu auch Nr. 1 bis 9 der Firndichtemessungen.

Besonders wurde bei den Dichtemessungen darauf geachtet, daß die Firnschichten möglichst lückenlos von der Oberfläche bis zur Tiefe ausgemessen wurden. Durch das Zurechtschneiden der Blöcke geht natürlich stets ein gewisser Bruchteil der gesamten Firnmächtigkeit verloren, so daß zwischen den einzelnen ausgemessenen Blöcken noch kleine Firnmasse bei der Messung nicht berücksichtigt werden konnten. Ein Vergleich der Summe der gesamten Firnblockhöhen mit der Mächtigkeit des zugehörigen Firns an der ursprünglichen Lagerstätte ergibt den hohen Grad der Ausnutzung des vorhandenen Firns. Dies zeigt folgende Zahlenübersicht:

Summe der gemessenen Firnblockhöhen im Vergleich zur Gesamtmächtigkeit der Firnschichten.

| Tiefe<br>cm | Firnmächtigkeit<br>cm<br>$h_1$ | Summe der<br>Firnblockhöhen<br>cm<br>$h_2$ | v. H.<br>der Mächtigkeit<br>$\frac{h_2}{h_1} \cdot 100$ |
|-------------|--------------------------------|--|---|
| 0— 181      | 181                            | 171,92                                     | 94,9  |
| 181— 380    | 199                            | 164,49                                     | 82,6  |
| 380— 557    | 177                            | 162,62                                     | 91,8  |
| 557— 788    | 231                            | 213,32                                     | 92,3  |
| 788— 970    | 182                            | 150,80                                     | 82,8  |
| 970—1159    | 189                            | 172,62                                     | 91,3  |
| 1159—1391   | 232                            | 211,74                                     | 91,1  |
| 1391—1471   | 80                             | 77,57                                      | 97,0  |

Durch diese fast lückenlose Erfassung des Firns von 0 bis 15 m Tiefe wurde vermieden, daß die Messungen nur den Wert von Stichproben hatten. In der folgenden Zahlenübersicht sind die in Eismitte bestimmten Firndichten zusammengestellt. Die ersten 9 Messungen dienten zur Prüfung der Meßgenauigkeit des Verfahrens. Je 3 Blöcke lagen nebeneinander im Wohnraum (Nr. 1—3, 4—6, 7—9). Die Tiefe, aus der diese Firnblöcke stammten, ist nicht genau bestimmt worden. Daher ist eine Zuordnung zu den späteren Messungen nicht möglich. Die obersten Schneeschichten wurden wiederholt ausgemessen (vgl. Nr. 18—23, 55—59, 69—73, 79—80, 92—99, 118—121).

Übersicht über alle Schnee- und Firndichtemessungen  
in Station „Eismitte“.

| Nr. | Zeit der Dichte-messung | Tiefe unter der Oberfl. vom 15. 9. 30 cm | Tiefe unter der Ober-fläche zur Meßzeit em | Mächt-igkeit em | Härte | Abmessungen des Firnblocks |        |        | Ge-wicht des Firn-blocks g | Dichte | Lager-stätte des Firn-blocks                  |
|-----|-------------------------|--|--|-----------------|-------|----------------------------|--------|--------|----------------------------|--------|---|
|     |                         |  |  |                 |       | Höhe a cm                  | b cm   | c cm   |                            |        |   |
| 1   | 24. 9. 30               |  | —  | —               | —     | 21,80                      | 19,60  | 22,80  | 3920                       | 0,4024 | Wohnraum                                      |
| 2   | "                       |  | —  | —               | —     | 28,00                      | 34,75  | 25,80  | 10070                      | 0,4012 | "   |
| 3   | "                       |  | —  | —               | —     | 29,60                      | 21,00  | 21,80  | 5420                       | 0,4000 | "   |
| 4   | 25. 9. 30               | 200—300                                  | —  | —               | —     | 18,60                      | 22,85  | 17,60  | 5520                       | 0,4706 | "   |
| 5   | "                       | Tiefe nur angenähert                     | —  | —               | —     | 16,10                      | 20,60  | 25,30  | 3910                       | 0,4660 | "   |
| 6   | "                       |  | —  | —               | —     | 16,55                      | 17,50  | 35,40  | 4760                       | 0,4643 | "   |
| 7   | 27. 9. 30               |  | —  | —               | —     | 12,41                      | 35,61  | 26,55  | 4655                       | 0,3968 | "   |
| 8   | "                       |  | —  | —               | —     | 20,175                     | 27,06  | 14,85  | 3250                       | 0,4009 | "   |
| 9   | "                       |  | —  | —               | —     | 23,64                      | 15,17  | 28,70  | 4150                       | 0,4032 | "   |
| 10  | 30. 9. 30               | 165—180                                  | —  | 15              | 1—2   | 12,24                      | 24,76  | 17,73  | 1820                       | 0,3387 | "   |
| 11  | "                       | 180—197                                  | —  | 17              | 2     | 18,05                      | 20,93  | 9,52   | 1340                       | 0,3725 | "   |
| 12  | "                       | 197—238                                  | —  | 41              | 3     | 29,50                      | 29,29  | 16,75  | 6270                       | 0,4332 | "   |
| 13  | "                       | 238—251                                  | —  | 13              | 2     | 10,47                      | 27,50  | 19,83  | 2290                       | 0,4011 | "   |
| 14  | "                       | 251—265                                  | —  | 14              | 1—2   | 8,94                       | 20,38  | 23,27  | 1410                       | 0,5326 | "   |
| 15  | "                       | 265—319                                  | —  | 54              | 4     | 46,99                      | 23,09  | 21,70  | 10100                      | 0,4290 | "   |
| 16  | "                       | 319—345                                  | —  | 26              | 2—3   | 23,97                      | 22,91  | 15,40  | 3360                       | 0,3973 | "   |
| 17  | 1. 10. 30               | 345—380                                  | —  | 35              | 4     | 26,47                      | 23,07  | 19,53  | 5560                       | 0,4494 | "   |
| 18  | 19. 10. 30              | —30 bis —17                              | 0—13                                       | 13              | 2—1   | 13,30                      | 22,00  | 19,30  | 1810                       | 0,5205 | 10 m westl. vom Turm                          |
| 19  | "                       | —30 bis —16                              | 0—14                                       | 14              | 2—1   | 14,10                      | 24,10  | 27,60  | 2890                       | 0,5081 | "   |
| 20  | "                       | —35 bis —17                              | 0—18                                       | 18              | 2—1   | 17,56                      | 20,79  | 25,06  | 5110                       | 0,5400 | "   |
| 21  | 22. 10. 30              | —32 bis 0                                | 0—32                                       | 32              | 2—0   | 23,39                      | 22,01  | 24,39  | 2990                       | 0,2381 | 25 m westl. d. Wetterhütte                    |
| 22  | "                       | 0—11                                     | 32—43                                      | 11              | 3     | 11,15                      | 18,94  | 17,56  | 1260                       | 0,3398 | "   |
| 23  | "                       | 11—32                                    | 43—64                                      | 21              | 2     | 14,73                      | 17,25  | 25,11  | 2010                       | 0,5150 | "   |
| 24  | "                       | 32—56                                    | 64—88                                      | 24              | 3     | 24,05                      | 24,50  | 27,95  | 6260                       | 0,3801 | "   |
| 25  | 24. 10. 30              | 56—76                                    | 88—108                                     | 20              | 1—2   | 16,37                      | 19,06  | 18,02  | 1670                       | 0,2970 |   |
| 26  | "                       | 76—108                                   | 108—140                                    | 32              | 5     | 25,25                      | 17,825 | 18,02  | 3350?                      | 0,415  | Wegen Meßfehlern unbrauchbar.<br>Dafür Nr. 47 |
| 27  | "                       | 108—150                                  | 140—182                                    | 42              | 3—4   | 40,70                      | 16,45  | 20,67  | 5210                       | 0,3765 | 25 m westl. d. Wetterhütte                    |
| 28  | "                       | 108—137                                  | 140—169                                    | 29              | 4—3   | 28,88                      | 16,45  | 20,67  | 3710                       | 0,3778 | "   |
| 29  | "                       | 138—150                                  | 170—182                                    | 12              | 3     | 10,45                      | 17,35  | 20,54  | 1350                       | 0,3625 | "   |
| 30  | 25. 10. 30              | 150—181                                  | 182—213                                    | 31              | 1—3   | 30,35                      | 12,20  | 25,20  | 3150                       | 0,3376 | "   |
| 31  | "                       | 181—218                                  | 213—250                                    | 37              | 3     | 27,17                      | 10,24  | 18,81  | 2040                       | 0,3898 | "   |
| 32  | 26. 10. 30              | 150—166                                  | —  | 16              | 2     | 12,30                      | 16,45  | 14,35  | 925                        | 0,5186 | Schacht                                       |
| 33  | 3. 12. 30               | 380—391                                  | —  | 11              | 4     | 10,38                      | 11,74  | 12,65  | 680                        | 0,4411 | "   |
| 34  | "                       | 391—414                                  | —  | 23              | 3     | 26,38                      | 14,65  | 12,25  | 2470                       | 0,4191 | "   |
| 35  | "                       | 414—459                                  | —  | 25              | 4     | 19,45                      | 19,31  | 15,00  | 2570                       | 0,4562 | "   |
| 36  | "                       | 439—460                                  | —  | 21              | 4—3   | 20,62                      | 16,90  | 18,125 | 2660                       | 0,4211 | "   |
| 37  | 4. 12. 30               | 460—474                                  | —  | 14              | 2—3   | 10,49                      | 10,25  | 13,00  | 625                        | 0,4471 | "   |
| 38  | "                       | 474—497                                  | —  | 23              | 4     | 17,09                      | 15,20  | 19,28  | 2270                       | 0,4533 | "   |
| 39  | "                       | 497—518                                  | —  | 21              | 3     | 18,325                     | 18,85  | 18,40  | 2690                       | 0,4232 | "   |
| 40  | "                       | 518—557                                  | —  | 39              | 4—5   | 39,925                     | 15,60  | 15,83  | 4080                       | 0,4738 | "   |
| 41  | "                       | 557—579                                  | —  | 22              | 3     | 15,40                      | 13,388 | 19,55  | 1750                       | 0,4342 | "   |
| 42  | 7. 12. 30               | —  | 0—13                                       | 13              | 0     | 13,18                      | 18,67  | 12,025 | 780                        | 0,2636 | Westl.v.Turm                                  |
| 43  | "                       | —  | 16—31                                      | 15              | 0—1   | 14,31                      | 14,175 | 13,75  | 800                        | 0,2875 | "   |

## Übersicht über alle Schnee- und Firndichtemessungen (Fortsetzung).

| Nr. | Zeit der Dichte-messung | Tiefe unter der Oberfl. vom 15. 9. 30 em | Tiefe unter der Oberfläche zur Meßzeit em | Mächtigkeit em | Härte | Abmessungen des Firnblocks |        |        | Ge-wicht des Firn-blocks g | Dichte | Lager-stätte des Firn-blocks |
|-----|-------------------------|--|---|----------------|-------|----------------------------|--------|--------|----------------------------|--------|------------------------------|
|     |                         |  |   |                |       | Höhe a em                  | b em   | c em   |                            |        |                              |
| 44  | 10. 12. 30              | —  | 0—5                                       | 5              | —     | 5,18                       | 16,80  | 18,55  | 400                        | 0,2478 | Westl.v.Turm                 |
| 45  | "                       | loser Schnee aus der Ballongrube         | —   | 7,5            | 0     | 7,40                       | 17,25  | 16,38  | 314                        | 0,1502 | Ballongrube                  |
| 46  | 11. 12. 30              | 579—621                                  | —   | 42             | 6     | 43,02                      | 12,90  | 18,94  | 5250                       | 0,4995 | Schacht                      |
| 47  | 28. 12. 30              | 76—98                                    | —   | 22             | 3     | 22,45                      | 6,78   | 13,37  | 762                        | 0,3744 | 25 m westl. d. Wetterhütte   |
| 48  | "                       | 98—108                                   | —   | 10             | 3     | 8,92                       | 8,58   | 11,02  | 312                        | 0,3699 | "                            |
| 49  | 5. 1. 31                | 621—641                                  | —   | 20             | 4     | 18,55                      | 14,81  | 15,08  | 1910                       | 0,4610 | Schacht                      |
| 50  | "                       | 641—670                                  | —   | 29             | 6     | 25,74                      | 12,45  | 14,60  | 2310                       | 0,4937 | "                            |
| 51  | 6. 1. 31                | 670—692                                  | —   | 22             | 6     | 18,45                      | 11,98  | 15,96  | 1740                       | 0,4932 | "                            |
| 52  | "                       | 692—720                                  | —   | 28             | 4     | 26,38                      | 20,16  | 10,29  | 2560                       | 0,4678 | "                            |
| 53  | 7. 1. 31                | —72 bis —42                              | 0—50                                      | 30             | 2—0   | 50,18                      | 21,12  | 20,05  | 3660                       | 0,2864 | 30 m westl. d. Wetterhütte   |
| 54  | "                       | —72 bis —64                              | 0—8                                       | 8              | 2     | 8,43                       | 20,55  | 20,34  | 1080                       | 0,3065 | "                            |
| 55  | "                       | —64 bis —42                              | 8—30                                      | 22             | 1     | 21,35                      | 21,12  | 20,05  | 2500                       | 0,2765 | "                            |
| 56  | "                       | —42 bis —22                              | 30—50                                     | 20             | 2     | 17,63                      | 15,55  | 17,27  | 1550                       | 0,3274 | "                            |
| 57  | "                       | —22 bis —8                               | 50—64                                     | 14             | 2—1   | 12,36                      | 10,16  | 9,95   | 375                        | 0,3001 | "                            |
| 58  | 15. 1. 31               | 720—747                                  | —   | 27             | 6—7   | 27,40                      | 16,61  | 19,92  | 4400                       | 0,4855 | Schacht                      |
| 59  | 18. 1. 31               | 747—787                                  | —   | 41             | 6—7   | 58,38                      | 19,49  | 20,21  | 7420                       | 0,4908 | "                            |
| 60  | "                       | 787—813                                  | —   | 25             | 5     | 23,43                      | 23,51  | 16,91  | 4490                       | 0,4820 | "                            |
| 61  | "                       | 747—760                                  | —   | 13             | 6     | 10,10                      | 20,60  | 19,51  | 1980                       | 0,4878 | "                            |
| 62  | "                       | 760—788                                  | —   | 28             | 7     | 28,27                      | 19,59  | 20,05  | 5445                       | 0,4904 | "                            |
| 63  | 22. 1. 31               | 813—825                                  | —   | 12             | 9     | 10,74                      | 11,10  | 16,64  | 1035                       | 0,5218 | "                            |
| 64  | "                       | 825—835                                  | —   | 10             | 9     | 10,20                      | 11,86  | 13,17  | 820                        | 0,5147 | "                            |
| 65  | "                       | 835—848                                  | —   | 13             | 8     | 12,74                      | 10,10  | 10,91  | 700                        | 0,5986 | "                            |
| 66  | 23. 1. 31               | 848—870                                  | —   | 22             | 6     | 11,81                      | 9,73   | 10,60  | 587                        | 0,4819 | "                            |
| 67  | 2. 2. 31                | 848—857                                  | —   | 9              | 6     | 7,275                      | 10,76  | 14,95  | 564                        | 0,4819 | "                            |
| 68  | "                       | 858—870                                  | —   | 12             | 6     | 9,46                       | 11,29  | 10,85  | 567                        | 0,4893 | "                            |
| 69  | 3. 2. 31                | —90 bis —70                              | —   | 20             | 3     | 19,99                      | 12,75  | 11,51  | 1005                       | 0,5426 | 35 m westl. d. Wetterhütte   |
| 70  | "                       | —70 bis —55                              | —   | 15             | 2     | 12,425                     | 9,30   | 15,51  | 505                        | 0,2818 | "                            |
| 71  | "                       | —55 bis —45                              | 35—45                                     | 10             | 1     | 9,81                       | 9,875  | 12,25  | 322                        | 0,2713 | "                            |
| 72  | "                       | —45 bis —28                              | 45—62                                     | 17             | 3     | 16,175                     | 17,75  | 16,56  | 1680                       | 0,3534 | "                            |
| 73  | "                       | —28 bis 0                                | 62—90                                     | 28             | 1     | 11,00                      | 15,79  | 18,575 | 965                        | 0,2991 | "                            |
| 74  | 5. 2. 31                | 870—888                                  | —   | 18             | 8     | 16,54                      | 15,55  | 16,34  | 2080                       | 0,5041 | Schacht                      |
| 75  | "                       | 888—907                                  | —   | 19             | 9     | 15,19                      | 12,35  | 19,78  | 1935                       | 0,5215 | "                            |
| 76  | "                       | 907—930                                  | —   | 23             | 8     | 14,25                      | 16,24  | 12,375 | 1460                       | 0,5098 | "                            |
| 77  | 9. 2. 31                | 930—955                                  | —   | 25             | 9     | 18,74                      | 12,225 | 14,925 | 1765                       | 0,5162 | "                            |
| 78  | "                       | 955—970                                  | —   | 15             | 8     | 10,31                      | 9,26   | 9,54   | 461                        | 0,5062 | "                            |
| 79  | 10. 2. 31               | —76,5 bis —60                            | 4,5—21                                    | 16,5           | 3     | 16,81                      | 17,625 | 22,29  | 2210                       | 0,5346 | 3 m südl. von Nr. 69         |
| 80  | "                       | —52 bis —36                              | 29—45                                     | 16             | 2     | 13,45                      | 16,09  | 16,675 | 1120                       | 0,3104 | "                            |
| 81  | 26. 2. 31               | 970—989                                  | —   | 19             | —     | 18,375                     | 13,55  | 14,60  | 1880                       | 0,5172 | Schacht                      |
| 82  | "                       | 989—1009                                 | —   | 20             | —     | 18,91                      | 14,46  | 12,625 | 1775                       | 0,5142 | "                            |
| 83  | "                       | 1009—1025                                | —   | 16             | —     | 15,50                      | 11,46  | 8,45   | 770                        | 0,5150 | "                            |
| 84  | 5. 3. 31                | 1025—1040                                | —   | 15             | 10    | 15,625                     | 10,31  | 11,57  | 870                        | 0,5555 | "                            |
| 85  | "                       | 1040—1055                                | —   | 19             | 7     | 17,36                      | 11,68  | 13,01  | 1350                       | 0,5118 | "                            |
| 86  | 10. 3. 31               | 1055—1073                                | —   | 14             | 7     | 12,075                     | 13,825 | 12,45  | 1070                       | 0,5148 | "                            |

## Übersicht über alle Schnee- und Firndichtemessungen (Fortsetzung).

| Nr. | Zeit der Dichte-messung | Tiefe unter der Oberfl. vom 15. 9. 30 cm | Tiefe unter der Oberfläche zur Meßzeit cm | Mächtig-keit cm | Härte | Abmessungen des Firnblocks |        |        | Ge-wicht des Firn-blocks g | Dichte | Lager-stätte des Firn-blocks |
|-----|-------------------------|--|---|-----------------|-------|----------------------------|--------|--------|----------------------------|--------|------------------------------|
|     |                         |  |   |                 |       | Höhe a cm                  | b cm   | c cm   |                            |        |                              |
| 87  | 12. 3. 31               | 1075—1084                                | —   | 12              | 10    | 11,99                      | 7,75   | 10,11  | 505                        | 0,5376 | Schacht                      |
| 88  | "                       | 1084—1105                                | —   | 21              | 10    | 16,56                      | 10,64  | 12,85  | 1220                       | 0,5388 | "                            |
| 89  | "                       | 1105—1119                                | —   | 14              | 8     | 14,+75                     | 11,025 | 15,+6  | 1275                       | 0,5168 | "                            |
| 90  | 19. 3. 31               | 1119—1134                                | —   | 15              | 11    | 11,09                      | 9,625  | 10,92  | 632                        | 0,5422 | "                            |
| 91  | "                       | 1134—1159                                | —   | 25              | 11    | 22,66                      | 14,91  | 12,375 | 2260                       | 0,5405 | "                            |
| 92  | 20. 3. 31               | —90 bis —66                              | 0—24                                      | 24              | 3     | 23,54                      | 16,69  | 16,39  | 2250                       | 0,3494 | 2 m nördl. von Nr. 21        |
| 93  | "                       | —66 bis —52                              | 24—58                                     | 1+              | 2—3   | 14,025                     | 17,525 | 17,39  | 1390                       | 0,3252 |                              |
| 94  | "                       | —52 bis —30                              | 38—60                                     | 22              | 2     | 15,00                      | 20,325 | 21,15  | 1940                       | 0,3009 | "                            |
| 95  | "                       | —30 bis —6                               | 60—84                                     | 24              | 2—1   | 21,+75                     | 14,825 | 14,685 | 1620                       | 0,3+65 | "                            |
| 96  | "                       | —30 bis —21                              | 60—69                                     | 9               | 2     | 8,64                       | 14,81  | 14,86  | 705                        | 0,3708 | "                            |
| 97  | "                       | —21 bis —6                               | 69—84                                     | 15              | 1     | 12,74                      | 14,925 | 14,75  | 910                        | 0,3245 | "                            |
| 98  | "                       | 0—11                                     | 90—101                                    | 11              | 3     | 10,44                      | 11,85  | 16,86  | 835                        | 0,+003 | "                            |
| 99  | "                       | 11—32                                    | 101—122                                   | 21              | 1     | 15,80                      | 13,66  | 13,25  | 900                        | 0,3147 | "                            |
| 100 | 24. 3. 31               | 1159—1172                                | —   | 13              | 8     | 12,79                      | 12,84  | 21,81  | 1880                       | 0,5249 | Schacht                      |
| 101 | 25. 3. 31               | 1172—1194                                | —   | 22              | 9—11  | 19,29                      | 14,46  | 12,925 | 1915                       | 0,5312 | "                            |
| 102 | "                       | 1172—1186                                | —   | 14              | 9     | 13,16                      | 14,65  | 12,94  | 1313                       | 0,5263 | "                            |
| 103 | "                       | 1186—1194                                | —   | 8               | 11    | 6,08                       | 14,12  | 12,95  | 596                        | 0,5361 | "                            |
| 104 | "                       | 1194—1224                                | —   | 30              | 11—9  | 29,375                     | 12,78  | 16,62  | 3555                       | 0,5377 | "                            |
| 105 | 29. 3. 31               | 1224—1243                                | —   | 19              | 9—11  | 18,92                      | 13,40  | 13,66  | 1825                       | 0,5270 | "                            |
| 106 | "                       | 1224—1234                                | —   | 10              | 9     | 9,71                       | 13,65  | 13,25  | 920                        | 0,5239 | "                            |
| 107 | "                       | 1234—1243                                | —   | 9               | 11    | 9,125                      | 13,71  | 13,60  | 910                        | 0,5349 | "                            |
| 108 | 30. 3. 31               | 1243—1278                                | —   | 35              | 12    | 33,59                      | 14,84  | 12,36  | 3420                       | 0,5551 | "                            |
| 109 | 3. 4. 31                | 1278—1289                                | —   | 11              | 12    | 9,44                       | 19,55  | 8,89   | 918                        | 0,5595 | "                            |
| 110 | "                       | 1289—1305                                | —   | 16              | 10    | 15,25                      | 16,525 | 11,26  | 1545                       | 0,5445 | "                            |
| 111 | 9. 4. 31                | 1305—1345                                | —   | 40              | 13    | 28,45                      | 13,65  | 16,375 | 3500                       | 0,5504 | "                            |
| 112 | 13. 4. 31               | 1345—1391                                | —   | 46              | 10—11 | 44,16                      | 13,97  | 16,425 | 5429                       | 0,5358 | "                            |
| 113 | "                       | 1345—1371                                | —   | 28              | 10—11 | 27,24                      | 13,80  | 16,26  | 3269                       | 0,5348 | "                            |
| 114 | "                       | 1371—1391                                | —   | 18              | 10—11 | 17,06                      | 14,05  | 16,49  | 2124                       | 0,5374 | "                            |
| 115 | 23. 4. 31               | 1391—1428                                | —   | 37              | 13    | 35,60                      | 14,925 | 16,175 | 4690                       | 0,5457 | "                            |
| 116 | "                       | 1391—1412                                | —   | 21              | 13    | 19,56                      | 14,89  | 15,875 | 2545                       | 0,5505 | "                            |
| 117 | "                       | 1412—1428                                | —   | 16              | 13    | 15,725                     | 14,85  | 16,31  | 2100                       | 0,5514 | "                            |
| 118 | 25. 4. 31               | —86 bis —67                              | 1—20                                      | 19              | 2—3   | 18,375                     | 20,975 | 18,61  | 2357                       | 0,3286 | 13 m südl. von Nr. 92        |
| 119 | "                       | —67 bis —55                              | 20—52                                     | 32              | 2—3   | 31,40                      | 15,04  | 12,905 | 1980                       | 0,3249 |                              |
| 120 | "                       | —55 bis —12                              | 52—75                                     | 23              | 3     | 20,125                     | 14,93  | 12,61  | 1274                       | 0,3363 | "                            |
| 121 | "                       | —12 bis —1                               | 75—86                                     | 11              | 1—2   | 10,85                      | 14,36  | 16,99  | 805                        | 0,3041 | "                            |
| 122 | 29. 4. 31               | 1428—1448                                | —   | 20              | —     | 19,14                      | 17,275 | 14,075 | 2545                       | 0,5469 | Schacht                      |
| 123 | "                       | 1448—1471                                | —   | 23              | —     | 22,825                     | 16,56  | 17,16  | 3460                       | 0,5355 | "                            |

## 2. Die Groß- und Feinschichtung des Firns.

Schon nach den ersten 7 Dichtemessungen im Wohnraum (Nr. 10 bis 16) erkannte ich, daß die Dichte nicht ununterbrochen mit der wachsenden Tiefe zunahm, sondern regelmäßig schwankte. Im Einklang damit

stand auch die wechselnde Härte der einzelnen Firnabteilungen. Hierzu folgender Tagebuchauszug:

1. 10. 30. „Die wiederkehrende Gesetzmäßigkeit in den Härten, Dichten und Mächtigkeiten der Schichtenfolge macht es sehr wahrscheinlich, daß die zusammengefaßten Schichten Jahresschichten sind. Damit erwächst die Möglichkeit, die früheren jährlichen Niederschläge noch jetzt zu bestimmen. Zunächst muß aber festgestellt werden, ob die Gesetzmäßigkeit nach oben und unten bleibt und in welchen Jahreszeiten die harten und weichen Schichten gebildet worden sind.“

„Im Wohnraum entstanden durch die Wärme ungleichmäßige Abschmelzungen, so daß noch sehr viele Zwischenschichten sichtbar und fühlbar wurden (Vereisungsgrenzen). Mächtigkeiten wenige Millimeter. Hierbei sahen wir auch auskeilende Schichten, also ehemalige Schneewehen. Dagegen waren die oben angegebenen Schichten (150—238 cm, 238—319 cm) überall annähernd gleich dick und keilten nirgends aus, ein Zeichen dafür, daß ihnen eine mehr als zufällige Bedeutung zukommt, nämlich als Ablagerung ganzer Jahreszeiten (Unterschied: Feinschichtung — Großschichtung).“ (Sorge, Tagebuch 2, S. 180.)

Vgl. mit dieser Darstellung die in folgender Zahlenübersicht gegebenen Schichtmächtigkeiten und Härten im Wohnraum und im Schacht (die Horizontalentfernung beider Profile beträgt 7,5 m).

#### Firnhärtungen und Schichtmächtigkeiten.

| Wohnraum |              | Schacht      |       | Tiefe unter<br>der Oberfläche<br>vom 15. 9. 50<br>cm |
|----------|--------------|--------------|-------|--|
| Härte    | Dicke<br>cm  | Dicke<br>cm  | Härte |  |
| —        | —            | >+1          | +     |  |
| 5        | —            | 8            | 5     |  |
| 1        | }15          | 6}16         | 2     |  |
| 1        |              |              | 2     |  |
| 1—2      | 15           | 14           | 5     | 165  |
| 2        | 17           | 6}17         | 2     |  |
|          |              | 11           | 2     |  |
| 5        | 41           | 55}++        | 5—+   |  |
|          |              | 11           | 4     |  |
| 2        | 15           | 10           | 5     |  |
| 1—2      | 14           | 15           | 2     |  |
| 4        | 54           | 47           | 4     |  |
| 2—5      | 26           | 28           | 2—5   |  |
| +        | 55           | +5           | +     | 581  |
|          | Summe 215 cm | Summe 216 cm |       |  |

Die späteren Dichtemessungen ergaben immer wieder regelmäßige Schwankungen der Dichte mit wachsender Tiefe, so daß an der allgemeinen Gesetzmäßigkeit dieser Erscheinung nicht mehr gezweifelt werden konnte. Es entstand nun die Aufgabe, möglichst genau die Grenzen zwischen den dichten und weniger dichten Schichten herauszufinden. Ein

ausgebildetes Verfahren lag dafür nicht vor, da von früheren Expeditionen die Jahresschichtung des Firns noch nicht erkannt worden war, ja sogar die Feinschichtung, die durch die einzelnen Schneewehen verursacht wird, nur in den obersten Metern wahrgenommen worden ist. Diesbezügliche Untersuchungen wurden unter anderem von Koch und Wegener 1913 bei ihrer Durchquerung gemacht. Damals wurden an zwei Stellen des Firngebietes Löcher ausgehoben, das eine Mal von 6 m Tiefe, das zweite Mal von 7 m Tiefe. Koch sagt über die Firnschichtung folgendes:

5. 6. 13. „Die Schichtung im Firn wird nach unten immer mehr verwischt und ist in der Wand eines frisch gegrabenen Loches nur undeutlich zu sehen, und kommt erst besser heraus, wenn das Loch einige Zeit der Einwirkung der Luft ausgesetzt gewesen ist. Dennoch ist die Schichtung ganz ausgeprägt vorhanden, was sich beim Graben herausstellt, indem die Blöcke oft in Scheiben zerfallen, entsprechend den horizontalen Schichtgrenzen. An der Grenze zwischen den Scheiben sieht man dann meist, daß sich hier die Korngröße ändert.“ (Koch und Wegener, S. 321.)

„In dem weitaus überwiegenden Teil unserer Route waren die Verhältnisse überall so wie bei de Quervain auf den 3 höchsten Zeltplätzen. Hier war die Jahresschichtung im Firn auch bei Grabungen nicht mehr feststellbar.“ (Koch und Wegener, S. 323.)

„Vergleichen wir diese Schichtung mit dem, was sonst unter Firnschichtung verstanden wird, so wäre es richtiger zu sagen: der Firn des grönlandischen Inlandeises besitzt überhaupt keine Schichtung. Schon in den obersten Lagen ist diese Schichtung ja nur mit Mühe zu erkennen, und sie verliert sich um so mehr, je tiefer man geht. Jahresgrenzen gibt es überhaupt nicht.“ (Koch und Wegener, S. 324.)

In Eismitte wurden zum Auffinden der Schichtgrenzen (Fein- und Großschichtung) im Laufe des Winters mehrere Verfahren entwickelt, deren Verwendbarkeit von Fall zu Fall verschieden war.

#### A. Untersuchung der Firnhärte.

Schon beim Bau des Wohnraumes stellte es sich heraus, daß die dichtenen Schichten im allgemeinen etwas härter waren als die benachbarten weniger dichten Schichten. Zum Auffinden der Schichtgrenzen diente zunächst einfach ein gespitzter Bleistift, der in die Firnwand hineingedrückt wurde und den Wechsel der Härte deutlich anzeigen. Durch genaues Abtasten der Firnwand konnten die Grenzen der Großschichtung von 165 bis 345 cm tief auf wenige Zentimeter genau bestimmt werden. Später genügte der Bleistift allein nicht mehr. Dann wurde die Härte mit Messer, Dolch, Holzpflöcken, Fuchsschwanzsäge und Beil festgestellt. Immer wieder verrieten sich die Schichtgrenzen durch den Wechsel der Härte. Bis 7 m Tiefe ist dies Verfahren sehr einfach und sicher; in größeren Tiefen wurde es nach und nach schwieriger. Für die verschiedenen Härtegrade des Verfahrens wurde folgende Abstufung festgesetzt, die sich in natürlicher Weise beim Fortgang der Arbeiten im Schacht entwickelte (vgl. die Tafel der Firndichten):

- H 1: Man kann mühelos einen Finger in den Firn hineinbohren.
- H 2: Man kann mühelos einen angespitzten Bleistift hineindrücken.
- H 3: Man kann mit Mühe einen angespitzten Bleistift hineindrücken.
- H 4: Ein angespitzer Bleistift läßt sich nicht mehr hineindrücken. Das Schneemesser und die Fuchsschwanzsäge lassen sich ohne große Mühe hineinstoßen.
- H 5: Schneemesser und Fuchsschwanzsäge lassen sich schwer hineinstoßen.
- H 6: Schneemesser und Fuchsschwanzsäge lassen sich nur mit großer Kraft einige Zentimeter tief hineinstoßen; dabei Gefahr des Abbrechens der Klinge oder des Sägeblattes.
- H 7: Man kann Firnblöcke aus der Firnwand noch mit der Säge herausägen.
- H 8: Äußerste Grenze für das Firnsägen im Schacht. Mit unseren Tischmessern aus Stahl kann man nicht mehr hineinstoßen oder ein Stück herausschneiden.
- H 9: Nur noch mit dem Beil kann man den Firn zertrümmern; dies kann man aber sehr leicht. Man kann die Säge mit voller Kraft noch einseitig durch den Firn reißen.
- H 10: Der Firn im Schacht ist nur noch mit dem Beil zu bearbeiten.

Von besonderer Bedeutung und sehr auffallend war der Härteunterschied in den Tiefen von 7 bis 9 m. Das Verhalten der Säge gegenüber harten und weichen Schichten war so charakteristisch verschieden, daß der Unterschied zwischen Sommer- und Winterschichten deutlicher war als in allen anderen Tiefen. In Schichten der Härte H 8 bis H 9 klemmte die Säge beim Sägen sehr bald und gewann nur durch einseitiges Reißen nach derselben Seite und durch Daraufdrücken mit der Hand auf das Sägeblatt an Tiefe. Traf die Säge dagegen eine Schicht der Härte H 6, so schnitt sie an der Grenze plötzlich mehrere Zentimeter tief leicht ein. Offenbar sind die Luftzwischenräume bei Schichten der Härte H 8 bis H 9 schon so klein, der Kornverband ist so fest, daß das Sägemehl (ähnlich wie Mehlstaub oder Puderzucker) nicht seitlich ausweichen kann, sondern die Säge festklemmt. In Schichten der Härte H 6 dagegen bildete sich kein Mehlstaub, sondern ein Gemenge größerer Körner. Die Säge reißt eine breite Furche und klemmt nicht. Nirgends sonstwo ist der Härteunterschied an den Schichtgrenzen größer als in der Tiefe von 7 bis 8 m. Auf die Bedeutung dieser Tatsache wird später hingewiesen.

Der Unterschied in der Härte betraf hauptsächlich die Großschichtung, also das, was im Laufe des Winters als Jahresschichtung erkannt wurde. Zwar erwiesen sich auch die feinen, wenige Zentimeter oder Millimeter mächtigen Schichten, die die Ablagerungen der einzelnen Schneestürme darstellen, als etwas verschieden hart. Größere Sprünge in der Härte traten aber gewöhnlich dann auf, wenn die Dichte wechselte, und zwar wurden

die harten und dichten Firnschichten als Winterablagerungen, die weicheren und weniger dichten Schichten als Sommerablagerungen erkannt. Gründe für diese Zuordnung werden weiter unten gegeben werden.

### B. Sichtbare Schichtgrenzen.

Wie schon Koch und Wegener betonten, sind nur in den obersten Metern die Grenzen der Feinschichtung sichtbar. Diese Grenzen werden noch deutlicher sichtbar, wenn der Firn einige Tage der Luft ausgesetzt ist. Im Wohnraum und im Schacht bildeten sich durch verschiedenes schnelles Herausfallen und Verdunsten von Firnkörnern kleine Schichtstufen von 1 bis 2 mm, so daß aus ursprünglich ebenen Wandflächen nach einigen Wochen die widerstandsfähigsten Schichten herausragten und der Wand ein streifenförmiges Aussehen gaben. Im Wohnraum wurde diese Streifung durch fortschreitende Vereisung noch stärker betont. Im Schacht, wo während der Arbeitszeit eine rußende Petroleumlampe brannte, drang der Ruß in die Schichten verschieden stark ein und machte sie dadurch verschieden dunkel. So erschienen die Firnschichten alsbald wunderbar deutlich gebändert. Die Betrachtung des Firs im ursprünglichen Schichtverbande macht zwar die Feinschichtung, aber nicht die Jahresschichtung erkennbar.

### C. Beobachtung des Firs im durchscheinenden Lichte.

Die beim Zurechtschneiden der Blöcke entstehenden dünnen Firnplatten von 1 bis 2 cm Stärke führten in natürlicher Weise dazu, diese Platten vor die Lampe zu halten und im durchscheinenden Lichte zu betrachten. Gewöhnlich hatten diese Platten ein streifiges Aussehen, das aber mit der Firnschichtung nichts zu tun hat, sondern vom Sägen herführt. An der Schnittfläche haften von dem Durchsägen her feine zermahlene Firnreste, die das streifenartige Aussehen verursachen. Man kann dem leicht durch Abwischen mit einem Tuche abhelfen. Dann kam im durchscheinenden Lichte die Feinschichtung des Firs außerordentlich deutlich zum Vorschein. An den Grenzen der einzelnen Schichten lagen, im Querschnitt gesehen, die Firnkörner oft reihenweise perlchnurartig aneinander gereiht, während sie sonst innerhalb der einzelnen Schichten völlig regellos lagen. Dies Verfahren zeigt, wie das zweite, nur die Feinschichtung, nicht die Jahresschichtung, an.

### D. Beobachtung des geringeren Zusammenhangs an den Schichtgrenzen.

Beim Hinwerfen von Schnee- oder Firnblöcken zerfallen sie manchmal in einzelne Platten. Viel feiner kann man diesen Zerfall beim Zersägen beobachten. In Eismitte wurden oft von Firnblöcken 1—2 cm

dünne Platten quer zu den Schichtgrenzen abgesägt. Schon während des Sägens platzten durch die kleinen Erschütterungen des Blockes die schon abgetrennten Plattenteile ab, und zwar stets an Schichtgrenzen (s. Abb. 15).

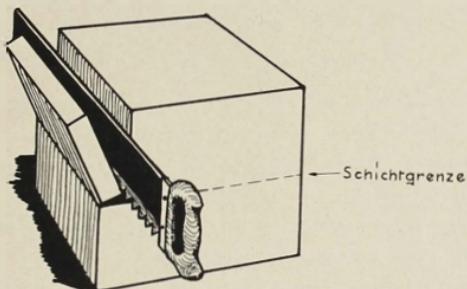


Abb. 15. Das Abplatzen einer Firnscheibe an einer Schichtgrenze beim Sägen.

Man kann dieses Abplatzen durch einen geringen seitlichen Druck mit dem Sägeblatt besonders leicht hervorrufen. Schneidet man dagegen parallel zu den Schichten, so platzt die Platte nicht eher ab, bevor sie nicht ganz abgesägt ist.

#### E. Verschiedene Wasseraufnahmefähigkeit des Firns.

Durch Hineinlegen einer Firnplatte in Wasser wird die Feinschichtung bis in große Tiefen wunderbar deutlich. Schon beim senkrechten Eintauchen der Firnplatte ziehen die verschiedenen Schichten das Wasser verschieden

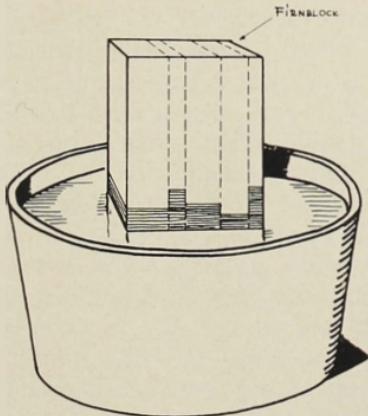


Abb. 16. Verschieden schnelles Aufsaugen von Wasser in verschiedenen Firnschichten.

schnell hoch (s. Abb. 16). Wenn der Block sich ganz voll Wasser gesogen hat, am besten, wenn er im Wasser liegt, erscheinen helle und dunkle Streifen scharf voneinander unterschieden. Für die Feinschichtung ist

dies das beste Verfahren. Es ist bis 10 m Tiefe unbedingt anwendbar. Blöcke aus größerer Tiefe erscheinen, voll Wasser gesogen, meist vollständig gleichartig. Nur vereinzelt wurden noch feine Linien, also Feinschichtgrenzen, beobachtet.

#### F. Messung der Korngröße.

Die Sommerschichten enthalten etwas größere Körner als die Winterschichten. Bis 3,50 m Tiefe lassen sich auf diese Weise die Schichtgrenzen recht genau finden. Die äußerste Grenze der Anwendbarkeit dieses Verfahrens liegt in 6 m Tiefe, da in noch größeren Tiefen die Korngrößen sich nur schwer unterscheiden lassen. Aber in Einzelfällen ist dieses Verfahren in Verbindung mit anderen auch noch in größeren Tiefen anwendbar. Die Korngrößenbestimmung wird im Abschnitt über Firnkörper geschildert.

#### G. Auffinden der Schichtgrenzen durch Polieren des Firns mit der warmen Hand.

Dieses einfache Verfahren erwies sich als sehr praktisch und machte die Feinschichtung überraschend deutlich sichtbar. Sehr wesentlich für die Erkennung der Schichtgrenzen ist eine gute Beleuchtung, so daß die Firnflächen sowohl in auffallendem als auch im durchscheinenden Lichte betrachtet werden. Es ist erstaunlich, wieviel Schichten in einem anscheinend gleichartigen Block sichtbar werden, wenn der polierte Block vor der Lampe hin und her gedreht wird.

#### H. Dichtemessung.

Dieses Verfahren, das oben schon beschrieben wurde, gibt zwar die Grenzen nicht genau an, dafür aber die Jahresschichtung am sichersten von allen Verfahren. Die Dichteschwankungen zeigen einwandfrei die Jahresschichtung an, geben aber nicht auf 1 cm genau an, wo die Grenzen der Großschichtung liegen. Zu deren Bestimmung dienten am praktischsten die anderen Verfahren. Zwar könnte man durch Häufung von Dichtemessungen auch die Jahresschichtgrenzen beliebig genau bestimmen, doch wäre dieses Verfahren sehr zeitraubend und lohnte nicht die damit verbundene große Arbeit. Im übrigen ist der Begriff „Grenze von Sommer- und Winterschicht“ bei der Bildung der Niederschläge seiner Natur nach nicht genau festgelegt, denn diese Grenze wird je nach der Witterung zu etwas verschiedener Jahreszeit in der Natur gebildet. Je nachdem, wann und wie die Niederschläge im Frühjahr und Herbst fallen, bilden sich die jahreszeitlichen Grenzen verschieden aus. Dies ist auch bei dem Vergleich mit der jahreszeitlichen Verteilung der Niederschläge anderer Stationen zu beobachten. Das Vorhandensein der Feinschichtung

als Erzeugnis der einzelnen Schneestürme macht hin und wieder die Wahl schwierig, wohin die Grenze zwischen Sommer und Winter am richtigsten zu legen ist. Manche Feinschichten stehen in ihren Eigenschaften zwischen Winter- und Sommerschichten. Doch berührt dies nicht die Sicherheit der Unterscheidbarkeit der Jahreszeiten und auch nicht den langjährigen Durchschnittswert des Zuwachses. —

Nachdem die Dichtemessungen vom 30. September 1930 das Vorhandensein der Jahresschichtung ergeben hatten, wurde bei den späteren Dichtemessungen sorgfältig darauf geachtet, die Firnblöcke nicht willkürlich, sondern so aus dem Schacht herauszuschneiden, daß sie entweder eine ganze Sommer- oder Winterschicht darstellten, oder wenigstens am oberen oder unteren Ende von einer jahreszeitlichen Schichtgrenze begrenzt wurden. Manchmal konnte die Schichtgrenze im Schacht wegen schlechter Beleuchtung und mangelnden Platzes nicht mit Sicherheit festgestellt werden. Dann wurde bei der Dichtemessung ein Block gemessen und gewogen, der zwei Schichten angehörte. Nachdem die Schichtgrenze im Wohnraum dann nach einem der acht Verfahren gefunden war, wurde der Block längs der Schichtgrenze zerschnitten und die Dichte der Teilstücke bestimmt. Stets entsprach das Ergebnis dieser Dichtemessungen der vorausgesagten Zuordnung der Teilstücke zu einer Sommer- oder Winterschicht, d. h. der härteren und feinkörnigeren Abteilung kam auch die größere Dichte zu. Diese Messungen dienten außerdem zu fortgesetzten Proben der Meßgenauigkeit. Das Herausfinden der tieferen jahreszeitlichen Grenzen nach den acht verschiedenen Verfahren wurde wesentlich erleichtert, nachdem erst eine gewisse Ordnung in der Schichtenfolge festgestellt war. So genügte meist schon eine Untersuchung der Firnhärte im Schacht — das Feingefühl dafür steigerte sich im Laufe des Winters außerordentlich —, um mit Sicherheit die Schichtgrenzen zu finden. In Zweifelfällen gaben die schnell anwendbaren Verfahren 3, 4, 5, 7 alsbald den Ausschlag.

Da von der Jahresschichtung des Firs im grönlandischen Inlandeis im Gegensatz zu den alpinen Firngebieten mit dem Auge nichts wahrzunehmen ist, und Anzeichen für die Jahresschichtung mit Ausnahme der obersten Schicht früher noch nie bemerkt worden waren, benutzte ich jede Gelegenheit, mein Urteil mit dem meiner Kameraden zu vergleichen. Denn es war wichtig, ob verschiedene Beobachter unabhängig voneinander die Jahresschichtung des Firs ebenfalls erkennen würden.

Unabhängige Prüfungen lieferten im Laufe des Winters Loewe und Georgi. Häufig brachte Sorge Firnblöcke und dünne Firnplatten aus den verschiedensten Tiefen hin zu Loewe, der wegen seiner erfrorenen Füße

die ganze Zeit im Schlafsack liegen mußte. Bei der Beleuchtung durch die Petroleumlampe konnte Loewe die Schichtgrenzen ohne Mühe einwandfrei feststellen.

Ferner führte ich Georgi mehrmals in den Schacht und ließ ihn mit Messer, Dolch, Spaten oder Säge durch Untersuchen der Härteunterschiede Grenzen zwischen harten und weichen Schichten heraussuchen, um für sein persönliches Gefühl eine unabhängige Probe und Prüfung zu gewinnen. Georgis Gefühl war fein genug, um bis 13 m Tiefe die geringen Unterschiede zwischen harten und weichen Schichten wahrzunehmen. Die Begrenzung der Jahreszeitenschichten durch Georgi stimmte mit den von mir vorher festgestellten überein.

In der Tiefe zwischen 907 und 1040 cm konnte die Trennung von Sommer- und Winterschichten nicht mit Sicherheit durchgeführt werden, da die Härteunterschiede besonders klein waren und unregelmäßig wechselten. Die Dichteunterschiede wechselten dementsprechend ebenfalls unregelmäßig. Daher wurde darauf verzichtet, eine Einteilung in Sommer- und Winterschichten für die Tiefe von 907 bis 1040 cm anzugeben. Erst bei 1040 cm Tiefe beginnt wieder die regelmäßige Großschichtung. Mit Sicherheit darf angenommen werden, daß der Firn von 907 bis 1040 cm Tiefe die Ablagerungen zweier Jahre darstellt. Dafür spricht einwandfrei die Wasserhöhe von 68,5 cm, die sehr gut mit den Wasserhöhen je zweier benachbarter Jahresschichten übereinstimmt.

Nach den besprochenen Verfahren konnte in allen übrigen Fällen die Einteilung in Sommer- und Winterschichten von der Oberfläche bis in 1345 cm Tiefe durchgeführt werden. In noch größerer Tiefe waren zwar auch Härte- und Dichteunterschiede festzustellen; die sichere Unterscheidung zwischen Sommer- und Winterschichten und insbesondere die Grenzen dieser Schichten können jedoch nicht mehr verbürgt werden, da die Zeit zur Untersuchung im Frühjahr 1931 zu knapp war. Bei einer künftigen Untersuchung wird man die Jahresschichten bis in noch größere Tiefen verfolgen können. Hervorzuheben ist dabei, daß eine erhebliche Zeit erforderlich ist, um die feinen Unterschiede in den Firneigenschaften in größeren Tiefen mit Sicherheit herauszufinden.

Wie schon erwähnt, wurden die harten und dichten Schichten als Winterablagerungen, die weichen und weniger dichten Schichten als Sommerablagerungen bezeichnet. Diese Einteilung soll nun begründet werden.

Nachdem durch den vierzehnmaligen Wechsel von harten dichten und weichen weniger dichten Schichten 7 Jahresschichten bestimmt worden waren, traf ich bei 501,5 bis 503 cm, also in einer Tiefe, die nach der bis dahin gemachten Einteilung einer Sommerschicht (497—518 cm) zuzuordnen war, eine echte Eisschicht, in der die Luftblasen nicht mehr zusammenhingen (s. Abb. 17). Das Eis war klar und gut durch-

sichtig. Die Schicht war nur in 30 cm Breiten- und 10—15 cm Längen-erstreckung aus Eis und ging dann in eine Firnschicht gleicher Mächtigkeit allmählich über. Mit der Briefwaage wurde ein herausgeschnittenes Eisstückchen von 12 g Gewicht gewogen. Das Volumen dieses Eisstückchens wurde durch Eintauchen in ein Meßglas, außerdem noch durch Ausmessen seiner ungefähr prismatischen Gestalt bestimmt. Da das Stück Eis nur klein war, sind die Dichtewerte nicht so genau wie bei den Firndichtemessungen. Drei Messungen ergaben für die Dichte des Eisstückchens die Werte 0,90, 0,89 und 0,93, d. h. also im Mittelwert etwa die Dichte von reinem Eis. Die einzelnen voneinander getrennten sehr kleinen Luftblasen, die in dem Eisstückchen enthalten waren, erfüllten im

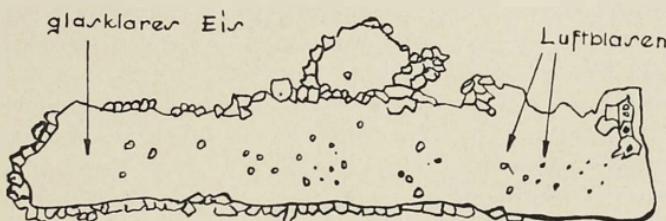


Abb. 17. Eisstück in Eismitte (501,5 bis 503 cm Tiefe)

(natürliche Größe)

nach der Natur gezeichnet von E. Sorge.

Verhältnis zur Eismenge des Gesamtstückes einen verschwindend kleinen Raum (s. Abb. 17). Durch die Beobachtung und Ausmessung dieses Eisstückes wird die Zuordnung der Schicht 497 bis 518 cm als Sommerschicht völlig sichergestellt, denn die Eisschicht kann sich an der Oberfläche nur an so warmen Tagen gebildet haben, daß die Temperatur der Schneeoberfläche  $0^{\circ}$  geworden ist. Nachträglich stellte sich bei der Durchsicht des Dansk Meteorologisk Aarbog heraus, daß das Jahr 1923, in dem sich die Eisschicht in Eismitte gebildet haben muß, auch nach den Beobachtungen der grönlandischen Küstenstationen einen recht warmen Sommer gehabt hat, so daß die Beobachtung der Eisschicht in Eismitte sehr gut dazu paßt.

Nach allen Temperaturnmessungen, die von Georgi und mir während der Beobachtungszeit vom 30. Juli 1930 bis 7. August 1931 gemacht worden sind, waren Luft-, Schnee- und Firntemperaturen stets unter  $0^{\circ}$ . Das absolute Maximum der Lufttemperatur betrug  $-2,7^{\circ} \text{ C}$ , das der Schneeoberfläche war etwas wärmer, aber Schmelzerscheinungen konnten nicht beobachtet werden. Im Schacht wurde von der Oberfläche bis 15 m Tiefe nur die oben geschilderte Eisschicht gefunden. Oberflächentemperaturen von  $0^{\circ}$  scheinen also im Mittelpunkt Grönlands nur äußerst selten vorzukommen.

Eine zweite Bestätigung dafür, daß die harten und dichten Schichten den Winterzuwachs darstellten, ergaben unsere eigenen Beobachtungen an der sich neu bildenden Schicht des Winters 1930/31. Dazu folgender Tagebuchauszug:

1. 10. 12. 30. „Mir scheint jetzt gesichert, daß eine harte und weiche Schicht zusammen den Jahreszuwachs darstellt. Der regelmäßige Wechsel in Härte, Dichte und Korngröße, die gleiche Größenordnung dieser Doppelschichten und die Eiseinlagen in den als Sommerzuwachs angesehenen grobkörnigen Schichten, sowie die direkte dauernde Beobachtung der sich bildenden feinkörnigen, harten und dichten Winterschicht sind Gründe für diese Anschauung.“

2. 10. 12. 30. „Dichtemessungen a) von Schnee, der durch Schneefegen in die Ballongrube geweht wurde; b) von Schnee in Lee der Schneewehe unseres Turmes. Aus dem Unterschiede erkennt man die Wirkung des Windes (zusammenpreszend). Vielleicht röhren die größeren Firndichten der Winterschicht von der größeren winterlichen Windstärke her.“

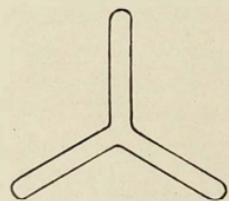


Abb. 18. Schneekorn vom  
20. April 1931.

sie im Winter im Zentralgebiet zu finden sind. Da dies noch neu ist, müssen noch weitere Beobachtungen darüber gemacht werden. Daher will ich vorsichtigerweise zunächst nur sagen, daß die Härte und Dichte der Winterschichten durch die winterlichen Einflüsse des Zentralgebiets bewirkt wird. Die größere Windhäufigkeit kann z. B. durch Schneefegen die Körner öfter umlagern und daher verkleinern (durch Verdunstung und Abschiff). Tiefe Temperaturen verhindern das Zusammenbacken. Starke Temperaturwechsel bewirken auch ein starkes Zusammensacken des Firns. Im Winter, und nicht im Sommer, sind die Temperaturschwankungen am größten ( $40^{\circ}\text{C}$  und mehr). Die langsameren Temperaturschwankungen (2 bis 3 Tage) im Winter dringen viel tiefer ein, als die täglichen Temperaturschwankungen im Sommer.“

4. 19. 2. 31. „Wir stellen wiederum, wie schon oft, fest, daß die Schneedecke vom letzten Schneesturm außerordentlich hart ist, so daß man beim Gehen nur schwache Spuren hinterläßt und gar nicht einsinkt.“

5. 20. 4. 31. „Nachmittags laufe ich auf Skiern zum 5-km-Schneemann und befestige dort einen Zettel. Der ältere Schnee ist so hart, daß man nur schwache Spuren der Lappenschuhe (Lederstiefel aus Lappland, sogenannte Komager) sieht. Darauf liegt der gestern und heute bei wenig Wind und etwa  $-20^{\circ}\text{C}$  gefallene Neuschnee, der sehr weich ist, so weich, daß er an den Skiern backt. Ich laufe daher nur 3,5 km auf Skiern, stelle sie dort hin und gehe dann zu Fuß bis 5 km. Es schneite. Die Sommerschicht des Zuwachses scheint zu beginnen. Der Schnee zeigt bereits Skelettbildung, meist dreieckig (siehe Abb. 18). Das trägt wohl auch zur geringen Dichte und Härte mit bei. Der Winterschnee ist ausnahmslos sehr feinkörnig und bleibt erst beim Abflauen der Winterstürme liegen. Den Unterschied sieht man jetzt gut, wo Stellen alten und neuen Schnees nebeneinander zu sehen sind.“

6. 30. 4. 31. „3 cm Neuschnee gefallen. Sechsstrahlige Sterne!“

7. 1. 5. 31. „Ich lese morgens Termin ab. Vormittags längere Zeit draußen bei nur  $-13^{\circ}\text{C}$ . Mittelmäßiges Schneefegen. Der durch Schneefegen umgelagerte Schnee besteht z. T. aus Sternen, z. T. aus Stäbchen, z. T. aus Körnern und ist sehr weich, so daß ich beim Gehen stets bis auf die darunterliegende harte Winteroberfläche trete. Wenn man diese Wandlung der Schneebeschaffenheit erlebt, ist einem auch klar, daß die Winterschichten dichter sein müssen; oder besser umgekehrt: daß man an der größeren Dichte, Feinkörnigkeit und Härte die Winterschichten erkennen kann.“

Zur Unterstützung der Beobachtungen über die Bildung der winterlichen Schneedecke wurde vom Januar 1931 an, in Abständen von etwa einem Monat, die Dichte der Jungschneeschicht gemessen. Diese Schneedichtemessungen erstreckten sich jedesmal von der jeweiligen Oberfläche bis zu der Oberfläche vom 15. September 1930. Die Messungen erfolgten nach demselben Verfahren wie die Firndichtemessungen, also durch Herausschneiden, Ausmessen und Abwiegen von Schneeblocken. Allerdings war der Zusammenhalt der Schneeblocke an Feinschichtgrenzen vielfach so locker, daß die Schneeblocke auf der Tischplatte nicht immer nach den drei verschiedenen Richtungen gekippt werden konnten, ohne ihre Struktur zu verändern. Es blieb in solchen Fällen nichts anderes übrig, als den Schneeblock aus seiner ursprünglichen Lage vorsichtig mit der waagerecht gehaltenen Fuchsschwanzsäge herauszuheben, auf die Sperrholzplatte zu legen und ihn dann ohne jede weitere Berührung und Veränderung seiner Lage auszumessen und zu wiegen. Das Ausmessen der Länge und Breite in waagerechter Richtung hatte eine etwas geringere Genauigkeit als die Ausmessung der Höhe. Daher sind diese Schneedichtemessungen nicht so genau wie die Firndichtemessungen. Der durchschnittliche Fehler der einzelnen Schneedichtemessungen wird 5—10 Einheiten der dritten Dezimalstelle betragen.

In der nachfolgenden Zahlenübersicht sind die systematischen Schneedichtemessungen (die in der Hauptübersicht auch schon enthalten sind) nebst einigen Bemerkungen und Angaben über die Härte, Korngröße und den Wasserwert nebeneinandergestellt.

Bei der Veränderung der Dichtewerte läßt sich schwer eine Gesetzmäßigkeit feststellen. Gut zueinander passen die Messungen vom 3. Februar und 20. März, während die beiden anderen Messungen (vom 7. Januar und 25. April) kaum dieselben Schichten wiedererkennen lassen. Die starken Abweichungen in den Dichten der einzelnen Abteilungen des Winterniederschlags sind nicht auf Meßgenauigkeiten zurückzuführen, sondern offenbar darauf, daß die vier verschiedenen Messungen jedesmal an verschiedenen Stellen der Schneeoberfläche stattfanden. Will man die Veränderung der Dichte mit der Zeit verfolgen, so steht man vor einer doppelten Schwierigkeit, die sich durch das Verfahren des Herausschneidens von Schneeblocken nicht lösen läßt. Denn dadurch, daß an einer Stelle

Die Jungschneeschicht in Eismitte zu vier verschiedenen Zeiten.

| 7. Januar 1931   |                        |       |                       |        | 3. Februar 1931 |                        |       |                       |         | 20. März 1931 |                        |       |                       |        | 25. April 1931 |                        |         |                       |        |                       |                |                        |         |                       |        |                       |  |  |
|--|------------------------|-------|-----------------------|--------|-----------------|------------------------|-------|-----------------------|---------|---------------|------------------------|-------|-----------------------|--------|----------------|------------------------|---------|-----------------------|--------|-----------------------|----------------|------------------------|---------|-----------------------|--------|-----------------------|--|--|
| Tiefe<br>em  | Mächtig-<br>keit<br>em | Härte | Korn-<br>größen<br>mm | Dichte | Tiefe<br>em     | Mächtig-<br>keit<br>em | Härte | Korn-<br>größen<br>mm | Dichte  | Tiefe<br>em   | Mächtig-<br>keit<br>em | Härte | Korn-<br>größen<br>mm | Dichte | Tiefe<br>em    | Mächtig-<br>keit<br>em | Härte   | Korn-<br>größen<br>mm | Dichte | Wasser-<br>wert<br>em | Tiefe<br>em    | Mächtig-<br>keit<br>em | Härte   | Korn-<br>größen<br>mm | Dichte | Wasser-<br>wert<br>em |  |  |
| Schneeoberfläche   |                        |       |                       |        |                 |                        |       |                       |         |               |                        |       |                       |        |                |                        |         |                       |        |                       |                |                        |         |                       |        |                       |  |  |
| „Schnee“   |                        |       |                       |        |                 |                        |       |                       |         |               |                        |       |                       |        |                |                        |         |                       |        |                       |                |                        |         |                       |        |                       |  |  |
| 0-8  | 8                      | 2     | <0,1                  | 0,3065 | 2,4520          | 0-20                   | 20    | 3                     | <0,1    | 0,3426        | 6,8520                 | 0-24  | 24                    | 3      | <0,1           | 0,3494                 | 8,3856  | 0-20                  | 20     | 2-3                   | 0,1-0,2        | 0,3286                 | 6,5720  |                       |        |                       |  |  |
| 8-30   | 22                     | 0,5   | 0,1-0,2               | 0,2765 | 6,0830          | 20-35                  | 15    | 2                     | 0,1-0,2 | 0,2818        | 4,2270                 | 24-38 | 14                    | 2-3    | 0,1-0,2        | 0,3252                 | 4,5528  | 20-52                 | 32     | 2-3                   | 0,1-0,2        | 0,3249                 | 10,3968 |                       |        |                       |  |  |
| „Firnschnee“, bereits fester verbacken                   |                        |       |                       |        |                 |                        |       |                       |         |               |                        |       |                       |        |                |                        |         |                       |        |                       |                |                        |         |                       |        |                       |  |  |
| 30-50  | 20                     | 2     | 0,3-0,6               | 0,3274 | 6,5480          | 35-45                  | 10    | 1                     | 0,1-0,2 | 0,2713        | 2,7130                 | 38-60 | 22                    | 2      | 0,1-0,25       | 0,3009                 | 6,6198  | 52-75                 | 23     | 3                     | 0,3            | 0,33625                | 7,7398  |                       |        |                       |  |  |
| Lockere Schichtgrenze, deutlicher                        |                        |       |                       |        |                 |                        |       |                       |         |               |                        |       |                       |        |                |                        |         |                       |        |                       |                |                        |         |                       |        |                       |  |  |
| Sprung der Korngröße                                     |                        |       |                       |        |                 |                        |       |                       |         |               |                        |       |                       |        |                |                        |         |                       |        |                       |                |                        |         |                       |        |                       |  |  |
| 50-72  | 22                     | 1-2   | 0,7-1,5               | 0,3001 | 6,6022          | 45-62                  | 17    | 3                     | 0,4-0,8 | 0,3534        | 6,0078                 | 60-89 | 9                     | 2      | 0,2-0,5        | 0,3708                 | 3,3372  | 69-90                 | 21     | 1                     | 0,3-0,7<br>1,3 | 0,3245                 | 6,8145  |                       |        |                       |  |  |
| Die Körner sind schon zu echtem Firn zusammengekittet    |                        |       |                       |        |                 |                        |       |                       |         |               |                        |       |                       |        |                |                        |         |                       |        |                       |                |                        |         |                       |        |                       |  |  |
| Von 30-72 em schon zusammen-<br>gekittet zu echtem Firn  |                        |       |                       |        |                 |                        |       |                       |         |               |                        |       |                       |        |                |                        |         |                       |        |                       |                |                        |         |                       |        |                       |  |  |
| Bei 62 cm Sprung der Korngröße,<br>lockere Schichtgrenze |                        |       |                       |        |                 |                        |       |                       |         |               |                        |       |                       |        |                |                        |         |                       |        |                       |                |                        |         |                       |        |                       |  |  |
| mit Sprung der Korngröße                                 |                        |       |                       |        |                 |                        |       |                       |         |               |                        |       |                       |        |                |                        |         |                       |        |                       |                |                        |         |                       |        |                       |  |  |
| Schnereoerfläche vom 15. September 1930                  |                        |       |                       |        |                 |                        |       |                       |         |               |                        |       |                       |        |                |                        |         |                       |        |                       |                |                        |         |                       |        |                       |  |  |
| Summe der Wasserhöhen                                    |                        |       |                       |        | 21,6852         |                        |       |                       |         |               | 28,1746                |       |                       |        |                |                        | 29,7099 |                       |        |                       |                |                        | 28,0477 |                       |        |                       |  |  |
| Mittel der Dichten                                       |                        |       |                       |        | 0,3012          |                        |       |                       |         |               | 0,3131                 |       |                       |        |                |                        | 0,3801  |                       |        |                       |                |                        | 0,3261  |                       |        |                       |  |  |

Schneeblöcke herausgeschnitten worden sind, verliert diese Stelle ihren ursprünglichen Naturzustand. Die Grube wird durch das nächste Schneefegen ausgefüllt. Durch das Betreten der Schneeoberfläche durch den Menschen wird die Dichte gleichfalls verändert. Es ist daher unmöglich, zu einer späteren Zeit an derselben Stelle die Schneedichte im Naturzustand noch einmal zu messen. Notgedrungen muß man daher die Messungen an einer entfernten Stelle wiederholen, wo eine Störung des Naturzustandes durch Herumlaufen von Menschen und Hunden oder durch Aufgrabungen noch nicht eingetreten ist. Es ist nun erklärlich, daß die Schneedichte der obersten Schichten von Ort zu Ort ziemlich erheblich wechseln kann, denn der Schnee wird ja nicht in einer gleichmäßigen Schicht, sondern in Form von Schneewehen verschiedener Härte und Dicke abgelagert. In größeren Tiefen dagegen werden sich die Firndichten gleicher Tiefe von Ort zu Ort viel weniger ändern, da im Laufe der Jahre die ursprünglich weniger dichten Schichten durch die Belastung der hängenden Schichten schneller zusammengepreßt werden als die ursprünglich dichteren Schichten. Darum müssen sich die ursprünglich erheblichen Dichteunterschiede der Schneeoberfläche mit wachsender Tiefe immer mehr ausgleichen. Dies wurde auch überall bei den Firndichtemessungen in einer 2 m tiefen Grube, im Wohnraum und im Schacht bestätigt gefunden.

Obwohl die vier Schneedichtemessungen in ihrem Vergleichswert also beschränkt sind, zeigen sie doch im ganzen das zu erwartende Ergebnis, daß die Schneedichte im Laufe des Winters erheblich zunimmt: rund von 0,30 bis 0,33. Von der Sommerschicht des Jahres 1930 unterscheidet sich die Dichte der Winterschicht 1930/31 nicht wesentlich. Die Dichtemessungen an der Winterschicht 1930/31 können also nicht als Bestätigung für die sonst durchweg gefundene Tatsache dienen, daß die Winterschichten dichter sind als die benachbarten Sommerschichten. Diese Abweichung von dem normalen Verhältnis der Schichten liegt sicherlich an dem anormal hohen Dichtewert der Sommerschicht von 1930, der beträchtlich größer ist als z. B. die Dichte der Sommerschicht von 1929. Woher der besonders hohe Dichtewert der Sommerschicht von 1930 röhrt, kann nicht entschieden werden; es mag sein, daß diese Schicht an der einzigen Meßstelle ausnahmsweise dicht war, und daß eine größere Anzahl von Messungen dieser Schicht ein kleineres Dichtemittel ergeben hätte. Die Sicherheit in der Unterscheidung zwischen Sommer- und Winterschichten ist aber durch sehr viele andere Beobachtungen gestützt, so daß diese eine Unregelmäßigkeit die fundene Gesetzmäßigkeit nicht beeinträchtigt.

Als Gesamtergebnis der Firndichtemessungen zusammen mit den verschiedenen Verfahren zur Bestimmung der Schichtgrenzen ergibt sich die folgende Einteilung des Firnes in Jahresschichten.

## Jahresschichten des Firns

| 1<br>Zeit<br>der<br>Ab-<br>lage-<br>rung<br>der<br>Schich-<br>ten | 2<br>Tiefe der<br>Sommer- und Win-<br>terschich-<br>ten unter<br>der Ober-<br>fläche<br>vom<br>15. 9. 30 | 3<br>Schicht-<br>tiefe der<br>einzelnen<br>Mes-<br>sungen | 4<br>Dichte<br>der<br>ein-<br>zelnen<br>Mes-<br>sungen | 5<br>Wasser-<br>höhe<br>der<br>ein-<br>zelnen<br>Mes-<br>sungen | 6<br>Wasser-<br>höhe<br>einer<br>Jahres-<br>zeiten-<br>schicht | 7<br>Dichte<br>einer<br>Jahres-<br>zeiten-<br>schicht | 8<br>der Einzel-<br>messung | 9<br>der Jahreszei-<br>tenschicht | 10<br>der Jahresschicht | 11<br>Härte<br>nach<br>der<br>Ein-<br>teilung<br>auf<br>S. 99 |
|---|--|---|--|---|--|---|-----------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---|
| 1930<br>S.  | 0—32   | 0—11<br>11—32   | 0,3398<br>0,3150                                       | 3,7378<br>6,6150  | 10,3528  | 0,3235  | 11<br>21                    | 32<br>56                          |                         | 3—2   |
| W.  | 32—56  | 32—56   | 0,3801   | 9,1224  | 9,1224   | 0,3801  | 24                          | 24                                |                         | 3   |
| 1929<br>S.  | 56—76  | 56—76   | 0,2970   | 5,9400  | 5,9400   | 0,2970  | 20                          | 20                                |                         | 1—2   |
| W.  | 76—150   | 76—98<br>98—108<br>108—150                                | 0,3744<br>0,3699<br>0,3765                             | 8,2368<br>3,6999<br>15,8130                                     | 27,7497  | 0,3750  | 22<br>10<br>42              | 74                                | 94                      | 5   |
| 1928<br>S.  | 150—197  | 150—165<br>165—180<br>180—197                             | 0,3186<br>0,3387<br>0,3725                             | 4,7790<br>5,0805<br>6,3325                                      | 16,1920  | 0,3445  | 15<br>15<br>17              | 47                                | 88                      | 2   |
| W.  | 197—238  | 197—238   | 0,4332   | 17,7612   | 17,7612  | 0,4332  | 41                          | 41                                |                         | 3   |
| 1927<br>S.  | 238—265  | 238—251<br>251—265  | 0,4011<br>0,3326                                       | 5,2143<br>4,6564  | 9,8707   | 0,3656  | 13<br>14                    | 27                                | 81                      | 2   |
| W.  | 265—319  | 265—319   | 0,4290   | 23,1660   | 23,1660  | 0,4290  | 54                          | 54                                |                         | 4   |
| 1926<br>S.  | 319—345  | 319—345   | 0,3973   | 10,3298   | 10,3298  | 0,3973  | 26                          | 26                                |                         | 2—3   |
| W.  | 345—391  | 345—380<br>380—391  | 0,4494<br>0,4411                                       | 15,7290<br>4,8521   | 20,5811  | 0,4474  | 35<br>11                    | 46                                | 72                      | 4   |
| 1925<br>S.  | 391—414  | 391—414   | 0,4191   | 9,6393  | 9,6393   | 0,4191  | 23                          | 23                                |                         | 3   |
| W.  | 414—439  | 414—439   | 0,4562   | 11,4050   | 11,4050  | 0,4562  | 25                          | 25                                | 48                      | 4   |
| 1924<br>S.  | 439—460  | 439—460   | 0,4211   | 8,8+31  | 8,8431   | 0,4211  | 21                          | 21                                |                         | 2—3   |
| W.  | 460—497  | 460—474<br>474—497  | 0,4471<br>0,4533                                       | 6,2594<br>10,4259   | 16,6853  | 0,4509  | 14<br>23                    | 37                                | 58                      | 4   |

## in Eismitte.

| 12  | 13                             | 14                        | 15                  | 16           | 17             | 18   | 19   | 20                                  | 21   |
|---|--------------------------------|---------------------------|---------------------|--------------|----------------|--|--|-------------------------------------|--|
| Dichtezunahme<br>in Einheiten der<br>4. Dezimale zwischen<br>zwei aufeinander-<br>folgenden |                                |                           | Firnkorngrößen      |              |                | Wasser-<br>höhe<br>der<br>Jahres-<br>schicht | Summe<br>der<br>Wasser-<br>höhen der<br>Jahres-<br>schichten | Dichte<br>der<br>Jahres-<br>schicht | Dich-<br>te-<br>zu-<br>nahme<br>in<br>Ein-<br>heiten<br>der<br>4.<br>Dezi-<br>male |
| Jahres-<br>zeiten-<br>schich-<br>ten  | Som-<br>mer-<br>schich-<br>ten | Winter-<br>schich-<br>ten | klein-<br>ste<br>mm | größte<br>mm | mittlere<br>mm | em   | em   | em                                  |  |
| 566   | 265                            |                           | 0,1                 | 2,1          | 0,8—0,9        |  |  |                                     |  |
|   |                                |                           | 0,1                 | 1,1          | 0,5—0,6        | 19,4752                                      | 19,4752  | 0,3478                              | 106  |
| 780   | 51                             |                           | 0,2                 | 1,5          | 0,7            |  |  |                                     |  |
|   |                                |                           | 0,1                 | 1,3          | 0,5—0,7        | 55,6897                                      | 53,1649  | 0,3584                              | 274  |
| 887   | 475                            |                           | 0,2                 | 1,8          | 0,9            |  |  |                                     |  |
|   |                                |                           | 0,2                 | 1,3          | 0,7—0,9        | 53,9532                                      | 87,1181  | 0,3858                              | 221  |
| 634   | 211                            |                           | 0,2                 | 2,8          | 1,0—1,4        |  |  |                                     |  |
|   |                                |                           | 0,1                 | 1,2          | 0,5—0,7        | 53,0367                                      | 120,1548   | 0,4079                              | 214  |
| 501   | 42                             |                           | 0,3                 | 1,8          | 0,9            |  |  |                                     |  |
|   |                                |                           | 0,1                 | 1,1          | 0,5—0,6        | 50,9109                                      | 151,0657   | 0,4293                              | 91   |
| 571   | 317                            |                           | 0,2                 | 1,5          | 0,8—0,9        |  |  |                                     |  |
|   |                                |                           | 0,05                | 1,4          | 0,5—0,5        | 21,0443                                      | 172,1100   | 0,4584                              | 17   |
| 298   | 184                            |                           | 0,2                 | 1,8          | 0,9            |  |  |                                     |  |
|   |                                |                           | 0,1                 | 1,1          | 0,5—0,6        | 25,5284                                      | 197,6384   | 0,4401                              | 160  |
| 21  | 218                            |                           | 0,1                 | 2,0          | 0,7—0,9        |  |  |                                     |  |
|   |                                |                           | 0,05                | 1,4          | 0,5—0,7        |  |  |                                     |  |
| 55  | 88                             |                           | 0,1                 | 2,0          | 0,7—0,9        |  |  |                                     |  |
|   |                                |                           | 0,05                | 1,4          | 0,5—0,7        |  |  |                                     |  |

## Jahresschichten des Firns

| 1<br>Zeit<br>der<br>Ab-<br>lage-<br>rung<br>der<br>Schich-<br>ten | 2<br>Tiefe der<br>Sommer- und Win-<br>terschichten<br>unter der Ober-<br>fläche vom<br>15. 9. 50<br>em | 3<br>Schicht-<br>tiefe der<br>einzelnen<br>Mes-<br>sungen                      | 4<br>Dichte<br>der<br>ein-<br>zelnen<br>Mes-<br>sungen             | 5<br>Wasser-<br>höhe<br>der<br>ein-<br>zelnen<br>Mes-<br>sungen       | 6<br>Wasser-<br>höhe<br>der<br>ein-<br>zelnen<br>Jahres-<br>zeiten-<br>schicht | 7<br>Dichte<br>einer<br>Jahres-<br>zeiten-<br>schicht | Mächtigkeit                 |                                 |                         | 11<br>Härte<br>nach<br>der<br>Einteilung<br>auf<br>S. 99 |
|---|--|--|--|---|--|---|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------|--|
|   |  |  |  |   |  |   | 8<br>der Einzel-<br>messung | 9<br>der Jahreszeit-<br>schicht | 10<br>der Jahresschicht |  |
| 1925<br>S.  | 497—518  | 497—518  | 0,4232   | 8,8872  | 8,8872   | 0,4232  | 21                          | 21                              | 60                      | 5  |
|   | 518—557  | 518—557  | 0,4738   | 18,4782   | 18,4782  | 0,4738  | 59                          | 59                              |                         | 5  |
| 1922<br>S.  | 557—579  | 557—579  | 0,45+2   | 9,552+  | 9,552+   | 0,45+2  | 22                          | 22                              | 64                      | 5—4  |
|   | 579—621  | 579—621  | 0,4995   | 20,9790   | 20,9790  | 0,4995  | +2                          | +2                              |                         | 6  |
| 1921<br>S.  | 621—641  | 621—641  | 0,+610   | 9,2200  | 9,2200   | 0,+610  | 20                          | 20                              | 71                      | +  |
|   | 641—692  | 641—670<br>670—692   | 0,4937<br>0,4932   | 14,3175<br>10,850+  | 25,1677  | 0,4955  | 29<br>22                    | 51                              |                         | 6  |
| 1920<br>S.  | 692—720  | 692—720  | 0,+678   | 15,098+   | 15,098+  | 0,4678  | 28                          | 28                              | 96                      | +  |
|   | 720—788  | 720—747<br>747—788   | 0,4855<br>0,4908   | 15,1031<br>20,1228  | 53,2259  | 0,4886  | 27<br>+1                    | 68                              |                         | 6—7  |
| 1919<br>W.  | 788—815  | 788—815  | 0,4820   | 12,0500   | 12,0500  | 0,4820  | 25                          | 25                              | 60                      | 5  |
|   | 815—848  | 815—825<br>825—855<br>855—848  | 0,5218<br>0,5147<br>0,4986   | 6,2616<br>5,1470<br>6,4818  | 17,890+  | 0,5112  | 12<br>10<br>15              | 35                              |                         | 8—9  |
| 1918<br>S.  | 848—875  | 848—858<br>858—875   | 0,4819<br>0,4893   | 4,8190<br>8,5181  | 15,1371  | 0,4866  | 10<br>17                    | 27                              | 59                      | 6  |
|   | 875—907  | 875—888<br>888—907   | 0,50+1<br>0,5215   | 6,5555<br>9,9085  | 16,4618  | 0,514+  | 15<br>19                    | 32                              |                         | 9  |
|   |  | 907—950<br>950—955<br>955—970<br>970—989<br>989—1009<br>1009—1025<br>1025—1040 | 0,5098<br>0,5162<br>0,5062<br>0,5172<br>0,5142<br>0,5150<br>0,5553 | 11,725+<br>12,9050<br>7,5950<br>9,8268<br>10,2840<br>8,2080<br>8,0295 | 68,5717  | 0,5156  |                             |                                 | 133                     |  |

## in Eismitte (Fortsetzung).

| 12   | 13                             | 14                        | 15                  | 16           | 17             | 18   | 19   | 20                                  | 21   |
|--|--------------------------------|---------------------------|---------------------|--------------|----------------|--|--|-------------------------------------|--|
| Dichtezunahme<br>in Einheiten der<br>4. Dezimale zwischen<br>zwei aufeinander-<br>folgenden<br>Jahres-<br>zeitschich-<br>ten |                                |                           | Firnkorngrößen      |              |                | Wasser-<br>höhe<br>der<br>Jahres-<br>schicht | Summe<br>der<br>Wasser-<br>höhen der<br>Jahres-<br>schichten | Dichte<br>der<br>Jahres-<br>schicht | Dich-<br>te-<br>zu-<br>nahme<br>in<br>Ein-<br>heiten<br>der<br>4.<br>Dezi-<br>male |
|  | Som-<br>mer-<br>schich-<br>ten | Winter-<br>schich-<br>ten | klein-<br>ste<br>mm | größte<br>mm | mittlere<br>mm | em   | cm   |                                     |  |
| 506  | 21                             | 229                       | 0,1                 | 2,1          | 1,0—1,1        | 27,3654                                      | 225,0058   | 0,4561                              | 160  |
|  | 110                            |                           | <0,05               | 1,6          | 0,4—0,6        |  |  |                                     | 209,5  |
| 653  | 257                            |                           | 0,1 ?               | 2,0          | 1,5—1,7        | 30,5314                                      | 255,5352   | 0,4771                              |  |
|  | 268                            |                           | 0,1 ?               | 1,7          | 0,7—0,8        |  |  |                                     | 72,5   |
| 525  | —60                            |                           | 0,2 ?               | 2,1          | 0,8—0,9        | 34,5877                                      | 289,9229   | 0,4845                              |  |
|  | 68                             |                           | 0,1 ?               | 2,0          | 0,5—0,6        |  |  |                                     | 18   |
| 208  | —49                            |                           | 0,1 ?               | 1,8          | 0,7—1,0        | +6,5243                                      | 336,2472   | 0,4823                              |  |
|  | 142                            |                           | 0,4 ?               | 1,5          | 0,6—0,8        |  |  |                                     | 165  |
| 292  | 226                            |                           | ?                   | 1,2          | 0,6—0,8        | 29,9404                                      | 366,1876   | 0,4990                              |  |
|  | 45,6                           |                           | ?                   | 1,1          | 0,5—0,6        |  |  |                                     | 27   |
| 278,4  | 32                             |                           | ?                   | 1,5          | 0,6—0,8        | 29,5989                                      | 395,7865   | 0,5017                              |  |
|  |                                |                           | ?                   | 1,2          | 0,6            |  |  |                                     |  |
|  |                                |                           |                     |              |                | 68,5717                                      | 464,5582   | 0,5156                              |  |

## Jahresschichten des Firns

| 1<br>Zeit<br>der<br>Ab-<br>lage-<br>rung<br>der<br>Schich-<br>ten | 2<br>Tiefe der<br>Sommer-<br>und Win-<br>terschich-<br>ten unter<br>der Ober-<br>fläche<br>vom<br>15. 9. 30 | 3<br>Schicht-<br>tiefe der<br>einzelnen<br>Mes-<br>sungen | 4<br>Dichte<br>der<br>ein-<br>zelnen<br>Mes-<br>sungen | 5<br>Wasser-<br>höhe<br>der<br>ein-<br>zelnen<br>Mes-<br>sungen | 6<br>Wasser-<br>höhe<br>der<br>ein-<br>zelnen<br>Mes-<br>sungen | 7<br>Dichte<br>einer<br>Jahres-<br>zeiten-<br>schicht | 8<br>Mächtigkeit<br>der Einzel-<br>messung | 9<br>der Jahreszei-<br>tenschicht | 10<br>der Jahresschicht | 11<br>Härte<br>nach<br>der<br>Ein-<br>teilung<br>auf<br>S. 99 |
|---|---|---|--|---|---|---|--|-----------------------------------|-------------------------|---|
| 1915<br>S.  | 1040-1073   | 1040—1059<br>1059—1073                                    | 0,5118<br>0,5148                                       | 9,7242<br>7,2072  | 16,9314   | 0,5131  | 19<br>14                                   | 33                                | 65                      | 7   |
| W.  | 1073-1105   | 1073—1084<br>1084—1105                                    | 0,5376<br>0,5588                                       | 5,9131<br>11,5148   | 17,2279   | 0,5384  | 11<br>21                                   | 32                                | 65                      | 10  |
| 1914<br>S.  | 1105-1119   | 1105—1119   | 0,5168   | 7,2352  | 7,2352  | 0,5168  | 14   | 14                                | 5+                      | 8   |
| W.  | 1119-1159   | 1119—1134<br>1134—1159                                    | 0,5422<br>0,5405                                       | 8,1330<br>13,5125   | 21,6455   | 0,5411  | 15<br>25                                   | +0                                | 5+                      | 11  |
| 1913<br>S.  | 1159-1186   | 1159—1172<br>1172—1186                                    | 0,5249<br>0,5263                                       | 6,8237<br>7,3682  | 14,1919   | 0,5256  | 13<br>14                                   | 27                                | 60                      | 8—9   |
| W.  | 1186-1219   | 1186—1194<br>1194—1219                                    | 0,5361<br>0,5377                                       | 4,2888<br>13,4425   | 17,7313   | 0,5373  | 8<br>25                                    | 33                                | 70                      | 11  |
| 1912<br>S.  | 1219-1243   | 1219—1243   | 0,5270   | 12,6480   | 12,6480   | 0,5270  | 24   | 24                                | 70                      | 9—11  |
| W.  | 1243-1289   | 1243—1278<br>1278—1289                                    | 0,5551<br>0,5595                                       | 19,4285<br>6,1545   | 25,5830   | 0,5562  | 35<br>11                                   | 46                                | 70                      | 12  |
| 1911<br>S.  | 1289-1305   | 1289—1305   | 0,5445   | 8,7120  | 8,7120  | 0,5445  | 16   | 16                                | 56                      | 10  |
| W.  | 1305-1345   | 1305—1345   | 0,5504   | 22,0160   | 22,0160   | 0,5504  | +0   | 40                                | 56                      | 13  |

## in Eismitte (Fortsetzung).

| 12                        | 13                 | 14                | 15             | 16        | 17          | 18                             | 19  | 20                        | 21   |
|---------------------------|--------------------|-------------------|----------------|-----------|-------------|--------------------------------|---|---------------------------|--|
| Jahres-zei-ten-schich-ten | Som-mer-schich-ten | Winter-schich-ten | Firnkorngrößen |           |             | Wasser-höhe der Jahres-schicht | Summe der Wasser-höhen der Jahres-schichten | Dichte der Jahres-schicht | Dich-te-zu-nahme in Ein-hei-ten der 4. Dezi-male |
|                           |                    |                   | klein-ste mm   | größte mm | mittlere mm | cm                             | cm  |                           |  |
| 252,7                     | 37                 | 277               |                |           |             | 34,1593                        | +98,5175                                    | 0,5255                    | 93   |
| 245                       | 88                 |                   |                |           |             | 28,8807                        | 527,3982                                    | 0,53+8                    | -27  |
| 117                       | 14                 | -38+              |                |           |             | 31,9232                        | 559,3214                                    | 0,5321                    | 141  |
| 292                       | 175                | 189               |                |           |             | 58,2310                        | 597,5524                                    | 0,5+62                    | 25   |
| 59                        |                    | -58               |                |           |             | 30,7280                        | 628,2804                                    | 0,5+87                    |  |

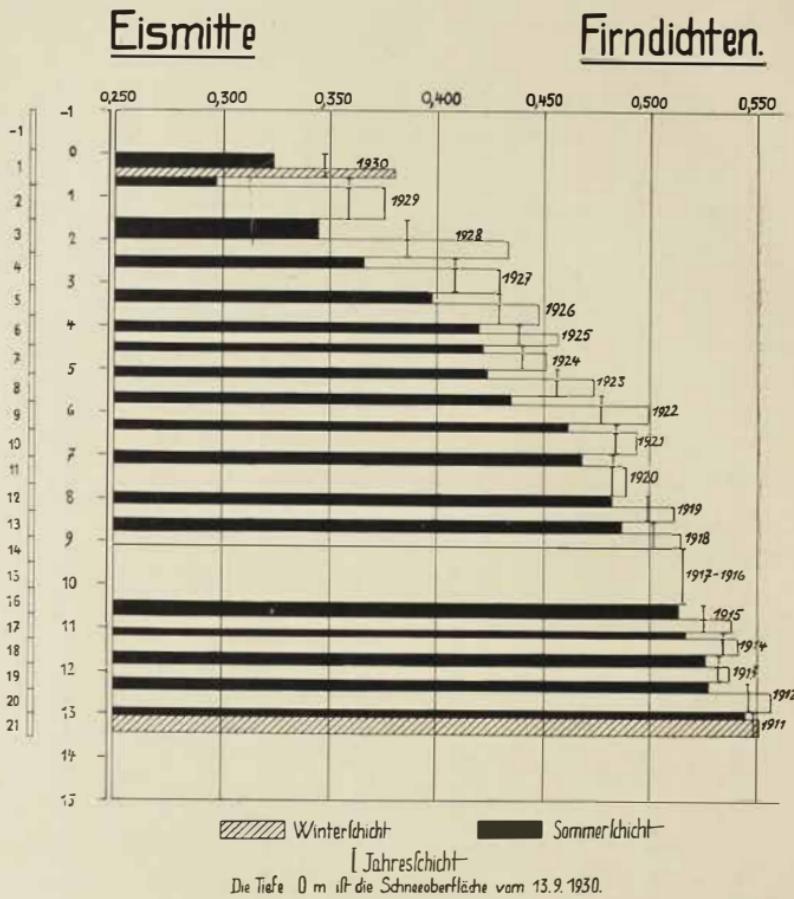


Abb. 19.

Die einzelnen Jahress Mengen schwanken aus verschiedenen Gründen:

1. Der tatsächliche Zuwachs ist nicht in allen Jahren gleich groß.
2. Ein und dieselbe Jahresablagerung ist von Ort zu Ort etwas verschieden, da der Schnee nicht in gleichmäßigen Schichten, sondern in Form von Schneewehen abgelagert wird. Wäre der Schacht an einer anderen Stelle in der Umgebung von Eismitte gebaut worden, so wären die einzelnen Jahresschichten etwas verschieden gegenüber den in Eismitte gefundenen ausgefallen. Die Summe von 20 Jahresschichten wird aber durch die örtliche Verschiedenheit der einzelnen Schneewehenablagerungen nicht beeinflußt. Die Summe durch 20 geteilt, stellt einen sehr genauen

Mittelwert des jährlichen Zuwachses dar. Danach beträgt der mittlere Jahreszuwachs in Eismitte 31,4 cm Wasserhöhe.

Ein Vergleich mit anderen grönlandischen Stationen ergibt folgende Werte für den „Zuwachs“ bzw. „Niederschlag“:

|   |            |
|---|------------|
| 1. Eismitte 1911—31                                     | 31,4 cm    |
| 2. de Quervain 1912                                     |            |
| westliche Hälfte der Durchquerung                       | 36,2 „     |
| östliche „ „ „  | 33,6 „     |
| 3. Koch-Wegener 1913                                    |            |
| westliche Hälfte der Durchquerung                       | 35,3 „     |
| östliche „ „ „  | 15,9 „     |
| 4. Koch-Wegener 1913                                    |            |
| 7 Zeltplätze im Zentralgebiet über<br>2900 m, im Mittel | 20,9 „     |
| 5. Borg 1912/13, geschätzt                              | 23,0 „     |
| 6. Danmarkshavn 1906—08                                 | 14,6 „     |
| 7. Drygalski 1892/93, Karajak                           | 10,8 „ (!) |
| 8. Upernivik, langjähriges Mittel                       | 26,0 „     |
| 9. Jacobshavn, „ „ „                                    | 21,5 „     |
| 10. Angmagssalik, „ „ „                                 | 91,0 „     |
| 11. Godthaab „ „ „                                      | 67,0 „     |

Auf die Schwierigkeiten, den Schneefall, der in Grönland den größten Teil des meteorologischen Niederschlags bildet, zu messen, soll hier nicht eingegangen werden. Der Vergleich der Niederschläge lehrt, daß diese von de Quervains Durchquerungsweg über Eismitte bis nach Koch und Wegeners Weg abnehmen. Die allgemein beobachtete Abnahme der Niederschläge von Süd- nach Nordgrönland wird damit bestätigt.

Um die örtliche Verschiedenheit eines in Bildung befindlichen Jahreszuwachses zu untersuchen, wurde während der Überwinterung zu zwei verschiedenen Zeiten die Schichtdicke der Winterschicht von 1930/31 in der Umgebung von Eismitte gemessen. Diese Schichtdicke wurde durch Sondierung mit einer in Millimeter eingeteilten 2 m langen starren Stahlsonde (Flexometer) an vielen Stellen ausgelotet. Die Oberfläche vom 15. September 1930 war ein wenig verharscht und durch Hineinstechen der Stahlsonde in den Jungschnee an den meisten Stellen deutlich von der darüberliegenden Lockerschicht unterschieden. „Allerdings mußte ich an vielen Stellen fünf- bis zehnmal im Umkreis von 2 bis 3 m einstechen, um die Schichtgrenze sicher zu treffen.“ (Tagebuch 3, 10. 2. 31, Sorge.) Zur Sicherheit wurden nur solche Meßstellen benutzt, bei denen die Oberfläche vom 15. September 1930 einwandfrei festzustellen war. Die Meßstellen waren jedesmal 15 Doppelschritte oder rund 20 m voneinander entfernt

und lagen in der Umgebung von Eismitte, so, wie die Abb. 20 darstellt. Die Mächtigkeit der Jungschneeschicht seit dem 15. September 1930 ist durch die angeschriebenen Zahlen in Zentimetern angegeben, und zwar bedeuten die nicht in Klammern stehenden Zahlen den Zuwachs bis zum 10. Februar 1931, die in Klammern stehenden Zahlen den Zuwachs bis zum 5. April 1931. Da die Meßstellen nicht sichtbar auf der Schneeoberfläche bezeichnet wurden, so decken sich die Meßpunkte der Wiederholungsmessung nur angenähert mit denen der ersten Messung. Einige Schneemächtigkeiten in der Nähe der Burg sind durch die große Schneemenge

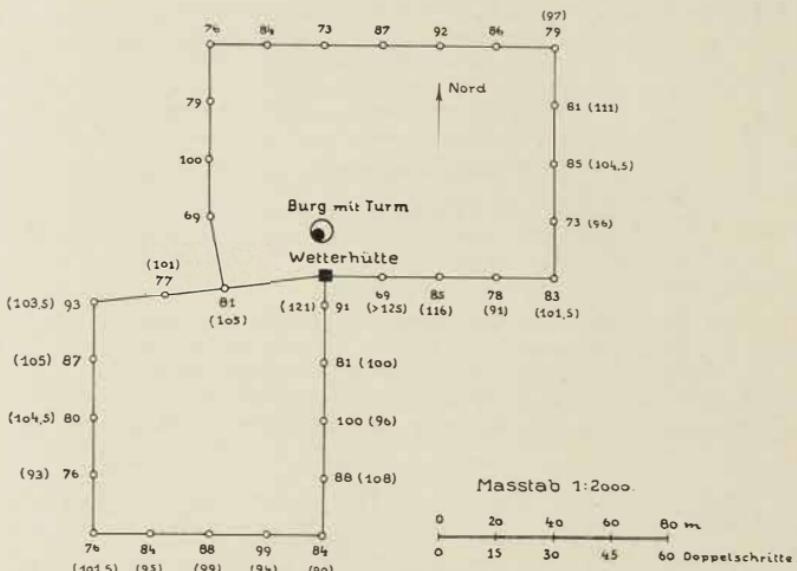


Abb. 20.

wehe rings um unsere Bauten unnatürlich groß ausgefallen. Diese vier Meßstellen in der Schneewehe unserer Bauten scheiden natürlich hier aus, wo der ungestörte Schneezuwachs an verschiedenen Stellen verglichen wird. Zur Sicherheit sollen sogar nur diejenigen Meßpunkte bei dem Vergleich berücksichtigt werden, die mindestens 80 m von der Burg entfernt sind. Die Messungen zeigen, daß der Schneezuwachs an den 20 m entfernten Meßstellen merkbar schwankt, und zwar um folgende Beträge in Zentimetern:

10. 2. 31. { SW-Viereck: -6, -7, -4, 0, 8, 4, 11, -15.  
                   { NO-Viereck: -10, 12, -4, -2, 7, 6, -5, -14, 11, -8.  
 5. 4. 31.     { SW-Viereck: 1,5, -0,5, -11,5, 8,5, -6,5, 4, -5, -4.  
                   { NO-Viereck: -5,5, 8,5, 6,5, -14.

Bei der Messung vom 10. Februar beträgt die durchschnittliche Abweichung in den Schneehöhen von Punkt zu Punkt 7,4 cm, bei der Messung vom 5. April nur noch 6,3 cm. Hierin ist wohl bereits angedeutet, daß die Schneemächtigkeit von Ort zu Ort sich um so mehr angleicht, je mehr sie anwächst.

Die Schwankungen der Jungschneemächtigkeit von 20 zu 20 m Entfernung geben einen gewissen Anhalt dafür, welche Genauigkeit durch eine einzelne Schneepiegelabmessung zu erreichen ist. Der Jahreszuwachs wurde ja auch von der Weststation bis nach Eismitte von 20 zu 20 km Entfernung durch eingestckte Bambusstangen gemessen, und zwar an jeder Beobachtungsstelle nur an einer Bambusstange (vgl. Band I, S. 153 bis 171: Die Schneepiegelbeobachtungen). Die so erhaltenen Ablesungen geben wegen der ungleichmäßigen Ablagerung des Schnees in Form von Schneeweheen den Jahreszuwachs auf etwa 5—10 cm genau, d. h. hätten wir in der Umgebung eines jeden Schneepiegels noch mehrere andere aufgestellt, so wären innerhalb jeder Gruppe von zusammengehörigen Schneepiegeln die Ablagerungen um 5—10 cm verschieden gewesen. Andere Gründe, warum auf die Zentimetergenauigkeit in den Jahressummen des Zuwachses kein übertriebenes Gewicht gelegt werden darf, sind in dem Abschnitt über „Schneepiegelbeobachtungen“ mitgeteilt.

3. Das, was in dem Schachtprofil als Jahresschicht bezeichnet wird, stellt nicht genau den Zuwachs in je einem Jahr dar, denn die Grenzen zwischen Sommer- und Winterschichten werden in der Natur je nach der Witterung zu etwas verschiedenen Jahreszeiten gebildet. Fallen zum Beispiel im Herbst bei geringer Windstärke und hohen Temperaturen große Schneemengen, so vergrößern sie die Mächtigkeit der „Sommerschicht“; fällt dagegen zu dieser selben Jahreszeit unter anderen Witterungsverhältnissen der Schnee in Form sehr kleiner, dicht gepreßter Schneekörper, so gehört dieser Niederschlag später zu einer „Winterschicht“. Es ist also nicht möglich, ein bestimmtes Datum für den Beginn und das Ende einer jeden Winter- und Sommerschicht anzugeben. Nach unseren Beobachtungen in Eismitte bildete sich die Winterschicht 1930/31 zwischen Mitte September 1930 und Mitte April 1931. J. P. Koch und A. Wegener nehmen an (Koch und Wegener, 1930, S. 376), „daß die untere Grenze des Jungschnees etwa dem Beginn des September entsprechen wird“. Bei der Abgrenzung der Jahreszeiten wird im folgenden unter „Sommer“ die Zeit vom 16. April bis 15. September, unter „Winter“ die Zeit vom 16. September bis 15. April verstanden. Dies dürfte am besten mit der in Eismitte angetroffenen Schichteneinteilung übereinstimmen.

4. Schließlich besteht ein gewisser Spielraum bei der Festsetzung der Schichtgrenzen, da die Großschichtung noch durch die Feinschicht unterteilt wird. Infolgedessen bleibt hin und wieder die Möglichkeit offen, die Grenze der Jahreszeiten einige Zentimeter höher oder tiefer anzusetzen.

Manche Feinschichten stehen in ihren Eigenschaften zwischen Winter- und Sommerschichten, so daß die Entscheidung nicht leicht fällt, welcher Jahreszeit man sie zuordnen soll. Doch bewirken diese möglichen Abweichungen nur geringe Veränderungen und berühren gar nicht die Sicherheit der Unterscheidbarkeit der Großschichtung und ebensowenig den Durchschnittswert des Jahreszuwachses.

Rechnet man den Zuwachs aller Sommerschichten für sich und ebenso den aller Winterschichten für sich zusammen, so erhält man (1917—1916 wird fortgelassen, da die Jahreszeiten nicht erkennbar waren):

Summe von 18 Sommerschichten 197 cm,  
Summe von 18 Winterschichten 363 cm,

d. h. vom Gesamtniederschlag entfallen 35% auf die Sommerschichten und 65% auf die Winterschichten. Die geringe Unsicherheit in der Abgrenzung einzelner Jahresschichten beeinträchtigt die Summen nicht. Das Ergebnis ist also für den Zuwachs des Inlandeises in der Umgebung von Eismitte als kennzeichnend anzusehen. Wir wollen nun andere grönländische Stationen zum Vergleich heranziehen. Dazu wurde das Jahr, ebenso wie bei der Schichtenbegrenzung in Eismitte, in die Abschnitte „Sommer“ (vom 16. April bis zum 15. September) und „Winter“ (vom 16. September bis zum 15. April) eingeteilt und die Niederschläge einiger Stationen nach dem Dansk Meteorologisk Aarbog berechnet. Die Niederschlagsverteilung war folgende (in Hundertteilen):

| Station                | Sommer | Winter          |
|------------------------|--------|-----------------|
| Eismitte 1911—1930     | 35     | 65 (Firnuwachs) |
| Upernivik . . . . .    | 42     | 58              |
| Jakobshavn . . . . .   | 54     | 46              |
| Godthaab . . . . .     | 44     | 56              |
| Ivigtut . . . . .      | 40     | 60              |
| Angmagssalik . . . . . | 36     | 64              |
| Danmarkshavn 1906—08   | 16     | 84              |

Im allgemeinen überwiegt also in Grönland der Winterniederschlag (nach unserer Einteilung hat der „Winter“ 7 Monate), und zwar an der Ostküste noch mehr als an der Westküste. Der Anteil der Sommer- und Winterschichten in Eismitte verhält sich ebenso wie die Niederschlagsverteilung in Angmagssalik und ähnelt unter den Stationen der mittleren Westküste am meisten Upernivik. Man wird von vornherein nicht erwarten, daß zwei Stationen, von denen eine am Meer, die andere 400 km entfernt

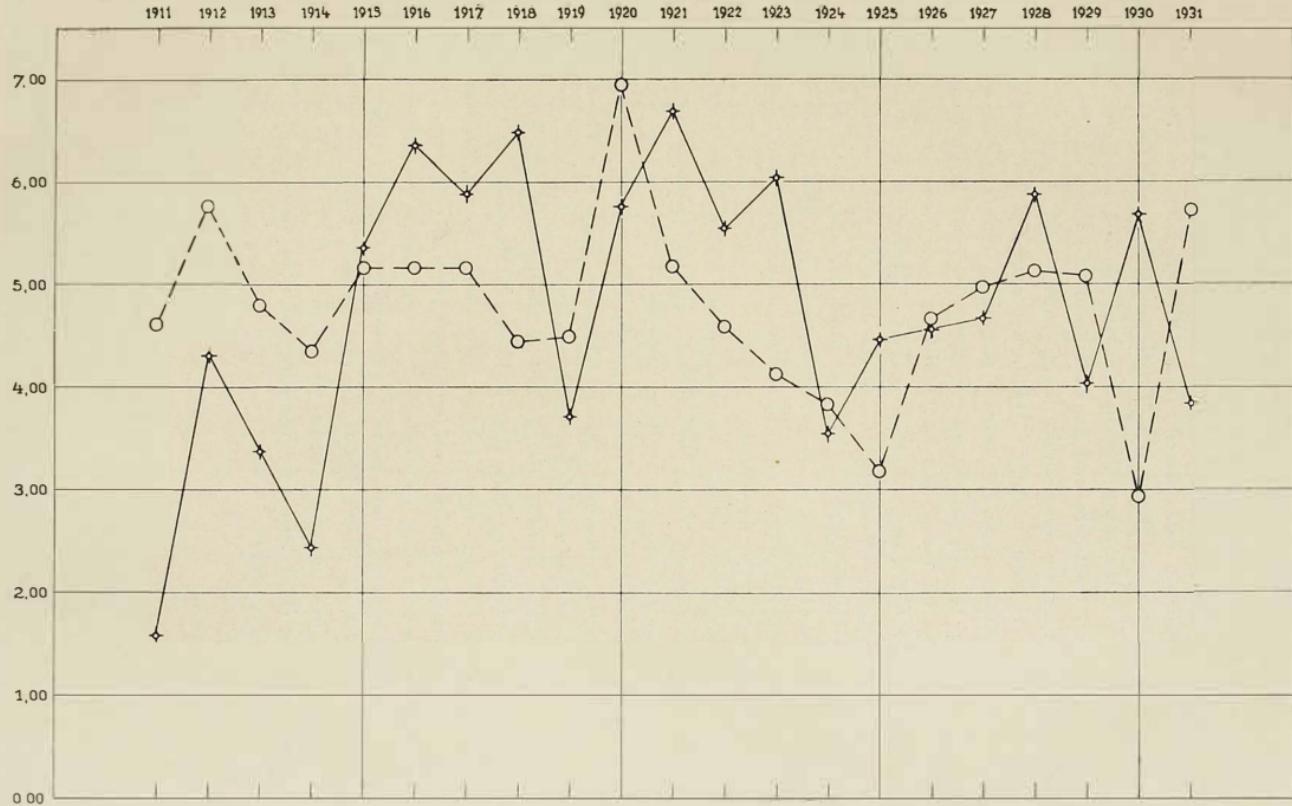


Abb. 21. Prozente der Niederschlagssumme Upernivik + Eismitte für Upernivik (ausgezogen) und Eismitte (gestrichelt).

und 3000 m hoch mitten auf dem Inlandeis liegt, übereinstimmende Niederschlagsverteilung haben, und um so weniger, wenn die Niederschläge der einen Station mit den Firnschichten der anderen Station verglichen werden. Ein genauer Vergleich zwischen Upernivik und Eismitte führt aber zu dem erstaunlichen Ergebnis, daß tatsächlich die Firnschichten in Eismitte sowohl zu den jährlichen als auch den jahreszeitlichen Niederschlägen in Upernivik in enger Beziehung stehen. Zu diesem Ziel wird die Niederschlagssumme von Upernivik und getrennt davon die Firnschichtensumme von Eismitte (alles in Wasserhöhe ausgedrückt) von 1911 bis 1931 addiert, und die verhältnismäßigen Anteile der einzelnen Jahreszeiten und Jahre an den Gesamtsummen werden graphisch dargestellt. So lassen sich die Anteile von Upernivik und Eismitte bequem vergleichen. Die Übereinstimmung im Gang der Niederschläge und Firnschichten ist so groß, daß sie in den Kurven sogleich auffällt. Dieser Vergleich zwischen einer meteorologischen Messungsreihe und einem glaziologischen Befund ist für unsere Untersuchung der Firnschichten wertvoll, wenn auch nicht unbedingt notwendig; denn er liefert eine neue, von allem anderen unabhängige Bestätigung dafür, daß die Firnschichten in Eismitte wirklich die Jahreszeitenschichten darstellen.

Ausdrücklich sei hier jedoch hervorgehoben, daß die Zuwachsbeträge in Eismitte nicht genau dem Niederschlag im meteorologischen Sinne gleichzusetzen sind, denn der Zuwachs entsteht durch sehr verschiedene Einzeltorgänge, von denen der meteorologische Niederschlag nur einer ist. Der endgültige Zuwachs eines Jahres (also das, worauf es bei der Ernährung des Inlandeises schließlich allein ankommt), setzt sich zusammen aus dem tatsächlichen Niederschlag, der in Eismitte in Form von Schnee und (zum weitaus kleineren Teil) Reif fällt, aus der Wirkung des Schneefegens, das bei Eismitte überwiegend auftragend, aber stellenweise und zeitweise auch abtragend wirkt, und aus der Verdunstung, die den Auftrag besonders im Sommer vermindert. Über die Größe der Verdunstung stellte Georgi Messungen mit einer Verdunstungswaage an. Danach betrug die Verdunstung an 61 Meßtagen (im August, September, Oktober 1930 und im Juni und Juli 1931) insgesamt 0,637 cm Wasserhöhe. Die Verdunstung eines Jahres in Eismitte darf man danach auf 1—2 cm Wasserhöhe veranschlagen.

Vergleich der Niederschläge in Upernivik mit den Wasserwerten der Firnschichten in Eismitte.

So = Sommerniederschlag (16. April bis 15. September)

Wi = Winterniederschlag (16. September bis 15. April)

|               | absolut | Upernivik            |              |         |         | Eismitte   |              |         |           |
|---------------|---------|----------------------|--------------|---------|---------|------------|--------------|---------|-----------|
|               |         | absolut              | v. Hdt.      | v. Hdt. | absolut | absolut    | v. Hdt.      | v. Hdt. |           |
| 1931 So<br>Wi | 198     | 65 (+4)<br>117 (+12) | 1,54<br>2,50 | 3,84    | 380     | 100        | 1,50<br>+,20 | 5,70    |           |
| 1930 So<br>Wi | 292     | 115<br>177           | 2,23<br>3,43 | 5,66    | 195     | 104<br>91  | 1,56<br>1,36 | 2,92    |           |
| 1929 So<br>Wi | 207     | 69<br>138            | 1,34<br>2,67 | +,01    | 337     | 60<br>277  | 0,91<br>4,15 | 5,06    |           |
| 1928 So<br>Wi | 302     | 161<br>141           | 3,12<br>2,73 | 5,85    | 340     | 162<br>178 | 2,43<br>2,67 | 5,10    |           |
| 1927 So<br>Wi | 240     | 96 (+4)<br>115 (+25) | 1,94<br>2,71 | 4,65    | 330     | 99<br>231  | 1,49<br>3,46 | 4,95    |           |
| 1926 So<br>Wi | 23+     | 101<br>133           | 1,96<br>2,58 | 4,54    | 309     | 103<br>206 | 1,54<br>3,09 | 4,63    |           |
| 1925 So<br>Wi | 229     | 129<br>100           | 2,50<br>1,94 | 4,44    | 210     | 96<br>114  | 1,44<br>1,71 | 3,15    |           |
| 1924 So<br>Wi | 185     | 82<br>101            | 1,59<br>1,95 | 3,54    | 255     | 88<br>167  | 1,32<br>2,50 | 3,82    |           |
| 1923 So<br>Wi | 510     | 115<br>197           | 2,18<br>3,83 | 6,01    | 274     | 89<br>185  | 1,34<br>2,77 | 4,11    |           |
| 1922 So<br>Wi | 28+     | 157<br>147           | 2,66<br>2,85 | 5,51    | 305     | 95<br>210  | 1,42<br>3,15 | 4,57    |           |
| 1921 So<br>Wi | 344     | 145<br>199           | 2,81<br>3,86 | 6,67    | 344     | 92<br>252  | 1,38<br>3,78 | 5,16    |           |
| 1920 So<br>Wi | 296     | 100<br>196           | 1,95<br>3,79 | 5,74    | 463     | 131<br>332 | 1,96<br>4,98 | 6,94    |           |
| 1919 So<br>Wi | 191     | 95<br>96             | 1,84<br>1,86 | 3,70    | 299     | 120<br>179 | 1,80<br>2,68 | 4,48    |           |
| 1918 So<br>Wi | 53+     | 153<br>201           | 2,58<br>3,89 | 6,47    | 296     | 131<br>165 | 1,96<br>2,48 | 4,44    |           |
| 1917 So<br>Wi | 303     | 155<br>170           | 2,57<br>3,29 | 5,86    |         |            |              |         | [2 Jahre] |
| 1916 So<br>Wi | 527     | 175<br>152           | 3,39<br>2,95 | 6,34    | 686     | 686        | 10,3         | 10,3    |           |
| 1915 So<br>Wi | 275     | 95<br>180            | 1,85<br>3,48 | 5,53    | 542     | 170<br>172 | 2,55<br>2,58 | 5,15    |           |
| 1914 So<br>Wi | 125     | 45<br>80             | 0,87<br>1,55 | 2,42    | 289     | 72<br>217  | 1,08<br>3,26 | 4,34    |           |
| 1913 So<br>Wi | 174     | 96<br>78             | 1,86<br>1,51 | 3,37    | 319     | 142<br>177 | 2,13<br>2,66 | 4,79    |           |
| 1912 So<br>Wi | 222     | 122<br>100           | 2,36<br>1,94 | 4,30    | 382     | 126<br>256 | 1,89<br>3,84 | 5,73    |           |
| 1911 So<br>Wi | 82      | 47<br>55             | 0,91<br>0,68 | 1,59    | 307     | 87<br>220  | 1,30<br>3,50 | 4,60    |           |

Die in Klammern stehenden Zuschläge zu den Niederschlägen, z. B. (-+), bedeuten Schätzungen. Die Beobachtungen enthielten an diesen Stellen Lücken.

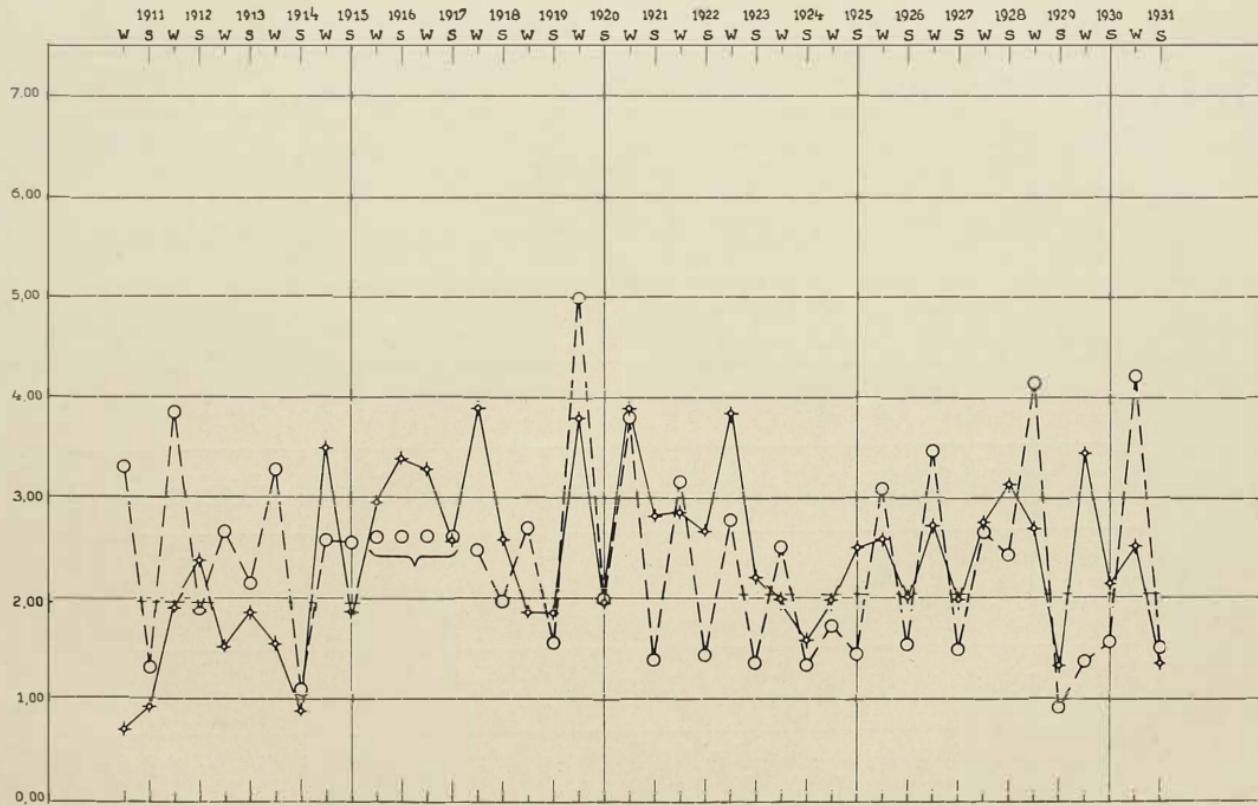


Abb. 22. Darstellung für Sommer- und Winter-Niederschlag der Tabelle S. 123.

Die Berechnung der zehnjährigen übergreifenden Mittel der Jahres-schichten ergibt, in Wasserhöhe ausgedrückt, folgende Werte:

| Zeitabschnitt | Jahresmittel in cm Wasserhöhe |           |
|---------------|-------------------------------|-----------|
|               | Eismitte                      | Upernivik |
| 1930—1921     | 28,99                         | 26,25     |
| 1929—1920     | 31,68                         | 27,14     |
| 1928—1919     | 31,50                         | 26,98     |
| 1927—1918     | 30,87                         | 27,30     |
| 1925—1916     | 31,33                         | 28,86     |
| 1924—1915     | 32,64                         | 29,52     |
| 1923—1914     | 32,98                         | 28,74     |
| 1922—1913     | 33,43                         | 27,38     |
| 1921—1912     | 34,20                         | 26,76     |
| 1920—1911     | 33,84                         | 24,14     |

Die langsame Zunahme der Wasserwerte mit wachsender Tiefe ist außerordentlich merkwürdig. Allerdings ist diese Zunahme gering. Es scheint also, als ob die Firnschichten mit wachsender Tiefe keinen Materialverlust erleiden, sondern eher umgekehrt. Ob das langsame Anwachsen durch größere tatsächliche Zuwächse an der Oberfläche oder erst nach der Ablagerung durch Diffundieren von Eisdampf entstanden ist, läßt sich nicht sicher entscheiden. Der Vergleich mit den Niederschlägen in Upernivik läßt darauf schließen, daß die Niederschläge (und ebenso die Firnschichten) in der Tat in den letzten Jahren etwas geringer geworden sind.

Falls überhaupt vorhanden, wird ein Massentransport durch Eisdampf nur eine geringe Rolle spielen. Daher wird später bei den Betrachtungen über die Firnschrumpfung angenommen, daß zwischen den benachbarten Firnschichten kein nennenswerter Austausch von Eis stattfindet.

### 3. Die Dichtekurve des Firns.

Die bisherigen Berechnungen dienten hauptsächlich dem Zweck, den Jahreszuwachs des Inlandeises zu bestimmen. Dazu war erforderlich, die Firndichte in einer gewissen genau abgegrenzten Firnschicht und die Mächtigkeit dieser Schicht zu bestimmen. Das Produkt aus Dichte und Mächtigkeit liefert unmittelbar den Wasserwert der betreffenden Firnschicht. Die Zusammenfügung vieler solcher Messungen lieferte den Gesamtwasserwert von 20 Jahreschichten. Zugleich mit der Gewinnung der Wasserwerte ergab sich eine bestimmte gesetzmäßige Zunahme der Firndichte mit der Tiefe. Diese kann indessen nur als vorläufige Tiefenangabe („Nenntiefe“) dienen, da alle Tiefen von der Oberfläche des 15. September 1930 an gerechnet sind. Die gesamte Zeit der Firndichtemessungen erstreckt sich aber über eine Zeit von sieben Monaten (genau vom 24. September 1930 bis 29. April 1931). Die aus diesen Messungen erhaltene Kurve der Firndichten stimmt nicht mit derjenigen Dichtekurve überein, die man erhalten

würde, wenn die Firndichten von der Oberfläche bis in 15 m Tiefe alle zu demselben Zeitpunkt gemessen worden wären. Diese Abweichung röhrt von folgenden Einflüssen her:

Erstens haben alle Firnkörner während der Überwinterung ihre wirkliche Tiefe unter der jeweiligen Oberfläche infolge des Schneeauftrages vergrößert.

Zweitens darf aber nicht der vollständige Betrag des während der Meßzeit gefallenen Schnees zu den ursprünglichen Tiefenwerten hinzugefügt werden, da während der Meßzeit außerdem alle Firnschichten etwas zusammengepreßt worden sind, d. h. an Mächtigkeit verloren haben.

Die Tiefenänderung infolge der beiden angegebenen Umstände soll nun berechnet werden:

a) Die Tiefenvergrößerung durch den Zuwachs während der Meßzeit. Die Jahresschichten besitzen eine durchschnittliche Mächtigkeit, die einer Wasserhöhe von 31,4 cm Höhe entspricht. Die oberste Jahresschicht besitzt eine Mächtigkeit von 90 cm Schnee, d. h. in einem Jahr erhöht sich die Oberfläche durchschnittlich um 90 cm. Um zu einem Mittel zu kommen, das von den Unregelmäßigkeiten des Niederschlags von 1930/31 frei ist, muß man voraussetzen, daß der Zuwachs sich über das ganze Jahr ebenso wie über alle Jahre gleichmäßig verteilt. Dann vergrößern sich alle seit dem 15. September 1930 von der damaligen Oberfläche gemessenen Tiefen in n Tagen um

$$\frac{n \cdot 90}{365} \text{ cm.}$$

Unter Benutzung dieser Formel ergeben sich folgende Vergrößerungen der ursprünglichen Tiefenangaben:

| Nummer der Dichtemessung | Tiefe von der Oberfläche des 15. 9. 30 cm | Zeit vom 15. 9. 30 bis zur Dichtemessung Tage | Die Tiefe ist wegen des Schneezuwachses zu vergrößern um cm |
|--------------------------|---|---|---|
| 10—17                    | 165—380                                   | 15  | 4   |
| 22—32                    | 0—218                                     | 40  | 10  |
| 33—41                    | 380—579                                   | 80  | 20  |
| 46                       | 600                                       | 86  | 21  |
| 47—48                    | 76—108                                    | 104   | 26  |
| 49—53                    | 621—747                                   | 110   | 27  |
| 54                       | 747—788                                   | 120   | 30  |
| 60—62                    | 747—788                                   | 125   | 31  |
| 63—66                    | 813—870                                   | 130   | 32  |
| 67—76                    | 848—870                                   | 140   | 34  |
| 77—78                    | 930—970                                   | 145   | 36  |
| 81—83                    | 970—1025                                  | 160   | 39  |
| 84—85                    | 1025—1059                                 | 170   | 42  |
| 86—89                    | 1059—1119                                 | 175   | 43  |
| 90—99                    | 1119—1159                                 | 184   | 45  |
| 100—104                  | 1159—1224                                 | 190   | 47  |
| 105—108                  | 1224—1243                                 | 195   | 48  |
| 109—110                  | 1278—1283                                 | 200   | 49  |
| 111—114                  | 1305—1391                                 | 206   | 51  |
| 115—121                  | 1391—1428                                 | 220   | 54  |
| 122—125                  | 1428—1471                                 | 225   | 55  |

b) Die Tiefenverkleinerung durch die Firnschrumpfung.  
Die Firnschrumpfung ist ein verwickelter Vorgang, der später in einem besonderen Abschnitt behandelt werden wird. Der Einfluß, den sie auf die Tiefen ausübt, ist nur klein. Seine genaue Bestimmung unter Berücksichtigung aller Verhältnisse von Eismitte ist umständlich. Zunächst muß das Verfahren der Tiefenmessung im Schacht von Eismitte geschildert werden.

Die Tiefen im Schacht konnten wegen der Treppenform des Schachts nicht einfach durch Ausloten bestimmt werden. Am Eingang des Schachts, nahe der Tür, wurde am 23. September 1930 von der Schneeoberfläche her ein 2 m langer Holzmaßstab (Zollstock) durch die Firndecke vorsichtig hindurchgestoßen, so daß sein oberes Ende mit der Oberfläche vom 15. September zusammenfiel (am 22. September war Neuschnee gefallen, der an dieser Stelle 35 cm hoch lag). Das untere Ende des Maßstabes wurde als erster Tiefenpunkt im Schacht benutzt. In dieser Tiefe von 2 m unter der Oberfläche vom 15. September 1930 wurden in die senkrechten Schachtwände an verschiedenen Stellen Holzpfölcke waagerecht eingeschlagen, auf die sich dann alle folgenden Tiefenmessungen bezogen. Dafür wurde ein einfaches Nivellierverfahren angewandt, das wegen der geringen Horizontalentfernungen ziemlich roh sein durfte. Senkrechte Richtungen wurden durch ein Lot bestimmt, waagerechte Richtungen durch ein an das Lot angelegtes rechtwinkliges Dreieck. Punkte gleicher Tiefe wurden einfach durch Peilen über die waagerechte Kathete des Dreiecks ermittelt und durch Holzpfölcke bezeichnet. Senkrechte Abstände wurden längs des Lotes mit dem Millimetermaßstab auf ganze, manchmal auch auf halbe Zentimeter genau gemessen. Die waagerechten und senkrechten Strecken waren bei diesem treppenförmigen Hinabmessen rund 1—2 m lang. Nur das unterste senkrechte Stück des Schachtes, von 9 bis 15 m Tiefe, konnte an ein und demselben Lot vermessen werden.

Eine große Menge von Holzpfölcken bezeichnete die Schichtgrenzen und ergab die Tiefenzahlen, die in den Zahlenübersichten der Firndichtemessungen und Firnschichten zusammengestellt sind. Alle diese Tiefen sind also nur „Nenntiefen“, während die wahren Tiefen unter der Oberfläche von der Bezugszeit abhängen und daher und wegen unvermeidlicher Meßfehler und verschiedener gleich zu erörternder Umstände von den „Nenntiefen“ etwas abweichen.

Um zu prüfen, ob die Fehler bei dem schrittweisen In-die-Tiefe-steigen sich nicht in unzulässiger Weise summieren, wurde am 19. Februar 1931 die Schachttiefe trigonometrisch „im großen“ gemessen. Von einem Holzpflock B mit der Nenntiefe 8,23 m unter der Oberfläche vom 15. September 1930 wurde mit einem Libellenquadranten ein Holzpflock A in der Nenntiefe 2,17 m elfmal angepeilt. Dabei wurden folgende Höhenwinkel gefunden:

|         |         |         |
|---------|---------|---------|
| 48° 46' | 48° 45' | 48° 36' |
| 48° 25' | 48° 20' | 48° 35' |
| 48° 40' | 48° 45' | 48° 45' |
| 49° 10' | 48° 25' |         |

Der Mittelwert der Höhenwinkel ist  $\alpha = 48^\circ 39'$ .

Zwischen den beiden Holzpflocken A und B. (s. Abb. 23) wurde ein Bindfaden straff gespannt und die Strecke A-B längs dieses Bindfadens

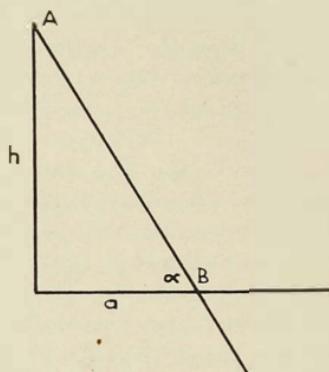


Abb. 23.

mit dem 2-m-Maßstab gemessen. Zwei Messungen ergaben für A-B 806 und 809 cm, im Mittel 807,5 cm. Aus dem rechtwinkligen Dreieck folgt dann:

$$\begin{aligned} h &= A-B \cdot \sin \alpha & \text{und} & \quad a = A-B \cdot \cos \alpha \\ h &= 606,2 \text{ cm} & & \quad a = 533,5 \text{ cm.} \end{aligned}$$

Nach dieser Messung liegt B in der Tiefe  $217 + 606 = 823$  cm. Dieses Ergebnis stimmt genau mit der schrittweisen Tiefenmessung überein. In der Tat ist dies aber gerade ein Zeichen für einen kleinen Fehler bei der schrittweisen Tiefenmessung. Denn diese dauerte den ganzen Winter über, wie aus der folgenden Übersicht hervorgeht.

#### Zeitpunkte der Tiefenmessungen im Schacht.

| Tiefe        | Tag              | Tiefe      | Tag         |
|--------------|------------------|------------|-------------|
| 0 bis 3,81 m | 20. Oktober 1950 | bis 9,40 m | 4. Februar  |
| " 4,50       | 21. November     | " 10,25    | 26. Februar |
| " 5,50       | 22. November     | " 10,80    | 28. Februar |
| " 7,00       | 9. Dezember      | " 12,00    | 14. März    |
| " 7,40       | 2. Januar 1951   | " 13,10    | 27. März    |
| " 7,80       | 3. Januar        | " 13,50    | 9. April    |
| " 8,50       | 17. Januar       | " 14,00    | 11. April   |
| " 9,00       | 21. Januar       | " 15,00    | 21. April   |

Die Schachttiefen von 2 bis 8 m Tiefe wurden nach und nach zwischen dem 20. Oktober 1930 und dem 17. Januar 1931 gemessen, also 90 bis 30 Tage vor der trigonometrischen Prüfmessung. Während dieser Zeit sind aber die betreffenden Firnschichten etwas zusammengedrückt worden, die oberen am längsten und meisten, die unteren nur kurze Zeit und wenig. Nach der im nächsten Abschnitt entwickelten Schrumpfungsformel ergibt sich, daß das Schichtpaket von 2 bis 8 m Tiefe in 90 Tagen um 5 cm zusammenschrumpft. Da die Stufen-Tiefen-Messungen zwischen 2 und 8 m Tiefe weniger als 90 Tage vor der trigonometrischen Prüfmessung liegen, muß die Mächtigkeit des Schichtenpakets von 2 bis 8 m Nenntiefe während der Stufen-Tiefen-Messungen um weniger als 5 cm größer gewesen sein als 6 m. Die Nenntiefen zwischen 2 und 8 m sind infolge der Meßun genauigkeiten beim Nivellieren etwas zu klein ausgefallen und schätzungsweise um 2—4 cm zu vergrößern. Wie sich im einzelnen diese Abweichung auf die Tiefen zwischen 2 und 8 m verteilt, ist nicht mehr festzustellen. Es genügt aber, die Größenordnung des Fehlers zu wissen, um daraus den sehr geringen Einfluß auf die Firndichten zu ermitteln.

Die Tiefenmessung zwischen 9 m und 15 m ist dagegen nicht mit einem solchen Fehler behaftet, da sie längs ein und desselben Lotes unmittelbar vorgenommen werden konnte.

Nach dieser Schilderung der Tiefenmessung im Schacht soll nunmehr die Tiefenverkleinerung durch die Firnschrumpfung behandelt werden.

Zwei Punkte, deren Tiefenunterschied ursprünglich 1 m betrug, rücken infolge der Firnschrumpfung allmählich dichter aneinander, so daß ein Nenntiefe-Unterschied von 1 m im Laufe der Zeit tatsächlich immer kleiner wird. Im Abschnitt „Firnschrumpfung“ wird folgende Formel abgeleitet. Es ist:

$$\text{Monatliche Firnschrumpfung} = \frac{\Delta x_2 \cdot [s(x_2) - s(x_1)]}{12 \cdot s(x_1)}.$$

In dieser Formel bedeuten:

$x_1$  und  $x_2$  die Tiefen der oberen bzw. unteren Grenze des betrachteten Firnpakets,

$s(x_1)$  und  $s(x_2)$  die Firndichten in diesen Tiefen,

$\Delta x_2$  die Mächtigkeit einer Jahresschicht in der Tiefe  $x_2$ .

Streng genommen sind in der Formel die Firndichten nach Anbringung aller Verbesserungen einzusetzen; da der Schrumpfbetrag aber selbst klein ist gegen die Tiefen der Firnschichten, genügt es, die genäherten Dichtewerte einzusetzen, um damit Tiefen- oder Dichteverbesserungen zu berechnen. Mit den verbesserten Dichtewerten kann dann mit einem zweiten Schritt der Schrumpfbetrag noch genauer berechnet

werden. Das ist in der folgenden Zahlenübersicht geschehen, so daß die Schrumpfungswerte also bereits mit Hilfe der endgültigen Firndichten berechnet worden sind. Die zweiten Verbesserungen der Firndichten bewirken in der dritten Dezimale kaum noch Änderungen, erreichen also bereits die Genauigkeit der Firndichtemessungen selbst.

| Firnschicht<br>der Tiefe<br>m | Monatliche<br>Schrumpfung<br>cm | Summe der<br>Schrumpfungen<br>cm |
|-------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|
| 0 bis 1                       | 0,42                            | 0,42                             |
| 1 „ 2                         | 0,59                            | 0,81                             |
| 2 „ 5                         | 0,56                            | 1,17                             |
| 5 „ 4                         | 0,52                            | 1,49                             |
| 4 „ 5                         | 0,50                            | 1,79                             |
| 5 „ 6                         | 0,27                            | 2,06                             |
| 6 „ 7                         | 0,21                            | 2,27                             |
| 7 „ 8                         | 0,15                            | 2,42                             |
| 8 „ 9                         | 0,12                            | 2,54                             |
| 9 „ 10                        | 0,10                            | 2,64                             |
| 10 „ 11                       | 0,09                            | 2,73                             |
| 11 „ 12                       | 0,08                            | 2,81                             |
| 12 „ 15                       | 0,08                            | 2,89                             |
| 15 „ 14                       | 0,08                            | 2,97                             |
| 14 „ 15                       | 0,07                            | 5,04                             |

Nach dieser Zahlenübersicht können die Nenntiefen, die während des Schachtbaues — also zu ganz verschiedenen Zeiten — gemessen wurden, leicht in wahre Tiefen unter der Oberfläche des 15. September 1930 umgerechnet werden. Ein Beispiel möge dies erläutern:

Im Schacht wurde der Holzpflock, der die Nenntiefe 5 m bezeichnet, am 22. November 1930, also 68 Tage nach dem 15. September 1930, in die Firnwand eingeschlagen, und zwar genau 1 m unter dem Pflock, der die Nenntiefe 4 m hatte. In diesem Augenblick waren aber die Schichten in 0 bis 2 m Nenntiefe bereits 60 Tage lang und die Schichten von 2 bis 4 m Nenntiefe 27 Tage lang geschrumpft. Die wahre Tiefe des Holzpflocks in 5 m Nenntiefe betrug also weniger als 5 m. Die Tiefe ist zu verkleinern um

$$(0,51 + 0,45) \frac{60}{50} + (0,59 + 0,54) \frac{(60-27)}{50} = 2,72 \text{ cm.}$$

Um diesen Betrag sind die Nenntiefen zwischen 4 und 6 m wegen der Firnschrumpfung zu verkleinern.

Ahnliche Rechnungen, die mit wachsender Tiefe sich aus immer mehr Summanden zusammensetzen, ergeben die Verkleinerung aller Nenntiefen, wie sie in der folgenden Zahlenübersicht dargestellt ist.

| Tiefe in m | Tage vom 25. 9. 30<br>bis zur<br>Tiefenmessung | Verkleinerung der<br>Nenntiefen durch die<br>Firnschrumpfung in cm |
|------------|--|--|
| 0—1        | 0  | 0,0  |
| 1—2        | 0  | 0,0  |
| 2—5        | 27   | 0,9  |
| 5—4        | 27   | 0,9  |
| 4—5        | 60   | 2,7  |
| 5—6        | 60   | 2,7  |
| 6—7        | 78   | 4,0  |
| 7—8        | 102  | 6,0  |
| 8—9        | 120  | 7,6  |
| 9—10       | 156  | 10,9   |
| 10—11      | 158  | 11,1   |
| 11—12      | 172  | 12,5   |
| 12—13      | 185  | 15,8   |
| 13—14      | 200  | 15,5   |
| 14—15      | 210  | 16,5   |

Da die Tiefen zwischen 2 und 8 m wegen des geringen Meßfehlers der stufenweisen Tiefenmessung um 2—4 cm zu vergrößern sind, wird die Verkleinerung der Tiefen durch die Schrumpfung zwischen 2 und 7 m etwa gerade aufgehoben, für 7—8 m bleibt eine Verkleinerung von rund 2 cm, die größeren Tiefen sind um die vollen Schrumpfungsbeträge zu verkleinern.

Im ganzen betrachtet, erfahren also die Nenntiefen Vergrößerungen wegen des Schneezuwachses und zum Teil auch wegen des geringen Meßfehlers der stufenweisen Tiefenmessung, anderseits Verkleinerungen wegen der Firnschrumpfung. Der Einfluß der Firnschrumpfung auf die Tiefen beträgt rund  $\frac{1}{4}$  der Tiefenvergrößerung durch den Schneezuwachs. Die Verbindung beider Zahlenreihen ergibt nun die gesamte Tiefenverbesserung der Nenntiefen.

| Tiefe<br>in | Verbesserung wegen<br>Schneezuwachs<br>cm | Verbesserung wegen<br>Schrumpfung<br>cm | Gesamte<br>Tiefenverbesserung<br>cm |
|-------------|---|---|-------------------------------------|
| 0           | 0   | 0                                       | 0                                   |
| 1           | 10  | 0                                       | 10                                  |
| 2           | 10  | 0                                       | 10                                  |
| 5           | 4   | 0                                       | 4                                   |
| 4           | 20  | 0                                       | 20                                  |
| 5           | 20  | 0                                       | 20                                  |
| 6           | 21  | 0                                       | 21                                  |
| 7           | 27  | -2                                      | 25                                  |
| 8           | 51  | -8                                      | 25                                  |
| 9           | 54  | -10                                     | 24                                  |
| 10          | 59  | -11                                     | 28                                  |
| 11          | 45  | -11                                     | 52                                  |
| 12          | 47  | -15                                     | 54                                  |
| 13          | 50  | -14                                     | 56                                  |
| 14          | 54  | -15                                     | 59                                  |
| 15          | 56  | -16                                     | 42                                  |

Um nun zu einer Dichtekurve zu kommen, die einen stets gültigen Augenblicksquerschnitt durch den Firn darstellt, wurde zunächst die Dichte der Sommer- und Winterschichten graphisch dargestellt und dann eine vorläufige, die Dichteunterschiede zwischen Sommer und Winter ausgleichende Kurve gezogen, die sich den einzelnen Schichten möglichst gut anpaßt und deren Koordinaten ausgeglichenen 1. und 2. Differenzen haben. Von dieser vorläufigen Dichtekurve wurden die Kurvenneigungen  $\alpha$  in den verbesserten Tiefen 1,10 m; 2,10 m; 3,04 m; 4,20 m usw. auf ganze Grade genau gemessen, um die Tiefenverbesserungen  $\Delta x$  in Dichteverbesserungen  $\Delta s$  unter Beibehaltung der Tiefen 0 m, 1 m, 2 m, 3 m usw. zu verwandeln. Als Dichteverbesserungen wurden dann die Ausdrücke  $\Delta s = \Delta x \cdot \operatorname{ctg} \alpha$  den vorläufigen Dichtewerten abgezogen. Daselbe Ergebnis würde man auch durch einfaches Interpolieren erhalten, da die Kurvenkrümmung von Meter zu Meter nur gering ist.

Aus der Zahlenübersicht „Verbesserung der Firndichte“ kann man also zweierlei verschiedene Verbesserungen entnehmen. Zum Beispiel er sieht man daraus: Die Firndichte beträgt in 7,25 m Tiefe 0,492 oder aber: Die Firndichte beträgt in 7 m Tiefe 0,489.

Die endgültige Dichtekurve muß die Eigenschaft haben, daß die aus ihr berechneten Wasserwerte mit den wirklichen Wasserwerten der gemessenen Firschichten übereinstimmen; aber natürlich nur bei Betrachtung solcher Firnmächtigkeiten, daß Unregelmäßigkeiten einzelner Firndichten nicht mehr zu sehr ins Gewicht fallen.

Der Wasserwert zwischen den Tiefen  $x_1$  und  $x_2$  ist:

$$W = \int_{x_1}^{x_2} s(x) \cdot dx$$

Der Wert des Integrals, der als Fläche der Firndichtekurve erscheint, wurde nach der Simpliconschen Regel für verschiedene Tiefenabschnitte ermittelt und mit dem entsprechenden tatsächlichen Wasserwert verglichen. Es ergab sich:

| Tiefe<br>m         | Wasserwert      |                | Unterschied<br>cm |
|--------------------|-----------------|----------------|-------------------|
|                    | berechnet<br>cm | gemessen<br>cm |                   |
| 0 bis 8            | 541,4           | 542,0          | - 0,6             |
| 5 „ 13             | 405,8           | 404,7          | + 0,9             |
| 0 „ 14             | 658,3           | 657,8          | + 0,5             |
| 20 Jahresschichten | 628,3           | 628,3          | 0,0               |

Natürlich können noch mehr Tiefenabschnitte zum Vergleich der berechneten und gemessenen Wasserwerte herangezogen werden. Die dadurch erzielbaren Verbesserungen der Dichte würden aber die dritte Dezimal-

stelle der Dichte nicht mehr ändern. Da die einzelnen Firndichtemesungen selbst höchstens auf drei Dezimalstellen genau sind, ist also die Genauigkeit der ausgeglichenen Dichtekurve ausreichend.

Die Methode der kleinsten Quadrate wurde absichtlich nicht verwandt, um eine ausgeglichene Firndichtekurve zu erhalten. Denn abgesehen von dem größeren Rechenaufwand wäre das Ergebnis nicht genauer geworden. Dabei hätten über die mutmaßliche Firndichtekurve besondere mathematische Voraussetzungen gemacht werden müssen, wodurch das Gesetz der Firndichtezunahme in bestimmter Weise vorher festgelegt worden wäre. Der eingeschlagene Weg ist davon frei. Es wurde von der endgültigen Dichtekurve nur verlangt, daß sie die Dichteunterschiede der Jahreszeiten ausgleicht, im Wasserwert möglichst genau mit den wirklichen Wasserwerten übereinstimmt und ausgeglichene erste und zweite Differenzen, also eine stetige Krümmung zeigt. Die Tiefe  $x$  in der Zeichnung der Firndichtekurve ist in Jahresschichten gleicher Wasserhöhe eingeteilt worden, um damit darzustellen, wie bei völlig gleichmäßigem Zuwachs die Jahresschichten von Jahr zu Jahr zusammengedrückt werden und so an Mächtigkeit verlieren.

#### Verbesserung der Firndichte und endgültige Koordinaten der Firndichtekurve.

| Tiefe $x$<br>m | Vorläufige<br>Dichte | Gesamte<br>Tiefen-<br>verbesserung<br>cm | Dichte-<br>verbesserung<br>negativ | Endgültige<br>Dichte $s$ | 1. und 2. Differenzen<br>in Einheiten der<br>5. Dezimale |
|----------------|----------------------|--|------------------------------------|--------------------------|--|
| 0              | 0,538                | 0  | 0,000                              | 0,538                    | 25 0   |
| 1              | 0,563                | 10                                       | -0,002                             | 0,561                    | 25 0   |
| 2              | 0,586                | 10                                       | -0,002                             | 0,584                    | 23 0   |
| 3              | 0,408                | 4  | -0,001                             | 0,407                    | 22 -1  |
| 4              | 0,435                | 20                                       | -0,004                             | 0,429                    | 22 0   |
| 5              | 0,455                | 20                                       | -0,004                             | 0,451                    | 21 -1  |
| 6              | 0,476                | 21                                       | -0,004                             | 0,472                    | 17 -4  |
| 7              | 0,492                | 25                                       | -0,003                             | 0,489                    | 12 -5  |
| 8              | 0,504                | 25                                       | -0,003                             | 0,501                    | 10 -2  |
| 9              | 0,514                | 24                                       | -0,003                             | 0,511                    | 9 -1   |
| 10             | 0,523                | 28                                       | -0,003                             | 0,520                    | 9 0  |
| 11             | 0,532                | 52                                       | -0,003                             | 0,529                    | 8 -1   |
| 12             | 0,540                | 54                                       | -0,003                             | 0,537                    | 8 0  |
| 13             | 0,548                | 56                                       | -0,003                             | 0,545                    | 8 0  |
| 14             | 0,556                | 59                                       | -0,003                             | 0,553                    | 7 -1   |
| 15             | 0,565                | 42                                       | -0,005                             | 0,560                    |  |

Beim Betrachten der endgültigen ausgeglichenen Firndichtekurve fällt außer ihrer schönen Gesetzmäßigkeit besonders die starke Krümmung in der Tiefe von 7 m auf, die sich von dem oberen und unteren wenig gekrümmten Kurvenstück deutlich unterscheidet. Auch in der graphi-

schen Darstellung der Dichten der einzelnen Jahreszeitschichten ist dieser Knick deutlich ausgeprägt zu erkennen. In der Zahlenübersicht der endgültigen Firndichten entsprechen diesem Kurvenknick große negative zweite Differenzen der Dichtewerte in der Umgebung von 7 m Tiefe. Mit diesem Verhalten der Firndichte steht das Auftreten von Lockerschichten

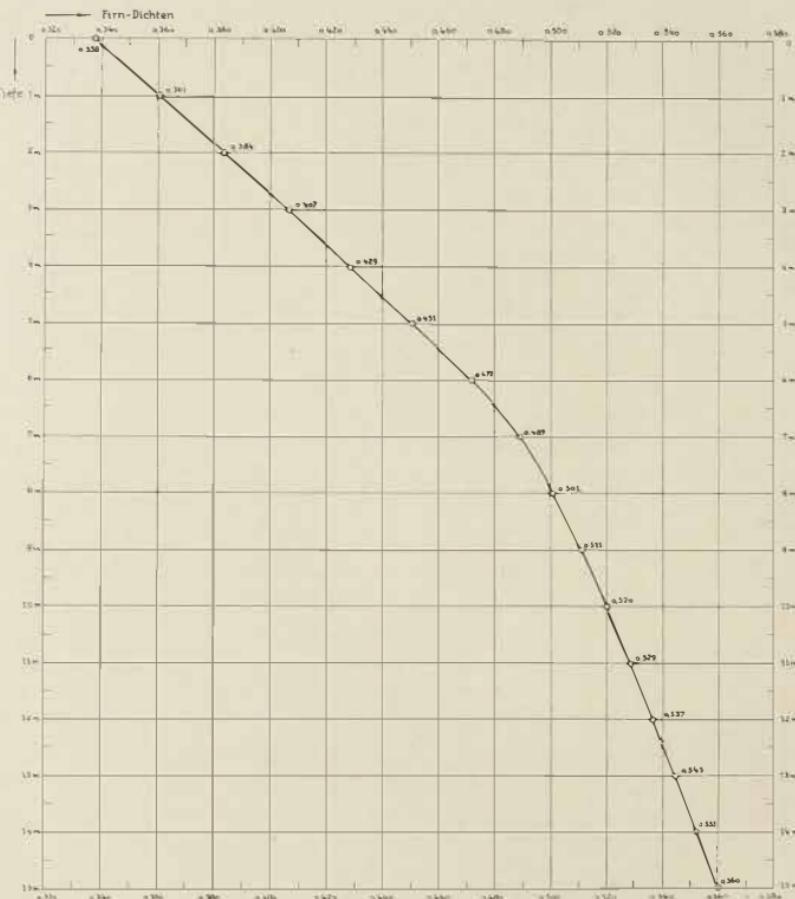


Abb. 24. Firndichtekurve.

in Einklang. Von der Oberfläche bis gerade zur Tiefe, wo die Firndichte so auffällig und plötzlich langsamer ansteigt (in 7 m Tiefe), wurden in Eismitte einzelne lockere Grenzen zwischen der Feinschichtung gefunden. Die Firnkörper waren zum Teil so locker, daß ein Bleistift ohne Mühe an der Grenze zwischen zwei Schichten in den Firn hineingestoßen werden konnte. In mehr als 7 m Tiefe waren diese Locker-

schichten verschwunden. In weniger als 7 m Tiefe traten Lockerschichten fast ausnahmslos in Sommerschichten auf, oft an den Grenzen zwischen Sommer- und Winterschichten. Die Mächtigkeit solcher Lockerschichten, die tatsächlich nur verbreiterte Grenzen sind, betrug bis zu 2 cm. Es ist nun begreiflich, daß Firnschichten mit Lockergrenzen schneller schrumpfen und daher ihre Dichte vergrößern, als ohne solche. Es kommt sogar vor, daß Lockerschichten infolge des ständig wachsenden Drucks der auf ihnen lastenden Firnschichten mit einem Ruck und laut hörbarem Krach zerdrückt werden. Diese sehr eindrucksvolle Naturerscheinung, die während des Aufenthalts in Eismitte wiederholt beobachtet wurde, heißt Firnstoß und hängt also mit den Lockerschichten und darum auch mit dem scharfen Umbiegen der Firndichtekurve in 7 m zusammen. Von 7 m Tiefe an abwärts hat jede Lockerschicht so viele Firnstoße erlebt, daß sie ebenso fest zusammengedrückt ist wie ihre Nachbarschichten. Von da an muß also auch die Schrumpfung und damit die Dichtezunahme langsamer werden. Auf die Firnstoße wird später in einem besonderen Abschnitt eingegangen werden.

Es ist nun sehr verführerisch, aus der schönen gesetzmäßigen Form der Firndichtekurve, die auf über 100 Dichtemessungen beruht, ihren weiteren Verlauf in größeren Tiefen zu erschließen, etwa gar bis dorthin, wo der Firn sich vermutlich in „Eis“ verwandelt, wie wir es von den Eisbergen her kennen. Hierzu ist zunächst grundsätzlich zu sagen, daß solche Schlüsse höchst unsicher sind und leicht das Gebiet strenger Naturwissenschaft verlassen. Stellen wir uns einen Augenblick vor, daß die Dichtekurve nur bis 5 oder 6 m Tiefe bekannt wäre. Auch dann wäre sie immerhin noch aus rund 30 Firndichtemessungen abgeleitet, also sehr sicher und genau bestimmt. Eine scheinbar „sinngemäße“ Verlängerung würde aber schon in 10—20 m Tiefe zu ganz falschen Dichtewerten führen, da die Biegung in 7 m Tiefe nicht vorhergesehen werden kann. Mit Recht haben Koch und Wegener die Unsicherheit ihrer Firndichtemessungen hervorgehoben. Sie maßen auf dem Inlandeis unter anderem am 5. und 6. Juni 1913 in 2737 m Seehöhe folgende Werte:

| Tiefe<br>cm | Firndichte |
|-------------|------------|
| 100         | 0,52       |
| 200         | 0,55       |
| 500         | 0,55       |
| 400         | 0,57       |
| 500         | 0,41       |

Danach müßte die Firndichte mit der Tiefe immer schneller zunehmen, ein Ergebnis, das sicher falsch ist. Koch und Wegener fügen daher

auch vorsichtig hinzu: „Doch reichen die Beobachtungen nicht aus, um zu entscheiden, ob dies Ergebnis nicht rein zufällig ist“ (J. P. Koch und A. Wegener, 1930, S. 318). Dasselbe gilt für die wenigen Dichtemessungen, die bei der Quervains Durchquerung 1912 auf dem Inlandeis gemacht worden sind. Stichprobenmessungen haben wegen der jahreszeitlichen Firndichteschwankungen nur beschränkten Wert. Insbesondere ist es nicht möglich, aus Stichproben in größeren Abständen, etwa von Meter zu Meter, auf die Gesetzmäßigkeit der Dichteunahme mit der Tiefe zu schließen. Dies gilt besonders für die obersten Meter, die bei Durchquerungen wegen der beschränkten Zeit vornehmlich erfaßt werden. Diese Unsicherheit haftet nun den Firndichtemessungen von Eismitte nicht an. Auch konnte dank der längeren verfügbaren Zeit während der Überwinterung die Meßgenauigkeit gegenüber den früheren Messungen auf das Zwanzigfache gesteigert werden. Und dennoch: die Krümmung der Dichtekurve in 7 m Tiefe ließ sich nicht im geringsten vorhersehen und war auch von niemand vorausgesagt worden. Es muß daher durchaus mit der Möglichkeit gerechnet werden, daß auch noch in größeren Tiefen unerwartete Änderungen in der Firndichte eintreten. Als recht unwahrscheinlich ist der Fall anzusehen, daß die Firndichte unter 15 m Tiefe noch einmal rascher mit der Tiefe zunimmt als in den oberen Schichten. Dies würde bedeuten, daß die Krümmung der Kurve das Vorzeichen wechselt. Sieht man von diesem Fall ab, so ergibt sich sofort eine Mindesttiefe, ehe die Firndichte die Eisdichte erreicht hat. Die Firndichtekurve ist einfach geradlinig zu verlängern, so daß die Dichteunahme ebenso groß ist wie von 14 bis 15 m, d. h. 0,007 auf 1 m Tiefe. Die Verlängerungsgerade würde die Dichte von reinem Eis (0,917) in 66 m Tiefe unter der Oberfläche erreichen. Da aber die Eisdichte wegen der eingeschlossenen Luftblasen kleiner ist als die von reinem Eis, wird man für das Inlandeis besser mit der Dichte vom Eis der Eisberge als oberer Grenze rechnen. Diese ist nun etwas schwankend, kann aber im Durchschnitt mit 0,900 angenommen werden. Zahlreiche von mir ausgeführte Dichtemessungen von Eisbergeis lagen um diesen Wert herum. Die oben beschriebene Verlängerung der Firndichtekurve würde die Dichte von Eisbergeis (0,900) in 63,6 m Tiefe erreichen. Das ist also die Mindesttiefe. Als Höchsttiefe, bei der die Dichte der Eisberge erreicht wird, kann man, strenggenommen nur die ganze Eisdicke, also 2000 m, angeben. Dazwischen bleibt noch ein weiter Spielraum für mehr oder weniger sichere Annahmen. Betrachtet man den unteren Teil der Firndichtekurve zwischen 9 und 15 m Tiefe als Stück einer Hyperbel mit der einen Asymptote bei 0,917 als überhaupt größter möglicher Dichte, so wird die Firndichte in ihrer Abhängigkeit von der Tiefe für  $x \geq 9$  m durch die Funktion

$$(34,7 + x) \cdot (0,917 - s) = 17,75$$

dargestellt (x ist die Tiefe in Metern, s die Dichte). Die Dichtezunahme nach dieser Funktion sieht dann so aus:

|         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Tiefe:  | 20    | 40    | 60    | 80    | 100   | 200   | 400   | 600   | 800   | 1000  |
| Dichte: | 0,592 | 0,679 | 0,730 | 0,762 | 0,785 | 0,841 | 0,867 | 0,889 | 0,896 | 0,900 |

Nach dieser Annahme würde die Firndichte ganz allmählich mit der Tiefe zunehmen und bis in große Tiefen immer noch merklich kleiner sein als die Dichte der Eisberge. Man könnte sich aber auch vorstellen, daß die Firndichte bereits in verhältnismäßig geringen Tiefen (100 m der Größenordnung nach) nahe an die Dichte der Eisberge heranreicht. Nach unseren Kenntnissen des Firns besteht für keine der beiden Annahmen eine physikalische Notwendigkeit oder Unmöglichkeit.

Mit der Firndichtezunahme hängen unsere seismischen Messungen zusammen, die in Band II (Seismik) der „Wissenschaftlichen Ergebnisse“ dargestellt sind. Der Zusammenhang besteht in folgendem:

Elastische Wellen, die auf dem Inlandeise durch eine Explosion hervorgerufen werden, breiten sich mit einer Geschwindigkeit aus, die von der Elastizität und Dichte des Stoffes (Schnee, Firn, Eis) abhängen. Je größer der Dehnungsmodul E und je kleiner die Dichte ist, desto größer ist die Wellengeschwindigkeit. Diese wurde an mehreren Stellen von der Weststation bis 120 km nach Osten und auch in Eismitte gemessen. Im Firngebiet war sie nahe der Oberfläche am kleinsten (1150 m/sec) und stieg mit der Tiefe rasch auf Höchstwerte von 3640 bis 4000 m/sec, die in Tiefen von 150 m bis 280 m unter der Oberfläche erreicht wurden. Über die Geschwindigkeit in größeren Tiefen ist nichts bekannt. Dasselbe gilt für den Dehnungsmodul E, der außer von dem Druck noch von der gleichfalls unbekannten Temperatur abhängt. Selbst für Eis sind die Werte von E so schwankend, daß aus den Formeln der Wellengeschwindigkeit nicht genügend genaue Dichtewerte berechnet werden können. Im Gegenteil werden gewöhnlich aus den Formeln der Wellengeschwindigkeit unter Annahme einer gewissen Eisdichte die elastischen Konstanten des Eises berechnet (so z. B. H. Mothes und B. Brockamp in der Zeitschrift für Gletscherkunde, Bd. XIX, 1931, Heft 1—3, S. 7). Das gibt bessere Werte als direkte Messungen von E.

Da also Temperatur, Elastizität und Wellengeschwindigkeit schon in geringen Tiefen des Inlandeises unbekannt sind, können die Formeln der Seismik keinen Beitrag zur Verlängerung der Firndichtekurve liefern. Solange Firndichten nicht in größeren Tiefen gemessen sind, müssen die verschiedenen weit voneinander abweichenden Möglichkeiten im Auge behalten werden. Nach unseren Erfahrungen in Eismitte und unseren Bohrversuchen bei km 200 lassen sich direkte Firndichtemessungen bis in 100 oder 150 m Tiefe bei einer künftigen Expedition auch schon auf einer

Sommerreise ausführen. Dazu ist ein Handbohrgerät und eine Schachtanlage als Bohrturm, wie von J. P. Koch und A. Wegener 1912/13 verwandt, notwendig. Um Firnproben zur Dichtebestimmung an die Oberfläche zu schaffen, ist ein Kernbohrer unerlässlich. Solche Firndichtemessungen stellen eine wichtige Aufgabe für künftige Expeditionen dar.

#### Einteilung des Firns in Jahresschichten gleicher Wasserhöhe.

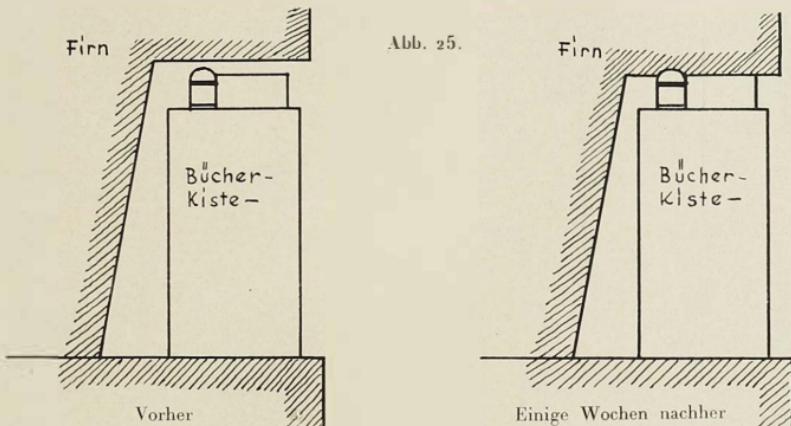
| Jahresschichtnummer | Tiefe x der Jahresschichtgrenzen<br>em | $\Delta x$<br>em | $\Delta^2 x$<br>em | Dichte<br>$s(x)$ | $\Delta s$ | Wasserwert<br>em |
|---------------------|--|------------------|--------------------|------------------|------------|------------------|
| 1                   | 0,0                                    | 90,1             | -4,9               | 0,558            | 21         | 51,400           |
| 2                   | 90,1                                   | 85,2             | -4,1               | 0,559            | 19         | 51,596           |
| 5                   | 175,5                                  | 81,1             | -5,7               | 0,578            | 19         | 51,442           |
| 4                   | 256,4                                  | 77,4             | -3,0               | 0,597            | 17         | 51,386           |
| 5                   | 335,8                                  | 74,4             | -2,8               | 0,414            | 17         | 51,424           |
| 6                   | 408,2                                  | 71,6             | -2,5               | 0,451            | 15         | 51,597           |
| 7                   | 479,8                                  | 69,5             | -2,2               | 0,446            | 15         | 51,428           |
| 8                   | 549,1                                  | 67,1             | -1,7               | 0,461            | 14         | 51,393           |
| 9                   | 616,2                                  | 65,4             | -1,5               | 0,475            | 11         | 51,425           |
| 10                  | 681,6                                  | 64,1             | -1,0               | 0,486            | 8          | 51,409           |
| 11                  | 745,7                                  | 63,1             | -0,9               | 0,494            | 8          | 51,424           |
| 12                  | 808,8                                  | 62,2             | -0,7               | 0,502            | 6          | 51,411           |
| 15                  | 871,0                                  | 61,5             | -0,7               | 0,508            | 6          | 51,427           |
| 14                  | 932,5                                  | 60,8             | -0,7               | 0,514            | 5          | 51,405           |
| 15                  | 995,5                                  | 60,2             | -0,6               | 0,519            | 6          | 51,424           |
| 16                  | 1055,5                                 | 59,6             | -0,6               | 0,525            | 5          | 51,458           |
| 17                  | 1115,2                                 | 59,0             | -0,6               | 0,550            | 5          | 51,418           |
| 18                  | 1172,2                                 | 58,5             | -0,6               | 0,555            | 5          | 51,456           |
| 19                  | 1230,7                                 | 57,9             | -0,5               | 0,540            | 4          | 51,390           |
| 20                  | 1288,6                                 | 57,4             | -0,5               | 0,544            | 5          | 51,427           |
| 21                  | 1346,0                                 | 57,0             | -0,4               | 0,549            | 4          | 51,407           |
| 22                  | 1405,0                                 | 56,6             | -0,4               | 0,555            | 4          | 51,415           |
|                     | 1459,6                                 |                  |                    | 0,557            |            |                  |

### III. Die Firnschrumpfung.

Außer der Zunahme der Firndichte mit der Tiefe wurde während der Überwinterung auch die Zunahme der Dichte mit der Zeit an mehreren Stellen bestimmt. Die Dichtekurve selbst lässt ja zwei verschiedene Deutungen zu, erstens gibt sie an, welche Firndichten in verschiedenen Tiefen angetroffen werden, wenn man diese Firndichten an ein und demselben

Zeitpunkt bestimmt. Zweitens stellt aber die Dichtekurve auch die zeitliche Dichteänderung eines und desselben Firnstückes dar. Könnte man ein und dieselbe Firnschicht von ihrer Bildungszeit an 20 Jahre lang verfolgen und in kurzen Zeitabständen ihre Dichte messen, so würde die Firndichte im Laufe dieser 20 Jahre ebenso anwachsen, wie es die ausgewählte Dichtekurve darstellt.

Um diese doppelte Bedeutung der Firndichtekurve zu kennzeichnen, sind neben den Tiefen, in denen die betreffenden Firndichten angetroffen wurden, noch Zeiten vermerkt worden (S. 134). Man kann dann aus der Kurve nicht nur ablesen, daß zum Beispiel in 8 m Tiefe die Firndichte 0,501 beträgt, sondern auch, daß elf Jahre vergehen müßten, damit die Firndichte von ihrem Wert an der Oberfläche bis auf den Wert 0,501 steigt.



Diese Zeiten stellen nichts anderes dar als die Begrenzung der Jahreschichten, die entstehen würden, wenn der Firnzuwachs von Jahr zu Jahr genau gleichmäßig wäre. Die Wasserhöhe jeder einzelnen dieser ausgeglichenen Jahresschichten stimmt mit dem 20jährigen Jahresmittel von 31,4 cm Wasserhöhe der in Eismitte gemessenen Jahresschichten überein. Die nach unten abnehmenden Schichtmächtigkeiten stellen die Veränderung dar, die ein und dieselbe Jahresschicht im Laufe von 20 Jahren durch den Druck der auf ihr lastenden jüngeren Jahresschichten erleidet.

Die zeitliche Dichtezunahme des Firns wurde während der Überwinterung in Eismitte zuerst in unserem häuslichen Leben erkannt. Die Decke unseres Wohnraums senkte sich nämlich, was wir kurz vor Weihnachten bemerkten. Hierzu folgende Tagebuchauszüge:

21. 12. 30. „Die Firndecke im Wohnraum hat sich merklich gesenkt, und zwar im ganzen. Sie ist nicht etwa durchgebogen worden. Über der Bückerkiste standen Georgs Ballonregistrierinstrumente. Sie wurden durch die Senkung eingeklemmt, so daß wir sie herauszuschneiden mußten. Senkung etwa 3 cm (siehe Abb. 25).“

Wir glauben, daß nur ein kleiner Teil der Senkung durch Niederschlag von Wasserdampf, der größte Teil aber durch Zusammensacken der Schichten erklärt werden muß. Auch die übrigen Teile der Decke des Wohnraums sind merklich niedriger geworden. Das Niveau des Bodens ist durch Bretter festgelegt.“ (Tagebuch Sorge.)

### 1. Messung der Firnschrumpfung.

Am 22. Dezember baute Sorge aus Kistenbrettern zwei Vorrichtungen, um den Zusammenschub mit zehnfacher Vergrößerung zu messen. Später, und zwar am 10. Januar, am 15. Januar und am 12. März 1931, wurden

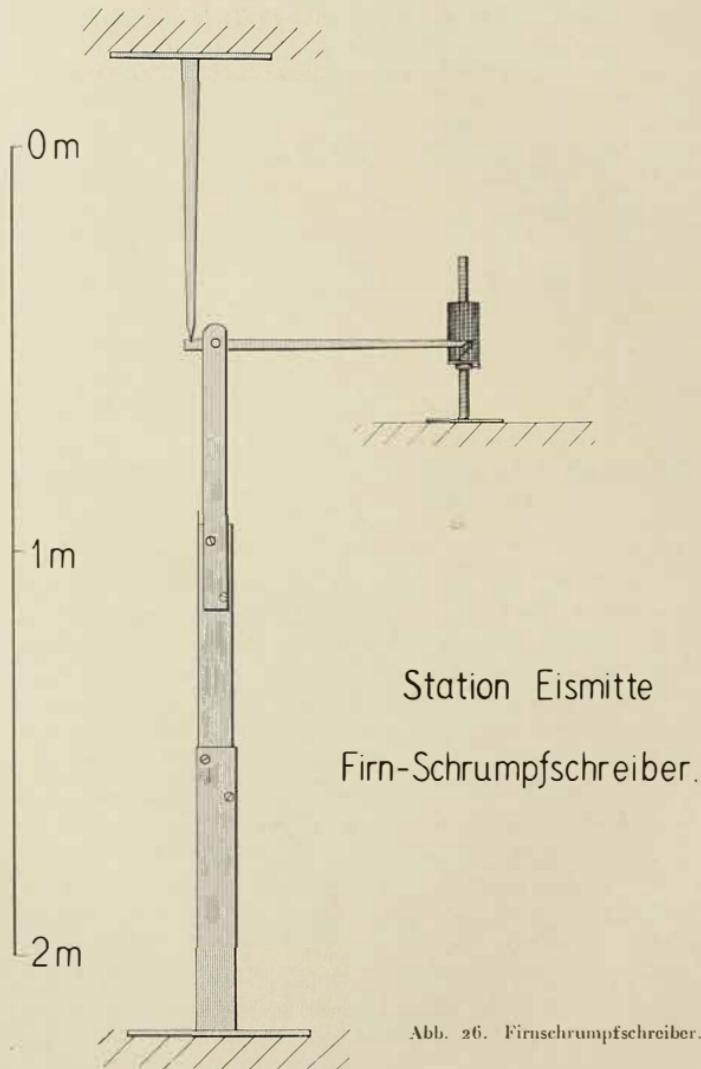
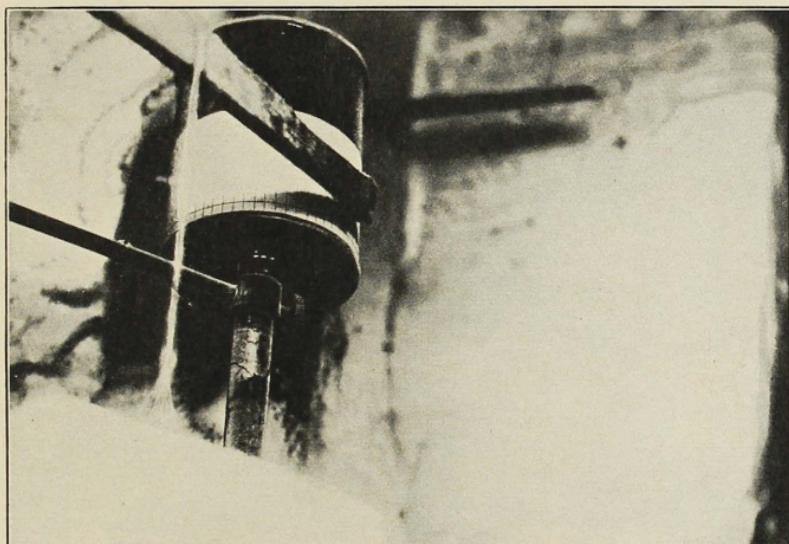


Abb. 26. Firnschrumpfschreiber.

noch weitere ähnliche Apparate in Betrieb gesetzt. Sie alle maßen die Geschwindigkeit, mit der der Firn im Laufe der Zeit zusammengepreßt wurde, und erhielten den Namen Firmschrumpfmesser. Einige von ihnen registrierten die Firmschrumpfung und hießen daher „Firmschrumpfschreiber“. Die Bauart eines solchen Firmschrumpfschreibers ist in der Abb. 26. dargestellt.

Aus mehreren Kistenbrettern ist ein ungleicharmiger Hebel gebaut. Der Träger der Hebelachse besteht bei den größeren Schrumpfschreibern aus zusammengeschraubten Brettern, deren unterstes auf einem waagerechten Standbrett ruht. Für dieses Standbrett wurde in einer Seitenwand



phot. Joh. Georgi.

Abb. 27. Hebelende und Registrier trommel eines Firmschrumpfschreibers.

des Schachts ein waagerechter Schlitz mit der Säge ausgeschnitten, das Brett hineingedrückt und mit einer Mischung aus Schnee und Wasser vereist. Diese Vereisung wurde so gründlich besorgt, daß die Feuchtigkeit tief unter dem Standbrett den Firn durchtränkte und in einen Eisklumpen verwandelte. Der Hebel trug am Ende des Hebelarmes auf der Oberseite eine Kerbe, in der das zugeschärpte Ende eines senkrechten Brettes endete, etwa in derselben Art, wie bei Präzisionswaagen die Waageschalen am Waagebalken aufgehängt werden. Das senkrechte Brett stieß mit dem oberen Ende gegen ein in der Schachtwand eingeeistes waagerechtes Brett. Im ganzen hatte also der Hebelapparat zwei feste Widerlager, die aus den beiden eingeeisten waagerechten Brettern und den damit verbundenen Eisklumpen bestanden. Der ganze Apparat ist in eine passende Nische in der

Schachtwand eingebaut. Eine Anzahl von Holzpflocken, die in den Firn zu beiden Seiten des Apparates eingeschlagen sind, geben dem Apparat eine Führung und verhindern ihn am Umfallen. Da nun alle Firnschichten durch das Gewicht der darüberliegenden Firnmassen zusammengedrückt werden, nähert sich im Laufe der Zeit das obere Widerlager dem unteren. Dadurch wird der kurze Hebelarm nach unten und der lange mit rund zehnfacher Vergrößerung nach oben bewegt. Diese vergrößerte Bewegung wird auf eine Registriervorrichtung aufgezeichnet, die bei den verschiedenen Schrumpfschreibern verschieden ausgeführt war. Am besten be-



phot. Joh. Georgi,

Abb. 28. Firnshrumpfschreiber.

währte sich eine Konservenbüchse, die im Deckel und im Boden durchlocht war und auf den Ständer eines metallenen Stativs paßte (s. Abb. 27). Durch einen Ring mit Klemmschraube konnte die Büchse in jeder Höhe festgestellt werden. Ein weißer Papierstreifen war rund um die Büchse gelegt und mit Leukoplast festgeklebt. Auf dem Papier waren in Abständen von 5 mm senkrechte Bleistiftlinien gezogen. Das Ende des langen Hebelarms trug eine Schreibfeder, die nach dem Muster der meteorologischen Registrierapparate aus dem Blech der Proviantkisten hergestellt war. Die Schreibfeder wurde an dem Hebelende mit einigen Wassertropfen befestigt, die bei der Schachttemperatur von  $-30^{\circ} \text{ C}$  sogleich froren und das beste Lötz- und Klebemittel darstellten. Von der Fertigung eines Uhrwerks wurde aus Zeitmangel abgesehen, statt dessen wurde die Konservenbüchse

täglich mit der Hand von einem Bleistiftstrich bis zum nächsten, also 5 mm weiter, gedreht. In dieser Zeit hatte die Schreibfeder an der Hebelspitze einen kleinen Strich (genauer einen Kreisbogen) geschrieben. Durch die Drehung der Büchse wurde ein waagerechter Strich erzeugt. Die Registrierung wurde also im Laufe der Zeit eine Treppe, deren Stufenhöhen zusammen ein Maß für die Firmschrumpfung abgaben (s. Abb. 28).

Über dem langen Hebelarm wurde in die Firnwand ein Holzpflock eingeschlagen und daran an einem Bindfaden ein leichter Firnblock gehängt. Der Aufhängepunkt konnte so verschoben werden, daß der Bindfaden sich mit leisem Druck an den Hebelarm legte und dadurch die Schreibfeder mit genau abgepaßter Kraft an das Papier drückte. So wurde erreicht, daß der Hebel sich niemals vom Papier entfernen konnte.

Eine zweite, andere Registriervorrichtung bestand aus einem Schieber aus steifer Pappe, der in einer Blechführung in waagerechter Richtung hin und her bewegt werden konnte. Das Führungsblech wurde mit einigen starken Drähten oder Holzpflocken in der Firnwand befestigt. Diese Schieber hatte den Nachteil, daß sie nicht so leicht höher oder tiefer eingestellt werden konnten wie die Konservenbüchse. Wir hatten aber leider nur ein Metallstativ. Darum mußten für alle anderen Schreibvorrichtungen Pappschieber verwandt werden. Auf einigen der Registrierungen ist die Registriertinte verlaufen, wodurch die Höhe der einzelnen Treppenstufen nicht überall deutlich abzulesen ist. Schuld an diesem Schönheitsfehler ist die sehr starke Bereifung, die besonders den Schrumpfschreiber Nr. 3 im Frachtraum traf. Das Registrierpapier mußte jeden Tag an den Stellen, die demnächst beschrieben werden sollten, vorsichtig entreift werden, andernfalls zerlief die geschriebene Tinte. Überhaupt bildeten starke Temperaturwechsel eine Gefahr für die Klarheit der Registrierungen. So wurden zum Beispiel einige Registrierstreifen, die fertig beschrieben waren, in der Nähe der Tischlampe unseres Wohnraums zum Trocknen aufgehängt. Die Erwärmung geschah aber zu schnell, so daß die Reifreste, die noch am Papier hafteten, schmolzen und mit der noch nicht ins Papier eingezogenen Registriertinte zusammenliefen. Gerade unmittelbar neben der wochenlang flüssigen Registriertinte konnten die Reifkristalle auch durch vorsichtiges Abkratzen mit einem Messer nicht restlos beseitigt werden. Nach diesen Erfahrungen wurden die späteren Registrierungen so lange bei  $-10^{\circ}\text{C}$  liegengelassen, bis der Reif verdunstet und die Tinte eingetrocknet war. Die so erhaltenen Registrierungen sind scharf und genau abzumessen. Auf einigen Registrierungen führt die Linie, die den Schrumpfbetrag anzeigt, nicht senkrecht aufwärts, sondern etwas schräg. In der Tat sind ja diese Linien Teile eines Kreisbogens, der die Drehachse des Hebels als Mittelpunkt hat. Hierdurch wird jedoch der Schrumpfbetrag nicht verfälscht, da das Übersetzungsverhältnis des Hebels stets, auch bei schräger Hebelstellung, das gleiche bleibt. Eine zu schräge Stellung des Hebels

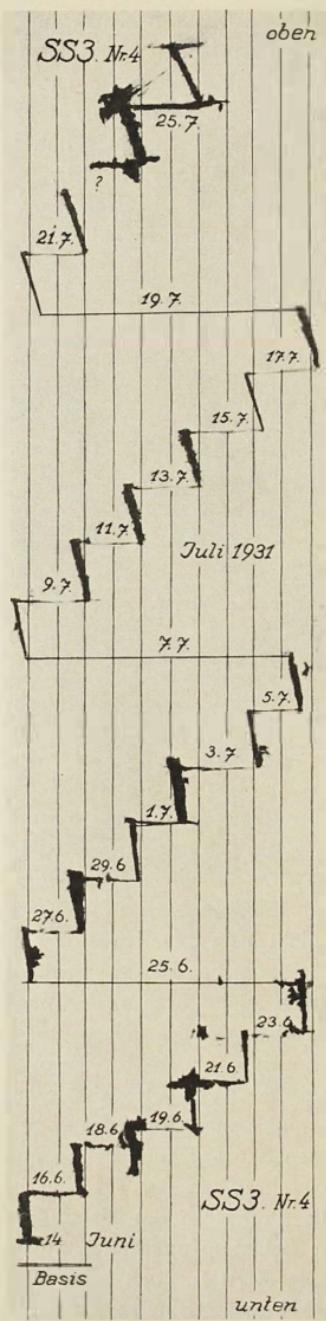


Abb. 29.

ist aber ungünstig, da hierdurch seitlich wirkende Kräfte auftreten, die möglicherweise kleine Verschiebungen der Schneide in der Kerbe des kurzen Hebelarms und damit eine Änderung des Übersetzungsverhältnisses bewirken können. Um dies auszuschließen, wurde eine Vorrichtung getroffen, damit der Hebel sich von der waagerechten Lage niemals weit entfernte. Dies wurde anfangs dadurch bewirkt, daß der Ständer nicht unmittelbar auf dem Standbrett, sondern auf zwei Unterlegplatten ruhte, die nach Bedarf entfernt werden konnten, wenn der lange Hebelarm seine horizontale Lage eine Zeitlang überschritten hatte. Später wurde die Spitze des langen Hebelarms dadurch tiefer gelegt, daß die Drehachse gesenkt wurde.<sup>2</sup> Hierzu wurde der Ständer unterhalb der ursprünglichen Drehachse in Abständen von 1 cm mehrmals durchbohrt. Der Draht oder Nagel, der als Drehachse diente, wurde dann einfach von Zeit zu Zeit herausgezogen und ein Loch tiefer wieder eingesteckt. Dies Verfahren bewährte sich vorzüglich.

Der Schrumpfungsmesser Nr. 2 erhielt keine Registriervorrichtung. Ebenso zeitweise der Schrumpfungsmesser Nr. 1. Bei beiden war die Hebelbewegung so deutlich zu verfolgen, daß sie durch Anlegen eines Maßstabes von Tag zu Tag unmittelbar gemessen werden konnte.

Die ausgewerteten Registrierungen und Ablesungen sind in der nachfolgenden Zahlenübersicht zusammengestellt. Nebenstehend ist eine Originalregistrierung der Schrumpfschreiber photographisch wiedergegeben. Außerdem sind die direkten Ablesungen der Firnschrumpfung an einigen besonders bemerkenswerten Stellen unserer unterirdischen Räume tabellarisch und graphisch wiedergegeben.

## Registrierungen und Ablesungen zur Firnschrumpfung.

## Schrumpfschreiber Nr. 1.

Vergrößerung 8,39fach, Tiefe 115—290 cm.

## Registrierung (R)

| Zeit       | Stellung mm |                  | Zeit      | Stellung mm |                  |
|------------|-------------|------------------|-----------|-------------|------------------|
| 30. 12. 30 | 0,0         |                  | 9. 1. 31  | 5,3         |                  |
| 31. 12. 30 | 4,3         |                  | 10. 1. 31 | 9,5         |                  |
| 1. 1. 31   | 9,2         |                  | 11. 1. 31 | 14,9        |                  |
| 2. 1. 31   | 15,0        |                  | 12. 1. 31 | 21,0        | 6 Tage = 36,1 mm |
| 3. 1. 31   | 20,6        | 9 Tage = 51,2 mm | 13. 1. 31 | 27,7        | 1 Tag = 6,02 mm  |
| 4. 1. 31   | 25,5        | 1 Tag = 5,69 mm  | 14. 1. 31 | 34,6        |                  |
| 5. 1. 31   | 32,8        |                  | 15. 1. 31 | 41,4        |                  |
| 6. 1. 31   | 38,9        |                  |           |             |                  |
| 7. 1. 31   | 45,7 = -4,0 |                  |           |             |                  |
| 8. 1. 31   | +1,5        |                  |           |             |                  |

## Direkte Ablesungen (A), Vergrößerung 10,54fach.

| Zeit      | Stellung cm |                | Zeit      | Stellung cm |                  |
|-----------|-------------|----------------|-----------|-------------|------------------|
| 15. 1. 31 | 24,0        |                | 22. 1. 31 | 12,4        |                  |
| 16. 1. 31 | 24,9        |                | 24. 1. 31 | 13,8        |                  |
| 18. 1. 31 | 26,3        | 7 Tage = 51 mm | 26. 1. 31 | 14,9        |                  |
| 20. 1. 31 | 27,9        | 1 Tag = 7,3 mm | 28. 1. 31 | 16,2        |                  |
| 22. 1. 31 | 29,1        |                | 30. 1. 31 | 17,5        | 28 Tage = 198 mm |
|           |             |                | 1. 2. 31  | 18,9        | 1 Tag = 7,1 mm   |
|           |             |                | 3. 2. 31  | 20,4        |                  |
|           |             |                | 5. 2. 31  | 21,6        |                  |
|           |             |                | 9. 2. 31  | 23,0        |                  |
|           |             |                | 19. 2. 31 | 32,2        |                  |

## Schrumpfschreiber Nr. 2.

Vergrößerung 10,52fach, Tiefe 250—415 cm.

## Direkte Ablesungen:

|            |      |                 |           |       |                  |
|------------|------|-----------------|-----------|-------|------------------|
| 27. 12. 30 | 8,0  |                 | 4. 1. 31  | 10,0  |                  |
| 29. 12. 30 | 8,5  |                 | 5. 1. 31  | 10,3  |                  |
| 30. 12. 30 | 8,85 | 6 Tage = 1,9 cm | 6. 1. 31  | 10,6  |                  |
| 31. 12. 30 | 9,3  | 1 Tag = 0,32 cm | 7. 1. 31  | 10,9  |                  |
| 1. 1. 31   | 9,6  |                 | 8. 1. 31  | 11,35 |                  |
| 2. 1. 31   | 9,9  |                 | 9. 1. 31  | 11,6  | 10 Tage = 3,3 cm |
|            |      |                 | 10. 1. 31 | 11,95 | 1 Tag = 0,33 cm  |
|            |      |                 | 11. 1. 31 | 12,3  |                  |
|            |      |                 | 12. 1. 31 | 12,7  |                  |
|            |      |                 | 13. 1. 31 | 13,0  |                  |
|            |      |                 | 14. 1. 31 | 13,5  |                  |

## Registrierungen und Ablesungen zur Firnschrumpfung (Fortsetzung).

| Zeit      | Stellung<br>cm |                  | Zeit      | Stellung<br>cm |                  |
|-----------|----------------|------------------|-----------|----------------|------------------|
| 15. 1. 31 | 13,6           |                  | 9. 3. 31  | 11,7           |                  |
| 16. 1. 31 | 14,0           |                  | 13. 3. 31 | 12,5           | 10 Tage = 2,6 cm |
| 18. 1. 31 | 14,7           |                  | 19. 3. 31 | 14,3           | 1 Tag = 0,26 cm  |
| 20. 1. 31 | 15,3           |                  |           |                |                  |
| 22. 1. 31 | 16,0           | 17 Tage = 5,6 cm | 2. 4. 31  | 19,5           | 10 Tage = 2,9 cm |
| 24. 1. 31 | 16,7           | 1 Tag = 0,29 cm  | 12. 4. 31 | 22,4           | 1 Tag = 0,29 cm  |
| 26. 1. 31 | 17,3           |                  |           |                |                  |
| 28. 1. 31 | 17,9           |                  | 12. 4. 31 | 22,4           | 10 Tage = 3,0 cm |
| 30. 1. 31 | 18,5           |                  | 22. 4. 31 | 25,4           | 1 Tag = 0,30 cm  |
| 1. 2. 31  | 19,2           |                  |           |                |                  |
| 3. 2. 31  | 19,1           |                  | 22. 4. 31 | 25,4           | 12 Tage = 3,5 cm |
| 5. 2. 31  | 19,6           | 10 Tage = 3,0 cm | 4. 5. 31  | 28,9           | 1 Tag = 0,29 cm  |
| 9. 2. 31  | 20,9           | 1 Tag = 0,3 cm   |           |                |                  |
| 13. 2. 31 | 22,1           |                  |           |                | Neueinstellung   |
| 19. 2. 31 | 24,2           |                  | 16. 5. 31 | 7,2            |                  |
| 25. 2. 31 | 26,0           | 8 Tage = 2,6 cm  | 9. 6. 31  | 14,7           | 24 Tage = 7,5 cm |
| 27. 2. 31 | 26,8           | 1 Tag = 0,325 cm |           |                | 1 Tag = 0,31 cm  |
| 5. 3. 31  | 28,5           |                  |           |                |                  |
| 9. 3. 31  | 29,85          |                  |           |                |                  |

## Schrumpfschreiber Nr. 3.

Vergrößerung 10,53fach, Tiefe 150—320 cm.

| Zeit      | Stellung<br>mm |                  | Zeit      | Stellung<br>mm |                   |
|-----------|----------------|------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 10. 1. 31 | 0              |                  | 20. 1. 31 | 25,5           |                   |
| 11. 1. 31 | 3,2            |                  | 21. 1. 31 | 27,3           |                   |
| 12. 1. 31 | 6,1            | 5 Tage = 13,6 mm | 22. 1. 31 | 29,5           |                   |
| 13. 1. 31 | 8,8            | 1 Tag = 2,72 mm  | 23. 1. 31 | 32,4           |                   |
| 14. 1. 31 | 11,2           |                  | 24. 1. 31 | 34,7           |                   |
| 15. 1. 31 | 13,6           |                  | 25. 1. 31 | 36,5           | 10 Tage = 20,7 mm |
|           |                |                  | 26. 1. 31 | 39,0           | 1 Tag = 2,07 mm   |
| 15. 1. 31 | 13,6           |                  | 27. 1. 31 | +0,6           |                   |
| 16. 1. 31 | 16,1           |                  | 28. 1. 31 | +2,6           |                   |
| 17. 1. 31 | 18,7           | 5 Tage = 11,9 mm | 29. 1. 31 | 44,2           |                   |
| 18. 1. 31 | 21,1           | 1 Tag = 2,38 mm  | 30. 1. 31 | 46,2           |                   |
| 19. 1. 31 | 23,4           |                  |           |                |                   |
| 20. 1. 31 | 25,5           |                  |           |                |                   |

## Registrierungen und Ablesungen zur Firnschrumpfung (Fortsetzung).

| Zeit      | Stellung<br>mm |                   | Zeit      | Stellung<br>mm |                   |
|-----------|----------------|-------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 30. 1. 51 | +6,2           |                   | 11. 5. 51 | +2,2           |                   |
| 31. 1. 51 | +8,5           |                   | 12. 5. 51 | +4,2           |                   |
| 1. 2. 51  | 50,4           |                   | 13. 5. 51 | +5,5           |                   |
| 2. 2. 51  | 52,5           |                   | 14. 5. 51 | +7,5           |                   |
| 3. 2. 51  | 55,0           | 10 Tage = 25,4 mm | 15. 5. 51 | 50,0           | 10 Tage = 20,5 mm |
| 4. 2. 51  | 57,5           | 1 Tag = 2,5+ mm   | 16. 5. 51 | 52,7           | 1 Tag = 2,05 mm   |
| 5. 2. 51  | 59,7           |                   | 17. 5. 51 | 54,0           |                   |
| 6. 2. 51  | 62,6           |                   | 18. 5. 51 | 56,0           |                   |
| 7. 2. 51  | 64,7           |                   | 19. 5. 51 | 58,1           |                   |
| 8. 2. 51  | 67,5           |                   | 20. 5. 51 | 60,4           |                   |
| 9. 2. 51  | 69,6           |                   | 21. 5. 51 | 62,5           |                   |
| 9. 2. 51  | 69,6           |                   | 21. 5. 51 | 62,5           |                   |
| 10. 2. 51 | 72,2           |                   | 22. 5. 51 | 64,5           |                   |
| 11. 2. 51 | 74,5           |                   | 23. 5. 51 | 66,1           |                   |
| 12. 2. 51 | 76,2           |                   | 24. 5. 51 | 67,7           |                   |
| 13. 2. 51 | 78,6           | 9 Tage = 19,1 mm  | 25. 5. 51 | 69,5           | 10 Tage = 18,9 mm |
| 14. 2. 51 | 80,8           | 1 Tag = 2,12 mm   | 26. 5. 51 | 70,9           | 1 Tag = 1,89 mm   |
| 15. 2. 51 | 82,7           |                   | 27. 5. 51 | 72,9           |                   |
| 16. 2. 51 | 85,2           |                   | 28. 5. 51 | 74,8           |                   |
| 17. 2. 51 | 86,8           |                   | 29. 5. 51 | 76,9           |                   |
| 18. 2. 51 | 88,7           |                   | 30. 5. 51 | 78,8           |                   |
|           |                |                   | 31. 5. 51 | 81,4           |                   |
| 19. 2. 51 | 4,8            |                   | 31. 5. 51 | 0,0            |                   |
| 20. 2. 51 | 6,9            |                   | 1. 4. 51  | 2,5            |                   |
| 21. 2. 51 | 8,9            |                   | 2. 4. 51  | +6             |                   |
| 22. 2. 51 | 10,6           |                   | 3. 4. 51  | 6,8            |                   |
| 23. 2. 51 | 12,2           | 10 Tage = 18,6 mm | 4. 4. 51  | 8,9            | 10 Tage = 21,5 mm |
| 24. 2. 51 | 14,4           | 1 Tag = 1,86 mm   | 5. 4. 51  | 10,8           | 1 Tag = 2,15 mm   |
| 25. 2. 51 | 16,5           |                   | 6. 4. 51  | 12,9           |                   |
| 26. 2. 51 | 18,2           |                   | 7. 4. 51  | 15,0           |                   |
| 27. 2. 51 | 20,1           |                   | 8. 4. 51  | 17,2           |                   |
| 28. 2. 51 | 22,0           |                   | 9. 4. 51  | 19,4           |                   |
| 1. 3. 51  | 25,4           |                   | 10. 4. 51 | 21,5           |                   |
| 1. 3. 51  | 25,4           |                   | 10. 4. 51 | 21,5           |                   |
| 2. 3. 51  | 24,5           |                   | 11. 4. 51 | 23,8           |                   |
| 5. 3. 51  | 26,2           |                   | 12. 4. 51 | 26,0           |                   |
| 4. 3. 51  | 28,2           |                   | 13. 4. 51 | 28,2           |                   |
| 5. 3. 51  | 50,0           | 10 Tage = 18,8 mm | 14. 4. 51 | 50,5           | 10 Tage = 22,9 mm |
| 6. 3. 51  | 52,0           | 1 Tag = 1,88 mm   | 15. 4. 51 | 52,6           | 1 Tag = 2,29 mm   |
| 7. 3. 51  | 54,0           |                   | 16. 4. 51 | 54,7           |                   |
| 8. 3. 51  | 56,1           |                   | 17. 4. 51 | 57,5           |                   |
| 9. 3. 51  | 58,5           |                   | 18. 4. 51 | 59,5           |                   |
| 10. 3. 51 | +0,2           |                   | 19. 4. 51 | +1,7           |                   |
| 11. 3. 51 | +2,2           |                   | 20. 4. 51 | +4,4           |                   |

## Registrierungen und Ablesungen zur Firnschrumpfung (Fortsetzung).

| Zeit      | Stellung<br>mm |                   | Zeit      | Stellung<br>mm |                   |
|-----------|----------------|-------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 20. 4. 31 | 44,4           |                   | 30. 5. 31 | 159,5          |                   |
| 21. 4. 31 | 46,7           |                   | 1. 6. 31  | 166,5          |                   |
| 22. 4. 31 | 49,1           |                   | 3. 6. 31  | 174,2          |                   |
| 23. 4. 31 | 51,5           |                   | 5. 6. 31  | 179,7          | 14 Tage = 47,9 mm |
| 24. 4. 31 | 53,9           | 10 Tage = 23,6 mm | 7. 6. 31  | 186,5          | 1 Tag = 3,42 mm   |
| 25. 4. 31 | 56,4           | 1 Tag = 2,56 mm   | 9. 6. 31  | 193,7          |                   |
| 26. 4. 31 | 58,7           |                   | 11. 6. 31 | 200,6          |                   |
| 27. 4. 31 | 61,1           |                   | 13. 6. 31 | 207,4          |                   |
| 28. 4. 31 | 63,5           |                   | 14. 6. 31 | 4,0            |                   |
| 29. 4. 31 | 65,8           |                   | 16. 6. 31 | 12,5           |                   |
| 30. 4. 31 | 68,0           |                   | 18. 6. 31 | 20,9           |                   |
| 50. 4. 31 | 68,0           |                   | 19. 6. 31 | 24,0           | 11 Tage = 46,0 mm |
| 1. 5. 31  | 70,6           |                   | 21. 6. 31 | 52,1           | 1 Tag = 4,18 mm   |
| 2. 5. 31  | 75,3           |                   | 23. 6. 31 | 40,8           |                   |
| 3. 5. 31  | 75,9           | 6 Tage = 16,0 mm  | 25. 6. 31 | 50,0           |                   |
| 4. 5. 31  | 78,3           | 1 Tag = 2,67 mm   | 25. 6. 31 | 50,0           |                   |
| 5. 5. 31  | 81,5           |                   | 25. 6. 31 | 50,0           |                   |
| 6. 5. 31  | 84,0           |                   | 27. 6. 31 | 58,7           |                   |
| 7. 5. 31  | 86,6           | 3 Tage = 8,9 mm   | 29. 6. 31 | 68,0           |                   |
| 8. 5. 31  | 89,7           | 1 Tag = 2,97 mm   | 1. 7. 31  | 78,1           | 12 Tage = 57,5 mm |
| 10. 5. 31 | 95,5           |                   | 3. 7. 31  | 87,7           | 1 Tag = 4,79 mm   |
| 10. 5. 31 | 95,5           |                   | 5. 7. 31  | 98,1           |                   |
| 12. 5. 31 | 101,5          |                   | 7. 7. 31  | 107,5          |                   |
| 14. 5. 31 | 106,8          | 10 Tage = 32,7 mm | 7. 7. 31  | 107,5          |                   |
| 16. 5. 31 | 113,4          | 1 Tag = 3,27 mm   | 9. 7. 31  | 117,4          |                   |
| 18. 5. 31 | 118,9          |                   | 11. 7. 31 | 127,6          |                   |
| 20. 5. 31 | 128,2          |                   | 15. 7. 31 | 137,6          |                   |
| 20. 5. 31 | 128,2          |                   | 15. 7. 31 | 147,3          | 10 Tage = 51,1 mm |
| 22. 5. 31 | 134,5          |                   | 17. 7. 31 | 158,3          | 1 Tag = 5,11 mm   |
| 24. 5. 31 | 140,2          | 10 Tage = 31,5 mm | 19. 7. 31 | 168,5          |                   |
| 26. 5. 31 | 147,3          | 1 Tag = 3,13 mm   | 21. 7. 31 | 178,9          |                   |
| 28. 5. 31 | 153,0          |                   | 23. 7. 31 | 189,5          |                   |
| 30. 5. 31 | 159,5          |                   |           |                |                   |

## Schrumpfschreiber Nr. 4.

Vergrößerung 11,15fach, Tiefe 475—785 cm.

|           |      |                   |           |            |                   |
|-----------|------|-------------------|-----------|------------|-------------------|
| 15. 1. 31 | 0,0  |                   | 25. 1. 31 | 28,0       |                   |
| 16. 1. 31 | 2,6  |                   | 26. 1. 31 | 31,8       |                   |
| 17. 1. 31 | 5,3  |                   | 27. 1. 31 | 34,6       |                   |
| 18. 1. 31 | 8,4  |                   | 28. 1. 31 | 37,5       |                   |
| 19. 1. 31 | 11,0 | 10 Tage = 28,0 mm | 29. 1. 31 | 40,0       | 10 Tage = 28,3 mm |
| 20. 1. 31 | 14,0 | 1 Tag = 2,80 mm   | 30. 1. 31 | 42,5       | 1 Tag = 2,85 mm   |
| 21. 1. 31 | 16,8 |                   | 31. 1. 31 | 45,3 = 0,5 |                   |
| 22. 1. 31 | 19,4 |                   | 1. 2. 31  | 3,5        |                   |
| 23. 1. 31 | 21,8 |                   | 2. 2. 31  | 6,0        |                   |
| 24. 1. 31 | 25,1 |                   | 3. 2. 31  | 9,0        |                   |
| 25. 1. 31 | 28,0 |                   | 4. 2. 31  | 11,5       |                   |

## Registrierungen und Ablesungen zur Firnschrumpfung (Fortsetzung).

| Zeit      | Stellung<br>mm |                   | Zeit      | Stellung<br>mm |                   |
|-----------|----------------|-------------------|-----------|----------------|-------------------|
| 4. 2. 51  | 11,5           |                   | 11. 5. 51 | 0,0            |                   |
| 5. 2. 51  | 14,5           |                   | 12. 5. 51 | 2,4            |                   |
| 6. 2. 51  | 17,2           |                   | 13. 5. 51 | 5,0            |                   |
| 7. 2. 51  | 19,9           |                   | 14. 5. 51 | 7,6            |                   |
| 8. 2. 51  | 22,6           |                   | 15. 5. 51 | 10,4           |                   |
| 9. 2. 51  | 25,4           | 10 Tage = 27,2 mm | 16. 5. 51 | 12,9           | 10 Tage = 26,5 mm |
| 10. 2. 51 | 27,7           | 1 Tag = 2,72 mm   | 17. 5. 51 | 15,7           | 1 Tag = 2,65 mm   |
| 11. 2. 51 | 30,7           |                   | 18. 5. 51 | 18,2           |                   |
| 12. 2. 51 | 33,3           |                   | 19. 5. 51 | 20,7           |                   |
| 13. 2. 51 | 36,2           |                   | 20. 5. 51 | 23,4           |                   |
| 14. 2. 51 | 38,7           |                   | 21. 5. 51 | 26,5           |                   |
| 14. 2. 51 | 58,7           |                   | 21. 5. 51 | 26,5           |                   |
| 15. 2. 51 | 41,6           |                   | 22. 5. 51 | 28,9           |                   |
| 16. 2. 51 | +4,5 = -0,3    |                   | 23. 5. 51 | 31,4           |                   |
| 17. 2. 51 | 2,4            |                   | 24. 5. 51 | 34,0           |                   |
| 18. 2. 51 | 5,0            | 10 Tage = 26,9 mm | 25. 5. 51 | 36,6           | 10 Tage = 25,2 mm |
| 19. 2. 51 | 7,4            | 1 Tag = 2,69 mm   | 26. 5. 51 | 39,0           | 1 Tag = 2,52 mm   |
| 20. 2. 51 | 10,1           |                   | 27. 5. 51 | 41,4           |                   |
| 21. 2. 51 | 13,0           |                   | 28. 5. 51 | 44,0           |                   |
| 22. 2. 51 | 15,5           |                   | 29. 5. 51 | +6,6 = 0,5     |                   |
| 23. 2. 51 | 18,2           |                   | 30. 5. 51 | 2,8            |                   |
| 24. 2. 51 | 21,0           |                   | 31. 5. 51 | 5,4            |                   |
| 24. 2. 51 | 21,0           |                   | 31. 5. 51 | 5,4            |                   |
| 25. 2. 51 | 23,5           |                   | 1. 4. 51  | 7,7            |                   |
| 26. 2. 51 | 26,4           |                   | 2. 4. 51  | 10,4           |                   |
| 27. 2. 51 | 28,9           |                   | 3. 4. 51  | 12,9           |                   |
| 28. 2. 51 | 31,5           | 10 Tage = 25,6 mm | 4. 4. 51  | 15,3           | 10 Tage = 25,5 mm |
| 1. 3. 51  | 34,0           | 1 Tag = 2,56 mm   | 5. 4. 51  | 18,1           | 1 Tag = 2,55 mm   |
| 2. 3. 51  | 36,5           |                   | 6. 4. 51  | 20,7           |                   |
| 3. 3. 51  | 39,0           |                   | 7. 4. 51  | 25,2           |                   |
| 4. 3. 51  | +1,7           |                   | 8. 4. 51  | 25,5           |                   |
| 5. 3. 51  | +4,2 = 0,2     |                   | 9. 4. 51  | 28,5           |                   |
| 6. 3. 51  | 2,6            |                   | 10. 4. 51 | 30,7           |                   |
| 6. 3. 51  | 2,6            |                   | 10. 4. 51 | 30,7           |                   |
| 7. 3. 51  | 5,6            |                   | 11. 4. 51 | 33,1           |                   |
| 8. 3. 51  | 8,1            | 5 Tage = 15,5 mm  | 12. 4. 51 | 35,5           |                   |
| 9. 3. 51  | 11,2           | 1 Tag = 2,66 mm   | 13. 4. 51 | 38,6           |                   |
| 10. 3. 51 | 15,6           |                   | 14. 4. 51 | 41,1           | 10 Tage = 25,5 mm |
| 11. 3. 51 | 15,9           |                   | 15. 4. 51 | 43,5           | 1 Tag = 2,55 mm   |
|           |                |                   | 16. 4. 51 | +5,8 = -0,4    |                   |
|           |                |                   | 17. 4. 51 | 2,1            |                   |
|           |                |                   | 18. 4. 51 | 4,9            |                   |
|           |                |                   | 19. 4. 51 | 7,2            |                   |
|           |                |                   | 20. 4. 51 | 9,8            |                   |

## Registrierungen und Ablesungen zur Firmschrumpfung (Fortsetzung).

| Zeit      | Stellung mm |                   | Zeit      | Stellung mm |                   |
|-----------|-------------|-------------------|-----------|-------------|-------------------|
| 20. 4. 31 | 9,8         |                   | 26. 5. 31 | 6,1         |                   |
| 21. 4. 31 | 11,8        |                   | 28. 5. 31 | 10,1        |                   |
| 22. 4. 31 | 14,5        |                   | 30. 5. 31 | 14,8        |                   |
| 23. 4. 31 | 16,8        |                   | 1. 6. 31  | 18,8        |                   |
| 24. 4. 31 | 19,4        | 10 Tage = 25,2 mm | 3. 6. 31  | 24,0        | 20 Tage = +5,2 mm |
| 25. 4. 31 | 22,4        | 1 Tag = 2,52 mm   | 5. 6. 31  | 28,2        | 1 Tag = 2,26 mm   |
| 26. 4. 31 | 24,7        |                   | 7. 6. 31  | 32,8        |                   |
| 27. 4. 31 | 27,0        |                   | 9. 6. 31  | 37,3        |                   |
| 28. 4. 31 | 29,6        |                   | 11. 6. 31 | 42,1        |                   |
| 29. 4. 31 | 32,5        |                   | 13. 6. 31 | 46,7        |                   |
| 30. 4. 31 | 35,0        |                   | 15. 6. 31 | 51,3        |                   |
| 30. 4. 31 | 55,0        |                   | 17. 6. 31 | 4,5         |                   |
| 1. 5. 31  | 37,4        |                   | 19. 6. 31 | 9,1         |                   |
| 2. 5. 31  | 39,8        | 5 Tage = 11,8 mm  | 21. 6. 31 | 13,6        |                   |
| 3. 5. 31  | 41,7        | 1 Tag = 2,36 mm   | 23. 6. 31 | 17,9        | 14 Tage = 31,5 mm |
| 4. 5. 31  | 44,2        |                   | 25. 6. 31 | 22,6        | 1 Tag = 2,24 mm   |
| 5. 5. 31  | 46,8        |                   | 27. 6. 31 | 27,3        |                   |
| 5. 5. 31  | 0,0         |                   | 29. 6. 31 | 31,7        |                   |
| 6. 5. 31  | 2,1         |                   | 1. 7. 31  | 35,8        |                   |
| 7. 5. 31  | 4,4         |                   | 11. 7. 31 | 4,2         |                   |
| 8. 5. 31  | 6,6         |                   | 13. 7. 31 | 8,9         |                   |
| 10. 5. 31 | 12,5        |                   | 15. 7. 31 | 13,6        |                   |
| 12. 5. 31 | 16,7        | 19 Tage = +5,6 mm | 17. 7. 31 | 18,2        | 14 Tage = 31,8 mm |
| 14. 5. 31 | 21,6        | 1 Tag = 2,40 mm   | 19. 7. 31 | 23,8        | 1 Tag = 2,27 mm   |
| 16. 5. 31 | 26,8        |                   | 21. 7. 31 | 27,7        |                   |
| 18. 5. 31 | 31,0        |                   | 23. 7. 31 | 31,6        |                   |
| 20. 5. 31 | 36,4        |                   | 25. 7. 31 | 36,0        |                   |
| 22. 5. 31 | +1,0        |                   |           |             |                   |
| 24. 5. 31 | +5,6        |                   |           |             |                   |

## Schrumpfschreiber Nr. 5.

Vergrößerung 10,66fach, Tiefe 695—1005 cm.

|           |      |                   |           |      |                   |
|-----------|------|-------------------|-----------|------|-------------------|
| 11. 3. 31 | 3,4  |                   | 21. 3. 31 | 21,7 |                   |
| 12. 3. 31 | 5,0  |                   | 22. 3. 31 | 23,3 |                   |
| 13. 3. 31 | 6,8  |                   | 23. 3. 31 | 25,2 |                   |
| 14. 3. 31 | 8,5  |                   | 24. 3. 31 | 26,8 |                   |
| 15. 3. 31 | 10,4 | 10 Tage = 18,5 mm | 25. 3. 31 | 28,8 | 10 Tage = 17,5 mm |
| 16. 3. 31 | 12,3 | 1 Tag = 1,85 mm   | 26. 3. 31 | 30,3 | 1 Tag = 1,73 mm   |
| 17. 3. 31 | 14,2 |                   | 27. 3. 31 | 32,0 |                   |
| 18. 3. 31 | 16,2 |                   | 28. 3. 31 | 33,8 |                   |
| 19. 3. 31 | 17,5 |                   | 29. 3. 31 | 35,4 |                   |
| 20. 3. 31 | 19,7 |                   | 30. 3. 31 | 37,5 |                   |
| 21. 3. 31 | 21,7 |                   | 31. 3. 31 | 39,0 |                   |

## Registrierungen und Ablesungen zur Firmschrumpfung (Fortsetzung).

| Zeit      | Stellung mm |                   | Zeit      | Stellung mm |                   |
|-----------|-------------|-------------------|-----------|-------------|-------------------|
| 31. 3. 31 | 39,0        |                   | 14. 5. 31 | 123,5       |                   |
| 1. 4. 31  | +1,1        |                   | 16. 5. 31 | 126,8       |                   |
| 2. 4. 31  | +5,4        |                   | 18. 5. 31 | 130,0       |                   |
| 3. 4. 31  | +5,3        |                   | 20. 5. 31 | 133,6       | 12 Tage = 19,9 mm |
| 4. 4. 31  | +6,9        |                   | 22. 5. 31 | 136,7       | 1 Tag = 1,66 mm   |
| 5. 4. 31  | +9,0        | 10 Tage = 19,5 mm | 24. 5. 31 | 140,1       |                   |
| 6. 4. 31  | 51,1        | 1 Tag = 1,95 mm   | 26. 5. 31 | 143,4       |                   |
| 7. 4. 31  | 53,2        |                   |           |             |                   |
| 8. 4. 31  | 55,1        |                   | 26. 5. 31 | 143,4       |                   |
| 9. 4. 31  | 56,9        |                   | 28. 5. 31 | 146,7       |                   |
| 10. 4. 31 | 58,5        |                   | 30. 5. 31 | 150,1       | 10 Tage = 16,6 mm |
|           |             |                   | 1. 6. 31  | 153,6       | 1 Tag = 1,66 mm   |
|           |             |                   | 3. 6. 31  | 156,9       |                   |
| 11. 4. 31 | 60,3        |                   | 5. 6. 31  | 160,0       |                   |
| 12. 4. 31 | 62,2        |                   |           |             |                   |
| 13. 4. 31 | 64,0        |                   | 5. 6. 31  | 160,0       |                   |
| 14. 4. 31 | 65,8        |                   | 7. 6. 31  | 163,6       |                   |
| 15. 4. 31 | 67,9        | 10 Tage = 19,7 mm | 9. 6. 31  | 167,2       | 8 Tage = 15,0 mm  |
| 16. 4. 31 | 69,7        | 1 Tag = 1,97 mm   | 11. 6. 31 | 169,8       | 1 Tag = 1,63 mm   |
| 17. 4. 31 | 72,3        |                   | 13. 6. 31 | 173,0       |                   |
| 18. 4. 31 | 74,0        |                   |           |             |                   |
| 19. 4. 31 | 76,1        |                   | 13. 6. 31 | 0,6         |                   |
| 20. 4. 31 | 78,0        |                   | 15. 6. 31 | 3,5         |                   |
| 21. 4. 31 | 80,0        |                   | 17. 6. 31 | 6,4         |                   |
|           |             |                   | 19. 6. 31 | 10,0        |                   |
|           |             |                   | 21. 6. 31 | 13,1        |                   |
| 21. 4. 31 | 80,0        |                   | 23. 6. 31 | 16,7        |                   |
| 22. 4. 31 | 81,4        |                   | 25. 6. 31 | 19,5        | 22 Tage = 53,9 mm |
| 23. 4. 31 | 83,0        |                   | 27. 6. 31 | 22,6        | 1 Tag = 1,54 mm   |
| 24. 4. 31 | 85,1        |                   | 29. 6. 31 | 25,5        |                   |
| 25. 4. 31 | 87,5        | 10 Tage = 20,2 mm | 1. 7. 31  | 27,8        |                   |
| 26. 4. 31 | 89,2        | 1 Tag = 2,02 mm   | 3. 7. 31  | 31,4        |                   |
| 27. 4. 31 | 90,6        |                   | 5. 7. 31  | 34,5        |                   |
| 28. 4. 31 | 92,9        |                   |           |             |                   |
| 29. 4. 31 | 95,3        |                   | 5. 7. 31  | 34,5        |                   |
| 30. 4. 31 | 97,1        |                   | 7. 7. 31  | 37,5        |                   |
| 1. 5. 31  | 100,2       |                   | 9. 7. 31  | 40,7        |                   |
|           |             |                   | 11. 7. 31 | 44,6        |                   |
|           |             |                   | 13. 7. 31 | 46,9        |                   |
| 1. 5. 31  | 100,2       |                   | 15. 7. 31 | 50,1        | 22 Tage = 55,5 mm |
| 2. 5. 31  | 101,8       |                   | 17. 7. 31 | 53,6        | 1 Tag = 1,61 mm   |
| 3. 5. 31  | 103,5       |                   | 19. 7. 31 | 57,2        |                   |
| 4. 5. 31  | 105,3       | 7 Tage = 11,9 mm  | 21. 7. 31 | 60,1        |                   |
| 5. 5. 31  | 107,0       | 1 Tag = 1,70 mm   | 23. 7. 31 | 62,8        |                   |
| 6. 5. 31  | 108,6       |                   | 25. 7. 31 | 65,9        |                   |
| 7. 5. 31  | 110,6       |                   | 27. 7. 31 | 70,0        |                   |
| 8. 5. 31  | 112,1       |                   |           |             |                   |
|           |             |                   | 27. 7. 31 | 70,0        | 10 Tage = 14,0 mm |
|           |             |                   | 6. 8. 31  | 84,0        | 1 Tag = 1,40 mm   |

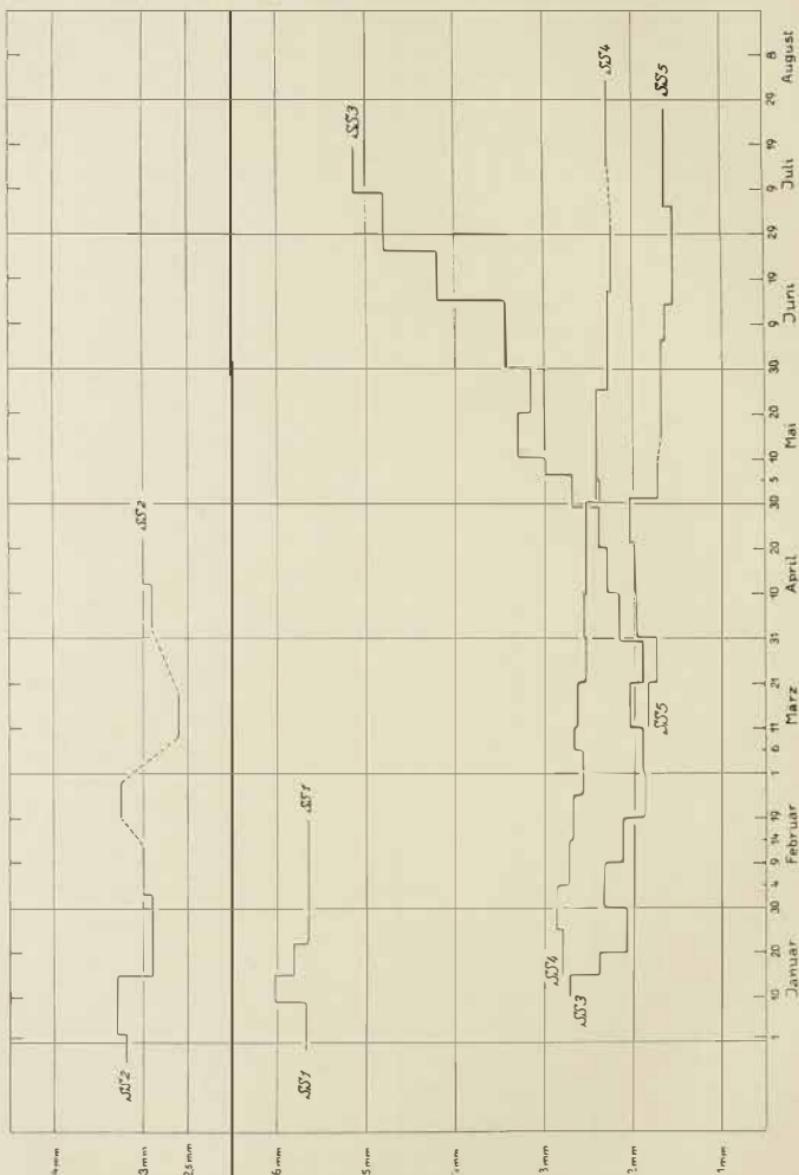


Abb. 30. Graphische Darstellung der täglichen mittleren Hebelepitzenbewegung der Schrumpfschreiber. Die Zeitabschnitte sind dieselben wie in der Zahlenübersicht auf S. 145—151.

## Schrumpfung der Höhe des Wohnraums in Eismitte.

| Zeitpunkt   | Bei Sorges Sitzplatz.<br>Abstand zwischen dem<br>Waagebrett an der Decke<br>und dem Tisch<br>em | Am Luftloch.<br>Abstand zwischen<br>2 Holzpflocken am<br>Luftloch und Fußboden<br>em | Beobachter |
|-------------|---|--|------------|
| 21. 1. 1951 | —   | 186,0  | Sorge      |
| 29. 1. 1951 | —   | 184,5  | "          |
| 5. 2. 1951  | 85,8  | —  | "          |
| 9. 2. 1951  | 84,9  | 181,9  | "          |
| 15. 2. 1951 | 84,0  | 180,6  | "          |
| 17. 2. 1951 | 85,25   | 179,6  | "          |
| 24. 2. 1951 | 82,0  | 178,0  | "          |
| 5. 5. 1951  | 80,6  | —  | "          |
| 15. 5. 1951 | 79,5  | 176,0  | "          |
| 25. 5. 1951 | 77,5  | 175,2  | "          |
| 2. 4. 1951  | 75,9  | 171,7  | "          |
| 7. 4. 1951  | 74,8  | { 170,1<br>{ 179,5<br>(Neu-Einstellung)  | "          |
| 12. 4. 1951 | 75,9  | { 178,2<br>{ 177,4<br>(Neu-Einstellung)  | "          |
| 16. 5. 1951 | 66,7  | 172,2  | Georgi     |
| 9. 6. 1951  | 62,1  | 168,9  | "          |
| 17. 6. 1951 | 60,5  | 167,4  | "          |
| 25. 6. 1951 | 58,7  | 166,1  | "          |
| 5. 7. 1951  | 57,5  | 164,8  | "          |
| 11. 7. 1951 | 55,6  | 165,6  | "          |
| 19. 7. 1951 | 55,8  | 162,6  | "          |
| 5. 8. 1951  | —   | 160,1  | Sorge      |

## 2. Auswertung der Messungen.

Aus der registrierten Firnschrumpfung muß die wahre Firnschrumpfung berechnet werden. Hierbei ist nicht nur die Vergrößerung durch die Hebelübersetzung zu berücksichtigen, sondern auch die Bewegung der Registriervorrichtung. Es bewegt sich ja nicht nur das obere Grenzbrett gegen das untere, sondern ebenfalls diejenige Firnschicht, an der der Registrierstreifen mittels Stativ oder Drähten befestigt ist. Diese Abwärtsbewegung des Papierstreifens ist der Bewegung der Schreibfeder entgegengesetzt. Aus zwei Gründen ist also die registrierte Firnschrumpfung zu

groß. Die Umrechnung in wahre Firnschrumpfung sei hier an einem Beispiel durchgeführt:

Der vierte Schrumpfschreiber befand sich in der oberen Hälfte des Schachts. Seine waagerechten Grenzbretter lagen in 495 und 735 cm Tiefe. Die Vereisung des oberen und unteren Grenzbrettes erstreckte sich noch bis zu den Tiefen 475 bzw. 785 cm Tiefe. Da das Eis bei der Schachttemperatur von  $-30^{\circ}\text{C}$  praktisch starr ist, wird die Holzkonstruktion durch die beiden Eisblöcke gleichsam nach oben und unten verlängert, so daß im ganzen die Zusammenschrumpfung des Schichtenpakets zwischen 475 und 785 cm Tiefe registriert wird. Die Länge des langen Hebelarms betrug 63,0 cm, die des kurzen 6,0 cm. Das Übersetzungsverhältnis war also 63:6, gleich 10,5:1. Der Standort des Registrierstatisivs war 150 cm über dem unteren Grenzbrett, also 2 m über der Unterfläche des Eisfundaments oder in 585 cm Tiefe. Die Schrumpfungsbeträge zweier benachbarter Firnabteilungen in gleichen Zeiten verhalten sich unter Vernachlässigung des geringen Dichteunterschieds in erster Annäherung ebenso wie die Mächtigkeiten. In unserem Falle vergleichen wir die gleichzeitigen Schrumpfungen der Firnabteilungen 585—785 cm und 475—785 cm. Wenn die zweite Abteilung in einer gewissen Zeit um den Betrag  $x$  mm schrumpft, schrumpft die erste in derselben Zeit um den Betrag

$$\frac{785 - 585}{785 - 475} \cdot x \text{ mm} = \frac{200}{310} \cdot x \text{ mm}$$

Die Schrumpfung der Abteilung 475—785 cm zeigt sich an dem Schrumpfschreiber in einer Senkung des kurzen Hebelarms um  $x$  mm. Infolgedessen hebt sich das Ende des langen Hebelarms um  $10,5 \cdot x$  mm, und außerdem senkt sich das Registrierpapier um  $\frac{200}{310} x$  mm. Für die gesamte Registrierung  $r$  und die wahre Firnschrumpfung  $x$  gilt also die Gleichung

$$r = 10,5 \cdot x + \frac{200}{310} x$$

oder

$$r = 11,15 x.$$

Während also die Hebelvergrößerung 10,5fach ist, beträgt die tatsächliche Registriervergrößerung das 11,15fache der wahren Firnschrumpfung. Die Stufenhöhen der Registrierungen des vierten Schrumpfschreibers sind also durch 11,15 zu teilen und ergeben dann die wahre Firnschrumpfung. Die Registriervergrößerung der anderen Schrumpfschreiber wird in derselben Weise berechnet.

Für die fünf Apparate gelten folgende Abmessungen und Vergrößerungen:

| Apparat            | Tiefe der Grenzbretter<br>em | Wahre Spannweite mit Einschluß der Eisblöcke<br>em | Befestigungstiefe des Registrierpapiers<br>em | Hebelarme            |              | Wahre Vergrößerung |
|--------------------|------------------------------|--|---|----------------------|--------------|--------------------|
|                    |                              |  |   | langer<br>em         | kurzer<br>em |                    |
| SS 1               | 125—264                      | 115—290  | 195   | 51,0 (R)<br>65,0 (A) | 6,5<br>6,5   | 8,59<br>10,54      |
| SS 2               | 260—405                      | 250—415  | 350   | 65,0                 | 6,5          | 10,52              |
| SS 3<br>Frachtraum | 160—300                      | 150—320  | 250   | 65,0                 | 6,5          | 10,53              |
| SS 4               | 495—735                      | 475—785  | 585   | 65,0                 | 6,0          | 11,15              |
| SS 5               | 715—955                      | 695—1005   | 800   | 65,0                 | 6,5          | 10,66              |

Bemerkungen: (R) = Registrierung, (A) = direkte Ablesung.

Die abgelesenen oder registrierten Schrumpfungsbeträge, durch die wahre Vergrößerung geteilt, ergeben die wahren Schrumpfungsbeträge der von den Schrumpfschreibern oder sonstigen Meßvorrichtungen erfaßten Firnschichten. Diese Beträge sind dann noch auf eine Schichtmächtigkeit von 1 m und auf eine Schrumpfungszeit von 1 Monat zu 30 Tagen umgerechnet worden, um Vergleiche zu erleichtern. So ergab sich folgende Zahlenübersicht:

| Meßstelle | Tiefe unter der Oberfläche vom 15.9.30<br>em | Zeitabschnitt  | Schrumpfzeit<br>Tage | Schrumpfung                    |                                  |   |
|-----------|--|--|----------------------|--------------------------------|----------------------------------|---|
|           |  |  |                      | registrierte<br>em             | wahre<br>em                      | auf 1 m Schicht und 1 Monat bezogen<br>em |
| SS 1      | 115—290                                      | 30. 12.—15. 1.<br>15. 1.—19. 2.                            | 15<br>35             | 8,39<br>24,9                   | 1,04<br>2,36                     | (1,19)<br>(1,15)                          |
| SS 2      | 250—415                                      | 4. 1.—1. 2.<br>5. 2.—19. 3.<br>2. 4.—4. 5.<br>16. 5.—9. 6. | 27<br>28<br>32<br>24 | 10,52<br>8,20<br>10,40<br>7,50 | 0,845<br>0,778<br>0,988<br>0,711 | 0,569<br>0,526<br>0,562<br>0,538          |
| SS 3      | 150—320                                      | 15. 1.—9. 2.<br>9. 2.—11. 3.<br>11. 3.—10. 4.              | 25<br>29<br>30       | 5,60<br>5,65<br>6,07           | 0,532<br>0,536<br>0,577          | 0,375<br>0,326<br>0,340                   |
| SS 5      | 150—320                                      | 10. 4.—10. 5.<br>10. 5.—15. 6.<br>14. 6.—23. 7.            | 29<br>34<br>35       | 7,14<br>11,19<br>15,46         | 0,678<br>1,061<br>1,469          | (0,412)<br>(0,551)<br>(0,787)             |

| Meßstelle  | Tiefe<br>unter der<br>Oberfläche<br>vom 15.9.30<br>cm | Zeit-<br>abschnitt  | Schrumpf-<br>zeit<br>Tage  | Schrumpfung                              |             |   |
|--|---|---|----------------------------|--|-------------|---|
|  |   |   |                            | registrierte<br>cm                       | wahre<br>cm | auf 1 m Schicht<br>und 1 Monat be-<br>zogen<br>cm |
| SS 4   | 475—785   | 15. 1.—14. 2.   | 50                         | 8,55                                     | 0,749       | 0,242   |
|  |   | 14. 2.—11. 3.   | 25                         | 6,58                                     | 0,591       | 0,229   |
|  |   | 11. 3.—10. 4.   | 50                         | 7,68                                     | 0,689       | 0,222   |
|  |   | 10. 4.—5. 5.  | 25                         | 6,25                                     | 0,559       | 0,216   |
|  |   | 5. 5.—15. 6.  | 59                         | 9,08                                     | 0,814       | 0,202   |
|  |   | 17. 6.—25. 7.   | 28                         | 6,51                                     | 0,566       | 0,196   |
| SS 5   | 695—1005  | 11. 5.—10. 4.   | 50                         | 5,51                                     | 0,517       | 0,166   |
|  |   | 11. 4.—8. 5.  | 27                         | 5,18                                     | 0,486       | 0,174   |
|  |   | 14. 5.—15. 6.   | 50                         | +95                                      | 0,+64       | 0,150   |
|  |   | 15. 6.—5. 7.  | 22                         | 5,59                                     | 0,518       | 0,140   |
|  |   | 5. 7.—6. 8.   | 52                         | +95                                      | 0,+64       | 0,140   |
| Nr. 6<br>Sorges Sitz-<br>platz am Ar-<br>beitstisch im<br>Wohnraum | 195—565   | 5. 2.—5. 5.<br>5. 5.—7. 4.<br>7. 4.—16. 5.<br>16. 5.—17. 6.<br>17. 6.—19. 7.    | 28<br>55<br>59<br>52<br>52 | gemessene und zugl.<br>wahre Schrumpfung |             |   |
|  |   |   |                            |  | 5,2         | 5,28  |
|  |   |   |                            |  | 5,8         | 5,10  |
|  |   |   |                            |  | 8,1         | 5,66  |
|  |   |   |                            |  | 6,2         | 5,42  |
|  |   |   |                            |  | 6,7         | 5,68  |
| Nr. 7<br>am Luftloch<br>des Wohn-<br>raums                         | 185—565   | 21. 1.—24. 2.<br>24. 2.—7. 4.<br>7. 4.—16. 5.<br>16. 5.—17. 6.<br>17. 6.—19. 7. | 54<br>42<br>59<br>52<br>52 | gemessene und zugl.<br>wahre Schrumpfung |             |   |
|  |   |   |                            |  | 8,0         | 5,92  |
|  |   |   |                            |  | 7,9         | 5,52  |
|  |   |   |                            |  | 6,5         | 2,78  |
|  |   |   |                            |  | 4,8         | 2,50  |
|  |   |   |                            |  | 4,8         | 2,50  |

Die Auswahl der Zeitabschnitte richtete sich nach den Registrierblättern. Es wurden auch nur solche Zeiten benutzt, deren Endpunkte scharf erkennbar sind. Dagegen wurde vermieden, Schrumpfbeträge über unterbrochene Registrier-Treppenkurven hinweg zu addieren. Damit wird die Genauigkeit gesteigert. Dafür sind nicht alle Zahlen unmittelbar miteinander vergleichbar.

### 3. Zusammenhang der Firnschrumpfung mit den Firndichte- messungen und dem Firnzuwachs. Die zeitliche und räumliche Dichteänderung des Firns.

Die Vergrößerung der Firndichte mit der Tiefe und mit der Zeit wird durch den Druck des Firns hervorgerufen, in den oberen Schichten vielleicht auch noch durch einfaches Zusammensacken. Der Druck steigt sich Jahr für Jahr durch den Schneeauftrag. Der Schneeauftrag an der

Oberfläche erfolgt nicht ununterbrochen und gleichmäßig, sondern unstetig, sprunghaft, da Schneestürme mit Tagen ohne Niederschlag wechseln. Die Firnschrumpfung in den tiefen Firnschichten ist von diesen Unregelmäßigkeiten des Schneezuwachses unabhängig. Das ist leicht einzusehen, denn die Schrumpfung einer Schichtenabteilung wird durch das Gesamtgewicht aller auf seiner Basis lastenden Firnmassen bewirkt, zum Beispiel in 7 m Tiefe durch den Zuwachs von 10 Jahren. Das entspricht einem Druck von rund 3 m Wassersäule. In unserem Beispiel ist also die Schrumpfung die Folge des Firnuwachses der letzten 10 Jahre. Nehmen wir an, daß zum Beispiel 10 Tage lang die Schneeooberfläche ungeändert bleibt, dann lastet während dieser Zeit ständig ein Druck von 3 m Wasserhöhe in der betrachteten Tiefe. Nehmen wir statt dessen an, daß am Anfang dieser 10 Tage 10 cm Niederschlag der Dichte 0,3 fällt, so würde der Druck in 7 m Tiefe nicht mehr 3 m Wasser, sondern 3,03 m Wasser betragen, also nur ganz unweesentlich höher sein. Die Schrumpfungsänderungen durch die unregelmäßige Verteilung der Niederschläge sind gegenüber der Größe des Schrumpfbetrages selbst von höherer Ordnung klein. Erst wenn der Zuwachs längere Zeit hindurch (monatelang) sich erheblich änderte, würde auch die Schrumpfung in größeren Tiefen merkbar beeinflußt werden. Wir dürfen daher für die weiteren Betrachtungen über die Firnschrumpfung annehmen, daß der Schneeauftrag an der Oberfläche gleichmäßig und stetig erfolgt.

Die Schrumpfungsregistrierungen bestätigen diese Überlegung, denn sie zeigen einen sehr gleichmäßigen Verlauf. Bei genauerer Auswertung ergeben sich freilich auch einige Verschiedenheiten, die später erläutert und erklärt werden. Aus der allgemeinen Regelmäßigkeit der Firnschrumpfung folgt, daß diese im ganzen der Zeit proportional verläuft und von den zufälligen Niederschlagsperioden an der Oberfläche frei ist. Besonders die Meßvorrichtungen SS 4 und SS 5, die in den größten Tiefen aufgestellt waren, zeigen eine wunderbar gleichmäßige Schrumpfung an, wie sie bei der einfachen Bauart und den Störungen durch den Hohlraum des Schachts kaum erwartet werden konnte.

Nachdem wir also für die Betrachtung der Firnschrumpfung den Schneeauftrag an der Oberfläche mit Recht als gleichmäßig und stetig vorausgesetzt haben, ist es gestattet, von dem täglichen Schneezuwachs und damit auch von einer „Tagesschicht“ Schnee zu sprechen. Wir denken uns also den Zuwachs des Inlandeises dadurch dargestellt, daß täglich die gleiche Schneeschicht von beiläufig  $\frac{90}{365} = \frac{1}{4}$  cm Mächtigkeit anfällt. In dem Maße, wie eine solche Tagesschicht von den später anfallenden Tagesschichten überdeckt wird und in größere Tiefen gelangt, wird sie zusammengedrückt. Nach einiger Zeit füllt sie die Tiefe  $x$  cm bis  $x + \Delta x$  cm aus (wobei  $\Delta x$  sich aus der Dichtezunahme leicht be-

rechnen läßt) und bildet dann eine „Tagesschicht in der Tiefe  $x$  cm“. Die Schnelligkeit, mit der eine bestimmte ins Auge gefäßte Tagesschicht im Laufe der Zeit zusammengedrückt wird, hängt nun offenbar von dem Tageszuwachs selbst ab. Je größer der Tageszuwachs ist, um so schneller gerät die betrachtete Tagesschicht in die Tiefe, desto schneller nimmt der Druck der auf ihr lastenden späteren Tagesschichten zu, desto größer ist also die Zusammendrückung unserer Tagesschicht. Es besteht also ein Zusammenhang zwischen der Geschwindigkeit der Firnschrumpfung und dem Zuwachs des Inlandeises, der im folgenden rechnerisch ermittelt wird. Hierbei geben die direkten Firnschrumpfungsmessungen mit Hilfe der Firnschrumpfschreiber zusammen mit der Dichtekurve ein bisher noch nicht angewendetes Mittel zur Bestimmung des jährlichen Zuwachses und damit zugleich einen unabhängigen Beweis dafür, daß die Schwankungen in den Firndichten wirklich mit dem Wechsel der Jahreszeiten zusammenfallen. Dieser Beweis ist um so notwendiger und wichtiger, weil frühere Expeditionen die Jahresabteilungen des Inlandeises nicht hatten finden können, da keine unmittelbare sichtbare Jahresschichtung vorhanden ist.

Um den Zusammenhang zwischen Firnschrumpfung und Zuwachs aufzuweisen, wird ein Firnschichtenpaket zwischen den Tiefen  $x_1$  und  $x_2$  ( $x_2 > x_1$ ) betrachtet. Seine Mächtigkeit beträgt  $x_2 - x_1$ . Welche Veränderung nach Lage und Mächtigkeit erleidet das betrachtete Schichtenpaket nach Ablauf eines Tages? Auf die Oberfläche hat sich eine neue Tagesschicht gelegt. Ihr entspricht in der Tiefe  $x_1$  eine (zusammengedrückte) Tagesschicht der Mächtigkeit  $\Delta x_1$ , in der Tiefe  $x_2$  eine (noch stärker zusammengedrückte) Tagesschicht der Mächtigkeit  $\Delta x_2$ . Das betrachtete Schichtenpaket befindet sich nach Ablauf eines Tages also zwischen den Tiefen  $x_1 + \Delta x_1$  und  $x_2 + \Delta x_2$ . Die Mächtigkeit beträgt daher

$$x_2 + \Delta x_2 - (x_1 + \Delta x_1).$$

Die Mächtigkeit hat sich durch Zusammenpressung verringert um den Betrag

$$x_2 - x_1 - [x_2 + \Delta x_2 - (x_1 + \Delta x_1)] = \Delta x_1 - \Delta x_2.$$

Dazu kommt eine scheinbare Schrumpfung, die durch das seitliche Ausweichen des Firns in den Schacht hinein verursacht wird. Bezeichnet man sie mit  $A$ , so ist die beobachtete Schrumpfung

$$F = \Delta x_1 - \Delta x_2 + A.$$

Die Firndichte wird wie früher mit  $s(x)$  bezeichnet, wobei  $x$  die Tiefe bedeutet. Da nun beim Zusammenpressen des Firns nach allen Beobach-

tungen keine nennenswerte Masse verlorengeht oder gewonnen wird, behält eine Tagesschicht stets dieselbe Masse. Daher besteht die Beziehung

$$\Delta x_1 \cdot s(x_1) = \Delta x_2 \cdot s(x_2),$$

so daß sich als Tagesschrumpfung ergibt

$$F - A = \Delta x_2 \cdot \left[ \frac{s(x_2) - s(x_1)}{s(x_1)} \right], \quad (A)$$

Die Gültigkeit der Gleichung (A) ist natürlich nicht auf die Schrumpfung eines Tages beschränkt. Versteht man unter  $\Delta x_2$  zum Beispiel eine „Monatsschicht“, dann bedeutet die rechte Seite den Betrag der monatlichen Schrumpfung des Firnschichtenpakets zwischen den Tiefen  $x_1$  und  $x_2$  usw. Doch darf man die Gleichung nicht auf sehr lange Zeiten (zum Beispiel mehrere Jahre) anwenden, da die Schrumpfung mit der zunehmenden Tiefe des Firnschichtenpakets abnimmt und also dann nicht mehr genau proportional mit der Zeit wächst, sondern langsamer (siehe zum Beispiel in der Tabelle auf S. 156 die Werte für SS 4 und SS 5 in der letzten Spalte).

Mit Hilfe der Gleichung (A), der Jahresdichteinteilung des Firns und der Firndichtekurve sind die monatlichen, theoretisch zu erwartenden Schrumpfungsbeträge für 1 m mächtige Firnabteilungen berechnet und in der Zahlenübersicht auf S. 161 zusammengestellt worden. Vergleicht man damit die tatsächlich registrierten und auf S. 161 ausgewerteten Schrumpfungsbeträge, so erkennt man in vielen Fällen eine Übereinstimmung, die bei der völligen Neuheit des Verfahrens überraschend ist. Die Abweichungen lassen sich durch die Hohlräume unserer unterirdischen Bauten erklären und werden nachher behandelt. Sehr gute Werte liefern die Schrumpfschreiber Nr. 3 vom 15. Januar 1931 bis 10. April, der Schrumpfschreiber Nr. 4 in allen Registrierungen (vom 15. Januar bis 25. Juli, also über ein halbes Jahr lang!) und der Schrumpfschreiber Nr. 5 in allen Registrierungen (vom 11. März bis 6. August). Besonders deutlich wird die schöne Übereinstimmung zwischen berechneter und gemessener Schrumpfung, wenn man aus Gleichung (A), angewandt auf ein Jahr, die Mächtigkeit einer Jahresschicht  $\Delta x_2$  in der Tiefe  $x_2$  berechnet. Gleichung (A) geht dann über in

$$\Delta x_2 = F \frac{s(x_1)}{s(x_2) - s(x_1)} - A \frac{s(x_1)}{s(x_2) - s(x_1)} \cdot (B)$$

Die Größen der rechten Seite sind bis auf A gemessen worden. Die Werte von  $s(x_1)$  und  $s(x_2)$  folgen aus den Dichtemessungen, F stellt den jährlichen Schrumpfungsbetrag des Schichtpakets zwischen den Tiefen  $x_1$  und  $x_2$  dar, also das Ergebnis der Schrumpfungsregistrierungen.

Für A kann man einen plausiblen Wert einsetzen. Da die Firntemperaturen im Jahresmittel für alle Tiefen nahezu denselben Wert haben,

muß das seitliche Ausweichen des Firns in den Schacht hinein dem Druck proportional sein. Ist  $p(x)$  der Druck in der Tiefe  $x$ , so ist die durch das seitliche Ausweichen erzeugte scheinbare Schrumpfung

$$A = \beta \cdot \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx$$

Der Druck ergibt sich aus der Dichtetabelle. Wird die Integration nach der Simpsonschen Regel durchgeführt, findet man für die drei Schrumpfschreiber

$$\begin{array}{lll} \text{SS 3} & \int_{x_1}^{x_2} p(x) dx = 0,146 \cdot 10^5 & A = 0,131 \text{ cm} \\ & & \\ \text{SS 4} & 0,789 \cdot 10^5 & 0,710 \text{ cm} \\ \text{SS 5} & 1,139 \cdot 10^5 & 1,025 \text{ cm} \end{array}$$

Die in der letzten Spalte stehenden Beträge der scheinbaren Schrumpfung  $A$  sind mit dem Wert  $\beta = 0,9 \cdot 10^{-5}$  gerechnet, den eine Versuchsrechnung als angemessenen Wert ergab. Die Beträge der jährlichen scheinbaren Schrumpfung  $A$  sind durchaus wahrscheinlich.

Mit diesen Werten liefert also Gleichung (B) einen Wert für die durchschnittliche Mächtigkeit einer Jahresschicht in der Tiefe  $x_2$ , der von den direkten Messungen der Schichtmächtigkeiten vollkommen unabhängig ist.

Für die drei Schrumpfschreiber entnimmt man aus den früheren Angaben folgendes:

|      | Gemessene Schrumpfung $f$<br>em | Zeitdauer $t$<br>Tage | Vergroßerungsverhältnis $\gamma$ | Dichte an der oberen Grenze $s(x_1)$ | Dichte an der unteren Grenze $s(x_2)$ |
|------|---------------------------------|-----------------------|----------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|
| SS 3 | 17,32                           | 84                    | 10,53                            | 0,372                                | 0,411                                 |
| SS 4 | 44,23                           | 177                   | 11,15                            | 0,445                                | 0,499                                 |
| SS 5 | 23,98                           | 141                   | 10,66                            | 0,488                                | 0,521                                 |

Die Jahresschrumpfung ergibt sich daraus nach der Formel

$$F = \frac{f \cdot 365}{\gamma \cdot t}.$$

Für die drei Schrumpfschreiber findet man:

|      | F<br>em         | $F \cdot \frac{s(x_1)}{s(x_2) - s(x_1)}$<br>em | $A \cdot \frac{s(x_1)}{s(x_2) - s(x_1)}$<br>em | $\Delta x_2$<br>em |
|------|-----------------|--|--|--------------------|
| SS 3 | $7,16 \pm 0,31$ | $68,3 \pm 3,0$                                 | 1,2  | $67 \pm 3$         |
| SS 4 | $8,20 \pm 0,26$ | $67,6 \pm 2,1$                                 | 5,9  | $62 \pm 2$         |
| SS 5 | $5,82 \pm 0,26$ | $86,1 \pm 3,8$                                 | 15,2   | $71 \pm 4$         |

Die mittleren Unsicherheiten, die bei F angegeben sind, ergeben sich aus den Abweichungen der einzelnen Monatswerte von ihrem Mittel. Diese zeigen allerdings einen systematischen Gang. Die Ursache dafür zu finden, muß späteren Untersuchungen überlassen bleiben. Man könnte an einen Einfluß der jährlichen Temperaturwelle oder ein allmähliches Abklingen der scheinbaren Schrumpfung denken. So lange die Frage nicht geklärt ist, bleibt nichts übrig als die Abweichungen als zufällig zu behandeln.

Beim Vergleich der so gefundenen Schichtmächtigkeiten  $\Delta x_2$  mit den unmittelbar beobachteten können nicht die einzelnen individuellen Jahreschichten benutzt werden, weil diese durch die Unregelmäßigkeit der Niederschläge beeinflußt sind. Bei Abteilung der Formeln (A) und (B) ist aber die Voraussetzung eines Jahr für Jahr gleichbleibenden Auftrags genügt worden. Deshalb können die oben gefundenen  $\Delta x_2$  auch nur mit Durchschnittswerten verglichen werden. Dazu könnten die Schichtmächtigkeiten dienen. Es dürfte aber vorzuziehen sein, die Durchschnittswerte unmittelbar aus den beobachteten Werten abzuleiten. Den letzteren entspricht ein linearer Verlauf der Durchschnittswerte der Jahresschichtmächtigkeiten

$$M = (75,3 - 0,0115 x) \text{ cm.}$$

Daß sich diese lineare Gleichung den Beobachtungen sehr gut anschließt, zeigen die übrigbleibenden Fehler (B-R).

| Tiefe x<br>em | B<br>em | B-R<br>em | Tiefe x<br>em | B<br>em | B-R<br>em |
|---------------|---------|-----------|---------------|---------|-----------|
| 28            | 56      | -19       | 740           | 96      | +29       |
| 103           | 94      | -20       | 818           | 60      | -6        |
| 194           | 88      | +15       | 878           | 59      | -6        |
| 278           | 81      | +9        | (940)         | (67)    | (+5)      |
| 355           | 72      | +1        | (1007)        | (66)    | (+2)      |
| 415           | 48      | -22       | 1072          | 65      | +2        |
| 468           | 58      | -12       | 1132          | 54      | -8        |
| 527           | 60      | -9        | 1189          | 60      | -2        |
| 589           | 64      | -4        | 1254          | 70      | +9        |
| 656           | 71      | +3        | 1317          | 56      | -4        |

Die mittlere durch Niederschlagsschwankungen erzeugte Unregelmäßigkeit einer Jahresschichtmächtigkeit ist  $\pm 12,7$  cm.

Für die drei Schrumpfschreiber ergibt sich folgendes:

|      | untere Tiefe<br>$x_2$<br>em | $\Delta x_2$ beobachteter<br>Durchschnitts-<br>wert = M<br>em | $\Delta x_2$ aus den<br>Schrumpfungs-<br>messungen be-<br>rechnet<br>em | Differenz<br>em | Summe der<br>mittleren<br>Fehler<br>em |
|------|-----------------------------|---|---|-----------------|--|
| SS 3 | 320                         | 72 $\pm$ +  | 67 $\pm$ 3  | +5              | $\pm$ 7                                |
| SS 4 | 785                         | 66 $\pm$ 3  | 62 $\pm$ 2  | +4              | $\pm$ 5                                |
| SS 5 | 1005                        | 64 $\pm$ 4  | 71 $\pm$ 4  | -7              | $\pm$ 8                                |

Die Differenz der beiden auf völlig verschiedenen und voneinander unabhängigen Beobachtungen beruhenden Werte von  $\Delta x_2$  bleibt bei allen drei Schrumpfschreibern unter der Summe der mittleren Fehler. Innerhalb der durch die Verschiedenheit der jährlichen Niederschläge bedingten Unregelmäßigkeiten stimmen sie daher miteinander überein.

Vernachlässigt man das seitliche Ausweichen des Firns in den Schacht, so ist  $A=O$  zu setzen. Dann bekommt man folgenden Vergleich:

|      | Untere Tiefe<br>$x_2$<br>em | $\Delta x_2$ beobachteter<br>Durchschnittswert = M<br>em | $\Delta x_2$ aus den<br>Schrumpfungs-<br>messungen be-<br>rechnet<br>em | Differenz<br>em | Summe der<br>mittleren<br>Fehler<br>em |
|------|-----------------------------|--|---|-----------------|--|
| SS 5 | 520                         | $72 \pm 4$   | $68 \pm 5$  | + 4             | $\pm 7$                                |
| SS 4 | 785                         | $66 \pm 5$   | $68 \pm 2$  | - 2             | $\pm 5$                                |
| SS 5 | 1005                        | $64 \pm 4$   | $86 \pm 4$  | -22             | $\pm 8$                                |

Bei Schrumpfschreiber Nr. 5 beträgt die Differenz der beiden Werte von  $\Delta x_2$  fast das dreifache der Summe der mittleren Fehler, so daß für SS 5 die Vernachlässigung der scheinbaren Schrumpfung nicht zulässig ist. Möglicherweise ist sie aber nicht dem Druck proportional, sondern beginnt erst bei einem gewissen Schwellenwert des Drucks, der etwa bei SS 4 liegen muß, da das negative Vorzeichen der Differenz bereits bei SS 4 auf das Vorhandensein einer schwachen scheinbaren Schrumpfung hinweist.

Die Schrumpfungsmessungen stellen ein neues Verfahren dar, um den Jahreszuwachs des Inlandes zu messen. Man braucht dazu nicht ein ganzes Jahr hindurch den Zuwachs zu beobachten, sondern es ist nur die Zeit nötig, die das Ausgraben eines Schachts von einigen Metern Tiefe, der Bau einiger Schrumpfschreiber und das Beobachten während einiger Monate insgesamt erfordert. Allerdings muß vorher noch die Ursache des zeitlichen Ganges der Schrumpfung festgestellt werden. Für unsere Untersuchungen in Eismitte bilden die Schrumpfungsmessungen den strengen Beweis dafür, daß die Firnschichten Jahresschichten sind. Der Fall wäre ja auch denkbar, daß die Dichteschwankungen des Firns durch irgendwelche unbekannten periodischen Vorgänge zustandekommen, die eine andere Periode haben als ein Jahr. Die Schrumpfungsmessungen beweisen aber, daß die Periode ein Jahr lang sein muß.

Die Frage, ob die Schrumpfung allein durch zunehmenden Druck oder außerdem auch noch durch allmähliches Zusammensacken zustande kommt, bleibt offen. Sie spielt aber für das Ergebnis keine Rolle, da dies nur aus den geometrischen Begriffen des täglichen bzw. jährlichen durchschnittlichen Auftrags und der Schrumpfung abgeleitet ist. Die Ursache

der Schrumpfung wird bei der Rechnung nicht benutzt, abgesehen von der kleinen Korrektionsgröße der scheinbaren Schrumpfung durch seitliches Ausweichen in den Schacht.

Wir wenden uns nun zu den Unregelmäßigkeiten der Firnschrumpfung und ihrer Erklärung. Insbesondere betrachten wir die Gruppe der

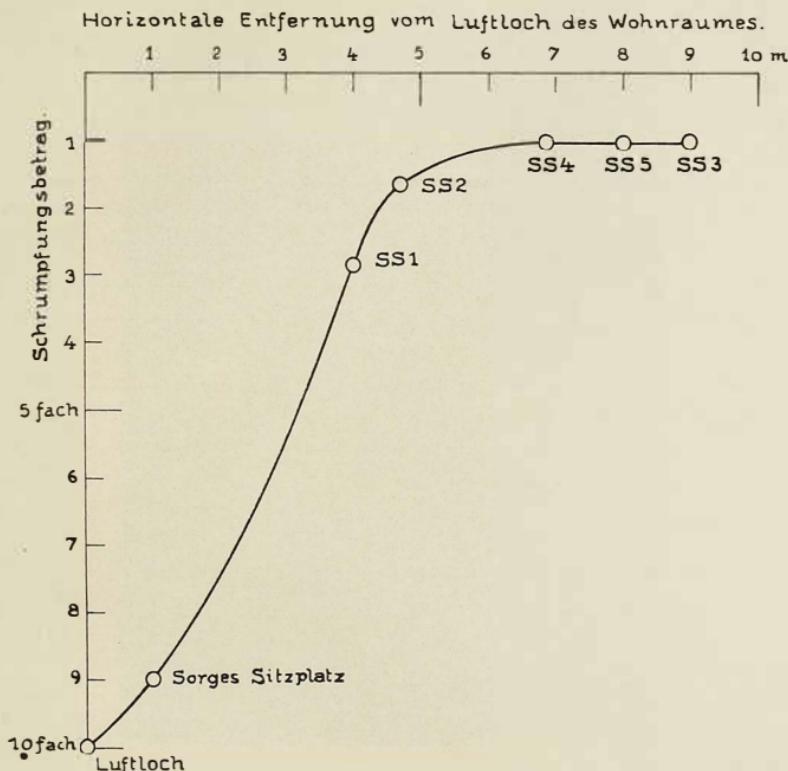


Abb. 31.

Vervielfachung der Schrumpfung durch Hohlräume usw. (zur Zahlenübersicht auf S. 164).

Schrumpfungsmesser, die besonders nahe am Wohnraum und in gleicher Tiefe aufgestellt waren. Alle diese Vorrichtungen zeigen zu große Schrumpfungen an. Die Vervielfachung der Schrumpfung gegenüber der normalen stellen wir zusammen. Am meisten senkt sich begreiflicherweise die Decke unseres Wohnraumes am Luftloch (Meßstelle 7); denn dort war die Spannweite und Belastung der Decke am größten. Man wird erwarten, daß mit wachsender Entfernung vom Luftloch die Schrumpfung kleiner wird. Das ist auch der Fall, wie aus der Tabelle hervorgeht, in der die

horizontalen Entfernungen der verschiedenen Meßstellen vom Luftloch und die Vervielfachung des Schrumpfungsbetrages in runden Zahlen angegeben sind.

| Meßstelle         | Vervielfachung<br>der Schrumpfung | Horizontale Entfernung<br>vom Luftloch<br>m |
|-------------------|-----------------------------------|---|
| Nr. 7 (Luftloch)  | 10 fach                           | 0,00  |
| Nr. 6 (Sitzplatz) | 9 „                               | 1,30  |
| SS 1 (Schacht)    | 2,8 „                             | 4,00  |
| SS 2 (Schacht)    | 1,6 „                             | 4,70  |
| SS 3 (Frachtraum) | 1,0 „                             | 9,00  |
| SS 4 (Schacht)    | 1,0 „                             | 6,85  |
| SS 5 (Schacht)    | 1,0 „                             | 8,00  |

SS 3 gilt hier nur für den 15. Januar bis 10. April. Später zeichnet er größere Beträge auf. Davon ist nachher die Rede. Stellt man die Ver-

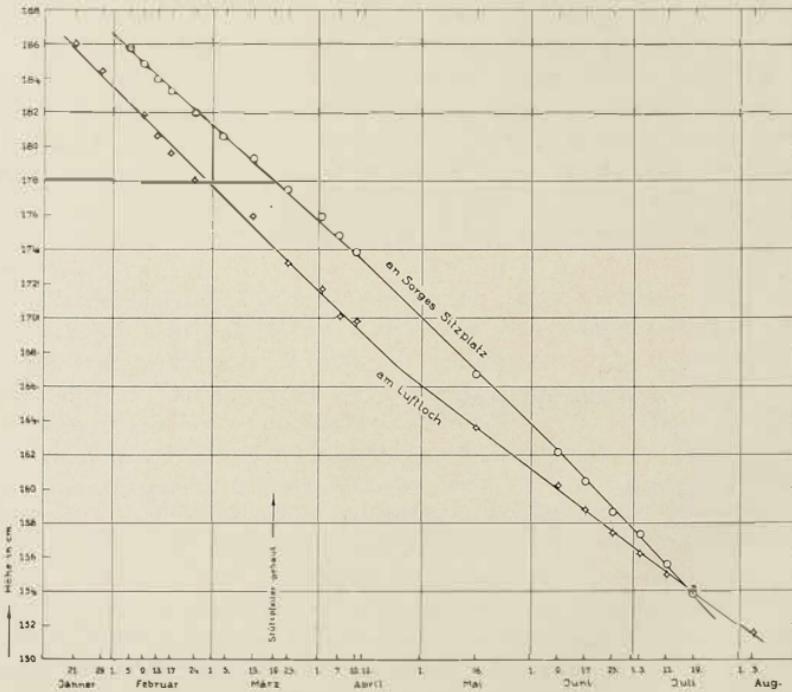


Abb. 32.

vielfachung der Schrumpfung in Abhängigkeit von der Entfernung von dem Luftloch dar, so wird augenblicklich klar, daß die großen Schrumpfungsbeträge im Wohnraum und nahe dabei von den Störungen des Firs

durch Hohlräume, Schneewehen, vielleicht auch durch die unnormale Erwärmung verursacht werden. In größeren Entfernungen nähert sich der gemessene Schrumpfungsbetrag schnell dem theoretisch berechneten im ungestörten Firn.

Soweit stimmen die Schrumpfungsmessungen gut zusammen. Besonders deutlich wird der Einfluß einer Änderung der tragenden Firnmasse



phot. Georgi.

Abb. 33. Der Frachtraum mit dem Verlängerungsgang, an dessen rechter Wand in einer Nische (unsichtbar) der dritte Schrumpfschreiber steht.

bei unserem Wohnraum. Am 19. März baute Georgi dicht neben dem Luftloch, am Fußende von Loewes Koje, einen dicken Stützpfeiler aus Firnböcken, um damit einem Einsturz der Decke vorzubeugen. Dieser Pfeiler wurde durch hineingegossenes Wasser vereist. Seitdem er die Deckenbelastung aufgenommen hatte, verminderte sich die Deckensenkung sehr merklich. Daß die Decke sich überhaupt noch senkte, liegt natürlich daran, daß der Pfeiler selbst auf Firn stand und in diesen Firn hineingedrückt wurde (s. Abb. 32).

Es bleibt noch eine Unstimmigkeit übrig, die sich nicht mit Sicherheit erklären läßt. Bei unsern Messungen konnte leider noch nicht auf alle etwa möglichen Störungen geachtet werden. Sicherlich wird eine spätere Expedition die Untersuchungen erheblich verbessern können. Die Unstimmigkeit besteht in folgendem: SS 3 (Tiefe 150—320 cm) begann nach dem 10. April ohne ersichtlichen Grund allmählich wachsende Schrumpfungsbeträge aufzuzeichnen. Im Laufe von drei Monaten steigerten sich die Beträge auf das Doppelte der normalen Schrumpfung (s. die graphische Darstellung auf S. 152). Es mußte also eine ganz gewaltige Störung eingetreten sein. Als Gründe kommen nach unseren Beobachtungen die folgenden zwei in Frage: 1. Der Gang, an dessen Ende SS 3 stand, wurde im Winter immer mehr verlängert, weil wir täglich Firnblöcke zur Wassergewinnung dorther holten. Dadurch vergrößerten sich die Hohlräume unmittelbar neben SS 3. 2. Im Winter bildete sich über den unterirdischen Räumen um unseren Turm herum eine Schneewehe, die über dem SS 3 am 22. Januar 180 cm mächtig war. Im Winter 1930/31 war also plötzlich der Winterauftrag doppelt so groß wie in anderen Jahren. Die normale Schrumpfgeschwindigkeit stellte sich allmählich auf die zu dem größeren Zuwachs gehörende Geschwindigkeit ein, und zwar begann diese Umstellung erst zwei Monate nach Bildung der Schneewehe.

Diese Schneewehe trägt auch zu der vermehrten Schrumpfung von SS 1 und SS 2 bei, dagegen nicht mehr von SS 4 und SS 5; denn diese liegen bereits außerhalb der Schneewehe und außerdem in größeren Tiefen, so daß eine plötzliche Zusatzbelastung nur eine geringe Wirkung erzeugen würde.

Ob die genannten beiden Gründe die richtige Erklärung darstellen, wird sich nachträglich schwerlich entscheiden lassen. Hier helfen nur weitere praktische Untersuchungen.

#### IV. Der Firnstoß.

Eine außerordentlich eigentümliche Erscheinung, die mit der Firnschrumpfung in engem Zusammenhang steht, ist der Firnstoß. Er stellt die unstetige Form der Firnschrumpfung dar.

Firnstoße sind oft von Grönlandexpeditionen beobachtet worden. Man findet Beschreibungen in den Expeditionswerken von Ejnar Mikkelsen, J. P. Koch und Alfred Wegener (Danmark-Expedition 1906—08 und Durchquerung 1913), Courtauld (Watkins Expedition 1930/31), und auch auf Alfred Wegeners Inlandeis-Expedition von 1930/31 sind auf Schlittenreisen und in Station Eismitte wiederholt Firnstoße beobachtet worden.

Aus den Beschreibungen kann man entnehmen, daß nicht immer die gleiche Erscheinung gemeint ist. Zwar ist allen gemeinsam, daß bei einem Firnstoß die Inlandeisoberfläche plötzlich einen Stoß oder Schlag oder Ruck bekommt, aber das Ausmaß und die Begleiterscheinungen sind verschieden. Die kleineren sehr häufigen Firnstöße werden offenbar durch marschierende Kolonnen (Menschen, Pferde, Hunde mit Schlitten) ausgelöst. Solche sind es wohl, die J. P. Koch und A. Wegener auf ihrer Durchquerung ebenso antrafen wie die Schlittenreisen von A. Wegeners Expedition von 1930/31. Koch und Wegener heben ausdrücklich hervor,

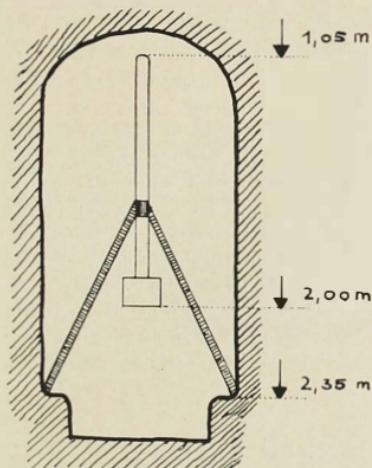


Abb. 34.

daß Firnstöße nur unterwegs beim Marschieren beobachtet wurden, niemals am Zeltlager. Courtauld erlebte zwei Firnstöße, als er 1930/31 in der Inlandeisstation der British Arctic Air Route Expedition (Leiter H. G. Watkins) in einem tief eingesneiten Zelt 200 km von der Küste entfernt in 2500 m Meereshöhe überwinterete. Er beschreibt das Ereignis so:

"The only external incident of interest which happened during the time I was there was the occurrence of a curious and very terrifying phenomenon, of which I have been unable to find an explanation. It was a sound beginning as a distant rushing noise, which rose quickly in a crescendo to end in a crash, rather as if an avalanche had buried the house. It happened twice, once in February and once in April." [Northern Lights, von F. Spencer Chapman, London 1932.]

In Eismitte erlebten wir dreimal Firnstöße, während wir selbst uns ganz ruhig verhielten, und auch in weitem Umkreis (300—400 km) keine

Schlittenreise unterwegs war. Der Verlauf dieser Firnstoße darf daher als ungestört und typisch angesehen werden. Zunächst folgen die Beobachtungen:

„In der Nacht vom 1. zum 2. Oktober 1930 wachten wir beide um 1 Uhr 20 min mittelgrönlandische Zeit durch einen plötzlichen sehr lauten Knall auf. Es klang wie der Abschuß einer Kanone oder der Schienenstein eines überbelasteten Eisenbahnwagens. Vermutlich haben wir auch einen Ruck oder Schlag gespürt. Nach dem Knall lief ein starkes Rauschen und Sausen immer weiter weg, wie wir beide glauben, etwa nach Westen (wir lagen mit dem Kopf nach Osten). Nach einigen Sekunden, die uns lang vorkamen, hörte das Rauschen auf und das sehr ähnliche Geräusch des Windes trat an seine Stelle. Wir besserten uns und sprachen miteinander. Das war also der berühmte Firnstoß! Wir hatten beide einen richtigen Schreck bekommen. Lange konnten wir nicht schlafen. Nun war also ein Firnstoß nicht auf dem Marsch (wie Koch-Wegener stets beobachteten), sondern nachts ohne unser Zutun eingetreten. Nichts Auffälliges hatte ihn verursacht. Der Wind war schwach, der Luftdruck war konstant; alle Verhältnisse waren normal. Am nächsten Morgen stellte Georgi fest, daß das Hg-Barometer gegen die Decke gedrückt und dort festgeklemmt war. Nach Erinnerung hatte es oben vorher etwa 1–2 cm Spielraum gehabt, denn es muß ja frei pendeln können, um senkrecht zu hängen. Das Barometergefäß befand sich 2 m unter der Firnoberfläche, die drei Füße waren in 2,35 m Tiefe in den Firn gestemmt. Die Firmschichten zwischen 1 m und 2,35 m müssen also um 1–2 cm zusammengestaucht sein. Etwas Entsprechendes konnte ich im Seismoraum (dem späteren Wohnraum) beobachten. Zufällig hatte ich gestern meinen 2-m-Maßstab straff zwischen Decke (165 cm Tiefe) und Boden (365 cm Tiefe) aufgestellt, um die Firmschichten auszumessen. Er war in die Decke und den Boden fest eingesteckt. In Abstand von etwa 5 cm von der hinteren Wand. Heute lehnte er durchgebogen an der Wand an, so daß er etwas zusammengedrückt sein muß. Das Maß der Verkürzung ist nach oben nicht zu bestimmen, da er sich tiefer in den Firn eingedrückt haben kann. Es sah also so aus:

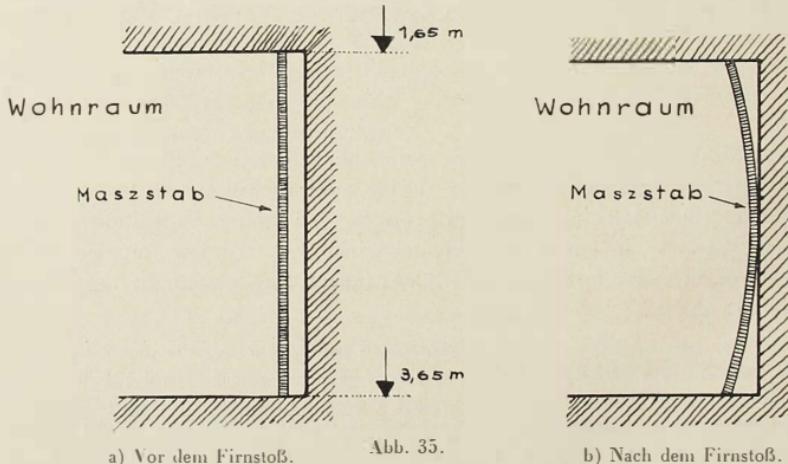


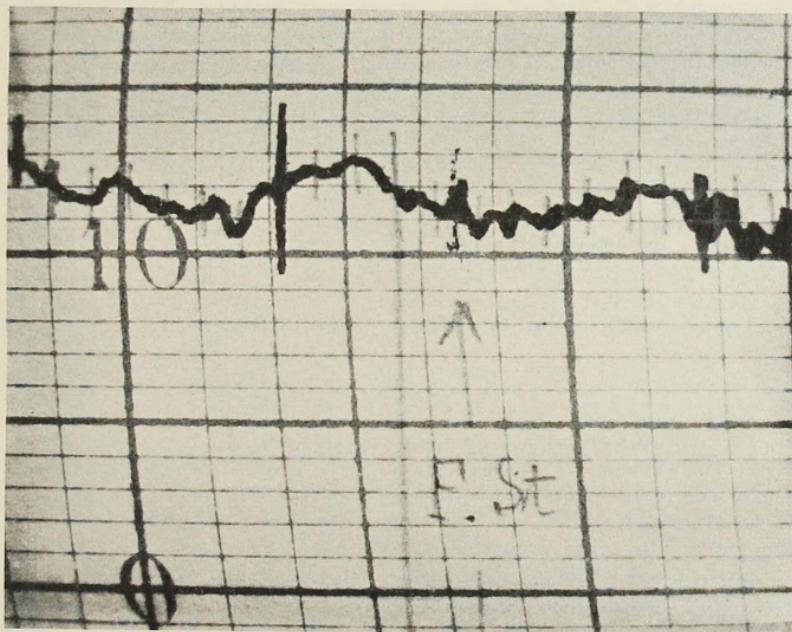
Abb. 35.

Nach dieser Beobachtung müssen also die Schichten zwischen 165 cm und 365 cm eine Zusammenpressung erfahren haben.

Georgis meteorologische Instrumente, der Thermograph, Hygrograph, Aktinograph und Barograph registrierten sehr deutlich den Firnstoß. Es muß sich um einen sehr plötzlichen Schlag gehandelt haben, denn der Thermograph schrieb eine unterbrochene (gestrichelte) Zacke.“ (Tagebuch Sorge.)

#### Ferner:

„In der Nacht vom 1. zum 2. Oktober hatten wir einen Firnstoß, wie ihn auch Koch-Wegener in „Durch die weiße Wüste“ beschreiben. Auf einer großen Fläche von vielleicht mehreren hundert Quadratkilometern sackt der Firn plötzlich zusammen mit einem donnerartigen Getöse, das sich wie das Brausen eines Orkans in der Ferne verliert. Das weckte uns  $1\frac{1}{2}$  Uhr nachts aus dem Schlaf. Wir fuhren beide auf, und obwohl wir gleich wußten, was die Erscheinung zu bedeuten hatte und daß jedenfalls der Vorgang für uns an der Oberfläche gefahrlos war, saß uns bis zum Abend der Schreck in den Gliedern. Ohne die Möglichkeit einer Gegenwehr müssen wir diese gewaltige Naturscheinung über uns ergehen lassen. Sogar die Instrumente haben den Stoß aufgezeichnet, und der Barometerraum ist um ein paar Zentimeter niedriger geworden.“ (Brief von Georgi.)



phot. Georgi.

Abb. 36. Firnstoß, aufgezeichnet vom Thermographen. Dreieinhalbmal vergrößert.

Die Aufzeichnung des Thermographen ist photographisch wiedergegeben. Auf der Originalregistrierung beträgt der Ausschlag (durch einen Bleistiftspfeil und F. St. ist die Stelle bezeichnet) nach oben rund 2,5 mm, nach unten 2 mm. Der Ausschlag des Hygrographen beträgt nach oben 0,7 mm, nach unten 1,3 mm. Da der Thermograph gerade an der

Stelle des Firnstoßes sehr dick schreibt, ist die Ruhelage des Hebels nur ungenau festzustellen. Der Aktinograph und Barograph enthalten nur eine Stufe. —

#### Über den zweiten Firnstoß in Eismitte haben wir folgende Tagebuch-eintragung (Sorge):

„19. 2. 31, Donnerstag, 18 Uhr 13 Minuten Mittlere Grönlandzeit. Die Zeit ist nach Georgis Darstellung in Band IV, 1 bereits korrigiert. Im Tagebuch selbst steht (1830 M. Grö. Z.). Ich war gerade im Schacht und befestigte an den Thermometerschnüren kleine Greifhölzer, als plötzlich ein Rauschen hörbar war. Es war so schwach, daß ich im Zweifel war, ob ich das Geräusch nicht durch Entlangstreifen mit der Anorak-Kapuze an der Firnwand verursacht hatte (ich lehnte gerade mit dem Kopf an der Wand). Um das zu entscheiden, strich ich mehrmals zur Probe an Firn entlang, wurde dadurch aber nicht klüger. Die Kapuze verursachte zwar ein etwas anderes Geräusch, aber andererseits hatte es keinen Knall gegeben, wie bei dem Firnstoß vom 2. Oktober. Ich war innerlich fühlbar aufgereg't über das Geräusch, beruhigte mich aber so bald, daß ich nicht einmal hinauf in den Wohnraum ging. Erst  $\frac{3}{4}$  Stunden später ging ich dorthin und wurde von Georgi sofort mit den Worten empfangen: ‚Haben Sie auch den Firnstoß gehört?‘ Nun war natürlich kein Zweifel mehr. Hier oben war er deutlicher bemerkt worden, da Georgi ruhig saß und Loewe ruhig lag. Er war aber doch viel schwächer als der vom 2. Oktober. Georgi hatte das immer lauter werdende Herannahen mit Unruhe gehört (Richtung Süden ungefähr), da wir wegen der Tragfähigkeit unsrer Firndecke völlig im Ungewissen leben. Aber es hat sich an der Decke nichts gerührt. Der Barograph gab einen schwachen Ausschlag. Da ich unmittelbar vorher die Firmschreiber neu eingestellt hatte, konnte ich auch gleich sehen, ob die Schichten zusammengesunken waren. Der Schreiber zwischen 150 und 320 cm Tiefe (im Frachtraum) zeigte anscheinend gar keine Änderung, der zwischen 475 und 785 cm Tiefe, wenn überhaupt, höchstens einige Zehntel Millimeter.“

#### Über den dritten Firnstoß schreibt Sorge im Tagebuch:

„2. 4., Donnerstag. Heute morgen kurz nach 7 Uhr (Bemerkung: Tatsächlich war es 6 Uhr 32 Minuten Mittlere Grönlandzeit) hörten Georgi und Loewe zwei sehr schwache Firnstoße im Abstand weniger Sekunden. Nur ein Rauschen ohne Knall. Ich hatte den Kopf in dem Schlafsack und muß wohl gerade lebhaft gewöhnt haben, um warme Füße zu bekommen. Wach war ich bestimmt, aber ich hörte nichts. Wirkungen der Firnstoße wurden nicht beobachtet. Georgi war ziemlich beunruhigt. Aber die Decke unseres Wohnraums hält gut.“

Nach unseren Erlebnissen ereignen sich also anscheinend Firnstoße im Zentralgebiet mehrmals jährlich. J. P. Koch und A. Wegener schreiben über Firnstoße auf ihrer Durchquerung von 1913: „Im zentralen Teil des Inlandeises war das ruckweise Zusammensinken des Firns eine alltägliche Erscheinung, jedoch von viel größeren Dimensionen als auf dem Meereise.“

Aus dem Vergleich mit den Erfahrungen von Eismitte kann man dann nur zweierlei schließen: Entweder waren die Firnstoße von Koch und Wegener tatsächlich ebenso bedeutend wie der von Eismitte am 2. Oktober 1930; dann würde das Hauptgebiet solcher großen Firnstoße erst nördlich

von Eismitte beginnen, denn alltäglich kann das Auftreten der großen Firnstoße in Eismitte nicht genannt werden. Wir ständen dann vor der Frage, welches die Nord- und Südgrenzen des Verbreitungsgebiets der großen Firnstoße sind, und warum die großen Firnstoße auf dieses Gebiet beschränkt sind, das keinerlei äußerlich erkennbare Grenzen hat. Oder aber: Die Firnstoße, die Koch und Wegener „alltäglich“ bemerkten, waren nicht von der Größenordnung des großen Firnstoßes in Eismitte, sondern kleiner. Dann hätten wir drei verschiedene Größenordnungen des ruckweisen Zusammensinkens des Schnees: 1. Auf dem Meereise. Dieser Vorgang ist wohl ähnlich groß wie das Zusammenbrechen eines Schneebrettes im Gebirge. 2. Die häufigen Firnstoße auf dem Inlandeis, wie sie Koch und Wegener erlebten und wie sie auf den Hundeschlittenreisen unserer Expedition von 1930/31 ebenfalls oft bemerkt wurden. 3. Die ganz großen Firnstoße, wie der vom 2. Oktober 1930 in Eismitte und die von Courtauld weiter südlich beobachteten. Gruppe 1 lässt sich überall beobachten. Der Schnee bricht beim Drauftreten einige Meter weit mit einem Knirschen oder Knall zusammen, weil unter der Oberflächenschicht weicher Schnee mit vielen und großen Luftzwischenräumen liegt, der die vermehrte Last nicht tragen kann. Gruppe 2 tritt in den verschiedensten Größen auf. Hierzu eine Tagebuchaufzeichnung von Sorge von seiner Hundeschlittenreise nach Eismitte:

11.9.30. „Seit Kilometer 260 (d. h. Abstand von Weststation) ist die Schneeoberfläche bereift, seit km 300 bricht der Schnee beim Drauftreten auf einige Meter hin mit ziemlich lautem rauschendem Krach ein. Das sind wohl schon kleine Firnstoße. Bei km 300, wo wir das Depot hinlegten, kriegten Karlis (Name eines grönlandischen Hundekutschers) Hunde einen Schreck, als es krachte, und krochen seitwärts vom Schlitten. Die Grönländer nannten es aputip tutarnera (das bedeutet: des Schnees Säusen) und bestätigten die Richtigkeit der Schreibung. Bei Koch und Wegener steht S. 325 (irrtümlicherweise) ‚aputip itularnera‘; das ‚i‘ ist eine richtige Schreibweise, das ‚l‘ durch Schreibfehler entstanden.“

Danach besteht kein Zweifel, daß die Firnstoße bei Koch und Wegener mit den von uns unterwegs beobachteten zur selben Gruppe gehören. In Eismitte entstanden beim Herumgehen oft Firnstoße, die einige hundert Meter weit durch den Schnee liefen. Sorge sprang einmal von einer Proviantkiste etwa 1,50 m tief herab auf die Schneeoberfläche und löste dadurch einen Firnstoß aus, der von Georgi und Loewe im unterirdischen Wohnraum deutlich gehört wurde. Auch dieser Firnstoß lief ziemlich weit fort, wie weit, lässt sich nicht feststellen, da eine sichtbare Grenze nicht zu finden ist. Die bei solchen mittleren Firnstoßen beeinflußten Firnschichten gehen anscheinend etwas tiefer als beim Zusammenbruch eines Schneebretts. Der Unterschied liegt sicherlich an der verschiedenen Struktur der Firnschichten in Grönland gegenüber dem der Gebirge. Im grönlandischen Zentralgebiet fehlt jede Harschschicht, dagegen finden sich wechselnde harte und weiche Schichten, deren Grenzen oft noch besonders

locker sind. So mögen die Firnstoße der Gruppe 2 bis in 1 oder 2 m Tiefe die Lockerschichten zusammenpressen.

Bei den Firnstoßen der Gruppe 3 handelt es sich um eine viel gewaltigere Naturerscheinung, die einen labilen Gleichgewichtszustand des Firms auf viele Kilometer, vielleicht über 100 km und mehr, selbsttätig beseitigt. Man kann sich den Vorgang etwa so vorstellen:

Der Zuwachs des Inlandeises geschieht durch wiederholte Ablagerung von linsenförmigen Schneedünen, seltener auch durch Ablagerung einer gleichmäßigen Schneeschicht. Die Grenze zwischen den Ablagerungen bildet die im Querschnitt leicht erkennbare Feinschichtung des Firms. Diese Grenzen zeigen sich häufig dadurch an, daß an ihnen die Festigkeit, Korngröße oder auch Durchsichtigkeit sich ändert. Oft ist die Grenze sogar durch eine besondere Lockerschicht von einigen Millimetern bis zu 2 cm Stärke deutlich ausgeprägt. Solche Lockerschichten bilden sich nicht erst allmählich, sondern schon in den allerobersten Schichten in wenigen Zentimetern Tiefe. Man braucht also zur Bildung der Lockerschichten nicht den Vorgang der Diffusion von Eisdampf anzunehmen, obwohl dieser Vorgang in den obersten Metern, wo die Temperaturschwankungen noch merklich sind, sicherlich eine Rolle spielt. Die Beobachtung, daß Lockerschichten schon von vornherein vorhanden sind, zeigt, daß sie allein schon durch die Art, wie der Schnee sich auf dem früheren Schnee auflagert, entstehen können. Eine etwaige Diffusion von Eisdampf ist also erst ein sekundärer Vorgang von untergeordneter Bedeutung und wird zur Erklärung der Firnstoßen nicht gebraucht. Hierin weichen wir von der Erklärung ab, die J. P. Koch und A. Wegener von den Firnstoßen gegeben haben.

Wird der Firm durch keine äußeren zufälligen Eingriffe gestört, so häuft sich Schicht auf Schicht, die Lockerschichten gelangen in größere Tiefen, der Druck auf ihnen nimmt zu. Irgendwann muß einmal der Zustand eintreten, daß die schwächste Lockerschicht den Druck nicht mehr tragen kann und plötzlich mit Gewalt zusammengestaucht wird. Es ist nicht nötig, hierzu noch eine besondere Materialverminderung in der Lockerschicht anzunehmen, eine Bildung von einzelnen Säulen, die das Gewicht dann nicht mehr tragen können (so Koch und Wegener). Im Schacht von Eismitte wurde eine solche Säulenbildung mit größeren Luftzwischenräumen in den Lockerschichten nirgends beobachtet, obwohl darauf besonders geachtet wurde.

Da die Verhältnisse des Inlandeises auf weite Strecken hin (Hunderte von Kilometern) sehr ähnlich sind, muß der Zustand der Lockerschichten für eine große Fläche nahezu derselbe sein. Die Annäherung an den labilen Gleichgewichtszustand muß annähernd gleichmäßig auf der ganzen großen Fläche erfolgen. Bricht also an einer Stelle der Firm zusammen, so werden die Schichten ringsherum folgen. Die Erscheinung pflanzt sich also

über weite Strecken, und zwar mit großer Geschwindigkeit fort. Gemessen werden konnte die Fortpflanzungsgeschwindigkeit noch nicht. Das Zusammensacken wurde dagegen wenigstens zwischen 100 und 365 cm Tiefe bei dem Firnstoß vom 2. Oktober 1930 in Eismitte gemessen. Die Schichten wurden 1—2 cm zusammengestaucht. Der Stoß wurde gespürt und von den meteorologischen Instrumenten aufgezeichnet.

Der wesentliche Unterschied zur Gruppe 2 der Firnstoße liegt darin, daß diese durch ein Eingreifen von außen hervorgerufen werden, also durch stoßweises Belasten an einer Stelle durch Menschen, Tiere usw. In solch einem Augenblick wird der Firn nicht gerade dem Zustand des selbstständigen Zusammenbrechens nahe sein, sondern die Lockerschichten werden noch genügend Festigkeit besitzen, um den künstlich erzeugten Einbruch alsbald abzubremsen und auf eine kleine Fläche zu beschränken. Je nachdem, wie nah der Firn dem Zusammenbrechen war, werden also die künstlich ausgelösten Firnstoße verschieden weit laufen. Daher werden diese Firnstoße sehr verschiedenartig beschrieben. Bei Gruppe 3 werden insbesondere auch tieferliegende Lockerschichten zusammengepreßt, daher bekommt die Erscheinung eine viel größere Gewalt.

Bis zu welcher Tiefe Lockerschichten überhaupt zusammengepreßt werden, läßt sich aus unseren Beobachtungen im Schacht in Eismitte erkennen. Lockerschichten wurden nur bis zu einer Tiefe von 7 m gefunden. Gerade in 7 m Tiefe hat die Firndichtekurve ihre stärkste Krümmung. Oberhalb nimmt die Dichte schnell, unterhalb langsam zu. Unterhalb von 7 m Tiefe hat der Firn eine so große, gleichmäßig zunehmende Härte, daß er sich von da an sicherlich nicht mehr unstetig durch Firnstoße, sondern stetig durch die Firmschrumpfung verdichtet. Man kann also sagen: Von 7 m Tiefe an hat jede Lockerschicht so viele Firnstoße erlebt, daß sie ebenso fest zusammengedrückt ist wie ihre Nachbarschichten. Zu diesem Vorgang gehören insgesamt rund 10 Jahre; denn 10 Jahreschichten sind zusammen 7 m mächtig. Auch zwischen Sommer- und Winterschichten gleichen sich allmählich die Härte- und Dichteunterschiede aus, nur dauert der vollständige Ausgleich länger, weil die Schichten von Anfang an härter und dichter sind als die schmalen Lockerschichten. Da die Lockerschichten nur einen sehr kleinen Bruchteil aller Schichtmächtigkeiten darstellen, ist auch der Bruchteil der unstetigen Firmschrumpfung durch Firnstoße sehr klein gegenüber der stetigen Firmschrumpfung. Die Überlegungen über die Firmschrumpfung brauchen also durch die unstetige Erscheinung der Firnstoße nicht abgeändert zu werden.

Auf eine weitere Möglichkeit für die Auslösung von Firnstoßen der Gruppe 3 soll noch hingewiesen werden. Über den Felsuntergrund unter dem Inlandeis ist nichts bekannt. Aus den geologischen Untersuchungen an den Küsten und aus den Gesteinsuntersuchungen der Endmoränen des

Inlandeises ist zu schließen, daß Grönland im großen und ganzen einen mächtigen Gneisblock (oder mehrere?) darstellt, der an einigen Randstellen von Sedimenten und auch vulkanischen Gesteinen bedeckt ist. Warme Quellen in Ost- und Westgrönland zeigen, daß der Vulkanismus noch nicht ganz erloschen ist. Nacheiszeitliche Terrassen zeigen beträchtliche Hebungen im Zusammenhang mit der Verminderung des Inlandeises seit der Eiszeit. Es ist also wahrscheinlich, daß auch tektonische Vorgänge in Grönland stattfinden. Treten aber Erdbeben auf, so können dadurch Firnstoße ausgelöst werden. Um diesen Zusammenhang aufzuweisen, brauchen wir vor allem Beobachtungen. Jede Inlandeisexpedition sollte daher den Firnstoßen besondere Aufmerksamkeit schenken und vor allem den Zeitpunkt des Ereignisses bestimmen. —

## V. Die Firnkörner.

### 1. Messung der Firnkorngröße.

**Verfahren.** Im Verlaufe der Untersuchungen über die Jahresschichtung wurde die Größe der Firnkörner gemessen, um dadurch möglicherweise Sommer- und Winterschichten zu unterscheiden, und um zu untersuchen, wie das vermutete Wachstum der Firnkörner mit der Tiefe fortschreitet. Am 23. November 1930 wurden zum ersten Male in recht einfacher Weise Firnkorngrößen gemessen.

23. 11. 30. „Aus dem Schacht schnitt ich 4 Proben von Firn heraus, brachte sie in unseren Wohnraum (15 h 45 min, Lufttemperatur  $-5^{\circ}\text{C}$ ), zerdrückte kleine Stückchen davon mit einer leeren Streichholzschachtel zuerst auf weißer Pappe (von den Hafergrützschachteln), dann auf den dunklen Deckeln des Wachstuchdiariums und Tagebuchs 1, schätzte zuerst nach dem Anblick zwei verschiedene Proben auf die Korngröße ab, ließ auch Georgi schätzen, der alle 4 Firnproben ebenso wie ich schätzte (d. h. von je zwei Firnproben sagte, welche größere Körner als die andere hat) und maß schließlich am Maßstab des Rechenschiebers unter der Lupe (Okular des Taschensexanten) oder einem großen Leseglas die Abmessungen der einzelnen Körner. In dem Falle, wo es zweifelhaft war, ob ein Stück aus mehreren Kristallen bestand, versuchte ich, dieses Stück mit der Pinzette zu zerdrücken oder zu zerstoßen. Erst wenn das nicht ging, nahm ich ein zweifelhaftes Stück als ein Korn an.“

Die Ergebnisse, die durch Ausmessen von etwa 20 bis 30 Körnern aus jeder Probe erhalten wurden, waren: je härter die Schicht, desto geringer die Korngröße. Das spricht dafür, daß die harten dichten Schichten Winterschichten sind.“ (Tagebuch Sorge.)

Diese Messungen der Firnkorngrößen wurden entsprechend dem Fortschritt beim Schachtbau bis in 15 m Tiefe ausgedehnt.

Die „mittlere Firngröße“ ist nicht das arithmetische Mittel der Körndurchmesser einer Firnprobe, sondern ist nach dem Gesamteindruck, den die Körner einer Probe machten, geschätzt worden. Bei dieser Schätzung ist natürlich nicht das arithmetische Mittel der Korngrößendurchmesser geschätzt worden, sondern das der Rauminhalte. Daraus erst ist dann der Durchmesser berechnet worden. Diese so bestimmte mittlere Korngröße braucht nicht die am häufigsten vorkommende zu sein. Zählungen über die Häufigkeit der verschiedenen Größen innerhalb einer Firnprobe wurden nicht gemacht, da unsere einfache Beleuchtung (eine von Georgi aus einer Konservenbüchse und photographischen Platten hergestellte Petroleumlampe) zu schwach war. Nach kurzer Zeit waren die Augen beim Abzählen der Firnkörper so angestrengt, daß Sorge das vollständige Durchzählen ganzer Firnproben aufgeben mußte. Er beschränkte sich darauf, einige Dutzend Körner aus jeder Probe auszumessen. Diese Messungen sind sicher auf 0,1 mm genau. Schwierig war mitunter die Feststellung, ob jedes kleine Eisstückchen, das ausgemessen wurde, tatsächlich gerade ein Firnkorn darstellte, denn die einzelnen Eisstückchen wurden durch Zertrümmerung eines walnußgroßen Würfels erhalten, und dabei konnten entweder mehrere Firnkörper zusammengeballt bleiben oder konnte auch ein einzelnes Firnkorn zertrümmert werden. Doch wurde durch vorsichtige Behandlung der Firnproben das Zermahlen der Firnkörper möglichst verhindert.

6. 3. 31. „Nachmittags Firnkorngröße von 720 bis 907 cm gemessen. Die Unterschiede zwischen Sommer- und Winterschichten sind meist gering; ebenso die der Körner untereinander in gleicher Tiefe. Die kleinen Körner (0,1 mm) scheinen sehr selten vorhanden zu sein. Die kleinsten wirklich unzerbrochenen Körner scheinen 0,4 mm Durchmesser zu haben (vergleiche die späteren photographischen Aufnahmen in vierfacher Vergrößerung). Beim vorsichtigen Zerdrücken eines kleinen Firnstückes erhalte ich nur wenige kleine, beim Abkratzen mit einem Messer vom Firnblock mehr, die wohl durch Zertrümmerung der größeren entstehen. Daher nehme ich nur die Proben, bei denen ich die wenigsten ‚Krümel‘ bekomme.“ (Tagebuch Sorge.)

Aus dieser Tagebuchaufzeichnung geht hervor, daß auf eine sorgfältige Zerlegung der Firnproben in einzelne, unversehrte Firnkörper besonderer Wert gelegt wurde, und daß diese Zerlegung auf erhebliche Schwierigkeiten stieß.

Um die persönliche Beurteilung der Firnkörper in unabhängiger Weise einwandfrei zu prüfen, wurden Firnproben photographiert, und zwar 17 Firnkornproben aus den Tiefen 128 cm, 161 cm, 176 cm, 188 cm, 195 cm, 212 cm, 278 cm, 387 cm, 410 cm, 433 cm, 502 cm, 567 cm, 602 cm, 1168 cm, 1200 cm, 1371 cm, 1406 cm (diese Tiefen sind von der Oberfläche des 15. September 1930 gemessen), und ferner 6 weitere Proben aus der Tiefe 10 cm, 35 cm, 40 cm, 65 cm, 87 cm, 134 cm (von der Oberfläche des 26. April 1931 gemessen, die 87 cm über der Ober-

## A. Direkte Ausmessung von Firnkörnern in Eismitte (unter der Lupe).

| Tiefe<br>em. | Korngrößen   |                            |                | Jahreszeit der Bildung<br>So = Sommer Wi = Winter |
|--------------|--------------|----------------------------|----------------|---|
|              | größte<br>mm | kleinstes<br>Spaltte<br>mm | mittlere<br>mm |   |
| 188—192      | 1,8          | 0,3                        | 0,9—1,1        | So  |
| 220—225      | 1,5          | 0,2                        | 0,7—0,9        | Wi  |
| 240—250      | 1,7          | 0,2                        | 0,9—1,2        | So  |
| 250—263      | 2,8 × 1,9    | 0,2                        | 1,0—1,4        |   |
| 263—310      | 1,2          | 0,1                        | 0,6—0,7        | Wi  |
| 323—328      | 1,8 × 1,0    | 0,3                        | 0,9            | So  |
| 350—355      | 1,0 × 0,6    | 0,1                        | 0,6            | Wi  |
| 370—374      | 1,1          | 0,2                        | 0,6            |   |
| 385—388      | 1,1 × 0,6    | 0,1                        | 0,5—0,5        |   |
| 385—387      | 1,0          | 0,1                        | 0,4            |   |
| 394—397      | 1,6 × 1,4    | 0,2                        | 0,9            | So  |
| 405—406      | 1,5          | 0,2                        | 0,8            |   |
| 420—425      | 1,2          | 0,05                       | 0,3            | Wi  |
| 450—455      | 1,4          | 0,1                        | 0,3—0,4 u. 0,8 |   |
| 440—445      | 1,8 × 1,5    | 0,2                        | 0,6—0,8        | So  |
| 446—446,5    | 2,0 × 1,5    | 0,3                        | 1,5            |   |
| 449—450      | 1,5          | 0,1                        | 0,7—0,8        |   |
| 456—457      | 1,3          | 0,1                        | 0,8            |   |
| 465—466      | 1,8 × 1,1    | 0,1                        | 0,8—0,9        | Wi  |
| 479—480      | 1,2          | 0,1                        | 0,6—0,8        |   |
| 487—488      | 1,4 × 0,8    | 0,05                       | 0,4            |   |
| 492—493      | 1,2 × 1,2    | 0,1                        | 0,5—0,7        |   |
| 501,5—503    | 2,1          | 0,1                        | 1,0—1,1        | So  |
| 520,5—521,5  | 1,6          | < 0,05                     | 0,6—0,8        | Wi  |
| 545—546      | 1,2          | < 0,05                     | 0,5            |   |
| 555—556      | 1,1          | < 0,05                     | 0,2—0,3        |   |
| 557—558      | 1,9          | 0,1                        | 1,0—1,2        | So  |
| 561—562,5    | 1,0          | < 0,1                      | 0,1            |   |
| 565—566      | 2,0          | 0,1                        | 1,5—1,7        |   |
| 582—583      | 1,2          | 0,1                        | 0,7            | Wi  |
| 588—590      | 1,7          | 0,1                        | 0,8            |   |
| 597—598      | 1,2          | 0,1                        | 0,7—0,8        |   |
| 625          | 2,1          | 0,2                        | 0,8—0,9        | So  |
| 635          | 2,0          | 0,2                        | 0,8—0,9        |   |

## B. Nachträgliche Ausmessung von Firnkörnern auf Mikrophotographien.

| Tiefe<br>em | K o r n g r ö ß e n |                               |                | Jahreszeit der Bildung<br>und Größenvergleich |
|-------------|---------------------|-------------------------------|----------------|---|
|             | größte<br>mm        | kleinste<br>K ö r n e r<br>mm | mittlere<br>mm |   |
| 128         | 1,0×1,1             | 0,5×0,6                       | 0,8×1,0        | Wi, deutlich kleiner als 161                  |
| 161         | 1,5×1,3             | 0,6×0,9                       | 1,2×1,0        | So, wenig kleiner als 176                     |
| 176         | 1,5×1,6             | 0,5×0,7                       | 1,0×1,0        | So, etwas größer als 188                      |
| 188         | 2,0×1,4             | 0,8×0,7                       | 1,0×1,0        | So, wie 195                                   |
| 195         | 1,5×1,6             | 0,8×1,0                       | 1,1×1,3        | So, etwas kleiner als 212<br>ebenso wie 278   |
| 212         | 1,4×1,4             | 0,7×0,9                       | 1,0×1,3        | So, sehr wenig größer als 278                 |
| 278         | 1,5×1,2             | 0,5×1,0                       | 1,0×1,0        | Wi, deutlich größer als 387                   |
| 387         | 1,2×0,8             | 0,5×0,5                       | 1,0×1,0        | Wi, etwas kleiner als 410                     |
| 410         | 1,5×1,1             | 0,5×0,8                       | 1,0×1,0        | So, wie 433                                   |
| 433         | 1,5×1,3             | 0,6×0,5                       | 1,0×1,0        | Wi, deutlich kleiner als 502                  |
| 502         | 1,5×1,7             | 1,0×1,1                       | 1,0×1,3        | So, wie 567                                   |
| 567         | 1,2×1,9             | 0,6×0,7                       | 1,4×1,5        | So, viel größer als 602                       |
| 602         | 1,2×1,3             | 0,5×0,5                       | 0,7×0,9        | Wi, viel kleiner als 1168                     |

## A. Direkte Ausmessung von Firnkörnern in Eismitte. (Forts.)

| Tiefe<br>cm | K o r n g r ö ß e n |                |                | Jahreszeit der Bildung<br>So = Sommer Wi = Winter |
|-------------|---------------------|----------------|----------------|---|
|             | größte<br>mm        | kleinste<br>mm | mittlere<br>mm |   |
|             | S p l i t t e r     |                |                |   |
| 646         | 1,6                 | 0,1            | 0,6            | Wi  |
| 652         | 2,0                 | 0,1            | 0,6            |   |
| 661         | 1,2                 | 0,1            | 0,5            |   |
| 677         | 1,3                 | 0,1            | 0,4            |   |
| 684         | 1,2                 | 0,1            | 0,5            |   |
| 691         | 1,2                 | 0,1            | 0,5            |   |
| 695         | 1,5                 | 0,1            | 0,7            | So  |
| 705         | 1,6                 | 0,1            | 0,8            |   |
| 715         | 1,8                 | 0,2            | 1,0            |   |
| 730         | 1,3                 | ?              | 0,7            | Wi  |
| 740         | 1,3                 | ?              | 0,6            |   |
| 750         | 1,1                 | ?              | 0,6            |   |
| 760         | 1,5                 | ?              | 0,7            |   |
| 770         | 1,2                 | ?              | 0,6            |   |
| 780         | 1,2                 | ?              | 0,8            |   |
| 788         | 1,2                 | ?              | 0,8            | So  |
| 798         | 1,3                 | ?              | 0,8            |   |
| 808         | 1,1                 | ?              | 0,6            |   |
| 813         | 1,2                 | ?              | 0,7            |   |
| 823         | 1,1                 | ?              | 0,5            | Wi  |
| 833         | 1,1                 | ?              | 0,5            |   |
| 841         | 1,0                 | ?              | 0,6            |   |
| 848         | 1,1                 | ?              | 0,5            |   |
| 858         | 1,2                 | ?              | 0,6            | So  |
| 868         | 1,4                 | ?              | 0,8            |   |
| 875         | 1,5                 | ?              | 0,7            |   |
| 885         | 1,2                 | ?              | 0,6            | Wi  |
| 895         | 0,9                 | ?              | 0,6            |   |
| 907         | 1,0                 | ?              | 0,6            |   |

## B. Nachträgliche Ausmessung von Firnkörnern auf Mikrophotographien. (Forts.)

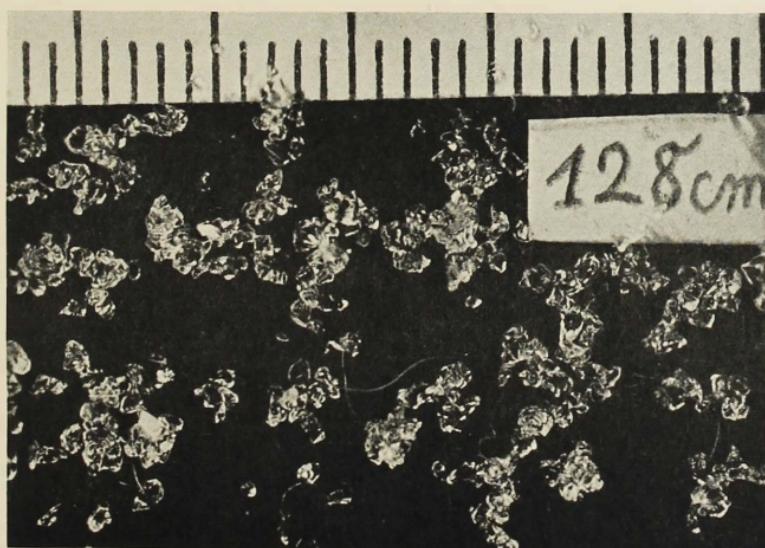
| Tiefe<br>em | K o r n g r ö ß e n<br>größte   kleinste   mittlere<br>K ö r n e r<br>mm   mm   mm |         |         | Jahreszeit der Bildung<br>und Größenvergleich |
|-------------|--|---------|---------|---|
|             |  |         |         |   |
| 1168        | 1,5×1,6  | 0,8×0,6 | 1,2×1,3 | So, viel größer als 1200                      |
| 1200        | 1,3×1,5  | 0,5×0,6 | 0,7×0,8 | Wi, deutlich kleiner als 1371                 |
| 1371        | 1,3×1,3  | 0,6×0,7 | 0,8×1,0 | So, wie 1406                                  |
| 1406        | 1,5×1,6  | 0,5×0,5 | 0,8×1,0 | Wi, wie 1371                                  |

fläche des 15. September 1930 liegt). Alle Firnproben wurden von Georgi mit vierfacher Vergrößerung auf einer Samtunterlage photographiert. Diese Aufnahmen unter den schwierigen Bedingungen von Eismitte erforderten viele Mühe, namentlich weil Georgi sich aus Kistenbrettern erst ein besonderes Gestell für photographische Aufnahmen mit senkrechter Achse bauen und die Platten bei  $-8^{\circ}\text{C}$  sorgfältig entwickeln, fixieren und in einem aus Kistenblech gebauten Wärmeofen trocknen mußte. Die Mikroaufnahmen der Firnkörper mußten in Eismitte sogleich entwickelt werden, um festzustellen, ob sie gelungen waren. Tatsächlich sind alle Aufnahmen gut geworden und geben ein getreues Bild vom Aussehen der Firnkörper in Eismitte. Die einzelnen Striche des mitphotographierten Maßstabes haben 1 mm Abstand voneinander, so daß danach die Größe der Firnkörper wenigstens in zwei Dimensionen genau abgelesen werden kann. Die photographischen Aufnahmen der Firnkörper wurden in Berlin ausgemessen. Die Ergebnisse sind zum Vergleich mit den direkten Messungen der Firnkorngrößen in Eismitte in der Zahlenübersicht S. 176—179 zusammengestellt.

Zu den beiden Zahlenübersichten der Korngrößen ist folgendes zu bemerken. Die nachträglichen Ausmessungen der photographischen Platten liefern die Korngrößen erheblich genauer, als die direkten Ausmessungen der Körner auf dem Tisch in der Firnhöhle von Eismitte. Daher sind bei Abweichungen die späteren Messungen vorzuziehen. Doch ist dieser Vorteil nicht allzu groß, da die Korngrößen innerhalb der einzelnen Firnproben um Beträge schwanken, die die Meßgenauigkeit weit überschreiten. Da demnach beide Verfahren genügend genau sind, stimmen erwartungsgemäß die beiden Ausmessungen recht gut überein. Schichten, die nach den Ausmessungen in Eismitte als grobkörnige festgestellt wurden, übertreffen auch bei der Ausmessung der photographischen Aufnahmen die anderen Schichten an Korngröße. Hierbei kommt es ganz wesentlich auf den Vergleich der Korngrößen verschiedener Schichten an, nicht so sehr auf die absolute Größe der Körner. Diese braucht natürlich nicht genau bei beiden Messungen übereinzustimmen; denn die Firnproben, die in Eismitte ausgemessen wurden, sind nicht dieselben, die photographiert worden sind. Daher ist es kein Wunder, daß zum Beispiel die größten Körner nicht gleich groß sind. Ferner war der Maßstab der Beurteilung in Eismitte gewiß ein anderer als bei der nachträglichen Ausmessung. Und damit kommen wir auf eine wesentliche Schwierigkeit der Korngrößenmessung überhaupt: die Firnkörper hängen ja im ursprünglichen Verbande miteinander zusammen. In diesem Verbande lassen sich die ursprünglichen Grenzen nicht mehr in jedem Falle erkennen. Viele Firnkörper sind so miteinander verwachsen, daß sie zusammen ein größeres Ganzes bilden. Beim Betrachten der Vergrößerungen wird man nicht leicht entscheiden können, ob Zusammenballungen als ein Firnkorn oder als eine Gruppe

von Firnkörnern anzusehen sind. Darin liegt eine Unsicherheit in der Bestimmung des „größten“ Firnkornes. In der Zahlenübersicht sind nur solche Firnkörner als größte bezeichnet, die an verschiedenen Stellen und einwandfrei zu erkennen waren. Anderseits ist wegen der schon erwähnten Zertrümmerung der Firnkörner die untere Grenze der Korngrößen nicht leicht anzugeben. Bei der Ausmessung in Eismitte wurden die Splitter als kleinste Körner mitgerechnet, aber schon damals mit Fragezeichen versehen. Bei der Auswertung der Photographien wurden diese Splitter nicht berücksichtigt. Daher erscheinen die kleinsten Korngrößen bei der zweiten Auswertung häufig größer als bei der Auswertung in Eismitte.

Noch besser als jede Ausmessung ist der unmittelbare Anblick der Firnkornproben geeignet, um die verschiedenen Korngrößen der Schichten miteinander zu vergleichen. Ein Blick auf zwei verschiedene Mikroaufnahmen lehrt sofort, welche von beiden Firnproben die größeren Körner hat oder aber, daß die Korngrößen beide Male praktisch gleich sind. Hier entscheidet der Gesamteindruck viel genauer und sicherer als alle der einzelnen Körnerausmessungen. Immerhin sind die direkten Ausmessungen durch die photographischen Aufnahmen in dem wesentlichen Gesichtspunkte, nämlich dem richtigen Korngrößenvergleich je zweier Schichten bestätigt worden.



Nr. 1

128 cm

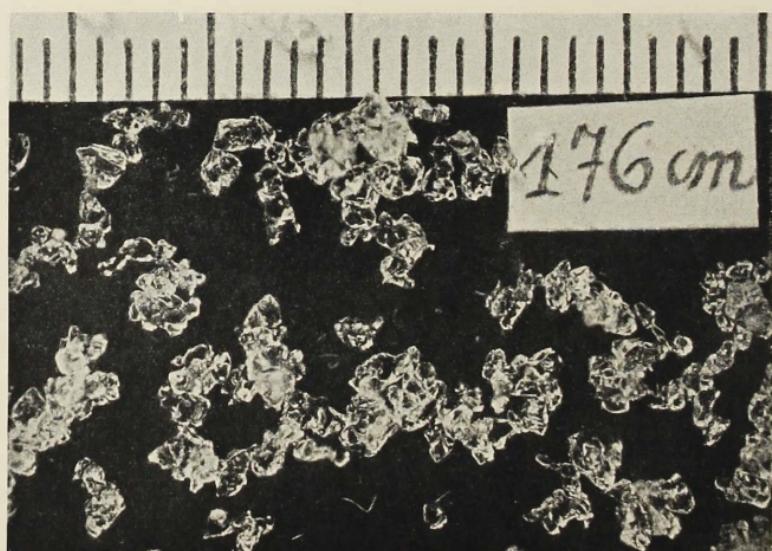
phot. Georgi.



Nr. 2

161 cm

phot. Georgi.



Nr. 3

176 cm

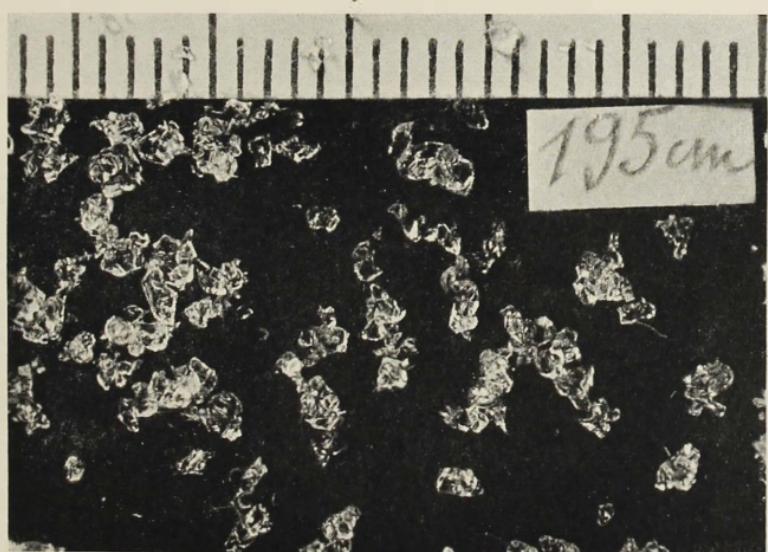
phot. Georgi.



Nr. 4

188 cm

phot. Georgi.



Nr. 5

195 cm

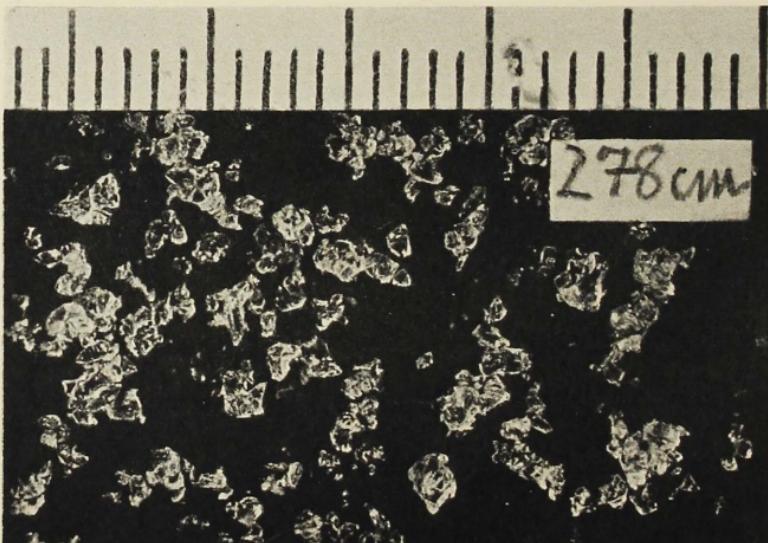
phot. Georgi.



phot. Georgi.

Nr. 6

212 cm



phot. Georgi.

Nr. 7

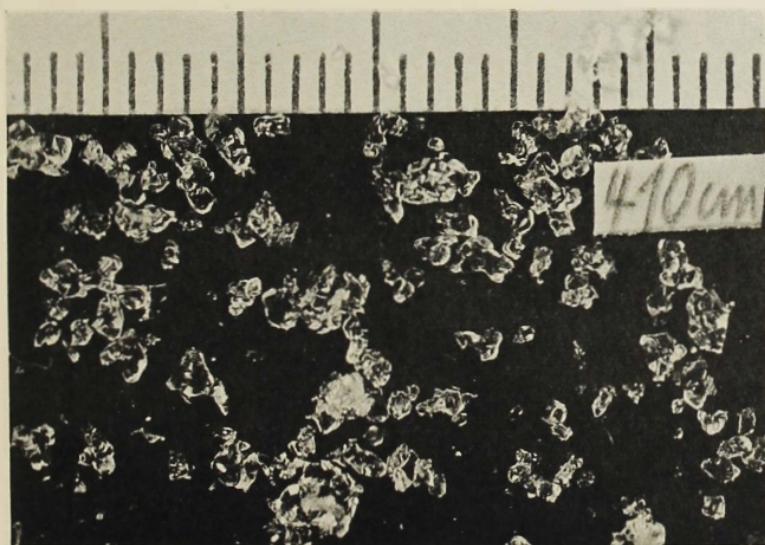
278 cm



phot. Georgi.

Nr. 8

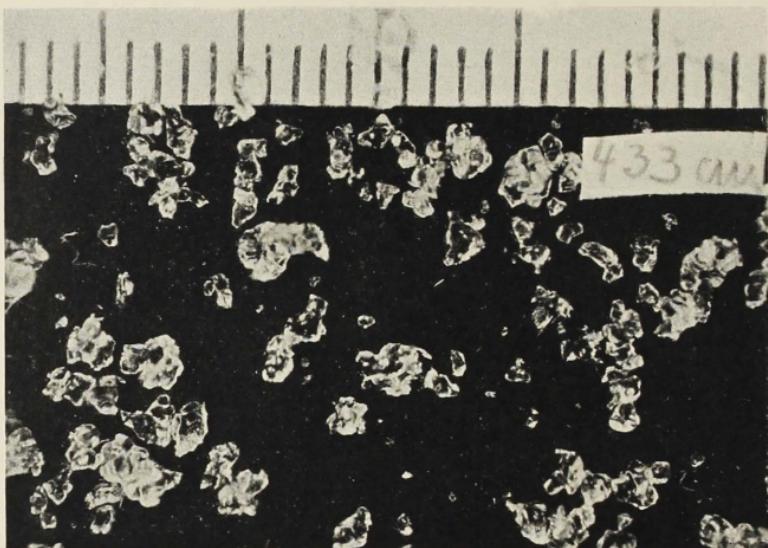
387 cm



phot. Georgi.

Nr. 9

410 cm



phot. Georgi.

Nr. 10

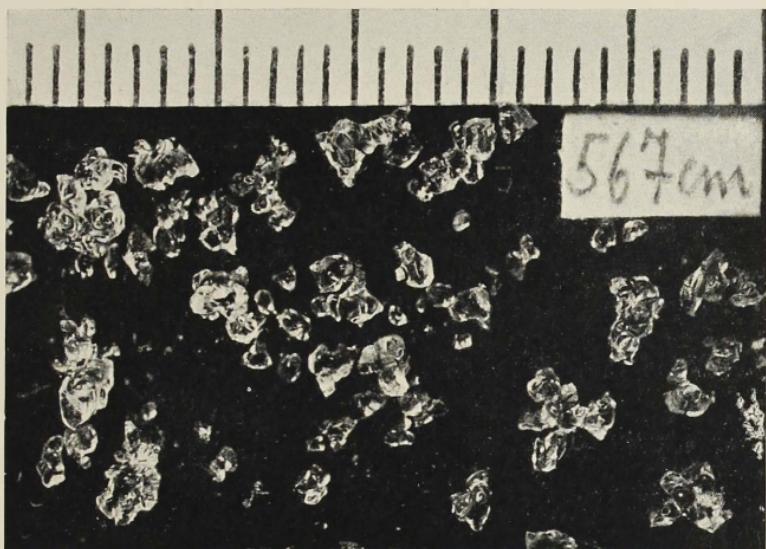
433 cm



phot. Georgi.

Nr. 11

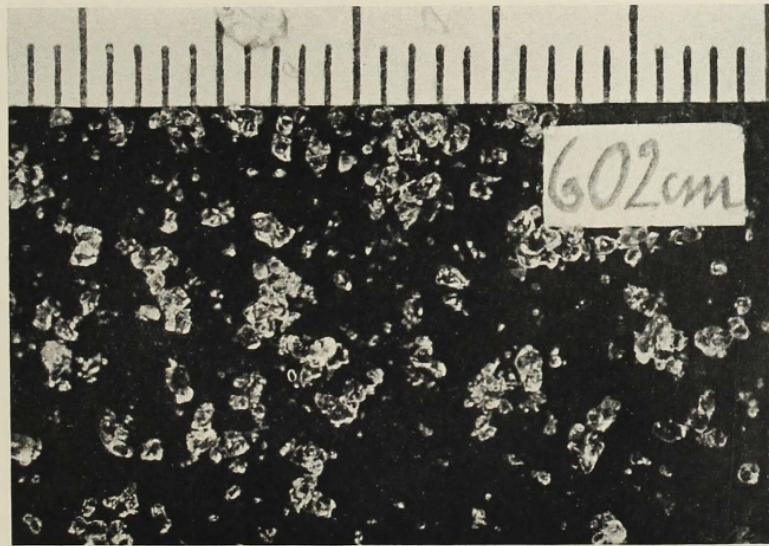
502 cm



Nr. 12

567 cm

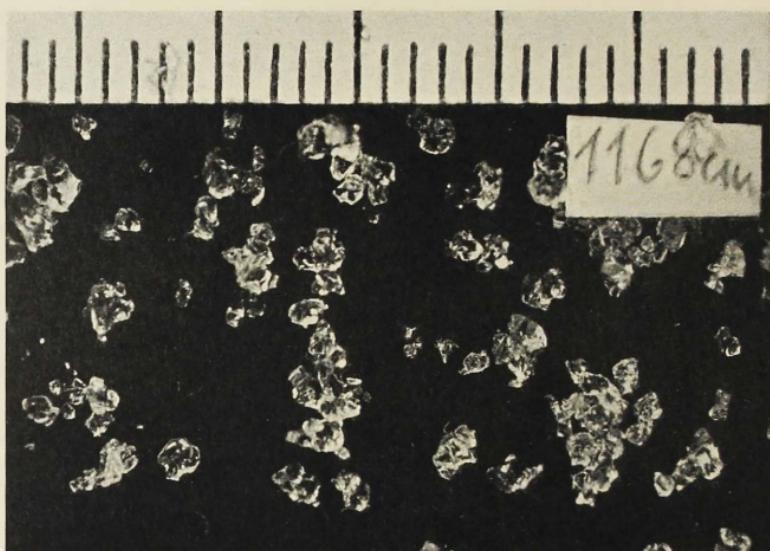
phot. Georgi.



Nr. 13

602 cm

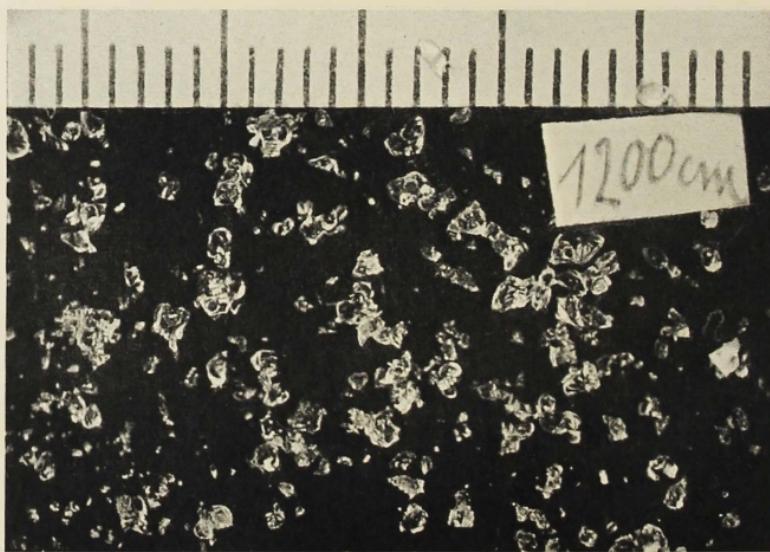
phot. Georgi.



phot. Georgi.

Nr. 14

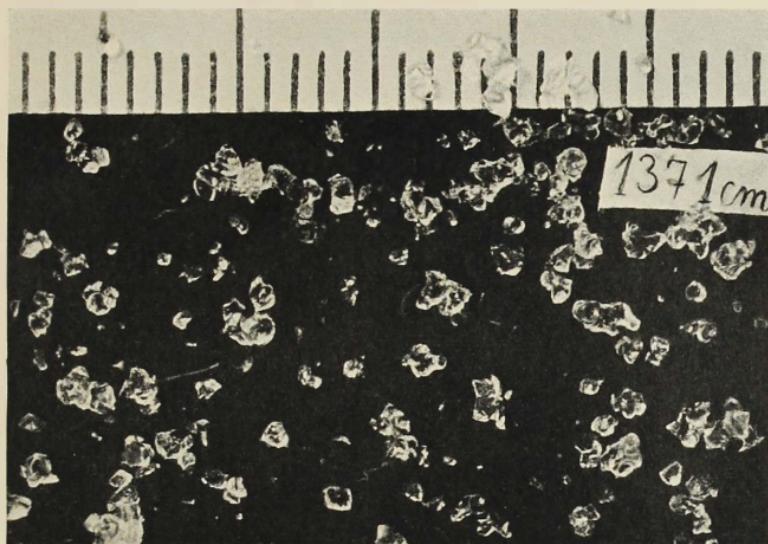
1168 cm



phot. Georgi.

Nr. 15

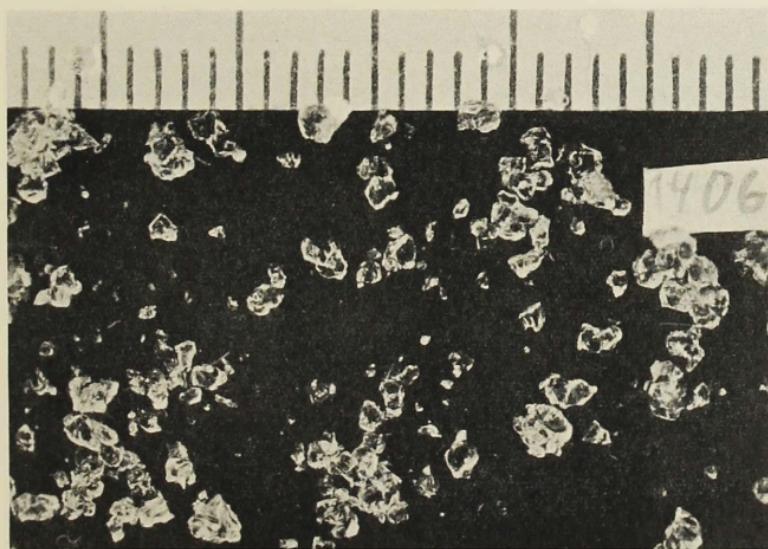
1200 cm



Nr. 16

1371 cm

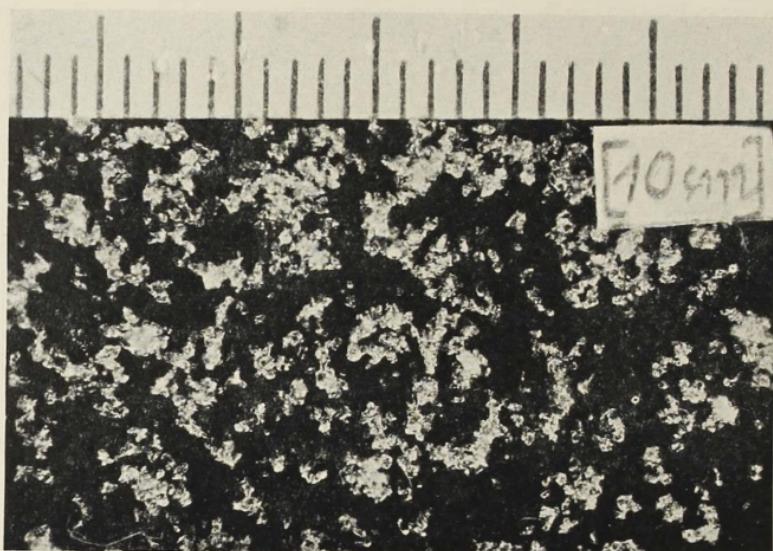
phot. Georgi.



Nr. 17

1406 cm

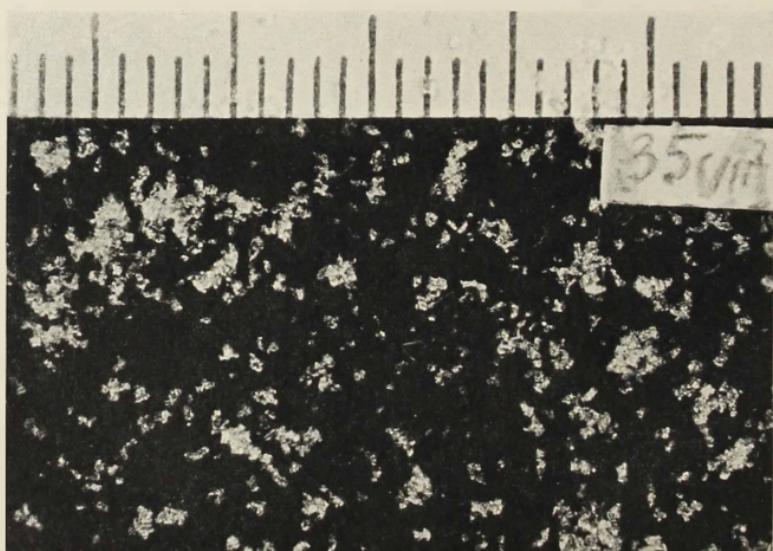
phot. Georgi.



Nr. 18

[10 cm]

phot. Georgi.



Nr. 19

[35 cm]

phot. Georgi.



phot. Georgi.

Nr. 20

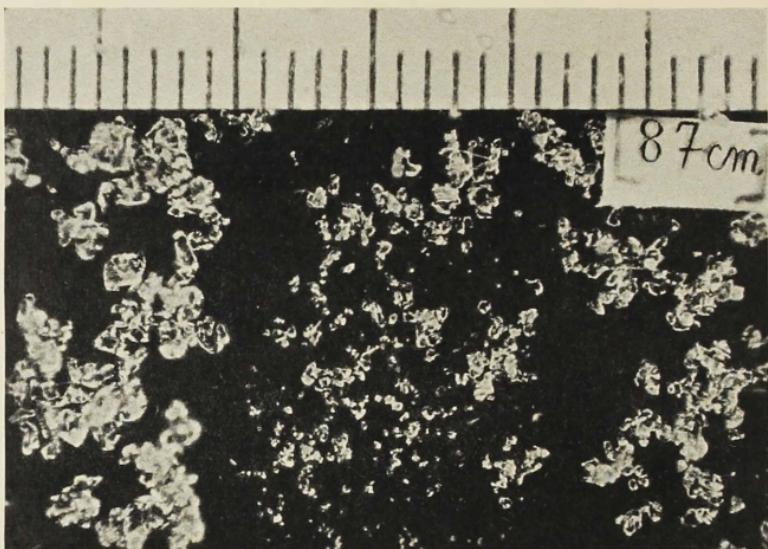
[40 cm]



phot. Georgi.

Nr. 21

[65 cm]

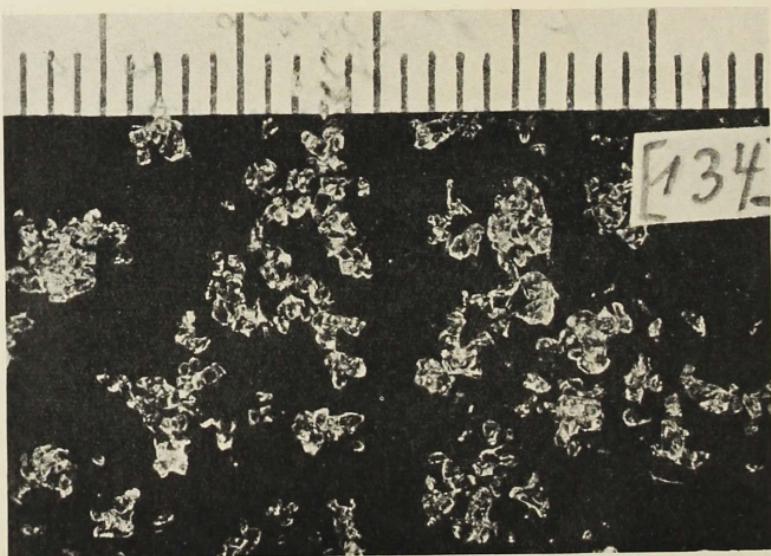


phot. Georgi.

Nr. 22

[87 cm]

Drei verschiedene Schichten, links die unterste Schicht, große Körner, in der Mitte die mittlere Schicht, kleine Körner, rechts die oberste Schicht, etwas größere Körner.



phot. Georgi.

Nr. 23

[134 cm]

## 2. Ergebnisse der Messungen.

Das Hauptergebnis ist nicht, wie man erwarten könnte, eine gesetzmäßige Zunahme der Korngröße mit der Tiefe, sondern ein regelmäßiger Wechsel der Korngröße, ohne daß die Körner mit wachsender Tiefe größer werden. Der Wechsel der Korngröße stimmt mit den Dichteschwankungen überein, und zwar so, daß die dichteren Schichten



phot. Joh. Georgi.

Abb. 37. Gletschekornstruktur des großen Karajak-Gletschers, rechter Rand ca. 4,5 km oberhalb der Front, Juni 1929. Im Bild A. Wegener

kleinere Körner haben als die weniger dichten Schichten. Im einzelnen zeigen die direkten Messungen in Eismitte und die nachträglichen Ausmessungen der Mikrophotographien folgendes:

### A. Direkte Ausmessungen in Eismitte.

1. Von 0 bis 7 m Tiefe sind in allen Fällen die Körner der Sommerschichten etwas größer als die der Winterschichten.

2. Von 7 m bis in größere Tiefen sind die grobkörnigen Sommerschichten kaum noch von den Winterschichten zu unterscheiden. Die Korngrößen sind annähernd gleich groß. Die Sommerschichten sind ge-

legentlich noch schwach angedeutet, aber nicht mehr mit Sicherheit aus den Korngrößen zu bestimmen.

3. Die Körner der Winterschichten erreichen im ersten Jahr eine Normalgröße von 0,6 mm, die der Sommerschichten von 0,9 bis 1 mm. Bei der Mittelbildung sind die Splitter der betreffenden Firnprobe mitgerechnet und verkleinern also das wahre Mittel im Naturzustand. Von diesem Zustand an nehmen die Körner bis in 9 m Tiefe (dies ist die größte auf Korngröße direkt untersuchte Tiefe) nach den Messungen nicht zu. Das ist ein auffallendes Ergebnis, da die großen Gletscher, die vom Inlandeis herkommen, sehr große (oft faustgroße) Eiskristalle haben (Abb. 37). Es ist also notwendig, daß die Firnkörper mit der Zeit und mit der Tiefe allmählich wachsen. Aus den Messungen folgt mit Sicherheit, daß dieses Wachstum zwischen 1 m und 9 m Tiefe, also in 13 Jahren, weniger als  $\frac{1}{10}$  mm beträgt.

#### B. Nachträgliche Messungen an den Mikrophotographien.

1. Die Änderung der Korngrößen zwischen Winter- und Sommerschichten bestätigt in 8 von 10 Fällen das allgemeine Gesetz, das bei der direkten Ausmessung gefunden wurde. Außerdem hatten in 2 Fällen (und zwar in den Tiefen 410 und 431 cm und ferner 1371 und 1406 cm) Sommers- und Winterschichten gleichgroße Körner.

2. Der Unterschied in der Korngröße zwischen Sommer- und Winterschichten ist ziemlich unregelmäßig. Aus den 17 photographischen Aufnahmen von 128 bis 1406 cm Tiefe läßt sich keine Gesetzmäßigkeit für den Größenunterschied ableiten. Wegen der Schwierigkeit der photographischen Arbeiten mußte darauf verzichtet werden, noch mehr Aufnahmen zu machen. Daher fehlen Aufnahmen zwischen 602 und 1168 cm Tiefe.

3. Im Laufe des ersten Jahres erreichen die Winterschichten eine Normalgröße von 0,9 mm, die Sommerschichten von 1 bis 1,1 mm. Hierbei sind die Eissplitter nicht mitgerechnet, so daß 0,9 mm bzw. 1 bis 1,1 mm den wahren Durchmesser der Firnkörper darstellen. Von dieser „wahren“ Normalgröße nehmen die Körner bis in 14 m Tiefe an Größe nicht merkbar zu. Ja, einzelne Firnproben aus größeren Tiefen haben sogar kleinere Körner als Firnproben aus geringerer Tiefe (vgl. zum Beispiel die Winterschichten 1200 cm und 278 cm und ferner die Sommerschichten 1371 und 161 cm).

Außerdem wurden die Körner in der Jungschneeschicht und den anschließenden Firnschichten gemessen. Die in Klammern stehenden Tiefen sind von der Oberfläche des 26. April 1931 an gerechnet, also von der wirklichen Oberfläche zur Meßzeit.

## Korngrößen der Jungschneeschicht.

(Ausmessung der Mikrophotographien).

| Tiefe unter der Oberfläche<br>vom 26. 4. 31 | vom 15. 9. 30 | größte<br>mm | kleinste<br>mm | mittlere<br>mm | Jahreszeit<br>der<br>Ablagerung |
|---|---------------|--------------|----------------|----------------|---------------------------------|
| em  | em            |              |                |                |                                 |
| [10]  | -77           | 0,5-0,4      | 0,1 - 0,14     | 0,2 - 0,3      |                                 |
| [35]  | -52           | 0,2-0,3      | 0,05-0,1       | 0,1 - 0,14     |                                 |
| [40]  | -47           | 0,4-0,4      | 0,07 - 0,08    | 0,25 - 0,25    |                                 |
| [65]  | -12           | 0,3-0,4      |                | 0,25 - 0,25    |                                 |
| [86]  | - 1           | 0,8-1,0      | 0,4 - 0,4      | 0,5 - 0,5      |                                 |
| [87]  | 0             |              | 0,2 - 0,2      | 0,4 - 0,4      |                                 |
| [88]  | 1             | 1,0-1,0      | 0,6 - 0,8      | 0,8 - 0,8      | Sommer 1930                     |
| [134]                                       | 47            | 1,0-1,2      | 0,8 - 0,5      | 0,9 - 0,6      | Sommer 1930                     |
| [135]                                       | 48            | 0,7-0,7      | 0,5 - 0,4      | 0,6 - 0,6      | Winter 1929/30                  |

Das Hauptergebnis dieser Messung ist der Sprung der Korngröße an der Grenze zwischen der Sommerschicht von 1930 und der Winterschicht von 1930/31. Dieser Sprung tritt bei den verschiedenen Messungen vom 7. Januar, 3. Februar, 20. März, 25. April 1931 stets an der Schneoberfläche vom 15. September 1930 auf. Hier nimmt der Korndurchmesser plötzlich auf rund 1 mm zu. In einzelnen Zwischenschichten zeigen sich kleinere Sprünge in der Korngröße und außerdem bereits die Zusammenkittung der Firnkörner zu echtem Firn.

## 3. Die Kornstruktur.

Der Schnee und Reif, der das Inlandeis ernährt, besteht aus Eiskristallen. Der Reif spielt für den Zuwachs keine nennenswerte Rolle. Von dem Schneuzuwachs fällt nur der kleinste Teil in Form von regelmäßig ausgebildeten Schneesternen. Denn diese bilden sich nur im Sommer und bleiben während ihrer Ablagerung nur bei ruhigem Wetter unversehrt. Am meisten Schnee fällt aber im Winter und bei starkem Wind, genauer beim Abflauen der Schneestürme. Dieser Winterschnee besteht nicht aus Schneesternen, sondern nur aus sehr kleinen Körnern. Daran erkennen wir die Wirkung der Schneestürme und besonders die des Schneefegens. Das Durcheinanderwirbeln und Entlangschleifen auf dem Boden zerbricht die Sterne und läßt schließlich nur kleine unregelmäßig begrenzte annähernd kugelförmige Körner übrig. Bei schwachem Schneefegen kann man Sterne, Stäbchen und Körner im Treibschnne finden.

Die regellose Art der Ablagerung bewirkt, daß die Schneekristalle nach ihrer Ablagerung keine bestimmte kristallographische Orientierung haben. Das zeigte uns der unmittelbare Anblick. Auch in größeren Schachtiefen ließ das Aussehen des Firs, die gänzlich zufällige An-

ordnung der Körner, keinen Zweifel, daß diese Anordnung keine bevorzugte Richtung kennt. Von dieser allgemeinen Eigenschaft gab es aber bemerkenswerte Ausnahmen. Die Feinschichtgrenzen ließen sich bei passender Beleuchtung nach verschiedenen Verfahren erkennen. Einige dieser Feinschichtgrenzen wurden in großen Tiefen besonders deutlich. Dort fanden sich millimeterstarke Schichten von regelmäßig orientierten Firnkörnern. Jede solche Schicht hatte nur die Mächtigkeit eines einzelnen Firnkorns, so daß die Schicht wie ein Mosaik oder ein Straßenpflaster mit unregelmäßiger Anordnung der Steine aussah. Hierzu folgender Tagebuchauszug (Sorge):

„Bei 1105 cm Tiefe folgt unter der Winterschicht eine scharfe Grenzlinie, die überaus deutlich sichtbar wird, wenn man den Firnblock mit der Hand etwas poliert, so daß die Oberfläche, schräg gegen das Licht gehalten, durchschimmert. Während überall sonst die Firnkörper regellos angeordnet sind, waren sie in der Grenzlinie hintereinander horizontal aufgereiht, wie die Stiche einer Naht, etwa so:



Abb. 38.

Der Kornabstand in der Naht war klein, so daß die Naht bei durchscheinendem Licht hell gegen die benachbarte Firnoberfläche des Blockes hervortrat. Ich zeigte Georgi und Loewe den Block. Beide staunten über die Deutlichkeit der Schichtgrenze (Ich fand dann, ebenfalls durch Polieren mit dem warmen Daumen, noch andere, weniger deutliche Grenzen der Feinschichtung). Die Schichtgrenze macht ganz den Eindruck einer feinen Harschschicht (Urteil Georgis stimmt mit meinem überein), so daß der Beginn einer Sommerschicht dadurch angezeigt wird. Die Dichte ändert sich sprunghaft. Vielleicht ist die Grenzschicht auch durch Druck erzeugt.“

Wie solche Firnkornpflaster sich bilden, konnte nicht unmittelbar beobachtet werden. Da sie Feinschichtgrenzen bilden, muß die erste Anlage bereits an der Oberfläche vor sich gehen. Unter „Harschschicht“ ist aber nicht an eine Bildung durch Zusammenschmelzen der einzelnen Körner zu denken. Bei den tiefen Temperaturen von Eismitte bilden sich nicht solche sommerlichen Harschschichten, wie sie zum Beispiel Nansen und de Quervain von ihren Durchquerungen weiter südlich beschreiben und wie sie auch von uns im Randgebiet des Inlandeises angetroffen wurden. In Eismitte wird es sich um einen Sublimationsvorgang handeln. Die einzige echte Eisschicht in Eismitte sieht völlig anders aus und hat mit den jetzt betrachteten Firnschichten nichts zu tun. Der Firndruck muß bei der Bildung dieser Firnkornpflaster eine Rolle spielen, denn gerade in großen Tiefen waren bei günstiger Beleuchtung einzelne nahtförmige Grenzen deutlich und regelmäßig ausgeprägt. Erst dadurch kamen wir

auf die Bezeichnung „Naht“. Diese hellen Nähte fielen um so mehr auf, als sonst der durchleuchtete Firn in großer Tiefe gleichmäßig stumpf diffuses Licht ausstrahlt, ähnlich wie Milchglas. Man kann also den Firn nicht schlechthin als ungeschichtet bezeichnen, wenngleich von der Schichtung nur bei besonderer Beleuchtung etwas zu bemerken ist. Wir müssen im Gegenteil feststellen, daß in Abständen von einigen Zentimetern oder höchstens Dezimetern immer wieder Firmschichten von der Mächtigkeit eines einzelnen Firnkorns mit regelmäßig angeordneten Firnkörnern vorkommen. Im großen betrachtet, besitzt der Firn also eine Anlage zur Schichtung. Ob diese Schichtung mit der Bänderung des Gletschereises in Zusammenhang steht, läßt sich aus den Beobachtungen nicht entscheiden. Die Möglichkeit besteht jedenfalls. Koch und Wegener schlossen noch aus der (scheinbar) fehlenden Firmschichtung und der vorhandenen Bänderung des Gletschereises, daß die Bänderung sich nicht aus der Firmschichtung herleiten lasse. Dieser Schluß ist durch die Beobachtungen in Eismitte hinfällig geworden.

Aus den Schneekristallen der Oberfläche werden durch Sublimationsvorgänge „Firnkörper“ mit kristalliner Struktur. Wie dies geschieht und wie diese Firnkörper „wachsen“, ließ sich unmittelbar nicht beobachten. Dazu wäre eine größere Apparatur und die volle Arbeitskraft eines Beobachters nötig gewesen. Denn dazu hätten an ein und derselben Stelle des Inlandeises dieselben Schneekristalle und später die Firnkörper, die nach Monaten daraus geworden sind, alle paar Stunden einmal mit starker Vergrößerung photographiert werden müssen. Unter den Verhältnissen von Eismitte war nicht daran zu denken, eine solche Versuchsanordnung aufzubauen und ständig mit ihr zu arbeiten. Auch bei besseren Lebensbedingungen wird es wegen der tiefen Temperaturen, der Schneestürme und der notwendigen Störungen des Naturzustandes sehr schwierig sein, den Vorgang der Kornbildung lückenlos mikrophotographisch aufzunehmen.

In Eismitte wurden monatlich einmal die oberflächennahen Schichten bis rund 1 m Tiefe untersucht. Hierbei tritt die schon genannte und grundsätzlich nicht zu beseitigende Schwierigkeit auf, daß es unmöglich ist, dieselbe Firnstelle im ungestörten Zustande mehrmals zu untersuchen. Bei der ersten Untersuchung kommt der betreffende Firnquerschnitt mit der Luft in Berührung. Damit ändert sich die Temperatur, Luftbewegung, Festigkeit, der Kornzusammenhang und vieles andere. Es nützt auch nichts, nach der ersten Untersuchung die Grube wieder zuzuschütten. Denn die Firnstruktur an dem untersuchten Querschnitt wird durch die Berührung mit dem herangeworfenen Firn in einer schwer zu überblickenden Weise gestört. So bleibt nichts übrig, als bei jeder neuen Untersuchung eine benachbarte, noch nicht gestörte Stelle zu benutzen. Die Schneeoberfläche vom 15. September 1930 wurde jedesmal an einer

etwas härteren Grenzfläche mit Sicherheit wiedererkannt. Die darüber befindlichen Schichten weisen bei der Parallelisierung viel Ähnlichkeit in Härte, Korngröße und Dichte auf; aber keineswegs genügen diese Messungen, um den „Werdegang eines Firnkorns“ wirklich darzustellen. Eine bessere Vorstellung von den Veränderungen der Schneekörner geben die Mikrophotographien vom 26. April 1931. Das Wachstum der Körner und die beginnende Verkittung zu echtem Firn wird dadurch sehr augenfällig. Aber wie es sich vollzieht, geht daraus nicht hervor. Regelationsvorgänge kommen bei den tiefen Temperaturen in Eismitte nicht in Betracht (abgesehen von sehr seltenen Einzelfällen), sondern nur Sublimation. Was wir sehen können, sind nicht die Vorgänge, sondern nur Ergebnisse. Hervorzuheben sind dabei zwei wichtige Tatsachen: 1. Die Verkittung der einzelnen Schneekörner zu festem Firn geschieht auch bei sehr tiefen Temperaturen ( $-30^{\circ}$  bis  $-40^{\circ}$  C), also fern vom Schmelzpunkt. 2. Das Kornwachstum vollzieht sich im ersten Jahre schnell, dann unmerklich langsam, so daß bis in 15 m Tiefe kein weiteres Anwachsen mehr zu bemerken ist.

Die erste Tatsache konnte in Eismitte noch bei anderer Gelegenheit sehr oft beobachtet werden. Wenn wir Firnblöcke aus dem Schacht ins Freie getragen und dort irgendwie in unregelmäßigen Haufen aufgetürmt hatten, dauerte es nur wenige Tage, bis diese Firnblöcke von selbst miteinander zusammenbackten. Es war nicht nötig, daß zwei solche Firnblöcke unter besonderem Druck gegeneinander gepreßt waren. Es genügte schon, wenn sie nebeneinander lagen und sich an zwei ebenen Schnittflächen berührten. Diese Beobachtungen deuten auf lebhafte Sublimationsvorgänge hin. An den Oberflächen der Firnblöcke verdunstet Eis und schlägt sich an anderen Stellen nieder, und zwar vielfach so, daß zwischen den Blöcken feine Eisbrücken entstehen. Damit beginnt die Verkittung zu einem großen Block.

Solche Sublimationsvorgänge müssen aber unter 1 m Firntiefe äußerst langsam weitergehen, sonst müßte die Korngröße schnell zunehmen. Dafür sind sicherlich die tiefen und wenig veränderlichen Temperaturen maßgebend. Man darf außerdem daraus noch schließen, daß die Luftbewegung im ungestörten Firn im Gegensatz zu den Beobachtungen in unseren Hohlräumen nur schwach ist und für die Beförderung von Eisdampf wenig bedeutet. Stärker wird die Korngröße wohl erst dann anwachsen, wenn die Firnkörner im Laufe langer Zeiten in größere Tiefen und in die Randgebiete des Inlandeises kommen, wo die Temperaturen näher am Schmelzpunkt liegen.

Wie der Firn in Gletschereis übergeht, indem die Luftzwischenräume des Firsns ihren Zusammenhang verlieren, konnte im Schacht von Eismitte natürlich nicht festgestellt werden.

## VI. Die Firntemperatur.

### 1. Messung der Firntemperatur.

Die Messung der Firntemperaturen gehörte zu dem Programm, das Alfred Wegener bei der Planlegung seiner Grönland-Expedition aufgestellt hat. Infolge der großen Transportschwierigkeiten konnte das Bohrgerät, das von der Firma „Nautische Instrumente G.m.b.H., Kiel“ unter der sachverständigen Leitung von Professor Martienssen sehr sorgfältig konstruiert und zusammengestellt worden war, nicht nach Station Eismitte gebracht werden. Daher mußte auf eine Tiefbohrung verzichtet werden. Erst bei der letzten Rückreise von Eismitte zur Weststation (August 1931) bohrte Sorge bei 200 km Küstenabstand ein 10 m tiefes Bohrloch.

Für die Temperaturmessungen in Eismitte wurde der 15 m tiefe Schacht benutzt. In die Schachtwände wurden 1 m lange Löcher etwas schräg abwärts hineingebohrt. Als behelfsmäßiger Bohrer diente ein Skistock, an dessen Spitze ein Stativrohr von dem Lichtschreiber der Seismik angeschraubt war. Dieses Rohr bestand aus Messing. In das Ende, das zum Bohren diente, wurden ringsherum Zähne eingefeuht. Diese einfache Einrichtung wurde als Stoßbohrer benutzt, d. h. durch wiederholte Stöße in die gleiche Stelle der Firnwand wurde der 20 cm lange Hohlraum der Messingstange allmählich mit Firnstückchen oder mit einem Firnpfropfen angefüllt. Nach etwa zehn Stößen wurde der Bohrer herausgezogen und mit einem Stück Holz von der Seite beklopft und durch die Erschütterung entleert. Bis 7 m Tiefe ließen sich die Thermometerlöcher auf diese Weise ohne große Mühe bohren. In größeren Tiefen dagegen war der Firn so hart, daß die Bohrkrone schnell beschädigt wurde. Die Zähne bogen sich nach innen oder außen und brachen nach einigen Arbeitstagen ab. Dann mußten neue Zähne gefeilt werden, und so wurde der Hohlraum, der für die Aufnahme des herauszuholenden Kerns bestimmt war, immer kürzer. Im Frühjahr 1931 mußte daher notgedrungen noch ein zweites Stativbein des Lichtschreibers für die Bohrung geopfert werden. Der Bambusskistock hielt die Stöße gegen den harten Firn ebenfalls nicht lange aus. Dies war bedenklich, da er im zweiten Sommer für den Rückmarsch zur Küste unentbehrlich werden konnte. Die Haltbarkeit des Skistockes wurde durch Umwickeln mit starkem Bindfaden erhöht. In 10—12 m Tiefe dauerte das Bohren eines 1 m langen Loches etwa zwei Stunden. Für die Temperaturmessungen wurden Thermometer der Firma Cornelius Knudsen, Kopenhagen, benutzt. 11 Thermometer enthielten Quecksilber, 7 Thermometer Toluol als Füllung. Alle Thermometer waren in halbe Grade geteilt; die Ablesungen sind daher mit Sicherheit auf 0,1°, meist sogar auf 0,05° genau.

Das Verfahren der Temperaturmessung richtete sich in mancher Beziehung nach dem Vorgang von Koch und Wegener bei ihrer Überwinterung 1912/13 auf dem Storströmgletscher in Ostgrönland (siehe Koch und Wegener 1930, S. 202 ff.).

Um die Trägheit der Thermometer und damit die Ruhe und Sicherheit der Ablesungen zu erhöhen, wurden die Thermometer sorgfältig isoliert.



phot. Georgi.

Abb. 39. Thermometerablesung im Schacht in 15 m Tiefe. Aufnahme senkrecht nach unten. Links oben in der Ecke ist die Verschlußbüchse für ein Thermometerloch sichtbar.

Jedes wurde in die Papphülse gesteckt, in der es beim Transport verpackt war. Der Zwischenraum zwischen dem Thermometerglas und der Pappwand wurde mit Watte und Werg ausgestopft. Nur an einer Stelle wurde ein kleines Fenster an der Pappwand zum Ablesen herausgeschnitten. Dies genügte, da die Temperaturen im Schacht sich sehr wenig änderten und fast stets zwischen  $-26^{\circ}$  und  $-31^{\circ}$  C blieben. Durch einige Löcher in der Papphülse wurde ein Bindfaden hindurchgeführt, so daß beim Herausziehen der Thermometer aus ihren Löchern nur die Papphülse, nicht aber die Thermometer auf Zug beansprucht wurden (s. Abb. 40). Zur Sicherheit wurde das Thermometer noch an der Zugleine lose angebunden, damit,

falls die Papphülse zerriß, das Thermometer immer noch herausgezogen werden konnte. Durch die Papphülse und Watte war das Thermometergefäß und der größte Teil des Flüssigkeitsfadens gegen direkte Bestrahlung von der Lampe oder dem Gesicht des Ablesenden geschützt. Es dauerte beim Beleuchten und Ablesen der Quecksilberthermometer 2—3 Sekunden, ehe die Temperatur um  $1/20^{\circ}$  C stieg. Die Toluolthermometer stiegen viel schneller an, so daß es großer Geschicklichkeit bedurfte, um noch ungestörte Temperaturen abzulesen. Die Quecksilberthermometer bewährten

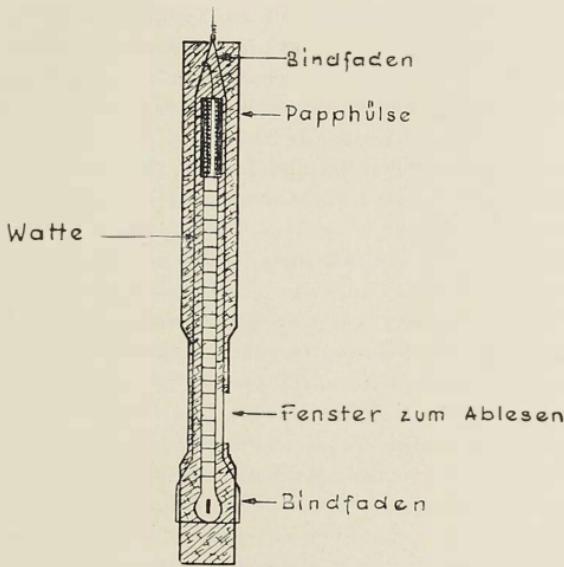


Abb. 40.

sich vorzüglich. Ihre Standkorrekturen blieben stets gleich, mit Ausnahme des Thermometers Nr. 9, dessen äußere Glashülle am 26. September 1930 durch eine Erschütterung einen Sprung bekam, wodurch die Skala sich um  $0,3^{\circ}$  C verschob. Die Glashülle wurde mit Leukoplast fest umwickelt, aber die späteren monatlangen Vergleiche mit anderen Thermometern zeigten, daß die Skala doch nicht völlig unverändert blieb. Thermometer 9 wurde daher nur bei einwandfreiem Temperaturgang mit berücksichtigt. Die Einteilung der Quecksilberthermometer reicht von  $+30^{\circ}$  bis  $-40^{\circ}$  C, die der Toluolthermometer von  $+30^{\circ}$  bis  $-50^{\circ}$  C. Es wäre für die Temperaturmessungen besser gewesen, das Ableseintervall zu verkleinern, etwa auf das Bereich von  $-40^{\circ}$  bis  $0^{\circ}$  C, und dafür die Skaleneinteilung und damit die Ablesegenauigkeit zu vergrößern. Die Toluolthermometer erwiesen sich im Laufe der Zeit immer mehr als unzuverlässig und gerade

für das Thermometerintervall von  $-40^{\circ}$  bis  $-50^{\circ}$  C, für das sie besonders bestimmt waren, als unbrauchbar. In der Nähe von  $-40^{\circ}$  C teilte sich der Toluolfaden öfter offenbar durch die Kälte in mehrere Stücke. Außerdem war etwas matter Farbstoff an der Glaswand, getrennt von der Flüssigkeit, festgeklebt oder gefroren. Zwar versuchte Sorge mehrere Tage lang durch etwa 5omaliges Erwärmen und starkes Schleudern der Toluolthermometer die Flüssigkeit wieder zu sammeln. Aber sobald die Thermometer wieder in die Kälte kamen, zerfiel die Flüssigkeit. Aus diesem Grunde wurden dann die Toluolthermometer nicht mehr benutzt. Dagegen dienten zur Kontrolle und Eichung der Quecksilberthermometer zwei in der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt zu Berlin-Charlottenburg geeichte Thermometer (F 9660 und F 1020), die Georgi freundlicherweise zur Verfügung stellte. F 9660 war in zehntel Grade eingeteilt, gestattete die Ablesung auf  $1/100$  Grad und wurde daher besonders für die Firntemperatur in großen Tiefen benutzt, wo die Temperaturen nur sehr wenig schwankten. Zwischen dem 17. September und dem 13. Oktober 1930 wurden alle Thermometer mit Georgis Eichthermometern in einem Petroleumbade verglichen und dadurch zwischen den Temperaturen  $-13^{\circ}$  und  $-31^{\circ}$  C geeicht. Das Eichgefäß bestand aus einer großen Konservenbüchse, die mit  $1\frac{1}{2}$  Liter Petroleum gefüllt war, von Holzwolle umgeben war und in einer Holzkiste stand. Der Deckel der Konservenbüchse bestand aus Pappe und wurde an 19 Stellen durchbohrt. Durch die Öffnungen wurden die 17 Thermometer mit den 2 Normalthermometern so hindurchgesteckt, daß die Thermometergefäße sich in der Mitte des Petroleumbades befanden. Eine einzelne Eichung, bei der die Normalthermometer viermal und alle übrigen Thermometer zweimal der Reihe nach mit Notierung der Zeit abgelesen wurden, dauerte 15—20 Minuten. Im ganzen wurden 21 solcher Eichungen gemacht. Noch genauere relative Korrekturen ergaben die monatelangen Ablesungen der Thermometer im Schacht. Um die Thermometer miteinander vergleichen zu können, wurden sie untereinander in systematischer Weise ausgewechselt. Alle zwei Tage wurden die Temperaturen in allen Tiefen einmal abgelesen. Befand sich zum Beispiel bei der Ablesung am 2. April Thermometer Nr. 6 in 8 m Tiefe und Thermometer Nr. 5 in 9 m Tiefe, so wurde nach der Ablesung Thermometer Nr. 5 in das Loch in 8 m Tiefe hineingesteckt und Thermometer Nr. 6 in 9 m Tiefe. Hier blieben die Thermometer und hatten zwei Tage Zeit, sich einzustellen, bis sie am 4. April wieder abgelesen und ausgewechselt wurden. In dieser Weise wurde mit den Thermometern Nr. 5 und 6 die Temperatur während des ganzen April abwechselnd in 8 und 9 m Tiefe abgelesen. Im Mai wurden für die Tiefen 8 und 9 m die Thermometer Nr. 7 und 6 benutzt, so daß beide Monate den Vergleich aller drei Thermometer liefern. In ähnlicher Weise wurde mit allen Thermometern verfahren. Die jeweilige Stellung und abgelesene Temperatur der Thermometer geht aus der

Zahlenübersicht der Firntemperaturen auf S. 204 ff. hervor. Die dort verzeichneten Werte sind die ursprünglich abgelesenen Temperaturen noch ohne jede Korrektur. In der Zeit vom 9. Mai bis 29. Juli las Georgi die Firntemperaturen ab, und während dieser Zeit wechselte jedes Thermometer seine Stellung immer nur zwischen zwei Tiefenlagen. Hierdurch ist der Temperaturgang in jeder Tiefe während dreier Monate besonders genau festgelegt.

Die Thermometerlöcher wurden absichtlich weder waagerecht noch senkrecht gebohrt, sondern führten schräg abwärts in die Firnwand hinein. Die Neigung war gerade so bemessen, daß die Thermometer unter der Einwirkung der Schwerkraft langsam hineinglitten. Dadurch wurde jeder Stoß beim Auftreffen auf den Boden des Loches vermieden. Außerdem war es nicht nötig, das Thermometer mit einem Stock hineinzustoßen. Jedes Thermometer hing an einer Schnur von 1,20 m Länge, die am anderen Ende ein Querholz trug, um das Hineinrutschen der Schnur in das Loch zu verhindern. Da bei der Schachttemperatur von  $-30^{\circ}\text{C}$  alle Handgriffe mit Fausthandschuhen aus Rentierfellen ausgeführt werden mußten, waren die Querhölzer als Handgriff zum Anfassen und Herausziehen der Thermometer besonders praktisch. Die Firntemperaturen wurden auf einem Stück Pappe aufgeschrieben, das auf einem Holzbrett befestigt war, um es leicht fassen zu können. Der Bleistift hing an einer Schnur um den Hals. Nach der Ablesung des letzten Thermometers wurden die notierten Temperaturen im Wohnraum ins Tagebuch übertragen.

Sobald nach der Temperaturablesung die Thermometer in die Löcher herabgelassen worden waren, wurden die Lochöffnungen sorgfältig verschlossen. In den oberen Teil des Loches wurde ein Stück Sackleinwand als Ppropfen fest hineingedrückt. Die Öffnung wurde dann durch eine oder zwei verschieden große übereinander gestülpte Konservenbüchsen verschlossen. Dadurch wurde jede Luftströmung in dem Thermometerloch verhindert.

Ende Juli und Anfang August 1931, als die Propellerschlitten zum letzten Male nach Eismitte gekommen waren, bohrte Sorge mit einem 2 m langen, vorn zugeschräfeten Stahlrohr am Boden des Schachts ein senkrechttes Loch von 1,6 m Tiefe, dessen unteres Ende also 16,6 m unter der Oberfläche vom 15. September 1930 war. In dieser Tiefe wurden Temperaturen 5 Tage hindurch gemessen, bis zur endgültigen Räumung von Eismitte.

Außer den Schachtthermometern dienten einige andere Thermometer in besonderen Löchern zu Firntemperaturmessungen in geringer Tiefe (bis 2 m). Diese Thermometerlöcher befanden sich 30—40 m westlich und südwestlich von der Thermometerhütte. Gelegentlich wurden auch Gruben gegraben und darin Temperaturen gemessen. Diese Ablesungen sind in der Haupttafel der Firntemperaturen angegeben.

### Abgelesene Firntemperaturen in Eismitte (unberichtigt).

Alle Tiefen ohne besondere Angaben sind von der Oberfläche des 15. 9. 1930 an gerechnet. Die Thermometerberichtigungen folgen am Schluß dieser Zahlenübersicht. + = halbe Tage mit Schachtarbeit; dicker Strich am Rand: Temperatursturz der Außenluft.

| November   |  | Besondres                   | Besondres                | im Schacht |           |           |           |        |     |     |     |      |      |      |      |      |
|------------|--|-----------------------------|--------------------------|------------|-----------|-----------|-----------|--------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|
|            |  | Loch im<br>Freien<br>0,50 m | Loch im<br>Freien<br>1 m | 2 m        | 3 m       | 4 m       | 5 m       | 6 m    | 7 m | 8 m | 9 m | 10 m | 11 m | 12 m | 13 m | 14 m |
| 3. 12.00   |  | 33,7 9                      | 29,6 26                  | 30,0 5     | 27,0 4    | —         | —         | —      | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 5. 13.00   |  | 33,7 9                      | 29,0 26                  | 30,5 5     | 27,4 4    | —         | —         | —      | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 6.+        |  |                             |                          |            |           |           |           |        |     |     |     |      |      |      |      |      |
| 7.+ 13.00  |  | 35,5 9                      | 29,5 26                  | 29,2 4     | 29,4 5    | —         | —         | —      | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 8.-+       |  |                             |                          |            |           |           |           |        |     |     |     |      |      |      |      |      |
| 9. 13.40   |  | 33,7 9                      | 30,5 26                  | 30,8 5     | 27,8 4    | —         | —         | —      | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 11. 15.00  |  |                             | 50,5 26                  | 30,2 5     | 27,7 4    | —         | —         | —      | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 13.+ 13.00 | Lufttemperatur<br>vor   hinter<br>der Schachttür |                             | 30,9 26                  | 28,2 4     | 29,5 5    | —         | —         | —      | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
|            |  | 2 m                         | 2 m                      | neues Loch | neu. Loch |           |           |        |     |     |     |      |      |      |      |      |
| 15. 13.50  | 33,2 2   | —                           | 32,8 26                  | 29,5 5     | 26,6 4    | 26,9 27   | 28,0 10   | —      | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 17. 13.00  | 25,7 8   | —                           | 31,6 26                  | 28,1 4     | 28,3 5    | 27,1 10   | 28,1 27   | —      | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 19. 13.00  | 31,2 7   | 28,7 2                      | 33,4 26                  | 30,1 5     | 26,75 4   | 26,9 27   | 28,2 10   | —      | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 20.- 14.50 | 29,3 7   | 27,8 2                      | —                        | 28,4 4     | 28,6 5    | 27,15 10  | 27,9 27   | —      | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 21.- 13.50 | 28,0 8   | 27,4 2                      | 32,25 26                 | 28,6 4     | 28,6 5    | 27,35 10  | 27,9 27   | —      | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
|            |  |                             |                          |            |           | neu. Loch | neu. Loch |        |     |     |     |      |      |      |      |      |
| 23. 12.00  | 29,7 7   | 26,7 2                      | 32,0 26                  | 30,45 5    | 27,0 4    | 26,6 27   | 27,2 10   | 27,5 6 | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 24.+       |  |                             |                          |            |           |           |           |        |     |     |     |      |      |      |      |      |
| 25. 13.50  | 29,8 7   | 26,7 2                      | 32,25 26                 | 28,7 4     | 28,55 5   | 26,75 10  | 26,9 27   | 27,5 6 | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 26.+       |  |                             |                          |            |           |           |           |        |     |     |     |      |      |      |      |      |
| 27.- 16.00 | 26,5 7   | 26,4 2                      | —                        | 30,5 5     | 27,1 4    | 26,6 27   | 27,15 10  | 27,4 6 | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |
| 29. 17.00  | 27,5 27  | 26,4 7                      | —                        | 28,8 4     | 28,5 5    | 26,75 10  | 26,7 2    | 27,2 6 | —   | —   | —   | —    | —    | —    | —    | —    |

Ab 19. Nov. ist der Schacht durch eine Holztür  
dicht abgeschlossen

## Abgelesene Firntemperaturen in Eismitte (Fortsetzung).

| Dezember    | Lufttemperatur<br>im Schacht |                              |        | Besond.<br>Loch im<br>Freien | Schacht | im Schacht |      |       |       |        |         |        |       |       |       |       |               |        |      |   |
|-------------|------------------------------|------------------------------|--------|------------------------------|---------|------------|------|-------|-------|--------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|---------------|--------|------|---|
|             | vor der<br>Schacht-<br>tür   | hinter d.<br>Schacht-<br>tür | 5,50 m |                              |         | 1 m        | 2 m  | 3 m   | 4 m   | 5 m    | 6 m     | 7 m    | 8 m   | 9 m   | 10 m  | 11 m  | 12 m          | 13 m   |      |   |
| 1. + 15.00  | 28,6                         | 27                           | 26,6   | 7                            | —       | 33,2       | 26   | 30,5  | 5     | 27,2   | + 26,5  | 2      | 27,05 | 6     | 27,5  | 10    | —             | 14.00  |      |   |
| 2. + 19.00  | —                            | —                            | —      | —                            | —       | —          | —    | —     | —     | —      | —       | —      | 26,8  | 2     | —     | —     | neues<br>Loch | 6,70 m |      |   |
| 3. + 14.50  | 29,7                         | 27                           | 26,4   | 7                            | —       | 32,2       | 26   | 28,75 | 4     | 29,0   | 5       | 26,7   | 6     | 27,0  | 10    | 27,05 | 2             | 27,2   | 9    |   |
| 5. 12.00    | 50,4                         | 27                           | 26,8   | 7                            | —       | 34,0       | 26   | 30,3  | 5     | 27,5   | + 26,8  | 10     | 26,9  | 6     | 27,00 | 9     | —             | —      |      |   |
| 7. 13.00    | 28,0                         | 27                           | 26,6   | 7                            | —       | 33,1       | 26   | 29,0  | 4     | 29,2   | 5       | 26,75  | 6     | 26,9  | 10    | 27,00 | 2             | —      | —    |   |
| 8. +        | —                            | —                            | —      | —                            | —       | —          | —    | —     | —     | —      | —       | —      | —     | —     | —     | —     | —             | 6,70 m |      |   |
| 9. + 16.00  | 28,5                         | 27                           | 26,5   | 7                            | 26,7    | 8          | —    | 50,95 | 5     | 27,6   | + 27,05 | 10     | 26,95 | 6     | 27,05 | 9     | 27,2          | 9      |      |   |
| 11. 17.00   | 27,4                         | 27                           | 26,5   | 7                            | —       | 32,9       | 26   | 29,0  | 4     | 29,5   | 5       | 26,9   | 6     | 26,95 | 10    | 27,0  | 2             | 27,4   | 9    |   |
| 15. 15.00   | 27,6                         | 27                           | 26,55  | 7                            | 26,6    | 9          | —    | 30,9  | 5     | 27,7   | + 26,75 | 10     | 26,9  | 6     | 27,0  | 8     | 27,4          | 2      | —    |   |
| 15. 18.00   | 27,0                         | 27                           | 26,6   | 7                            | 26,9    | 9          | —    | 29,2  | 4     | 29,5   | 5       | 27,0   | 6     | 27,0  | 10    | 27,0  | 2             | 27,5   | 8    |   |
| 17. 16.00   | 26,6                         | 27                           | 26,5   | 7                            | 26,8    | 9          | —    | 31,0  | 5     | 27,9   | + 27,5  | 10     | 27,1  | 6     | 27,1  | 8     | 27,4          | 2      | —    |   |
| 19. 15.00   | 26,6                         | 27                           | 26,2   | 7                            | 26,8    | 9          | —    | 29,1  | 4     | 29,7   | 5       | 27,25  | 6     | 27,25 | 10    | 27,05 | 2             | 27,5   | 8    |   |
| 21. 12.00   | 29,1                         | 27                           | 26,9   | 7                            | 27,0    | 9          | —    | 31,0  | 5     | 28,2   | + 27,4  | 10     | 27,15 | 6     | 27,2  | 8     | 27,4          | 2      | —    |   |
| 23. + 16.00 | 28,6                         | 27                           | 26,7   | 7                            | 26,8    | 9          | 27,5 | 26    | 29,0  | + 29,8 | 5       | 27,55  | 6     | 27,5  | 10    | 27,1  | 2             | 27,5   | 8    |   |
| 25. 12.00   | 50,6                         | 27                           | 26,8   | 7                            | 27,0    | 9          | 27,4 | 26    | 50,8  | 5      | 28,05   | + 27,5 | 10    | 27,25 | 6     | 27,2  | 8             | 27,4   | 2    |   |
| 27. + 16.00 | 29,2                         | 27                           | 26,8   | 7                            | 27,1    | 9          | 27,4 | 26    | 28,85 | 4      | 29,85   | 5      | 27,5  | 6     | 27,45 | 10    | 27,15         | 2      | 27,5 | 8 |
| 29. 18.00   | 29,9                         | 27                           | 26,9   | 7                            | 27,05   | 9          | 27,5 | 26    | 50,65 | 5      | 28,1    | + 27,6 | 10    | 27,4  | 6     | 27,25 | 8             | 27,4   | 2    | — |
| 31. 18.50   | 32,5                         | 27                           | 27,4   | 7                            | 27,5    | 9          | 27,1 | 26    | 28,75 | 4      | 29,9    | 5      | 27,55 | 6     | 27,5  | 10    | 27,2          | 2      | 27,5 | 8 |

## Abgelesene Firntemperaturen in Eismitte (Fortsetzung).

| Januar     |  | Lufttemperatur<br>im Schacht | i m S c h a c h t |        |         |         |          |           |          |         |         |     |      |      |      |      |        |
|------------|--|------------------------------|-------------------|--------|---------|---------|----------|-----------|----------|---------|---------|-----|------|------|------|------|--------|
|            |  |                              | 2 m               | 5,5 m  | 2 m     | 3 m     | 4 m      | 5 m       | 6 m      | 7 m     | 8 m     | 9 m | 10 m | 11 m | 12 m | 13 m | 14 m   |
| 2.+18.00   |  | 27,7 7                       | 27,2 9            | 30,3 5 | 28,0 4  | 27,7 10 | 27,45 6  | 27,5 8    | 27,4 2   |         |         |     |      |      |      |      |        |
| 3.+        |  |                              |                   |        |         |         |          |           |          |         |         |     |      |      |      |      |        |
| 4. 14.00   |  | 27,0 7                       | 26,9 9            | 28,8 4 | 29,85 5 | 27,45 6 | 27,25 8  | 27,1 2    |          |         |         |     |      |      |      |      |        |
| 5.+        |  |                              |                   |        |         |         |          |           |          |         |         |     |      |      |      |      |        |
| 6. 18.00   |  | 26,75 7                      | 26,9 9            | 30,5 5 | 28,2 4  | 27,4 8  | 27,4 6   | (26,95)10 | 27,35 2  |         |         |     |      |      |      |      |        |
| 8.+18.00   |  | 27,75 7                      | 27,4 9            | 28,8 4 | 29,85 5 | 27,6 6  | 27,3 8   | 27,1 2    | 27,6 10  |         |         |     |      |      |      |      |        |
| 10. 18.30  |  | 27,3 7                       | 27,0 9            | 30,6 5 | 28,25 4 | 27,5 8  | 27,5 6   | 27,5 10   | 27,3 2   | 27,6 3  |         |     |      |      |      |      |        |
| 12.+18.00  |  | —                            | 25,7 9            | —      | 28,3 8  | 27,5 4  | 27,5 10  | 27,5 6    | 27,35 3  | 27,6 2  |         |     |      |      |      |      |        |
| 13.+       |  |                              |                   |        |         |         |          |           |          |         |         |     |      |      |      |      |        |
| 14.+18.00  |  | —                            | —                 | —      | 28,4 4  | 27,55 8 | 27,5 6   | 27,5 10   | 27,35 2  | 27,6 3  |         |     |      |      |      |      |        |
| 15.+       |  |                              |                   |        |         |         |          |           |          |         |         |     |      |      |      |      |        |
| 16.++18.00 |  | —                            | —                 | —      | 28,5 8  | 27,3 4  | 27,5 10  | 27,4 6    | 27,3 3   | 27,55 2 |         |     |      |      |      |      |        |
| 17.++      |  |                              |                   |        |         |         |          |           |          |         |         |     |      |      |      |      |        |
| 18. 18.00  |  | 26,5 7                       | 26,5 9            | —      | 28,2 4  | 27,35 8 | 27,25 6  | 27,35 10  | (27,0)2  | 27,4 3  |         |     |      |      |      |      |        |
| 20. 18.30  |  | 27,0 7                       | 27,0 9            | —      | 28,5 8  | 27,35 4 | 27,40 10 | 27,4 6    | 27,2 3   | 27,45 2 |         |     |      |      |      |      |        |
| 21.+       |  |                              |                   |        |         |         |          |           |          |         |         |     |      |      |      |      |        |
| 22.+18.00  |  | —                            | —                 | —      | 28,35 4 | 27,5 8  | 27,45 6  | 27,5 10   | 27,2 2   | 27,45 3 |         |     |      |      |      |      |        |
| 23.+       |  |                              |                   |        |         |         |          |           |          |         |         |     |      |      |      |      |        |
| 24. 18.30  |  | 28,4 27                      | 27,7 9            | —      | 28,3 8  | 27,5 4  | 27,5 10  | 27,5 6    | (27,5?)3 | 27,3 2  | 27,7 7  |     |      |      |      |      |        |
| 25.        |  |                              |                   |        |         |         |          |           |          |         |         |     |      |      |      |      | 27,7 7 |
| 26. 18.30  |  | 28,4 27                      | 27,7 9            | —      | 28,5 4  | 27,8 8  | 27,65 6  | 27,6 10   | 27,3 2   | 27,5 3  | 27,7 7  |     |      |      |      |      |        |
| 28. 18.30  |  | 28,0 27                      | 27,5 9            | —      | 28,7 8  | 27,8 4  | 27,85 10 | 27,65 6   | 27,55 3  | 27,5 2  | 27,75 7 |     |      |      |      |      |        |
| 30. 18.30  |  | 27,8 27                      | 27,4 9            | —      | 28,65 4 | 28,0 8  | 27,75 6  | 27,8 10   | 27,45 2  | (27,5)3 | 27,8 7  |     |      |      |      |      |        |

Abgelesene Firntemperaturen in Eismitte (Fortsetzung).

| Februar   | Von der Oberfläche<br>des 10. 2. 31 |          | Lufttemperatur i.<br>Schacht<br>2 m | im Schacht |         |          |          |         |         |         |         |         |      |      |      |      |
|-----------|-------------------------------------|----------|-------------------------------------|------------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|------|------|------|------|
|           | 1 m                                 | 1,50 m   |                                     | 3 m        | 4 m     | 5 m      | 6 m      | 7 m     | 8 m     | 9 m     | 10 m    | 11 m    | 12 m | 13 m | 14 m | 15 m |
| 1. 18.30  |                                     |          | 27,6 27                             | 28,8 8     | 27,85 4 | 27,9 10  | 27,75 6  | 27,55 3 | 27,5 2  | 27,75 7 |         |         |      |      |      |      |
| 2.+       |                                     |          |                                     |            |         |          |          |         |         |         |         |         |      |      |      |      |
| 3. 18.30  |                                     |          | 26,9 27                             | 28,8 4     | 28,0 8  | 27,8 6   | 27,8 10  | 27,5 2  | 27,55 3 | 27,7 7  |         |         |      |      |      |      |
| 4.+       |                                     |          |                                     |            |         |          |          |         |         |         |         |         |      |      |      |      |
| 5. 18.30  |                                     |          | 27,0 27                             | 28,85 8    | 27,8 4  | 27,8 10  | 27,7 6   | 27,4 3  | 27,45 2 | 27,65 7 |         |         |      |      |      |      |
| 7.+16.00  |                                     |          | 27,0 27                             | 28,8 4     | 28,0 8  | 27,4 7   | 27,8 10  | 27,4 2  | 27,45 3 | 28,0 6  |         |         |      |      |      |      |
| 8.+       |                                     |          |                                     |            |         |          |          |         |         |         |         |         |      |      |      |      |
| 9. 18.30  |                                     |          | 27,0 27                             | 28,9 8     | 27,65 4 | 27,75 10 | 27,35 7  | 27,2 3  | 27,2 2  | 27,7 6  | 27,75 9 |         |      |      |      |      |
| 10. 16.00 | 37,5 1                              | 37,4 5   | 27,5 11                             | —          | —       | —        | —        | —       | —       | —       | 27,5 9  | 28,05 6 |      |      |      |      |
| 11.+15.00 | 37,8 1                              | 37,7 5   | 27,5 11                             | 28,8 4     | 28,0 8  | 27,4 7   | 27,7 10  | 27,3 2  | 27,4 3  | 27,8 6  | 27,8 9  |         |      |      |      |      |
| 12.+16.00 | 38,0 1                              | 38,0 5   | 27,5 11                             | —          | —       | —        | —        | —       | —       | —       | 27,5 9  | 28,0 6  |      |      |      |      |
| 13.+16.00 | 38,3 1                              | 38,2 5   | —                                   | 28,8 8     | 27,7 4  | 27,75 10 | 27,3 7   | 27,25 3 | 27,25 2 | 27,55 6 | 27,7 9  |         |      |      |      |      |
| 14. 14.00 | 39,1 1                              | 38,95 5  | —                                   | —          | —       | —        | —        | —       | —       | —       | Loch    | Loch    |      |      |      |      |
| 15. 18.30 | 39,1 1                              | 38,9 5   | —                                   | 28,75 4    | 28,0 8  | 27,5 7   | 27,8 10  | 27,3 2  | 27,3 3  | 27,65 9 | 28,15 6 |         |      |      |      |      |
| 17. 18.30 | 39,2 1                              | 39,2 5   | 26,5 11                             | 29,1 8     | 28,0 4  | 27,95 10 | 27,5 7   | 27,4 3  | 27,5 2  | 27,95 6 | 28,0 9  |         |      |      |      |      |
| 18. 17.00 | 39,2 1                              | 39,3 5   | 27,2 11                             |            |         |          |          |         |         |         |         |         |      |      |      |      |
| 19.+13.40 | 39,05 1                             | 40,0 5   | 28,0 11                             | 28,9 4     | 28,2 8  | 27,6 7   | 27,95 10 | 27,45 2 | 27,5 3  | 27,7 9  | 28,15 6 |         |      |      |      |      |
| 20. 16.15 | 39,3 1                              | 39,9 5   | 27,6 11                             |            |         |          |          |         |         |         |         |         |      |      |      |      |
| 21.+16.00 | 39,5 1                              | 40,3 5   | 28,2 11                             | 29,1 8     | 28,05 4 | 27,9 10  | 27,55 7  | 27,5 3  | 27,45 2 | 27,95 6 | 28,0 9  |         |      |      |      |      |
| 22. 10.40 | 40,3 1                              | (41,5) 5 |                                     |            |         |          |          |         |         |         |         |         |      |      |      |      |
| 23. 18.30 |                                     |          | 28,0 11                             | 29,0 4     | 28,25 8 | 27,7 7   | 28,0 10  | 27,45 2 | 27,55 3 | 27,65 9 | 28,1 6  |         |      |      |      |      |
| 24. 14.00 | (41,5) 1                            | 40,6 5   |                                     |            |         |          |          |         |         |         |         |         |      |      |      |      |
| 25. 17.00 | (<41,5) 1                           | 40,8 5   | 27,5 11                             | 29,15 8    | 28,15 4 | 28,0 10  | 27,6 7   | 27,45 3 | 27,50 2 | 27,95 6 | 27,9 9  |         |      |      |      |      |
| 26.+17.00 |                                     | (41,7) 5 |                                     |            |         |          |          |         |         |         |         |         |      |      |      |      |
| 27. 14.00 |                                     | (42,5) 5 | 28,2 11                             | 29,05 4    | 28,4 8  | 27,8 7   | 28,0 10  | 27,5 2  | 27,55 3 | 27,65 9 | 28,15 6 |         |      |      |      |      |
| 28.+14.00 |                                     |          |                                     |            |         |          |          |         |         |         |         |         |      |      |      |      |

## Abgelesene Firntemperaturen in Eismitte (Fortsetzung).

| März   | 1 m unter der<br>Oberfläche<br>vom 10.2.31 | Lufttemperatur<br>im Schacht<br>2 m | i m S c h a c h t |         |         |          |          |         |         |         |         |          |         |         |      |
|--------|--|-------------------------------------|-------------------|---------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|------|
|        |  |                                     | 3 m               | 4 m     | 5 m     | 6 m      | 7 m      | 8 m     | 9 m     | 10 m    | 11 m    | 12 m     | 13 m    | 14 m    | 15 m |
|        |  |                                     |                   |         |         |          |          |         |         |         |         |          |         |         |      |
|        | F 9649                                     | Th. 5                               |                   |         |         |          |          |         |         |         |         |          |         |         |      |
| 1.     | 40,2                                       | —                                   | 28,1 21           | 29,2 11 | 29,2 8  | 28,55 4  | 28,4 10  | 27,8 7  | 27,7 3  | 27,7 2  | 28,0 6  | 27,8 9   | 28,3 1  |         |      |
| 2.     | 40,6                                       | —                                   |                   |         |         |          |          |         |         |         |         |          |         |         |      |
| 3.     | —  | —                                   | 28,6 21           | —       | 29,4 8  | 28,75 10 | 28,0 4   | 28,0 5  | 27,8 7  | 28,0 6  | 27,7 2  | 28,25 1  | 28,0 9  |         |      |
| 4.     | 40,65                                      | —                                   |                   |         |         |          |          |         |         |         |         |          |         |         |      |
| 5. +   | 40,7                                       | —                                   | 28,2 21           | —       | 29,5 8  | 28,4 4   | 28,55 10 | 27,9 7  | 27,8 3  | 27,7 2  | 27,95 6 | 27,7 9   | 28,4 1  |         |      |
|        | —  | —                                   | 28,0 21           | —       |         |          |          |         |         |         |         |          |         |         |      |
| 7. +   | —  | —                                   | 27,9 21           | —       | 29,7 8  | 28,9 10  | 28,0 4   | 27,8 5  | 27,6 7  | 27,95 6 | 27,75 2 | 28,25 1  | 27,95 9 |         |      |
| 9. +   | 39,2                                       | —                                   | 27,4 21           | —       | 29,8 8  | 28,6 4   | 28,55 10 | 27,9 7  | 27,75 3 | 27,65 2 | 27,95 6 | 27,75 9  | 28,4 1  |         |      |
| 10. ++ | 38,5                                       | 41,2                                | —                 | —       |         |          |          |         |         |         |         |          |         |         |      |
| 11. +  | 38,0                                       | 40,6                                | 27,1 21           | —       | 29,7 8  | 28,7 10  | 27,9 4   | 27,8 5  | 27,5 7  | 27,85 6 | 27,55 2 | 28,0 1   | 27,8 9  |         |      |
| 12. +  |  |                                     |                   |         |         |          |          |         |         |         |         |          |         |         |      |
| 13.    | 37,4                                       | 40,1                                | 27,4 21           | —       | 29,75 8 | 28,45 4  | 28,3 10  | 27,85 7 | 27,6 3  | 27,55 2 | 27,9 6  | 27,65 9  | 28,3 1  |         |      |
| 14. ++ | 37,6                                       | 40,25                               | —                 |         |         |          |          |         |         |         |         |          |         |         |      |
| 15. +  | 38,2                                       | 41,0                                | 27,5 21           | —       | 29,6 8  | 28,7 10  | 27,9 4   | 27,8 5  | 27,55 7 | 27,85 6 | 27,5 2  | 27,95 1  | 27,65 9 |         |      |
| 16. +  | 38,2                                       | 41,0                                | 27,6521           | F 9680  | —       |          |          |         |         |         |         |          |         | 28,45 1 |      |
| 17.    | 38,25                                      | 41,1                                | 27,6 21           | 27,8 „  | 29,8 8  | 28,45 4  | 28,3 10  | 27,8 7  | 27,6 3  | 27,5 2  | 27,8 6  | 27,55 9  | 28,3 1  |         |      |
| 18.    | 38,4                                       | 41,0                                | —                 | 28,2 „  |         |          |          |         |         |         |         |          |         | 28,0 9  |      |
| 19.    | 38,6                                       | 41,4                                | 27,9 21           | 28,15 „ | 29,85 8 | 28,8 10  | 28,0 4   | 27,9 5  | 27,7 7  | 27,9 6  | 27,55 2 | 28,0 1   | 27,75 9 |         |      |
| 20.    | 38,9 *                                     | 41,6                                | 28,5 21           | 28,8 „  | —       |          |          |         |         |         |         |          |         | 28,5 1  |      |
| 21.    | 38,1                                       | —                                   | 28,4 21           | 28,6 „  | 29,7 8  | 28,55 4  | 28,45 10 | 27,95 7 | 27,8 3  | 27,65 2 | 27,95 6 | 27,8 9   | 28,3 1  |         |      |
| 22.    | 38,4                                       | —                                   |                   |         |         |          |          |         |         |         |         |          |         | —       |      |
| 23.    | 38,95                                      | —                                   | 28,8 21           | 29,1 „  | 29,9 8  | 29,0 10  | 28,2 4   | 28,05 3 | 27,8 7  | 28,0 6  | 27,75 2 | 28,2 1   | 27,9 9  |         |      |
| 24. ++ | —  | —                                   | 30,3 5            | 28,8 „  |         |          |          |         |         |         |         |          |         | 28,45 1 |      |
| 25. +  | 39,05                                      | —                                   | 30,8 5            | 29,35 „ | 30,0 8  | 28,75 4  | 28,55 10 | 28,0 7  | 27,9 3  | 27,8 2  | 28,0 6  | 27,5 9   | 28,2 1  |         |      |
| 26. +  | 38,8                                       | —                                   | 30,05 5           | 28,6 „  |         |          |          |         |         |         |         |          |         | 28,0 9  |      |
| 27. +  | —  | —                                   | 29,8 5            | 28,4 „  | 30,1 8  | 29,1 10  | 28,3 4   | 28,2 3  | 27,9 7  | 28,0 6  | 27,7 2  | 28,0 1   | 27,95 9 |         |      |
|        | —  | —                                   |                   |         |         |          |          |         |         |         |         |          |         | 28,35 1 |      |
| 29.    | 38,6                                       | —                                   | 29,65 5           | 28,2 „  | 30,25 8 | 28,9 4   | 28,6 10  | 28,05 7 | 27,85 3 | 27,75 2 | 28,0 6  | (28,0) 9 | 28,2 1  |         |      |
| 30. +  |  |                                     |                   |         |         |          |          |         |         |         |         |          |         | 28,05 9 |      |
| 31.    | 37,5                                       | —                                   | 29,25 5           | 27,8 „  | 30,55 8 | 29,2 10  | 28,3 4   | 28,2 3  | 27,9 7  | 28,05 6 | 27,75 2 | 28,05 1  | 27,85 9 |         |      |

\* Loch für 1 m wurde um 12 cm vertieft.

## Abgelesene Firntemperaturen in Eismitte (Fortsetzung).

| April | 1,50 m<br>unter<br>d. Ober-<br>fläche<br>v. 14.31 | Lufttempe-<br>ratur im<br>Schacht<br>in<br>8 m Tiefe | i m S c h a c h t |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         | F9660       |
|-------|---|--|-------------------|---------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------------|---------|-------------|
|       |   |  | 3 m               | 5 m     | 4 m      | 5 m      | 6 m     | 7 m     | 8 m     | 9 m     | 10 m    | 11 m    | 12 m         | 13 m    |             |
| 1. +  | F9649   | F9660  | Th 21             | —       | 30,0     | 29,25 10 | 28,25 9 | 28,35 8 | 27,85 7 | 28,05 6 | 29,45 5 | 27,65 + | 27,75 3      | 27,9 2  | 28,5 1      |
| 2.    | 36,95   | 28,0 F9660   | —                 | 29,9    | 28,95 9  | 28,65 10 | 28,15 7 | 28,0 8  | 29,55 5 | 28,0 6  | 27,8 3  | 27,8 4  | 28,3 1       | 28,1 2  |             |
| 4.    | —   | 28,0 F9660   | —                 |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         |             |
| 5.    | 37,05   |  |                   |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         |             |
| 6.    | 36,95   | 28,0 F9660   | —                 | 30,1    | 29,35 10 | 28,3 9   | 28,45 8 | 27,9 7  | 28,05 6 | 29,5 5  | 27,8 +  | 27,8 3  | 27,95 2      | 28,5 1  |             |
| 7.    | 36,85   |  | —                 |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         |             |
| 8.    | —   |  | —                 | 30,2    | 29,0 9   | 28,75 10 | 28,3 7  | 28,15 8 | 29,6 5  | 28,05 6 | 27,8 3  | 27,85 4 | 28,4 1       | 28,15 2 |             |
| 9. +  | —   | (28,1 F9660  | —                 |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         |             |
|       |   | (28,1 6  | —                 |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         |             |
| 10. + | 36,2  | 28,0 F9660   | —                 | 30,1    | 29,4 10  | 28,4 9   | 28,5 8  | 28,0 7  | 28,15 6 | 29,55 5 | 27,75 + | 27,8 3  | 27,95 2      | 28,5 1  |             |
| 11. + | 36,1  | (28,0 F9660  | —                 |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         |             |
|       |   | (28,05 6   | —                 |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         |             |
| 12.   | 36,1  | 27,97 F9660  | —                 | 30,1    | 29,0 9   | 28,65 10 | 28,3 7  | 28,1 8  | 29,55 5 | 28,0 6  | 27,7 3  | 27,75 + | 28,3 1       | 28,0 2  |             |
|       |   | (27,95 F9660   | —                 |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         |             |
| 13. + | —   | (28,05 6   | —                 |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         |             |
| 14. + | 36,2  | 27,90 F9660  | —                 | 30,1    | 29,35 10 | 28,3 9   | 28,55 8 | 27,95 7 | 28,1 6  | 29,5 5  | 27,75 + | 27,8 3  | 27,9 2       | 28,45 1 |             |
|       |   |  | —                 |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         |             |
| 16.   | 35,7  |  | —                 | 30,2    | 28,9 9   | 28,8 10  | 28,3 7  | 28,15 8 | 29,6 5  | 28,1 6  | 27,75 3 | 27,8 4  | 28,3 1       | 28,0 2  | 28,40 F9660 |
| 17. + |   |  | —                 |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         | 28,40 F9660 |
| 18.   | 35,25   |  | —                 | 30,2    | 29,+ 10  | 28,3 9   | 28,5 8  | 27,95 7 | 28,15 6 | 29,5 5  | 27,75 4 | 27,8 3  | 27,85 2      | 28,35 1 | 28,40 F9660 |
| 19. + |   |  | —                 |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         |             |
| 20.   | 34,8  |  | —                 | 30,1    | 28,85 9  | 28,7 10  | 28,3 7  | 28,15 8 | 29,6 5  | 28,0 6  | 27,7 3  | 27,75 + | 28,3 1       | 27,95 2 | 28,35 F9660 |
| 21. + | 34,45   |  | —                 | 30,1    | 29,35 10 | 28,25 9  | 28,5 8  | 27,85 7 | 28,1 6  | 29,5 5  | 27,6 4  | 27,7 3  | 27,8 2       | 28,3 1  | 28,30 F9660 |
|       |   |  | —                 | 30,25   | 30,0     |          |         |         |         |         |         |         |              |         |             |
| 22.   |   |  | —                 | 30,0    | 28,85 9  | 28,75 10 | 28,3 7  | 28,15 8 | 29,55 5 | 28,0 6  | 27,75 3 | 27,75 4 | (27,95 F9660 | 27,8 2  | 28,30 F9660 |
| 23. + | 34,1  |  | —                 | 30,0    | 28,85 9  | 28,75 10 | 28,3 7  | 28,15 8 | 29,55 5 | 28,0 6  | 27,75 3 | 27,75 4 | (28,2 1      | 28,05 2 | 28,40       |
| 25.   | 34,0  |  | —                 | 29,9    | 29,4 10  | 28,3 9   | 28,5 8  | 28,0 7  | 28,15 6 | 29,6 5  | 27,7 +  | 27,75 3 | 27,8 2       | 28,3 1  | 28,25 F9660 |
| 26.   | 33,8  |  | —                 |         |          |          |         |         |         |         |         |         |              |         | 28,37       |
| 28. + | —   |  | —                 | (29,5)? | 28,8 9   | 28,8 10  | 28,25 7 | 28,2 8  | 29,6 5  | 28,05 6 | 27,75 3 | 27,8 4  | 28,25 1      | 27,95 2 | 28,27 F9660 |
|       |   |  | —                 | 29,9    | 29,35 10 | 28,3 9   | 28,55 8 | 28,05 7 | 28,2 6  | 29,55 5 | 27,75 4 | 27,85 3 | 27,9 2       | 28,3 1  | 28,25 F9660 |
| 30.   | —   |  | —                 | 29,9    | 29,35 10 | 28,3 9   | 28,55 8 | 28,05 7 | 28,2 6  | 29,55 5 | 27,75 4 | 27,85 3 | 27,9 2       | 28,3 1  | 28,25 F9660 |

## Abgelesene Firntemperaturen in Eismitte (Fortsetzung).

| Mai  | 1 m von<br>der Ober-<br>fläche des<br>50. 4. 51 | i m S c h a c h t |          |                               |         |         |         |         |         |          |         |          |                                    |                 |
|------|---|-------------------|----------|-------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|------------------------------------|-----------------|
|      |   | 3 m               | 4 m      | 5 m                           | 6 m     | 7 m     | 8 m     | 9 m     | 10 m    | 11 m     | 12 m    | 13 m     | 14 m                               | 15 m            |
|      | F 9649  |                   |          |                               |         |         |         |         |         |          |         |          |                                    |                 |
| 2.   | 32,8  | —                 | 29,2 21  | (28,85 10<br>28,70 F<br>9660) | 28,4 9  | 28,3 8  | 27,95 7 | 28,1 6  | 29,5 5  | 27,8 4   | 27,9 3  | 28,0 2   | 28,5 1                             | —               |
| 3.   | 30,18 F<br>9660                                 |                   |          |                               |         |         |         |         |         |          |         |          |                                    | 28,6 1          |
| 4.   | 32,15   | 29,5 10           | 28,5 21  | 28,7 8                        | 28,05 9 | 28,3 6  | 27,85 7 | 27,85 4 | 29,55 5 | 27,9 2   | 28,0 3  | 28,5 1   | 28,40 F<br>9660                    |                 |
| 5.   | (30,36 F<br>9660<br>29,9 21)                    |                   |          |                               |         |         |         |         |         |          |         |          |                                    | 28,55 1         |
| 6.   | 31,5  | —                 | 29,2 21  | 28,9 10                       | 28,5 9  | 28,35 8 | 27,95 7 | 28,2 6  | 29,55 5 | 27,9 4   | 27,95 3 | 28,0 2   | 28,5 1                             | 28,40 F<br>9660 |
| 8. + | 30,5  | —                 | 29,5 10  | 28,6 21                       | 28,75 8 | 28,15 9 | 28,4 6  | 27,9 7  | 27,85 4 | 29,6 5   | 27,95 2 | 28,0 3   | 28,35 F<br>9660                    | 28,6 1          |
| 10.  | 29,95   | —                 | 29,05 21 | 28,95 10                      | 28,5 9  | 28,45 8 | 28,05 7 | 28,1 6  | 29,6 5  | (27,6) 4 | 28,0 3  | 28,05 2  | 28,5 1                             | 28,45 F<br>9660 |
| 14.  | 29,2  | —                 | —        | 28,5 21                       | 28,7 8  | 28,1 9  | 28,3 6  | 27,9 7  | 27,95 4 | 29,55 5  | 27,95 2 | 28,0 3   | 28,4 F<br>9660                     | 28,55 1         |
| 18.  | 29,1  | 29,7 21           | 29,2 21  | 29,0 10                       | 28,65 9 | 28,45 8 | 28,05 7 | 28,25 6 | 29,65 5 | 28,0 4   | 28,0 3  | 28,05 2  | (28,4 F<br>9660<br>28,2 F<br>9653) | 28,6 1          |
| 19.  | —   |                   |          |                               |         |         |         |         |         |          |         |          |                                    |                 |
| 22.  | 28,45   | —                 | 29,6 10  | 28,8 21                       | 28,9 8  | 28,35 9 | 28,5 6  | 28,0 7  | 28,0 4  | 29,7 5   | 28,05 2 | (28,0) 5 | 28,2 F<br>9653                     | 28,65 1         |
| 26.  | 27,15   | —                 | 29,25 21 | 29,1 10                       | 28,85 9 | 28,5 8  | 28,15 7 | 28,35 6 | 29,8 5  | 28,0 4   | 28,05 3 | 28,05 2  | 28,55 1                            | 28,2 F<br>9653  |
| 30.  | 26,3  | —                 | 29,55 10 | 28,8 21                       | 29,0 8  | 28,4 9  | 28,5 6  | 28,1 7  | 28,0 4  | 29,8 5   | 28,0 2  | 28,1 3   | 28,2 F<br>9653                     | 28,6 1          |

## Abgelesene Firntemperaturen in Eismitte (Fortsetzung).

| Juni | Im von der<br>Oberfläche<br>des 30.4.31 | i m S c h a c h t |          |          |         |         |         |         |         |         |         |         |          |         | F=F 9653 | F=F 9653 |
|------|---|-------------------|----------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|----------|----------|
|      |   | 3 m               | +m       | 5 m      | 6 m     | 7 m     | 8 m     | 9 m     | 10 m    | 11 m    | 12 m    | 13 m    | 14 m     | 15 m    |          |          |
|      | F 9649                                  |                   |          |          |         |         |         |         |         |         |         |         |          |         |          |          |
| 1.   |   | 29,35 21          | —        | —        | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —       | —        | —       | —        | —        |
| 3.   | 25,6                                    | —                 | 29,05 21 | 29,05 10 | 28,85 9 | 28,6 8  | 28,2 7  | 28,45 6 | 29,85 5 | 28,0 4  | 28,1 3  | —       | 28,55 1  | 28,7 F  |          |          |
| 7.   | neues<br>Loch                           | —                 | 29,2 10  | 28,7 21  | 28,9 8  | 28,5 9  | 28,5 6  | 28,15 7 | 28,1 4  | 29,8 5  | 28,05 2 | 28,15 3 | (28,5) F | 28,6 1  |          |          |
| 8.   | 26,2                                    | —                 |          |          |         |         |         |         |         |         |         |         |          |         |          |          |
| 11.  | 26,0                                    | —                 | 29,0 21  | 29,0 10  | 28,9 9  | 28,6 8  | 28,2 7  | 28,5 6  | 29,9 5  | 28,05 4 | 28,1 3  | 28,05 2 | 28,55 1  | 28,7 F  |          |          |
| 15.  | 25,25                                   | —                 | 29,2 10  | 28,6 21  | 29,0 8  | 28,5 9  | 28,55 6 | 28,15 7 | 28,1 4  | 29,9 5  | 28,1 2  | 28,2 3  | 28,8 F   | 28,6 1  |          |          |
| 17.  |   | 28,5 21           |          |          |         |         |         |         |         |         |         |         |          |         |          |          |
| 19.  | 24,8                                    | —                 | 28,8 21  | 29,0 10  | 28,9 9  | 28,7 8  | 28,3 7  | 28,5 6  | 29,95 5 | 28,1 4  | 28,15 3 | 28,15 2 | 28,55 1  | 28,85 F |          |          |
| 25.  | 24,0                                    | —                 | 29,05 10 | 28,65 21 | 29,0 8  | 28,5 9  | 28,6 6  | 28,25 7 | —       | 29,9 5  | 28,1 2  | 28,2 3  | 28,8 F   | 28,65 1 |          |          |
| 27.  | 23,5                                    | —                 | 28,6 21  | 29,0 10  | 28,85 9 | 28,75 8 | 28,35 7 | 28,55 6 | 30,0 5  | 28,15 4 | 28,15 3 | 28,15 2 | 28,55 1  | 28,8 F  |          |          |
|      | Juli                                    |                   |          |          |         |         |         |         |         |         |         |         |          |         |          |          |
| 1.   | 23,0                                    | —                 | 28,85 10 | 28,5 21  | 29,0 8  | 28,55 9 | 28,6 6  | 28,25 7 | 28,2 4  | 29,95 5 | 28,15 2 | 28,2 3  | 28,75 F  | 28,6 1  |          |          |
| 5.   |   | —                 | 28,55 21 |          |         |         |         |         |         |         |         |         |          |         |          |          |
| 5.   | 22,95                                   | —                 | —        | 28,85 10 | 28,9 9  | 28,7 8  | 28,45 7 | 28,5 6  | 30,0 5  | 28,2 4  | 28,2 3  | 28,15 2 | 28,6 1   | 28,8 F  |          |          |
| 7.   |   | 27,4 21           |          |          |         |         |         |         |         |         |         |         |          |         |          |          |
| 9.   | 22,25                                   | —                 | 28,65 10 | 28,45 21 | 29,0 8  | 28,55 9 | 28,7 6  | 28,3 7  | 28,2 4  | 29,95 5 | 28,1 2  | 28,2 3  | 28,8 F   | 28,65 1 |          |          |
| 15.  | 21,8                                    | —                 | 28,2 21  | 28,8 10  | 28,7 9  | 28,7 8  | 28,4 7  | 28,55 6 | 30,0 5  | 28,1 4  | 28,15 3 | 28,1 2  | 28,55 1  | 28,85 F |          |          |
| 17.  | 21,1                                    | —                 | 28,5 10  | 28,3 21  | 28,95 8 | 28,55 9 | 28,75 6 | 28,3 7  | 28,5 6  | 30,0 5  | 28,15 2 | —       | 28,85 F  | 28,65 1 |          |          |
| 19.  |   | 26,8 21           |          |          |         |         |         |         |         |         |         |         |          |         |          |          |
| 21.  | 20,05                                   | —                 | 28,0 21  | 28,6 10  | 28,75 9 | 28,75 8 | 28,4 7  | 28,6 6  | 30,05 5 | 28,2 4  | 28,35 5 | 28,15 2 | 28,55 1  | 28,9 F  |          |          |
| 25.  | 20,1                                    | —                 | 28,25 10 | 28,25 21 | 28,85 8 | 28,5 9  | 28,75 6 | 28,35 7 | 28,3 4  | 30,0 5  | 28,15 2 | 28,2 3  | 28,9 F   | 28,6 1  |          |          |
| 29.  | 20,0                                    | —                 | 27,95 21 | 28,55 10 | 28,8 9  | 28,75 8 | 28,45 7 | 28,65 6 | 30,05 5 | 28,25 4 | 28,3 9  | 28,2 2  | 28,6 1   | 28,9 F  |          |          |

## Abgelesene Firntemperaturen in Eismitte (Fortsetzung).

| August | Luft im<br>Schach | 16,6 m     | im Schacht |         |         |          |        |         |        |         |        |         |      |         |      | F = F9655 | F = F9655 |
|--------|-------------------|------------|------------|---------|---------|----------|--------|---------|--------|---------|--------|---------|------|---------|------|-----------|-----------|
|        |                   |            | 2 m        | 3 m     | 4 m     | 5 m      | 6 m    | 7 m     | 8 m    | 9 m     | 10 m   | 11 m    | 12 m | 13 m    | 14 m |           |           |
|        |                   |            |            |         |         |          |        |         |        |         |        |         |      |         |      |           |           |
| 1.     | 19,6              | —          | —          | —       | —       | 28,4 21  | —      | —       | —      | —       | —      | —       | —    | —       | —    | 28,8 F    | 28,7 1    |
| 2.     | —                 | —          | —          | 28,75 1 | 26,4 21 | —        | —      | —       | —      | —       | —      | —       | —    | —       | —    | —         | 28,35 2   |
| 3.     | 19,3              | 24,9 F9649 | 23,2 21    | 28,8 1  | —       | 28,15 10 | —      | —       | —      | —       | —      | —       | —    | —       | —    | —         | 28,3 2    |
| 4.     | —                 | 24,8 F9649 | 23,3 21    | 28,4 2  | —       | —        | 28,8 8 | —       | —      | —       | —      | —       | —    | —       | —    | —         | 28,7 1    |
| 5.     | —                 | —          | 23,5 21    | 28,75 1 | —       | —        | —      | —       | —      | —       | —      | —       | —    | —       | —    | —         | 28,3 2    |
| 6.     | —                 | —          | —          | 28,75 1 | —       | —        | —      | 28,55 9 | 28,6 6 | 28,45 7 | 28,4 4 | 50,05 5 | —    | 28,25 5 | —    | 28,3 2    |           |

## Thermometerberichtigungen.

Zu den abgelesenen Firntemperaturen sind folgende Berichtigungen hinzuzufügen (einschließlich Vorzeichen):

|                  |         |   |
|------------------|---------|---|
| F 9660 (Hg)      | 0,00°   | Vgl. auch die Prüfungsergebnisse der Thermometer auf S. 218 |
| F 1020 (Alkohol) | -0,4°   |   |
| F 9655 (Alkohol) | -0,4°   |   |
| F 9649 (Alkohol) | -0,4°   |   |
| 1 (Hg)           | + 0,17° |   |
| 2 "              | -0,24°  |   |
| 3 "              | -0,20°  |   |
| 4 "              | -0,21°  |   |
| 5 "              | + 1,52° |   |
| 6 "              | -0,06°  |   |
| 7 "              | -0,25°  |   |
| 8 "              | -0,05°  |   |

|                |  |
|----------------|--|
| 9 (Hg)         | + 0,2° (bis 26. 9.), -0,26° (nicht immer konstant, da Glas beschädigt) |
| 10 "           | + 0,11°  |
| 11 "           | + 0,4° (am 25. 4. 31 zerbrochen).                                      |
| 21 Toluol etwa | -0,22°   |
| 22 "           | -0,0° (am 4. 12. 30 zerbrochen)  |
| 23 "           | -1,0°  |
| 24 "           | -1,0° (am 1. 3. 31 Faden zerstüktelt)                                  |
| 25 "           | -0,4° (am 7. 6. 31 zerbrochen)   |
| 26 "           | -0,6°  |
| 27 "           | -0,04°   |

Die Berichtigungen sind durch Thermometervergleiche zwischen  $-20^{\circ}$  und  $-39^{\circ}\text{C}$  ermittelt.

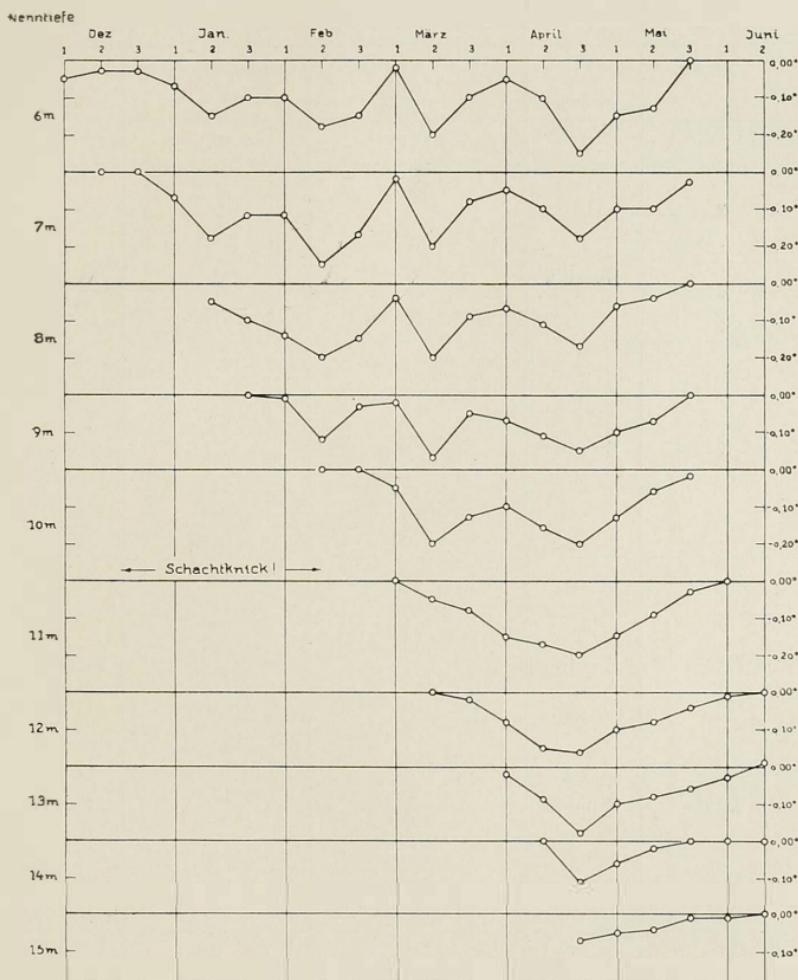


Abb. 41.

Störungen der Firntemperaturen durch Schachtarbeit und verwandte Einflüsse (zu S. 225).

## Firntemperaturen.

Kürzere Temperaturreihen in Eismitte und an verschiedenen anderen Stellen auf dem Inlandeis.  
Alle Temperaturen sind bereits berichtigt und stellen Mittelwerte aus mehreren Ablesungen dar.

| Zeit            | Ort      | Tiefe unter der Oberfläche zur Meßzeit<br>cm | Temperatur<br>(negativ) | Beobachter |
|-----------------|----------|--|-------------------------|------------|
| 2.—4. 8. 1930   | Eismitte | 10   | 13,4                    | Georgi     |
|                 |          | 50   | 13,8                    |            |
|                 |          | 50   | 14,0                    |            |
|                 |          | 100  | 17,4                    |            |
|                 |          | 150  | 20,5                    |            |
|                 |          | 200  | 22,8                    |            |
| 3. 10. 1930     | Eismitte | 40   | 20,0                    | Sorge      |
| "               |          | 100  | 21,2                    |            |
| 4. 10. 1930     |          | 40   | 21,2                    |            |
| "               |          | 100  | 21,7                    |            |
| 25. 4. 1931     | Eismitte | 20   | 29,3                    | Sorge      |
|                 |          | 40   | 31,1                    |            |
|                 |          | 60   | 32,0                    |            |
|                 |          | 80   | 33,1                    |            |
|                 |          | 100  | 33,9                    |            |
|                 |          | 140  | 34,8                    |            |
|                 |          | 200  | 34,9                    |            |
|                 |          | 260  | 34,9                    |            |
| 8. 7. 1931      | Eismitte | 25   | 12,4                    | Georgi     |
|                 |          | 50   | 15,9                    |            |
|                 |          | 75   | 18,8                    |            |
|                 |          | 100  | 20,3                    |            |
|                 |          | 125  | 21,8                    |            |
|                 |          | 150  | 23,4                    |            |
|                 |          | 175  | 24,2                    |            |
|                 |          | 200  | 24,7                    |            |
| 3. 8. 1931      | Eismitte | 130  | 19,9                    | Sorge      |
|                 |          | 230  | 25,3                    |            |
| 10.—11. 8. 1931 | 300 km   | 100  | 15,3                    | Sorge      |
|                 |          | 200  | 19,9                    |            |
|                 |          | 300  | 23,6                    |            |
|                 |          |  |                         |            |
| 13.—14. 8. 1931 | 200 km   | 0  | 0,0                     | Sorge      |
|                 |          | 100  | 11,0                    |            |
|                 |          | 215  | 19,2                    |            |
|                 |          | 310  | 21,2                    |            |
|                 |          | 400  | 22,7                    |            |
|                 |          | 605  | 24,0                    |            |
|                 |          | 815  | 23,95                   |            |
|                 |          |  |                         |            |
| 7. 6. 1931      | 155 km   | +1   | 15,7                    | Sorge      |
|                 |          | 100  | 19,9                    |            |
|                 |          | 215  | 19,8                    |            |

Temperaturen 40 cm unter der Oberfläche in Eismitte,  
gemessen mit vollständig eingebautem großem Aspirations-Psychrometer-Thermometer und  
Fernrohrablesung auf rund 2 m Entfernung von der großen Windhohlkehle in Eismitte aus.  
Beobachter Georgi.

Alle Zeiten sind Mittlere Grönland-Zeiten I = 7.00, II = 14.00, III = 21.00.

Alle Temperaturen sind negativ und bereits berichtet.

| Tag  | Uhr   | Temperatur | Tag  | Uhr | Temperatur | Tag  | Uhr | Temperatur |
|------|-------|------------|------|-----|------------|------|-----|------------|
| Juni |       |            | Juni |     |            | Juli |     |            |
| 11.  | 17.10 | 17,4       | 23.  | I   | —          | 4.   | I   | 14,5       |
|      | III   | 17,4       |      | II  | —          |      | II  | —          |
| 12.  | 08.15 | 17,35      |      | III | 15,1       |      | III | —          |
|      | II    | 17,4       | 24.  | I   | 15,1       | 5.   | I   | 14,7       |
|      | III   | 17,5       |      | II  | 15,1       |      | II  | 14,7       |
| 15.  | I     | 17,1       |      | III | 14,9       |      | III | 14,5       |
|      | II    | 17,1       | 25.  | I   | —          | 6.   | I   | 14,8       |
|      | III   | 17,0       |      | II  | 14,9       |      | II  | 14,9       |
| 14.  | I     | 16,7       |      | III | 14,9       |      | III | 14,8       |
|      | II    | 16,6       | 26.  | I   | 15,1       | 7.   | I   | 15,0       |
|      | III   | 16,5       |      | II  | 15,3       |      | II  | 15,0       |
| 15.  | III   | 16,5       |      | III | 15,4       |      | III | 14,85      |
| 16.  | I     | 16,4       | 27.  | I   | —          | 8.   | I   | 14,5       |
|      | II    | —          |      | II  | 15,3       |      | II  | 14,4       |
|      | III   | —          |      | III | 15,2       |      | III | 14,0       |
| 17.  | I     | —          | 28.  | I   | 15,3       | 9.   | I   | 13,6       |
|      | II    | —          |      | II  | 15,4       |      | II  | 13,4       |
|      | III   | 16,0       |      | III | 15,35      |      | III | 12,9       |
| 18.  | I     | —          | 29.  | I   | 15,5       | 10.  | I   | —          |
|      | II    | 15,8       |      | II  | 15,4       |      | II  | —          |
|      | III   | 15,6       |      | III | —          |      | III | 12,5       |
| 19.  | I     | —          | 30.  | I   | 15,1       | 11.  | I   | 12,5       |
|      | II    | —          |      | II  | —          |      | II  | —          |
|      | III   | 15,25      |      | III | 15,05      |      | III | —          |
| 20.  | I     | 15,1       | Juli |     |            | 12.  |     | —          |
|      | II    | 15,0       | 1.   | I   | 14,9       | 13.  | II  | 12,2       |
|      | III   | 14,9       |      | II  | 14,8       |      | III | 12,3       |
| 21.  | I     | —          |      | III | —          | 14.  | I   | 12,3       |
|      | II    | 14,8       | 2.   | I   | 14,4       |      | II  | 12,3       |
|      | III   | 14,8       |      | II  | 14,3       |      | III | 12,2       |
| 22.  | I     | 15,0       |      | III | 14,4       | 15.  | I   | 12,5       |
|      | II    | 15,2       | 3.   | I   | —          |      | II  | 12,5       |
|      | III   | 15,2       |      | II  | —          |      | III | —          |
|      |       |            |      | III | 14,3       |      |     |            |

## 2. Besprechung der Firntemperaturmessungen.

### A. Thermometervergleiche.

Die Anlage des Schachts als Treppe, wo man überall gut stehen konnte, die gute Isolierung der Thermometer und die Art des ruhigen Ablesens verbürgten innerhalb der unvermeidlichen Beobachtungsfehler fehlerfreie Messungen der Firntemperaturen. Die unmittelbaren Temperaturablesungen sind wegen ihrer großen Bedeutung für alle Schlussfolgerungen ohne jede Verbesserung mit Angabe der Thermometernummern mitgeteilt. Wie man daraus sieht, weichen nur wenige Ablesungen um  $\frac{1}{10}$  oder  $\frac{2}{10}^{\circ}\text{C}$  von einem regelmäßigen Temperaturgang ab. Weitaus bei den meisten beträgt die Genauigkeit  $\frac{1}{20}^{\circ}\text{C}$ . Um etwaige Unregelmäßigkeiten im Temperaturgang herauszufinden, wurden die unverbesserten Temperaturen in großem Maßstab ( $\frac{1}{10}^{\circ} = 5\text{ mm}$ ) in Millimeterpapier eingetragen. Dadurch fiel jede Abweichung sogleich auf. Zugleich diente diese graphische Darstellung zum Thermometervergleich. Die mit zwei verschiedenen Thermometern in gleicher Tiefe gemessenen Temperaturen ergaben bei der graphischen Darstellung zwei Temperaturkurven, deren mittlerer Abstand sich sehr genau ermitteln ließ. Dadurch wurden genaue Unterschiede der Thermometerstände ermittelt. Dadurch ergaben sich wiederum fortgesetzte Prüfungen der Zuverlässigkeit der Ablesungen und der Thermometer. Die Ergebnisse der Thermometervergleiche sind in der folgenden Zahlentafel angegeben.

| Tiefe<br>m | Thermometervergleich                        | Anzahl der<br>Messungen |
|------------|---|-------------------------|
| 4          | Th. 6 steht $0,15^{\circ}$ höher als Th. 10 | 14                      |
| 4          | 9 „ $0,460^{\circ}$ „ „ 10                  | 15                      |
| 4          | 4 „ $0,300^{\circ}$ „ „ 10                  | 14                      |
| 4          | 4 „ $0,134^{\circ}$ „ „ 8                   | 19                      |
| 4          | 21 „ $0,312^{\circ}$ „ „ 10                 | 19                      |
| 5          | 6 „ $0,066^{\circ}$ „ „ 10                  | 12                      |
| 5          | 6 „ $0,055^{\circ}$ „ „ 10                  | 14                      |
| 5          | 4 „ $0,350^{\circ}$ „ „ 10                  | 14                      |
| 5          | 9 „ $0,425^{\circ}$ „ „ 10                  | 15                      |
| 5          | 21 „ $0,342^{\circ}$ „ „ 10                 | 24                      |
| 5          | 7 „ $0,3245^{\circ}$ „ „ 10                 | 11                      |
| 6          | 2 „ $0,080^{\circ}$ „ „ 8                   | 11                      |
| 6          | 6 „ $0,042^{\circ}$ „ „ 10                  | 15                      |
| 6          | 7 „ $0,395^{\circ}$ „ „ 10                  | 10                      |
| 6          | 7 „ $0,030^{\circ}$ „ „ 5                   | 15                      |
| 6          | 7 „ $0,220^{\circ}$ „ „ 8                   | 14                      |
| 6          | 9 „ $0,155^{\circ}$ „ „ 8                   | 24                      |
| 7          | 2 „ $0,100^{\circ}$ „ „ 8                   | 9                       |
| 7          | 5 „ $0,011^{\circ}$ „ „ 2                   | 14                      |

| Tiefe<br>m | Thermometervergleich               | Anzahl der<br>Messungen |
|------------|------------------------------------|-------------------------|
| 7          | Th. 7 steht 0,060° höher als Th. 5 | 15                      |
| 7          | 7 „ 0,191° „ „ 8                   | 14                      |
| 7          | 9 „ 0,194° „ „ 8                   | 25                      |
| 8          | 2 „ 0,079° „ „ 5                   | 12                      |
| 8          | 2 „ 0,282° „ „ 6                   | 14                      |
| 8          | 6 „ 1,462° „ „ 5                   | 15                      |
| 9          | 7 „ 0,520° „ „ 6                   | 25                      |
| 9          | 9 „ 0,2875° „ „ 6                  | 6                       |
| 9          | 9 „ 1,455° „ „ 5                   | 15                      |
| 9          | 2 „ 0,288° „ „ 6                   | 15                      |
| 9          | 7 „ 0,286° „ „ 6                   | 25                      |
| 10         | 9 „ 0,185° „ „ 6                   | 6                       |
| 10         | 4 „ 0,025° „ „ 5                   | 15                      |
| 10         | 9 „ 0,427° „ „ 1                   | 12                      |
| 10         | 4 „ 1,753° „ „ 5                   | 21                      |
| 11         | 4 „ 1,771° „ „ 5                   | 20                      |
| 11         | 9 „ 0,452° „ „ 1                   | 14                      |
| 11         | 5 „ 0,004° „ „ 4                   | 14                      |
| 12         | 9 „ 0,417° „ „ 1                   | 7                       |
| 12         | 2 „ 0,037° „ „ 5                   | 21                      |
| 12         | 2 „ 0,4175° „ „ 1                  | 14                      |
| 13         | 2 „ 0,418° „ „ 1                   | 14                      |
| 13         | 2 „ 0,021° „ „ 5                   | 17                      |
| 14         | 2 „ 0,200° „ „ F 9660              | 4                       |
| 14         | F 9660 „ 0,168° „ „ 1              | 7                       |
| 14         | 1 „ 0,251° „ „ F 9653              | 12                      |
| 15         | F 9660 „ 0,168° „ „ 1              | 6                       |
| 15         | 1 „ 0,188° „ „ F 9653              | 15                      |
| 15         | 2 „ 0,383° „ „ 1                   | 5                       |
| 16,6       | 2 „ 0,3625° „ „ 1                  | 4                       |

Auf Grund dieser Thermometervergleiche und der oben geschilderten Eichungen im Petroleumbade wurden die an den Thermometern anzubringenden Verbesserungen bestimmt. Für die Toluolthermometer sind die Angaben infolge der schon mitgeteilten Unzuverlässigkeit der Flüssigkeitsäule nicht sehr sicher. Für die Berechnung der Firntemperaturen wurden die Toluolthermometer möglichst ausgeschaltet, ebenso Thermometer Nr. 9, dessen äußere Glashülle, wie oben erwähnt, zerbrach. Doch konnte Thermometer 9 in den Zeiten, wo es einen unveränderlichen Stand gegenüber anderen Thermometern hatte, zur Temperaturbestimmung mit benutzt werden. Die Thermometer F 9660 (Quecksilber), F 9653 (Alkohol) und F 9649 (Alkohol) sind vor und nach der Expedition bei der Firma Fueß (F.) bzw. der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt (P.T.R.) geeicht worden. Danach sind folgende Verbesserungen an den Thermometern anzubringen:

| Thermometer | Prüfungs-Datum | 30    | 20   | 15    | 0     | -10 | -20   | -30   | -40   | -60  | -65  |
|-------------|----------------|-------|------|-------|-------|-----|-------|-------|-------|------|------|
| F 9660      | F. 20.3.30     | +0,08 |      | +0,0+ | +0,02 |     | +0,02 |       |       |      |      |
| F 9660      | P.T.R. 21.4.32 | -0,04 |      | +0,0+ | 0     | 0   | 0     | +0,08 | +0,02 |      |      |
| F 9655      | F. 20.3.30     |       | 0    |       | +0,1  |     | 0     |       | -0,4  | -0,6 |      |
| F 9655      | P.T.R. 21.4.32 |       | 0    |       | +0,1  |     | +0,2  |       | -0,2  |      | -0,4 |
| F 9649      | F. 20.3.30     |       | 0    |       | 0     |     | -0,1  |       | -0,5  | -0,9 |      |
| F 9649      | P.T.R. 21.4.32 |       | -0,2 |       | 0     |     | +0,2  |       | -0,4  |      | -0,4 |

o heißt: Ohne wesentlichen Fehler.

Danach ist schwer zu beurteilen, welchen Stand das Fundamentalthermometer F 9660 zwischen -20 und -40 in Eismitte gehabt hat. Auf jeden Fall bleiben die möglichen Verbesserungen unter 0,1° C. Der Bezugspunkt für alle anderen Thermometer ist damit hinreichend genau festgelegt. Der Temperaturgang und Temperaturunterschied in Zeit und Tiefe ist dagegen natürlich viel genauer durch die Messungen in Eismitte selbst bestimmt. Der Einfachheit halber wird angenommen, daß F 9660 in Eismitte die Verbesserung 0,00° hatte. Daraus ergeben sich dann die Verbesserungen der anderen Thermometer. Sie sind im Anschluß an die Tafel der ursprünglichen Temperaturen wiedergegeben. Diese Verbesserungen stellen sehr genaue Mittelwerte dar. Dennoch wurden sie zur Bestimmung der wahren Firntemperaturen nicht allein benutzt, da die Verbesserungen zeitlich nicht ganz konstant sind. Um zu den wahren Firntemperaturen zu gelangen, wurden zunächst aus den ursprünglichen Temperaturen rechnerisch und graphisch 10-tägige Mittel gebildet, und zwar für jedes Thermometer besonders. Daraus ergaben sich erneut Thermometervergleiche für alle 10 Tage. Jedes 10-tägige Temperaturmittel ist dadurch auf zwei unabhängige Weisen (nämlich durch zwei Thermometer) bestimmt. Die Regelmäßigkeit des Temperaturgangs von 10 zu 10 Tagen kann dadurch in doppelter Weise geprüft werden, jede Veränderung in der Standverbesserung eines Thermometers wird dadurch erkannt. Die in doppelter Weise berechneten 10-tägigen Mittel unterschieden sich nach Anbringung der mittleren Standverbesserungen nur noch um wenige hundertstel Grade. Welcher der beiden Mittelwerte dann am wahrscheinlichsten war, wurde aus dem Gang von 10 zu 10 Tagen ermittelt. Im Zweifelsfalle wurde das Mittel beider Mittelwerte angenommen, namentlich dann, wenn der Gang der Temperatur nach beiden Thermometern gleich war. Es ist klar, daß die große Anzahl von Beziehungen und Überbestimmungen die Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Temperaturen vollständig verbürgt. Die 2. Dezimale der Temperaturen ist sicherlich nicht immer richtig. Aber auf  $\pm 0,03^\circ$  dürfte jede Zahl genau sein. Und das genügt jedenfalls in Anbetracht der außerhalb der Thermometer liegenden Störungen der Firntemperaturen, denen wir uns nun zuwenden.

### B. Die Störungen der Firntemperatur im Überblick.

Die Störungen zerfallen ihrer Natur nach in verschiedene Gruppen, je nachdem, welche Frage in den Vordergrund gestellt wird. Drei Hauptfragen können aufgeworfen werden und dementsprechend drei Störungsgruppen unterschieden werden.

1. Wie ist die Zeit und der Ort der Temperaturmessung bestimmt? Dies ist eine Frage der Meßtechnik.
2. Welche Temperatur herrscht im ungestörten Inlandeis in der Nähe von Eismitte zu einem bestimmten Zeitpunkt in einer bestimmten Tiefe bis 17 m Tiefe? Dies ist die geographisch-glaziologische Hauptfrage.
3. Wie weit läßt sich die Fortpflanzung der Wärme im Firn nach den Messungen in Eismitte aus den Gesetzen der Wärmeleitung herleiten, d. h. mit welcher Genauigkeit lassen sich die thermischen Konstanten des Firns aus den Messungen in Eismitte bestimmen? Dies ist eine physikalische Frage.

Gruppe 1. Alle Temperaturmessungen sind auf die beiden Koordinaten Zeit und Ort bezogen und auch in dieser Form tabuliert. Wir haben schon bei der Aufstellung der Firndichtekurve gesehen, wie veränderlich die Firntiefen im Laufe der Zeit sind. Darum erhebt sich mit Recht die Frage: Sind die angegebenen Zeit- und Tiefenwerte „richtig“ oder müssen daran noch Verbesserungen angebracht werden?

a) Wie sind die Ablesezeiten zu ändern? — Die in den Tabellen angegebenen Zeiten sind mit der Marineuhr M 1178 bestimmt und stellen angenähert mittlere grönlandische Zeit dar. Durch häufige Uhrvergleiche mit Weiken (30. August 1930), Wölcken (auf Sorges Hundeschlittenreise nach Eismitte vom 1.—13. September 1930) und Georgi (während der Überwinterung in Eismitte, etwa alle 10 Tage) sowie durch einige Zeitmessungen von Georgi und Sorge war der Uhrgang kontrolliert. Danach ist die mittlere grönlandische Zeit während der Überwinterung auf 20 Zeitminuten genau eingehalten worden. Tatsächlich sind nun nicht sämtliche Thermometer zu derselben Minute abgelesen worden. Die vollständige Ablesung dauerte gewöhnlich eine halbe Stunde. Innerhalb dieser Zeit ändern sich aber die Firntemperaturen nur unmerklich. Aufschlußreich sind in diesem Zusammenhang die Temperaturmessungen in 40 cm Tiefe durch Georgi (vom 11. Juni bis 15. Juli 1931). Schon in dieser geringen Tiefe ändern sich die Firntemperaturen nur sehr langsam. In Tiefen von einigen Metern betragen die Änderungen innerhalb 24 Stunden nur wenige Zehntel Grad. Schwankungen der Ableszeit um eine halbe Stunde ändern also die einzelne Temperaturmessung nicht merklich. Daselbe gilt in erhöhtem Maße für die täglichen Temperaturreihenmittel. Die Zeiten brauchen also nicht mehr geändert zu werden. In der Tafel der

Firntemperaturen sind ab März 1931 die Uhrzeiten wegen ihrer Unwichtigkeit fortgelassen worden.

b) Wie groß sind die wahren Tiefen der Thermometergefäße unter der Oberfläche zur Zeit der Messung? Die Tiefen der Temperaturübersicht sind nur „Nenntiefen unter der Oberfläche des 15. September 1930“. Die Tiefe unter dieser Bezugsfläche wird aber wegen der Firnschrumpfung im Laufe der Zeit immer kleiner. Anderseits rückt die tatsächliche Oberfläche wegen des Schneezuwachses immer höher nach oben, so daß die wahren Tiefen der Thermometer dadurch vergrößert werden. Diese Tiefenvergrößerung übertrifft um ein Mehrfaches den entgegengesetzten Einfluß der Schrumpfung, wie schon bei der Berechnung der Firndichten abgeleitet wurde. Dazu kommt noch als besondere Tiefenvergrößerung die Bildung einer Schneewehe. Bei der Umrechnung der Firndichten konnte der Einfluß einer Schneewehe außer acht gelassen werden, da die Firndichtemessungen in den oberen Metern frühzeitig stattfanden, als die Schneewehe noch niedrig war. Die spätesten Dichtemessungen benutzten Blöcke aus den größten Schachttiefen. Über dem unteren Ende des Schachts lag aber auch das Ende der Schneewehe, so daß dadurch keine besondere Störung auftritt. Bei der Registrierung der Firnschrumpfung macht sich aber in den obersten Schrumpfschreibern im Schacht die Mehrbelastung durch die Schneewehe deutlich bemerkbar. Auf die Thermometertiefen wirkt die Schneewehe gleichfalls ein. Die Thermometerlöcher sind dem Schachtverlauf entsprechend schräg untereinander angeordnet. Sie hatten von der Schachttür folgende Abstände, waagerecht gemessen:

| Nenntiefe<br>m | Waagerechter Abstand des<br>Thermometergefäßes von<br>der Schachttür<br>m |
|----------------|---|
| 2              | 0,5   |
| 3              | 2,5   |
| 4              | 5,0   |
| 5              | 4,0   |
| 6              | 5,0   |
| 7              | 6,0   |
| 8              | 7,0   |
| 9              | 8,0   |
| 10 bis 15      | 8,5   |

Über der Schachttür war die Schneewehe am mächtigsten. Ihre Dicke nahm über dem Schacht ab, so daß sie über den Thermometern verschieden dick war. Mit der Zeit wuchs der normale Schneeauftrag und erst recht die Schneewehe immer mehr an, so daß die Thermometertiefen stets größer, und zwar in verschiedenem Maße größer wurden. Dieser Übelstand konnte von uns bei der Anlage unserer unterirdischen Bauten nicht vor-

hergesehen werden. Wir hofften, entsprechend den bis dahin geltenden Anschauungen, daß Schneestürme im Innern Grönlands seltene Ereignisse sein würden. Alfred Wegener hatte in seinem Programm geschrieben: „Wegen der hier (d. h. im zentralen Firngebiet) meist herrschenden Luftruhe werden die Niederschlagsmessungen sich mit dem gewöhnlichen Meßgerät ausführen lassen.“ Ferner: „... während die zentrale Firnstation wegen der hier meist herrschenden Windstille hauptsächlich auf Fesselballone angewiesen ist...“ Die häufigen Schneestürme des Winters bildeten daher eine nicht geringe Überraschung für uns. Aus den Firnblöcken der unterirdischen Bauten wurde ein hoher Turm und die Schneemauer rings um den Eingang gebaut. Um diese Bauten herum legte sich die große Schneewehe. Richtiger wäre es gewesen, einen unterirdischen Gang zunächst waagerecht 10—15 m geradeaus zu führen und dann erst die Treppe in die Tiefe anzuschließen. In diesem Falle hätte der Schacht außerhalb der Störung durch die Schneewehe gelegen. Bei unterirdischen Bauten wird es aber immer schwierig sein, den herausgeförderten Firn an der Oberfläche so hinzulegen, daß die Schneeoberfläche nicht zu sehr gestört wird. Denn irgendwo muß der Eingang sein, und dieser muß unbedingt durch eine Mauer oder eine Tür gegen Schneeverwehung geschützt werden. Am besten wird es sein, den Eingang schmal zu machen und durch einen waagerechten Deckel abzuschließen. Der geförderte Firn muß auf Schlitten geladen und 50 m weit fortgefahrt werden, wodurch eine große Mehrarbeit entsteht. Wenigstens wird auf diese Weise die natürliche Schneeoberfläche nur etwas gestört, nämlich durch das Herumlaufen und Zertreten der obersten Schicht.

Die zusätzlichen Tiefenverbesserungen sind bei der Herleitung der Firndichten schon einmal berechnet worden. Ähnliche Berechnungen ergeben unter Berücksichtigung der Firnschrumpfung und des gesamten Schnearauftrags einschließlich der Schneewehe die Verbesserung der Nenntiefen der Thermometer. Aus Raumgründen wird hier von einer Wiedergabe der Zwischenrechnungen abgesehen. Die Tiefenverbesserungen sind zu den Nenntiefen hinzuzuzählen, um die wahre Tiefe unter der Oberfläche zur Meßzeit (d. h. also während der betreffenden Dekade) zu erhalten. Damit ist die relative Lage der Thermometer untereinander und zur jeweiligen Oberfläche für jeden Zeitpunkt festgelegt.

c) Die Lage von Eismitte ist von Georgi durch Messungen mit einem Sextanten unter Benutzung von funkentelegraphischen Zeitzeichen bestimmt worden. Diese Lage ist aber veränderlich, denn das Inlandeis bewegt sich; wir wissen freilich nicht, nach welcher Richtung und mit welcher Geschwindigkeit. Nun sind die Firntemperaturen in größerer Tiefe Folgen der Lufttemperaturen von früheren Zeiten. Damals (vor Jahren) hat sich „Eismitte“ an anderer unbekannter Stelle befunden und hat andere Lufttemperaturen erlebt als an der Stelle unserer Überwinterung 1930/31.

Es fragt sich, welche Störungen der Firntemperaturen dadurch hervorgerufen werden. Wenn wir auch über die Bewegung von „Eismitte“ nichts Genaues wissen, können wir doch zu einer Abschätzung des größtmöglichen Betrages kommen. Denn die Bewegung von „Eismitte“ muß kleiner sein als die der Gletscher an der Küste und bleibt damit weit unter einem Betrage von 7 km jährlich. Somit wird „Eismitte“ durch horizontale Bewegung sein Klima in einigen Jahren noch nicht merklich ändern — abgesehen von den unperiodischen Änderungen der Lufttemperaturen selbst. Die Firntemperaturen werden daher durch die horizontale Bewegung nicht merklich beeinflußt.

Über die vertikale Bewegung des Inlandeises in „Eismitte“ ist — abgesehen von der Firmschrumpfung — nichts bekannt. Bevor nicht Messungen über die Höhenänderung des Inlandeises vorliegen, bleibt nichts übrig als die Annahme, daß das Inlandeis während einiger Jahre im großen und ganzen seine Höhe behält. Einflüsse auf das Klima durch etwaige Höhenänderungen werden sehr schwer nachzuweisen sein, zumal die unperiodischen Temperaturwechsel am gleichen Ort sehr groß sind.

Im Randgebiet, wo die Geschwindigkeit und Neigung des Inlandeises sehr viel größer ist als in der Mitte, muß natürlich bei der Untersuchung der Eistemperaturen die Bewegung der Meßstelle berücksichtigt werden.

Ort und Zeit der Temperaturmessungen in Eismitte sind damit soweit möglich festgelegt. Die eigentlichen Schwierigkeiten der Temperaturuntersuchung entstehen erst bei den beiden geographisch-glaziologischen und physikalischen Hauptfragen. Zunächst wird eine Übersicht über die Störungen gegeben.

Gruppe 2. Da die Firntemperaturmessungen nicht im ungestörten Firn, sondern im Schacht, außerdem nahe der Oberfläche auch in besonderen Gruben und Löchern stattgefunden haben, ist die Frage zu untersuchen: Welche Temperaturverbesserungen sind an den gemessenen Firntemperaturen anzubringen, um wahre Firntemperaturen unter ungestörten Verhältnissen zu erhalten? In dieser Frage sind eine Reihe von Störungen enthalten, die aus der besonderen Art der Temperaturmessung entstehen, und zwar folgende:

- a) Die Wärme der Lampe und des Körpers während der Arbeits- und Ablesezeit im Schacht.
- b) Das Eindringen kalter oder warmer Luft durch den Gang und die hölzerne Schachttür in den Schacht.
- c) Der Austausch von Luft in verschiedenen Tiefen des Schachts und der dadurch bewirkte Wärmeaustausch.
- d) Die starke Luftbewegung im Firn durch die Sogwirkung der Schneestürme.

e) Die veränderte Wärmeleitung in die Tiefe dadurch, daß der Firn zum Teil durch einen Luftraum, den Schacht, ersetzt ist.

f) Die Wärmewirkung unseres Wohnraums auf die Firntemperaturen.

Gruppe 3. Bei der Anwendung der Theorie der Wärmeleitung auf die Firntemperaturen ergeben sich folgende Störungen:

a) Die Oberfläche ist nicht konstant, sondern wegen des Schneezuwachses veränderlich. Der Schneezuwachs fällt nach Zeit und Menge unregelmäßig, im Sommer wenig, im Winter viel.

b) Der Schneezuwachs einer Niederschlagsperiode (also einiger Tage) hat in sich gleiche oder annähernd gleiche Temperatur. Die vertikale Temperaturverteilung muß daher in der neu gebildeten Schneeschicht von der Theorie abweichen.

c) Die Firmschrumpfung bewirkt, daß der Abstand zweier bestimmter senkrecht untereinander befindlicher physischer Firnpunkte immer kleiner wird. Das Inlandeis als Versuchsstoff für die Wärmeleitung ist in sich veränderlich.

d) Die Luftbewegung im Firn befördert Wärmemengen. Die Wärmeübertragung geschieht daher nicht allein durch Wärmeleitung.

e) Der jährliche Verlauf der Lufttemperaturen in Eismitte weicht von einer Kosinusfunktion stark ab. Verschiedene Jahre haben sehr verschiedene Temperaturgänge, gerade im Polargebiet. Es ist daher zwecklos, den Lufttemperaturgang von 1930/31 durch eine trigonometrische Reihe mit vielen Gliedern darzustellen. Es wäre die Kenntnis des Temperaturganges mehrerer Jahre notwendig, um die unregelmäßigen Schwankungen einigermaßen ausgleichen zu können.

f) Die Mitteltemperaturen verschiedener Jahre sind sehr verschieden. Der Temperaturverlauf ist daher überhaupt nicht periodisch.

g) Die Firntemperaturen hängen von den Temperaturen der Schneoberfläche ab. Diese wurden 6 Monate lang im Sommer 1931 in Eismitte gemessen, und zwar vom Februar bis Juli einschließlich. Für die übrige Zeit sind wir auf Schätzungen der Schneoberflächentemperatur auf Grund der Lufttemperaturen in der Wetterhütte angewiesen.

Verbesserung der Thermometertiefen durch Schneeauftrag und Firnschrumpfung in cm.

1. Zahl = Schneeauftrag, 2. Zahl = Firnschrumpfung.

| Datum   |          | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  | 12  | 13  | 14  | 15  | Normaler<br>Schneeauftrag<br>an einer unge-<br>störten Stelle |
|---------|----------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---|
| 1.—10.  | Oktober  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 0   |
| 11.—20. |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 52  |
| 21.—31. |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 52  |
| 1.—10.  | November |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 52  |
| 11.—20. |          |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 52  |
| 21.—30. |          | 50  | 30  | 30  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 32  |
| —5      |          | —5  | —5  | —5  |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
| 1.—10.  | Dezember | 80  | 80  | 75  | 60  |     |     |     |     |     |     |     |     |     | 45  |
| —5      |          | —5  | —5  | —10 | —10 |     |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
| 11.—20. |          | 80  | 80  | 75  | 60  | 45  |     |     |     |     |     |     |     |     | 45  |
| —5      |          | —5  | —10 | —10 | —10 | —10 |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
| 21.—31. | 160      | 150 | 135 | 115 | 80  |     |     |     |     |     |     |     |     | 65  |   |
| —10     |          | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
| 1.—10.  | Januar   | 160 | 150 | 135 | 115 | 80  |     |     |     |     |     |     |     |     | 72  |
| —10     |          | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 |     |     |     |     |     |     |     |     |   |
| 11.—20. |          | 160 | 150 | 135 | 115 | 80  | 80  |     |     |     |     |     |     |     | 72  |
| —10     |          | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 |     |     |     |     |     |     |     |   |
| 21.—31. | 170      | 160 | 150 | 120 | 90  | 80  | 80  |     |     |     |     |     |     | 72  |   |
| —10     |          | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 |     |     |     |     |     |     |   |
| 1.—10.  | Februar  | 170 | 160 | 150 | 120 | 90  | 80  | 80  |     |     |     |     |     |     | 85  |
| —10     |          | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 |     |     |     |     |     |     |   |
| 11.—20. |          | 170 | 160 | 150 | 120 | 90  | 90  | 90  | 90  |     |     |     |     |     | 90  |
| —10     |          | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 | —10 |     |     |     |     |     |   |
| 21.—28. | 200      | 190 | 170 | 150 | 120 | 100 | 100 | 100 |     |     |     |     |     | 100 |   |
| —15     |          | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 |     |     |     |     |     |   |
| 1.—10.  | März     | 240 | 230 | 200 | 180 | 150 | 130 | 110 | 100 | 100 |     |     |     |     | 100   |
| —15     |          | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 |     |     |     |     |   |
| 11.—20. |          | 240 | 230 | 200 | 180 | 150 | 130 | 110 | 100 | 100 | 100 |     |     |     | 100   |
| —15     |          | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 |     |     |     |   |
| 21.—31. | 240      | 230 | 200 | 180 | 150 | 130 | 110 | 100 | 100 | 100 |     |     |     | 100 |   |
| —15     |          | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 |     |     |     |   |
| 1.—10.  | April    | 240 | 230 | 200 | 180 | 150 | 130 | 110 | 100 | 100 | 100 |     |     |     | 100   |
| —20     |          | —20 | —20 | —20 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 |     |     |     |   |
| 11.—20. |          | 240 | 230 | 200 | 180 | 150 | 130 | 110 | 100 | 100 | 100 | 100 |     |     | 102   |
| —20     |          | —20 | —20 | —20 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —15 | —20 | —20 |     |   |
| 21.—30. | 240      | 230 | 200 | 180 | 150 | 130 | 110 | 100 | 100 | 100 | 100 |     |     | 102 |   |
| —25     |          | —25 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 |     |   |
| 1.—10.  | Mai      | 240 | 230 | 200 | 180 | 150 | 130 | 110 | 100 | 100 | 100 |     |     |     | 100   |
| —25     |          | —25 | —25 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 |     |   |
| 11.—20. |          | 240 | 230 | 200 | 180 | 150 | 130 | 110 | 100 | 100 | 100 | 100 |     |     | 102   |
| —30     |          | —30 | —25 | —25 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 |     |   |
| 21.—31. | 240      | 230 | 200 | 180 | 150 | 130 | 110 | 100 | 100 | 100 | 100 |     |     | 105 |   |
| —30     |          | —30 | —25 | —25 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 |     |   |
| 1.—10.  | Juni     | 240 | 230 | 200 | 180 | 150 | 130 | 110 | 100 | 100 | 100 | 100 |     |     | 100   |
| —30     |          | —30 | —25 | —25 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 |     |   |
| 11.—20. |          | 240 | 230 | 200 | 180 | 150 | 130 | 110 | 100 | 100 | 100 | 100 |     |     | 106   |
| —30     |          | —30 | —25 | —25 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 | —20 |     |   |
| 21.—30. | 250      | 240 | 210 | 190 | 160 | 140 | 120 | 110 | 110 | 110 | 110 |     |     | 106 |   |
| —35     |          | —35 | —30 | —25 | —25 | —25 | —25 | —25 | —25 | —25 | —25 | —25 | —25 |     |   |
| 1.—10.  | Juli     | 250 | 240 | 210 | 190 | 160 | 140 | 120 | 110 | 110 | 110 | 110 |     |     | 111   |
| —35     |          | —35 | —30 | —25 | —25 | —25 | —25 | —25 | —25 | —25 | —25 | —25 | —25 |     |   |
| 11.—20. |          | 250 | 240 | 210 | 190 | 160 | 140 | 120 | 110 | 110 | 110 | 110 |     |     | 112   |
| —35     |          | —35 | —30 | —30 | —30 | —30 | —30 | —30 | —30 | —30 | —30 | —30 |     |     | 112   |
| 21.—31. | 250      | 240 | 210 | 190 | 160 | 140 | 120 | 110 | 110 | 110 | 110 |     |     |     |   |
| —35     |          | —35 | —30 | —30 | —30 | —30 | —30 | —30 | —30 | —30 | —30 | —30 |     |     |   |

### C. Störungen durch Schachtarbeit und verwandte Einflüsse.

Bei der Grabarbeit im Schacht diente das Tageslicht bis zum 19. November als Beleuchtung. Der Schacht war damals noch nicht tiefer als 4 m; denn wir hatten bis dahin mit anderen Arbeiten zu tun.

Am 19. November wurde die hölzerne Schachttür fertiggestellt, um den unmittelbaren Luftaustausch zwischen der Oberfläche und dem Schacht zu verhindern. Dadurch wurde es im Schacht vollständig finster. Ich baute mir daher eine kleine Petroleumlampe. Die Wärmeentwicklung dieser Lampe bewirkt eine Temperaturstörung, die sich verhältnismäßig leicht erkennen und bestimmen läßt. Um die Wärme der Lampe möglichst zu verringern, wurde über der Lampe eine Konservenbüchse mit einer Schneefüllung aufgehängt. Es zeigte sich, daß die Lampe kaum imstande war, um am Boden der Büchse etwas Schnee zu schmelzen. Außerdem blieb die hölzerne Schachttür zeitweise offen, so daß die warme Luft nach oben entweichen konnte. Dabei strich sie an der oberen schrägen Seite des Schachtes entlang und konnte sich am obersten Ende des Schachtes etwas stauen, so daß die Temperaturen in den Tiefen 3 und 4 m merklich zu warm sind. Dies wurde in Eismitte sehr bald erkannt. Dennoch wurden die Temperaturmessungen am oberen Ende des Schachtes fortgesetzt, um die Wirkung der Lampenwärme in allen Tiefen festzustellen.

In großen Tiefen (11—15 m) ist bei der Grabarbeit eine etwas geringere Wirkung der Lampenwärme auf die Firnwände zu erwarten, weil der Schacht hier senkrecht in die Tiefe führte und die warme Luft schneller nach oben entweichen konnte. Die Lampe wurde stets in möglichst großer Entfernung von den Thermometern gehalten und daher zum Beispiel beim Arbeiten immer an derjenigen Schachtseite befestigt, die den Thermometern gegenüber lag. Dadurch wurde die Wirkung der Wärmestrahlung möglichst verringert.

Durch eine Überschlagsrechnung kann man die Größenordnung der Lampenwärme bestimmen. Bei 25 Stunden Brenndauer wurden in der Lampe 250 g Petroleum verbrannt, stündlich also 10 g. 1 kg Petroleum hat einen Heizwert von rund 10000 Cal. Stündlich entwickelt die Lampe also 100 Cal. Der Schacht hatte im senkrechten Teil einen Querschnitt von 120 cm Länge und 80 cm Breite. Wir stellen uns der Einfachheit halber vor, daß die gesamte Lampenwärme dazu verbraucht wird, um die Schachtwände auf einem 3 m hohen Abschnitt (also zum Beispiel von 11 bis 14 m Tiefe) zu erwärmen, und fragen dann: welche Wandstärke  $x$  kann die Lampenwärme in einer Stunde im Mittel von  $0,1^\circ$  erwärmen?

Der erwärmte Querschnitt ist sehr nahe die Differenz zweier Rechtecke. Dabei sind an den Ecken statt der Quadranten die Ecken mitgezählt

worden, was für die Rechnung wenig ausmacht. Das Volumen des erwärmten Firns beträgt

$$V = 300 \cdot [(120 + 2x) (80 + 2x) - 120 \cdot 80] \text{ ccm} \quad (1)$$

Der Firn empfängt eine Wärmemenge von

$$\begin{aligned} V \cdot s \cdot c \cdot 0,1^\circ &= 100 \text{ kg-Kal.} \\ &= 100000 \text{ g-Kal.} \end{aligned} \quad (2)$$

( $V \cdot s$  = Gewicht,  $c$  = spezifische Wärme des Eises. Es ist rund  $c = 0,5$ ).

Durch Einsetzen von  $V$  aus 1) in 2) erhält man die quadratische Gleichung

$$x^2 + 100x = \frac{100000 \cdot 2 \cdot 2}{4 \cdot 300 \cdot 0,1}$$

und daraus  $x = 26,4$  cm; während die zweite Lösung negativ wird, also keine physikalische Bedeutung hat.

Wenn also die ganze Lampenwärme während einer Stunde auf die

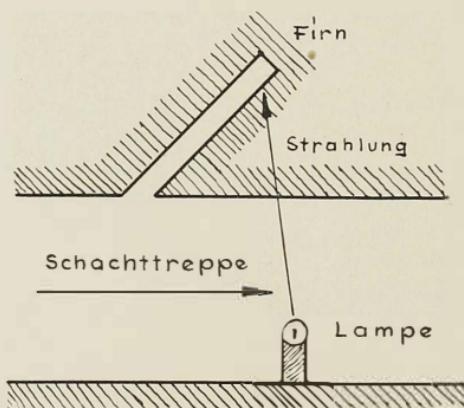


Abb. 42.

Firnwände überginge, könnten diese rings um die Lampe in 3 m Höhe und 26,4 cm Wandstärke um 0,1° erwärmt werden. Tatsächlich erreicht die Firnwände nur ein kleiner Teil der Lampenwärme, und zwar wohl hauptsächlich durch Strahlung. Die warme Luft dagegen wird durch die Büchse mit Schnee teilweise abgekühlt, und von dem Rest geht noch der größte Teil ins Freie und wird durch kalte Luft ersetzt. Immerhin zeigt die Überschlagsrechnung, daß bei mehrstündiger Brenndauer die Erwärmung der Firnwände bemerkbar werden kann.

Der Vorgang der Thermometererwärmung durch die Lampe ist im einzelnen sicherlich so verwickelt aus Wärmestrahlung, -leitung und -strömung zusammengesetzt, daß man theoretisch schwer etwas darüber aussagen kann. Eine Beobachtung möge dies erläutern. Die Thermometerlöcher führten in bezug auf die senkrechten Schachtwände sowohl schräg in die Tiefe als auch schräg nach der Seite. Anders konnten sie wegen der Raumenge nicht gebohrt werden. Beim Bohren der Löcher sollte erreicht werden, daß die Thermometergefäß sich in möglichst großer Entfernung vom Schacht befanden. Eine Vertikalprojektion der Schachtwand mit einem Thermometerloch aus dem schrägen Teil des Schachts ist in der nebenstehenden Zeichnung dargestellt:

Blickte man nach Entfernung der Verschlußpfropfen in das Thermometerloch hinein, während die Lampe in der anderen Schachtwand in Höhe des Thermometerlochs befestigt war, so sah man die Durchleuchtung des Firns. Aus der Tiefe des Loches schimmerte ein mattes bläuliches Licht. Das Thermometerloch wurde durch die 0,6—0,7 m dicke Firnschicht erhellt, ein Zeichen für die Wirksamkeit der Strahlung. Übrigens konnten wir sogar noch durch die 3,50 m dicke Decke unseres Wohnraums einen ganz schwachen Schimmer des Tageslichts wahrnehmen.

Im senkrechten Teil des Schachts wurden die Thermometerlöcher von den Schachtecken aus in den Firn hineingebohrt, so daß in den Tiefen 11—15 m die Entfernung der Thermometer vom Schacht 90—100 cm betrug, also größer war als im schrägen Teil des Schachts. Außerdem waren die tieferen Thermometer durch ihre Lage den Einflüssen des Schachts mehr entrückt als die oberen Thermometer. Anderseits ging dafür die Schachtarbeit in größeren Tiefen langsamer vorwärts als oben, so daß die Arbeit in der Nähe eines Thermometers länger dauerte als höher oben. Daher ist der Einfluß der Lampenwärme auf die tieferen Thermometer im ganzen doch ebenso groß wie oben.

Die Wirkung der Lampe auf die Thermometer besteht also aus mehreren Anteilen. Den Strahlungsanteil erkennt man daraus, daß mehrere Thermometer zur gleichen Zeit und sehr bald, d. h. noch an dem Arbeits-tage selbst, eine Temperaturerhöhung anzeigen. Der Anteil der Wärmeleitung durch den Firn macht sich erst später und längere Zeit bemerkbar. Man kann die beiden Anteile aber nicht voneinander trennen, denn von der Wärmestrahlung, die den Firn durchdringt, wird überall ein Teil absorbiert, erwärmt die einzelnen Firnstellen und wirkt dann nach allen Seiten weiter durch den Vorgang der Wärmeleitung. Da schließlich noch der Wärmetransport durch Luftströmungen im Schacht je nach dem Standpunkt der Lampe wechselt, wird der Vorgang der Thermometererwärmung theoretisch nicht exakt faßbar. Nach der Überschlagsrechnung wird man aber jedenfalls bei langer Arbeitszeit mit Thermometererwärmungen von der Größenordnung 0,1° rechnen können. Und in der Tat

zeigen die Temperaturkurven einwandfrei und sehr deutlich die Wirkung der Schachtarbeit an. Bei einer graphischen Darstellung der abgelesenen Firntemperaturen fallen die Tage nach längerer Schachtarbeit sogleich durch etwas erhöhte Firntemperaturen auf. Um dem Leser die Prüfung der Temperaturstörungen zu ermöglichen, sind in der Übersicht der abgelesenen Firntemperaturen die Tage mit Schachtarbeit durch Kreuze bezeichnet.

Zählt man die Arbeitszeiten in den einzelnen Monaten zusammen, so erhält man folgende Übersicht:

#### Arbeitszeit im Schacht:

|            |    |                              |
|------------|----|------------------------------|
| November.  | 9  | Nachmittage und 0 ganze Tage |
| Dezember . | 7  | " " 0 "                      |
| Januar .   | 11 | " " 2 "                      |
| Februar .  | 11 | " " 0 "                      |
| März .     | 11 | " " 5 "                      |
| April .    | 10 | " " 2 "                      |
| Mai        | 1  | " 0 "                        |
| Juni       | 0  | " 0 "                        |
| Juli       | 0  | " 0 "                        |
| Zusammen   | 60 | Nachmittage und 7 ganze Tage |

Die Bauzeit des Schachts betrug also im ganzen 37 Tage mit je 8 Stunden durchschnittlicher Arbeitszeit, zusammen rund 300 Stunden. Davon entfällt allerdings ein Teil auf Firnuntersuchungen, so daß die eigentliche Arbeitszeit auf etwa 200 Stunden geschätzt werden kann. Die Ablesezeiten der Thermometer sind hierbei nicht mit berücksichtigt. Da die Thermometerlöcher nach jeder Ablesung sorgfältig verschlossen werden mußten, dauerte eine vollständige Ablesung aller Thermometer 20—40 Minuten. Während dieser Zeit blieb die Schachttür offen. Die Temperaturstörungen der Lampe während der Thermometerablesungen sind so klein, daß sie nirgends bemerkt werden konnten.

Das Ausgleichen der Lampenwärme durch kalte Luft von außen während der Schachtarbeit war sehr notwendig. Dabei entstand immer wieder die Frage, wie lange die Schachttür bei verschiedenen Außentemperaturen offenbleiben mußte, um die Lampenwärme gerade auszugleichen. Diese Aufgabe war nicht restlos zu lösen, da sich die Wirkung der beiden entgegengesetzten Vorgänge schwer abschätzen ließ und da sich Temperaturstörungen erst nachträglich an den Thermometerablesungen messen ließen. Es gehört natürlich ein großes Feingefühl dazu, um die Wirkung der getroffenen Maßnahmen abzuschätzen. So blieben trotz aller Sorgfalt dennoch Störungen übrig, die zeigen, daß die Lampenwärme durch kalte Außenluft nicht vollständig ausgeglichen worden war.

Die größten Temperaturstörungen traten in folgenden Zeiten auf:

- 24. 11. 30 bis 3. 12. 30
- 12. 1. 31 bis 23. 1. 31
- 2. 2. 31 bis 13. 2. 31
- 5. 3. 31 bis 14. 3. 31
- 9. 4. 31 bis 24. 4. 31

Die Temperaturstörungen sind aus der Tabelle der abgelesenen Firntemperaturen nicht leicht mit einem Blick zu entnehmen, besonders da die Thermometer öfter ausgetauscht werden. Man verfolge zum Beispiel in 8 m Tiefe das Thermometer 2 im Januar, Februar, März 1931 und vergleiche damit die Schachtarbeit in dieser Zeit. Man erkennt dann

- eine Erwärmung vom 12. 1. bis 24. 1.
- eine Abkühlung vom 24. 1. bis 28. 1.
- eine Erwärmung vom 5. 2. bis 13. 2.
- eine Abkühlung vom 13. 2. bis 5. 3.
- eine Erwärmung vom 5. 3. bis 17. 3.
- eine Abkühlung vom 17. 3. bis 25. 3.

Um die Beträge der Erwärmung festzustellen, wurden bei der Auswertung die abgelesenen Firntemperaturen für jede Tiefe in sehr großem Maßstab auf Millimeterpapier graphisch dargestellt (1 Tag = 5 mm, 1 Grad Temperaturunterschied = 50 mm). Die Temperaturstörungen wurden leicht an den Abweichungen vom allgemeinen Temperaturverlauf erkannt. Zum Beispiel erreichte Thermometer 2 in 8 m Tiefe am 9. Februar 1931 die höchste abgelesene Temperatur und mußte von da an beständig fallen, und zwar nach und nach immer stärker, etwa einer Kosinuskurve entsprechend. Die abgelesenen Temperaturen steigen aber später noch wiederholt etwas an, so daß hieran die Temperaturstörungen durch die Schachtarbeit erkannt werden können. Ein zweites Hilfsmittel für denselben Zweck ist der Vergleich verschiedener Thermometer. Es zeigt sich dann, daß die Temperaturstörungen in benachbarten Tiefen zu gleichen Zeiten nahezu übereinstimmende Werte haben. Dadurch wird die Bestimmung der Temperaturstörungen erleichtert und zugleich sehr sicher. Durch Abzug der Störungsbeträge von den abgelesenen Temperaturen fallen die kleinen Temperaturschwankungen kurzer Dauer fort; es entstehen ausgeglichene Kurven, die mit großer Annäherung die ungestörten Firntemperaturen darstellen.

Auf den ersten Blick scheint dieses Verfahren manche Willkür zuzulassen. Die vielen Abhängigkeiten zwischen den Temperaturen in verschiedenen Tiefen und der gesetzmäßige Verlauf während mehrerer Monate lassen aber keine Wahl, sondern zwingen zu der Annahme bestimmter Störungsbeträge. Diese wurden für jedes Monatsdrittel (hier kurz „Dekade“ genannt, obwohl sie nicht immer genau 10 Tage lang

ist) berechnet. Will man die Messungen mit der Theorie der Wärmeleitung vergleichen, so ist es zweckmäßig, alle stärker gestörten Temperaturwerte auszuscheiden, wie sie in den oberen Tiefen des Schachts vorkommen. Darum erstrecken sich die späteren Berechnungen nur auf die Tiefen von 6 bis 15 m, wo die Störungen unter  $0,25^{\circ}$  bleiben, meist aber noch viel geringer sind. Die Störungsbeträge sind neben den 10 tägigen Mitteln der Firntemperaturen angegeben. Daraus geht hervor, wie stark die Gesetzmäßigkeit zwischen den einzelnen Störungen ist. Man kann dabei zwei Gruppen von Thermometern unterscheiden, nämlich die von 6 bis 10 m Tiefe und die von 11 bis 15 m Tiefe. Diesen Unterschied in den beiden Gruppen kann man wohl durch die Form des Schachts und die Anordnung der Thermometer erklären. Bis 10 m Tiefe verlief der Schacht treppenförmig, darunter senkrecht abwärts. Dies bedingt natürlich einen verschiedenen Wärmeaustausch zwischen Luft und Firn. der sich durch verschiedene Störungskurven anzeigt.

Nachträglich betrachtet erweist sich die Verteilung der Schachtarbeit als sehr günstig. Die Geschwindigkeit des Vordringens in die Tiefe wurde von der Absicht bestimmt, die Wanderung des Sommermaximums 1930 zu verfolgen. Der Schacht mußte also stets mindestens 1—2 m tiefer sein als die gleichzeitige Lage dieses Maximums. Dadurch, daß Zeiten angestrengter Schachtarbeit mit Zeiten abwechseln, in denen nur die Thermometer abgelesen oder Firndichten gemessen wurden und die Schachttemperatur nicht merklich gestört wurde, sind nun bei der Auswertung die Temperaturstörungen leicht erkennbar. Hätte die Schachtarbeit wochenlang täglich den ganzen Tag gedauert, so wäre der Ausgleich der Lampenwärme durch den Zuzug kalter Luft nicht annähernd möglich gewesen. Die Schachttemperaturen wären auf lange Zeit erheblich zu warm gewesen, und das langsame Abklingen dieser Temperaturstörung wäre von dem ungestörten Temperaturgang sehr viel schwerer zu trennen gewesen als im vorliegenden Fall das schnellere Abklingen der kleineren Temperaturstörungen. In den Zeiten, als nicht mehr im Schacht ge graben wurde und die letzten Temperaturstörungen abgeklungen sind, also im Juni und Juli 1931, verlaufen die Temperaturen außerordentlich gleichmäßig und ruhig, also wieder ein Beweis dafür, daß die kurzen Temperaturschwankungen während der Schachtarbeit wirklich von dieser Schachtarbeit herrühren. Dennoch ist im Auge zu behalten, daß der Schacht für Temperaturmessungen nur ein Notbehelf war. Hauptsächlich diente er zur Bestimmung der Firndichten, Firnschichten und Firnkörper. Für Temperaturmessungen ist ein Bohrloch am besten geeignet, da es die natürlichen Verhältnisse des Firs am wenigsten stört. Soll auf einer künftigen Expedition die Firnstruktur und Firntemperatur untersucht werden, so empfiehlt es sich, auf jeden Fall ein Bohrloch und einen Schacht anzulegen und die Untersuchung der Firntemperatur von allen anderen Unter-

suchungen zu trennen. Man ist dann vor Störungen besser geschützt, als es im Schacht in Eismitte der Fall war.

Bei der Durchsicht der abgelesenen Firntemperaturen ergibt sich, daß Temperaturstürze der Außenluft sich in den Firntemperaturen so gut wie gar nicht bemerkbar machen, ein Zeichen für den guten Abschluß des Schachts von der Außenluft durch eine dreifache, mit unseren geringen Hilfsmitteln hergestellte Abdichtung, nämlich: eine Holztür, einen Gummivorhang und einen Vorhang aus zusammengenähten Säcken.

Die Zeiten und Beträge der Temperaturstürze der Außenluft sind in dem nachfolgenden Verzeichnis mit abgerundeten Zahlenwerten zusammengestellt. Außerdem sind die Zeiten in der Tabelle der abgelesenen Firntemperaturen am Rande durch einen starken Strich gekennzeichnet, so daß der Leser den unmerklichen Einfluß der Temperaturstürze leicht nachprüfen kann. In geringen Tiefen kommen gelegentlich Temperaturniedrigungen vor, die vielleicht mit den Temperaturstürzen der Außenluft zusammenhängen, zum Beispiel vom 17. bis 21. Dezember in 3 m Tiefe und vom 3. bis 9. März in 4 m Tiefe. Aber diese Abweichungen sind so vereinzelt und so klein, daß es sich vielleicht nur um Beobachtungsfehler handelt. Einen Einfluß auf den Gesamttemperaturverlauf haben sie nicht.

#### Temperaturstürze der Außenluft.

| Nr. | Zeit                   | Temperaturabnahme<br>(abgerundet) |      |
|-----|------------------------|-----------------------------------|------|
|     |                        | von                               | auf  |
| 1   | 7.—10. September 1930  | -20°                              | -30° |
| 2   | 25.—27. September 1930 | -20°                              | -40° |
| 3   | 3.—5. Oktober 1930     | -20°                              | -36° |
| 4   | 7.—10. Oktober 1930    | -25°                              | -50° |
| 5   | 17.—19. Oktober 1930   | -25°                              | -45° |
| 6   | 20.—30. Oktober 1930   | -20°                              | -55° |
| 7   | 17.—18. November 1930  | -25°                              | -45° |
| 8   | 20.—25. November 1930  | -25°                              | -45° |
| 9   | 29.—30. November 1930  | -25°                              | -50° |
| 10  | 15.—25. Dezember 1930  | -20°                              | -50° |
| 11  | 27.—31. Dezember 1930  | -35°                              | -55° |
| 12  | +.—7. Januar 1931      | -30°                              | -50° |
| 13  | 13.—17. Januar 1931    | -20°                              | -60° |
| 14  | 18.—24. Januar 1931    | -35°                              | -60° |
| 15  | 2.—5. Februar 1931     | -30°                              | -50° |
| 16  | 14.—15. Februar 1931   | -35°                              | -60° |
| 17  | 17.—19. Februar 1931   | -25°                              | -60° |
| 18  | 6.—12. März 1931       | -16°                              | -50° |
| 19  | 30. März—3. April 1931 | -20°                              | -50° |
| 20  | 8.—11. April 1931      | -25°                              | -45° |

Die späteren Schwankungen sind kleiner.

Um die Wirkung starker Lufttemperaturänderungen durch die Schachtarbeit oder durch Änderungen der Außentemperatur zu untersuchen, wurden Thermometer in verschiedenen Tiefen des Schachts frei aufgehängt, an denen die Lufttemperatur im Schacht abgelesen wurde. Auch daraus ist zu ersehen, daß Kälteeinbrüche in den Schacht sich nicht bemerkbar machen, daß überhaupt der direkte Einfluß der Außenluft völlig zurücktritt gegenüber der beim Arbeiten durch die Lampe und den Körper erzeugten Wärme.

Ferner wurden, um die Schutzwirkung der hölzernen Schachttür zu untersuchen, im Dezember 1930 auf beiden Seiten der Schachttür, also innerhalb und außerhalb des Schachtes, Thermometer frei aufgehängt. In der Tat war die Schachttür trotz der beiden äußeren Vorhänge notwendig, wie zum Beispiel die Messungen während des Kälteeinbruches vom 15. bis 21. Dezember zeigen. In diesen sechs Tagen fiel die Außen temperatur von  $-20^{\circ}$  C auf  $-50^{\circ}$ , also um rund  $30^{\circ}$ , die Temperatur vor der Schachttür nur um  $2,1^{\circ}$ , hinter der Schachttür, also im Schacht, gerade so viel, wie die Firntemperaturen in dieser Tiefe im Dezember theoretisch sowieso fallen ( $0,4^{\circ}$  C in sechs Tagen). Im Schacht in 5,5 m Tiefe änderte sich die Temperatur überhaupt nicht. Das Fernhalten kalter Luft wurde also durch die Holztür ausgezeichnet bewirkt.

Bevor die hölzerne Schachttür eingesetzt worden war, konnte durch den Gang freilich kalte Luft zum Schacht vordringen. Die Wirkung dieser kalten Luft wurde allerdings durch die aus dem Wohnraum durch den Gang nach oben abströmende Wärme unseres Wohnraumes größtenteils unschädlich gemacht. Außerdem war zu dieser Zeit (Oktober bis 19. November) der Schacht erst 4 m tief. Die großen Tiefen werden von den gelegentlichen kurzen Temperaturänderungen des Herbstes also nicht berührt. Zur Sicherheit werden beim Vergleich zwischen den Messungen und der Theorie der Wärmeleitung die Firntemperaturen im Schacht von 2 bis 5 m Tiefe nicht berücksichtigt.

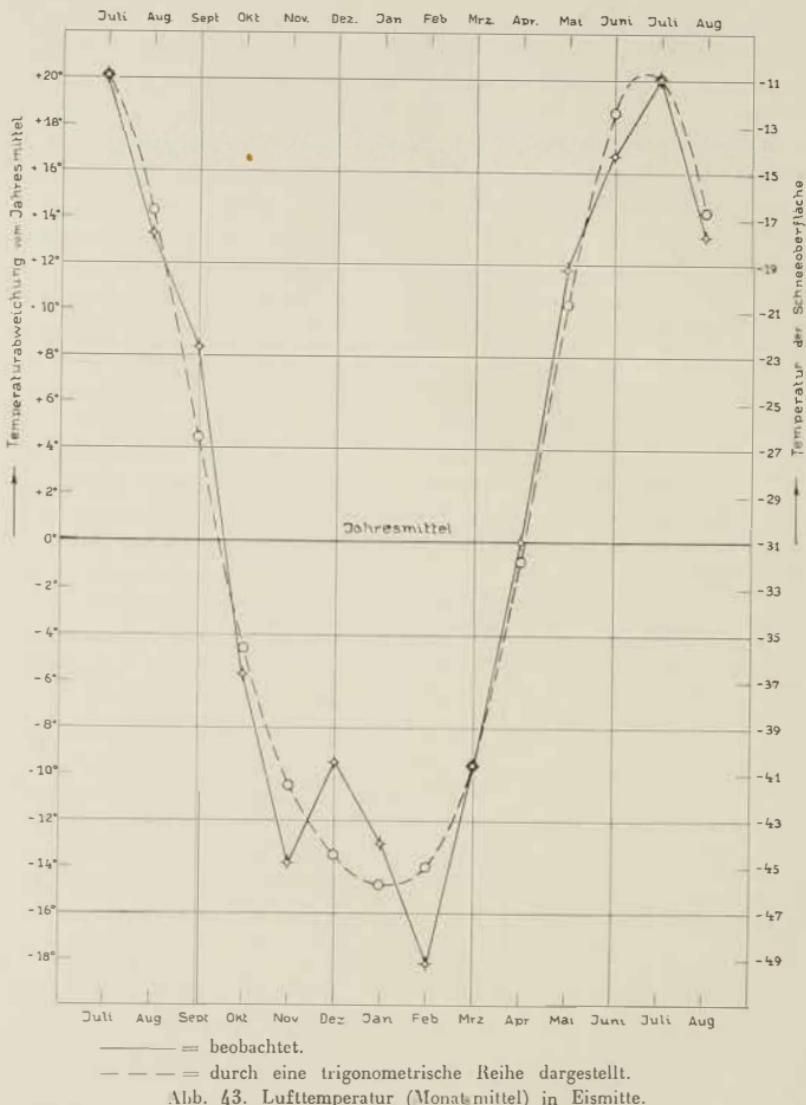
#### D. Harmonische Analyse der Temperaturschwingung an der Oberfläche.

Die Grundlage für alle nun folgenden Berechnungen bilden die Lufttemperaturen, die Georgi in Eismitte vom 1. August 1930 bis zum 6. August 1931 gemessen hat. Diese Lufttemperaturen gelten für das Innere der Wetterhütte. Die Thermometerkugeln hatten wegen des wechselnden Schneeauftrags nicht immer dieselbe Höhe über der Oberfläche. Die Höhe änderte sich im Laufe des Jahres zwischen 1,20 m und 2,21 m. Für die Fortpflanzung der Wärme und Kälte in den Firn hinein sind genau genommen die Temperaturen der Schneeoberfläche maßgebend. Georgi maß und registrierte durch eine von ihm selbsterdachte und gebaute Vorrichtung

die Lufttemperaturen eines Punktes, der etwa 10 cm über der jeweiligen Schneeoberfläche lag. Diese Messungen fanden in den Monaten Februar bis Juli 1931 statt. Für die übrigen Monate schätzte Georgi die Temperaturunterschiede zwischen der Wetterhütte und dem Punkt 10 cm über dem Schnee. Da die Lufttemperaturen sowieso im Polargebiet (auch in Eismitte) sehr stark schwanken, ist bei diesen Schätzungen für unsere Beobachtung keine sehr große Genauigkeit nötig. So ergaben sich mittlere Monatstemperaturen für einen Punkt 10 cm über der Schneeoberfläche. Durch Anbringung einer zweiten gleichsinnigen, aber viel kleineren Verbesserung wurde dann auf die mutmaßliche Temperatur der Schneeoberfläche selbst geschlossen. Bekanntlich ist die direkte Messung der Temperatur der Schneeoberfläche mit sehr großen Schwierigkeiten verknüpft. Die zweite Verbesserung macht nicht den Anspruch, den Temperaturgradienten auf 10 cm Höhe über dem Schnee genau wiederzugeben. Indessen beträgt die zweite Temperaturverbesserung nur wenige Zehntel Grade und ist damit klein gegenüber den großen Temperaturschwankungen überhaupt. Auf jeden Fall kommen wir damit den wahren Schneetemperaturen etwas näher, als wenn die zweite Verbesserung gar nicht angebracht worden wäre. Hierbei ist zunächst die Wärmeübergangszahl von Luft zu Schnee = 1 gesetzt worden. Später wird sich zeigen, daß diese Annahme nahezu richtig ist. Insgesamt erhalten wir folgende Werte für die Lufttemperaturen in der Hütte, 10 cm über der Schneeoberfläche und an der Schneeoberfläche selbst.

#### Monatsmittel der Temperaturen in Eismitte.

| Monat              | Lufttemperatur in der Hütte | Verbesserung nach Georgi                     | Lufttemperatur 10 cm über der Schneeoberfläche (abgerundet) | 2. Verbesserung (geschätzt) | Temperatur der Schneeoberfläche |
|--------------------|-----------------------------|--|---|-----------------------------|---------------------------------|
| August             | -17,7                       | 0°   | -17,7   | 0                           | -17,7                           |
| September          | -22,1                       | -0,5°  | -22,6   | 0                           | -22,6                           |
| Oktober            | -35,6                       | -1°  | -36,6   | -0,1                        | -36,7                           |
| November           | -43,1                       | -1,5°  | -44,6   | -0,2                        | -44,8                           |
| Dezember           | -58,8                       | -1,5°  | -40,3   | -0,2                        | -40,5                           |
| Januar             | -41,7                       | -2°  | -43,7   | -0,5                        | -44,0                           |
| Februar            | -47,3                       | -1,75°                                       | -49,0   | -0,2                        | -49,2                           |
| März               | -39,4                       | -1,00°                                       | -40,4   | -0,1                        | -40,5                           |
| April              | -31,0                       | +0,12°                                       | -30,9   | 0                           | -30,9                           |
| Mai                | -20,1                       | +0,85°                                       | -19,5   | +0,1                        | -19,2                           |
| Juni               | -15,3                       | +0,86°                                       | -14,4   | +0,1                        | -14,5                           |
| Juli               | -10,8                       | -0,12° <small>anormal wenig Strahlg.</small> | -10,9   | 0                           | -10,9                           |
| Jahresdurchschnitt | -30,2                       |  | -30,85  |                             | -30,94                          |



Die Mitteltemperatur der Schneoberfläche runden wir auf  $-31^{\circ}\text{C}$  ab.

Wir wollen den Temperaturverlauf der Schneoberfläche harmonisch analysieren, d. h. in Form einer trigonometrischen Reihe darstellen, die den Beobachtungen möglichst gut gerecht wird. Es hat keinen Zweck, viele Glieder zu berechnen, da die Temperaturen sehr unregelmäßig verlaufen und auch in verschiedenen Jahren verschiedenen Verlauf haben.

Starke Abweichungen zeigt besonders der zu kalte November und der zu warme Dezember 1930.

Wir begnügen uns hier mit zwei trigonometrischen Gliedern, bestimmen also die Konstanten der Temperaturfunktion

$$\delta(t) = p_0 + p_1 \cdot \cos t + q_1 \cdot \sin t + p_2 \cos 2t + q_2 \sin 2t \\ = p_0 + a_1 \cdot \cos(A_1 + t) + a_2 \cdot \cos(A_2 + 2t)$$

so, daß die Quadratsumme der Abweichungen zwischen gemessenen und berechneten Monatsmitteln ein Minimum wird. Nach der Besselschen Formel (vgl. zum Beispiel Hann-Süring, „Lehrbuch der Meteorologie“, Anhang) ergeben sich die Werte der Konstanten unmittelbar aus den Gleichungen:

$$p_0 = \frac{1}{12} (\delta_0 + \delta_1 + \delta_2 + \dots + \delta_{11}) \\ p_1 = \frac{1}{6} (\mu_0 + \mu_1 \cdot \cos x + \mu_2 \cos 2x + \dots + \mu_{11} \cdot \cos 11x) \\ q_1 = \frac{1}{6} (0 + \mu_1 \sin x + \mu_2 \sin 2x + \dots + \mu_{11} \sin 11x) \\ p_2 = \frac{1}{6} (\mu_0 + \mu_1 \cos 2x + \mu_2 \cos 4x + \dots + \mu_{11} \cos 22x) \\ q_2 = \frac{1}{6} (0 + \mu_1 \sin 2x + \mu_2 \sin 4x + \dots + \mu_{11} \sin 22x)$$

Hierbei sind die  $\mu_i$  die beobachteten Abweichungen der Monatsmitteltemperaturen vom Jahresmittel. Bei der Berechnung der Konstanten wird von folgenden Werten ausgegangen:

|             | Juli  | Aug.  | Sept. | Okt.  | Nov.  | Dez.  | Januar | Febr. | März  | April | Mai   | Juni  |
|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $\delta$    | -10,9 | -17,7 | -22,6 | -36,7 | -44,8 | -40,5 | -44,0  | -49,2 | -40,5 | -30,9 | -19,2 | -14,5 |
| $\mu_i$     | +20,1 | +13,3 | +8,4  | -5,7  | -13,8 | -9,5  | -13,0  | -18,2 | -9,5  | +0,1  | +11,8 | +16,7 |
| $i \cdot x$ | 0°    | 30°   | 60°   | 90°   | 120°  | 150°  | 180°   | 210°  | 240°  | 270°  | 300°  | 330°  |

Nach einigen Zwischenrechnungen ergeben sich die Konstanten:

$$p_0 = -31,0^\circ \\ p_1 = 17,46^\circ \quad q_1 = -1,65^\circ \\ p_2 = 2,6^\circ \quad q_2 = -1,6^\circ \\ a_1 = 17,54^\circ \quad A_1 = 0,1091 \quad \text{A}_1 = 6^\circ 15' \\ a_2 = 3,03^\circ \quad A_2 = 0,4858 \quad \text{A}_2 = 27^\circ 50'.$$

Die Halbamplituden und Phasenwinkel unterscheiden sich merklich von denen, die J. P. Koch und A. Wegener nach den Beobachtungen von Danmarkshavn ihrer Diskussion der Firntemperaturen zugrunde gelegt haben.

Die Temperatur der Schneeoberfläche in Eismitte wird also durch folgende trigonometrische Reihe so dargestellt, daß die angegebene Bedingung erfüllt ist:

$$(1) \quad \delta(t) = -31,0^\circ + 17,54^\circ \cdot \cos(6^\circ 15' + t) + 3,03^\circ \cdot \cos(27^\circ 50' + 2t)$$

Hierbei ist die Zeit  $t$  unter dem Kosinus so zu nehmen, daß  $t=30^\circ$  einen Monat bedeutet. Der Anfangspunkt der Zeitrechnung ( $t=0$ ) ist der

15. Juli.  $-31^\circ$  ist die mittlere Jahrestemperatur,  $17,54^\circ \cdot \cos(6^\circ 15' + t)$  stellt die Jahreswelle,  $3,03^\circ \cdot \cos(27^\circ 50' + 2t)$  die Halbjahreswelle der Temperatur dar. Die Jahreswelle erreicht ihr Maximum für  $t = -6^\circ 15'$ , d. h. 6 Tage vor dem 15. Juli, also am 9. Juli. Die Halbjahreswelle erreicht ihr Maximum für  $2t = -27^\circ 50'$ ,  $t = -14^\circ$ , also 14 Tage vor dem 15. Juli, d. h. am 1. Juli. Das zweite Maximum liegt auf dem 1. Januar.

Berechnet man für  $t = 0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ$  usw. die Funktionswerte  $\delta(t)$ , so ergeben sich ausgeglichenen mittlere Monatstemperaturen der Schneoberfläche. Diese sind mit den beobachteten Werten nebst den Abweichungen in der folgenden Tabelle vereint.

Temperaturabweichungen vom Jahresmittel der Schneoberfläche  
in Graden Celsius.

|                | Beobachtet | Berechnet<br>nach harmonischer<br>Analyse | Differenz<br>Beobachtet — berechnet |
|----------------|------------|---|-------------------------------------|
| Juli 1951      | +20,1      | +20,12                                    | -0,02                               |
| August 1950    | -15,5      | -14,25                                    | -0,95                               |
| September 1950 | +8,4       | +4,49                                     | +3,91                               |
| Oktober 1950   | -5,7       | -4,59                                     | -1,11                               |
| November 1950  | -15,8      | -10,48                                    | -5,52                               |
| Dezember 1950  | -9,5       | -15,48                                    | +5,98                               |
| Januar 1951    | -13,0      | -14,76                                    | +1,76                               |
| Februar 1951   | -18,2      | -14,05                                    | -4,17                               |
| März 1951      | -9,5       | -9,65                                     | +0,15                               |
| April 1951     | +0,1       | -0,77                                     | +0,87                               |
| Mai 1951       | -11,8      | +10,27                                    | +1,55                               |
| Juni 1951      | +16,7      | +18,62                                    | -1,92                               |
| Juli 1951      | +20,1      | +20,12                                    | -0,02                               |

Die graphische Darstellung des Temperaturverlaufs an der Oberfläche nach den Beobachtungen und Berechnungen gibt ein Bild von der Anpassung der trigonometrischen Reihe an den wirklichen sehr unregelmäßigen Temperaturverlauf. (Siehe die Zeichnung S. 234.)

#### E. Berechnung der Firntemperaturen mit der Poissonschen Funktion.

Wir setzen voraus, daß die Temperaturänderungen an der Schneoberfläche gemäß der aufgestellten Temperaturfunktion erfolgen. Nach der Theorie der Wärmeleitung pflanzen sich periodische Temperaturänderungen der Oberfläche gemäß der Poissonschen Funktion in die Tiefe fort. Der Zusammenhang zwischen den Temperaturschwingungen an einer ebenen, gleichbleibenden Oberfläche und in der Tiefe  $x$  cm wird durch folgende

Funktionen dargestellt: Hat die Temperaturschwingung an der Oberfläche (d. h. für die Tiefe  $x=0$ ) die Form

$$\delta(0,t) = R_0 \cdot \cos\left(2\pi \frac{t}{T}\right),$$

so wird die Temperatur in einer Tiefe  $x$  cm und zur Zeit  $t$  dargestellt durch die Funktion

$$\delta(x,t) = R_0 \cdot e^{-x} \sqrt{\frac{\pi}{Ta}} \cdot \cos\left[2\pi \frac{t}{T} - x \sqrt{\frac{\pi}{Ta}}\right]$$

Hierbei ist  $R_0$  die Halbamplitude der Temperatur an der Oberfläche,

$T$  die Periode (bei unserer Zerlegung kommen die Periodenlängen 1 Jahr und  $\frac{1}{2}$  Jahr vor),

$a$  die Temperaturleitzahl des Firns,

$e = 2,71828\dots$  die Basis der natürlichen Logarithmen,

$\pi = 3,14159\dots$

$R_x = R_0 \cdot e^{-x} \cdot \sqrt{\frac{\pi}{Ta}}$  stellt die verkleinerte Halbamplitude in der Tiefe  $x$  dar,

$-x \sqrt{\frac{\pi}{Ta}}$  ist die Phasenverschiebung der Welle in der Tiefe  $x$  gegenüber der Welle an der Oberfläche.

Der Anfangspunkt der Zeitmessung ist der 15. Juli. Die Zeit  $t$  wird in derselben Einheit gemessen wie die Periodenlänge  $T$ .

Die Voraussetzungen der Poissonschen Formel (konstante ebene Oberfläche, periodische Temperaturschwingung an der Oberfläche, konstante Temperaturleitzahl  $a$ ) treffen in Wirklichkeit in Eismitte nicht zu, wie schon aus der Aufzählung der verschiedenen Störungsgruppen ersichtlich wurde. Alfred Wegener hoffte, durch Temperaturnessungen an der zentralen Firnstation ein Beobachtungsmaterial zu gewinnen, „welches nicht nur die Ableitung des Wärmeleitungscoeffizienten des Firns gestattet, sondern auch den ganzen Vorgang des Abklingens der oberflächlichen Jahresschwankung mit der Tiefe und ihre zunehmende Phasenverzögerung voraussichtlich in einer Reinheit darstellen wird, wie sie kaum an einer anderen Stelle der Erde erreicht werden kann“ (Alfred Wegeners Expeditionsprogramm).

Tatsächlich sind die Verhältnisse verwickelter gewesen, als Alfred Wegener annahm. Die einfache Diskussion der Firntemperaturnessungen auf Koch und Wegeners 7 m tiefer Aufgrabung berücksichtigt nicht die Temperaturschwankungen der einzelnen Jahre, die Veränderlichkeit der

Wärmeleitung des Firns und die Firnschrumpfung. Der Einfluß des Schneeauftrags wird nur am Schluß als eine Erklärungsmöglichkeit erwähnt.

Wegen der sich überdeckenden Störungen und Abweichungen von den Voraussetzungen der Poissonschen Funktion wäre es falsch, wollte man nach der Methode der kleinsten Quadrate die Temperaturleitzahl  $a$  ermitteln. Denn diese ist keine Konstante, sondern selbst eine Funktion der Firndichte. Außerdem machen sich die Lufttemperaturen früherer Jahre in den größeren Schachttiefen zur Zeit unserer Messungen bemerkbar, so daß die Firntemperaturen nicht allein durch die Poissonsche Funktion dargestellt werden können. Es bleibt nichts anderes übrig, als mit verschiedenen Annahmen Ansätze zu versuchen und an Hand der Temperaturmessungen die Richtigkeit der Ansätze zu prüfen. Diese Versuche können wegen des zu großen Umfangs der Rechnungen nicht wiedergegeben werden. Hier ist die Stelle, um den Herren Kurt Kaczmarek und Werner Knoll dafür zu danken, daß sie bei diesen langwierigen Versuchen durch Ausführung und Prüfung vieler Rechnungen und Zeichnungen einen großen Teil der Arbeit übernommen haben. Wir werden das Hauptergebnis gleich vorwegnehmen und auf dieser Grundlage die Firntemperaturen berechnen. Die Rechnungen werden zeigen, daß die gemachten Annahmen die Beobachtungen gut wiedergeben. Darin liegt dann die Begründung, daß die Annahmen richtig sind.

Die Temperaturleitzahl des Firns wird am besten in Übereinstimmung mit früheren Messungen durch die Funktion

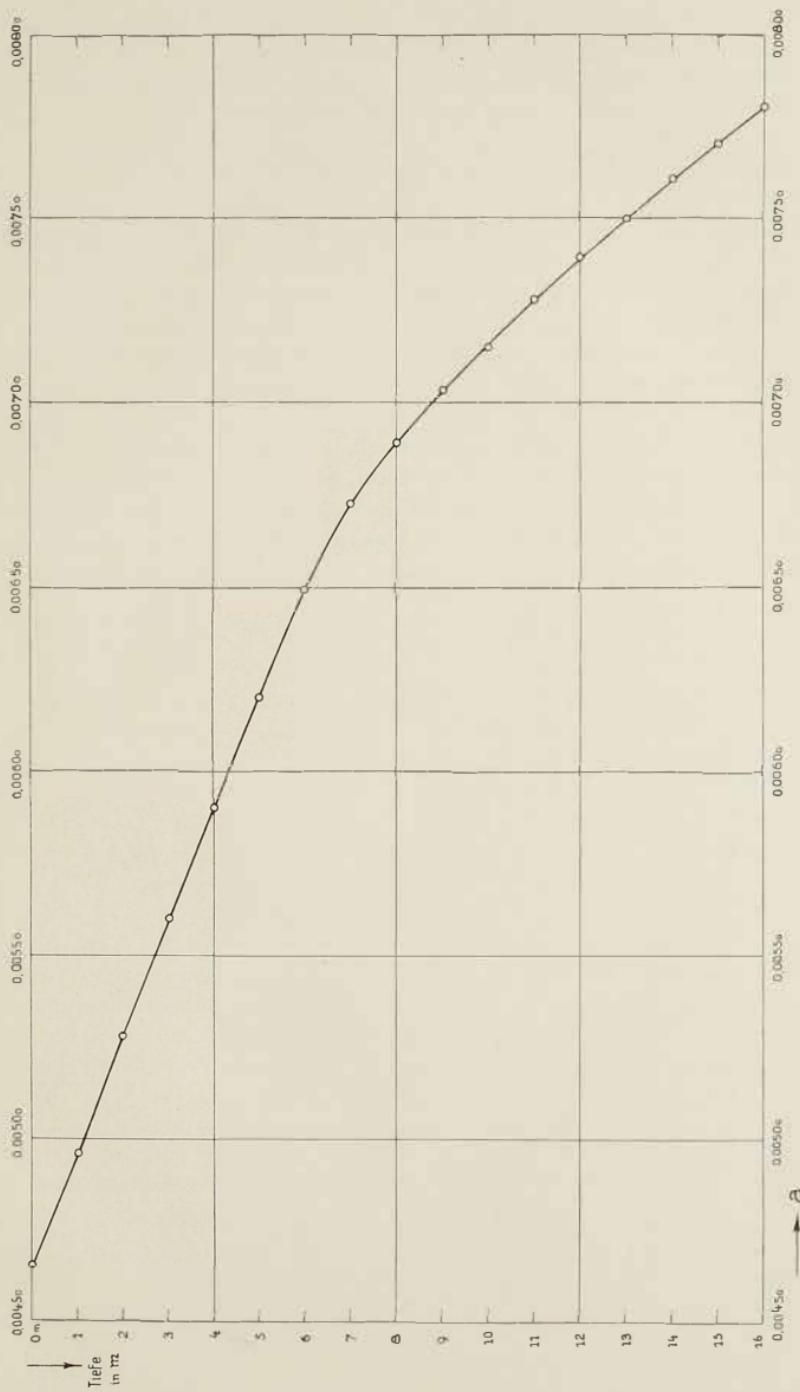
$$a = 0,01375 \cdot s(x)$$

$$= 0,0066 \cdot \frac{s(x)}{c}$$

dargestellt, wobei  $s(x)$  die Firndichte in der Tiefe  $x$  und  $c=0,48$  die spezifische Wärme des Eises bedeutet. Unter Benutzung unserer Dichtekurve erhalten wir dann folgende Tabelle für die Temperaturleitfähigkeit des Firns:

Temperaturleitzahl des Firns

| Tiefe<br>m | Dichte<br>$s$ | Temperatur-<br>leitzahl<br>$a$ | Tiefe<br>m | Dichte<br>$s$ | Temperatur-<br>leitzahl<br>$a$ |
|------------|---------------|--------------------------------|------------|---------------|--------------------------------|
| 0          | 0,538         | 0,00465                        | 9          | 0,511         | 0,00705                        |
| 1          | 0,561         | 0,00496                        | 10         | 0,520         | 0,00715                        |
| 2          | 0,584         | 0,00528                        | 11         | 0,529         | 0,00728                        |
| 3          | 0,407         | 0,00560                        | 12         | 0,537         | 0,00739                        |
| 4          | 0,429         | 0,00590                        | 13         | 0,545         | 0,00750                        |
| 5          | 0,451         | 0,00620                        | 14         | 0,555         | 0,00761                        |
| 6          | 0,472         | 0,00649                        | 15         | 0,560         | 0,00770                        |
| 7          | 0,489         | 0,00673                        | 16         | —             | 0,00780                        |
| 8          | 0,501         | 0,00689                        |            |               |                                |

Abb. 44. Temperaturleitzahl  $a$  des Firs.

Genau genommen, schwankt  $a$  mit der Dichte der Sommer- und Winterschichten. Von diesen sehr kleinen Schwankungen darf man aber wohl absehen, da andere Fehlerquellen weit größer sind. Entsprechend der Dichtekurve hat die Kurve der Temperaturleitzahl des Firns bei 7 m Tiefe die stärkste Krümmung. Unterhalb 7 m nimmt die Temperaturleitfähigkeit des Firns viel langsamer zu als in den obersten 7 m.

Beim Ansatz der Poissonschen Formel darf man wegen des veränderlichen  $a$  die Temperatur nicht unmittelbar für große Tiefenwerte von  $x$  berechnen, sondern muß schrittweise, zum Beispiel von Meter zu Meter, in die Tiefe gehen. Die Temperaturschwingung an der Oberfläche ruft eine neue Schwingung in 100 cm Tiefe hervor. Die Halbamplitude  $R_{100}$  und der Phasenwinkel  $\alpha_{100}$  dieser Schwingung wird berechnet. Dabei wird der mittlere Wert von  $a$  zwischen den Tiefen 0 und 100 cm benutzt ( $a = 0,0048$ ). Von der so gefundenen Welle in 100 cm Tiefe ausgehend, wird wieder 100 cm tiefer gegangen, d. h. in der Poissonschen Formel ist  $x$  nochmals gleich 100 cm zu setzen. Für  $a$  wird der Mittelwert zwischen den Tiefen 100 und 200 cm ( $a = 0,0051$ ) benutzt. So erhält man  $R_{200}$  und  $\alpha_{200}$  usw. Jedesmal ist beim Fortschreiten um 100 cm  $a$  zu ändern. Damit ändert sich auch  $x \sqrt{\frac{\pi}{T_a}}$ , wobei jedesmal  $x = 100$  zu setzen ist. Für die Jahreswelle beträgt  $T = 31\,558\,000$  sec. Für alle Tiefen werden die Werte  $100 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{T_a}}$  berechnet. Wird die Größe  $100 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{T_a}}$  als Bogenmaß eines Winkels aufgefaßt, so bedeutet dieser Winkel die Phasenverschiebung der Welle bei einem Tiefergehen um 100 cm. Mit wachsender Temperaturleitfähigkeit des Firns, also mit größerer Tiefe, wird die Phasenverschiebung auf 100 cm immer geringer, da  $a$  im Nenner steht. Von 0 bis 100 cm Tiefe beträgt sie für die Jahreswelle  $26^\circ 05'$  oder rund 26 Tage, von 100 bis 1300 cm nur noch  $20^\circ 58'$  oder rund 21 Tage (360 Winkelgrade entsprechen 365 Tagen). Die Phasenverschiebung von Meter zu Meter findet man in der Tabelle auf S. 241, Spalte 4. Die gesamte Phasenverspätung von der Oberfläche bis zu einer beliebigen Tiefe  $x$  erhält man durch Addition der einzelnen für 100 cm berechneten Phasenverschiebungen. Zum Beispiel besteht für die Jahreswelle zwischen der Oberfläche und 300 cm Tiefe ein Phasenunterschied von  $26^\circ 05' + 25^\circ 20' + 24^\circ 38' = 76^\circ 03'$  oder 77 Tagen usw. Außer der Phasenverschiebung wird von Meter zu Meter die Amplitudenverkleinerung berechnet. Beim Tiefergehen von 0 bis 100 cm ist die Amplitude durch den Ausdruck  $e^{100 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{T_a}}} = 1,576$  zu dividieren. Die Amplitude in 100 cm beträgt also  $\frac{17,54}{1,576} = 11,15^\circ$ . Mit wachsender Tiefe sind stets die entsprechenden Werte von  $a$  bei der Amplitudenverkleinerung in den Divisor  $e^{100 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{T_a}}}$  einzusetzen. Da  $a$  mit der Tiefe wächst, verlangsamt sich die Amplitudenver-

kleinerung allmählich und beträgt beim Übergang von 1500 zu 1600 cm Tiefe nur noch 1,430. Die gesamte Amplitudenverkleinerung von der Oberfläche bis zu einer beliebigen Tiefe  $x$  erhält man durch Multiplikation aller Divisoren. Zum Beispiel beträgt die Amplitude der Jahreswelle in 200 cm Tiefe  $\frac{17,54}{1,576 \cdot 1,556} = \frac{17,54}{2,452} = 7,15^\circ$ . In 900 cm Tiefe ist sie auf rund  $\frac{1}{40}$  der Oberflächenamplitude gesunken usw. Entsprechende Rechnungen werden für die Halbjahrswelle durchgeführt. Dabei ist  $T = 15\,779\,000$  sec.

Nachdem die Phasenverschiebungen und Amplitudenverkleinerungen für alle Tiefen berechnet sind, erhält man durch Einsetzen in die Poissonsche Formel die Temperaturfunktionen für alle Zeiten und Tiefen. Die geringen Unterschiede in der Länge der Monate sind nicht berücksichtigt worden, da sie zu wenig ins Gewicht fallen. Für die Mitte aller Monate sind in der Tabelle auf S. 243 die Funktionswerte der Ganz- und Halbjahrswelle, d. h. die Temperaturabweichungen vom Temperaturnittel berechnet worden. Wie man sieht, klingt die Halbjahrswelle so schnell ab, daß ihr Einfluß in 1000 cm Tiefe unter 0,01° bleibt, also unmerklich wird. Darum sind die Funktionswerte der Halbjahrswelle nur bis 1000 cm Tiefe berechnet worden.

Phasenverspätung und Amplitudenverkleinerung der Jahreswelle  
für alle Tiefen von 0 bis 18 m.

$$T = 31558\,000 \text{ sec}$$

| 1<br>Tiefe x<br>em | 2<br>Tem-<br>peratur-<br>leitzahl<br>a | 3<br>$100 \sqrt{\frac{\pi}{Ta}} = 100 \cdot w$ | 4<br>Winkel<br>von<br>$100 \sqrt{\frac{\pi}{Ta}}$ | 5<br>100 w ·<br>log e | 6<br>Ampli-<br>tuden-<br>divisor<br>auf 1 m =<br>$e^{100 w}$ | 7<br>Summe<br>der Loga-<br>rithmen<br>aus<br>Spalte 5 | 8<br>Amplitu-<br>dendivisor<br>für die<br>Tiefe von<br>0 bis x cm |
|--------------------|--|--|---|-----------------------|--|---|---|
| 0—100              | 0,00480                                | 0,455  | 26° 05'   | 0,1975                | 1,576  | 0,1975  | 1,576   |
| 100—200            | 0,00510                                | 0,442  | 25° 20'   | 0,1920                | 1,556  | 0,3895  | 2,452   |
| 200—300            | 0,00544                                | 0,430  | 24° 38'   | 0,1865                | 1,536  | 0,5760  | 3,767   |
| 300—400            | 0,00575                                | 0,417  | 23° 54'   | 0,1810                | 1,517  | 0,7570  | 5,715   |
| 400—500            | 0,00605                                | 0,405  | 23° 12'   | 0,1758                | 1,499  | 0,9328  | 8,567   |
| 500—600            | 0,00635                                | 0,395  | 22° 40'   | 0,1715                | 1,484  | 1,1043  | 12,71   |
| 600—700            | 0,00660                                | 0,389  | 22° 15'   | 0,1689                | 1,475  | 1,2732  | 18,76   |
| 700—800            | 0,00680                                | 0,383  | 21° 56'   | 0,1663                | 1,467  | 1,4395  | 27,51   |
| 800—900            | 0,00695                                | 0,378  | 21° 41'   | 0,1641                | 1,459  | 1,6036  | 40,14   |
| 900—1000           | 0,00709                                | 0,375  | 21° 31'   | 0,1627                | 1,454  | 1,7663  | 58,385  |
| 1000—1100          | 0,00721                                | 0,372  | 21° 19'   | 0,1614                | 1,450  | 1,9277  | 84,66   |
| 1100—1200          | 0,00733                                | 0,369  | 21° 09'   | 0,1601                | 1,446  | 2,0878  | 122,4   |
| 1200—1300          | 0,00744                                | 0,366  | 20° 58'   | 0,1588                | 1,441  | 2,2466  | 176,4   |
| 1300—1400          | 0,00755                                | 0,363  | 20° 48'   | 0,1576                | 1,437  | 2,4042  | 253,6   |
| 1400—1500          | 0,00765                                | 0,360  | 20° 38'   | 0,1564                | 1,434  | 2,5606  | 363,6   |
| 1500—1600          | 0,00775                                | 0,358  | 20° 31'   | 0,1554                | 1,430  | 2,7160  | 520,0   |
| 1600—1700          | 0,00785                                | 0,356  | 20° 25'   | 0,1545                | 1,427  | 2,8705  | 742,2   |
| 1700—1800          | 0,00795                                | 0,354  | 20° 19'   | 0,1537                | 1,425  | 3,0242  | 1057,3  |

Phasenverspätung und Amplitudenverkleinerung der Halbjahrswelle  
für alle Tiefen von 0 bis 14 m.

$T = 15779000 \text{ sec}$

| 1<br>Tiefe x<br>cm | 2<br>Tem-<br>peratur-<br>leitzahl<br>a | 3<br>$100 \cdot \sqrt{\frac{\pi}{Ta}} = 100 \cdot w$ | 4<br>Winkel<br>von<br>100 · w | 5<br>100 w ·<br>log e | 6<br>Ampli-<br>tuden-<br>divisor<br>auf 1 m =<br>$e^{100 w}$ | 7<br>Summe<br>der Loga-<br>rithmen<br>aus<br>Spalte 5 | 8<br>Ampli-<br>tudendivisor<br>für die<br>Tiefe von<br>0 bis x cm |
|--------------------|--|--|-------------------------------|-----------------------|--|---|---|
| 0—100              | 0,00480                                | 0,645  | 56° 58'                       | 0,2800                | 1,905  | 0,2800  | 1,905   |
| 100—200            | 0,00510                                | 0,626  | 35° 52'                       | 0,2718                | 1,870  | 0,5518  | 3,563   |
| 200—300            | 0,00544                                | 0,607  | 34° 48'                       | 0,2637                | 1,835  | 0,8155  | 6,539   |
| 300—400            | 0,00575                                | 0,589  | 33° 45'                       | 0,2560                | 1,803  | 1,0715  | 11,79   |
| 400—500            | 0,00605                                | 0,5735   | 32° 52'                       | 0,2486                | 1,773  | 1,3201  | 20,90   |
| 500—600            | 0,00635                                | 0,560  | 32° 05'                       | 0,2430                | 1,750  | 1,5631  | 36,57   |
| 600—700            | 0,00660                                | 0,550  | 31° 31'                       | 0,2387                | 1,733  | 1,8018  | 63,36   |
| 700—800            | 0,00680                                | 0,542  | 31° 04'                       | 0,2356                | 1,720  | 2,0374  | 109,0   |
| 800—900            | 0,00695                                | 0,536  | 30° 44'                       | 0,2328                | 1,709  | 2,2702  | 186,3   |
| 900—1000           | 0,00709                                | 0,531  | 30° 24'                       | 0,2306                | 1,701  | 2,5008  | 316,8   |
| 1000—1100          | 0,00721                                | 0,526  | 30° 05'                       | 0,2280                | 1,690  | 2,7288  | 535,55  |
| 1100—1200          | 0,00733                                | 0,521  | 29° 51'                       | 0,2260                | 1,683  | 2,9548  | 901,2   |
| 1200—1300          | 0,00744                                | 0,517  | 29° 38'                       | 0,2242                | 1,676  | 3,1790  | 1510  |
| 1300—1400          | 0,00755                                | 0,513  | 29° 24'                       | 0,2230                | 1,671  | 3,4020  | 2523  |

Temperaturfunktionen nach der Poissonschen Formel  
für alle Tiefen von 0 bis 16 m.

Von 11 m Tiefe an ist die Halbjahrswelle wegen ihrer zu geringen Amplitude fortgelassen.

| Tiefe<br>cm | Jahreswelle   | Halbjahrswelle |
|-------------|---|----------------|
| 0           | $17,54 \cdot \cos(6^\circ 15' + t) + 3,03 \cdot \cos(+ 27^\circ 50' + 2t)$        |                |
| 100         | $11,13 \cdot \cos(- 19^\circ 50' + t) + 1,590 \cdot \cos(- 9^\circ 08' + 2t)$     |                |
| 200         | $7,15 \cdot \cos(- 45^\circ 10' + t) - 0,850 \cdot \cos(- 45^\circ 00' + 2t)$     |                |
| 300         | $4,66 \cdot \cos(- 69^\circ 48' + t) + 0,368 \cdot \cos(- 79^\circ 48' + 2t)$     |                |
| 400         | $3,07 \cdot \cos(- 93^\circ 42' + t) + 0,257 \cdot \cos(- 113^\circ 33' + 2t)$    |                |
| 500         | $2,05 \cdot \cos(- 116^\circ 54' + t) + 0,1450 \cdot \cos(- 146^\circ 25' + 2t)$  |                |
| 600         | $1,38 \cdot \cos(- 139^\circ 34' + t) + 0,0829 \cdot \cos(- 178^\circ 30' + 2t)$  |                |
| 700         | $0,935 \cdot \cos(- 161^\circ 49' + t) + 0,0478 \cdot \cos(- 210^\circ 01' + 2t)$ |                |
| 800         | $0,638 \cdot \cos(- 183^\circ 45' + t) + 0,0278 \cdot \cos(- 241^\circ 05' + 2t)$ |                |
| 900         | $0,44 \cdot \cos(- 205^\circ 26' + t) + 0,016 \cdot \cos(- 271^\circ 49' + 2t)$   |                |
| 1000        | $0,30 \cdot \cos(- 226^\circ 57' + t) + 0,0096 \cdot \cos(- 302^\circ 13' + 2t)$  |                |
| 1100        | $0,21 \cdot \cos(- 248^\circ 16' + t)$  |                |
| 1200        | $0,14 \cdot \cos(- 269^\circ 25' + t)$  |                |
| 1300        | $0,10 \cdot \cos(- 290^\circ 23' + t)$  |                |
| 1400        | $0,07 \cdot \cos(- 311^\circ 11' + t)$  |                |
| 1500        | $0,048 \cdot \cos(- 331^\circ 49' + t)$   |                |
| 1600        | $0,0337 \cdot \cos(- 352^\circ 20' + t)$  |                |

§ Temperaturabweichungen vom Jahresmittel für die Jahres- und Halbjahrswelle nach der Poissonschen Temperaturfunktion,  
für alle Tiefen von 0 bis 16 m und die Mitte aller Monate.

Stehende Zahlen beziehen sich auf die Jahreswelle. — Liegende Zahlen beziehen sich auf die Halbjahrswelle.

| Tiefe<br>em | 15. 7.   | 15. 8.  | 15. 9.  | 15. 10. | 15. 11. | 15. 12. | 15. 1.  | 15. 2.  | 15. 3.  | 15. 4.  | 15. 5. | 15. 6.   | 15. 7.    |
|-------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|---------|--------|----------|-----------|
| 0           | 17,44    | 14,14   | 7,06    | - 1,91  | - 10,37 | - 16,05 | - 17,44 | - 14,14 | - 7,06  | 1,91    | 10,37  | 16,05    | 17,44     |
|             | + 2,68   | + 0,11  | - 2,57  | - 2,68  | - 0,11  | + 2,57  | + 2,68  | + 0,11  | - 2,57  | - 2,68  | - 0,11 | + 2,57   | + 2,68    |
| 100         | 10,47    | 10,96   | 8,51    | 3,78    | - 1,96  | - 7,18  | - 10,47 | - 10,96 | - 8,51  | - 3,78  | 1,96   | 7,18     | 10,47     |
|             | + 1,57   | + 1,00  | - 0,57  | - 1,57  | - 1,00  | + 0,57  | + 1,57  | + 1,00  | - 0,57  | - 1,57  | - 1,00 | + 0,57   | + 1,57    |
| 200         | 5,04     | 6,90    | 6,92    | 5,07    | 1,87    | - 1,83  | - 5,04  | - 6,90  | - 6,92  | - 5,07  | - 1,87 | 1,83     | 5,04      |
|             | + 0,60   | + 0,82  | + 0,22  | - 0,60  | - 0,82  | - 0,22  | + 0,60  | + 0,82  | + 0,22  | - 0,60  | - 0,82 | - 0,22   | + 0,60    |
| 300         | 1,61     | 3,58    | 4,59    | 4,37    | 2,98    | 0,79    | - 1,61  | - 3,58  | - 4,59  | - 4,37  | - 2,98 | 0,79     | 1,61      |
|             | + 0,0552 | + 0,35  | + 0,28  | - 0,07  | - 0,35  | - 0,28  | + 0,07  | - 1,03  | + 0,28  | - 0,07  | - 0,35 | - 0,28   | + 0,07    |
| 400         | - 0,20   | 1,36    | 2,55    | 3,06    | 2,75    | 1,70    | 0,20    | - 1,36  | - 2,55  | - 3,06  | - 2,75 | - 1,40   | - 0,20    |
|             | - 0,10   | + 0,15  | + 0,26  | + 0,10  | - 0,15  | - 0,26  | - 0,10  | + 0,15  | + 0,26  | 1 0,10  | - 0,15 | - 0,26   | - 0,10    |
| 500         | - 0,93   | 0,11    | 1,12    | 1,83    | 2,04    | 1,715   | 0,93    | - 0,11  | - 1,12  | - 1,83  | - 2,04 | - 1,715  | - 0,93    |
|             | - 0,12   | 0,01    | 0,13    | 0,12    | - 0,01  | - 0,13  | - 0,12  | 0,01    | 0,13    | 0,12    | - 0,01 | - 0,13   | - 0,12    |
| 600         | - 1,05   | - 0,46  | 0,25    | 0,89    | 1,30    | 1,36    | 1,05    | 0,46    | - 0,25  | - 0,89  | - 1,30 | - 1,36   | - 1,05    |
|             | - 0,08   | - 0,04  | + 0,04  | - 0,08  | + 0,04  | - 0,04  | - 0,08  | - 0,04  | + 0,04  | - 0,08  | - 0,04 | - 0,04   | - 0,08    |
| 700         | - 0,89   | - 0,62  | - 0,19  | 0,29    | 0,70    | 0,92    | 0,89    | 0,62    | 0,19    | - 0,29  | - 0,70 | - 0,92   | - 0,89    |
|             | - 0,04   | - 0,04  | 0,00    | + 0,04  | + 0,04  | 0,00    | - 0,04  | - 0,04  | 0,00    | + 0,04  | + 0,04 | 0,00     | - 0,04    |
| 800         | - 0,64   | - 0,57  | - 0,35  | - 0,04  | 0,28    | 0,53    | 0,636   | 0,57    | 0,35    | 0,04    | - 0,28 | - 0,53   | - 0,636   |
|             | - 0,01   | - 0,03  | - 0,01  | + 0,01  | + 0,03  | + 0,01  | - 0,01  | - 0,03  | - 0,01  | + 0,01  | + 0,03 | + 0,01   | - 0,01    |
| 900         | - 0,39   | - 0,44  | - 0,36  | - 0,19  | 0,03    | 0,24    | 0,39    | 0,44    | 0,36    | 0,19    | - 0,03 | - 0,24   | - 0,39    |
|             | - 1 0,00 | - 0,01  | - 0,01  | - 0,00  | + 0,01  | + 0,01  | 0,00    | - 0,01  | - 0,01  | 0,00    | + 0,01 | + 0,01   | 0,00      |
| 1000        | - 0,20   | - 0,29  | - 0,29  | - 0,22  | - 0,09  | 0,07    | 0,20    | 0,287   | 0,293   | 0,22    | 0,09   | - 0,07   | - 0,20    |
|             | + 0,005  | 0,00    | - 0,01  | - 0,005 | 0,00    | + 0,01  | + 0,005 | 0,00    | - 0,01  | - 0,005 | 0,00   | - 1 0,01 | - 1 0,005 |
| 1100        | - 0,077  | - 0,16  | - 0,205 | - 0,19  | - 0,13  | - 0,03  | 0,077   | 0,16    | 0,205   | 0,19    | 0,13   | 0,03     | - 0,077   |
| 1200        | - 0,001  | -- 0,07 | - 0,12  | - 0,14  | - 0,12  | - 0,07  | 0,001   | 0,07    | 0,12    | 0,14    | 0,12   | 0,07     | - 0,001   |
| 1300        | 0,03     | - 0,02  | - 0,06  | - 0,09  | - 0,10  | - 0,08  | - 0,03  | 0,02    | 0,06    | 0,09    | 0,10   | 0,08     | 0,03      |
| 1400        | 0,046    | 0,013   | - 0,02  | - 0,05  | - 0,068 | - 0,065 | - 0,046 | - 0,013 | 0,02    | 0,05    | 0,068  | 0,065    | 0,046     |
| 1500        | 0,043    | 0,025   | + 0,002 | - 0,023 | - 0,041 | - 0,048 | - 0,043 | - 0,025 | - 0,002 | 0,023   | 0,041  | 0,048    | 0,043     |
| 1600        | 0,0534   | 0,027   | 0,01    | - 0,005 | - 0,02  | - 0,03  | - 0,034 | - 0,027 | - 0,01  | 0,005   | 0,02   | 0,03     | 0,0334    |

Theoretische Abweichungen der Firntemperaturen vom Jahresmittel für alle Tiefen von 0 bis 16 m  
und die Mitte aller Monate.

(Die wahren Temperaturabweichungen stimmen mit den theoretischen sehr nahe überein.)

| Tiefe<br>em | 15. 7.   | 15. 8.  | 15. 9.  | 15. 10. | 15. 11. | 15. 12. | 15. 1.   | 15. 2.  | 15. 3.  | 15. 4.  | 15. 5.  | 15. 6.  |
|-------------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| 0           | + 20,12  | - 14,25 | - 4,49  | - 4,59  | - 10,48 | - 13,48 | - 14,76  | - 14,03 | - 9,63  | - 0,77  | + 10,27 | + 18,62 |
| 100         | + 12,04  | + 11,96 | - 7,94  | + 2,21  | - 2,96  | - 6,61  | - 8,90   | - 9,96  | - 9,08  | - 5,35  | - 0,96  | + 7,75  |
| 200         | + 5,64   | - 7,72  | - 7,14  | + 4,47  | - 1,05  | - 2,05  | - 4,44   | - 6,08  | - 6,70  | - 5,67  | - 2,69  | + 1,61  |
| 300         | + 1,6752 | - 3,93  | - 4,87  | + 4,50  | - 2,63  | + 0,51  | - 1,54   | - 3,23  | - 4,31  | - 4,44  | - 3,33  | - 1,07  |
| 400         | - 0,30   | + 1,51  | + 2,81  | + 3,16  | + 2,60  | + 1,44  | - 0,10   | - 1,21  | - 2,29  | - 2,96  | - 2,90  | - 1,96  |
| 500         | - 1,05   | + 0,12  | + 1,25  | + 1,95  | + 2,03  | + 1,585 | + 0,81   | - 0,10  | - 0,99  | - 1,71  | - 2,05  | - 1,845 |
| 600         | - 1,13   | - 0,50  | - 0,26  | - 0,97  | - 1,34  | - 1,32  | + 0,97   | - 0,42  | - 0,21  | - 0,81  | - 1,26  | - 1,40  |
| 700         | - 0,93   | - 0,66  | - 0,19  | - 0,55  | - 0,74  | - 0,92  | + 0,85   | - 0,58  | + 0,19  | - 0,25  | - 0,66  | - 0,92  |
| 800         | - 0,646  | - 0,60  | - 0,36  | - 0,03  | + 0,31  | + 0,54  | - 0,626  | + 0,54  | - 0,34  | - 0,05  | - 0,25  | - 0,52  |
| 900         | - 0,39   | - 0,45  | - 0,37  | - 0,19  | - 0,04  | - 0,25  | - 0,39   | - 0,43  | - 0,35  | - 0,19  | - 0,02  | - 0,23  |
| 1000        | - 0,185  | - 0,29  | - 0,303 | - 0,225 | - 0,09  | 0,00    | - 0,205  | - 0,287 | - 0,283 | - 0,215 | + 0,09  | - 0,06  |
| 1100        | - 0,077  | - 0,16  | - 0,205 | - 0,19  | - 0,13  | - 0,05  | - 0,077  | - 0,16  | + 0,205 | + 0,19  | + 0,13  | - 0,03  |
| 1200        | - 0,001  | - 0,07  | - 0,12  | - 0,14  | - 0,12  | - 0,07  | - 0,001  | - 0,07  | - 0,12  | - 0,14  | - 0,12  | - 0,07  |
| 1300        | + 0,03   | - 0,02  | - 0,06  | - 0,09  | - 0,10  | - 0,08  | - 0,03   | - 0,02  | - 0,06  | - 0,09  | - 0,10  | + 0,08  |
| 1400        | + 0,046  | + 0,013 | - 0,02  | - 0,05  | - 0,068 | - 0,065 | - 0,046  | - 0,013 | + 0,02  | + 0,05  | + 0,068 | + 0,065 |
| 1500        | + 0,043  | + 0,025 | + 0,002 | - 0,023 | - 0,041 | - 0,048 | - 0,043  | - 0,025 | - 0,002 | + 0,023 | + 0,041 | + 0,048 |
| 1600        | + 0,0334 | - 0,027 | + 0,01  | - 0,005 | - 0,02  | 0,03    | - 0,0334 | - 0,027 | - 0,01  | + 0,005 | + 0,02  | + 0,03  |

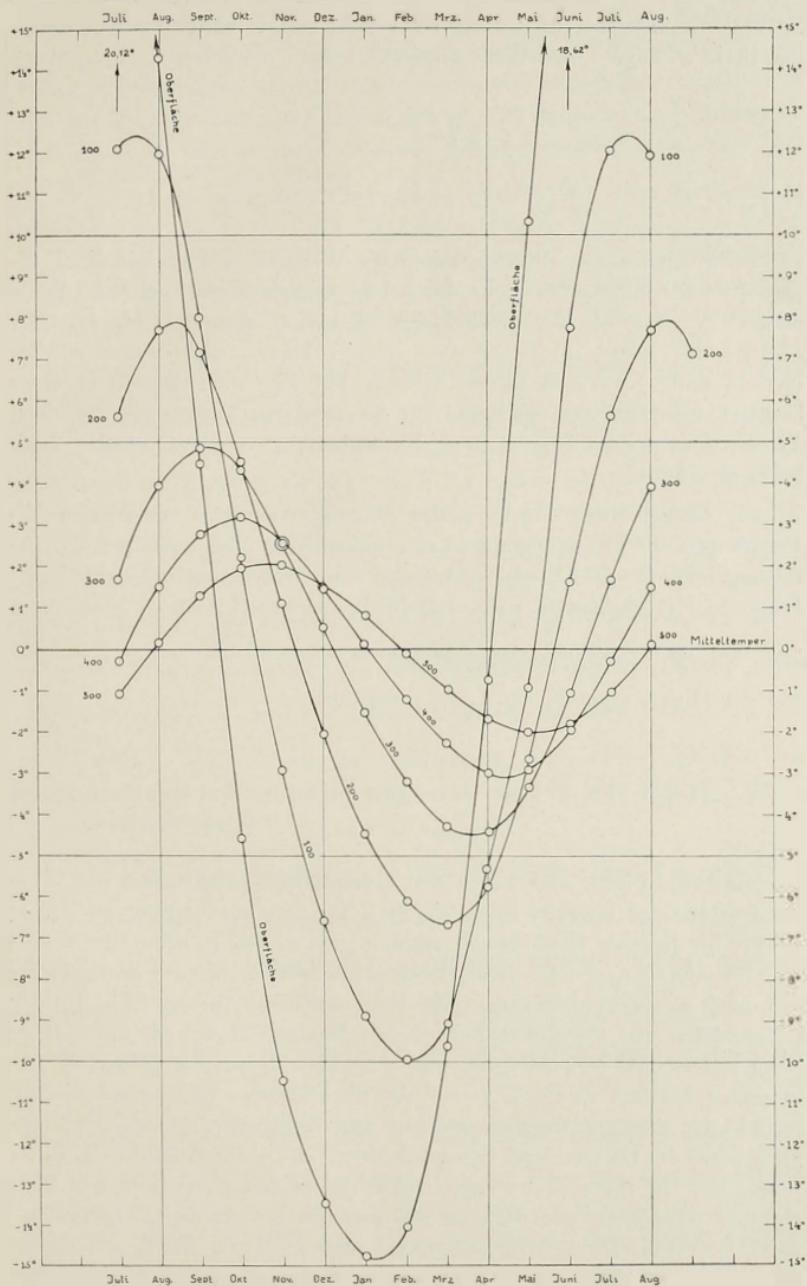


Abb. 45. Summe der Funktionswerte der Jahres- und Halbjahrswelle.

Die Amplitudenverkleinerung einer Schwingung hängt wesentlich von der Periodenlänge T der Welle ab, gemäß der Funktion

$$e^{-x\sqrt{\frac{\pi}{Ta}}} = \frac{1}{e^{x\sqrt{\frac{\pi}{Ta}}}}$$

Je kürzer T ist, desto schneller klingt die Welle ab. Hätten wir die Temperaturen der Schneoberfläche durch eine längere trigonometrische Reihe dargestellt, so würde der Einfluß der späteren Glieder ( $1/3$ ,  $1/4$ ,  $1/5$  usw. Jahreswelle) schon in Tiefen von einigen Metern nicht mehr zu bemerken sein. Auch aus diesem Grunde hat also die Aufstellung einer längeren trigonometrischen Reihe für die größeren Tiefen, die für einen Vergleich zwischen Theorie und Beobachtung besonders wichtig sind, keine Bedeutung.

Die Zahlen dieser Tabelle stellen also die theoretisch berechneten Abweichungen der Firntemperaturen vom Jahresmittel dar, unter der Voraussetzung, daß die periodisch verlaufende Oberflächentemperatur durch die Funktion  $\delta(t)$  dargestellt wird, daß die Poissonsche Funktionsbezeichnung gilt und daß a gemäß der Funktion  $a = 0,0066 \cdot \frac{s(x)}{c} = 0,01375 \cdot s(x)$  von der Dichte s (x) in der Tiefe x abhängt.

#### F. Vergleich zwischen den gemessenen und berechneten Temperaturen.

Die beobachteten und wegen der Thermometerkorrekturen und Temperaturstörungen im Schacht verbesserten Temperaturen werden zu Mittelwerten für je einen Drittelfrühling vereinigt und in den Tabellen von S. 250 bis 255 zusammengestellt. Diese Monatsdrittelfrühlinge sollen Dekaden genannt werden, auch wenn sie nicht genau zehn Tage umfassen. Die zeitliche Lage der beobachteten und theoretisch berechneten Maxima stimmt bis auf wenige Tage Unterschied überein. In 6 und 7 m Tiefe liegen die Zeiten der gemessenen Maxima einige Tage vor den berechneten. Der Grund hierfür liegt in der Wirkung unserer unterirdischen Hohlräume. Durch den Firngang drang im Oktober und November kalte Luft ein und kühlte die Firnwände ab. Die Kälte drang stark abgeschwächt einige Meter in den Firn ein und überlagerte die normale Wärnewelle des Sommers 1930. Dadurch wurde die normale Halbamplitude verringert, und das Maximum bildete sich nicht in normaler Größe aus, trat also etwas früher ein. Diese Störung tritt noch bis zu 7 m Tiefe auf. Die Verfrühung der Maxima in

6 und 7 m Tiefe beträgt rund 10—14 Tage. Die größeren Tiefen zeigen nichts mehr davon, was auch durchaus verständlich ist, da die Thermometer in der Schachttreppe schräg untereinander angeordnet waren und die tieferen Thermometer daher in senkrechter und waagerechter Richtung von dem Firngang weit entfernt, also den Störungen entzogen waren.

In 8—11 m Tiefe treten die gemessenen Maxima kurz nach den berechneten ein. In 11 m Tiefe fällt das gemessene Maximum um 6 Tage aus der Reihe heraus. In 12—15 m Tiefe ist die Übereinstimmung gut. Doch sind die Amplituden so klein, daß die Maximumszeiten in 14 und 15 m Tiefe nur noch annähernd festgestellt werden können.

Die berechneten Temperaturkurven beruhen auf dem Wert  $a = 0,0066 \frac{s}{c}$  für die Temperaturleitzahl des Firs. Daß die berechneten und gemessenen Maximumszeiten sehr dicht beieinanderliegen, bestätigt die Richtigkeit des Ausgangswerts. Es bleibt noch die Frage: wie genau ist durch die Messungen die Temperaturleitzahl bestimmt? Oder umgekehrt: um wieviel verschieben sich die Maximumszeiten, wenn  $a$  geändert wird? Zur Beantwortung dieser Fragen wurden für alle Tiefen die Temperaturfunktionen mit den Ausgangswerten  $a = 0,0062 \frac{s}{c}$  und  $a = 0,0070 \frac{s}{c}$  berechnet. Damit verändern sich die Amplituden und die Phasen gegenüber dem Fall  $a = 0,0066 \frac{s}{c}$ . Beim Vergleich der drei Fälle kann man leicht sehen, welche Werte den gemessenen am nächsten kommen und kann auch interpolieren. Die Ergebnisse sind in den beiden Tabellen S. 256 zusammengestellt.

Wir betrachten zunächst die Eintrittszeiten der Temperaturmaxima. Der Wert  $a = 0,0070 \frac{s}{c}$  ist etwas zu groß. Die Temperaturleitung erfolgt zu schnell, die berechneten Maxima liegen gegenüber den gemessenen zu früh. Der Wert  $a = 0,0062 \frac{s}{c}$  paßt zu den Messungen in den Tiefen 8—11 m am besten, in 13 m Tiefe ebenso gut wie der Wert  $a = 0,0066$ . Dagegen in den Tiefen 12, 14 und 15 m paßt  $a = 0,0066 \frac{s}{c}$  noch besser. Da die Amplituden in den größten Tiefen nur noch schwach ausgeprägt sind und die Eintrittszeiten der Maxima nicht mehr so genau zu bestimmen sind, haben die Messungen in 8—13 m Tiefe das größte Gewicht. Die Temperaturleitzahl liegt danach zwischen  $0,0062 \frac{s}{c}$  und  $0,0066 \frac{s}{c}$ .

Beim physikalischen Vergleich der Maximumszeiten ist es vorteilhaft, die Temperaturwelle nur auf ihrer Wanderung von einer bestimmten Firntiefe zu einer anderen Firntiefe zu verfolgen und die Wärmeleitung durch die obersten Schichten von der Betrachtung auszuschließen, weil hier zu viele Störungen (zum Beispiel durch Wärmestrahlung, Schneeauftrag usw.) wirken. Wir wollen zum Beispiel die Zeiten vergleichen, die das Maximum bei verschiedenen Werten für  $a$  braucht, um von 8 m Tiefe, wo die Störungen aufgehört haben, in größere Tiefen vorzurücken. Beim Weg von 8 bis 13 m Tiefe brauchen die berechneten Maxima 113, 107 oder 103 Tage, je nach der Temperaturleitzahl  $a$ . Das beobachtete Maximum braucht für denselben Weg 105 Tage. Wie die Streuung in den Zwischenzeiten zeigt, ist diese Zeit mit einer Unsicherheit von einigen Tagen behaftet. Das Maximum läßt sich nicht auf den Tag genau bestimmen.

Dabei ist noch zu berücksichtigen, daß die Tiefen für die Messungen nur „Nenntiefen“ sind. Die wahren Tiefenunterschiede lassen sich aus der Firnschrumpfung ermitteln.

In den 105 Tagen oder  $3\frac{1}{2}$  Monaten, wo das Maximum von 8 m Tiefe bis 13 m Tiefe vorrückt (vom 25. Januar bis 10. Mai) sind diese Schichten um  $(3,00 - 2,58) \cdot 3,5 = 0,42 \cdot 3,5 = 1,47$  cm zusammengezschrumpft. Da aber die Wärmewelle in die Tiefe wandert, während der Firn schrumpft, wird der wahre Weg der Welle nur um den halben Betrag der Schrumpfung verkleinert, also um 0,735 cm, ein Betrag, der unterhalb der Genauigkeit der Tiefenmessung liegt. Man erkennt wieder, wie günstig es ist, sich auf größere Firntiefen zu beschränken. In diesem Fall liegt der Vorteil darin, daß der Firn seine Dichte nur sehr langsam vergrößert. Die Tiefendifferenzen zwischen 8 und 13 m bleiben daher während der Beobachtungszeit praktisch konstant. Dagegen vergrößern sich die Tiefen unter der jeweiligen Oberfläche um ziemlich große Beträge durch den Schneeauftrag, vermindert um die Schrumpfung aller Firnschichten von 0 m bis zur betrachteten Tiefe. Zwischen 23. Januar und 10. Mai werden dadurch die Nenntiefen um rund 20 cm vergrößert, d. h. wir vergleichen streng genommen die berechnete Wärmeleitung in 8—13 m Tiefe mit Messungen, die sich während der Meßzeit auf wachsende Tiefen (Zunahme von 8 m auf 8,20 m und von 13 m auf 13,20 m) beziehen. Die Zunahme der Wärmeleitzahl durch Bezugnahme auf den veränderlichen Anfangspunkt der Tiefenzählung (d. h. auf die jeweilige Schneeoberfläche) ist sehr gering. Nimmt die Tiefe von 8 m auf 8,20 m zu, so wächst die Temperaturleitzahl nur um 0,00003, also um einen Betrag, der weit unter der Meßgenauigkeit liegt. Beschränken wir uns also auf die Tiefen 8—13 m, so ist der Einfluß von Firnschrumpfung und Schneezuwachs

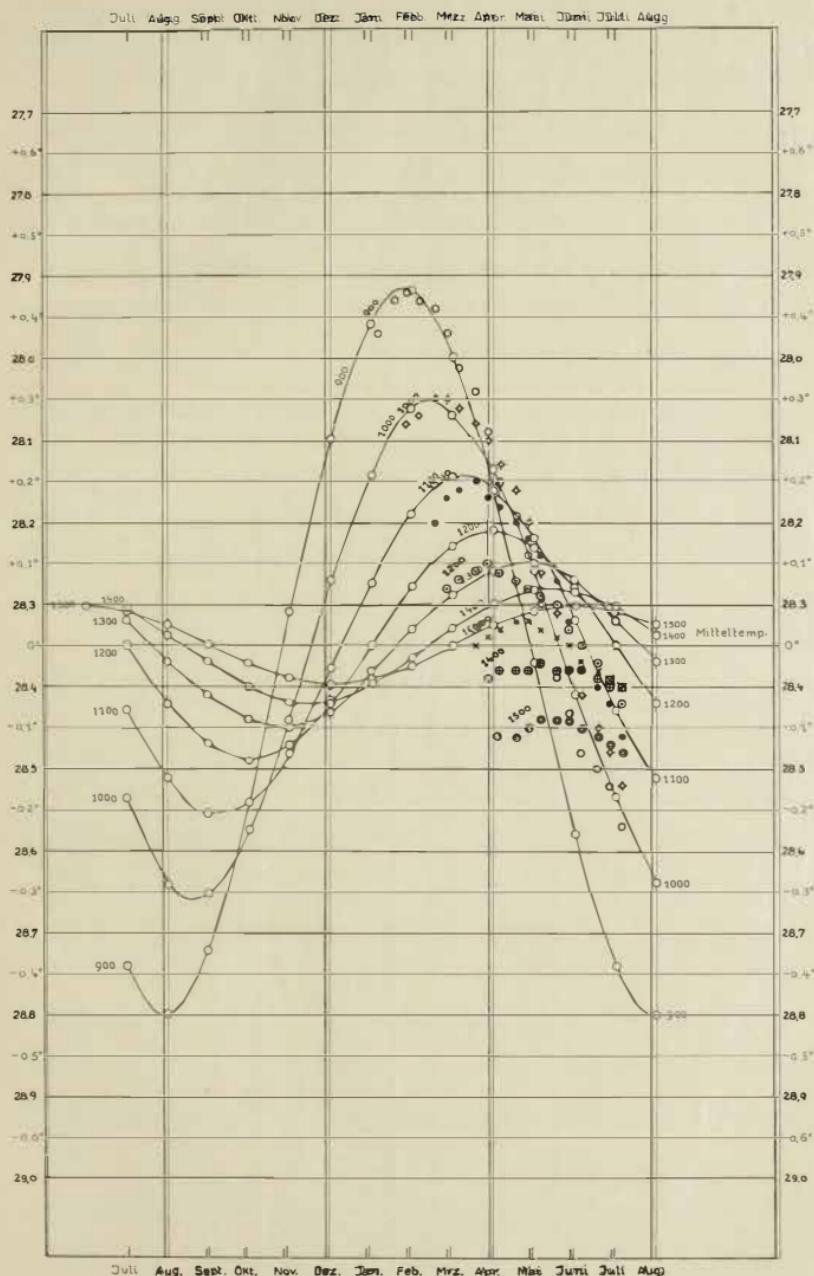
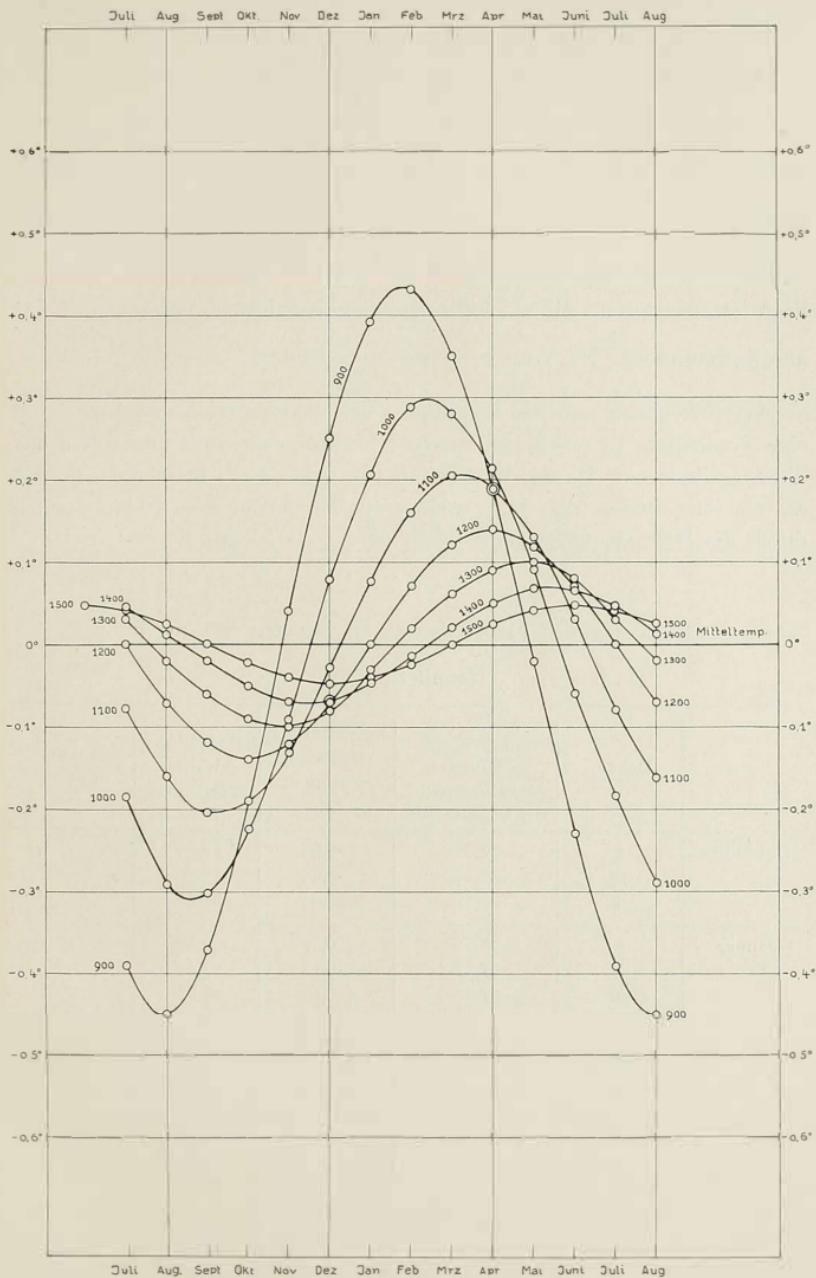


Abb. 46. Beobachtete Temperaturen. Die Temperaturen sind negativ.  
Berechnete Temperaturabweichungen von Jahresmittel.



Berechnete Temperaturabweichungen vom Jahresmittel.

auf die Temperaturleitzahl ummeßbar klein. Die gemessene Zeit für das Fortschreiten des Maximums von 8 m bis 13 m liegt mit 105 Tagen in der Mitte zwischen den mit  $a = 0,0066 \cdot \frac{s}{c}$  und mit  $a = 0,0070 \cdot \frac{s}{c}$  berechneten Zeiten. Danach würde also die Temperaturleitzahl zwischen  $0,0066 \cdot \frac{s}{c}$  und  $0,0070 \cdot \frac{s}{c}$  anzunehmen sein. Da die beiden Ergebnisse sich widersprechen, kann aus dem Vergleich der Eintrittszeiten der Maxima nur gefolgert werden, daß  $a$  zwischen den Werten  $0,0062 \cdot \frac{s}{c}$  und  $0,0070 \cdot \frac{s}{c}$  liegt. Darum haben wir als wahrscheinlich richtigsten Ausgangswert für alle Berechnungen den Wert  $a = 0,0066 \cdot \frac{s}{c}$  benutzt.

Wir berechnen nun die Amplituden für unsere drei Werte von  $a$ , um eine Vorstellung zu gewinnen, welchen Einfluß eine Änderung von  $a$  auf die Amplitude hat. Da wir nur Tiefen von 6 bis 15 m betrachten, genügt es, die Amplituden der Jahreswellen zu berechnen. Die Abänderungen durch die Halbjahrswelle gehen nicht über 0,02 hinaus.

#### Befreiung der Firntemperaturen von den Störungen.

##### Nenntiefe 6 m

| Monat    | Dekade | Mittel der Temperaturablesungen<br>(Standkorrektur ist angebracht) | Verbesserung wegen der Störungen im Schacht | Ungestörte wahre Temperatur | Monatsmittel |
|----------|--------|--|---|-----------------------------|--------------|
| Dezember | 1      | 27,20  | -0,05                                       | 27,25                       | 27,29        |
|          | 2      | 27,25  | -0,03                                       | 27,28                       |              |
|          | 3      | 27,32  | -0,03                                       | 27,35                       |              |
| Januar   | 1      | 27,35  | -0,07                                       | 27,42                       | 27,52        |
|          | 2      | 27,37  | -0,15                                       | 27,52                       |              |
|          | 3      | 27,52  | -0,10                                       | 27,62                       |              |
| Februar  | 1      | 27,65  | -0,10                                       | 27,75                       | 27,87        |
|          | 2      | 27,69  | -0,18                                       | 27,87                       |              |
|          | 3      | 27,84  | -0,15                                       | 27,99                       |              |
| März     | 1      | 28,11  | -0,02                                       | 28,13                       | 28,26        |
|          | 2      | 28,06  | -0,20                                       | 28,26                       |              |
|          | 3      | 28,50  | -0,10                                       | 28,40                       |              |
| April    | 1      | 28,48  | -0,05                                       | 28,53                       | 28,66        |
|          | 2      | 28,56  | -0,10                                       | 28,66                       |              |
|          | 3      | 28,55  | -0,25                                       | 28,80                       |              |

## Befreiung der Firntemperaturen von den Störungen (Fortsetzung).

| Monat | Dekade | Mittel der Temperatur-ablesungen | Verbesserung wegen der Störungen im Schacht | Ungestörte wahre Temperatur | Monats-mittel |
|-------|--------|----------------------------------|---|-----------------------------|---------------|
| Mai   | 1      | 28,74                            | -0,15                                       | 28,89                       | 28,97         |
|       | 2      | 28,84                            | -0,13                                       | 28,97                       |               |
|       | 3      | 29,04                            | 0,00  | 29,04                       |               |
| Juni  | 1      | 29,06                            | 0,00  | 29,06                       | 29,08         |
|       | 2      | 29,10                            | 0,00  | 29,10                       |               |
|       | 3      | 29,08                            | 0,00  | 29,08                       |               |
| Juli  | 1      | 29,07                            | 0,00  | 29,07                       | 29,01         |
|       | 2      | 29,00                            | 0,00  | 29,00                       |               |
|       | 3      | 28,97                            | 0,00  | 28,97                       |               |

## Nenntiefe 7 m

|          |   |       |       |       |       |
|----------|---|-------|-------|-------|-------|
| Dezember | 1 | —     | —     | —     | 27,60 |
|          | 2 | 27,60 | 0,00  | 27,60 | 27,60 |
|          | 3 | 27,60 | 0,00  | 27,60 |       |
| Januar   | 1 | 27,55 | -0,07 | 27,62 | 27,68 |
|          | 2 | 27,50 | -0,18 | 27,68 |       |
|          | 3 | 27,61 | -0,12 | 27,73 |       |
| Februar  | 1 | 27,65 | -0,12 | 27,77 | 27,82 |
|          | 2 | 27,56 | -0,25 | 27,81 |       |
|          | 3 | 27,70 | -0,17 | 27,87 |       |
| März     | 1 | 27,95 | -0,02 | 27,95 | 28,03 |
|          | 2 | 27,82 | -0,20 | 28,02 |       |
|          | 3 | 28,03 | -0,08 | 28,11 |       |
| April    | 1 | 28,15 | -0,05 | 28,20 | 28,30 |
|          | 2 | 28,20 | -0,10 | 28,30 |       |
|          | 3 | 28,21 | -0,18 | 28,39 |       |
| Mai      | 1 | 28,58 | -0,10 | 28,48 | 28,55 |
|          | 2 | 28,45 | -0,10 | 28,55 |       |
|          | 3 | 28,59 | -0,05 | 28,62 |       |
| Juni     | 1 | 28,69 | 0,00  | 28,69 | 28,73 |
|          | 2 | 28,73 | 0,00  | 28,73 |       |
|          | 3 | 28,77 | 0,00  | 28,77 |       |
| Juli     | 1 | 28,78 | 0,00  | 28,78 | 28,79 |
|          | 2 | 28,79 | 0,00  | 28,79 |       |
|          | 3 | 28,79 | 0,00  | 28,79 |       |

## Befreiung der Firntemperaturen von den Störungen (Fortsetzung).

Nenntiefe 8 m

| Monat   | Dekade | Mittel der Temperatur-ablesungen | Verbesserung wegen der Störungen im Schacht | Ungestörte wahre Temperatur | Monats-mittel |
|---------|--------|----------------------------------|---|-----------------------------|---------------|
| Januar  | 1      | —                                | —   | —                           | 27,80         |
|         | 2      | 27,75                            | —0,05                                       | 27,80                       |               |
|         | 5      | 27,66                            | —0,10                                       | 27,76                       |               |
| Februar | 1      | 27,65                            | —0,14                                       | 27,79                       | 27,84         |
|         | 2      | 27,65                            | —0,20                                       | 27,85                       |               |
|         | 5      | 27,74                            | —0,15                                       | 27,89                       |               |
| März    | 1      | 27,91                            | —0,04                                       | 27,95                       | 28,00         |
|         | 2      | 27,80                            | —0,20                                       | 28,00                       |               |
|         | 5      | 27,96                            | —0,09                                       | 28,05                       |               |
| April   | 1      | 28,04                            | —0,07                                       | 28,11                       | 28,17         |
|         | 2      | 28,06                            | —0,11                                       | 28,17                       |               |
|         | 5      | 28,07                            | —0,17                                       | 28,24                       |               |
| Mai     | 1      | 28,24                            | —0,06                                       | 28,30                       | 28,56         |
|         | 2      | 28,32                            | —0,04                                       | 28,36                       |               |
|         | 5      | 28,41                            | 0,00  | 28,41                       |               |
| Juni    | 1      | 28,44                            | 0,00  | 28,44                       | 28,50         |
|         | 2      | 28,49                            | 0,00  | 28,49                       |               |
|         | 5      | 28,56                            | 0,00  | 28,56                       |               |
| Juli    | 1      | 28,62                            | 0,00  | 28,62                       | 28,66         |
|         | 2      | 28,67                            | 0,00  | 28,67                       |               |
|         | 5      | 28,68                            | 0,00  | 28,68                       |               |

Nenntiefe 9 m

|         |       |       |       |       |       |
|---------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Januar  | 1     | —     | —     | —     | 27,97 |
| 2       | —     | —     | —     |       |       |
| 5       | 27,97 | 0,00  | 27,97 |       |       |
| Februar | 1     | 27,92 | —0,01 | 27,95 | 27,95 |
|         | 2     | 27,80 | —0,12 | 27,92 |       |
|         | 5     | 27,90 | —0,05 | 27,95 |       |
| März    | 1     | 27,92 | —0,02 | 27,94 | 27,97 |
|         | 2     | 27,80 | —0,17 | 27,97 |       |
|         | 5     | 27,96 | —0,05 | 28,01 |       |
| April   | 1     | 27,97 | —0,07 | 28,04 | 28,09 |
|         | 2     | 27,98 | —0,11 | 28,09 |       |
|         | 5     | 28,00 | —0,15 | 28,15 |       |

## Befreiung der Firntemperaturen von den Störungen (Fortsetzung).

| Monat | Dekade | Mittel der Temperaturablesungen | Verbesserung wegen der Störungen im Schacht | Ungestörte wahre Temperatur | Monatsmittel |
|-------|--------|---------------------------------|---|-----------------------------|--------------|
| Mai   | 1      | 28,09                           | -0,10                                       | 28,19                       | 28,24        |
|       | 2      | 28,17                           | -0,07                                       | 28,24                       |              |
|       | 3      | 28,30                           | -0,00                                       | 28,30                       |              |
| Juni  | 1      | 28,39                           | 0,00  | 28,39                       | 28,43        |
|       | 2      | 28,43                           | 0,00  | 28,43                       |              |
|       | 3      | 28,48                           | 0,00  | 28,48                       |              |
| Juli  | 1      | 28,50                           | 0,00  | 28,50                       | 28,53        |
|       | 2      | 28,52                           | 0,00  | 28,52                       |              |
|       | 3      | 28,57                           | 0,00  | 28,57                       |              |

## Nenntiefe 10 m

|         |             |                     |                   |                     |       |
|---------|-------------|---------------------|-------------------|---------------------|-------|
| Februar | 1<br>2<br>3 | —<br>28,08<br>28,07 | —<br>0,00<br>0,00 | —<br>28,08<br>28,07 | 28,08 |
| März    | 1           | 28,00               | -0,05             | 28,05               | 28,05 |
|         | 2           | 27,85               | -0,20             | 28,05               |       |
|         | 3           | 27,93               | -0,13             | 28,06               |       |
| April   | 1           | 27,98               | -0,10             | 28,08               | 28,10 |
|         | 2           | 27,94               | -0,16             | 28,10               |       |
|         | 3           | 27,93               | -0,20             | 28,13               |       |
| Mai     | 1           | 28,03               | -0,13             | 28,16               | 28,21 |
|         | 2           | 28,14               | -0,06             | 28,20               |       |
|         | 3           | 28,24               | -0,02             | 28,26               |       |
| Juni    | 1           | 28,31               | 0,00              | 28,31               | 28,37 |
|         | 2           | 28,38               | 0,00              | 28,38               |       |
|         | 3           | 28,41               | 0,00              | 28,41               |       |
| Juli    | 1           | 28,45               | 0,00              | 28,45               | 28,48 |
|         | 2           | 28,48               | 0,00              | 28,48               |       |
|         | 3           | 28,52               | 0,00              | 28,52               |       |

## Nenntiefe 11 m

|       |             |                         |                        |                         |       |
|-------|-------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|-------|
| März  | 1<br>2<br>3 | 28,20<br>28,12<br>28,08 | 0,00<br>-0,05<br>-0,08 | 28,20<br>28,17<br>28,16 | 28,18 |
| April | 1           | 28,00                   | -0,15                  | 28,15                   | 28,16 |
|       | 2           | 27,99                   | -0,17                  | 28,17                   |       |
|       | 3           | 27,98                   | -0,20                  | 28,18                   |       |

## Befreiung der Firntemperaturen von den Störungen (Fortsetzung).

| Monat | Dekade | Mittel der Temperaturablesung | Verbesserung wegen der Störungen im Schacht | Ungestörte wahre Temperatur | Monatsmittel |
|-------|--------|-------------------------------|---|-----------------------------|--------------|
| Mai   | 1      | 28,05                         | -0,15                                       | 28,20                       | 28,22        |
|       | 2      | 28,13                         | -0,09                                       | 28,22                       |              |
|       | 3      | 28,22                         | -0,02                                       | 28,24                       |              |
| Juni  | 1      | 28,27                         | 0,00  | 28,27                       | 28,32        |
|       | 2      | 28,32                         | 0,00  | 28,32                       |              |
|       | 3      | 28,38                         | 0,00  | 28,38                       |              |
| Juli  | 1      | 28,40                         | 0,00  | 28,40                       | 28,43        |
|       | 2      | 28,42                         | 0,00  | 28,42                       |              |
|       | 3      | 28,46                         | 0,00  | 28,46                       |              |

## Nenntiefe 12 m

|       |   |       |       |       |       |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|
| März  | 1 | —     | —     | —     | 28,28 |
|       | 2 | 28,28 | 0,00  | 28,28 |       |
|       | 3 | 28,25 | -0,02 | 28,27 |       |
| April | 1 | 28,18 | -0,08 | 28,26 | 28,26 |
|       | 2 | 28,10 | -0,15 | 28,25 |       |
|       | 3 | 28,10 | -0,16 | 28,26 |       |
| Mai   | 1 | 28,17 | -0,10 | 28,27 | 28,28 |
|       | 2 | 28,20 | -0,08 | 28,28 |       |
|       | 3 | 28,25 | -0,04 | 28,29 |       |
| Juni  | 1 | 28,29 | -0,01 | 28,30 | 28,33 |
|       | 2 | 28,33 | 0,00  | 28,33 |       |
|       | 3 | 28,36 | +0,01 | 28,35 |       |
| Juli  | 1 | 28,37 | 0,00  | 28,37 | 28,39 |
|       | 2 | 28,39 | 0,00  | 28,39 |       |
|       | 3 | 28,42 | 0,00  | 28,42 |       |

## Nenntiefe 13 m

|       |   |       |       |       |       |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|
| April | 1 | 28,55 | -0,02 | 28,55 | 28,34 |
|       | 2 | 28,25 | -0,09 | 28,34 |       |
|       | 3 | 28,15 | -0,18 | 28,33 |       |
| Mai   | 1 | 28,22 | -0,10 | 28,32 | 28,32 |
|       | 2 | 28,24 | -0,08 | 28,32 |       |
|       | 3 | 28,27 | -0,06 | 28,33 |       |

## Befreiung der Firntemperaturen von den Störungen (Fortsetzung).

| Monat | Dekade | Mittel der Temperaturablesung | Verbesserung wegen der Störungen im Schacht | Ungestörte wahre Temperatur | Monatsmittel |
|-------|--------|-------------------------------|---|-----------------------------|--------------|
| Juni  | 1      | 28,31                         | -0,03                                       | 28,34                       | 28,35        |
|       | 2      | 28,36                         | +0,01                                       | 28,35                       |              |
|       | 3      | 28,39                         | +0,02                                       | 28,37                       |              |
| Juli  | 1      | 28,39                         | +0,01                                       | 28,38                       | 28,39        |
|       | 2      | 28,38                         | -0,01                                       | 28,39                       |              |
|       | 3      | 28,40                         | 0,00  | 28,40                       |              |

## Nenntiefe 14 m

|       |   |       |       |       |       |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|
| April | 1 | —     | —     | —     |       |
|       | 2 | 28,39 | 0,00  | 28,39 |       |
|       | 3 | 28,27 | -0,11 | 28,38 |       |
| Mai   | 1 | 28,32 | -0,06 | 28,38 | 28,38 |
|       | 2 | 28,40 | -0,02 | 28,38 |       |
|       | 3 | 28,37 | 0,00  | 28,37 |       |
| Juni  | 1 | 28,38 | 0,00  | 28,38 | 28,38 |
|       | 2 | 28,38 | 0,00  | 28,38 |       |
|       | 3 | 28,38 | 0,00  | 28,38 |       |
| Juli  | 1 | 28,39 | 0,00  | 28,39 | 28,40 |
|       | 2 | 28,40 | 0,00  | 28,40 |       |
|       | 3 | 28,40 | 0,00  | 28,40 |       |

## Nenntiefe 15 m

|       |   |       |       |       |       |
|-------|---|-------|-------|-------|-------|
| April | 1 | —     | —     | —     |       |
|       | 2 | —     | —     | —     |       |
|       | 3 | 28,39 | -0,07 | 28,46 | 28,47 |
| Mai   | 1 | 28,41 | -0,05 | 28,46 |       |
|       | 2 | 28,41 | -0,04 | 28,45 |       |
|       | 3 | 28,43 | -0,01 | 28,44 |       |
| Juni  | 1 | 28,43 | -0,01 | 28,44 | 28,44 |
|       | 2 | 28,44 | 0,00  | 28,44 |       |
|       | 3 | 28,45 | 0,00  | 28,45 |       |
| Juli  | 1 | 28,46 | 0,00  | 28,46 | 28,47 |
|       | 2 | 28,47 | 0,00  | 28,47 |       |
|       | 3 | 28,48 | 0,00  | 28,48 |       |

## Eintrittszeiten der Temperaturmaxima in verschiedenen Firntiefen.

| Nenn-tiefe<br>m | gemessen                      | Tage   | berechnet                      |              |                                |              |                                |              |
|-----------------|-------------------------------|--------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|--------------------------------|--------------|
|                 |                               |        | $a = 0,0062 \cdot \frac{s}{c}$ | Tage         | $a = 0,0066 \cdot \frac{s}{c}$ | Tage         | $a = 0,0070 \cdot \frac{s}{c}$ |              |
| 6               | im November<br>(extrapoliert) | ?      | 9. Dezember                    | 22           | 4. Dezember                    | 22           | 29. November                   | 22           |
| 7               | 20. Dezember                  | 56     | ge-stört                       | 31. Dezember | 22                             | 26. Dezember | 22                             | 21. Dezember |
| 8               | 25. Januar                    | 21     | 22. Januar                     | 25           | 17. Januar                     | 22           | 12. Januar                     | 22           |
| 9               | 15. Februar                   | 23     | 14. Februar                    | 22           | 8. Februar                     | 21           | 3. Februar                     | 21           |
| 10              | 10. März                      | 26     | 8. März                        | 23           | 2. März                        | 21           | 24. Februar                    | 20           |
| 11              | 5. April                      | 10     | 31. März                       | 25           | 25. März                       | 22           | 16. März                       | 20           |
| 12              | 15. April                     | 25     | 23. April                      | 22           | 14. April                      | 21           | 5. April                       | 20           |
| 13              | 10. Mai                       | ca. 20 | 15. Mai                        | 22           | 5. Mai                         | 21           | 25. April                      | 21           |
| 14              | Ende Mai                      | ?      | 6. Juni                        | 23           | 26. Mai                        | 22           | 16. Mai                        | 20           |
| 15              | 20. Mai—20. Juni              |        | 29. Juni                       |              | 17. Juni                       |              | 5. Juni                        |              |

## Halbamplituden von 6 bis 15 m Tiefe.

| Nenntiefe<br>cm | B e r e c h n e t                  |                                    |                                    |                                    |                                    |                                    |
|-----------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
|                 | für $a = 0,0062 \cdot \frac{s}{c}$ |                                    | für $a = 0,0066 \cdot \frac{s}{c}$ |                                    | für $a = 0,0070 \cdot \frac{s}{c}$ |                                    |
|                 | Amplituden-<br>divisor N           | Halbamplitude<br>$\frac{17,54}{N}$ | Amplituden-<br>divisor N           | Halbamplitude<br>$\frac{17,54}{N}$ | Amplituden-<br>divisor N           | Halbamplitude<br>$\frac{17,54}{N}$ |
| 600             | 13,77                              | 1,28                               | 12,71                              | 1,38                               | 11,74                              | 1,49                               |
| 700             | 20,55                              | 0,86                               | 18,76                              | 0,94                               | 17,09                              | 1,03                               |
| 800             | 30,51                              | 0,58                               | 27,51                              | 0,64                               | 24,75                              | 0,71                               |
| 900             | 45,05                              | 0,59                               | 40,14                              | 0,44                               | 35,71                              | 0,49                               |
| 1000            | 66,35                              | 0,27                               | 58,39                              | 0,30                               | 51,32                              | 0,34                               |
| 1100            | 97,28                              | 0,18                               | 84,66                              | 0,21                               | 73,55                              | 0,24                               |
| 1200            | 142,2                              | 0,12                               | 122,4                              | 0,14                               | 105,1                              | 0,167                              |
| 1300            | 207,5                              | 0,085                              | 176,4                              | 0,10                               | 149,8                              | 0,117                              |
| 1400            | 302,0                              | 0,058                              | 253,6                              | 0,07                               | 212,9                              | 0,0825                             |
| 1500            | 438,0                              | 0,040                              | 363,6                              | 0,05                               | 302,1                              | 0,058                              |

Die berechneten Amplituden sind nicht ohne weiteres mit den beobachteten zu vergleichen, weil die ersteren für wahre Tiefen gelten, die letzteren für Nenntiefen, die infolge von Schneeauftrag und Schrumpfung stets anderen wahren Tiefen entsprechen. Durch das Zusammenwirken der Temperaturschwankungen mit dem Schneeauftrag und der Firnschrumpfung entsteht folgender Vorgang:

Im Sommer, zur Zeit des Temperaturmaximums (1. Maximum) an der Oberfläche, sind die Niederschläge gering, die Oberfläche ist im Juni und Juli nahezu konstant. Das erste Maximum wandert im Herbst und

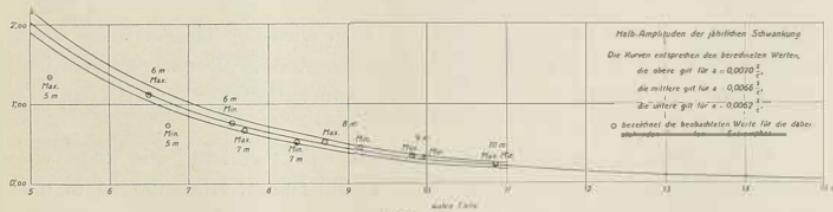


Abb. 47.

Winter abwärts. Zu dieser Zeit fallen die meisten Niederschläge, d. h. die Oberfläche wandert aufwärts. Zugleich schrumpft der Firn. Zu jedem Zeitpunkt ist daher der Abstand zwischen 1. Maximum und der Oberfläche gleich dem Weg, den die Welle in unveränderlichem Firn zurückgelegt hätte, vermindert um den halben Betrag der Schrumpfung und vermehrt um den Zuwachs an der Oberfläche. Im Januar oder Februar tritt an der Oberfläche das Minimum ein (1. Minimum). Der Abstand zwischen 1. Maximum und 1. Minimum ist also: wahrer Weg der Welle in unveränderlichem Firn plus Schneeauftrag minus Firnschrumpfung. Die Niederschläge fallen zum großen Teil in den Monaten der Umgebung des sehr unregelmäßig ausgebildeten Minimums. Daher ist

es im Gegensatz zum Maximum nicht möglich, eine bestimmte Inlandeisoberfläche anzugeben, von wo aus der Weg des Minimums gezählt wird. Zum Beispiel fiel während unserer Überwinterung von Oktober 1930 bis Ende Januar 1931 72 cm Schnee, bis Ende Februar 100 cm Schnee.

Eine zweite Unsicherheit entsteht dadurch, daß die Temperatur des Minimums durch den Schneeauftrag verfälscht wird. Die Hauptmenge der Niederschläge fällt nämlich im Winter bei Temperaturen, die hoch über dem Durchschnitt der Wintermonate liegen. Fällt zum Beispiel an einem Tage bei  $-20^{\circ}\text{C}$  25 cm Schnee, so haben von dieser Zeit an plötzlich die obersten 25 cm des Inlandeises eine Temperatur von  $-20^{\circ}\text{C}$ . Die Wirkung dieses Zuwachses auf die Schneetemperaturen ist ähnlich, als wenn die Schneeoberfläche 8 Tage lang einer Temperatur von  $-20^{\circ}\text{C}$  ausgesetzt worden wäre, während doch tatsächlich die warmen Temperaturen nur kurze Zeit dauern. So starke Schneeaufträge kommen zwar nur einige Male im Winter vor, aber ihre Folge ist doch eine kleine Erhöhung der Firntemperaturen gegenüber der mittleren Temperatur der Schneeoberfläche.

Als Folge dieser Erscheinung ergibt sich noch eine weitere Abweichung von der Theorie der Wärmeleitung. Der plötzlich gefallene Schneezuwachs hat annähernd gleiche Temperatur, verhält sich also unmittelbar nach seiner Bildung wie ein Stoff mit unendlich großer Wärmeleitfähigkeit; denn die Temperaturen sind innerhalb des Schneezuwachses vollständig ausgeglichen. Diese Abweichung von der Theorie ist aber unerheblich, da sie verhältnismäßig kleine Firnschichten betrifft.

Sind nun die meisten Niederschläge schon vor dem Eintritt des Minimums gefallen (wie in Eismitte 1930/31), so wird der Tiefenabstand zwischen Maximum und Minimum (zur gleichen Zeit gemessen) beträchtlich vergrößert, die Länge der unteren Temperaturhalbwelle  $\varphi(x, t=\text{const.})$  wird dadurch vergrößert.

Wenn oben das zweite Maximum (Juli 1931) eintritt, sind keine erheblichen neuen Niederschläge mehr gefallen. Das 1. Minimum ist in die Tiefe gewandert (etwa 750 cm), das 1. Maximum ist in 16 m Tiefe angelangt. Der Abstand zwischen 1. Minimum und 2. Maximum ist kleiner als der Abstand zwischen 1. Maximum und 1. Minimum, und zwar um den Unterschied der Schneeaufträge, die während der zugehörigen Zeiten fallen. Der Grund für die Verschiedenheit der Längen der beiden Halbwellen liegt in der ungleichen Verteilung der Niederschläge über die Jahreszeiten.

Wir fassen nun einen bestimmten Firnpunkt ins Auge, zum Beispiel in 10 m Tiefe. Bliebe die Oberfläche konstant, würde ferner keine Firnschrumpfung eintreten und wäre die Temperaturschwingung an der Oberfläche periodisch, so würde in 10 m Nenntiefe die Amplitude für alle Zeiten gleichbleiben. In Wirklichkeit wird aber durch den Schneezuwachs die Oberfläche dem betrachteten Punkt jedes Jahr weiter entrückt. Das hat zwei Folgen:

1. Die Amplitude an dem betrachteten Punkt wird von Jahr zu Jahr kleiner.  
 2. Die Temperaturschwingung an dem betrachteten Punkt hat eine längere Periode als die Temperaturschwingung an der Oberfläche; denn jedes folgende Maximum oder Minimum beginnt höher oben und erreicht daher den betrachteten Firnpunkt mit stets wachsender Verspätung. An dem betrachteten Firnpunkt herrscht also in Wirklichkeit eine schwach gedämpfte Temperaturschwingung mit einer längeren Periode als an der Oberfläche. Die Verlängerung hängt von der Höhe der Niederschläge und von der Firntiefe ab. In der Tiefe 10 m, wo die Mächtigkeit einer Jahresschicht 63 cm beträgt, verlängert sich die Periode um 13 Tage. Da die Amplitude und Phase nach der Poissonschen Formel von dem Produkt  $T \cdot a$  abhängt, so bedeutet der von uns gefundene Wert  $a = 0,0066 \frac{s}{c}$

nur eine „scheinbare Temperaturleitzahl“, die gilt, wenn man so rechnet, als ob in allen Tiefen die Perioden 365 Tage lang sind. Die wahre Temperaturleitzahl ist um  $\frac{13}{365}$  kleiner, beträgt also  $a = 0,0064 \frac{s}{c}$ .

Gehen wir von der Annahme  $a = 0,0066 \frac{s}{c}$  und einem Jahreszuwachs von 1 m (mit Einschluß der Schrumpfung) aus, so sinkt die Amplitude eines Firnpunktes in 7 m Nenntiefe im Laufe eines Jahres von 0,94° auf 0,64° C.

Die beobachteten Amplituden sind Differenzen des Temperaturmaximums einer Nenntiefe und des darauf folgenden Minimums in derselben Nenntiefe. Die dieser Nenntiefe entsprechende wahre Tiefe ist zur Zeit des Minimums im allgemeinen größer als zur Zeit des Maximums. Um die berechneten Amplituden mit den beobachteten vergleichen zu können, muß man daher die ersten aus der Halbamplitude zur Zeit des Maximums und der Halbamplitude zur Zeit des Minimums zusammensetzen. Dies ist in der nachfolgenden Tabelle geschehen.

| Nenn-tiefe<br>cm | Gemessene<br>Amplitude<br>Grad | Phase        | Berechnete<br>Eintrittszeit<br>der Phase | Verlustzeit<br>wegen Schneeauftrag und<br>Schrumpfung<br>cm | Wahre<br>Tiefe<br>cm | Berechnete<br>Halbamplituden<br>für $a =$ |                      |                      | Berechnete<br>Amplituden<br>für $a =$ |                      |                      |
|------------------|--------------------------------|--------------|--|---|----------------------|---|----------------------|----------------------|---------------------------------------|----------------------|----------------------|
|                  |                                |              |  |   |                      | 0,0062 $\frac{s}{c}$                      | 0,0066 $\frac{s}{c}$ | 0,0070 $\frac{s}{c}$ | 0,0062 $\frac{s}{c}$                  | 0,0066 $\frac{s}{c}$ | 0,0070 $\frac{s}{c}$ |
| 500              | 2,08                           | max.<br>min. | 10. Nov.<br>15. Mai                      | 25<br>175   | 525<br>675           | 1,72<br>0,95                              | 1,86<br>1,03         | 1,99<br>1,15         | 2,67                                  | 2,89                 | 5,12                 |
| 600              | 1,88                           | max.<br>min. | 28. Nov.<br>7. Juni                      | 50<br>155   | 650<br>755           | 1,04<br>0,68                              | 1,14<br>0,76         | 1,24<br>0,85         | 1,72                                  | 1,90                 | 2,09                 |
| 700              | 1,19                           | max.<br>min. | 25. Dez.<br>1. Juli                      | 70<br>135   | 770<br>835           | 0,64<br>0,51                              | 0,72<br>0,57         | 0,80<br>0,65         | 1,15                                  | 1,29                 | 1,43                 |
| 800              | 0,96                           | max.<br>min. | 15. Jan.<br>15. Juli                     | 70<br>115   | 870<br>915           | 0,44<br>0,36                              | 0,50<br>0,41         | 0,56<br>0,47         | 0,80                                  | 0,91                 | 1,03                 |
| 900              | 0,69                           | max.<br>min. | 15. Febr.<br>15. Aug.                    | 80<br>95  | 950<br>995           | 0,29<br>0,27                              | 0,32<br>0,30         | 0,36<br>0,34         | 0,56                                  | 0,62                 | 0,70                 |
| 1000             | 0,50                           | max.<br>min. | 1. März<br>1. Sept.                      | 85<br>85  | 1085<br>1085         | 0,19<br>0,19                              | 0,25<br>0,25         | 0,26<br>0,26         | 0,58                                  | 0,46                 | 0,52                 |

Die beobachteten Amplituden sind aus den Tabellen entnommen. Da die Beobachtungen meist nicht ganz bis zum Minimum reichen, mußten kleine Ergänzungen extrapoliert werden, die jedoch nicht über wenige Hundertstel hinausgehen und daher keine merklichen Fehler erzeugt haben können. Die Werte in 6 m und 7 m Tiefe sind weniger zuverlässig, da sich über ihnen während des Minimums eine Schneewehe bildete.

Vergleicht man die berechneten Amplituden mit den gemessenen, so findet man, daß die letzteren in der Nenntiefe 500 cm offenbar noch stark gestört sind. In den Nenntiefen 600 und 700 cm liegen die gemessenen Amplituden zwischen den mit  $a = 0,0062 \cdot \frac{s}{c}$  und  $a = 0,0066 \cdot \frac{s}{c}$  berechneten, in den Nenntiefen 800—1000 cm dagegen zwischen den mit  $a = 0,0066 \cdot \frac{s}{c}$  und  $a = 0,0070 \cdot \frac{s}{c}$  berechneten. Dies Ergebnis stimmt mit den aus den Eintrittszeiten der Maxima abgeleiteten völlig überein, daß die Temperaturleitzahl zwischen  $0,0062 \cdot \frac{s}{c}$  und  $0,0070 \cdot \frac{s}{c}$  liegt, und daß der Faktor von  $\frac{s}{c}$  von oben nach unten zunimmt.

Doch ist dabei zu bedenken, daß das aus den Amplituden gewonnene Ergebnis unsicher ist, weil man nicht weiß, ob sich die Amplituden beim Eintritt der Maxima und Minima schon völlig den für die jeweilige Phase gültigen wahren Tiefen angepaßt haben. Immerhin führt die völlige Übereinstimmung der beiden Methoden in bezug auf die Temperaturleitzahl zu dem Schluß, daß die Wärmeübergangszahl von Luft zu Schnee für die Jahresschwankung tatsächlich nahezu den angenommenen Wert 1 hat.

Verfolgt man den Weg, den ein bestimmtes Maximum mit der Zeit zurücklegt, so ist hervorzuheben, daß dieser Weg von dem Schneeauftrag an der Oberfläche unabhängig ist. Die Strecke, die das Maximum jährlich zurücklegt, ist die gleiche wie im unveränderlichen Firn; nur ist sie um den halben Betrag der inzwischen eingetretenen Schrumpfung zu vermindern, da das Maximum in die Tiefe wandert, während der Firn schrumpft. Die jährliche Schrumpfung der Firnschichten von 0 bis 15 m Tiefe beträgt  $3,13 \times 12 = 40$  cm abgerundet. Der wirkliche Weg des Maximums ist also um 20 cm kleiner als in einem unveränderlich vorausgesetzten Firn gleicher Leitfähigkeit. Nach den Messungen gelangt das Maximum des Sommers 1930 in einem Jahr in die Nenntiefe 16 m, wobei von 15 auf 16 m extrapoliert worden ist. Der wahre Weg des Maximums beträgt also 15,80 m jährlich.

In der Anordnung der gemessenen Temperaturkurven fällt ihre gegenseitige Lage auf. Mit zunehmender Tiefe liegen die Kurven stets tiefer. Die gemessenen Temperaturen sind in den größten Schachttiefen in streng gesetzmäßiger Weise tiefer als die berechneten. Dies kann nicht durch das

Eindringen kalter Luft erklärt werden. Denn schon bei den ersten Messungen waren die Temperaturen in großen Tiefen deutlich kälter als höher oben. Um die Kurve von 15 m Tiefe in ihre beobachtete tiefe Lage zu bringen, hätte eindringende kalte Luft den Firn in 15 m Tiefe in wenigen Tagen um etwa  $0,3^{\circ}\text{C}$  abkühlen müssen. Dabei wäre die zeitliche Lage der Maxima und die feine Abstufung in den Amplituden vollständig verloren gegangen. Die Genauigkeit der Firntemperaturen in 10 bis 15 m Tiefe hat eine ganz andere Größenordnung. Die Kurven verlaufen sehr regelmäßig auf wenige Hundertstel Grade genau. Eine Abkühlung um  $0,3^{\circ}\text{C}$  von oben her in wenigen Tagen würde den ganzen gesetzmäßigen Bau der Kurvenschar zerstören. Ein solcher Betrag übertrifft sogar bei weitem die Störungen durch die Arbeitswärme im Schacht und wäre daher in den Temperaturkurven deutlich aufgefallen. Außerdem zeigen die Kurven den gesetzmäßigen Verlauf gerade in den Sommermonaten, wo ein Kälteeinbruch nicht zu befürchten war. Es scheidet auch die Möglichkeit aus, daß im Frühling und Sommer kalte Luft von den kältesten Stellen des Schachtes in die Tiefe gesunken ist und dadurch die unteren Schachttiefen beeinflußt hat. Folgende Stellen kommen dafür in Frage: im April war es in 3 m Tiefe um  $2^{\circ}\text{C}$  kälter als in 14 m; im Mai um  $1,6^{\circ}\text{C}$ ; im Juni war es in 7 m Tiefe um  $1,5^{\circ}\text{C}$  kälter als in 15 m; im Juli in 6 m Tiefe um  $0,5^{\circ}\text{C}$  kälter als in 15 m. Denn während des Winters konnte festgestellt werden, daß Kälteeinbrüche der Außenluft sich im Schacht nicht bemerkbar machten, auch wenn die Schachttür bei Außentemperaturen von  $-5^{\circ}\text{C}$  mehrere Stunden lang während der Arbeit offen stand. Die langsame Abkühlung der Wände im Firngang durch kalte Außenluft und die langsame Fortpflanzung dieser Störung durch Leitung bis in 7 m Tiefe hat mit der jetzt betrachteten Störung nichts zu tun. Noch viel weniger als die Störungen durch die Außenluft kann daher die Wirkung der sehr geringen Temperaturunterschiede in verschiedenen Schachttiefen bei geschlossener Tür, also bei Unterbindung jeder merklichen Luftbewegung, ausmachen. Und in den Zeiten der Stürme bewegte sich die Luft stets aus dem Firn in den Schachthohlräum hinein und dann ins Freie, d. h. also im ganzen betrachtet: aufwärts. Solche Luftbewegungen machten sich aber, wie die Beobachtungen im Wohnraum zeigten, durch plötzliche Temperaturerniedrigungen bemerkbar, denen nach Aufhören des Sturms sogleich wieder ein Temperaturanstieg bis zur früheren Höhe folgte. Von alledem war in den großen Schachttiefen nichts zu merken.

Durch Luftströmungen lassen sich also die tieferen Temperaturen im unteren Teil des Schachts nicht erklären. Als Ursache kann nur eine Störung in Frage kommen, die im Vergleich zur Jahresperiode sehr langsam wirkt, so daß der Kurvenverlauf dadurch während der Beobachtungszeit von einigen Monaten nicht merklich geändert wird.

### G. Die mittleren Jahrestemperaturen.

Die zweite Hauptaufgabe, die durch die Temperaturmessungen im Schacht gelöst werden sollte, ist die Ableitung der mittleren Jahrestemperatur für die einzelnen Tiefen. Dabei bleiben die obersten 5 m wegen der dort herrschenden Störungen außer Betracht. Das Jahresmittel kann aus den Maxima und Minima mit Hilfe der Amplitudenkurve auf Seite 257 abgeleitet werden.

Allerdings sind die Amplituden nur zwischen 6 m und 10 m beobachtet. Die berechneten Werte weichen aber so wenig von den beobachteten ab, daß man sie ohne Bedenken bis zu 15 m zur Ableitung der Jahresmittel heranziehen kann.

Diese Ableitung ist in der Tabelle auf Seite 263 enthalten, die nach den Spaltenüberschriften verständlich ist. Die eingeklammerten Werte enthalten extrapolierte Verbesserungen. Diese sind aber so klein, daß sie keine merklichen Unsicherheiten in die Ergebnisse hineinragen.

Aus der letzten Spalte ersieht man, daß die Jahresmittel der Temperatur von 7 m bis 8 m Tiefe um  $0,09^{\circ}\text{C}$  zunehmen. Dann sinkt die Temperatur aber wieder, so daß sie in 15,8 m Tiefe um  $0,11^{\circ}\text{C}$  niedriger ist als in 7 m Tiefe.

Die Abnahme der Temperatur mit der Tiefe kann nicht etwa daher kommen, daß das Jahresmittel von 11 m Tiefe ab allein aus den Maxima abgeleitet ist. Denn in 8, 9 und 10 m Tiefe geben die Minima niedrigere Jahresmittel als die Maxima. Wenn die Minima in 11 m bis 15 m hätten beobachtet werden können, würde daher das Kälterwerden des Firns mit zunehmender Tiefe vermutlich noch stärker hervortreten, als es in der Tabelle der Fall ist.

Die Abnahme von 8 m Tiefe an nach unten ist so regelmäßig, daß sie als sicher verbürgt angesehen werden muß. Sie setzt sich zweifellos auch noch ein Stück nach unten fort. Alles deutet darauf hin, daß es sich bei dieser Abnahme um eine natürliche Gesetzmäßigkeit handelt.

Dieser Befund einer Abnahme der Temperatur von oben nach unten, der ohne Zuhilfenahme einer Hypothese allein aus den Beobachtungen abgeleitet ist, ist ein außerordentlich wichtiges Ergebnis der Temperaturmessungen im Schacht. Er beweist, daß in diesen Schichten ein erheblicher Wärmestrom von oben nach unten fließt.

Wie ist nun dieses unerwartete Ergebnis zu erklären? Mir scheint, daß dafür nur zwei Möglichkeiten vorhanden sind. Die eine ist die, daß die Zunahme der Temperatur nach oben auf den Einfluß der Heizung des Wohnraums zurückzuführen ist, also nur eine Störung des natürlichen Zustandes darstellt. Doch sind die Beträge des Wärmestromes von oben

| Nenn-tiefe<br>cm | Ex-trem-<br>phase | Be-<br>obachtete<br>Zeit des<br>Eintritts<br>der<br>Phase | Verbes-<br>serung<br>wegen<br>Schnee-<br>auftrag<br>und<br>Schrump-<br>fung<br>cm | Wahre<br>Tiefe<br>cm | Beob-<br>achtete<br>Tempe-<br>raturen<br>Grad | Halb-<br>ampli-<br>tuden<br>aus der<br>Kurve<br>entnom-<br>men<br>Grad | Jahres-<br>mittel<br>der<br>Tempe-<br>ratur<br>Grad | Mittel aus<br>beiden Phasen |   |
|------------------|-------------------|---|---|----------------------|---|--|---|-----------------------------|---|
|                  |                   |   |   |                      |   |  |   | wahre<br>Tiefe<br>cm        | Jahres-<br>mittel<br>der<br>Tempe-<br>ratur<br>Grad |
| 600              | max.              | (Ende Nov. 30)  | 50  | 650                  | (-27,23)                                      | 1,14   | -28,37  | 700                         | -28,36  |
|                  | min.              | 15. 6. 31   | 155   | 755                  | -29,10  | 0,76   | -28,3+  |                             |   |
| 700              | max.              | 20. 12. 30  | 70  | 770                  | -27,60  | 0,72   | -28,32  | 800                         | -28,27  |
|                  | min.              | 20. 7. 31   | 135   | 855                  | -28,79  | 0,57   | -28,22  |                             |   |
| 800              | max.              | 25. 1. 31   | 70  | 870                  | -27,76  | 0,50   | -28,26  | 890                         | -28,28  |
|                  | min.              | (10. 8. 31)   | 110   | 910                  | (-28,72)                                      | 0,42   | -28,30  |                             |   |
| 900              | max.              | 15. 2. 31   | 80  | 980                  | -27,92  | 0,32   | -28,24  | 990                         | -28,28  |
|                  | min.              | (30. 8. 31)   | 95  | 995                  | (-28,62)                                      | 0,30   | -28,32  |                             |   |
| 1000             | max.              | 10. 3. 31   | 85  | 1085                 | -28,05  | 0,23   | -28,28  | 1085                        | -28,50  |
|                  | min.              | (1. 9. 31)  | 85  | 1085                 | (-28,55)                                      | 0,23   | -28,32  |                             |   |
| 1100             | max.              | 5. 4. 31  | 85  | 1185                 | -28,15  | 0,15   | -28,30  | 1185                        | -28,30  |
| 1200             | max.              | 15. 4. 31   | 80  | 1280                 | -28,25  | 0,10   | -28,35  | 1280                        | -28,35  |
| 1300             | max.              | 10. 5. 31   | 80  | 1380                 | -28,32  | 0,07   | -28,39  | 1380                        | -28,39  |
| 1400             | max.              | 25. 5. 31   | 80  | 1480                 | -28,37  | 0,05   | -28,42  | 1480                        | -28,42  |
| 1500             | max.              | 5. 6. 31  | 80  | 1580                 | -28,44  | 0,03   | -28,47  | 1580                        | -28,47  |

nach unten so erheblich, daß diese Erklärung nicht sehr wahrscheinlich ist. Immerhin erscheint aber eine Untersuchung dieser Möglichkeit erwünscht, auch wenn sie am Schlußergebnis, daß die Firntemperaturen in den Tiefen bis zu 16 m wesentlich nur von den mittleren Lufttemperaturen der früheren Jahre abhängen, nichts zu ändern vermag. Die zweite Erklärungsmöglichkeit sehe ich in der Annahme einer Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur der Luft und damit auch der Schneeoberfläche in den letzten Jahren. Sie wird im nächsten Abschnitt behandelt werden.

#### H. Die Nachwirkung der Temperaturen früherer Jahre.

Im Polargebiet verlaufen erfahrungsgemäß die Lufttemperaturen sehr unregelmäßig. Selbst die Mitteltemperaturen aufeinanderfolgender Jahre besitzen eine große Veränderlichkeit. Sprünge von  $2^{\circ}\text{C}$  sind keine Seltenheit. Um einen mathematischen Ansatz für die Wirkung der früheren Lufttemperaturen in Eismitte zu gewinnen, wurden zunächst die wichtigsten Küstenstationen Grönlands untereinander verglichen. Dabei stellte sich eine starke Verwandtschaft des Temperaturverlaufs heraus, die besonders wichtig für einen Schluß auf die Station Eismitte ist. Auch zwischen der Ost- und Westküste besteht, im großen betrachtet, Übereinstimmung. Wegen der hohen Bedeutung der ganzen Frage sind tabella-

risch und graphisch die Jahresmittel der Lufttemperatur von den fünf Orten Angmagssalik, Nanortalik, Godthaab, Jakobshavn und Upernivik für die Jahre 1913 bis 1930 dargestellt, außerdem von Godhavn von 1924 bis 1930. Die eingeklammerten Temperaturen in den Tabellen sind nicht ganz so genau wie die andern. Die betreffenden Jahre enthalten in den Beobachtungen einige Lücken, die durch geschätzte Werte ausgefüllt wurden. Auf eine nähere Darstellung braucht hier nicht eingegangen zu werden, da das dreizehnjährige Temperarmittel von dieser geringen Unsicherheit nicht berührt wird. Man vergleiche im Dansk Meteorologisk Aarbog die betreffenden Jahre.

#### Jahresmittel der Lufttemperaturen für grönländische Stationen.

| Jahr  | Angmagssalik | Nanortalik | Godthaab | Jakobshavn | Godhavn | Upernivik |
|---|--------------|------------|----------|------------|---------|-----------|
| 1913  | -1,6         | -0,1       | -2,6     | -5,2       |         | -8,5      |
| 1914  | -2,6         | -0,8       | -5,5     | -7,6       |         | -9,9      |
| 1915  | -1,1         | +1,7       | -0,8     | -5,0       |         | -7,9      |
| 1916  | -1,0         | +1,7       | +0,2     | [ -5,2 ]   |         | -7,0      |
| 1917  | -1,9         | +1,9       | -0,1     | [ -5,0 ]   |         | -8,0      |
| 1918  | -2,1         | -0,5       | -5,0     | -7,6       |         | -10,2     |
| 1919  | -2,2         | +0,7       | -1,2     | -5,6       |         | -8,1      |
| 1920  | -2,5         | [ -0,5 ]   | -2,4     | [ -5,4 ]   |         | -9,2      |
| 1921  | -2,2         | -0,1       | -2,7     | [ -5,6 ]   |         | -8,8      |
| 1922  | -1,2         | +0,7       | -2,1     | -5,8       |         | -8,9      |
| 1925  | -1,1         | +2,0       | -0,5     | -5,9       |         | -6,8      |
| 1924  | [ -1,0 ]     | +2,1       | -0,5     | -4,0       | -5,1    | -7,5      |
| 1925  | -1,5         | +1,5       | -1,4     | -4,7       | -4,5    | -8,1      |
| 1. Mittel . . .   | -1,7         | +0,9       | -1,6     | -5,5       | -5,8    | -8,1      |
| 1926  | +0,1         | +2,6       | -0,1     | -5,4       | -5,0    | -6,9      |
| 1927  | 0,0          | +2,5       | -0,4     | -5,6       | -5,0    | -6,2      |
| 1928  | +0,7         | +2,4       | +0,4     | -1,6       | -0,9    | -4,5      |
| 1929  | +0,9         | +3,0       | +0,6     | [ -1,6 ]   | -0,8    | -5,0      |
| 1930  | -0,6         | +1,7       | -0,4     | -2,8       | -2,1    | -5,5      |
| 2. Mittel . . .   | +0,2         | +2,4       | 0,0      | -2,6       | -2,0    | -5,6      |
| Temperatur-<br>erhöhung =<br>2. Mittel minus<br>1. Mittel | +1,9°        | +1,5°      | +1,6°    | +2,7°      | —       | +2,5°     |

Bei aller Unregelmäßigkeit der Lufttemperaturen ist doch ein deutliches Wärmerwerden in den letzten Jahren zu bemerken. Um zu einem Ansatz zu kommen, der sich mit den Mitteln der Wärmeleitungstheorie behandeln läßt, muß man ausgeglichene Mittelwerte zugrunde legen, die die Temperaturen für längere Zeiten charakterisieren, aber von den einzelnen Schwankungen frei sind. Hierbei hat man eine gewisse Freiheit.

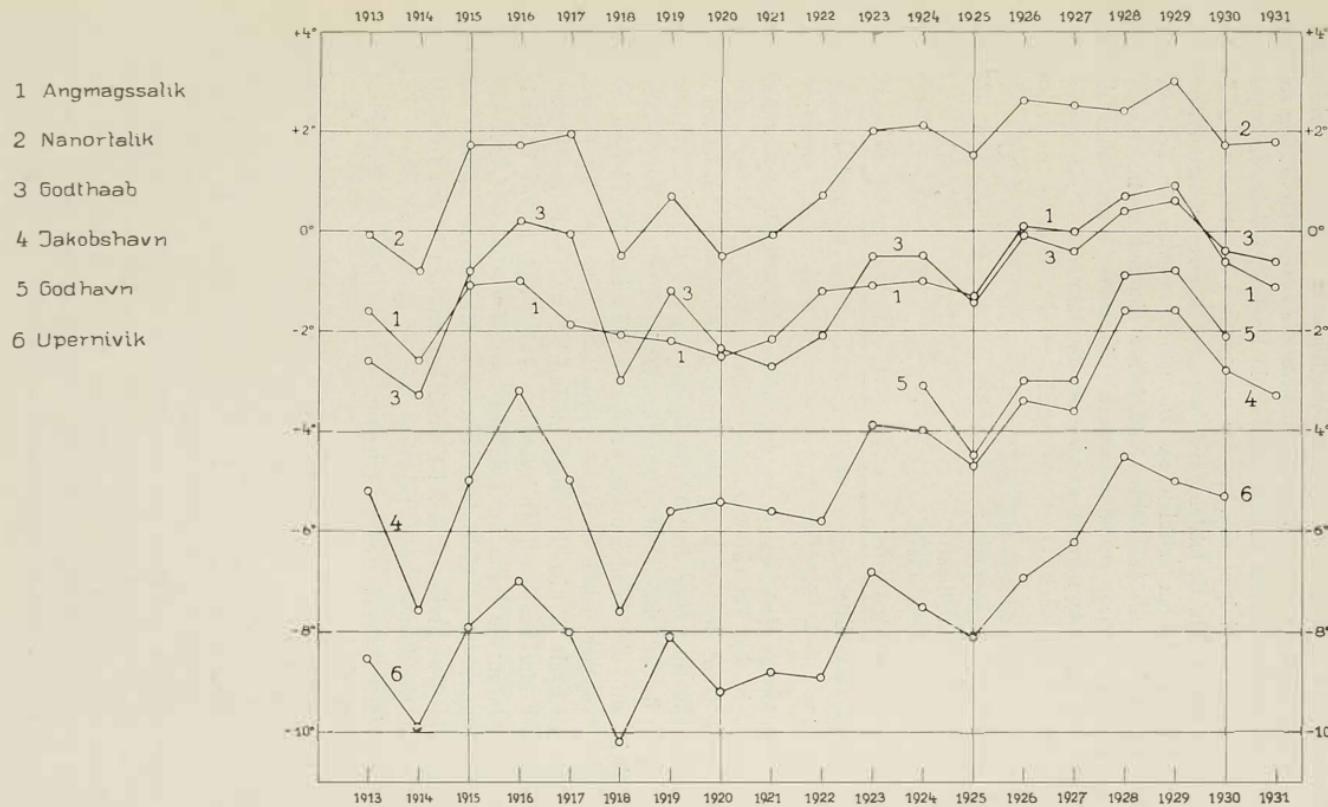


Abb. 48. Jahresmittel der Temperatur an der grönlandischen Küste.

Man kann die mittleren Temperaturverhältnisse in Form eines periodischen oder unperiodischen Vorgangs beschreiben. Die zweite Darstellung soll hier gewählt werden. Dabei besteht wieder die Freiheit, welche Jahre man zu Mittelwerten vereinigen will. In der graphischen Darstellung der Temperaturen heben sich die letzten fünf Jahre durch ihre größere Wärme von den früheren Jahren deutlich ab. Demgemäß werden die Temperaturen von 1913 bis 1925 (13 Jahre) und ferner die Temperaturen von 1926 bis 1930 (5 Jahre) zusammengefaßt. Die letzten fünf Jahre sind im Mittel um folgende Beträge wärmer als die Jahre 1913 bis 1925:

|   |        |
|---|--------|
| bei Angmagssalik um . . . . .           | 1,9° C |
| „ Nanortalik . . . . .                  | 1,5° C |
| „ Godthaab . . . . .                    | 1,6° C |
| „ Jakobshavn . . . . .                  | 2,7° C |
| „ Upernivik . . . . .                   | 2,5° C |
| im Mittel                  um . . . . . | 2,0° C |

Es scheint also, als ob in den letzten Jahren ein großer Teil von Grönland in der Tat ein wärmeres Klima gehabt hat als vor 1926. Im Einklang damit steht auch der allgemein in Grönland in den letzten Jahren beobachtete Rückgang der Wintereisdecke an der Küste, z. B. besonders auffällig in der Diskobucht. Daher kann mit einer gewissen Wahrscheinlichkeit auf die Temperaturänderung in Eismitte geschlossen werden. Alfred Wegener nahm in seinem Programm an, daß die Temperaturveränderlichkeit in Eismitte relativ gering ist, und zwar wegen der „Stabilität der glaziologischen Antizyklone“. Tatsächlich gehört Eismitte aber zu den Orten, die Hann im Lehrbuch der Meteorologie folgendermaßen kennzeichnet: „Die Veränderlichkeit der Mittelwerte nimmt mit der geographischen Breite zu und ist dabei am größten in den Grenzgebieten zwischen Kontinental- und Seeklima, besser gesagt, in jenem Teil des kontinentalen Klimas, welcher zeitweilig in das Gebiet des Seeklimas aufgenommen wird.“

Wir machen nun den Ansatz, daß auch in Eismitte das mehrjährige Temperaturmittel seit 1926 wärmer ist als früher. Um die Formel der linearen Wärmeleitung anwenden zu können, wird angenommen, daß die Schneeoberfläche in Eismitte bis 1925 einschließlich ein gewisses konstantes Temperaturmittel gehabt hatte, und daß das Temperaturmittel von da an plötzlich um einen bestimmten Betrag  $\Delta(0)$  wärmer geworden ist. Bis 1930 ist die Wirkung dieser Erwärmung in die oberen Firntiefe stärker eingedrungen als in die größeren Tiefen. Die Frage ist nun, wie groß  $\Delta(0)$  anzunehmen ist, um die beobachteten zu kalten Firntemperaturen in den großen Schachttiefen in Eismitte zu erklären.

Wenn  $\Delta(x)$  die Temperaturerhöhung gegenüber dem früheren langjährigen Mittel für die Tiefe  $x$  cm bezeichnet, ist nach der Theorie der linearen Wärmeleitung

$$\Delta(x) = \frac{\Delta}{2} \left[ 1 - \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{at}}\right) \right]$$

(Encyklopädie der mathematischen Wissenschaften V, 1, S. 187 oder Frank-Mises: Riemann-Webers Differentialgleichungen der Physik, S. 190). Die Funktion  $\Phi$  ist das Gaußsche Fehlerintegral. Bei Ableitung dieser Formel ist vorausgesetzt, daß an einer ebenen Grenzfläche sich zwei unendliche Halbräume berühren, die mit dem gleichen Stoffe erfüllt sind, der zur Zeit  $t=0$  in dem einen Halbraum die Temperatur 0, im anderen die Temperatur  $\Delta$  hat. Man kann die Formel auch auf den vorliegenden Fall anwenden, wo Luft von der Temperatur  $\Delta(0)$  an den Firn grenzt, weil die Grenzfläche dauernd die Temperatur  $\frac{\Delta}{2}$  hat. Man denkt sich dann den ganzen Luftraum durch Firn von der Temperatur  $\Delta = 2\Delta(0)$  erfüllt. Die Wirkung bleibt dieselbe, weil die Grenzfläche dann dauernd die Temperatur  $\frac{\Delta}{2} = \Delta(0)$  hat, wie in dem Falle einer Erhöhung der mittleren Lufttemperatur um  $\Delta(0)$ .

Eine Schwierigkeit für die Anwendung der Formel tritt dadurch ein, daß die Oberfläche nicht konstant bleibt, sondern jährlich Schneezuwachs von der Temperatur  $\Delta(0)$  erhält. Wollte man die Formel auf die Oberfläche von Ende 1925 anwenden und  $\Delta = \Delta(0)$  setzen, so würde die Formel ein zu kleines  $\Delta(x)$  liefern, da ihre Anwendung voraussetzt, daß  $\Delta = 2\Delta(0)$  gesetzt wird. Würde man aber  $\Delta = 2\Delta(0)$  setzen, so würde  $\Delta(x)$  zu groß werden, denn der wirklich hinzugekommene Firn hat nicht die Temperatur  $2\Delta(0)$  wie der gedachte, sondern nur die Temperatur  $\Delta(0)$ . Man kann sich aber so helfen, daß man die Temperaturerhöhung mit  $\Delta = 2\Delta(0)$  einmal für die Oberfläche von Ende 1925 und einmal für die von Ende 1930 berechnet. Wenn der Schneezuwachs gleichmäßig erfolgt, ist der eine dieser Werte um nahezu ebensoviel zu hoch, wie der andere zu tief. Das Mittel beider liefert daher einen sehr guten Näherungswert für den richtigen Betrag. Als Mittelwert des Schneezuwachses in diesen fünf Jahren wird 80 cm angenommen. Dann liegt die Oberfläche von Ende 1925 um 400 cm tiefer als die von Ende 1930, auf die die Nenntiefen bezogen sind.

Der Wert von  $t$  ist die Anzahl von Sekunden in 5 Jahren. Daher ist  $t = 15768 \cdot 10^4$ . Für die Temperaturleitzahl  $a$  werden der Einfachheit halber Mittelwerte benutzt, die für die ganze Strecke von der Oberfläche bis zur Tiefe  $x$  bzw.  $(x-400)$  cm gelten sollen. Das ist zulässig, da die Zeit von 5 Jahren nur eine runde Annahme darstellt, mithin das Produkt  $a \cdot t$  ohnehin nur ein angenäherter Wert ist.

Die benutzten Mittelwerte für  $a$  sind folgende

| Tiefe<br>m | a                  | Tiefe<br>m | a                  |
|------------|--------------------|------------|--------------------|
| 1          | $48 \cdot 10^{-4}$ | 9          | $60 \cdot 10^{-4}$ |
| 2          | 50                 | 10         | 61                 |
| 3          | 51                 | 11         | 62                 |
| 4          | 55                 | 12         | 65                 |
| 5          | 54                 | 13         | 64                 |
| 6          | 56                 | 14         | 65                 |
| 7          | 57                 | 15         | 65                 |
| 8          | 58                 | 16         | 66                 |

Die Werte der Funktion  $\Phi$  stehen in vielen Tafelwerken, z. B. Bau-schinger, J.: Tafeln zur theoretischen Astronomie, Leipzig 1901, und Jahnke, E. — Emde, F.: Funktionentafeln, Leipzig-Berlin 1933.

| Nenntiefe<br>cm | Wahre Tiefe<br>cm | Beobachtete<br>Temperaturmittel<br>Grad | Faktor von $\Sigma(0)$<br>bei Beziehung auf<br>die Oberfläche von |       |        | Einfluß der Wärmewelle<br>bei Erhöhung der Luft-<br>temperatur um $\vartheta(0) = 2^\circ$<br>Grad | Mit einem Wärmestrom<br>von $5,56 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3$ be-<br>rechnete Temperaturen<br>Grad | B-R bei Annahme einer<br>Erhöhung der Lufttemp.<br>um $2^\circ$ und einem Strom<br>von unten $5,56 \cdot 10^{-4} \text{ cm}^3$<br>Grad | Einfluß der Wärmewelle<br>bei Erhöhung der Luft-<br>temperatur um $0,658^\circ$<br>Grad | Jahresmittel der Eis tempe-<br>raturen nach Abzug der<br>Wärmewelle entsprechend<br>einer Lufttemperatur-<br>erhöhung um $0,658^\circ$<br>Grad | Abweichungen von der<br>isothermen Temperatur<br>$-29,86^\circ$<br>Grad |
|-----------------|-------------------|---|---|-------|--------|--|--|--|---|--|---|
|                 |                   |   | 1925  | 1950  | Mittel |  |  |  |   |  |   |
| 600             | 700               | -28,36                                  | 0,874   | 0,652 | 0,763  | 1,55   | -29,65   | -0,24  | +0,50   | -28,86   | -0,18   |
| 700             | 800               | 27                                      | 0,813   | 0,601 | 0,707  | 1,41   | 59   | - 49   | 46  | 73   | - 6   |
| 800             | 890               | 28                                      | 0,756   | 0,554 | 0,655  | 1,31   | 54   | - 5  | 43  | 71   | - 3   |
| 900             | 990               | 28                                      | 0,703   | 0,511 | 0,607  | 1,21   | 49   | 0  | 40  | 68   | 0   |
| 1000            | 1085              | 30                                      | 0,652   | 0,471 | 0,562  | 1,12   | 44   | + 2  | 57  | 67   | + 1   |
| 1100            | 1185              | 30                                      | 0,604   | 0,431 | 0,518  | 1,04   | 38   | + 4  | 54  | 64   | + 4   |
| 1200            | 1280              | 35                                      | 0,558   | 0,394 | 0,476  | 0,95   | 33   | + 5  | 51  | 66   | + 2   |
| 1300            | 1380              | 39                                      | 0,514   | 0,360 | 0,437  | 0,87   | 27   | + 1  | 29  | 68   | 0   |
| 1400            | 1480              | 42                                      | 0,471   | 0,328 | 0,399  | 0,80   | 22   | 0  | 26  | 68   | 0   |
| 1500            | 1580              | 47                                      | 0,429   | 0,297 | 0,365  | 0,75   | 16   | - 4  | 24  | 71   | - 5   |

Die Ergebnisse der beiden Rechnungen und ihr Mittel sind in der Tabelle auf Seite 268 zusammengestellt. Das Produkt aus diesem Mittel und der Temperaturerhöhung an der Oberfläche  $\Sigma(0)$  ist die Erhöhung der Eistemperatur in den einzelnen Tiefen.

Es erhebt sich nun die Frage, wie groß  $\Sigma(0)$  anzunehmen ist. Es ist nicht wahrscheinlich, daß an der 3000 m hoch liegenden Station Eismitte die Temperaturerhöhung ebenso stark gewesen ist, wie an den Küstenstationen, wo sie im Mittel  $2^\circ \text{C}$  betragen hat. Rechnet man trotzdem mit diesem Werte, so bekommt man für das Eis Temperaturerhöhungen, die in der Tabelle auf Seite 268 angegeben sind. Wenn man sie von den gefundenen Eistemperaturen abzieht, erhält man die von der oberflächlichen

Wärmewelle befreiten Eistemperaturen. Diese zeigen eine starke Abnahme nach oben. Eine Ausgleichung, bei der die Werte für 6 m und 7 m Nenn-tiefe als unsicher fortgelassen sind, führte auf eine Temperaturzunahme nach unten von  $0,0556^\circ$  auf 1 m oder  $5 \cdot 56 \cdot 10^{-4}/\text{cm}$  oder  $1^\circ$  auf 18 m. Das ist erheblich mehr als der Erdstrom, der im Durchschnitt  $3 \cdot 1 \cdot 10^{-4}/\text{cm}$  beträgt. Die Deformationswärme kann in den oberflächennahen Schichten auch nicht eine so starke Temperaturzunahme hervorbringen. Daher kann die Klimaänderung in Eismitte nur weniger stark gewesen sein als an der Küste.

Rechnet man umgekehrt aus den Eistemperaturen die Erhöhung der mittleren Lufttemperatur in den letzten fünf Jahren aus, so bekommt man als wahrscheinlichsten Wert  $+0,658^\circ$ . Für 3000 m Höhe erscheint eine solche Abschwächung der Klimaänderung, die an der Küste etwa  $2^\circ \text{C}$  beträgt, sehr wahrscheinlich. Mit diesem Wert sind ebenfalls die Erhöhungen der Eistemperaturen gerechnet worden. zieht man sie von den beobachteten Werten ab, so bekommt man für alle Nenntiefen von 8 m bis 15 m fast denselben Wert  $-28,68^\circ$ . Die Abweichungen von der Isothermie gehen nicht über  $+0,4^\circ$  hinaus. Die Beobachtungen werden durch diese Annahme noch etwas besser dargestellt als durch die erste. Die Verbesserung ist aber so gering, daß sie nicht als Beweis dafür gelten kann, daß die zweite Annahme richtiger ist als die erste.

Die Entscheidung, ob ein von unten kommender Wärmestrom in Eismitte vorhanden ist oder nicht, hängt völlig davon ab, welche Annahme man über die etwaige Klimaänderung in den letzten fünf Jahren macht. Nimmt man an, daß der Erdstrom in voller Stärke bis zur Oberfläche kommt, so muß die Erhöhung der mittleren Jahrestemperatur der Luft  $1,4^\circ$  betragen haben. War sie nur  $0,658^\circ$ , so herrscht in den obersten Schichten des Inlandeises Isothermie mit einer Temperatur von  $-28,68^\circ$ . In diesem Falle wird der Erdstrom und die eine viel stärkere Temperaturerhöhung bewirkende Deformationswärme durch das Fließen des Eises in einen horizontal gerichteten Wärmestrom abgelenkt, der schon in größeren Tiefen die stets neu hinzukommende Wärme aus dem Innern nach der Küste zu abtransportiert. Bei Eismitte dringt der Wärmestrom der Erde infolgedessen dann nicht bis zur Oberfläche durch, so daß in den oberen Schichten Isothermie von  $-28,68^\circ$  herrscht. Wenn diese Annahme auch die wahrscheinlichste ist, so sind die Temperaturnessungen im Schacht doch kein eindeutiger Beweis dafür. Sie sind mit jedem Wärmestrom von unten von 0 bis etwa  $7 \cdot 10^{-4}/\text{cm}$  vereinbar. Wenn man den Wärmestrom kennen würde, könnte man die mittlere Erhöhung der Lufttemperatur in den letzten fünf Jahren ableiten. Nimmt man an, daß keine Erhöhung der Lufttemperatur stattgefunden hat, so muß man für den von 9 m bis wenigstens 16 m wahrer Tiefe von oben nach unten fließenden Wärmestrom eine andere Erklärung finden.

Die stärkeren Abweichungen bei 6 m und 7 m Nenntiefe können wohl nicht allein durch Beobachtungsfehler erklärt werden, sondern sind reelle Abweichungen von dem regelmäßigen Temperaturverlauf. Da aber in den oberen Teilen des Schachtes und dem Zugang zu ihm mannigfache Störungen der Lufttemperatur aufgetreten sind, sind diese Abweichungen vielleicht nur auf derartige äußere Störungen zurückzuführen. Sie können aber auch von einer Kältewelle herrühren, die im Frühjahr 1930 an der Oberfläche herrschte. Der zu kalte Anfang des Jahres 1930 war es ja, der an den Küsten eine so starke Eiskeide entstehen ließ, daß Alfred Wegeners Expedition 40 Tage lang daran gehindert wurde, in die Kamarijukbucht einzulaufen.

Die Betrachtung über die Temperaturen früherer Jahre mußte stark vereinfacht werden, um den Vorgang mathematisch behandeln zu können. Jedenfalls sieht man daraus, daß die Temperatormittel an der Oberfläche und in größeren Tiefen nicht einfach nach der Poissonschen Funktion miteinander zusammenhängen. In Wirklichkeit ist die Firntemperatur in der Tiefe das Ergebnis eines äußerst verwickelten Vorgangs, nämlich der Überlagerung sämtlicher verschiedener Temperaturen aus sehr vielen Jahren. Da die Einflüsse früherer Zeiten mit der Tiefe stark abklingen und die Genauigkeit einer einzelnen Temperaturnessung bei höchstens  $0,05^\circ$  liegt, ist es nicht möglich, durch Berechnungen den Temperaturverlauf der einzelnen Jahre nachträglich zu ermitteln. Nur die Hauptentümlichkeit konnte erschlossen werden, daß nämlich in den letzten fünf Jahren das Klima in Eismitte ähnlich wie an den Küstenstationen im Durchschnitt wärmer gewesen sein muß als früher; und zwar um einen Betrag, der zwischen  $0,66$  und  $1,4^\circ$  liegt.

Die glaziologischen Untersuchungen ergeben also durch die Auswertung der Firndichte- und Firntemperaturmessungen beide Male einen Blick in die Vergangenheit: Schneezuwachs und Temperaturen in früheren Jahren konnten ermittelt werden. Nur sind die Temperaturuntersuchungen ungünstiger gestellt, da die früheren Temperaturen mit der Tiefe abklingen und sich insgesamt so überlagern, daß nur ihre Summe noch nachträglich merkbar ist, während bei der Überlagerung der Jahresabschichten die einzelnen Jahre voneinander getrennt bleiben und durch Firndichtemessungen wiederzuerkennen sind.

Mit dem Rückblick auf frühere Zeiten wurden zugleich für den Jahreszuwachs und die Firntemperaturen langjährige Mittelwerte gefunden. Damit werden die meteorologischen Untersuchungen von Georgi durch einige Ergebnisse ergänzt, die bei einem einjährigen Aufenthalt in Eismitte nicht unmittelbar gewonnen werden können.

Abgeschlossen 26. August 1934.

---

---