

Sonderabdruck aus der  
**Zeitschrift für Gletscherkunde**

Bd. XVII Heft 1—3, 1929

Verlag von GEBRÜDER BORNTRAEGER in Berlin W 35

---

**Hintereisferner-Nachlese**

VON

H. HESS (Nürnberg)

**Sammlung geologischer Führer** von Prof. Dr. E. Krenkel.

- Band I: **Dresdner Elbtalgebiet** von R. Beck. 2. Auflage. 1914. 303 S. Mit 1 Karte und 9 Tafeln. Gebunden 7.—
- Band II: **Mecklenburg** von E. Geinitz. 1899. 183 S. Mit 1 Karte und 15 Tafeln. Gebunden 4.50
- Band III: **Bornholm** von W. Deecke. 1899. 131 S. Mit 7 Abb. und 1 Übersichtskarte. Gebunden 5.25
- Band IV: **Pommern** von W. Deecke. 1899. 132 S. Mit 7 Abb. Geb. 4.20
- Band V: **Elsaß** von Benecke, Bücking, Schumacher-Werveke. 1900. 461 S. Mit 56 Abb. bzw. Profilen. Gebunden 12.—
- Band VI: **Riesengebirge** von G. Gürich. 1900. 301 S. Mit 24 Abb. und 3 Tafeln. Gebunden 8.25
- Band VII: **Schonen** von A. Hennig. 1900. 182 S. Mit 35 Abb. u. 1 Karte. Gebunden 5.25
- Band VIII: **Campanien** von W. Deecke. 1901. 235 S. Mit 28 Abb. und 1 Karte. Gebunden 6.—
- Band IX: **Oberitalien** von A. Tornquist. (I. Das Gebirge der oberitalienischen Seen.) 1902. 302 S. Mit 30 Abb. Gebunden 8.25
- Band X: **Alpen** von A. Rothpletz. (I. Das Gebiet der zwei großen rhätischen Überschiebungen zwischen Bodensee und dem Engadin.) 1902. 256 S. Mit 81 Abb. Gebunden 6.—
- Band XI: **Das Berner Oberland und Nachbargebiete** von A. Baltzer. 1906. 347 S. Mit 74 Abb. und 1 Karte. Gebunden 18.75
- Band XII: **Das inneralpine Becken der nächsten Umgebung von Wien** von F. X. Schaffer. 1907. 126 S. Mit 11 Abb. Gebunden 3.60
- Band XIII: **Das inneralpine Becken (Teil II)** von F. X. Schaffer. 1908. 157 S. Mit 5 Doppel- und 8 einf. Tafeln. Gebunden 8.25
- Band XIV: **Dalmatien** von R. Schubert. 1909. 176 S. Mit 18 Abb. und 1 Tafel. Gebunden 8.40
- Band XV: **Odenwald** von G. Klemm. 1910. 248 S. Mit 40 Abb. Gebunden 9.75
- Band XVI: **Mainzer Tertiärbecken** von E. Mordziol. 1911. 167 S. Mit 39 Abb. Gebunden 6.60
- Band XVII: **Nördliche Adria** von R. Schubert. 1912. 213 S. Mit 40 Abb. Gebunden 7.20

(Fortsetzung siehe nächste Seite)

## Hintereisferner-Nachlese

Von H. Heß (Nürnberg)

### Bewegung

Im Jahre 1904 wurde im Profil V des Hintereisgletschers<sup>1)</sup> ein bis zur Gletschersohle reichendes Bohrloch von 214 m erzeugt. Das Bohrgestänge blieb als Geschwindigkeits- und Ablationsmarke im Bohrloch stecken. Es hat die Bewegung des Eises mitgemacht. Bis 1922 waren 62 m des Gestänges an der Gletscheroberfläche ausgeschmolzen und abgeschraubt worden. Es blieben also noch 152 m im Eis stecken, das an dieser Stelle noch 120 m dick ist. Die das Eis überragenden Röhren stehen nicht mehr, wie anfänglich vertikal; sie zeigen eine im Sinne der Bewegungsrichtung liegende Neigung von etwa 78° (1927) gegen den Horizont. Das Gestänge, beste Mannesmannrohre, war nach der Bohrung von 1904 sehr gut verschraubt; es ist nicht anzunehmen, daß es sich in dem Zeitraum bis 1922 und später »von selbst« gelockert habe oder abgerissen sei. Wenn es von der Oberfläche bis zum Grund geradlinig verlaufen würde, könnte das untere Ende gegenüber dem oberen um höchstens 93 m zurückgeblieben sein. Der Weg des oberen Endes kann direkt gemessen werden und beträgt bis 1922 806 m. Die im Bericht von 1924<sup>1)</sup> mitgeteilten Grundgeschwindigkeiten ergeben einen Gesamtweg des unteren Endes von 580 m; dieses müßte also um 226 m anstatt der obengenannten 93 m zurückgeblieben sein. Um den hier auftretenden Unterschied zu erklären und zu beseitigen, habe ich die Bewegung des Eises im »Teilgletscher 8—9«, d. h. im Stromstrich des Gletschers, auf etwas geänderter Grundlage neuerdings verfolgt. Das Ergebnis dieser Untersuchung soll im folgenden mitgeteilt werden. Es ist insofern wichtig geworden, als die Änderungen in der Eistiefe und damit im Längsprofil für die Beurteilung der in den letzten Jahren stattfindenden Ausprobierung von seismischen Methoden zur Bestimmung der Eisdicke in Gletschern zu beachten sind. Diese Ausprobierung findet am Hintereisgletscher statt, dessen Dicke (wenigstens im Zungengebiet mit befriedigender Genauigkeit) bekannt ist.

---

<sup>1)</sup> Vgl. »Der Hintereisferner 1893—1922.« Diese Ztschr. 1924, Bd. XIII, S. 145 u. ff.

Die in einer strömenden Eismasse verfügbare Gefällsenergie wird verbraucht: 1. zur Überwindung der Bodenreibung; 2. zur Überwindung der bei der Deformation des Eises während der Strömung auftretenden inneren Widerstände, welche unter der Bezeichnung »innere Reibung« zusammengefaßt werden; 3. zur Erzeugung der Bewegungsenergie ( $\frac{1}{2}mv^2$ ), die in der bewegten Eismasse steckt; 4. zur Erzeugung und Vermehrung der Druckschmelze in einem Teil des Eises und 5. zur allmählichen Temperatursteigerung der in den Gletscher neu eintretenden Masse.

Von diesen 5 Summanden wurden bei den Berechnungen im Bericht von 1924 S. 176 absichtlich nur die zwei ersten berücksichtigt; die übrigen wurden als verschwindend klein erachtet. Das trifft sicher zu auf den unter 3. genannten Summanden. Für den »Teilgletscher 8—9« z. B. ist die Masse rund  $120 \cdot 10^8$  kg, die mittlere Strömungsgeschwindigkeit 26,7 m/Jahr. Daraus berechnet sich  $\frac{1}{2}mv^2$  zu 0,004 mkg/sek gegenüber 9700 mkg/sek, welche den Summanden 1. und 2. zusammen zukommt. (Vgl. S. 51.)

Auch der unter 5. genannte Summand darf für den Hintereisgletscher vernachlässigt werden; seine Größe kann man nicht angeben. Der weitaus größte Teil von der etwa 350 Mill. Kalorien<sup>2)</sup> betragenden Wärmemenge, welche die jährlich anfallende, in die Gletschermasse eindringende Schneemenge zur Erwärmung auf 0° braucht, wird aus der Sonnenstrahlung und der Luftwärme bestritten. Mangels genauerer Kenntnis soll diesen Agentien die ganze Leistung zugeschrieben werden.

Denkt man sich die Firnoberfläche stationär, so wird, da jährlich im Mittel 1,11 m Eis anfallen, die gesamte Firnmasse um  $1,11 + 0,14$  m = 1,25 m sich dem Talboden nähern müssen. (0,14 m beträgt die durchschnittliche Schmelzung auf der Sohle im Firn.) Es kommt also allenthalben im Firn die Eismasse unter einen um  $0,114$  kg/cm<sup>2</sup> höheren Druck; die Druckschmelze vermehrt sich dadurch um rund 0,0025 g pro dm<sup>3</sup>, um 2,5 g pro m<sup>3</sup> Eis. Die mittlere Dicke der Firnmasse von  $354800$  m<sup>2</sup> Horizontalprojektion beträgt 140 m; diese Masse selbst hat also  $49672000$  m<sup>3</sup> und erhält demnach einen Wasserzuwachs von  $49672 \cdot 2,5$  kg =  $124000$  kg pro Jahr. Dazu sind nötig  $124000 \cdot 80$  =  $9920000$  Kal/Jahr oder 4230 Mill. mkg/Jahr = 134 mkg/sek. Man sieht, auch dieser Anteil an dem Verbrauch der sekundlichen Leistung im »Teilgletscher 8—9« ist klein gegenüber den zwei anderen Anteilen,

<sup>2)</sup> Etwa 4700 mkg/sek.

Teilgletscher 8—9 1905/06

Tab. I

| Abstand<br>m | Ablation<br>u. Sohlen-<br>Schmelzg.<br>m/Jahr | b<br>m | T<br>m | Q<br>m <sup>2</sup> | V <sub>o</sub><br>m/Jahr | V <sub>m</sub><br>m/Jahr | V <sub>u</sub><br>m/Jahr | α       | sin α | mkg/sek |       |       |       | Sohlen-<br>Schmelzg.<br>m/Jahr |  |
|--------------|---|--------|--------|---------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------|-------|---------|-------|-------|-------|--------------------------------|--|
|              |   |        |        |                     |                          |                          |                          |         |       | g       | r     | s     | W     |                                |  |
| 186          | — 5,00  |        |        |                     |                          |                          |                          |         |       |         |       |       |       |                                |  |
| 215          | — 4,01  | 55     | 50     | 2750                | 17,0                     | 16,2                     | 15,4                     | 2° 20'  | 0,040 | 0,052   | 0,092 | 0,039 | 0,131 | 0,21                           |  |
| 245          | — 3,71  | 56     | 95     | 5300                | 20,0                     | 18,0                     | 16,0                     | 3° 30'  | 060   | 165     | 160   | 120   | 280   | 0,21                           |  |
| 240          | — 3,01  | 56     | 120    | 6700                | 25,0                     | 22,0                     | 19,0                     | 2° 10'  | 037   | 157     | 242   | 209   | 451   | 0,21                           |  |
| 270          | — 2,61  | 58     | 142    | 8200                | 28,0                     | 24,2                     | 20,4                     | 4° 25'  | 077   | 439     | 325   | 225   | 550   | 0,21                           |  |
| 355          | — 2,21  | 55     | 167    | 9100                | 31,0                     | 26,5                     | 22,0                     | 3° 40'  | 063   | 436     | 382   | 343   | 725   | 0,20                           |  |
| 360          | — 1,80  | 52     | 200    | 10400               | 33,0                     | 27,0                     | 21,0                     | 2° 10'  | 038   | 308     | 424   | 451   | 875   | 0,20                           |  |
| 260          | — 1,60  | 52     | 212    | 11000               | 35,0                     | 28,8                     | 22,6                     | 2° 20'  | 040   | 367     | 475   | 475   | 950   | 0,20                           |  |
| 340          | — 1,50  | 50     | 231    | 11500               | 36,0                     | 29,4                     | 22,8                     | 2° 30'  | 043   | 419     | 500   | 492   | 0,992 | 0,20                           |  |
| 300          | — 1,40  | 50     | 245    | 12300               | 38,0                     | 30,5                     | 23,0                     | 1° 40'  | 030   | 324     | 539   | 581   | 1,120 | 0,20                           |  |
| 535          | — 1,40  | 50     | 270    | 13500               | 39,0                     | 30,5                     | 22,0                     | 1° 0'   | 017   | 202     | 565   | 661   | 1,226 | 0,20                           |  |
| 695          | — 1,30  | 48     | 309    | 14800               | 36,0                     | 28,0                     | 20,0                     | 1° 10'  | 019   | 226     | 562   | 503   | 1,065 | 0,19                           |  |
| 795          | — 1,19  | 49     | 313    | 15300               | 38,0                     | 29,5                     | 21,0                     | 3° 10'  | 055   | 715     | 570   | 572   | 1,142 | 0,19                           |  |
| 375          | — 0,19  | 55     | 329    | 18100               | 31,4                     | 24,4                     | 17,4                     | 4° 0'   | 070   | 890     | 615   | 415   | 1,030 | 0,19                           |  |
| 565          | 0,11  | 60     | 305    | 18300               | 31,1                     | 24,2                     | 17,3                     | 6° 30'  | 113   | 1,450   | 593   | 472   | 1,065 | 0,19                           |  |
| 605          | 0,32  | 60     | 270    | 16200               | 36,0                     | 28,0                     | 20,0                     | 5° 10'  | 090   | 1,175   | 608   | 712   | 1,320 | 0,18                           |  |
| 505          | 0,54  | 65     | 249    | 16200               | 34,0                     | 27,0                     | 20,0                     | 5° 10'  | 090   | 1,180   | 575   | 645   | 1,220 | 0,16                           |  |
| 435          | 0,75  | 60     | 233    | 14000               | 38,0                     | 30,4                     | 22,8                     | 9° 0'   | 156   | 1,820   | 600   | 745   | 1,345 | 0,15                           |  |
| 540          | 1,08  | 66     | 143    | 9450                | 50,0                     | 42,5                     | 35,0                     | 13° 30' | 225   | 2,610   | 605   | 1,280 | 1,885 | 0,13                           |  |
| 520          | 1,18  | 80     | 129    | 10300               | 36,5                     | 31,5                     | 26,5                     | 9° 30'  | 165   | 1,540   | 515   | 785   | 1,300 | 0,11                           |  |
| 340          | 1,25  | 130    | 82     | 10650               | 28,0                     | 25,3                     | 22,6                     | 17° 40' | 303   | 2,350   | 468   | 577   | 1,045 | 0,10                           |  |
| 270          | 1,32  | 165    | 57     | 9400                | 24,0                     | 22,0                     | 20,0                     | 23° 30' | 399   | 2,370   | 328   | 660   | 0,988 | 0,08                           |  |
| 360          | 1,72<br>2,0                                   | 200    | 45     | 9900                | 18,0                     | 17,0                     | 16,0                     | 34° 30' | 0,566 | 2,750   | 0,258 | 105   | 0,363 | 0,07                           |  |

b = Breite, T = Tiefe } des Teilgletschers  
 Q = Querschnitt  
 α = Neigung der Gletschersohle

g = Gefällsleistung  
 r = Bodenreibung  
 s = Innere Reibung

welche bei der Berechnung von 1924 berücksichtigt wurden. Er bleibt ganz innerhalb der Beobachtungsfehler, welche sich in einer Unsicherheit von 4% in der Bestimmung der Eistiefe ausdrücken.

Etwas anders liegen die Verhältnisse mit der Beachtung der Schmelzung, welche durch die Erdwärme auf der Sohle des Gletschers verursacht wird. Diese Schmelzung ist jedoch nicht durch unmittelbare Messung am Hintereisbach bekannt. Sie kann nur aus den in den Gebieten des Rhonegletschers und des Aletschgletschers 1903 vorgenommenen Winterwassermessungen indirekt ermittelt werden. Man erhielt (vgl. mein Buch »Die Gletscher« S. 236 und 237) für den Rhonegletscher 8,6, für den Aletschgletscher 2,8% der Oberflächenschmelzung<sup>3)</sup>. Das Ende des Hintereisgletschers lag 1905/06 bei 2300 m, jenes des Rhonegletschers 1903 bei 1800 m. Bringt man für den Hintereisferner eine mittlere Sohlenschmelzung von 6,5% der Ablation in Rechnung, so wird dabei wohl die obere Grenze für deren Größe genommen sein. Das entspricht, da die mittlere Oberflächenschmelzung am Hintereisgletscher 2,61 m/Jahr beträgt, einer Sohlenschmelzung von 0,17 m/Jahr. Örtlich hängt dieser Betrag von der Höhenlage der Gletschersohle ab; mangels genauer Kenntnis darüber wurde so verteilt, daß von der Randkluft an, wo die Sohlenschmelzung Null ist, bis zum Gletscherende eine allmähliche Zunahme eintritt. Es wurden unter Berücksichtigung der Breitenänderung des Teilgletschers die Beträge gewählt, welche in der Spalte 16 der Tabelle 1 angegeben sind; sie liefern den Mittelwert 0,17 m/Jahr für die ganze Sohle. (Diese Beträge wurden bei den späteren Rechnungen dem Ablationsbetrage zugezählt.) •

Die durch die Sohlenschmelzung dem Gletscher entzogene Masse muß wieder ersetzt werden durch den Zustrom, welcher die Querschnitte des Gletschers im Jahre durchläuft. An den beobachteten Oberflächengeschwindigkeiten, sowie an den durch die Tiefbohrungen kontrollierten Eisdicken im Bereich der Gletscherzunge können keine Änderungen vorgenommen werden, welche der Beachtung der Sohlenschmelzung entsprechen. Sind doch die Tiefen in letzter Zeit auch nach einer seismologischen Untersuchungsmethode als unter sich übereinstimmend befunden worden<sup>4)</sup>. Es bleibt also nur eine Änderung der Innen- und der Grundgeschwindigkeit des Eises übrig. Diese

<sup>3)</sup> welche bei diesem sehr tief herabgehenden Gletscher wenigstens unterhalb 2300 m besonders groß ist.

<sup>4)</sup> Vgl. H. Mothes: Seismische Dickenmessungen von Gletschereis. Göttinger Diss. Braunschweig 1927.

müssen größer ausfallen, als sie sich bei den früheren Bestimmungen fanden, bei denen die Sohlenschmelzung nicht beachtet wurde. Auf Grund der für das Innere des Gletschers geltenden Kontinuitätsbedingung wurden sie berechnet und dann die Kurve neu ermittelt<sup>5)</sup>, welche den Zusammenhang zwischen der Eistiefe und dem Verhältnis Grundgeschwindigkeit zu Oberflächengeschwindigkeit darstellt. Mit ihrer Hilfe und der Ausdehnung der Kontinuitätsgleichung auf das Firngebiet wurden hier die Eistiefen und die Grundgeschwindigkeiten neu bestimmt. Die erhaltenen Werte sind unter T, V<sub>m</sub> und V<sub>u</sub> in der Tab. 1 angegeben. Die neuen, gegen die früheren etwas geringeren Eistiefen des Firngebietes ergaben auch kleine Änderungen im Längsprofil und den Neigungswinkeln des Untergrundes. Es wurden deshalb auch die Gefällsleistung und die Beträge der Bodenreibung und der inneren Reibung neu berechnet. Dabei wurde die Gleichung Gefällsleistung = Bodenreibung + innere Reibung + innere Schmelzung zugrunde gelegt und die Änderung gegen die in der Abhandlung von 1924 mitgeteilten Werte der beiden Reibungskoeffizienten  $\mu$  und  $f$  auf beide annähernd gleich verteilt. Es fanden sich für den ganzen »Teilgletscher 8—9« die Werte

|                             |              |         |                    |           |
|-----------------------------|--------------|---------|--------------------|-----------|
| Gefällsleistung . . . . .   | 9700 mkg/sek |         | gegen 8475 mkg/sek |           |
| Bodenreibung . . . . .      | 4495         | „ 46,3% | „ 3500             | „ 41,3%   |
| Innere Reibung . . . . .    | 5070         | „ 52,2% | „ 4975             | „ 58,7%   |
| Innere Schmelzung . . . . . | 135          | „ 1,5%  | „ —                | von 1924. |

Die Vergrößerung der Bodenreibung und der inneren Reibung sind auf die vergrößerte Grundgeschwindigkeit zurückzuführen. Die neuen Beträge dieser Widerstandsgrößen sind mit den Werten

$$\mu = 1,25 \cdot 10^{15} \frac{\text{g}}{\text{cm} \cdot \text{sek}} \text{ und } f = 0,066$$

erhalten worden. Diese Werte dürfen wohl, weil die Sohlenschmelzung ziemlich groß angesetzt wurde, als obere Grenze der beiden Koeffizienten angenommen werden, während die unteren Grenzwerte die früher erhaltenen  $\mu = 1,0 \cdot 10^{15}$  und  $f = 0,05$  sind.

Prozentual ist der Aufwand zur Überwindung der Bodenreibung gegen den 1924 berechneten gewachsen, weil die Grundgeschwindigkeit größer wurde. Aus demselben Grund ist der Aufwand gegen die innere Reibung prozentual zurückgegangen. Der Gletscher verhält sich also noch steifer, als es den früheren Rechnungen entsprach.

Wenn mit den neu ermittelten Grundgeschwindigkeiten, unter Berücksichtigung des bei einem Vorstoß eintretenden Wachsens des Ver-

<sup>5)</sup> Vgl. »Der Hintereisferner 1893—1922«. Ztschr. f. Glkde. XIII, S. 168.

hältnisses Grundgeschwindigkeit zu Oberflächengeschwindigkeit, der Weg des unteren Endes vom Gestänge im 214 m-Bohrloch bestimmt wird, so findet sich dieser zu 695 m anstatt 713 bis 720 m, wie er sich nach den eingangs (S. 47) gemachten Angaben finden müßte. Es ist also eine brauchbare Annäherung, wenn auch noch keine völlige Übereinstimmung erzielt. Der Unterschied beträgt höchstens 3,6%; das ist etwas weniger als die Unsicherheit von 4%, welche den Tiefenbestimmungen anhaftet. Auf der neuen Grundlage, welche hier den Rechnungen gegeben wurde, sind also alle bisher am Hintereisgletscher gewonnenen Beobachtungsergebnisse unter sich in guten Einklang gebracht worden, und es darf wohl angenommen werden, daß die in Tab. 1 mitgeteilten Zahlen für  $V_m$  und  $V_u$  sehr nahe an die wirklichen Werte herankommen.

### Oberflächenänderung im Firnfeld

In meinem Bericht: Der Hintereisferner 1893—1922, Ztschr. f. Glkde. XIII, habe ich S. 151 erwähnt: »Alles, was über die Bewegungsverhältnisse des Eises in der Gletscherzunge bekannt ist, deutet darauf hin, daß die Firnoberfläche weit unruhiger ist, als es nach den drei (vorhandenen Hintereisferner-)Karten zum Ausdruck kommt.« Ich habe, damit auch für diese Vermutung sichere Belege beigebracht werden, 1925 eine stereophotogrammetrische Aufnahme des Hauptfirnfeldes mit drei Basislinien: Im hintern Eis, am Teufelseck und bei Signal X ausgeführt. Von den gleichen Punkten aus wurde die Aufnahme 1926 wiederholt. Die Aufnahmen von 1925 wurden nach weitgehender Ausaperung des Firns bei hervorragend gutem Wetter gewonnen; die von 1926 sind unter weniger günstigen Umständen entstanden. Damals war im Firngebiet noch reichlich Schnee gelegen, der die Spaltensysteme verdeckte und damit die für die photogrammetrische Verarbeitung sehr wertvollen Charakterzüge der Landschaft verhüllte. Trotzdem gelang es der Geschicklichkeit des Herrn Dr. Richard Finsterwalder, wenigstens den Südhang der Langtauferer Spitze und den anschließenden Teil der großen Firnmulde auch für 1926 am Stereo-Autographen so gut zu bearbeiten, daß der Vergleich mit der entsprechenden Karte von 1925 möglich wurde. Dieser Vergleich zeigt vor allem in der Mulde sehr deutliche Änderungen im Verlauf der Schichtlinien, welche im allgemeinen ein Einsinken der Gletscheroberfläche um 1—5 m, stellenweise aber eine Hebung bis zu 5 m erkennen lassen. Da ein größeres, geschlossenes Firngebiet nicht



für beide Jahre gleich gut dargestellt werden konnte, verzichte ich hier auf eine Wiedergabe der recht dankenswerten Arbeit R. Finsterwalders. — Gegenüber der Gletscherkarte von 1920 zeigt die Firnkarte von 1925 für den Bereich der großen Mulde ein Einsinken der Firnoberfläche um rund 5 m. Dagegen zeigt der nördliche Teil des flachen Gebietes zwischen 2810 und 2850 m eine Hebung bis zu 5 m. Selbst wenn in den Höhenbestimmungen Fehler von mehr als  $\pm 1$  m auftreten, ergibt der Vergleich der Schichtlinienformen der Darstellungen für 1925/26 die Richtigkeit meiner oben angeführten Vermutung; die Gestaltung der Firnoberfläche ist von Jahr zu Jahr beträchtlichen Veränderungen unterworfen, welche bei sorgfältigem Studium der Strömung des Eises mittelst genauer Messung zu verfolgen sind.

### Erosion

In den Jahren 1904 bis 1907 habe ich an 3 Stellen auf der großen Mittelmoräne des Hintereisferners eine Anzahl Messungen der Schutt mengen ausgeführt, welche im Lauf einer gewissen Zeit längs einer gemessenen Strecke der Naht ausgeschmolzen sind. Die Größe der Ablation wurde durch Holzstäbe bestimmt, die bei Beginn der Messung neben der Naht in Bohrlöcher entsprechender Tiefe versenkt wurden und während der Beobachtungszeit zum Teil ausgeschmolzen sind.

Die Lage der Meßstellen B, C, D ist durch ihre Koordinaten

|             | X    | Y     | Z      |
|-------------|------|-------|--------|
| B . . . . . | 8155 | 12313 | 2720 m |
| C . . . . . | 6986 | 11512 | 2603 „ |
| D . . . . . | 6611 | 11373 | 2567 „ |

gegeben. Die einzelnen Messungen ergaben:

bei Stelle C:

|                |           |       |      |        |               |         |                         |
|----------------|-----------|-------|------|--------|---------------|---------|-------------------------|
| 1904 . . . . . | Nahtlänge | 14 m  | Abl. | 1,25 m | Schuttgewicht | 2140 kg | 122,6 kg/m <sup>2</sup> |
| 1905 . . . . . | „         | 14 „  | „    | 2,74 „ | „             | 1700 „  | 44,4 „                  |
| 1905 . . . . . | „         | 14 „  | „    | 0,89 „ | „             | 580 „   | 46,4 „                  |
| 1906 . . . . . | „         | 8 „   | „    | 2,12 „ | „             | 1712 „  | 100,7 „                 |
| 1907 . . . . . | „         | 5,3 „ | „    | 3,13 „ | „             | 1968 „  | 118,5 „                 |
|                |           |       |      |        |               | Mittel  | 86,5 kg/m <sup>2</sup>  |

bei Stelle D:

|                |           |       |      |        |               |         |                         |
|----------------|-----------|-------|------|--------|---------------|---------|-------------------------|
| 1904 . . . . . | Nahtlänge | 12 m  | Abl. | 4,12 m | Schuttgewicht | 3590 kg | 72,5 kg/m <sup>2</sup>  |
| 1905 . . . . . | „         | 12 „  | „    | 1,08 „ | „             | 2300 „  | 177,0 „                 |
| 1906 . . . . . | „         | 7,3 „ | „    | 2,75 „ | „             | 1420 „  | 71,0 „                  |
| 1907 . . . . . | „         | 3 „   | „    | 3,20 „ | „             | 1900 „  | 198,0 „                 |
|                |           |       |      |        |               | Mittel  | 129,6 kg/m <sup>2</sup> |

bei Stelle B:

|                |                 |             |                      |                        |
|----------------|-----------------|-------------|----------------------|------------------------|
| 1905 . . . . . | Nabtlänge 5,6 m | Abl. 0,68 m | Schuttgewicht 368 kg | 97,0 kg/m <sup>2</sup> |
| 1905 . . . . . | „ 25,3 „        | „ 2,00 „    | „ 3845 „             | 76,0 „                 |
| 1906 . . . . . | „ 27,0 „        | „ 1,97 „    | „ 6748 „             | 127,0 „                |
| 1907 . . . . . | „ 15,2 „        | „ 3,15 „    | „ 3598 „             | 77,0 „                 |
|                |                 |             | Mittel               | 94,2 kg/m <sup>2</sup> |

Nimmt man das spezifische Gewicht des Glimmerschiefers, der hier das Schuttmaterial liefert, zu 2,7 an, so ergeben die 3 Mittelzahlen bei B 38,5 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, bei C 32,0 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>, bei D 48 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.

Da die Strömung des Eises auch im unteren Firngebiet des Langtauferer Zuflusses hinreichend sicher bekannt ist, können jetzt die Stellen, an welchen die entsprechenden Schutt mengen in die Vertikalwand der Naht (am Fuß der Langtauferer Spitze) eintreten und die Bereiche auf der Firnsohle, aus denen der Schutt stammt, angegeben werden. Im Durchschnitt darf man annehmen, daß 1 m<sup>2</sup> der Schmelzstelle D mit 1,4 m<sup>2</sup> Bodenfläche, 1 m<sup>2</sup> der Schmelzstelle C auch mit 1,4 m<sup>2</sup> und 1 m<sup>2</sup> der Stelle B mit 1,3 m<sup>2</sup> Bodenfläche der zugeordneten Firnstreifen korrespondiert. Die durchschnittliche Tiefe der 3 Streifen ist 45 m für D, 35 m für C und 20 m für B; die Oberflächengeschwindigkeiten sind mit 20,18 und 12 m/Jahr, die Grundgeschwindigkeiten nach der S. 51 angegebenen Berechnung zu  $V_u = 18,5, 17$  und 11,5 m/Jahr anzusetzen. Für die Länge der Firnstreifen bis zur Naht, d. h. für den Weg, den die Schuttstücke mit den mittleren Grundgeschwindigkeiten zurückzulegen haben, finden sich die Strecken  $s = 1100, 1000$  und 800 m. Nimmt man an, daß der in der Nahtwand sitzende Schutt zur Hälfte aus dem Bett des Langtauferer Zuflusses, zur anderen Hälfte aus dem des Hauptzuflusses stammt, so können aus den Schuttbeträgen  $m = 24$  (D), 16 (C) und 19,2 (B) dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> die Größen des jährlichen Abtrages

$$a = m_1 \cdot \frac{V_u}{s}$$

berechnet werden, wenn die Beträge  $m$  auf die größeren Firngrundflächen verteilt und mit

$m_1 = 17,1$  für D,  $m_1 = 12,4$  für C und  $m_1 = 14,8$  dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> für B in Rechnung genommen werden. Man erhält

$a$  zu 0,249 für D, zu 0,211 für C und zu 0,275 dm<sup>3</sup>/m<sup>2</sup> für B oder bei gleichmäßiger Verteilung über den m<sup>2</sup> die Zahlen 0,249 mm, 0,211 mm, 0,257 mm jährlichen Abtrag.

Man hat sonach

|               |                   |                                 |                 |
|---------------|-------------------|---------------------------------|-----------------|
| 0,249 mm/Jahr | bei 45 m Eistiefe | oder 4 kg/cm <sup>2</sup> Druck | und 18,5 m/Jahr |
| 0,211         | „                 | 35 „                            | „ 3,2 „         |
| 0,275         | „                 | 20 „                            | „ 1,8 „         |

oder für  $1 \text{ kg/cm}^2$  Druck und  $1 \text{ m/Jahr}$  Grundgeschwindigkeit die Erosionsgröße

$$E = 0,00335, 0,00395, 0,01335;$$

im Mittel  $E = 0,00692 \text{ mm/Jahr, kg, m}$

oder rund  $1 : 165 \text{ mm/Jahr, kg, m}$ .

Für den Teil des Schuttinhaltes, welcher aus dem kleinen Gletschergebiet vom Osthang der Langtauferer Spitze stammt, sind die Strömungsverhältnisse und die Ursprungstreifen weniger gut anzugeben. Auch die Länge der letzteren ist nicht bekannt; sie ist jedoch größer, als die oben verwendeten. Man erhält hier einen kleineren Wert der Erosionsgröße  $E$ . Vielleicht kommt man den Durchschnittsverhältnissen des gesamten Hintereisbeckens am nächsten mit

$$E = 0,005 \text{ mm/Jahr, kg, m.}$$

Das wäre ein Wert, wie er schätzungsweise von A. de Quervain für den Bifertengletscher (Schweiz) ermittelt wurde. Wesentlich größer ist der Wert  $30,1 \text{ mm}$  in  $5$  Jahren, also  $6 \text{ mm/Jahr}$ , den O. L ü t s c h g \*) aus direkten Messungen des Felsabtrages durch den vorschreitenden Allalngletscher an dem Felsblock »auf der Schanz« im Tal der Saaser Visp erhalten hat.

Die tiefste Stelle im Bohrprofil V hat  $212 \text{ m}$  Eisdicke, was einem Druck von  $19,4 \text{ kg/cm}^2$  entspricht; die Grundgeschwindigkeit wurde (s. o. S. 49) zu  $22,6 \text{ m/Jahr}$  gefunden, so daß also hier der jährliche Abtrag  $2,2 \text{ mm/Jahr}$  ausmacht.

Für die tiefste Stelle des Profiles XI,  $329 \text{ m}$  mit  $29,9 \text{ kg/cm}^2$  ist  $V_u = 17,4 \text{ m/Jahr}$  und damit der jährliche Abtrag  $2,6 \text{ mm/Jahr}$  und im Profil X, wo die stärkste Einschnürung des  $309 \text{ m}$  tiefen Gletschers eintritt, wird bei einem Druck von  $28,1 \text{ kg/cm}^2$  und  $21,0 \text{ m/Jahr}$  Grundgeschwindigkeit der Abtrag  $3,0 \text{ mm/Jahr}$ . Von hier an nach abwärts und nach aufwärts im Längsprofil nimmt diese Größe ab.

Um ein Urteil zu bekommen, welche Arbeit notwendig ist, um unter ähnlichen Bedingungen, wie sie auf dem Grunde des Gletschers bestehen,  $1 \text{ mm}$  Gesteinsschicht abzutragen, habe ich einige Versuche ausgeführt, die ich in »Die Gletscher« S. 188 bereits 1904 angeregt habe. Sie wurden von keinem der geeigneten Institute angestellt. Von der Leitung der bayerischen Landesgewerbeanstalt in Nürnberg erhielt ich im Herbst 1926 in dankenswerter Weise die Erlaubnis, im Laboratorium für Materialprüfung die Abnutzungsscheibe zu benützen.

\*) O. L ü t s c h g, Niederschlag, Abfluß, Verdunstung im Hochgebirge. Zürich 1926. S. 109.

Die notwendigen Probestücke wurden in Form von Würfeln mit nahe 5 bzw. 4 cm Kantenlänge hergestellt. Das Schleifmaterial war meistens ganz fein zerriebenes Pulver von dem zu prüfenden Gestein: Grauwacke und Glimmerschiefer; für zwei Versuche mit Glimmerschiefer wurde grobkörniger Schmirgel benützt.

Die Abnutzungsscheibe aus Eisen ist um eine vertikale Achse drehbar und wird durch einen Elektromotor mit konstanter Geschwindigkeit bewegt. Gegen sie wird der der Abnutzung unterworfenen Körper mit meßbarer Kraft angedrückt. Zwischen Scheibe und feucht gehaltenen Probekörper kommt das angefeuchtete Schleifpulver. Entfernung der Druckstelle von der Drehachse und Umdrehungszahl der Scheibe gestatten die Bestimmung des Weges, in dessen Richtung der Reibungsanteil der Druckkraft wirkt. Um diesen Anteil zu erhalten, wurde der Reibungskoeffizient  $f$  zwischen Gestein und Schleifmaterial (beide feucht) bestimmt. Das Endergebnis meiner Versuche ist:

- I. Grauwackeprobestücke mit  $25 \text{ cm}^2$  Reibfläche ( $f=0,273$ ) aus 4 Versuchen (790, 525, 560, 590), Mittel ...  $610 \text{ mkg/cm}^2$  Zerstörungsarbeit für 1 mm Abtrag;
- II. Grauwackeprobestücke mit  $10 \text{ cm}^2$  Reibfläche aus 5 Versuchen (1135, 530, 775, 495, 725), Mittel ...  $725 \text{ mkg/cm}^2$  Zerstörungsarbeit für 1 mm Abtrag;
- III. Glimmerschieferprobestücke mit  $17 \text{ cm}^2$  Reibfläche ( $f=0,30$ ) aus 2 Versuchen (445, 325), Mittel ...  $385 \text{ mkg/cm}^2$  Zerstörungsarbeit für 1 mm Abtrag.

Die 2 Versuche mit Glimmerschiefer, bei denen Schmirgel als Schleifmaterial diente, ergaben 12,6 und 12,3 im Mittel  $12,5 \text{ mkg/cm}^2$  Zerstörungsarbeit für 1 mm Abtrag pro  $\text{cm}^2$  Reibfläche (bei  $f=0,35$  für trockenen Schmirgel).

Es sind also, je nach Gesteinsart und Schleifmittel recht weit differierende Zahlen, welche diese Versuche für die beim Abschleifen von 1 mm Gestein erforderliche Arbeit ergeben haben. Immerhin zeigen sie die Größenordnung der Beträge, mit denen man es zu tun hat. Rechnen wir nun allein mit den für Glimmerschiefer erhaltenen Werten 385 und  $12,5 \text{ kg/cm}^2$ , da für das Gebiet des Hintereisferners nur dieses Gestein in Frage kommt! Es bleibt dann zur Gewinnung eines etwa für die ganze Gletschersohle verwendbaren Mittelwertes noch ziemliche Wahlfreiheit innerhalb der durch diese 2 Zahlen gegebenen Grenzen. Die großen Gesteinstrümmer, welche an der Naht längs der Mittelmoräne

Tab. 2

| Profil | Energie-<br>strom<br><br>mkg/sek | Be-<br>wegungs-<br>druck<br><br>kg/cm <sup>2</sup> | Jahres-<br>arbeit<br>pro cm <sup>2</sup> der<br>Profilfläche<br>nahe am<br>Grund<br>mkg/Jahr | Reibungs-<br>arbeit<br>pro Jahr auf<br>der Sohle<br>pro cm <sup>2</sup><br>mkg/Jahr | Betrag<br>der Erosion<br><br>mm/Jahr | Not-<br>wendige<br>Zer-<br>störungs-<br>arbeit<br>pro cm <sup>2</sup><br>mkg/Jahr | n<br><br>cm |
|--------|----------------------------------|--|--|---|--------------------------------------|---|-------------|
| AB     | 20                               | 1,42   | 21,8   | 5,2   | 0,32                                 | 64  | 2,6         |
| I      | 80                               | 2,65   | 42,5   | 9,0   | 0,69                                 | 138   | 3,0         |
| II     | 148                              | 3,15   | 59,9   | 13,7  | 1,04                                 | 208   | 3,2         |
| II a   | 192                              | 3,06   | 62,0   | 17,7  | 1,34                                 | 268   | 4,0         |
| III    | 244                              | 3,19   | 65,0   | 22,0  | 1,67                                 | 334   | 4,8         |
| IV     | 400                              | 4,50   | 99,0   | 25,8  | 1,92                                 | 384   | 3,6         |
| V      | 612                              | 6,12   | 138,0  | 28,8  | 2,19                                 | 438   | 3,0         |
| VI     | 768                              | 7,40   | 164,5  | 31,6  | 2,49                                 | 498   | 2,8         |
| VII    | 1012                             | 7,80   | 179,5  | 34,0  | 2,55                                 | 510   | 2,7         |
| VIII   | 1292                             | 9,95   | 219,0  | 35,7  | 2,71                                 | 542   | 2,4         |
| IX     | 1796                             | 13,80  | 266,0  | 36,9  | 2,80                                 | 560   | 2,0         |
| X      | 2252                             | 15,85  | 333,0  | 36,8  | 3,00                                 | 600   | 1,6         |
| XI     | 2480                             | 18,00  | 314,0  | 35,3  | 2,60                                 | 520   | 1,5         |
| XII    | 2420                             | 17,80  | 308,0  | 31,4  | 2,39                                 | 478   | 1,5         |
| XIII   | 2342                             | 16,70  | 334,0  | 32,1  | 2,46                                 | 492   | 1,4         |
| XIV    | 2428                             | 17,50  | 350,0  | 28,0  | 2,26                                 | 452   | 1,2         |
| XV     | 2316                             | 17,20  | 390,0  | 31,6  | 2,42                                 | 484   | 1,2         |
| XVI    | 2024                             | 15,90  | 557,0  | 29,0  | 2,26                                 | 452   | 0,7         |
| XVII   | 1788                             | 17,40  | 460,0  | 20,4  | 1,55                                 | 310   | 0,6         |
| XVIII  | 1376                             | 16,30  | 368,0  | 11,4  | 0,85                                 | 170   | 0,4         |
| XIX    | 936                              | 14,30  | 286,0  | 6,3   | 0,52                                 | 104   | 0,4         |
| XX     | 424                              | 7,95   | 127,0  | 3,7   | 0,33                                 | 66  | 0,5         |

ausschmelzen, stammen mindestens teilweise aus dem Material des Felsbodens im Firngebiet. Sie zeigen, daß neben dem Abschleifen durch den feinen Sand auch Ausbrechen größerer, durch Frostverwitterung freigeordener Stücke stattfindet. Der Schleifprozeß, dem 385 mkg/cm<sup>2</sup> Zerstörungsarbeit pro Millimeter Abtrag zugeordnet sind, entspricht mehr einem Polieren durch ganz feinkörniges Schleifpulver. Er wird hauptsächlich da auftreten, wo widerstandsfähigeres Material dem Abtrag unterworfen ist, das nach Freilegen vom Eis als »Schliffbuckel« erscheint, er ist nur auf einem kleinen Teil des bearbeiteten Felsbodens gegeben. Andererseits erscheint es nicht gerechtfertigt, für den ganzen Untergrund

<sup>6)</sup> Aus der Erosionsgröße 0,005 mm/Jahr, kg, m.

<sup>6a)</sup> Auf der Basis 200 mkg/cm<sup>2</sup> für 1 mm Abtrag.

des Eises den gleichmäßigen Abtrag durch einen Prozeß vor sich gehend anzunehmen, bei dem das Schleifmaterial sehr hart und von einigen Kubikmillimetern Korngröße wäre, für den also die Zerstörungsarbeit mit  $12,5 \text{ mkg/cm}^2$  gelten könnte. Es soll nun zunächst einmal der Wert  $200 \text{ mkg/cm}^2$  als die für den Abtrag von 1 mm Gesteinsschicht nötige Arbeit angenommen werden. Dann können die in Tab. 2 Reihe 7 mitgeteilten Werte der jährlich notwendigen Zerstörungsarbeit berechnet werden. Die Reihe 5 der gleichen Tabelle zeigt die aus der »lokalen« Reibungsarbeit für Gesteinszerstörung verfügbaren Beträge. Sie würden, unter der Voraussetzung eines Schleifprozesses, wie er im Laboratorium mit Schmirgelpulver angestellt wurde, also mit  $12,5 \text{ mkg/cm}^2$ , eben ausreichen, um die mit der Erosionsgröße  $0,005 \text{ mm/Jahr}$ ,  $\text{kg}$ ,  $\text{m}$  errechnete Gesteinszerstörung zu leisten. Wenn jedoch, wie vorstehend erläutert wurde, ein weit größerer Arbeitsbetrag, etwa  $200 \text{ mkg/cm}^2$ , für den Abtrag von 1 mm Gestein erforderlich ist, so muß zu dieser lokalen Reibungsarbeit noch ein aus dem Energiestrom herrührender Teilbetrag kommen. Die in der letzten Reihe der Tab. 2 angegebenen Zahlen  $n$  bezeichnen eine Anzahl von Zentimetern von der Sohle aufwärts gemessen. Aus diesen müßte der zur Profilfläche annähernd senkrechte Bewegungsdruck (Reihe 3 der Tab. 2) auf Gesteinsstücke des Schleifmaterials übertragen werden, so daß der im Laufe des Jahres anfallende Energiebetrag (Druck mal Weg) zum Gesteinsabtrag aufgebraucht werden könnte. Man sieht, die Werte von  $n$  liegen zwischen  $0,5$  und  $4,8 \text{ cm}$ ; sie wachsen vom obersten Schußgebiet im Firn ziemlich gleichmäßig bis zum Bremsgebiet der Zunge an. Das Schleifmaterial müßte immer grobkörniger werden, damit es bis zu  $4,8 \text{ cm}$  im Eis eingebacken sein könnte. Daß es grobkörniger wird, ist ohne weiteres einzusehen, weil das feine Schleifpulver von den Schmelzwässern zum Gletscherbach geführt wird. Die  $n$ -Werte sind durchweg kleiner als der Betrag der pro Jahr auf der Sohle eintretenden Schmelzung (vgl. Tab. 1 letzte Reihe), sie machen nicht einmal die Hälfte davon aus. Man kann also sagen, was an Energie über den Betrag der lokalen Reibungsarbeit notwendig ist, um die aus den Erosionsbeträgen ersichtliche Gesteinszerstörung zu leisten, stammt aus jenen untersten Zentimetern des Gletschers, welche im Laufe des Jahres samt dem ihnen zugehörigen Anteil des Energiestromes wegen der Sohlen-schmelzung aus der Eismasse verschwinden.

Die für die berechnete Erosion erforderliche Energie ist also zweifellos in der strömenden Masse des Gletschers vorhanden. Es besteht, trotz der Ungenauigkeit, welche den verwendeten Zahlen noch

anhafte, doch ein leidliches Zusammenstimmen der Versuchsergebnisse aus dem Laboratorium mit den am (Hintereis-)Gletscher gewonnenen Resultaten.

### Erosion während der Eiszeiten

Da die Erosionsleistung des gegenwärtigen Hintereisgletschers bekannt ist — denn das, was oben für den Teilgletscher 8—9 erwiesen wurde, gilt mit den entsprechenden Änderungen auch für die übrigen Teilgletscher —, liegt es nahe, den Einfluß kennenzulernen, welchen die eiszeitliche Bedeckung des oberen Ötztals auf die Ausgestaltung der Täler haben mußte.

Bis zur Zwerchwand liegt für das ganze Gebiet eine Karte 1 : 10000 vor; Hintereis-, Hochjoch- und Vernagtfernerkarten dieses Maßstabes sind veröffentlicht. Die Gebiete der Hintereisspitzen, des Kesselwandfernners, des oberen Berges, der Hänge der Guslarspitzen und der ganze Kreuzhang bis zur Zwerchwand sind bis zur Talsohle von mir in dem gleichen Maßstab photogrammetrisch kartographiert worden. Von der Zwerchwand liegt eine Karte 1 : 5000 mit Schichtlinien von 5 zu 5 m vor, welche mein Sohn Gustav Heß vor mehreren Jahren stereophotogrammetrisch am Autographen herstellte. Man ist also in der Lage, Profilschnitte mit großer Genauigkeit zu zeichnen und die Bewegung des Eises in den von ihm erfüllten Teilen dieser Profile zu verfolgen, sobald über Niederschlagsmengen und Abflußbedingungen Zahlen bekannt sind, welche entweder auf direkte Beobachtung oder auf zulässige Annahmen gestützt werden. Nur der letztere Fall kommt hier in Betracht:

1. In Übereinstimmung mit Ed. Brückner und A. Penck wird angenommen, daß während der Eiszeiten annähernd gleiche Niederschlagsmengen im Hochgebirge anfielen, wie gegenwärtig und daß auch der mit wachsender Höhe zunehmende Anteil der Niederschläge in fester Form galt, wie heute. Das ganze Beobachtungsgebiet war während der Vergletscherungen Firngebiet; es gab keine Ablation an der Oberfläche des Eises. In den Zwischeneiszeiten war entsprechend der gestiegenen Temperatur die Niederschlagsmenge kleiner, die Eisbedeckung z. T. noch geringer als gegenwärtig.
2. Während der Eiszeiten fand durch glaziale Erosion gemäß der Erosionsgröße 0,005 mm/Jahr, kg, m eine Tieferlegung des Felsbodens statt; während der Interglazialzeiten bestand ein allgemeiner Abtrag, für den die Dauer eines Denudations-

Tab. 3

|                                 | Nacheiszeit  | Wärm-<br>Eiszeit      | Riß-Wärm-<br>Zwischen-<br>zeit     | Riß-Eiszeit           | Mindel-Riß-<br>Zwischen-<br>zeit | Mindel-<br>Eiszeit    | Günz-<br>Mindel-<br>Zwischen-<br>zeit | Günz-<br>Eiszeit      | Gesamt-<br>abtrag |
|---------------------------------|--------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|-------------------|
| Dauer . . . . .                 | 60000 Jahre  | 65000 Jahre           | 50000 Jahre                        | 65000 Jahre           | 185000 Jahre                     | 60000 Jahre           | 50000 Jahre                           | 65000 Jahre           |                   |
| Erosionsgröße . . . . .         | e = 0,003 mm | 0,005 mm              |                                    | 0,005 mm              |                                  | 0,005 mm              |                                       | 0,005 mm              |                   |
| Profil IX {                     | Druck . . .  | 30 kg/cm <sup>2</sup> |                                    | 17 kg/cm <sup>2</sup> |                                  | 17 kg/cm <sup>2</sup> |                                       | 15 kg/cm <sup>2</sup> | 450 m             |
|                                 | Geschw. . .  | 20 m/Jahr             |                                    | 11 m/Jahr             |                                  | 12 m/Jahr             |                                       | 10 m/Jahr             |                   |
|                                 | Abtrag . . . | <b>108 m</b>          | 23 kg/cm <sup>2</sup><br>19 m/Jahr | <b>5 m</b>            | <b>61 m</b>                      | <b>18,5 m</b>         | <b>60 m</b>                           | <b>5 m</b>            |                   |
| Profil V {                      | Druck . . .  | 25 kg/cm <sup>2</sup> |                                    | 17 kg/cm <sup>2</sup> |                                  | 15 kg/cm <sup>2</sup> |                                       | 15 kg/cm <sup>2</sup> | 417 m             |
|                                 | Geschw. . .  | 20 m/Jahr             |                                    | 11 m/Jahr             |                                  | 10 m/Jahr             |                                       | 10 m/Jahr             |                   |
|                                 | Abtrag . . . | <b>90 m</b>           | 23 kg/cm <sup>2</sup><br>19 m/Jahr | <b>5 m</b>            | <b>61 m</b>                      | <b>18,5 m</b>         | <b>45 m</b>                           | <b>5 m</b>            |                   |
| Profil II {                     | Druck . . .  | 30 kg/cm <sup>2</sup> |                                    | 20 kg/cm <sup>2</sup> |                                  | 17 kg/cm <sup>2</sup> |                                       | 15 kg/cm <sup>2</sup> | 439 m             |
|                                 | Geschw. . .  | 20 m/Jahr             |                                    | 12 m/Jahr             |                                  | 12 m/Jahr             |                                       | 10 m/Jahr             |                   |
|                                 | Abtrag . . . | <b>72 m</b> e = 0,002 | 26 kg/cm <sup>2</sup><br>18 m/Jahr | <b>5 m</b>            | <b>78 m</b>                      | <b>18,5 m</b>         | <b>61 m</b>                           | <b>5 m</b>            |                   |
| Vord. Gusl.<br>Kreuzkopf {      | Druck . . .  |                       | 31 kg/cm <sup>2</sup>              |                       | 25 kg/cm <sup>2</sup>            |                       | 17 kg/cm <sup>2</sup>                 | 16 kg/cm <sup>2</sup> | 493 m             |
|                                 | Geschw. . .  |                       | 20 m/Jahr                          |                       | 18 m/Jahr                        |                       | 12 m/Jahr                             | 10 m/Jahr             |                   |
|                                 | Abtrag . . . | <b>4 m</b>            | <b>200 m</b>                       | <b>5 m</b>            | <b>146 m</b>                     | <b>18,5 m</b>         | <b>61 m</b>                           | <b>5 m</b>            |                   |
| Platteisee<br>Zwerch-<br>wand { | Druck . . .  |                       | 35 kg/cm <sup>2</sup>              |                       | 25 kg/cm <sup>2</sup>            |                       | 19 kg/cm <sup>2</sup>                 | 16 kg/cm <sup>2</sup> | 557 m             |
|                                 | Geschw. . .  |                       | 22 m/Jahr                          |                       | 20 m/Jahr                        |                       | 12 m/Jahr                             | 10 m/Jahr             |                   |
|                                 | Abtrag . . . | <b>5 m</b>            | <b>250 m</b>                       | <b>5 m</b>            | <b>163 m</b>                     | <b>18,5 m</b>         | <b>68 m</b>                           | <b>5 m</b>            |                   |

H. Heß



meters mit 10000 Jahren angesetzt werde. Die Tieferlegung des Firnbodens vergrößert dessen Neigung, begünstigt also den Abfluß. Mit dieser Tieferlegung nahm dagegen die Niederschlagsmenge ab; der Abfluß mußte deshalb schwächer werden. Es sollen beide Änderungen des Abflusses sich ausgleichen. In jedem Profil soll die Durchflußfläche für das strömende Eis in den einzelnen Eiszeiten annähernd gleich groß sein.

3. Für die Dauer der Postglazialzeit, der Eiszeiten und der Zwischeneiszeiten werden die Zahlen benützt, welche von M. Milankovitch<sup>7)</sup> auf Grund der mit den Schwankungen der Ekliptikschiefe und der Exzentrizität der Erdbahn veränderlichen Intensität der Sonnenstrahlung ermittelt wurden. Sie stellen das Sicherste dar, was wir bis jetzt an solchen Zahlen besitzen und befinden sich in guter Übereinstimmung mit den Schätzungsergebnissen, zu denen A. Penck auf Grund der geologischen Beobachtungen gelangte.

Mit diesen vereinfachenden Annahmen wurde nun versucht, eine Rekonstruktion der Talböden auszuführen, welche jeweils dem Ende einer Eiszeit entsprechen. Dabei blieb noch maßgebend, daß die uns bekannte oberste Schriffgrenze die Spur der ältesten Vergletscherung, der Günzeiszeit, an den Felswänden vorstellt. Bis zu dieser Höhe durfte also die Reihe der alten Talböden höchstens ansteigen. Nach mehreren Versuchen ergab sich eine Darstellung, die in den Figuren 1, 2 und in der Tabelle 3 wiedergegeben ist. Die letztere enthält die Erosionsbeträge, auf Grund deren sich die Lage der ehemaligen Talböden berechnet — für die Gebiete stärkster Strömung und größter Eisdicke. Die entsprechenden Beträge für seitliche Gebiete sind ebenfalls errechnet, aber hier nicht weiter angegeben.

Man gelangt, wie aus der Gliederung der quartären Eiszeit in 4 Vergletscherungen nicht anders zu erwarten ist, zu 4 ineinander liegenden Trogformen. Die unterste davon ist in den jetzt eisfreien Tälern vielfach wahrzunehmen und wird seit Ed. Richter schlechthin als der Taltrog bezeichnet. Von den älteren Trögen sind an Rippen, die annähernd senkrecht zur Talachse stehen und wegen ihres widerstandsfähigen Materiales die Erosionsformen besser erhalten zeigen, noch Spuren zu beobachten. Der Zusammenhang, welcher hier besteht, kann aus den Figuren 1, 2 entnommen werden. Er stimmt überein

<sup>7)</sup> M. Milankovitch in: W. Köppen und A. Wegener »Die Klimate der geolog. Vorzeit«. Berlin 1924. S. 206 u. ff.

| Profil                | Gegenwart | Ende Würmzeit | Ende Rißzeit | Ende Mindelzeit | Ende Günzzeit | Präglazial | Durchflußfläche       |
|-----------------------|-----------|---------------|--------------|-----------------|---------------|------------|-----------------------|
| IX                    | Oberfl.   | 2815 m        | 2865 m       | 2940 m          | 2980 m        | 2865 m     | 0,218 km <sup>2</sup> |
|                       | Sohle     | 2460 m        | 2515 „       | 2650 „          | 2745 „        |            |                       |
| V                     | Oberfl.   | 2770 m        | 2830 m       | 2880 m          | 2925 m        | 2825 m     | 0,224 km <sup>2</sup> |
|                       | Sohle     | 2400 m        | 2490 „       | 2630 „          | 2720 „        |            |                       |
| II                    | Oberfl.   | 2715 m        | 2790 m       | 2835 m          | 2875 m        | 2765 m     | 0,255 km <sup>2</sup> |
|                       | Sohle     | 2325 m        | 2400 „       | 2550 „          | 2640 „        |            |                       |
| Vord. Gusl. Kreuzkopf | Oberfl.   | 2660 m        | 2755 m       | 2820 m          | 2870 m        | 2740 m     | 0,345 km <sup>2</sup> |
|                       | Sohle     | 2225 m        | 2260 „       | 2455 „          | 2630 „        |            |                       |
| Platteisee Zwerchwand | Oberfl.   | 2525 m        | 2720 m       | 2800 m          | 2855 m        | 2730 m     | 0,387 km <sup>2</sup> |
|                       | Sohle     | 2120 m        | 2175 „       | 2425 „          | 2605 „        |            |                       |

Seehöhe von Talböden und Eisoberfläche.

mit Bemerkungen, welche ich in meiner Abhandlung »Der Taltrog«<sup>8)</sup> S. 74 und in »Die Gletscher« S. 369<sup>9)</sup> machte. Letztere z. B. lautet: »Bei der Rekonstruktion dieser Skizzen (von Karten) wurde vorausgesetzt, daß die Trogränder wohl die Grenzen der stark bewegten Teile der Eisströme, aber nicht notwendigerweise die der Eisströme selbst angeben müssen.« Damals mußte ich die Rekonstruktion der Trogränder mehr gefühlsmäßig vornehmen. Jetzt sind durch die Erosionsgröße und die einigermaßen bestimmte Dauer der Eiszeiten brauchbare Bedingungen für die Rekonstruktionen gegeben. Das Resultat hat an Sicherheit gewonnen, und jede Mehrung unserer tatsächlichen Kenntnisse wird diese Sicherheit steigern lassen.

Einstweilen bleiben noch eine Anzahl von Bedingungen für die Eisströmung, welche je nach der Einstellung, die man einnimmt, variiert werden können. Ich habe z. B. für die Dauer der Postglazialzeit das jetzige Bett des Hintereisgletschers (Profile IX und X) als zeitweise eisfrei angenommen und deshalb die Erosionsgröße für die ganze Postglazialzeit mit 0,003 statt mit 0,005 in Rechnung gebracht. Für Profil II setzte ich sogar nur 0,002 ein und für die weiter abwärts gelegenen Querschnitte zog ich gar keine Eisbearbeitung während der Postglazialzeit in Betracht. Das letztere ist vielleicht nicht ganz berechtigt und kann nach Gutdünken leicht geändert werden. — Damit die Größe des Abtrages nicht gar zu bedeutend wird und schließlich der präglaziale

<sup>8)</sup> Peterm. Mitt. 1903. S. 73 u. f.

<sup>9)</sup> Braunschweig 1904.

Talboden weit höher als die obere Schriffgrenze gelegt würde, mußte die Grundgeschwindigkeit wesentlich kleiner angesetzt werden, als es der gesteigerten Niederschlagsmenge und der Querschnittsgröße entsprechen würde, wenn man die für den jetzigen Hintereisgletscher gültigen Verhältnisse benützen wollte. Die auf diese Weise angedeutete Verminderung der Strömungsgeschwindigkeit im eiszeitlichen Firngebiet wäre vereinbar mit stauender Wirkung, welche die weiter ab-

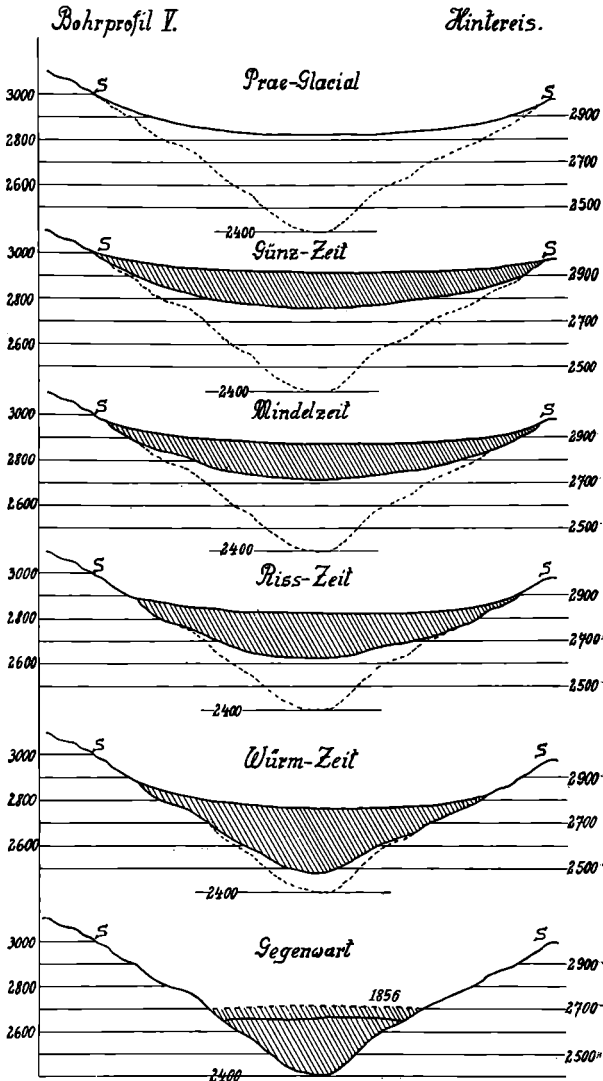


Fig. 1. Maßstab ~ 1 : 33 300.

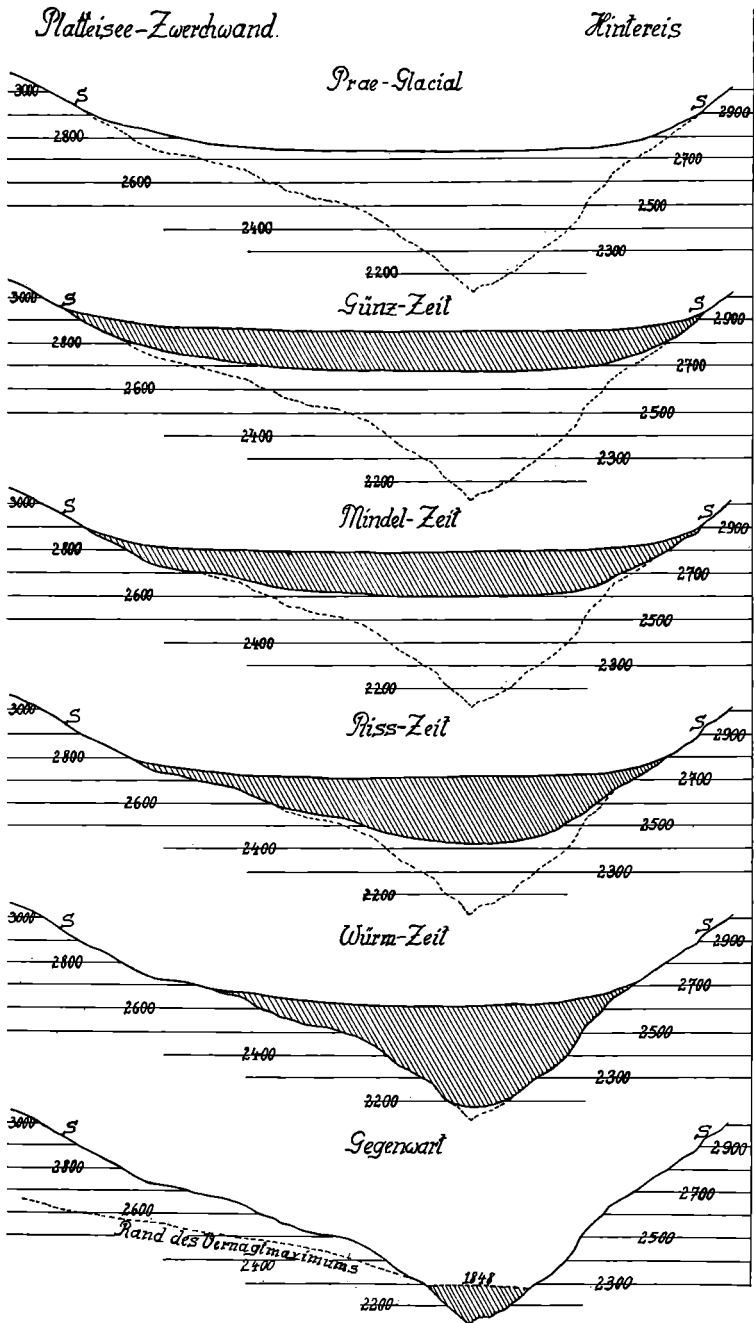


Fig. 2. Maßstab ~ 1 : 33 300.

wärts gelegenen Eismassen auf diese (damals obersten) verhältnismäßig schwach geneigten Firnströme ausübten.

Ob man die von mir gewählten Annahmen künftig beibehalten oder sie durch andere ersetzen will — immer bleibt der Betrag von 0,005 mm für die Erosionsgröße bestehen (der nur eine kleine Korrektur erfahren könnte, wenn noch mehr Versuche zu seiner Bestimmung vorlägen). Damit und mit der lang andauernden Vergletscherung ergibt sich aber unter allen Umständen ein ganz kräftiger Anteil, den das strömende Eis an der Talgestaltung hat.

Das gilt auch dann noch, wenn der Abtrag während der Interglazialzeiten höher angesetzt werden müßte, als es bei meiner Rekonstruktion geschah.

Durch stereo-photogrammetrische Aufnahme und Auswertung charakteristischer Profile im Ötztal und im Inntal könnte auf verhältnismäßig einfache Weise die wesentliche Kartenunterlage gewonnen werden, mit deren Hilfe die Lage der eiszeitlichen und präglazialen Talböden weiter talaus verfolgt und mit größerer Sicherheit bestimmt werden könnte, als mir dies 1903 möglich war. Aufstellung von Niederschlagssammlern in den Hochregionen der Untergruppen des Ötztaler und Stubai-er Gebirgsstockes würde die genauere Kenntnis der gegenwärtigen Niederschlagsverteilung im Stammgebiet des alten Inngletschers und damit auch wichtige Anhaltspunkte für die Beurteilung seiner Existenzbedingungen liefern. Vielleicht gesellen sich zu den Tiefbohrungen bei Wörgl und bei Rum, welche zeigten, daß der glazial bearbeitete Fels um 94 bis 200 m unter der heutigen Talsohle liegt, noch mehrere solcher Bohrungen im Inntal — dann wird allmählich die Grundlage geschaffen, auf welcher eine ziemlich exakte Theorie der Talbildung stehen kann. Also weiterhin Sammlung brauchbaren Tatsachenmaterials, dessen Gewinnung durchaus nicht bequem ist!

---